Інформаційні системи та технології ІСТ-2020

МАТЕРІАЛИ

9-ої міжнародної науково-технічної конференції

присвяченої 90-річчю
Харківського національного університету радіоелектроніки

90 РОКІВ
ХАРКІВСЬКОМУ НАЦІОНАЛЬНОМУ УНІВЕРСИТЕТУ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ
1930-2020

17-20 листопада 2020 р
Харків, Україна

Міністерство освіти та науки України
Національна академія наук України
Люблінський відділ Польської Академії Наук
Представництво «Польська академія наук» у Києві
Харківський національний університет радіоелектроніки
AGH науково-технологічний університет ім. Ст. Сташіца в Кракові
Прикарпатський національний університет ім. В. Стефаника
Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова
Запорізький національний університет
Академія Наук Прикладної Радіоелектроніки
Одеський національний політехнічний університет
Українська нафтогазова академія
Українська Федерація Інформатики
Білоруський державний університет інформатики та радіоелектроніки
Білоруський національний технічний університет

«Інформаційні системи та технології»
ICT-2020

М А Т Е Р І А Л И
**9-ї Міжнародної науково-технічної конференції,
присвяченої 90-річчю
Харківського національного університету радіоелектроніки**

**17-20 листопада 2020 р.
Харків, Україна**

«INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES»
IST-2020

Proceedings
of the 9-th International Scientific and Technical Conference
dedicated to the 90th anniversary
of Kharkiv National University of Radio Electronics

November 17-20, 2020
Kharkiv, Ukraine

Харків 2020

УДК: 004.9

І-74

Наукові редактори: *А. Д. Тевяшев – доктор технічних наук, професор (Харківський національний університет радіоелектроніки);*
Л. Б. Петришин – доктор технічних наук, професор (AGH University of Science and Technology, Прикарпатський національний університет ім.В.Стефаника);
В. Г. Кобзєв – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник (Харківський національний університет радіоелектроніки)

Рецензенти:
Секція 1. *В. О. Філатов – доктор технічних наук, професор (Харківський національний університет радіоелектроніки);*
Секція 2. *В. В. Безкоровайний – доктор технічних наук, професор (Харківський національний університет радіоелектроніки);*
Секція 3. *Ю. О. Гунченко – доктор технічних наук, професор (Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова);*
Секція 4. *В. П. Машталір – доктор технічних наук, професор (Харківський національний університет радіоелектроніки);*
Секція 5. *О. О. Шумейко – доктор технічних наук, професор (Дніпровський державний технічний університет);*
Секція 6. *Н. В. Шаронова – доктор технічних наук, професор (Національний технічний університет «ХПІ»);*
Секція 7. *О. В. Бісікало – доктор технічних наук, професор (Вінницький національний технічний університет);*
Секція 8. *В. А. Лужецький – доктор технічних наук, професор (Вінницький національний технічний університет);*
Секція 9. *Є. В. Бодянський – доктор технічних наук, професор (Харківський національний університет радіоелектроніки)*

І-74 **Інформаційні системи** та технології: матеріали статей 9-ї Міжнародної науково-технічної конференції, Харків, 17-20 листопада 2020 року / наук. ред. А. Д. Тевяшев, Л. Б. Петришин, В. Г. Кобзєв. – ХНУРЕ. – Х.: Друкарня Мадрид, 2020. – 313 с.

ISBN 987-617-7988-25-9

Збірник містить матеріали статей Міжнародної науково-технічної конференції з проблем сучасних інформаційних систем та технологій.
Матеріали представляють інтерес для фахівців, науковців і аспірантів, діяльність яких пов'язана з розробкою та впровадженням сучасних інформаційних систем і технологій.

УДК: 004.9

Матеріали статей рецензовано та опубліковано в авторській редакції

ISBN 987-617-7988-25-9

Історична довідка до 90-річчя ХНУРЕ

1930 року на базі будівельного факультету Харківського політехнічного інституту (ХПІ) й архітектурного факультету Харківського художнього інституту заснований вищий навчальний заклад **Харківський інженерно-будівельний інститут (ХІБІ)**. 1934 року до складу ХІБІ увійшли Харківський геодезичний інститут і Науково-дослідний інститут геодезії і картографії.

1944 року ХІБІ отримав назву **Харківський гірничо-індустріальний інститут вугільної промисловості СРСР (ХГІІ)**. Факультети: машинобудівний (фахи: гірниче машинобудування і технологія машинобудування); гірничо-електромеханічний; промислового транспорту.

1947 року ХГІІ перейменований у **Харківський гірничий інститут Мінвузу СРСР (ХГІ)**. Факультети: гірничий, шахтобудівельний, гірничо-електромеханічний, промислового транспорту.

1962 року ХГІ отримав назву **Харківський інститут гірничого машинобудування, автоматики й обчислювальної техніки (ХІГМАОТ)**. Факультети: автоматизація виробничих процесів у гірничій промисловості, радіотехнічний, гірничого машинобудування.

1966 року ХІГМАОТ перейменований у **Харківський інститут радіоелектроніки (ХІРЕ)**. Факультети 1966 року: автоматики, обчислювальної техніки, радіотехнічний, радіофізичний, електроніки, гірничого машинобудування, 1972 року: систем керування, конструювання радіоапаратури, радіотехнічний, обчислювальної техніки, електроніки.

На початку 1970-х років ХІРЕ готував інженерів за 7-ма фахами: автоматики і телемеханіки; математичні й обчислювально-вирішальні пристрої; електронні прилади; промислова електроніка; радіофізика й електроніка; радіотехніка; конструювання і технологія виробництва радіоапаратури.

У 1982 році інституту присвоєно ім’я видатного вченого і конструктора ракетно-космічної техніки, академіка М.К. Янгеля.

1993 року Харківський інститут радіоелектроніки перейменований у **Харківський державний технічний університет радіоелектроніки (ХДТУРЕ)**.

З 2001 року - **Харківський національний університет радіоелектроніки (ХНУРЕ).**

У 2020 році університет складається з 8 факультетів, 34 кафедр. В університеті навчається близько 7 тисяч студентів за різними формами навчання за 46 спеціальностями із 7 галузей знань. Здобувають освіту близько 600 іноземних студентів із майже 40 країн світу.

Університет є постійним партнером у спільних проектах в рамках міжнародних грантових програм Європейського Союзу, Програми розвитку ООН, Британської Ради, НАТО.

В університеті працюють 17 наукових шкіл, близько 100 докторів наук, професорів, 350 кандидатів наук, доцентів, діє відділ аспірантури докторантури за 14 спеціальностями, 7 спеціалізованих рад із захисту дисертацій. Організацію та координацію наукових досліджень здійснює Науково-дослідна частина, у складі якої працюють декілька науково-дослідних центрів та лабораторій різного спрямування. Університет є головним організатором та співорганізатором численних наукових конференцій, у тому числі міжнародних. Найактуальніші роботи науковців ХНУРЕ публікуються у відомих світових наукових журналах, що входять до наукометричних баз Scopus та Web of Science, а також у престижних спеціалізованих наукових виданнях. Для студентів і молодих науковців щорічно проводиться Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка і молодь у XXI столітті» з 12 конференціями різного спрямування.

Наукова бібліотека містить понад 1,5 мільйона примірників на паперових носіях, має доступ до найвідоміших інформаційних баз світового інформаційного простору. Видаються 6 наукових журналів, проводяться наукові конференції під егідою IEEE.

Університет займає високі місця у багатьох вітчизняних і світових рейтингах, зокрема: Times Higher Education University Impact Ranking, Quacquarelli Symonds (QS) EECA. GreenMetric World University Rankings та Webometrics Ranking of World.

На честь університету названа мала планета – 10681 **ХТУРЕ**.

Голова конференції – Семенець В.В.
ректор ХНУРЕ, доктор технічних наук, професор,
президент АН Прикладної радіоелектроніки

Доброго дня, шановні учасники конференції «Інформаційні системи та технології ІСТ-2020»!

Я вітаю всіх вас на відкритті 9-ї конференції ІСТ-2020, яка присвячена 90-річчю ХНУРЕ. За ці роки змінювалися пріоритетні напрями соціально-економічного життя, це відбивалося на потребах підготовки фахівців різних технічних спеціальностей. Відповідні зміни мали місце і у назві нашого навчального закладу: з 1962 року почалася ера обчислювальної техніки, як основи для становлення та розвитку інформаційних технологій, з 1966 року у назві з'явилося слово радіоелектроніка, що є технічною базою для реалізації і застосування новітніх інформаційних технологій.

У вищих навчальних закладах України був тривалий період зростання набору на навчання за юридичними та економічними спеціальностями. Декілька останніх років спостерігається стрімке зростання попиту на фахівців з інформаційних технологій, за останній рік тільки кількість університетів, які почали готувати спеціалістів в області ІТ збільшилась на 30 відсотків. Бажаю представникам усіх університетів і організацій, що приймають участь у конференції, щоб кількість переросла в якість!

Бажаю усім учасникам конференції плідної праці і успіхів на шляху розвитку інформаційних технологій!

Почесний співголова конференції – Sobczuk Henrik
директор Представництва Польської академії наук в Києві, доктор технічних наук, професор

Мені дуже приємно доєднатися до роботи конференції «ІСТ-2020». Ця конференція відбувається щороку вже 9-й раз, Представництво Польської академії наук в Києві бере участь у її організації з 2016 року.

На засіданнях лунають доповіді з найбільш актуальних проблем інформатики, інформатизації та інших проблем, пов'язаних з обміном інформацією, обробкою та безпекою інформації, що є топ-темами сьогодення.

Бажаю усім організаторам і учасникам конференції плідної роботи та нових вагомих наукових результатів. Сподіваюся на продовження співпраці у майбутньому у розвитку найсучасніших ІТ-технологій.

Співголова Організаційного комітету
Тевяшев А.Д. – завідувач кафедри Прикладної математики ХНУРЕ, доктор технічних наук, професор, академік Нафтогазової академії України

Вітаю всіх учасників конференції «Інформаційні системи та технології»! Вона започаткована у нашому університеті у 2012 році. Щороку збільшується кількість доповідей, розширюється географія організацій, які представляють її учасники. Цього року вперше конференція повністю проводиться у дистанційному форматі.

Бажаю усім учасникам конференції міцного здоров'я, плідної роботи та нових наукових досягнень!

Співголова Організаційного комітету
Петришин Л.Б. – доктор технічних наук, професор,
AGH University of Science and Technology (Краків, Польща),
Прикарпатський національний університет ім. В.Стефаника (Івано-Франківськ, Україна)

Ваша Магніфіценціє, Ректоре Харківського національного університету радіоелектроніки, від імені керівництва факультету Управління Науково-технологічного університету AGH вітаю Вас та Колектив очолюваного Вами університету з 90-річчям заснування!

Наша конференція є чудовою нагодою для фахівців і науковців обмінятися досвідом, новими досягненнями, відкриттями, ознайомитися із сучасними напрацюваннями в галузі ІТ. Переконаний, що професіоналізм, знання, досвід і високі людські якості, потужний науковий та освітній потенціал наших фахівців дадуть усі можливості ефективно розвивати вітчизняну галузь ІТ й вивести українських інформатиків на найвищий європейський рівень.

Бажаю цікавої конференції, нових конструктивних ідей, плідної роботи та нових творчих здобутків!

Секція 1
Сучасні інформаційні системи та технології: проблеми, методи, моделі.
Управління проектами та програмами.

Section 1
Modern information systems and technologies:
problems, methods, models.
Projects and program managements.

Analiza Procesowa Sieciowego Systemu Zarządzania Elektronicznym Obiegiem Faktur Zakupowych

Lubomyr Petryshyn
kat. Zarządzania Przedsiębiorstwem
AGH University of Science
and Technology
Kraków, Polska
l.b.petryshyn@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4168-3891

Talar Patrycja
kat. Informatyki Stosowanej
AGH University of Science
and Technology
Kraków, Polska
p.talar@gmail.com

Mykhailo Petryshyn
kat. Nauk Komputerowych
i Systemów Informatycznych
Precarpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraina
m.l.petryshyn@gmail.com
ORCID: 0000-0001-6319-3768

Process Analysis of the Purchase Invoices Electronic Circulation Network Management System

Lubomyr Petryshyn
dept. of Enterprise Management
AGH University of Science
and Technology
Cracow, Poland
l.b.petryshyn@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4168-3891

Talar Patrycja
dept. of Computer Science
AGH University of Science
and Technology
Cracow, Poland
p.talar@gmail.com

Mykhailo Petryshyn
dept. of Computer Science
and Information Systems
Precarpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
m.l.petryshyn@gmail.com
ORCID: 0000-0001-6319-3768

***Anotacja*—Modelowanie procesów zarządzania w warunkach kooperacji sektorowej na podstawie rozproszonych systemów informatycznych pozwala zmniejszyć koszty opracowania i eksploatacji takich złożonych systemów. Proponowana technika analizy procesowej pozwala na dekompozycję całościowego procesu systemu zarządzania oraz na wizualizację modeli informacyjnych oraz odwzorowanie w formie graficznej procesów i upraszcza porozumienie się na etapie analizy i projektowania pomiędzy klientem a producentem systemu. Przedstawiono podstawy analizy systemowej i uproszczony przykład opracowania systemu zarządzania siecią elektronicznego obiegu faktur zakupowych.**

***Abstract*—Simulation of the processes of sectoral cooperation management in distributed information systems allows to reduce the cost of implementation and operation of such complex systems. The proposed method of visualization of information models graphically reflects the constituent processes and simplifies the understanding at the stage of analysis and design between the customer and the system developer. The basics of visualization modelling and simplified example of models development of multi-sectoral management system are presented.**

Słowa kluczowe—analiza procesowa, modelowanie wizualizacyjne, procesy informacyjne, kooperacja sektorowa, systemy rozproszone, zarządzanie

Keywords—process analysis, visualization modelling, information processes, sectoral cooperation, distributed systems, management

I. WSTĘP

Dokonano analizy informatycznego systemu zarządzania przedsiębiorstwem, który dotyczyć będzie elektronicznego obiegu faktur zakupowych. System ten będzie nosić nazwę PAK (system Procesu Akceptacji Kosztów). W opracowaniu zostaną zawarte: cele wraz z funkcjonalnością wspomnianego systemu, charakterystyka firmy, wymagania oraz wybrane modele projektowe. Definicja faktury kosztowej wskazuje, że jest to dokument księgowy, który jest wystawiany na zakupione przez firmę towary lub usługi, niezbędne do osiągnięcia przez przedsiębiorcę przychodu. Dokumentuje więc te wydatki, które można włączyć do kosztów. Zatem każdy przedsiębiorca prowadzący działalność spotyka się z problemem obiegu dużej ilości faktur, który często nie jest wystarczająco usystematyzowany. Wskazuje to zatem na fakt, że system PAK może być takim, który znajdzie zastosowanie w niejednej firmie.

Celem wdrażania systemu jest utworzenie systemu PAK do zarządzania obiegiem faktur kosztowych w przedsiębiorstwie. Informatyczny system zarządzania będzie tworzony głównie w celu: przejścia z papierowego na elektroniczny obieg faktury kosztowej, ustandaryzowania mechanizmu akceptacji faktur zakupowych, monitorowania obiegu tych faktur, zautomatyzowanej dekretacji, przygotowania danych do integracji z zewnętrznym systemem finansowo-księgowym, rejestracji wszystkich czynności wykonywanych w trakcie obiegu w tym akceptacji i

zatwierdzeń szybkiego dostępu do ewidencji faktur z możliwością wyszukiwania i przeglądania historii.

Korzyści jakie wiążą się z wprowadzeniem informatycznego systemu zarządzania fakturami kosztowymi:

- obieg faktur zakupowych w systemie PAK eliminuje wiele czynności, które wprowadzają bałagan oraz wymagają niepotrzebnego nakładu pracy w trakcie obsługi dokumentacji papierowej. Kiedy dokumentów w firmie jest dużo, a w działaniach operacyjnych, takich jak: weryfikacja, analiza, opracowywanie i zatwierdzanie, zaangażowanych jest więcej pracowników, szybko rośnie ryzyko gubienia dokumentów oraz niedotrzymywania terminów związanych z przepływem dokumentacji,
- system zarządzania pozwoli oszczędzi czas i pieniądze w przedsiębiorstwie,
- wzrośnie wydajność pracowników,
- informacje będą bardziej bezpieczne, a zarządzający będzie posiadać pełniejszą kontrolę nad wydatkami.

II. Charakterystyka przedsiębiorstwa

A. *Analiza firmy i rynku*

Przedsiębiorstwo działa na rynku od 2010 roku i zajmuje się kompleksową osłoną okien. Mają do zaproponowania ponad 30 systemów produkowanych z materiałów najwyższej jakości. W ofercie posiadają rolety tekstylne wolno wiszące i w prowadnicach, żaluzje aluminiowe, drewniane, pionowe, maty drewniane, siatki na owady i inne. Wszystko to w olbrzymiej gamie kolorów i wzorów. Przedsiębiorstwo to jest odpowiedzialne za:

- produkcję osłon okiennych,
- sprzedaż wraz z wcześniejszym pomiarem oraz montażem,
- świadczenie usług gwarancyjnych i pogwarancyjnych,

Rynek osłon okiennych z roku na rok rozwija się coraz prężniej, a produkcja w firmie zwiększa się dynamicznie. W związku z tym przedsiębiorstwo utrzymuje ścisłe relacje ze swoimi kontrahentami, a wraz ze wzrostem przychodów wzrasta również wielkość kupowanych materiałów do produkcji. To z kolei prowadzi do zwiększającej się liczby faktur zakupowych, których zarządzanie staje się bardzo uporczywe. Faktura może dotyczyć dowolnego centrum kosztów, przykładowo: zapotrzebowania, zaliczki, delegacji, projektu itp. System obiegu faktur w firmie dotyczyć będzie faktur zakupowych dla zaopatrzeniowego centrum kosztów co wynika z wcześniej analizowanych zależności.

B. *Struktura organizacyjna firmy*

Struktura organizacyjna firmy została przedstawiona w sposób schematyczny na rys. 1. Schemat organizacji firmy jest hierarchiczny. Do właściciela bezpośrednio raportuje:

- kierownik działu produkcji i projektowania, zarządzający działem produkcji detalicznej, produkcji hurtowej oraz działem projektowania,
- kierownik działu zaopatrzenia, sprawujący nadzór nad działem zakupów, działem transportu oraz magazynem,
- główny księgowy, zarządzający działem finansów i księgowości,
- samodzielny pracownik administracyjny, zajmujący się sekretariatem,
- kierownik działu handlowego, który opiekuje się działem sprzedaży, obsługi klientów oraz promocji i reklamy.

Każdy z poszczególnych działów posiada samodzielnych pracowników o różnym doświadczeniu, tak więc w każdym dziale znajdują się specjaliści, seniorzy i młodzi początkujący.

Rys. 1. Struktura organizacyjna i analiza funkcji poszczególnych jednostek systemu.

C. *Funkcje jednostek organizacyjnych we wdrażanym systemie*

Projektowany system informatyczny ma posłużyć usprawnieniu obiegu faktur kosztowych, czyli przejścia z manualnego procesu akceptacji i księgowania kosztów do całkowicie zautomatyzowanego. Głównymi interesariuszami systemu PAK będą jednostki organizacyjne, które do tej pory odbierały, akceptowały i księgowały przychodzące faktury zakupowe, a będą to:

- samodzielny pracownik administracyjny,
- pracownik działu zakupów,
- kierownik działu zaopatrzenia,
- pracownik działu finansów i księgowości,
- główny księgowy,
- właściciel.

W tabeli 1 przedstawiono funkcje jakie pełnią wymienione jednostki w procesie analizy kosztów oraz korzyści jakie osiągną po wdrożeniu systemu PAK.

TABLICA I. FUNKCJE PEŁNIONE JEDNOSTKAMI W PROCESIE ANALIZY KOSZTÓW ORAZ KORZYŚCI JAKIE OSIĄGNĄ PO WDROŻENIU SYSTEMU PAK

INTERESARIUSZE	FUNKCJE	KORZYŚCI
Właściciel	Podejmowanie decyzji zarządczych na podstawie informacji o stanie finansów firmy, pozwalających na efektywne i rentowne działanie firmy	- przejrzysta analiza kosztowa, - szybki dostęp do dowolnie wybranego dokumentu w systemie, - ułatwiona kontrola nad kosztami firmy
Główny księgowy	Kontrola pracy finansów i księgowości, wykonywanie dyspozycji środkami pieniężnymi, dokonywanie kontroli zgodności operacji gospodarczych i finansowych z planem finansowym, dokonywanie kontroli kompletności i rzetelności dokumentów dotyczących operacji gospodarczych i finansowych	- ułatwiona kontrola nad kompletnością i rzetelnością dokumentów dostarczanych do działu księgowo finansowego, - dostęp do dokumentów w dowolnym czasie, - możliwość prowadzenia przejrzystej analizy finansowej, raportowania i szybkiej reakcji na zachodzące zmiany
Finanse i księgowość	Zapewnienie obsługi księgowej poprzez prowadzenie ksiąg rachunkowych, rozliczeń, dostarczanie informacji o stanie finansowym firmy, sporządzanie zestawień i sprawozdań, współpraca z urzędnikami, audytorami, wykonywanie operacji na rachunkach bankowych	- przyspieszenie pracy zespołu w wyniku integracji systemu z zewnętrznym systemem księgowym, - łatwiejszy dostęp do archiwum dokumentów w systemie
Kierownik działu zaopatrzenia	Koordynowanie i nadzorowanie pracy m.in. działu zakupów, zapewnienie dostępności materiałów umożliwiającej właściwy przebieg procesu produkcji i realizacji zamówień, utrzymanie optymalnego poziomu zapasów, minimalizowanie kosztów materiałowych i logistycznych, weryfikacja poprawności dokumentów związanych z dostawami, akceptacją merytoryczną faktur zewnętrznych	- sprawniejsze nadzorowanie pracy działu zaopatrzenia, - pełniejszy wgląd do kosztów, - szybsza analiza kosztowa, - łatwiejszy wgląd do dokumentów w systemie, - szybsza weryfikacja poprawności dokumentów związanych z dostawcami i akceptacja faktur
Dział Zakupów	Prognozowanie i analiza zapotrzebowań na materiały i usługi, negocjacja warunków handlowych, zarządzanie zapasami, postępowania reklamacyjne wobec dostawców, zarządzanie informacjami dotyczącymi zakupów i zapasów, weryfikacja poprawności dokumentów związanych z dostawcami	- ułatwione zarządzanie informacjami dotyczącymi zakupów i zapasów, - szybsza weryfikacja poprawności dokumentów związanych z dostawcami, - możliwość połączenia dokumentów w systemie z odpowiednimi zamówieniami
Samodzielny pracownik administracyjny	Utrzymywanie porządku w archiwum, w pismach, dokumentach, fakturach, przygotowywanie i redagowanie pism urzędowych, selekcjonowanie i segregowanie korespondencji firmowych, dbałość o obieg dokumentów, sprawdzanie faktur pod względem formalnym	- łatwiejsze i bezpieczniejsze prowadzenie archiwum dokumentów kosztowych, - szybki podgląd obiegu dokumentów w systemie, - dostęp do bazy dokumentów w dowolnym czasie

Wszystkie wymienione korzyści stanowią cele jakie powinny zostać osiągnięte w przedsiębiorstwie po wdrożeniu systemu PAK. Wprowadzenie informatycznego systemu obiegu faktur kosztowych znacząco przyczyni się do:

- zwiększenia wydajności poprzez przyspieszenie procesu obiegu dokumentu kosztowego,
- eliminacji papierowej formy obiegu dokumentów, a więc co za tym idzie oszczędności kosztów papieru i przesyłek,
- standaryzacji procesu obiegu dokumentów,
- ochrony przed nadużyciami pracowniczymi,
- kierowania akceptacji zgodnie z nadanymi uprawnieniami,
- braku dublowania pracy w organizacji,
- automatycznego zapisu księgowego dokumentów kosztowych – zmniejszona pracochłonność działów księgowych,
- zmniejszenia ryzyka zgubienia dokumentów.

Przeniesienie procesu analizy, akceptacji, dekretacji i księgowania faktur kosztowych do systemu elektronicznego znacząco wpłynie na zwiększenie efektywności w przedsiębiorstwie, przy jednoczesnym umożliwieniu bieżącej kontroli nad budżetem i przepływami pieniężnymi.

D. Wymagania funkcjonalne i niefunkcjonalne

Wymagania systemu dzielą się na wymagania funkcjonalne i wymagania niefunkcjonalne (zwane także wymaganiami jakościowymi). Za wymagania funkcjonalne uważa się wymagania dotyczące wyniku zachowania systemu, które powinny zostać dostarczone przez funkcje systemu. Z kolei wymaganie jakościowe to wymaganie, które dotyczy jakości tworzonego oprogramowania, które nie zostało określone przez wymagania funkcjonalne.

E. Wymagania funkcjonalne

1) Definicja funkcji: Logowanie

Analiza: Funkcja ta pozwala na zalogowanie się w systemie danemu użytkownikowi, posiadającemu uprawnienia. Po zalogowaniu użytkownik może korzystać z wszystkich dostępnych dla niego funkcji i wprowadzać zmiany w systemie.

Wejście: logowanie za pomocą danych identyfikujących użytkownika: login oraz hasło.

Wyjście: po zalogowaniu użytkownik uzyskuje widoczność strony domowej systemu, adekwatną do pełnionej przez niego roli. Zalogowany użytkownik może korzystać z panelu głównego z którego można wywoływać odpowiednie funkcje systemu.

Dostęp: właściciel, główny księgowy, upoważnieni pracownicy działu księgowo – finansowego, kierownik działu zaopatrzenia, upoważnieni pracownicy działu zakupów, samodzielny pracownik administracyjny

2) Definicja funkcji: Wprowadź fakturę

Analiza: Funkcja ta pozwala na wprowadzenie skanu(pliku) faktury kosztowej do systemu w celu rozpoczęcia jej procesowania.

Wejście: dodanie dokumentu faktury kosztowej z dysku komputera.

Wyjście: możliwość automatycznego odczytu faktury i poddanie jej dalszym procesom.

Dostęp: samodzielny pracownik administracyjny.

3) Definicja funkcji: Uzupełnij dane

Analiza: Funkcja ta pozwala uzupełnić potrzebne dane dla wprowadzonej faktury, które umożliwią dalsze jej procesowanie. Wymagane do uzupełnienia pola to: numer kontrahenta na podstawie NIPu sprzedawcy, data wpływu, forma i termin płatności, wartości brutto oraz netto.

Wejście: Wymagane do uzupełnienia pola to: numer kontrahenta na podstawie NIPu sprzedawcy, data wpływu, forma i termin płatności, wartości brutto oraz netto.

Wyjście: Wstępnie analizaana faktura gotowa do dalszego procesowania.

Dostęp: samodzielny pracownik administracyjny.

4) Definicja funkcji: Usuń fakturę

Analiza: Funkcja ta pozwala usunąć z systemu błędną fakturę, która nie zaczęła być procesowana.

Wejście: wskazanie odpowiedniej faktury kosztowej, która została załadowana z dysku do systemu i uruchomienie funkcji.

Wyjście: usunięcie faktury z listy oczekującej na procesowanie, a tym samym z systemu.

Dostęp: właściciel, samodzielny pracownik administracyjny.

5) Definicja funkcji: Wyślij do akceptacji

Analiza: Funkcja ta pozwala na przesłanie do wglądu i akceptacji wcześniej wprowadzonej faktury kosztowej, uzupełnionej o odpowiednie dane. Użytkownicy posiadający tę funkcję wysyłając fakturę do akceptacji, wysyłają ją do wyższego od nich szczebla akceptacji.

Wejście: przesłanie faktury kosztowej do dalszej akceptacji.

Wyjście: powiadomienie o oczekującej fakturze do akceptacji, pojawiające się u użytkownika znajdującego się na wyższym szczeblu akceptacji.

Dostęp: główny księgowy, upoważnieni pracownicy działu księgowo – finansowego, kierownik działu zaopatrzenia, upoważnieni pracownicy działu zakupów, samodzielny pracownik administracyjny.

6) Definicja funkcji: Analiza

Analiza: Funkcja ta umożliwia analizę otrzymanej faktury przed przesłaniem jej do dalszej akceptacji. Każdy użytkownik akceptujący dokument przed zaksięgowaniem jest odpowiedzialny za sprawdzenie go pod względem merytorycznym (sprawdzić czy operacja gospodarcza miała miejsce w rzeczywistości), formalnym (sprawdzić czy dokument zawiera wszystkie elementy przewidziane przepisami prawa) oraz rachunkowym (sprawdzić czy obliczenia rachunkowe zostały wykonane prawidłowo). Funkcja ta pozwala analizować fakturę kosztowa odpowiednim zamówieniem / centrum rozliczenia.

Wejście: odpowiednie w zależności od kompetencji analizy faktury właściwą adnotacją: "Sprawdzono pod względem merytorycznym, formalnym i rachunkowym".

Wyjście: analizowana faktura gotowa do akceptacji i dalszego procesowania.

Dostęp: właściciel, główny księgowy, upoważnieni pracownicy działu księgowo – finansowego, kierownik działu zaopatrzenia, upoważnieni pracownicy działu zakupów.

7) Definicja funkcji: Akceptuj

Analiza: Funkcja ta pozwala na akceptację analizowanej wcześniej faktury kosztowej i przygotowanie jej do dalszego procesowania.

Wejście: potwierdzenie poprawności faktury poprzez jej akceptację.

Wyjście: zaakceptowana faktura, gotowa do dalszego obiegu.

Dostęp: właściciel, główny księgowy, kierownik działu zaopatrzenia, upoważnieni pracownicy działu zakupów, upoważnieni pracownicy działu księgowo-finansowego.

8) Definicja funkcji: Odrzuć

Analiza: Funkcja ta pozwala w sytuacji braku pewności co do poprawności faktury kosztowej na odrzucenie jej na dowolnym szczeblu. Faktura ta wraca się do osoby, która jako ostatnia ją zaakceptowała.

Wejście: odrzucenie faktury.

Wyjście: niemożność jej dalszego procesowania i zatrzymanie w obiegu, aż do momentu poprawy i ponownej akceptacji.

Dostęp: właściciel, główny księgowy, upoważnieni pracownicy działu księgowo-finansowego, kierownik działu zaopatrzenia, upoważnieni pracownicy działu zakupów.

9) Definicja funkcji: Dekretuj

Analiza: Funkcja ta umożliwia dekretację faktury kosztowej, która przeszła wszystkie etapy akceptacji. Dekretacja następuje przed dokonaniem księgowania w systemie rachunkowym zintegrowanym z systemem procesowania faktur zakupowych.

Wejście: zadekretowanie dowodu księgowego i umieszczenie na nim informacji: datę dekretacji, wskazanie numerów kont i stron tych kont (Wn lub Ma), na których należy księgować odpowiednie kwoty, osoba wykonująca dekretację.

Wyjście: zdekretowana faktura kosztowa, będąca gotowym dokumentem do zaksięgowania.

Dostęp: upoważnieni pracownicy działu księgowo-finansowego.

10)Definicja funkcji: Zaksięguj

Analiza: Funkcja ta sprawdza poprawność dekretacji, a następnie księguje w zintegrowanym systemie rozrachunkowym (księgach rachunkowych firmy) odpowiednie koszty z faktury zakupowej.

Wejście: księgowanie faktury zakupowej.

Wyjście: zapis księgowy kosztów w księgach rozrachunkowych firmy.

Dostęp: upoważnieni pracownicy działu księgowo – finansowego.

11)Definicja funkcji: Archiwum

Analiza: Funkcja ta umożliwia wgląd do wszystkich faktur kosztowych obecnych w systemie: oczekujących na procesowanie, procesowanych i zaksięgowanych. W archiwum odbywa się wyszukiwanie odpowiednich dokumentów przy zastosowaniu opcji filtrowania danych po: dacie wystawienia, kontrahencie, kwocie, dacie zaksięgowania, terminie płatności, rodzaju płatności.

Wejście: wyszukanie dokumentu stosując odpowiednie kryteria.

Wyjście: pełny wgląd do informacji dotyczących wyszukanej faktury zakupowej.

Dostęp: właściciel, główny księgowy, upoważnieni pracownicy działu księgowo – finansowego, kierownik działu zaopatrzenia, upoważnieni pracownicy działu zakupów, samodzielny pracownik administracyjny.

12)Definicja funkcji: Stwórz raport

Analiza: Funkcja ta pozwala na stworzenie dokumentu raportującego poniesione koszty bazując na wprowadzanych fakturach do systemu. Raport może ukazywać zmiany kosztów w czasie, stosunek kosztów w czasie, procentowy podział ponoszonych kosztów, ogólną wielkość miesięczną/roczną kosztów w odniesieniu do danego dnia. Funkcja ta umożliwia pełną analizę kosztów.

Wejście: wybór odpowiednich kryteriów raportowania.

Wyjście: gotowy raport kosztowy możliwy do wydrukowania lub zapisania w formie graficznej.

Dostęp: właściciel, główny księgowy, upoważnieni pracownicy działu księgowo-finansowego, kierownik działu zaopatrzenia, upoważnieni pracownicy działu zakupów, samodzielny pracownik administracyjny.

13)Definicja funkcji: Terminy płatności

Analiza: Funkcja ta pozwala na sprawdzenie zbliżających się terminów płatności w danym okresie czasu lub dla konkretnej faktury kosztowej. Płatności wyświetlają się w sposób hierarchiczny od najwcześniejszych do najpóźniejszych.

Wejście: wybór odpowiedniego kryterium oczytania terminów płatności.

Wyjście: otrzymanie informacji o najpilniejszych terminach i rodzaju płatności wraz z odniesieniem się do faktur i danych rachunkowych.

Dostęp: właściciel, główny księgowy, upoważnieni pracownicy działu księgowo-finansowego.

14)Definicja funkcji: Aktualny status

Analiza: Funkcja ta pozwala sprawdzić aktualny status danej faktury, która jest procesowana w systemie. Dzięki temu można zobaczyć na jakim etapie obiegu jest w danej chwili.

Wejście: wybór faktury do sprawdzenia na podstawie wybranych kryteriów.

Wyjście: informacje na temat drogi danej faktury kosztowej w systemie i jej obecnego statusu: kto już ją zaakceptował, czy czeka do dalszej akceptacji, czy została odrzucona, czy została już zdekretowana, czy została już zaksięgowana.

Dostęp: właściciel, główny księgowy, upoważnieni pracownicy działu księgowo-finansowego, kierownik działu zaopatrzenia, upoważnieni pracownicy działu zakupów, samodzielny pracownik administracyjny.

15)Definicja funkcji: Wylogowanie

Analiza: Funkcja ta umożliwia wylogowanie się użytkownika z systemu, zapisując wszystkie wprowadzone przez niego zmiany.

Wejście: wywołanie wylogowania.

Wyjście: wylogowanie użytkownika i zamknięcie strony domowej systemu, powrót do panelu logowania.

Dostęp: właściciel, główny księgowy, upoważnieni pracownicy działu księgowo-finansowego, kierownik działu zaopatrzenia, upoważnieni pracownicy działu zakupów, samodzielny pracownik administracyjny.

F. Wymagania niefunkcjonalne

System zapewnia odtworzenie stanu systemu sprzed awarii.

Możliwość ciągłego funkcjonowania w systemie 24 godziny dziennie, 7 dni w tygodniu. Dopuszczalna jest chwilowa przerwa w pracy systemu na czas uruchamiania aplikacji w trybie awaryjnym.

Zapewnienie monitorowania o błędach.

System zapewnia skalowanie, rekonfigurację, osadzanie nowych usług bez zakłócania pracy innych aplikacji i operacji biznesowych.

System zapewnia pełną ochronę danych dot. kontrahentów.

Konta użytkowników chronione są niepowtarzalnym loginem i hasłem.

Operacje w systemie można wykonywać tylko i wyłącznie po zalogowaniu.

Użytkownicy mogą korzystać z systemu w sposób równoległy.

Każdy użytkownik ma dostęp do ściśle określonych funkcjonalności systemu.

System oparty jest na wszelkich wymaganych regulacjach prawnych, czy też rachunkowych i spełnia je wszystkie.

III. PODSUMOWANIE

W oparciu o opracowane metody wizualizacji przebiegu funkcjonowania złożonych systemów zarządzania w warunkach kooperacji sektorowej określono podstawy symulacji, które pozwoliły na prezentacje przebiegu procesów i umożliwiły zarządzanie systemem informacyjnym w czasie rzeczywistym. Opracowany materiał jest zintegrowaną częścią publikacji [2], która przedstawia metody oraz technikę wizualizacji procesów zarządzania, która z kolei pozwala usunąć barierę psychologiczną i uniknąć wzajemnego nieporozumienia między klientem i twórcą systemów informatycznych a także zmniejszyć koszty opracowania, wdrażania i obsługi rozproszonych systemów zarządzania.

Osiągnięto cel projektu, jakim była analiza procesowa systemu zarządzania. Dokonano dekompozycji systemu na podstawie analizy procesów zachodzących w rzeczywistości. Dzięki wdrożeniu systemu można zoptymalizować koszty, poprawić jakość obsługi oraz zautomatyzować procesy.

Wdrożenie opracowanego systemu pozwoliło na usprawnienie wymiany informacji między oddzielnymi jednostkami i przejście na elektroniczny system zarządzania. Wdrażanie zmian w systemie spowodowało wzrost konkurencyjności firmy, a funkcjonalność systemu dostosowano do standardów rynkowych.

LITERATURA REFERENCES

[1] Л. Петришин, Я. Николайчук, Аналитическое моделирование информационных систем автоматизированного управления – Analytical modeling of infosystems of automated management. / Lyubomyr Petryshyn // Zarządzanie organizacjami w gospodarce rynkowej: X międzynarodowa naukowa konferencja "Zarządzanie przedsiębiorstwem. Teoria i praktyka": Kraków, 22-23 listopada 2007 r. / pod red. Wiesława Waszkielewicza; — Kraków: Wydawnictwa AGH, 2007. — ISBN 978-83-7464-153-1 — S. 268–275. — Bibliogr. s. 338, Abstr.

[2] L. Petryshyn, P. Talar, M. Petryshyn, Visualization Modeling of the Purchase Invoices Electronic Circulation Management System. 9th International science and technical conference «Information Systems and Technologies» IST-2020: Kharkiv, November 17-20, 2020. – Kharkiv, NURE, 2020, Ukraine. In press.

Wizualizacyjne Modelowanie Systemu Zarządzania Elektronicznym Obiegiem Faktur Zakupowych

Lubomyr Petryshyn
kat. Zarządzania Przedsiębiorstwem
AGH University of Science
and Technology
Kraków, Polska
l.b.petryshyn@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4168-3891

Talar Patrycja
kat. Informatyki Stosowanej
AGH University of Science
and Technology
Kraków, Polska
p.talar@gmail.com

Mykhailo Petryshyn
kat. Nauk Komputerowych
i Systemów Informatycznych
Precarpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraina
m.l.petryshyn@gmail.com
ORCID: 0000-0001-6319-3768

Visualization Modeling of the Purchase Invoices Electronic Circulation Management System

Lubomyr Petryshyn
dept. of Enterprise Management
AGH University of Science
and Technology
Cracow, Poland
l.b.petryshyn@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4168-3891

Talar Patrycja
dept. of Computer Science
AGH University of Science
and Technology
Cracow, Poland
p.talar@gmail.com

Mykhailo Petryshyn
dept. of Computer Science
and Information Systems
Precarpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
m.l.petryshyn@gmail.com
ORCID: 0000-0001-6319-3768

***Adnotacja*—Modelowanie procesów zarządzania w warunkach kooperacji sektorowej na podstawie rozproszonych systemów informatycznych pozwala zmniejszyć koszty opracowania i eksploatacji takich złożonych systemów. Proponowana metoda wizualizacji modeli informacyjnych pozwala na odwzorowanie w formie graficznej procesów i upraszcza porozumienie się na etapie analizy i projektowania pomiędzy zleceniodawcą a producentem systemu. Przedstawiono podstawy modelowania wizualizacyjnego i uproszczony przykład opracowania systemu wielosektorowego zarządzania siecią elektronicznego obiegu faktur zakupowych.**

***Abstract*—Simulation of the processes of sectoral cooperation management in distributed information systems allows to reduce the means of introduction and operation of such complex systems. The proposed method of visualization of information models reflects graphically the constituent processes and simplifies the understanding at the stage of analysis and design between the customer and the system developer. The basics of visualization modeling and simplified example of models development of multi-sectoral management system are presented.**

Słowa kluczowe—modelowanie wizualizacyjne, procesy informacyjne, kooperacja sektorowa, systemy rozproszone, zarządzanie

Keywords—visualization modeling, information processes, sectoral cooperation, distributed systems, management

I. WSTĘP

Zarządzanie złożonymi systemami w warunkach kooperacji sektorowej wymaga zastosowania technologii informacyjnej, która zapewnia odwzorowanie stanu i umożliwia zarządzanie systemem w czasie rzeczywistym. Opracowany materiał jest zintegrowaną częścią publikacji [1], która przedstawia technikę analizy procesowej w zarządzaniu, będącej z kolei podstawą modelowania informacyjnego. Wizualizacja procesów zarządzania pozwala na usunięcie bariery psychologicznej i uniknięcie nieporozumienia pomiędzy klientem i twórcą systemów informatycznych, a także pozwala zmniejszyć koszty opracowania, wdrażania i obsługi takich złożonych systemów.

Celem opracowania jest przedstawienie wizualnych metod modelowania procesów zarządzania złożonymi systemami w warunkach kooperacji sektorowej, a także opracowanie uproszczonego przykładu systemu zarządzania elektronicznym obiegiem faktur zakupowych w firmie.

Nowacją pracy jest opracowanie i przedstawienie graficznych metod modelowania, które zapewniają wizualizację procesów zarządzania i upraszczają zrozumienie ich przepływu.

Aspekt praktyczny polega na możliwości odwzorowania struktury i przepływu procesów zarządzania, unikania nieporozumień przy formułowaniu zadania i zapewniania

wymagań klienta, a także zmniejszania kosztów tworzenia i eksploatacji systemów zarządzania.

Podstawy modelowania wizualizacyjnego są opublikowane w [2]. Przeanalizujemy uproszczony przykład modelowania rozproszonego systemu zarządzania siecią elektronicznego obiegu faktur zakupowych. Na podstawie analizy procesowej oraz dekompozycji systemu zarządzania [1] przeprowadzimy modelowanie informacyjne systemu.

II. Modelowanie Procesów Zarządzania

W celu lepszego zobrazowania działania wdrażanego systemu PAK w przedsiębiorstwie, przedstawione zostaną w postaci tabelarycznej operacje i ich definicje. Operacje te będą dotyczyć głównego procesu obiegu faktury kosztowej w systemie. Dodatkowo zaprezentowane zostaną odpowiednie modele analizujące ten proces. W skład tych modeli wchodzić będzie: model matrycowy, tablice czasowe, diagram sieciowy (Gantta), schemat blokowy i dodatkowo statystyki.

A. *Operacje i ich definicje.*

SPA – samodzielny pracownik administracyjny;

PDZ – pracownik działu zakupów;

KDZ – kierownik działu zaopatrzenia;

GK – główny księgowy;

W – właściciel;

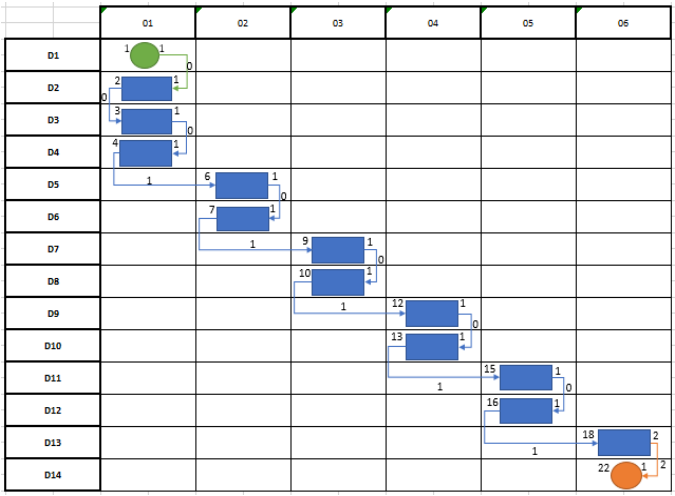
PDFK – pracownik działu finansowo-księgowego.

Tablica I. Definacja operacji systemowych

Dokument	Treść	Opracowanie	
D1.01	Wybór pliku z fakturą z dysku w celu załadowanie go do systemu	SPA	01
D2.01	Uzupełnienie ogólnych danych analizaujących fakturę kosztową	SPA	01
D3.01	Sprawdzenie poprawności	SPA	01
D4.01	Wysłanie faktury do odpowiedniego pracownika działu zakupów w celu uzyskania akceptacji o zgodności faktury z zamówieniem	SPA	01
D5.02	Akceptacja i analizaanie faktury (połączenie jej z zamówieniem)	PDZ	02
D6.02	Wysłanie faktury do akceptacji Kierownika działu zaopatrzenia	PDZ	02
D7.03	Weryfikacja poprawności analizau faktury	KDZ	03
D8.03	Wysłanie faktury do akceptacji Głównego Księgowego	KDZ	03
D9.04	Weryfikacja rachunkowej strony faktury i analiza	GK	04
D10.04	Wysłanie faktury do akceptacji właściciela dotyczącą zgody na poniesienie zweryfikowanych przez pracowników kosztów	GK	04
D11.05	Sprawdzenie poprawności faktury i końcowa akceptacja	W	05
D12.05	Wysłanie zaakceptowanej faktury do zaksięgowania do pracowników działu księgowo - finansowego	W	05
D13.06	Dekretacja faktury	PDFK	06
D14.06	Zaksięgowanie faktury kosztowej	PDFK	06

B. *Model matrycowy*

Model matrycowy procesu zarządzania całego systemu zawiera trzy podprocesy (rys. 1): realizację zamówienia, promocję i złożenie zażalenia przez klienta (przypadek uznania). Taki model pozwala na wizualizację postępu realizacji operacji systemowych w procesach przedsiębiorstwa, wykonywanych w odpowiednich jednostkach w skali czasu.



Rys. 1. Model matrycowy systemu zarządzania.

C. *Tablice czasowe*

Tablice czasowe zawierają czasy rozpoczęcia, formowania, przetwarzania, ustalenia oraz układ przepływów operacji systemowych. Tablice czasowe określają rozkład w skali czasu poszczególnych operacji systemowych procesów. Tabl. II przedstawia czasy rozpoczęcia, tworzenia, przetwarzania i ustalania operacji systemowych. Natomiast tabl. III pokazuje czasy przekazania dokumentów przy wykonaniu operacji systemowych.

D. *Model „graf sieciowy”*

Model graf sieciowy (rys. 2) jest podstawowym modelem, który umożliwia przejście do UML-modelowania i przedstawia podstawowe parametry systemu takie jak struktura, czas rozpoczęcia i trwania operacji systemowych oraz połączenie kanałów komunikacyjnych.

E. *Model czasowy spójny*

Aby ocenić pełne obciążenie obliczeniowe informatycznego systemu zarządzania stosuję się spójny model czasowy (rys. 3). Graf ten jednak nie uwzględnia działów, w jakich wykonywane są poszczególne operacje systemowe.

F. *Schemat blokowy algorytmu wykonania operacji systemowych*

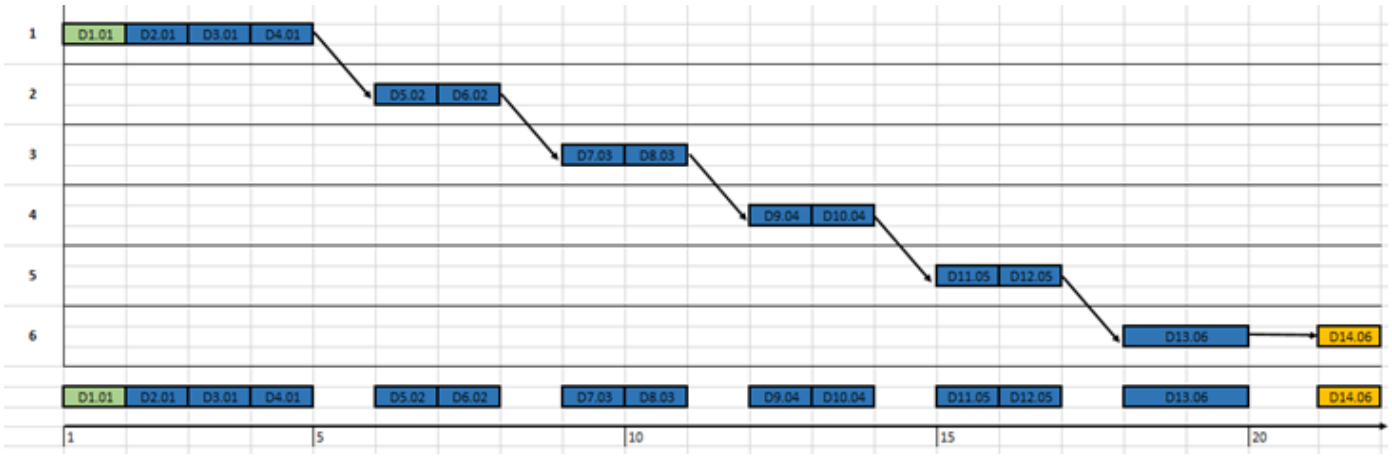
Na podstawie modelu spójnego wykresu czasowego pozostał opracowany schemat blokowy algorytmu programu wykonania operacji systemowych (rys. 4), który na podstawie programowania obiektowego umożliwia szybką implementację i wdrożenie oprogramowania aplikacyjnego.

TABLICA II. CZASY WYKONANIA OPERACJI SYSTEMOWYCH

	CZAS			
	Rozpoczęcia	Formowania	Przetwarzania	Ustalania
D1.01	1	1		
D2.01	2		1	
D3.01	3		1	
D4.01	4		1	
D5.02	6		1	
D6.02	7		1	
D7.03	9		1	
D8.03	10		1	
D9.04	12		1	
D10.04	13		1	
D11.05	15		1	
D12.05	16		1	
D13.06	18		2	
D14.06	22			1

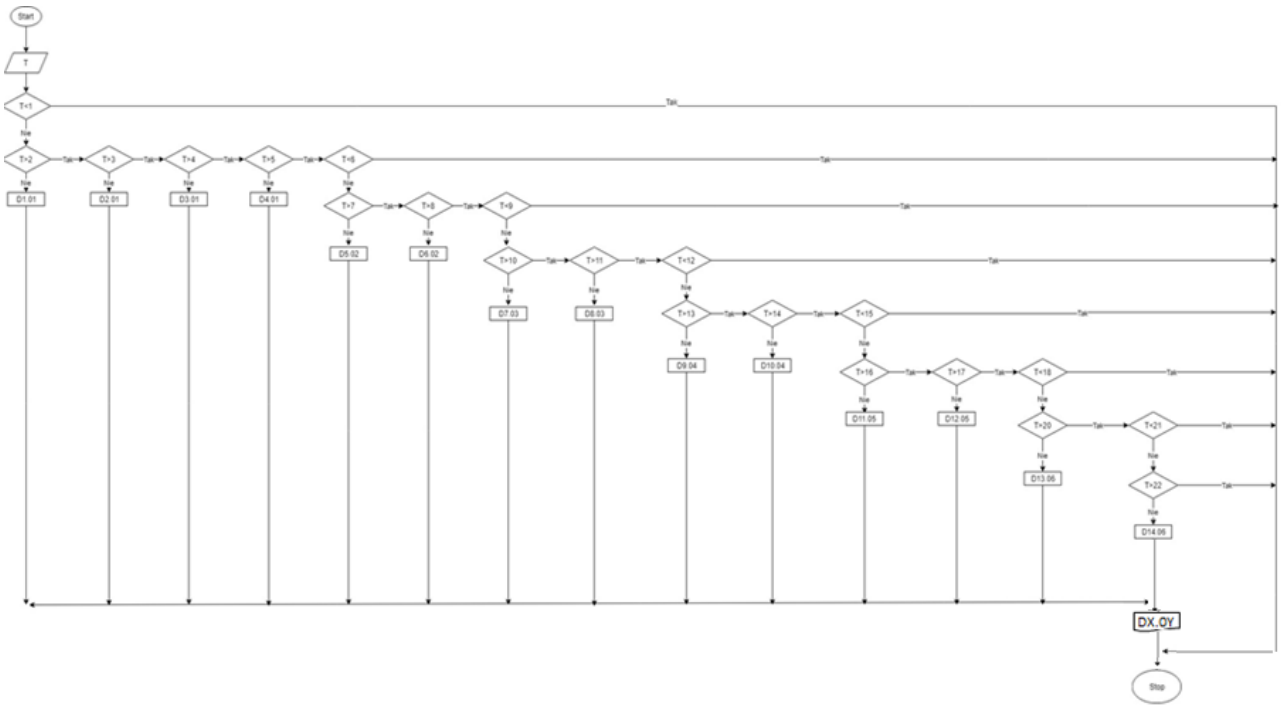
TABLICA III. CZASY PRZEKAZANIA DOKUMENTÓW W SYSTEMIE PRZY WYKONANIU OPERACJI SYSTEMOWYCH

Dokumenty	Czas przekazania dokumentów
D1.01 - D2.01	0
D2.01 - D3.01	0
D3.01 -D4.01	0
D4.01 - D5.02	1
D5.02 - D6.02	0
D6.02 - D7.03	1
D7.03 - D8.03	0
D8.03 -D9.04	1
D9.04 - D10.04	0
D10.04 - D11.05	1
D11.05 - D12.05	0
D12.05 - D13.06	1
D13.06 - D14.06	2



Rys. 2. Model „graf sieciowy” (typu Gantta).

Rys. 3. Model czasowy spójny wykonania operacji systemowych.



Rys. 4.Schemat blokowy algorytmu wykonania operacji systemowych.

III. SYMULACJA PROCESÓW W MODELOWANYM SYSTEMIE

Symulację procesową przeprowadzono za pomocą online programu BPSimulator, znajdującego się na stronie http://www.bpsimulator.com [2]. Poniżej znajduje się model użyty do symulacji (rys. 5) oraz raport z niego wygenerowany (rys. 6). Symulacja pozwoliła oszacować koszty systemu i pokazać średni czas realizacji każdego procesu.

IV. PODSUMOWANIE

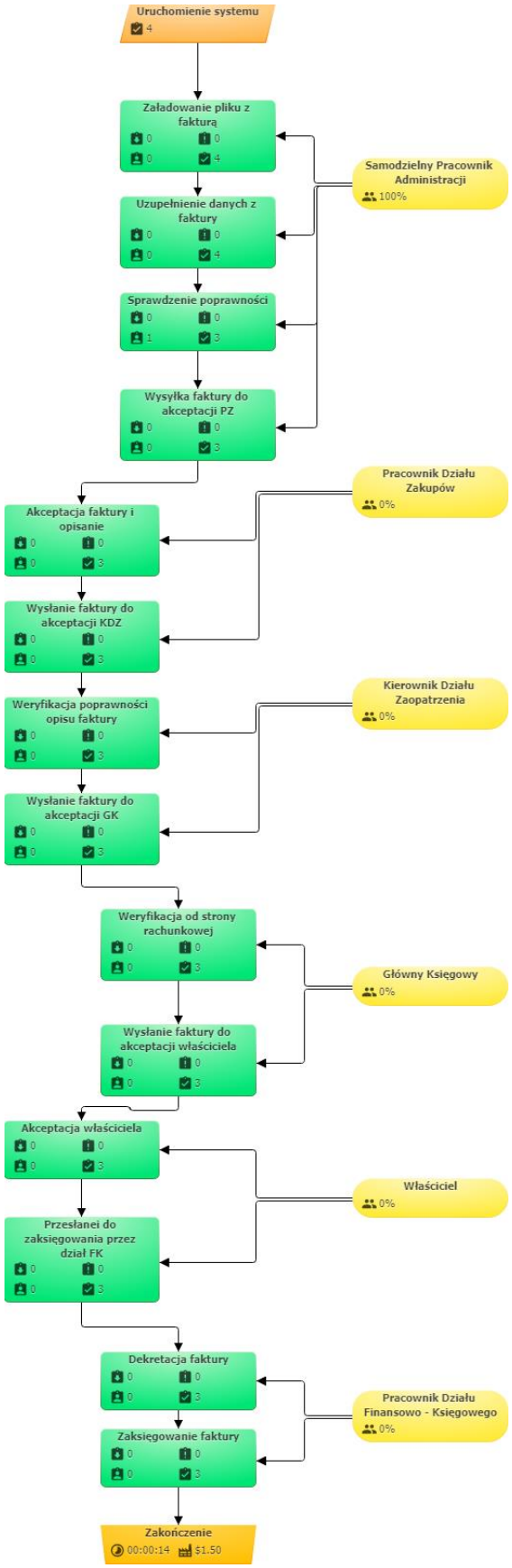
Zarządzanie fakturami kosztowymi wpływa nie tylko na prawidłowy przebieg współpracy z kontrahentami, ale także na efektywne zarządzanie finansami firmy. Wprowadzenie nowego rozwiązania pozwala na ewidencję oraz obieg faktur kosztowych i pozwala oszczędzić czas i pieniądze w przedsiębiorstwie. W oparciu o opracowane metody wizualizacji przebiegu funkcjonowania złożonych systemów zarządzania w warunkach kooperacji sektorowej określono podstawy symulacji, które pozwoliły na predstawienie przebiegu procesów i umożliwiły zarządzanie systemem informacyjnym w czasie rzeczywistym. Wizualizacja procesów zarządzania pozwoliła usunąć barierę psychologiczną i uniknąć wzajemnego nieporozumienia między klientem a twórcą systemów informatycznych a także zmniejszyć koszty opracowywania, wdrażania i obsługi rozproszonych systemów zarządzania. Osiągnięto cel projektu, jakim było modelowanie systemu elektronicznego obiegu faktur zakupowych. Dokonano modelowania systemu na podstawie procesów zachodzących w rzeczywistości. Dzięki wdrożeniu systemu można zoptymalizować koszty, poprawić jakość obsługi oraz zautomatyzować procesy elektronicznego obiegu faktur zakupowych. Wdrożenie opracowanego systemu pozwoliło na usprawnienie wymiany informacji między oddzielnymi jednostkami i przejście na elektroniczny system zarządzania. Wdrażanie zmian w systemie spowodowało wzrost konkurencyjności firmy, a funkcjonalność systemu dostosowano do standardów rynkowych.

LITERATURA REFERENCES

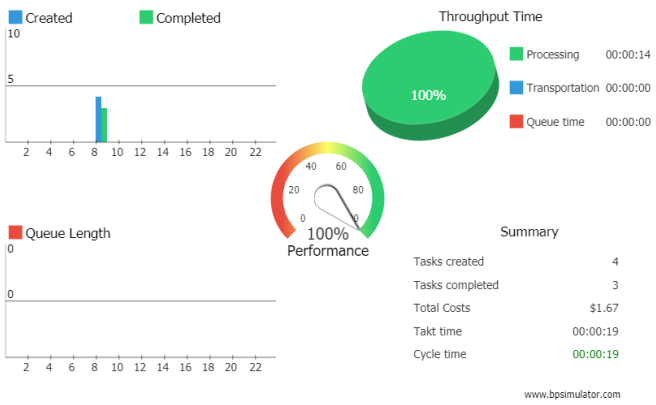
[1] L.Petryshyn, P.Talar, M.Petryshyn, Process Analysis of the Purchase Invoices Electronic Circulation Network Management System. 9th International science and technical conference «Information Systems and Technologies» IST-2020: Kharkiv, November 17-20, 2020. – Kharkiv, KhNURE, 2020, Ukraine. In press.

[2] Л.Петришин, Я.Николайчук, Аналитическое моделирование информационных систем автоматизированного управления – Analytical modeling of infosystems of automated management. / Lyubomyr Petryshyn // Zarządzanie organizacjami w gospodarce rynkowej: X międzynarodowa naukowa konferencja "Zarządzanie przedsiębiorstwem. Teoria i praktyka": Kraków, 22-23 listopada 2007 r. / pod red. Wiesława Waszkielewicza; — Kraków: Wydawnictwa AGH, 2007. — ISBN 978-83-7464-153-1 — S. 268–275. — Bibliogr. s. 338, Abstr.

[3] BP Simulator. [Online]. Available: https://www.bpsimulator.com/run/ july 18, 2020.



Rys. 5. Model symulacji systemu zarządzania.



Rys. 6. Raport symulacji obciążenia informatycznego systemu zarządzania.

Інформаційно-вимірювальна Система з Функціями Різновимірних Пред`явлень Стимулів та Віддаленого Управління

Валентин Лазурик, Микола Стєрвоєдов, Наталя Варламова
Факультет комп'ютерних наук
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
Харків, Україна
mst@karazin.ua, keus@ karazin.ua, natess123@gmail.com

Information Processing System with Functions of Various Presentations of Stimulus and Remote Control

Valentine Lazurik, Nicolay Styervoyedov, Natali Varlamova
Computer science faculty
V. N. Karasin Kharkiv National University
Kharkiv, Ukraine
mst@karazin.ua, keus@karazin.ua, natess123@gmail.com

***Анотація*—Розглянута актуальність розробки спеціалізованих психодіагностичних апаратно-програмних комплексів. Описані системні та технічні вимоги до моделі системи, а також стандартні вимоги до проекту системи в концепції Інтернету речей. Представлена модель інформаційно-вимірювальної системи з функціями різновимірних пред`явлень стимулів та віддаленого управління. Описані функції та функціональні можливості інформаційно-вимірювальної системи.**

***Abstract*—The urgency of development of specialized psychodiagnostic hardware and software complexes is considered. The system and technical requirements for the model are described, as well as the standard requirements for the Internet of Things projects. The model of information-measuring system with functions of various representations of stimuli and remote control is presented. Functions and functionalities of the information-measuring system are described.**

Ключові слова—інформаційно-вимірювальна система; Інтернет речей; мікроконтролер; база даних; хмарний сервер; віддалене управління

Keywords—information and measuring system; Internet of Things; microcontroller; Database; cloud server; remote control

I. Вступ

Вплив функціонального, психологічного та психофізіологічного стану на працездатність людини був науково доведений у XX столітті. Психофізіологічний аспект людини пов'язаний із функціональними резервами і лежить в основі виконання різних типів діяльності, в тому числі у стресогенних ситуаціях, характеристик втомлюваності, діяльності когнітивних процесів, формуванні різноманітних навичок [1, 2, 3]. Саме тому виникає необхідність якісної та оперативної оцінки психофізіологічних показників людини. До того ж, на даний час відомі діагностичні апаратно-програмні комплекси використовують лише двомірні або імітаційні тривимірні пред'явлення стимулів на моніторі, що не є максимально наближеними до реального життя [4, 5, 6].

Слід відмітити, що останні роки широку популярність отримали проекти у сфері Інтернет речей, з функціями віддаленого управління, збору, передачі, зберігання та презентації даних [7, 8].

Тому основною задачею є розробка моделі інформаційно-програмної системи з функціями

двомірного та тривимірного пред'явлення стимулів, віддаленого управління, збору та передачі даних, збереження їх завдяки хмарного серверу та наступного оперування ними.

II. Модель інформаційно-вимірювальної системи

Процес розробки та створення моделі системи передбачає формулювання ряду необхідних системних, технічних, стандартних IoT – вимог.

Системні вимоги передбачають: існування системи як цілісної структури, в якій взаємодії між елементами та зовнішнім середовищем утворюють функціональні характеристики її елементів; можливість розширення її функцій, наприклад, розширення батареї психодіагностичних методик; обов'язкову взаємодію елементів системи; максимальне використання стандартизованих елементів.

IoT-вимоги були сформульовані на основі рекомендації MCE-T Y.2060 і проекту Європейського інтеграційного проекту IoT-A (Internet of Things - Architecture) і стали структурною основою інформаційно-вимірювальної системи [9, 10]. Згідно із цими вимогами, елементи, що містить система, повинні відповідати архітектурним рівням проекту IoT: рівню додатки (сфера застосування), рівню керування, рівню пристрої, шлюзи і мережа, рівню сенсори та актуатори.

Технічні вимоги зобов`язують систему містити мобільний додаток для керування процесом тестування, використання апаратних пристроїв для різномірних пред'явлень сигналів та збору реакцій досліджуваних, використання відповідного мікроконтролеру для керування апаратними пристроями тестування; використання пристроїв для бездротової передачі даних, застосування хмарного сервера та бази даних, програмне забезпечення.

Завдяки цим вимогам була розроблена структура інформаційно-вимірювальної системи, що містить блоки: блоку управління (робоче місце експерта), блоку тестування (стенд для подання досліджуваного людині контрольних стимулів), блоку отримання і передачі даних, блок обробки і зберігання даних [11, 12, 13].

Елементами блоку управління (робоче місце експерта) є мобільний додаток, що завдяки своєму інтерфейсу контактує із ПК. Користувачами цього блоку є як експерт, так і інженер, що контролює процес тестування.

Функціями блоку тестування є проведення процедури діагностування, а саме, пред'явлення стимулів і фіксація реакції завдяки відповідним пристроям та мікроелектроному і програмному забезпеченню.

Пристрої для об'ємного представлення стимулів оснащені матрицями багатобарвних світлодіодів - RGB світлодіодів WS2812B з вбудованим контролером. Такі світлодіоди були признані найкращим варіантом для проведення психодіагностичних досліджень за рядом ознак: розміру, яскравості, споживанню енергії, вартості, відносній простоті підключення.

На рис. 1 представлений розроблений макет LED-куба розміром 8x8x8 із з використанням світло діодів для пред'явлення тривимірних стимулів. Таке пред'явлення стимулів вперше запропоновано, як варіант отримання стимулів максимально наближений до реального. Пристрій для реєстрації реакції людини представлений у вигляді клавіатури (кольорова та чорно-біла), а також мікрофон.

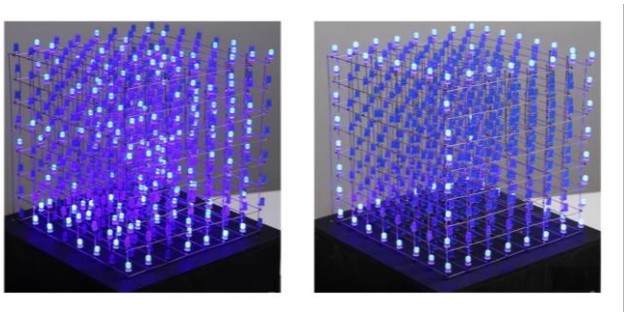


Рис. 1. Макет LED-куба розміром 8x8x8 світлодіодів для пред'явлення тривимірних стимулів.

Завдяки простому послідовному управлінню, є можливість легкого набору панелей будь-якого розміру (Рис. 2), а завдяки багатим бібліотекам - програмування будь-якої комбінації світлових та кольорових стимулів для досліджуваних.

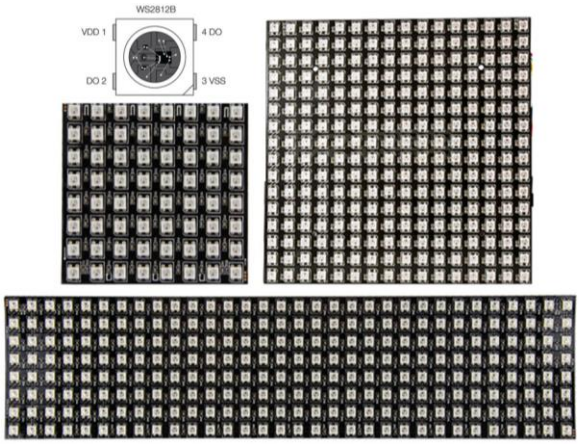


Рис. 2. Двомірні панелі із адресних RGB світлодіодів WS2812B.

Блок отримання і передачі даних містить взаємодіючі між собою наступні компоненти: мікроконтролер STM32F4 на платі STM32F4Discovery [14], WiFi модуль ESP8266, GSM модуль SIM800L, роутер.

Передача даних може здійснюватися завдяки підключенню до мікроконтролера двома способами:

1. Через модуль ESP8266 для безпровідного WiFi-з'єднання з сервером
2. Через модуль SIM800L для GSM / GPRS-зв'язку.

Обидва модулі взаємодіють із мікроконтролером за допомогою АТ-команд, а із глобальною мережею – завдяки стеку TCP / IP.

Протокол MQTT на основі TCP / IP сприяє передачі даних до хмарного серверу Thingspeak, що має свою СУБД [15]. Завдяки принципам роботи протоколу MQTT можливе оперативне отримання інформації про результати тестування(навіть у випадках нестабільної передачі даних) та інтегрування нових пристроїв.

База даних системи передбачає зберігання даних і формування експертної оцінки. Її розроблена структура включає базу даних про кожного досліджуваному – чотири блоки зберігають загальну інформацію про досліджуваного (ПІБ, вік, посаду та ін.), показники відповідно первинно та повторно проведених методик, первинну та експертну оцінки (Рис.3 та Рис.4).

Ко,	Організація	Прізвище	ІПб	Вік	Посада	Ад
1	ООО Атлант	Іванов	Іван Іванович	30	інженер	iv

Рис. 3. Блок загальної інформації про досліджуваного

Код	ПІБ	Методика	Значення1	Значення 2	Значення3	Зн
1	Іванов І.І.	ПЗМР - 1	57	45	56	
2		СЗМР - 1	52	53	55	
3		Реакція розрізнення - 1	98	89	87	

Рис. 4. Блок показників первинно проведених методик

Блок «Експертна оцінка» відповідає за збереження даних, що відповідні поставленій задачі клієнта. Тобто, основні і додаткові показники методик, кількість помилок, коефіцієнті Уиппла, вирогідність виконання необхідного завдання (рівняння Байеса), коефіцієнти парних кореляцій, показники мультіколлінеарності і інші показники залежностей критеріїв випробуваного. Блок остаточної експертної оцінки відповідає інтерпретованим результатам тестування.

III. Висновки

Запропонована модель інформаційно-вимірювальної системи із функціями різновимірних пред'явлень стимулів та віддаленого управління являє собою складний апаратно-програмний комплекс та проект у сфері IoT водночас. Апаратні та програмні компоненти системи спрямовані на психодіагностику людини в реальному часі, передачу даних за допомогою WiFi-з'єднання або GPRS-зв'язку, комфортного збереження та користування даними. Використання методів статистичної обробки результатів направлені на якісну і достовірну діагностику стану людини.

Література References

[1] A.I. Yena, V.V Kal'nish, "Principles of professional psychophysiological selection", *Journal of Hygiene of Labor*, vol. 32, pp.131–144, 2001.

[2] M.A. Popova, I.V. Myl'chenko, A.E. Shcherbakova, R.M. Safin, The functional state of the autonomic and central nervous system in persons engaged in extreme sport [Online]. Available://www.science-education.ru/ru/article/view?id=9240.

[3] V.D. Balin, V.K. Gaida, V.K. Gerbachevsky, Practical work on general, experimental and applied psychology, St. Petersburg: Piter, 2003, 560 p.

[4] M.L. Kochina, A.G. Firsov, "Multifunctional device for psychophysiological research", *Applied radio electronics*, vol. 9, № 2, pp. 260–265, 2010.

[5] Database of patents of Ukraine Available: http://uapatents.com/

[6] T.G. Goryachkina, V.I. Evdokimov, P.M. Shalimov, "Assessment and optimization of the functional state of the human operator: bibliographic index of domestic patents, 1990-2004", Institute of Military Medicine of the Ministry of Defense of the Russian Federation, St. Petersburg: SpetsLit, 2005, 127 p.

[7] Lea P., *Internet of Things for architects*, Moscow: Press, 2019.

[8] P.L. Nikolaev, " The use of cloud technologies in smart home system", *Scientific journal Young Scientist*, 2014, №13, pp. 37-39.

[9] A.V. Roslyakov, S.V. Vanyashin, A.Y. Grebeshkov, *Internet of Things: a study guide*, Samara: PSUTI, 2015.

[10] ITU-T Rec. Y.2060 (06/2012): Overview of the Internet of things [Online]. Available: www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I

[11] N.V. Varlamova, N.G. Styervoyedov, " Hardware - software complex for psychological and professional diagnostics with the remote control function", *Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University*, series Mathematical Modeling. Information Technology. Automated Control Systems, Kharkiv,vol. 38, pp. 25 – 32, 2018.

[12] N.V. Varlamova, V.T. Lazurik, M.G. Styervoyedov, "The model of the hardware-software implementation of the information-visual system for psychophysical and psychophysiological dosages", *Bulletin of Kharkiv National University of V.N. Karazina*, series Mathematical Models. Information technologies. Automated control systems, Kharkov, vol. 44, pp.16-22, 2019.

[13] N.V. Blaginya, P.V. Belichenko, A.V. Mal`tsev, M.M. Khruslov, "Hardware and software in psychology", *Computer modeling in high-tech technologies*, 2014, pp. 22-25.

[14] STM32 32-bit ARM Cortex MCUs. STMicroelectronics [Online]. Available: www.st.com/en/microcontrollers/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html

[15] ThingSpeak [Online]. Available: https://thingspeak.com/

Моделювання Процесів Розвитку Проектних Команд

Надія Калита
кафедра системотехніки,
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
nadiia.kalyta@nure.ua

Світлана Пономарьова
кафедра системотехніки
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
svitlana.ponomarova@nure.ua

Modeling of Project Team Development Processes

Nadiia Kalyta
dept. of System Engineering
Kharkiv National University of
Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
nadiia.kalyta@nure.ua

Svitlana Ponomarova
dept. of System Engineering
Kharkiv National University of
Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
svitlana.ponomarova@nure.ua

***Анотація*—Робота присвячена розробці математичної моделі адаптації проектної команди та вирішенню задачі мотивування її членів до розвитку на основі знання їх мотиваційних установок. Розроблена модель розвитку команди враховує фактори впливу на мотивацію члена команди та необхідну кількість ресурсів для досягнення максимального її рівня.**

***Abstract*—This work is devoted to the development of a mathematical model of adaptation of the project team and solving the problem of motivating its members to develop on the basis of knowledge of their motivational attitudes. The team development model takes into account the factors influencing the motivation of a team member and the necessary amount of resources to achieve its maximum level.**

Ключові слова— IT-проєєкт; проектна команда; адаптація; мотивація; математична модель

Keywords— IT project; project team; adaptation; motivation; mathematical model

I. Вступ

У сфері інформаційних технологій командна форма організації є основним або єдиним типом організації процесу виконання IT-проекту. Життєвий цикл проектної команди складається з взаємозв'язаних стадій: формування команди, розвиток, трансформація або розформування [1]. У загальному випадку задача формування команди розглядаються як задача про призначення, яка охоплює широкий клас оптимізаційних задач від формування складу команди до розподілу обсягів робіт та функцій (професійних ролей) у неоднорідних командах [2]. Більш перспективний підхід для задачі формування команди проекту ґрунтується на компетентнісному підході, враховує не тільки професійні якості претендентів, але й профільні та особистісні [3]. Процеси розвитку та трансформації здійснюються через адаптацію та навчання команди, ефективність яких неможливо забезпечити без урахування мотиваційних установок співробітників, вміння їх формувати і направляти відповідно до нових завдань. Чим довше буде існувати команда, тим вище буде її рівень спрацьованості і професіоналізму, і тим краще і результативніше вона буде діяти не тільки на поточному проекті, а і на наступних, що виключає необхідність розформування команди після закінчення проекту. Згідно сучасної теорії управління людина, як співробітник, є цінним ресурсом організації [4], і від того, наскільки ефективно організований процес його адаптації до нового проекту, залежить і результативність подальшої роботи, і реалізація здібностей співробітника.

Під адаптацією будемо розуміти пристосування членів проектної команди, а саме їх професійних навичок до вимог нового проекту. Зазвичай професійна адаптація здійснюється через участь у різноманітних заходах з підвищення кваліфікації, зокрема, навчання на курсах, тренінгах, участь у хакатонах, тощо. При цьому програма адаптації команди є слабоформалізованою, до уваги не береться ефективність обраного виду навчання та

вмотивованість співробітників. Отже, проблема формалізації процесів планування адаптації проектної команди з урахуванням мотивації є актуальною як з теоретичної, так і практичної точок зору.

II. Математична модель плану адаптації проектної команди

Вирішення питання адаптації проектної команди потребує з'ясування таких питань: кого треба навчати для забезпечення нового проекту потрібними компетентностями, забезпеченість навчання ресурсами (коштами), якими є прийнятні терміни навчання, тобто необхідно скласти план адаптації. При цьому можливо, що не всі співробітники матимуть бажання брати участь у новому проекті і тоді виникає задача їх мотивування на навчання.

Задачу адаптації проектної команди розглянемо в такій постановці [5]. Існує команда $X = \{x_i\}$, $i = \overline{1,n}$ в якій кожен учасник x_i володіє щонайменш однією професійною навичкою, і поточний стан володіння професійними компетентностями описується кортежем $K = \langle k_j(x_i) \rangle$, де $k_j(x_i)$ – рівень знань співробітника x_i за *j*-ю компетентністю, $j = \overline{1,m}$. Рівень необхідних професійних навичок для нового проекту заданий кортежем кількісних значень $K^* = \langle k_j^*(x_i) \rangle$. Для досягнення рівня необхідних навичок треба провести навчання тих співробітників, чий рівень компетентності менше необхідного, тобто $k_j(x_i) < k_j^*(x_i)$, $j = \overline{1,m}$. Для навчання доступна множина заходів z_l, $l = \overline{1,L}$, кожен з яких потребує певних грошових витрат c_{lj} та часу t_{li}, які в залежності від умов проекту можуть бути обмежені граничними значеннями c_j^*, t_j^*. Окрім цього, різні заходи мають різну ефективність або привабливість, тому доцільно обирати з них такий, який має серед фахівців рейтингову оцінку $Pr_l(k_j)$ не меншу допустимого рівня $Pr_l^*(k_j)$, тобто $Pr_l(k_j) \geq Pr_l^*(k_j)$. Потрібно скласти такий план адаптації команди, при якому кожен співробітник буде підготовлений за визначеними компетентностями $K^* = \langle k_j^*(x_i) \rangle$ до нового проекту за визначений час та при мінімальних витратах.

На етапі формування команди проекту її ефективність оцінюється функцією корисності $P(X) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} P_j(x_i)$, де $P_j(x_i)$ – ефективність *i*-го співробітника відповідно певній компетентності *j* [2]. Для кожного члена команди x_i окрема його компетентність має найбільшу важливість або є пріоритетною, а також умовами адаптації може бути обмежена кількість компетентностей, які можна покращити. Для цих випадків застосуємо вагові коефіцієнти a_j, $\sum_{j=1}^{m} a_j = 1$, $0 \leq a_j \leq 1$. Після адаптації ефективність співробітника набуває значення

$$P^*(x_i) = \sum_{j=1} a_j k_j^*(x_i) \quad (1)$$

.

Оскільки ефективність адаптації оцінюється як вартісними, так і функціональними характеристиками, доцільно застосувати в узагальнений критерій виду:

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} E(x_i)}{\sum_{l=1}^{L} c_l} \to max,$$

.

де величина $E(x_i)$ характеризує компетентність працівника в цілому, і якщо рівень достатньо високий, тоді менше потрібно довчитися. Для реалізації вибору заходу z_l введемо булеву змінну γ_l:

$$\gamma_l = \begin{cases} 1, якщо\ обрано\ захід\ l; \\ 0, інакше \end{cases}$$

.

З урахуванням вище зазначеного математична модель визначення оптимального плану адаптації має вид:

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \sum_{l=1}^{L} \gamma_l (P_j^*(x_i) - P_j(x_i))}{\sum_{l=1}^{L} \gamma_l c_{lj}} \to max \quad (2)$$

при обмеженнях:

$$\sum_{l=1}^{L} \gamma_l t_{li} \leq t_j^*, \ \forall j = \overline{1,m} \quad (3)$$

$$\sum_{l=1}^{L} \gamma_l c_{lj} \leq c_j^*, \ \forall j = \overline{1,m} \quad (4)$$

$$\gamma_l \, Pr_l(k_j) \geq Pr_l^*(k_j) \ \forall l = \overline{1,L;} \ \forall j = \overline{1,m.} \quad (5)$$

.

Математична модель (2)-(5) визначає оптимальний план адаптації проектної команди, тобто якого співробітника направити на навчання на певний захід для покращення визначений компетентностей. Слід зазначити, що у формулах (1)-(5) з метою дотримання єдиних інтервалів вимірювання та безрозмірності величин застосовуються нормовані за відомими формулами [6] значення параметрів $k_j^*(x_i)$ і c_{lj}.

III. Опис моделі мотивування

Успіх проведення організацією адаптації і навчання проектної команди базується на мотивуванні її членів до розвитку на основі знання мотиваційних установок, вміння їх формувати і направляти відповідно до завдань, що стоять перед організацією.

Для кожного з членів команди мотивуючи фактори можуть відрізнятися: одні можуть бути більше орієнтовані на змістовність і суспільну значимість праці, інші – на оплату праці та статусні цінності. Як фактори мотивації можуть виступати висока заробітна плата, виплата премій, кар'єрне і професійне зростання, здобуття освіти, розвиток і самовдосконалення, можливість подорожувати, гнучкий графік роботи, страхування життя, визнання в колективі тощо [7].

Задача мотивування вирішується у декілька етапів [8].

Етап 1. Оцінка потреб працівників, які визначають їх робочу поведінку, ставлення до роботи і завдань.

Етап2. Визначення факторів, які впливають на трудову мотивацію працівників.

Етап 3. Вироблення заходів впливу, побудова мотивуючого робочого середовища, яке сприяє високій зацікавленості в кінцевих результатах.

Етап 4. Вплив на трудову мотивацію з урахуванням індивідуальних особливостей працівника, що і є реалізацією завдання управління мотивацією.

Етап 5. Оцінка ефективності обраних заходів впливу та їх коригування в разі необхідності.

Результати виконання перших двох етапів є вхідними даними для виконання третього етапу, який потребує побудови моделі управління мотивацією. На наступних етапах здійснюється управління мотивацією та оцінка результатів управління.

Будемо вважати, що відома множина груп факторів, що впливають на трудову мотивацію $Y = \{y_j\}$, $j = \overline{1,M}$, та початковий рівень мотивації U_{ij}^0 кожного співробітника x_i, який відображає задоволеність важливими для нього життєвими показниками. Очевидно, що будь-яка цілеспрямована зміна рівня задоволеності працівника потребує витрат ресурсів, причому ефект від тієї ж кількості витрат буде різним як для різних факторів мотивації, так і різних працівників. Таку функцію залежності рівня задоволеності *i*-го співробітника від витрат ресурсів на *j*-й фактор мотивації $U_{ij}(r_{ij})$ представимо логістичною функцією S-образного виду

$$U_{ij}(r_{ij}) = 1/(1 + d_{ij}\, exp(-b_{ij} r_{ij}), \qquad (7)$$

яка дозволяє отримати випуклі, увігнуті та майже лінійні функції за допомогою різних значень параметрів d_{ij} та b_{ij}. Така властивість цієї функції важлива для моделювання особистісних характеристик та сприйняття зовнішніх впливів людьми різних психотипів [9].

Використання функції (7) дозволяє вирішувати задачу мотивування у двох постановках:

- визначення необхідної кількості ресурсів r_{ij} для повного задоволення працівників;
- прогнозування зростання вмотивованості працівників за рахунок вкладеної кількості ресурсів r_{ij} у мотивуючі фактори.

IV. Висновки

Запропоновані моделі спрямовані на вирішення задачі розвитку проектної команди шляхом покращення компетентностей працівників, що дозволяє уникнути етапу рекрутингу в ІТ-компанії і вирішує проблему пошуку нових виконавців майбутніх проектів. Запропонований підхід, який ґрунтується на адаптації через навчання та мотивації відповідає сучасним концепціям збереження людських ресурсів компанії, навчання протягом життя, скорочує витрати часу на формування команди проекту. Практичне застосування результатів досліджень потребує подальшого з'ясування питання ідентифікації параметрів, які потрібні для моделювання різних психотипів людей.

Література References

[1] D.A. Novikov, Matematicheskie modeli formirovaniya i funkczionirovaniya komand, M.: Izdatel`stvo fiziko-matematicheskoj literatury, 2008.

[2] N.I. Kalyta, S.V. Ponomarova, "Matematicheskaya model` formirovaniya intellektual`nykh komand", *Problemy informaczionnykh tekhnologij*, no. 2(020), pp. *119-125,* 2016.

[3] S.V. Ponomarova, "Kompetentnistnyj pidxid v upravlinni intelektual`nymy komandamy", in *Radioelektronika i molod` v XXI stolitt:* 20-j Yuvilejnyj Mizhnarodnyj Molodizhnyj Forum: Zb. materialiv forumu: KNURE, Kharkiv, 2016, , vol..6, pp. 332-333.

[4] A.A. Shkunova, S.V. Bulganina, N.V. Yashkova, "Komandoobrazovanie kak sovremennyj metod upravleniya chelovecheskimi resursami v soczial`noj sfere", *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*, vol. 8, no.3, 2016.

[5] N.I. Kalyta, S.V. Ponomarova, "Matematychna model` adaptaciyi intelektual`noyi komandy", *ASU ta prylady avtomatyky, no. 176, pp. 79-83,* 2019.

[6] V.V.Kryuchkovskij, E`.G.Petrov, N.A.Sokolova, V.E.Khodakov, Vvedenie v normativnuyu teoriyu prinyatiya reshenij. Metody i modeli, . Kherson: Grin` D.S., 2013.

[7] E.L. Mordvinova,. I.A. Rostovczeva, "Effektivnoe komandoobrazovanie s pomoshh`yu metodov motivaczii", *Nauka i obrazovanie segodnya,no.5(40),pp*. 45-91, 2019.

[8] S.V Ponomarova , N.I. Kalyta, "Development and research methods of formation and functioning of intellectual team", in Mizhnarodna vesnyana shkola z verifikacziyi ta shtuchnogo intelektu: Zb. stendovikh dopovidej. – Kh., 2018, pp. 50-62.

[9] R Akoff, F. Emeri, O czeleustremlennykh sistemakh, M.: «Sov. radio», 1974.

Багатокритеріальна Оптимізація Топологічних Структур Корпоративних Комп'ютерних Мереж

Володимир Безкоровайний,
кафедра системотехніки,
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
vladimir.beskorovainyi@nure.ua

Володимир Русскін
кафедра інформатики,
Харківська гуманітарно-педагогічна академія
Харків, Україна
v_russkin@ukr.net

Multi Criteria Optimization of Topological Structures of Corporate Computer Networks

Volodymyr Beskorovainyi
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
vladimir.beskorovainyi@nure.ua

Vladimir Russkin
Department of Informatics,
Kharkiv Humanitarian and Pedagogical Academy
Kharkiv, Ukraine
v_russkin@ukr.net

***Анотація*—Розглянуто задачу оптимізації топологічних структур трирівневих централізованих корпоративних комп'ютерних мереж за множиною показників. Запропоновано модифікацію методу спрямованого перебору з використанням адитивної функції загальної корисності.**

***Abstract*—The problem of optimization of topological structures of three-level centralized corporate computer networks on a set of indicators is considered. A modification of the method of directed search using the additive function of general utility is proposed.**

Ключові слова—корпоративна комп'ютерна мережа, топологічна структура, багатокритеріальна оптимізація.

Keywords—corporate computer network, topological structure, multicriteria optimization.

I. Вступ

Процеси оптимізації сучасних корпоративних комп'ютерних мереж (ККМ) передбачають ітераційне розв'язання задач їх структурної, топологічної, параметричної та технологічної оптимізації. Такі задачі мають комбінаторний характер, тісно пов'язані між собою за вхідними і вихідними даними та розв'язуються за множиною функціональних і вартісних показників. Їх спільне розв'язання дозволяє покращувати проектні рішення, проте призводить до проблем обчислювального характеру.

II. Огляд сучасного стану проблеми

Загальна задача вибору найкращого варіанту побудови ККМ може бути подана у вигляді [1]:

$$s^o = arg \max_{s \in S} P(T,R,G,A), \qquad (1)$$

де S - множина допустимих варіантів побудови мережі; P - скалярна оцінка варіанта; T - типи елементів; R - архітектура мережі; G - топологія мережі; A - технологія функціонування мережі.

Для розв'язання задач виду (1) розроблені точні та наближені методи оптимізації за показником витрат [2-3]. Точні методи через високу обчислювальну складність застосовуються у задачах з відносно невеликою кількістю елементів. Точність наближених методів оптимізації, що використовують ідеї спрямованого перебору, може регулюватись у залежності від розмірності задачі та потужності використовуваних обчислювальних засобів [4]. Необхідність підвищення функціональних характеристик існуючих мереж, економії витрат на їх створення й експлуатацію обумовлюють актуальність завдань розробки ефективних методів оптимізації їх топологічних структур за множиною функціональних і вартісних показників.

III. Результати дослідження

За результатами системологічного аналізу задачі (1) виявлено, що архітектура мережі R визначається на множині допустимих варіантів побудови S за множиною часткових критеріїв $k_i(s) \to \underset{s\in S}{extr}$, $i=\overline{1,m}$ (оперативність, надійність, живучість, економічність тощо) з урахуванням типів елементів T, місць їхнього розташування G і технології функціонування A:

$$k_i(s) \to \underset{s\in S}{extr},\ i=\overline{1,m}. \qquad (2)$$

З урахуванням напрямків бажаної зміни характеристик мережі й обмежень, що висуваються до них, задачу (2) подамо у вигляді:

$$\begin{cases} k_1(s) \to \underset{s\in S}{min},\ k_1(s) \le k_1^*, \\ k_2(s) \to \underset{s\in S}{min},\ k_2(s) \le k_2^*, \\ k_3(s) \to \underset{s\in S}{max},\ k_3(s) \ge k_3^*, \\ k_4(s) \to \underset{s\in S}{max},\ k_4(s) \ge k_3^*, \end{cases} \qquad (3)$$

де $k_1^*, k_2^*, k_3^*, k_4^*$ - граничні значення показників витрат на мережу $k_1(s)$, її оперативності (швидкодії) $k_2(s)$, надійності $k_3(s)$ і живучості $k_4(s)$.

Частковими випадками задачі (3) є задачі оптимізації ККМ за одним, двома чи трьома показниками $k_i(s) \to \underset{s\in S}{extr}$ в умовах відповідних обмежень $k_i(s) \le k_i^*$.

Для скалярної оцінки якості варіантів побудови мережі у рамках теорії корисності використаємо адитивну згортку часткових критеріїв [4]:

$$P(s) = \sum_{i=1}^{m} \lambda_i \xi_i(s) \qquad (4)$$

де λ_i, $i=\overline{1,m}$ - вагові коефіцієнти критеріїв $k_i(s)$, $\lambda_i \ge 0$, $\sum_{i=1}^{m} \lambda_i = 1$; $\xi_i(s) = \left(\frac{k_i(s) - k_i^+}{k_i^+ - k_i^-} \right)^{\alpha i}$ - функція корисності часткового критерію $k_i(s)$; α_i - параметр, виду залежності (лінійна, опукла чи вигнута); $k_i(s)$, k_i^+, k_i^- - відповідно поточне, найкраще та найгірше значення часткового критерію k_i, $i=\overline{1,m}$.

Тоді задача вибору найкращого багатокритеріального вибору варіанту побудови ККМ може бути подана у такому вигляді:

$$P(s) = \sum_{i=1}^{m} \lambda_i \xi_i[k_i(s)],\ k_i(s) \ge (\le) k_i^*,\ i=\overline{1,m}. \qquad (5)$$

Для визначення вагових коефіцієнтів адитивної згортки часткових критеріїв (4)-(5) можна скористатись експертними методами чи методом компараторної ідентифікації.

Аналіз залежностей значень часткових критеріїв $k_1(s)$, $k_2(s)$, і $k_4(s)$ від кількості вузлів у мережі u дозволив виявити границі $[1,u_{max}]$ підмножини ефективних варіантів S^E. Значення u_{max} відповідає кількості вузлів мережі, після якого значення всіх часткових критеріїв погіршуються [4].

Пошук найкращого варіанту побудови ККМ у визначених границях кількості вузлів $[1,u_{max}]$ пропонується здійснювати методом спрямованого перебору або еволюційним методом [1, 5].

Еволюційний метод (на відміну від методу спрямованого перебору) реалізується постійний пошук на всій множині можливих значень кількості вузлів $1 \le u \le u_{max}$. За рахунок цього метод набуває переваг за показниками часу розв'язання задачі і точності над методами кластеризації на основі k-means і пошуку з заборонами (Tabu Search) [5].

IV. Висновки

Запропоновано метод розв'язання багатокритеріальної задачі оптимізації топологічних структур централізованих трирівневих ККМ. На відміну від відомих методів, що реалізують повний або спрямований перебір варіантів за кількістю і місцями розміщення вузлів, еволюційний метод здійснює пошук одночасно у всьому діапазоні можливої кількості вузлів. Це дозволяє знизити часову складність процедури пошуку рішень, що є особливо важливим при розв'язані задач великої розмірності. Запропонований метод можна також використовувати при розв'язанні задач оптимізації інформаційних, логістичних мереж, інших територіально чи просторово розподілених систем обслуговування у процесах їхнього проектування, планування розвитку чи реінжинірингу.

Література References

[1] Безкоровайний В., Безугла Г. Еволюційний метод реінжинірингу топологічних структур корпоративних комп'ютерних мереж // "Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання"; матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 18-22 травня 2020 року. Івано-Франківськ: п. Голіней О.М., 2020. С. 161-162.

[2] Nesterenko S.A., Nesterenko J.S. Costs evaluation methodic of energy efficient computer network reengineering // Праці Одеського політехнічного університету. 2016. Вип. 2 (49). 70-75.

[3] Elyasi-Komari I., Mamalis A.G., Lavrynenko S.N. The analysis of tasks of development and reengineering process of reliability computer networks for critical technologies // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. праць НТУ «ХПИ». 2009. №2. С. 17-21.

[4] Бескоровайный В. В., Подоляка К.Е. Выбор многокритериальных решений при реинжиниринге топологических структур систем крупномасштабного мониторинга // Системи обробки інформації. 2016. № 5(142). С. 80-86.

[5] Бескоровайный В. В., Подоляка К.Е. Модификации метода направленного перебора для реинжиниринга топологических структур систем крупномасштабного мониторинга // Радиоэлектр оника и информатика. 2015. № 3 (70). С. 55-62.

Internet Gift Exchange System with Intelligent Decision Subsystem

Yurii Gunchenko
Chair of system software and technologies of distance learning
Odessa I.I. Mechnikov National University
Odessa, Ukraine
gunchenko@onu.edu.ua

Vladyslava Mynenko
Chair of system software and technologies of distance learning
Odessa I.I. Mechnikov National University
Odessa, Ukraine
mynenko.vladyslava@stud.onu.edu.ua

***Abstract*—The paper considers an intelligent decision subsystem on the example of the popular Secret Santa system, in which the main task is to distribute users. Recommendation systems solve the problem of comparing users and objects on the basis of known data. Therefore, the methods of recommendation systems (content filtering method, collaborative filtering method and hybrid method) were analyzed, their advantages and disadvantages were identified. It is shown that all known gift distribution programs have a disadvantage - the distribution is random. Therefore, the purpose of the work is relevant: to increase the efficiency of the process of distribution of users of the Internet gift exchange system by developing an intelligent decision-making subsystem. For the development of the subsystem the method of collaborative filtration is chosen, its modification is offered. It is shown that the developed modification of the method allowed to achieve the set tasks, to solve the main problem of this method, to improve the process of user distribution and to make it rational. After all, analyzing the data of participants from the questionnaire, they are distributed according to similar characteristics.**

Keywords—recommendation systems; internet system; intelligent subsystem; collaborative filtration; content filtering; gift exchange; distribution

I. INTRODUCTION

Nowadays, there is a huge amount of information that is growing every day. This should help with decision-making in any field, but the need to take into account various economic, political, social and other factors significantly complicates the process of choosing the right solution. The rapid increase in the amount of information received and processed leads to significant changes in the methods and techniques of its analysis. It becomes necessary to automate the data processing process and intellectualization of organizational processes, the introduction of effective methods and intelligent decision-making technologies.

Today, it is difficult to imagine a field of activity in which various intelligent devices are not used that simplify a person's work or take on some of his responsibilities. The field of games is no exception. The secret Santa game [1] is widespread all over the world, in which the main task is to distribute users. It is to optimize this process that it is proposed to use an intelligent decision-making subsystem [2, 3]. Its feature is the comparison of one person to another based on user data, their interests and hobbies.

II. OVERVIEW OF DECISION-MAKING METHODS IN RECOMMENDATION SYSTEMS

Recommendation systems solve the problem of comparing users and objects on the basis of known parameters and data. Recommendation systems are a class of decision-making systems that use knowledge of a person's interests and preferences to assess his or her response to the offer of a particular content, product, or service [4]. That is, these are programs that try to predict which objects will be of interest to the user.

There are two basic methods of building recommendation systems (Fig. 1):

- content-based filtering,
- collaborative filtering.

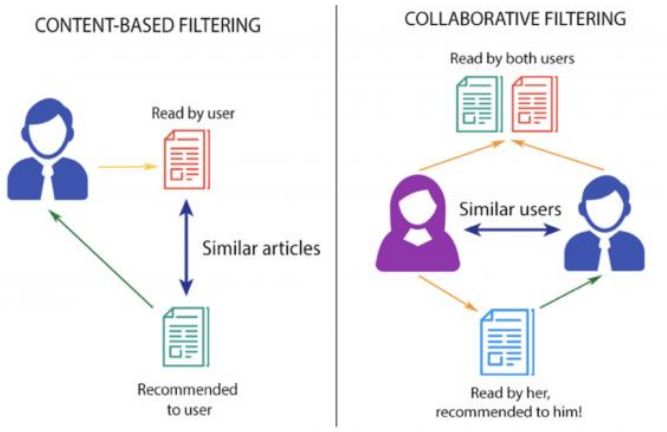


Fig.1. Basic methods of recommendation systems.

Content-based filtering [4] creates user and object profiles. The user is recommended objects similar to those that this user has already rated (Fig. 2). Similarities are assessed by the characteristics of the content of objects. For example, if you watch movies of a certain genre, the system will automatically offer content that is close to that genre in certain positions.

Examples of this type of system are Google Play Music and Pandora Internet Radio. Each song is characterized by a set of different musical characteristics that are used to identify the user's musical preferences. This service gradually adjusts to the user based on his ratings, and eventually plays only those tracks that he likes. Pandora service does not work in Ukraine, but it is very popular in America. Google Play Music is used by many young people both in Ukraine and around the world.

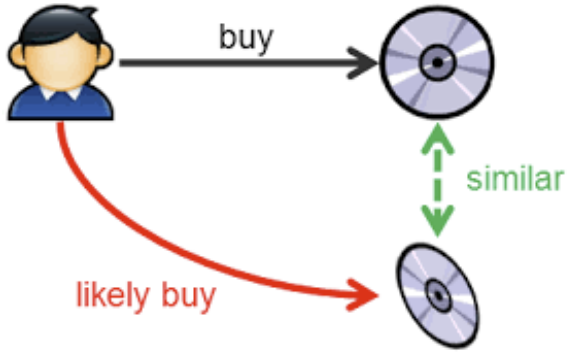


Fig. 2. Example of content filtering.

Collaborative filtering [5] uses information about user behavior in the past, such as information about purchases, preferences, or ratings. In this case, it does not matter what types of objects are being worked with. The main idea of this approach is that users who have equally rated some objects in the past are likely to give similar assessments to other objects in the future (Fig. 3).

Collaborative filtering involves the presence of a matrix of user-object estimates [6]. Next, for each user you need to find the most similar to him (in terms of preferences) neighbors, and fill in the blanks of a particular user, weighing the known estimates of "neighbors". Signs of similarity of one user to others are not always part of this system, as in the previous method. That is, for example, for a music system, user groups can be determined not only on the basis of musical preferences, but also on more general characteristics, such as geographical location, social media profiles and other parameters.

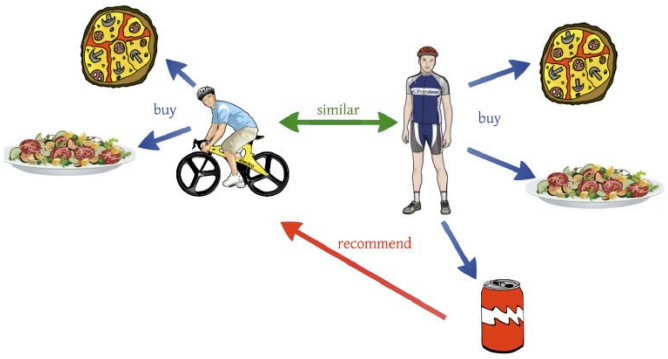


Fig. 3. Example of collaborative filtering.

Examples of collaborative filtering are Netflix, Megogo, Facebook, LinkedIn, Last.fm. Facebook, LinkedIn and other social networks use this method to recommend new friends, vacancies, companies that the user might be interested in (by exploring the connections between the user and his friends). Last.fm creates a "station" of recommended songs based on information about which groups and songs the user regularly listens to, comparing his behavior with the behavior of other users. Last.fm advises songs that are not in the user's library, but which are listened to by users with similar behavior.

There are also hybrid methods that combine the above approaches and use their undocumented innovations. They allow to some extent to avoid the disadvantages and limitations of both approaches. An example of hybrid systems is advertising on social networks (AdSense, Yandex.Direct, Google Ads, etc.).

After analyzing the advantages and disadvantages of the basic methods (Table 1), we can conclude that hybrid systems are the most effective, as they combine the advantages of other methods. But for this task it is better to use the method of collaborative filtering. Since the purpose of the development system is the distribution of users, and objects are not important.

TABLE I. COMPARISON OF BASIC METHODS OF CONSTRUCTION OF RECOMMENDATION SYSTEMS

Method	Advantages	Disadvantages
Content-based filtering	A large user base is not required because the method does not require ratings from other users. There is no problem of "cold start" for new facilities. Ability to recommend not yet rated objects.	Dependence on the subject area. Extended product information is required. The problem of "cold start" for users.
Collaborative filtering	It is considered a universal approach. No detailed information about objects is required. Recommendations do not depend on the content of the service. The quality of user ratings and preferences is used.	The problem of "cold start" for users. A large amount of data is required for high accuracy of forecasts.
Hybrid filtration	There are almost no disadvantages and limitations of both approaches.	The complexity of implementation and support. The problem of "cold start" for users.

There are a large number of programs for the distribution of gifts [7, 8]. But the main disadvantage of all services - they do not have an intelligent decision-making subsystem, the distribution of participants is completely random, which is not effective. These services do not take into account user data, interests, hobbies and other characteristics.

Therefore, the purpose of the work is relevant: to increase the efficiency of the process of distribution of users of the Internet gift exchange system by developing an intelligent decision-making subsystem. Such an Internet system should streamline the process of exchanging gifts between acquaintances or in a group of strangers on any occasion, taking into account the preferences of users, which will make the exchange more rational.

III. Collaborative filtration method and its modification

To achieve this goal, the method of collaborative filtering was chosen, which was modified for the task of exchanging gifts.

The main problem with the collaborative filtering method is the "cold start" for users - the lack of data about users who have recently appeared in the system and for whom there is no history of their purchases, ratings, reviews, etc. This problem will be solved by filling out a questionnaire at registration.

Users fill in information about themselves such as: gender, age, interests and hobbies. The more similarities between two users, the more likely it is that their other preferences will coincide. That is, you can compare each other. It turns out that we "recommend" to the user not a product, movie, music, but another user who will make him a gift.

Algorithm of work:

1) The person is registered in the application, indicates his data.

2) A matrix is created, where rows are users, and columns - their data.

3) For each user, the distance to other users is calculated using similarity measures (Cosine measure, Pearson correlation coefficient, Euclidean distance, Tanimoto coefficient). The results are written to a new matrix that specifies the similarities between them. That is, both rows and columns are users, and elements are the distances between them.

4) For each user you need to find the most similar to him. Zero - means that users are as similar as possible. You must have only one selected zero in each column and row.

4.1) On the diagonal will be the distance of users to themselves, and this is 0. To avoid a situation where the user is compared to himself, the diagonal is prescribed as large numbers as possible or null.

4.2) Subtract from each line the value of its minimum element. Now there is at least one zero element in each line. Sometimes zeros are enough to make a distribution.

4.3) If at least one column does not have zero elements, the distribution is impossible. In such cases, we repeat step 4.2 for columns. We check.

4.4) Delete rows and columns that contain zero elements. The number of strikeouts should be kept to a minimum.

4.5) Of the other elements of the matrix we find the smallest. Subtract it from all uncrossed rows and add to all elements at the intersection of crossed out rows and columns. Repeat the procedure (steps 4.1-4.5) until the distribution is possible.

4.6) If there are several options for selecting zeros, the minimum path is calculated and selected (the sum of the distances that stand in the initial matrix in place of the selected zeros).

5) Next is the distribution of users. Everyone receives the participant's data to send him a gift.

IV. Experimental part

An experiment for a random group of 5 people on some set of 10 questions.

1) User1 - User5 fill in the questionnaire:

- Age
- Become
- What sport would you prefer? (football / basketball / dancing / boxing / tennis)
- What genre of film would you prefer? (comedy / melodrama / action / detective / thriller)
- What occupation would you choose? (hunting / fishing / mushroom picking)
- Which literary genre would you prefer? (novel / fiction / detective)
- Which tourism would you prefer? (cultural-cognitive / active / recreational)
- What style of dance is closer to you? (ballroom dancing / contemp / hip-hop)
- Which games would you prefer? (computer games / board games / intellectual games)
- What genre of music is closer to you? (pop / jazz / rock)

2) A matrix is created:

$$\begin{pmatrix} 12 & 0 & 2 & 4 & 0 & 2 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 25 & 1 & 0 & 1 & 2 & 0 & 1 & 2 & 1 & 0 \\ 18 & 0 & 3 & 0 & 1 & 1 & 2 & 0 & 1 & 2 \\ 21 & 1 & 4 & 2 & 0 & 2 & 2 & 1 & 0 & 1 \\ 30 & 0 & 1 & 3 & 1 & 1 & 0 & 2 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

3) For users, the similarity with others is calculated using the Euclidean distance.

4) Search for the most similar user for everyone:

4.1) Large numbers are written on the diagonal.

$$\begin{pmatrix} \infty & 14{,}036 & 8 & 10 & 18{,}248 \\ 14{,}036 & \infty & 8{,}426 & 6{,}708 & 6 \\ 8 & 8{,}426 & \infty & 4{,}472 & 12{,}923 \\ 10 & 6{,}708 & 4{,}472 & \infty & 10{,}149 \\ 18{,}248 & 6 & 12{,}923 & 10{,}149 & \infty \end{pmatrix}$$

4.2) Subtract min from each line element.

$$\begin{pmatrix} \infty & 6{,}036 & 0 & 2 & 10{,}248 \\ 8{,}036 & \infty & 2{,}426 & 0{,}708 & 0 \\ 3{,}528 & 3{,}954 & \infty & 0 & 8{,}451 \\ 5{,}528 & 2{,}236 & 0 & \infty & 5{,}677 \\ 12{,}248 & 0 & 6{,}923 & 4{,}149 & \infty \end{pmatrix}$$

4.3) Repeat the step for the columns.

$$\begin{pmatrix} \infty & 6{,}036 & 0 & 2 & 10{,}248 \\ 4{,}508 & \infty & 2{,}426 & 0{,}708 & 0 \\ 0 & 3{,}954 & \infty & 0 & 8{,}451 \\ 2 & 2{,}236 & 0 & \infty & 5{,}677 \\ 8{,}72 & 0 & 6{,}923 & 4{,}149 & \infty \end{pmatrix}$$

4.4) Delete rows and columns with zeros.

$$\begin{pmatrix} \infty & 6{,}036 & 0 & 2 & 10{,}248 \\ 4{,}508 & \infty & 2{,}426 & 0{,}708 & 0 \\ 0 & 3{,}954 & \infty & 0 & 8{,}451 \\ 2 & 2{,}236 & 0 & \infty & 5{,}677 \\ 8{,}72 & 0 & 6{,}923 & 4{,}149 & \infty \end{pmatrix}$$

4.5) Subtract the smallest element from the uncrossed lines (min=2) and add to the elements at the intersection.

$$\begin{pmatrix} \infty & 6{,}036 & 0 & 0 & 8{,}248 \\ 4{,}508 & \infty & 4{,}426 & 0{,}708 & 0 \\ 0 & 5{,}954 & \infty & 0 & 8{,}451 \\ 0 & 2{,}236 & 0 & \infty & 3{,}677 \\ 6{,}72 & 0 & 6{,}923 & 2{,}149 & \infty \end{pmatrix}$$

4.6) It is seen that there are several options for choosing zeros.

Path 1: (U1;U3), (U2;U5), (U3;U4), (U4;U1), (U5;U2).

L1 = 8 + 6 + 4.472 + 10 + 6 = 34.472

Path 2: (U1;U4), (U2;U5), (U3;U1), (U4;U3), (U5;U2).

L2 = 10 + 6 + 8 + 4.472 + 6 = 34.472

5)User1 makes a gift User4, User2 – User5, User3 – User1, User4 – User3, User5 – User2.

CONCLUSIONS

Recommendation systems solve the problem of comparing users and objects on the basis of known parameters and data. The methods of recommendation systems were analyzed in the work. The method of collaborative filtering is chosen and a modification of the method is proposed. It is shown that the developed modification of the method allowed to achieve the set tasks, to solve the main problem of this method, to improve and increase the efficiency of the process of distribution of users of the Internet gift exchange system.

After all, analyzing the data of participants from the questionnaire, taking into account their preferences, the distribution was no longer random, but rational. Thanks to this, participants can choose a more relevant and necessary gift.

REFERENCES

[1] Secret Santa [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Secret_Santa.

[2] Интеллектуальная система [[Online]. Available: https://ru.wikipedia.org/wiki/Интеллектуальная_система.

[3] Косяков А., Свит У., Системная инженерия. Принципы и практика. Пер. с англ. под ред. В. К. Батоврина.– М.: ДМК Пресс,2014. – 624 с.

[4] Recommender Systems Handbook / Ricci F., Rokach L. and Shapira B (Eds.). - Springer, 2011. – 842 P.

[5] Sarwar B., Karypis G., Konstan J., and Riedl J. Item-Based Collaborative Filtering Recommendation Algorithms (англ.) // University of Minnesota, Minneapolis : Материалы конф. / WWW10, Hong Kong, May 1-5, 2001. — 2001. — P. 285-295.

[6] Королева Д.Е., Филиппов М.В. Анализ алгоритмов обучения коллаборативных рекомендательных систем. Инженерный журнал: наука и инновации, 2013, вып. 6. [Online]. Available: http://engjournal.ru/catalog/it/hidden/816.html.

[7] Крупнейшая акция по обмену подарками. [Online]. Available: https://www.gazeta.ru/tech/2016/12/23/10445273/secret_santa_2016.shtml.

[8] 5 секретных приложений Санта-Клауса и идеи для обмена великолепными подарками. [Online]. Available: http://helpexe.ru/internet/5-sekretnyh-prilozhenij-santa-klausa-i-idei-dlja.

Проблемы Формирования Репрезентативной Выборки для Выделения Значимых Признаков COVID-19

Юрий Мищеряков
кафедра системотехники
Харьковский Национальный Университет Радиоэлектроники
Харьков, Украина
iurii.mishcheriakov@nure.ua

Дмитрий Ситников
кафедра системотехники
Харьковский Национальный Университет Радиоэлектроники
Харьков, Украина
dmytro.sytnikov@nure.ua

Михаил Ищенко
кафедра системотехники
Харьковский Национальный Университет Радиоэлектроники
Харьков, Украина
mykhailo.ishchenko@nure.ua

Александр Украинец
кафедра системотехники
Харьковский Национальный Университет Радиоэлектроники
Харьков, Украина
oleksandr.ukrainets@nure.ua

Problems of Forming a Representative Sample to Highlight Significant Signs of COVID-19

Iurii Mishcheriakov
dep. of Systems Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
iurii.mishcheriakov@nure.ua

Dmytro Sytnikov
dep. of Systems Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
dmytro.sytnikov@nure.ua

Mykhailo Ishchenko
dep. of Systems Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
mykhailo.ishchenko@nure.ua

Oleksandr Ukrainets
dep. of Artificial Intelligence
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
oleksandr.ukrainets@nure.ua

***Аннотация*—В данной работе анализируется проблема формирования информативных и репрезентативных выборок, на основе которых можно моделировать распространение вируса Covid-19. Особое внимание уделяется качеству данных и техническим аспектам их обработки, а также специфике тестирования.**

***Abstract*—In this work the problem of forming informative and representative samples is analyzed. Such sample can be used for Covid-19 distribution modelling. Special attention is paid to data quality, technical. aspects of data processing, and peculiarities of testing.**

Ключевые слова—Covid-19, репрезентативная выборка, моделирование, тестирование

Keywords— Covid-19, representative sample, modelling, testing

I. Введение

Репрезентативная выборка должна включать в себя прогнозные переменые и дополнительные параметры, влияющие на них. Выбор прогнозных переменных и дополнительных параметров зависит от цели. Допустим, необходимо спрогнозировать заболеваемость (заражение) и смертность в условиях пандемии COVID-19 в

зависимости от других факторов. Тогда прогнозными переменными будут «случаи заболевания» и «смертность». В качестве влияющих переменных может выступать огромное число факторов, таких как пол, возраст, расовая или этническая принадлежность, погодные условия, введенные властями ограничения в соответствующем регионе и многие другие. Выбор таких факторов зависит не только от цели моделирования, но и наличия статистических данных.

II. Основная часть

Одним из основных критериев качества выборки является её достаточность для выявления тенденций. По пандемии COVID-19, во многих странах, данные представлены с марта 2020 года и в основном в агрегированном виде, что является небольшой выборкой. Одним из способов увеличения объемов выборки это привязка по территориальному признаку в рамках страны, когда данные собираются с указанием места их получения. При этом одим из важнейших факторов, является одинаковость интерпретации собираемых данных. Здесь примером может быть выявление случаев одними и теми же методами во всех источниках данных.

Международные источники данных, такие как “European Centre for Disease Prevention and Control” [1], “The Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME)” [2], “Our World in Data” [3, 4], “Johns Hopkins University” [5] [6] и другие, основными свойствами выделяют «случаи заболеваний» и «смертность» в привязке к стране, а для некоторых стран с привязкой к округу. Сопутствующие характеристики, такие как, например, распределение заболеваемости и смертности по возрастным категориям – отсутствуют. Информацию о таких характеристиках можно попытаться получить из официальных открытых источников конкретной страны. Например, США ведёт статистику заболеваемости также с учетом возрастных категорий и этнических признаков, однако если данные по заболеваемости и смертности предоставляются с учётом георасположения, то распределение по возрастным категориям и этническим признакам предоставляется без какой либо географической привязки. Таким образом, выявить влияние на различные возрастные категории введенных в регионе ограничений не представляется возможным.

Что касается Украины, то основными и, по-видимому, единственными источниками данных, являются «Центр громадського здоров’я України» [7] предоставляет данные в формате Excel и сайт Кабинета Министров Украины [8], предоставляет данные в формат csv. Данные на них совпадают. Представлено распределение с учётом разных видов тестирования (ПЦР, ИФА), а также распределение по типам реакции (IgA, IgM, IgG). При этом данные распределения по возрастным категориям в источнике не представлены, однако на дашборде представлены только агрегированные данные за весь период в процентном соотношении. Как и в предыдущем случае провести вышеуказанный анализ невозможно.

A. Качество представления исходных данных

Большое значение имеет человеческий фактор. Один из аспектов — это ввод текстовых характеристик, в частности, название расового / этнического признака. По данному признаку ярким примером может служить центр CDC, как один из основных источников данных США. С течением времени название одного и того же значения можен изменяться. Если рассмотреть данные в формате csv, предоставляемые Украиной, то названия лабораторий и названия столбцов могут содержать недопустимые символы, такие как перевод строки. Это всё требует дополнительной предобработки и тщательного контроля, перед внесением в БД.

B. Технические аспекты обработки исходных данных

Здесь существует множество факторов, затрудняющих внесение и дальнеёшую обработку данных. К ним следует отнести: различные форматы представления дат и чисел, человеческий фактор, внесение единиц измерения непосредственно в значение. Часто встречаются случаи, когда категориальные характеристики представлены как строки, а не как столбцы, т.е. для каждой даты будет содержаться несколько строк, каждая из которых соответстует своему категориальному значению. Иногда это выгодно, когда необходимо провести фильтрацию, но чаще всего, необходимо проводить транспонирование таких данных.

FIPS Code	Indicator	Total deaths	COVID-19 Deaths	Non-Hispanic White
1003	Distribution of all-cause deaths (%)	2009	104	0.897
1003	Distribution of COVID-19 deaths (%)	2009	104	0.808
1003	Distribution of population (%)	2009	104	0.832

Рис. 5. Категориальные характеристики в строках

C. Тесты

В данный момент в мире существует большое количество способов обнаружения коронавируса или остатков его деятельности в организме человека. Каждый тест имеет свои недостатки, будь то экономические или точностные, на которые предельно важно обратить внимание. У тестов зачастую имеется два параметра, отвечающих за точность определения, болен ли человек, и точность определения здоров ли человек, чувствительность и специфичность соответственно.

Например, рассмотрим население в 1 миллион человек. Если мы предположим, что 15% инфицированы SARS-CoV-2, то будет 150 000 инфицированных и 850 000 неинфицированных. В этом случае сделаем серологический тест для всех в населении. Тест имеет чувствительность 95%. Это означает, что тест точно даст положительный результат для 95% инфицированных людей - и специфичность 95%, что означает, что тест точно даст отрицательный результат для 95% неинфицированных людей. В этом примере мы также предполагаем, что наличие антител означает, что человек невосприимчив к инфекции SARS-CoV-2.

Исходя из этих условий, 185 000 человек будут иметь положительный результат теста; 142 500 будут истинно положительными, а 42 500 (23%) из них будут ложными.

Эти 42 500 человек получат положительный результат теста, но по-прежнему будут подвержены инфекции SARS-CoV-2. Таким образом, из 185 000 человек, считающих себя защищенными, 23% остаются уязвимыми.

Кроме того, 815 000 человек получат отрицательные результаты тестов, но 7 500 из них будут ложноотрицательными; это люди, которые, как считается, не имеют антител, но которые, возможно, уже были инфицированы и избавились от болезни. В целом, хотя общая точность высока (95%), и 95% всего населения получат точные результаты, как положительные, так и отрицательные, функционально из тех, у кого есть положительный результат теста и предполагаемый иммунитет, 23% все еще подвержены этому заболеванию – почти каждый четвертый. Только 77% положительных результатов будут точными – это прогностическая ценность положительного результата теста. Понимание ограничений теста имеет решающее значение для использования его в качестве инструмента для принятия политических или операционных решений.

Таким образом, последствия ошибок тестирования - ложноположительный или ложноотрицательный тесты не эквивалентны. Ложноположительный результат может помешать человеку вернуться к работе; ложноотрицательный может привести к цепочке эпидемии.

Также стоит помимо, непосредственно, тестирования отметить одну из значительных частей влияющих на точность результата, а именно, временной промежуток взятия теста. В зависимости от времени мы можем получить как очень точный результат (100%), так и не очень точный (<50%) пользуясь одним и тем же тестом.

Результаты тестирования изначально находятся в лабораториях или других медицинских учреждениях, поэтому будет резонно перейти непосредственно к ним.

Существует огромное количество лабораторий, как частных, так и государственных. По умолчанию доверительная доля больше у государственных лабораторий, так как их контролирует государство соответствующими механизмами. В случае же с частными, всё может быть немного иначе, об этом стоит помнить, однако их доверительную долю также можно поднять, добавив механизм проверки результатов с некоторой периодичностью. Помимо доверительной доли по умолчанию, стоит рассмотреть точность тестов, проводимых лабораторией, в случае если 100% тестов были выполнены с маленькой точностью (<50-60%), не следует сильно доверять результатам, несмотря на то что лаборатория выполнила всё по технологии и нигде не ошиблась. После лабораторий информацию о тестах собирает непосредственно государство.

ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

[1] Download COVID-19 datasets “European Centre for Disease Prevention and Control” [Online]. Available: https://www.ecdc.europa.eu/en/covid-19/data

[2] COVID-19 resources “The Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME)” [Online]. Available: http://www.healthdata.org/covid

[3] Coronavirus (COVID-19) Testing “Our World in Data” [Online]. Available: https://ourworldindata.org/coronavirus-testing

[4] Hannah Ritchie, Esteban Ortiz-Ospina, Diana Beltekian, Edouard Mathieu, Joe Hasell, Bobbie Macdonald, Charlie Giattino, and Max Roser. A cross-country database of COVID-19 testing. Sci Data 7, 345 (2020)

[5] COVID-19 Data Repository by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University" url: https://github.com/CSSEGISandData/COVID-19

[6] Dong E, Du H, Gardner L. An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time. Lancet Inf Dis. 20(5):533-534. doi: 10.1016/S1473-3099(20)30120-1

[7] Коронавірусна інфекція COVID-19. “Центр громадського здоров’я Міністерства охорони здоров’я України” url: https://phc.org.ua/kontrol-zakhvoryuvan/inshi-infekciyni-zakhvoryuvannya/koronavirusna-infekciya-covid-19

[8] Аналітичні панелі та відкриті дані. Відкриті дані. “Кабінет Міністрів України” url: https://covid19.gov.ua/analitichni-paneli-dashbordy

Секція 2.
Математичне та комп’ютерне моделювання у інформаційних системах.

Section 2.
Mathematical and computer modeling in information systems.

Stochastic Model of Operating Modes of a Group of Artesian Wells in Water Supply Systems

Andriy Tevyashev
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
tad45ua@gmail.com

Olga Matviyenko
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
olga_mat@ukr.net

Glib Nikitenko
Deputy director
Department of Information Technology Municipal Enterprise «KharkivVodokanal»
Kharkiv, Ukraine
gvnikitenko@gmail.com

Eugen Kun
Director of «THERMICA» LLC
«Wasserkraft Buro» LLC
«Geron Group» LLC
Kyiv, Ukraine
y.kun@interprojektgmbh.com.ua

Olha Kun
Hydraulic engineer
«INTERPROJEKT GMBH» LLC
Kyiv, Ukraine
ola_kun@interprojektgmbh.com.ua

Roman Ilyik
General Director of the Regional Communal Production Enterprise «Dnipro-Kirovohrad»
Kropyvnytskyi, Ukraine
zv@dnipro-kirovograd.com.ua

***Abstract*—This work is about development of a stochastic model and a method of modeling of the operating modes of a group of artesian wells.**

Keywords—artesian well, water supply system, optimization, stochastic model.

I. INTRODUCTION

Water supply of large cities is arranged, as a rule, from open reservoirs - lakes, water reservoirs, large rivers, that is, from sources with significant water supplies. In this case, the water supply scheme includes: pumping stations of the first lift, which take water directly from the reservoir; water treatment system (cleaning); pumping stations of the second and third lift, pumping clean water at considerable distances and supplying it to urban settlements [1].

If the urban settlement is located in an area where there are no large open water sources, or the geographical location of the urban settlement allows the use of groundwater, in this case artesian wells are used as a source of water supply.

Usually small urban settlements are supplied with water from artesian wells. Artesian wells are widely used for the water supply of villages, industrial water supply, for irigation (watering systems), in the mining industry, to reduce the level of groundwater. The advantage of using artesian wells to supply residents with drinking water is that water is taken from great depths and treated using natural filters [2]. Thus, costs of water treatment are significantly reduced. The disadvantage of using artesian wells is usually low well productivity, strong dependence of water volumes in the well on climatic and weather conditions, depletion of wells as a result of large construction or depositing natural resources, for example, shale gas [3].

II. WATER INTAKE WELLS

Individual water intake wells are widely used in private domestic facilities. The productivity of some wells becomes insufficient to supply water to urban settlements, so in water supply systems there used groups (clusters) of spatially distributed wells, combined with each other with sections of pipelines (common manifold), which supply water to the clean water reservoir (CWR). The group of wells together with the CWR is called the water intake unit (WIU) of the water supply system (WSS). After that water is supplied to consumers into urban settlements from the CWR with pumping stations (PS) of the second lift.

The mode of operation of the pump unit (PU), that is, the position of the working point at every point in time, in each well depends on the actual values of many internal and external factors: dynamic water level in the well; actual characteristics of the PU; position of control units (drive revolutions, degree of opening of the control valve); hydraulic resistance values of WIW pipelines; water level in the CWR; number and operating modes of PU in other WIW wells [4], [5].

The water intake well is shown on Fig. 1.

The following names are used in Fig. 1: CWR – clean water reservoir, SPU – submersible pumping unit, CP – centrifugal pump, SEM – submersible electrical motor; lSPU – SPU length, CV – control valve; geodetic marks

according to: neck (ground level) of water intake well – h_w^g; CP – h_{CP}^g; CWR – h_R^g; depths of well – h_w; depth of SPU submersion (installation) – h_{SPU}; pressure values: at the output (neck) of water intake well – H_w; pressure developed by CP – H_{CP}; water levels: in CWR – H_{CWR}; static level in well (when water intake is at zero level) – H_{st}; dynamic level in well (when water intake is nominal) – H_{dyn}; CP support level – H_{CP}^s.

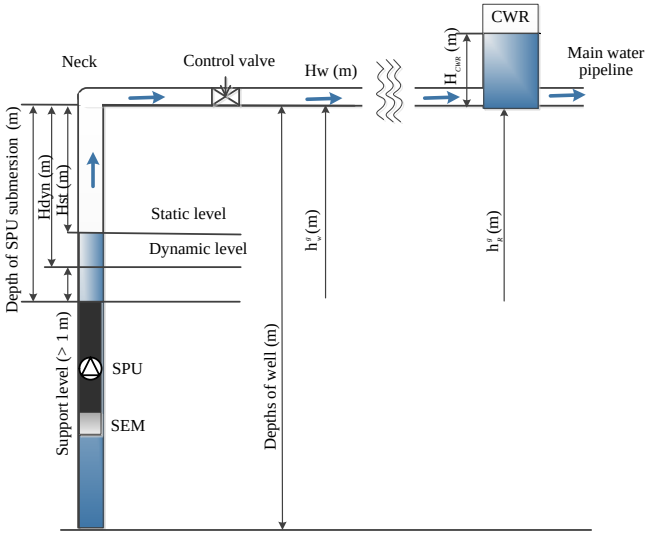


Fig. 1. Scheme of SPU installation into the water intake well

III. Deterministic mathematical model of water intake well

When creating the deterministic mathematical model of the water intake well, it is assumed that all parameters of the water intake well are a priorily known. This allows to determine the model of the water intake well operation in the form of an interdependent system of algebraic equations of the following type:

CP geodetic mark:

$$h_{CP}^g = h_w^g - h_{SPU}^g - 0.5 l_{SPU}. \quad (1)$$

CP support value:

$$H_{CP}^s = h_{CP}^g - H_{dyn}. \quad (2)$$

Pressure made by CP:

$$H_{CP}(Q) = a_0 + a_1 Q + a_2 Q^2. \quad (3)$$

CP capacity losses:

$$N_{CP}(Q) = c_0 + c_1 Q + c_2 Q^2. \quad (4)$$

C3 performance coefficient:

$$\eta_{CP}(Q) = d_0 + d_1 Q + d_2 Q^2, \quad (5)$$

where Q – water consumption via CP, $a_0, a_1, a_2, c_0, c_1, c_2, d_0, d_1, d_2$ – numerous values of CP parameters. H pressure loss in the pipeline area $H=H(Q)$ is expressed with:

$$H(Q) = sgn(Q) \cdot \phi \cdot |Q|^{\chi}, \quad (6)$$

where Q – water consumption on the pipeline area [m^3/s]; sgn(Q) – Q symbol; $\phi > 0$ – hydraulic resistance of the pipeline area; $\chi > 1$ – non-linearity factor.

H pressure loss on CV has the following view:

$$H_v = \frac{C}{E_v^2} \operatorname{sgn}(Q) \cdot |Q|, \quad (7)$$

where C – equivalent CV hydraulic resistance in the «open» position; E_v [0,1] – degree of CV opening, where 1 is in the «open» position; 0 is in the «closed» position.

If the value of water consumption via CP is known, then the pressure value at the output (neck) of the well is expressed in the following way:

$$H_w = H_{CP}^s + H_{CP} - H - H_v. \quad (8)$$

Also ratios are present:

$$H_{CP}^s \geq 1 \text{ m}, \quad (9)$$

$$H_{st} \leq H_{dyn} \leq h_{SPU}. \quad (10)$$

Stochastic mathematical model Water consumption processes are stochastic processes, as they depend on many uncontrolled and unmanageable factors. Parameters of WIU technological equipment are also stochastic values, as they are evaluated according to experimental data of the final length [6]. To create stohastic models of technological elements of WIU we will introduce a number of symbols: let (Ω, B, P) – Cartesian product of probability spaces (Ω_i, B_i, P_i), $i = 1,2,...,n$, $\Omega = \Omega_1 \times \Omega_2 \times ... \times \Omega_n$, $B = B_1 \times B_2 \times ... \times B_n$, $P = P_1 \times P_2 \times ... \times P_n$, where Ω_i – probability spaces; B_i – σ-algebra of events with Ω_i; P_i – probability measures on B_i). Then the stochastic model of the water intake well has the following view:

$$H_v(\omega) = H_{CP}^s(\omega) + H_{CP}(\omega) - H(\omega) - H_v(\omega). \quad (11)$$

$$H_{CP}(Q(\omega)) = a_0(\omega) + a_1(\omega) Q(\omega) + a_2(\omega) Q^2(\omega). \quad (12)$$

$$H\left(Q(\omega)\right)=\operatorname{sgn}(Q)\cdot\phi(\omega)\cdot\left|Q(\omega)\right|^{\chi}. \quad (13)$$

$$H_v(\omega)=\frac{C(\omega)}{E_v^2}\operatorname{sgn}(Q)\cdot\left|Q(\omega)\right|. \quad (14)$$

$$H_{CP}^{s}(\omega)=h_{CP}^{g}(\omega)-H_{dyn}(\omega). \quad (15)$$

IV. WIU STOHASTIC MATHEMATICAL MODEL

In mathematical modeling and optimization of WIU operation modes, we will use a stochastic model of quasi-stationary WIU modes.

Let us review WIU with n artesian wells (Fig. 2).

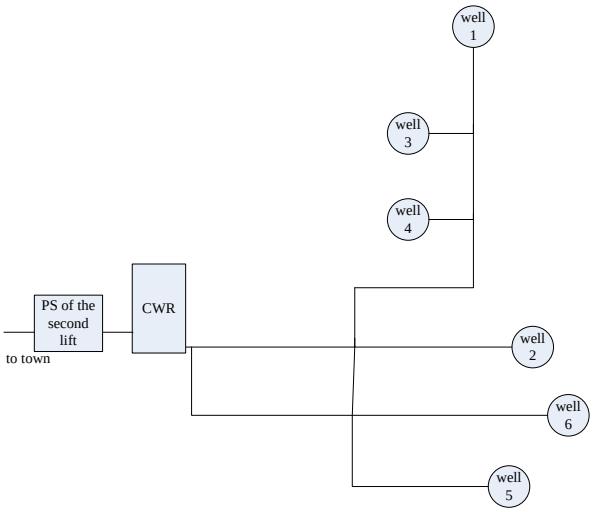


Fig. 2. WIU scheme

The real WIU is put in line with the indicative graph reflecting its structure.

We will present the WIU structure in the form of an orgraph $G(V, E)$, where V is a multiple of vertices, E is a multiple of arcs (e=Card(E), v=Card(V), the real WIU is added to the zero vertice and dummy chords connecting the zero vertice with all the entrances (wells) and its output (CWR). For mathematical formulation of the problem the following WIU encoding is made: the graph tree is chosen so that dummy areas of the network become chords. And real areas will become chords partially, and partially they become branches of tree. Tree branches with a pump are numbered as 1, other branches are numbered from 2 to v–1, chords of real areas from v to $v+\eta_2-1$, dummy areas with the given unit consumption (from $v+\eta_2$ to $v+\eta_2+\xi_1-1$, dummy areas with the given pressure values from $v+\eta_2+\xi_1$ up to e, where η_2 is the number of chords of real areas, ξ_1 is the number of outputs with the given unit consumption.

In this case the stochastic model of quasi-stationary WIU modes will have the following view:

$$\Omega: \underset{\omega}{M}\left(H_r\left(Q(\omega)\right)+\sum_{i=1}^{v-1}b_{1ri}H_i\left(Q(\omega)\right)\right)=0,$$

$$\left(r=v,\ldots,v+\eta_2-1\right), \quad (16)$$

$$\underset{\omega}{M}\left(h_r^c(\omega)-H_{v1}(\omega)+\sum_{i=1}^{v-1}b_{1ri}\left(H_r\left(Q(\omega)\right)+h_i^g\right)\right)=0,$$

$$\left(r=v+\eta_2,\ldots,v+\eta_2+\xi_1-1\right), \quad (17)$$

$$\underset{\omega}{M}\left(H_r\left(Q(\omega)\right)+h_r^g-H_{vj}(\omega)+H_{v1}(\omega)+\right.$$

$$\left.+\sum_{i=1}^{v}b_{1ri}\left(H_i\left(Q(\omega)\right)+h_i^g\right)\right)=0,$$

$$\left(r=v+\eta_2+\xi_1,\ldots,e;\ j=1,\ldots,n\right), \quad (18)$$

$$\underset{\omega}{M}\left(q_i(\omega)\right)=\underset{\omega}{M}\left(\sum_{r=v}^{v+\eta_2-1}b_{1ri}Q_r(\omega)+\sum_{r=v+\eta_2}^{e}b_{1ri}Q_r(\omega)\right),$$

$$\left(i=1,\ldots,v-1\right), \quad (19)$$

$$P\left(h_i^c(\omega)\ge h_i^+\right)\ge\alpha,\left(\alpha\cong 1\right),$$

$$i=\left(v+\eta_2,\ldots,\ v+\eta_2+\xi_1-1\right), \quad (20)$$

$$P\left(Q_i(\omega)>0\right)\cong\beta,\left(\beta\cong 1\right),\ i\in N, \quad (21)$$

$$H_{vj}(\omega)=H_{CPj}^{s}(\omega)+H_{CPj}(\omega)-H_j(\omega)-H_{vj}(\omega).$$

$$\left(j=1,\ldots,n\right). \quad (22)$$

$$H_{CPj}\left(Q_j(\omega)\right)=a_{0j}(\omega)+a_{1j}(\omega)Q_j(\omega)+a_{2j}(\omega)Q_j^{\,2}(\omega)$$

$$\left(j=1,\ldots,n\right). \quad (23)$$

$$H_k\left(Q_k(\omega)\right)=\operatorname{sgn}\left(Q_k\right)\cdot\phi_k(\omega)\cdot\left|Q_k(\omega)\right|^{\chi}.$$

$$k=\left(1,\ldots,v+\eta_2-1\right)\cup\left(v+\eta_2+\xi_1,\ldots,e\right). \quad (24)$$

$$H_{vj}(\omega)=\frac{C_j(\omega)}{E_{vj}^2}\operatorname{sgn}\left(Q_j\right)\cdot\left|Q_j(\omega)\right|,\ \left(j=1,\ldots,n\right). \quad (25)$$

$$H_{CPj}^{s}(\omega)=h_{CPj}^{s}(\omega)-H_{dynj}(\omega),\ \left(j=1,\ldots,n\right). \quad (26)$$

Where stochastic values characterize: $Q_j(\omega)$ is water consumption on the j section of the pipeline; $h_r^c(\omega)$ is free pressure in the r unit of WIU $(r = v+\eta_2,...,v+\eta_2+\xi_1-1)$; h_r^+ is minimum permissible pressure in the r unit of WIU; h_i^g is a geodesic mark of the *i* section of the pipeline ($i \in M$); b_{1ri} is an element of the cyclomatic matrix; $H_{v1}(\omega)$ is pressure at the output of the *j* source $(j = 1,...,n)$; $H_{vj}(\omega)$ is pressure at the output of the *j* source.

As the above research [6] has shown, this model provides more adequate results of modelling of actual WIU operation modes.

REFERENCES

[1] Zamyatin N. V., Ivanov E. O. Automation of calculation of performance of pressure artesian wells in the environment Simulink // Management, Computing and Informatics. Reports of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. – 2011. – No. 2(24), part 3. – P. 154–158.

[2] Zamyatin N. V., Ivanov E. O. Unprecise advising artesial well control system // Management, Computing and Informatics. Reports of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. – 2015. – No. 4 (38). – P. 178–181.

[3] Marugin A. P., Sadovnikov M. E. Artesian well pump control and dispatcher control system // News xof the Ural State Mining University. – 2001. – No. 12. – P. 101–104.

[4] Polishchuk S. I., Kutran I. S. Energy saving in artesial water supply systems // Energy saving technologies. – 2011. – No. 5 (87). – P. 79–82.

[5] Van Dzinlion, Zolotukhin A. B., Chzhou Tsyafan, Iragimov Z. Z., Chzhan Ninsheng. Optimization of highly technological wells operaiton // Neftegaz.RU. – 2018. – No. 6. – P. 39–45.

[6] Tevyashev A., Matviyenko O., Nikitenko G. Construction of a Stochastic Model for a Water Supply Network with Hidden Leaks and a Method for Detecting and Calculating the Leaks // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – Vol. 6/4 (102). – P. 29–38.

On Improvement of Model Parameters Estimation under Long Memory

Prof. Dr. Evgeni Schumm
Department Lippstadt 2
University of Applied Sciences Hamm-Lippstadt (HSHL)
Hamm, Germany
Evgeni.Schumm@hshl.de

***Abstract*—We consider detecting approach for discontinuities in a trend function when the residual process exhibits long memory. Using a wavelet estimation of the trend function into a low-resolution and a high-resolution component, a statistic is proposed based on the special asymptotic choice of hard threshold for high-resolution domain. Asymptotic validity of the approach is derived.**

Keywords—long-range dependence, nonparametric regression, wavelet, thresholding, detection of dicontinuities, structural break

I. INTRODUCTION

We consider time series data of the form

$$Y_i = g(t_i) + \xi_i, (i = 1,2, \dots, n) \quad (1)$$

with $g \in L^2([0,1])$ and ξ_i a Gaussian zero mean second order stationary process with long-range dependence, i.e. with autocovariances

$$\gamma(k) = E(\xi_i \xi_{i+k}) \underset{k\to\infty}{\sim} C_\gamma |k|^{-\alpha} \quad (2)$$

for some constants $\alpha \in (0,1)$ and $C_\gamma > 0$ where „~“ means that the ratio of the two sides converges to one.

For the spectral density

$$f(\lambda) = (2\pi)^{-1} \sum \gamma(k) \exp(-ik\lambda)$$

this corresponds to a pole at the origin of the form $C_f |\lambda|^{\alpha-1}$ for a suitable constant C_f (see e.g. Beran 1994, Zygmund 1953, Samorodnitsky 2007). The issue addressed here is detecting the jump in the trend function g. In the iid and weakly dependent setting, the question of detecting changes or structural breaks in a mean or a (parametric or nonparametric) regression function has been considered by many authors. For instance, change point detection in regression was considered by Quandt (1960), Hinkley (1996) derived an approximate distribution of a corresponding likelihood ratio statistic. An interesting approach is taken in a recent paper by Ait-Sahalia and Jacod (2009) who define an index of jump activity in a short-memory context (also see references therein for related literature). In the case of long memory, it has been recognized that structural breaks can be confused with stationary long-memory components, and standard tests do not apply (Hidalgo and Robinson 1996, Gil-Alana 2008).

In spite of this insight, only a few formal tests are available for the situation where the time point of the break is unknown (Wright 1998, Krämer and Sibbertsen 2002, Lazarova 2005). In particular, since sample paths of stationary processes with strong long memory tend to exhibit local spurious trends, very local changes in the mean function are difficult to detect. It is therefore very difficult to decide whether a completely unspecified (and thus nonparametric) trend function is continuous or only piecewise continuous. No general test for this hypothesis seems to be available in the long-memory setting.

Due to their localization in time and frequency, wavelets provide a natural approach to solve this problem. This approach were taken in Beran and Shumeyko (2012). Beran and Shumeyko (2011) derive data adaptive estimators, under the assumption that g or some derivatives of g are piecewise continuous. In the latter paper, it is shown that for functions with continuous derivatives, the rate given in Li and Xiao (2007) can be achieved without thresholding by choosing optimal values of decomposition level J and smoothing parameter q. This leads to a "low-resolution" estimator $\hat{g}_{low}(t)$ for which exact constants for the MISE and asymptotic formulas for the optimal choice of the tuning parameters J and q can be given explicitely (Beran and Shumeyko 2011). This is comparable to optimal bandwidth selection in kernel smoothing (Gasser and Müller 1984, Hall and Hart 1990, Beran and Feng 2002a,c).

To capture discontinuities, additional higher resolution levels combined with thresholding can be added so that the estimator can be written as $\hat{g} = \hat{g}_{low} + \hat{g}_{high}$, where $\hat{g}_{high}$ is a high-resolution part. In Beran and Shumeyko (2012), a bootstrap based test is developed for the null hypothesis that g is continuous everywhere against the alternative that g has at least one jump. In terms of the decomposition of $\hat{g}$ and g respectively, this amounts to testing the null hypothesis $H_0: \hat{g}_{high} \equiv 0$ against the alternative that $\hat{g}_{high}$ is not zero for at least one isolated point t. Properties of adaptive wavelet estimators of $\hat{g}_{low}$ and $\hat{g}_{high}$ are used to derive a test statistic

W based on bootstraped blocks of $Y_i - \hat{g}_{low}(t_i)$. Critical values of W under H_0 are obtained by suitable blockwise resampling of $Y_i - \hat{g}_{low}(t_i) - \hat{g}_{high}(t_i)$. Previous references to bootstrap in the long-memory setting include Lahiri (1993), Hall et al. (1998, 2000).

Further, in Beran and Feng (2002a) a class of semiparametric fractional autoregressive models was proposed that includes deterministic trends, difference stationarity and stationarity with short- and long range dependence. The components of the model can be estimated by combining maximum likelihood estimation with kernel smoothing in an iterative plug-in algorithm. With the aim to improve the algorithm the jumps should be properly localized.

As we pointed out earlier in this paper, due to wavelet localization in time and frequency, this provide a natural approach to solve this problem. In this paper, the adaptive asymptotic statistic T_i is proposed. Last based on high-resolution part $\hat{g}_{high}(t)$ that may capture jumps.

The paper is organized as follows. Basic definitions are introduced in section 2, the main results are given in section 3. The results are illustrated by a simulation study in section 4. Final remarks in section 5 conclude the paper. Proofs can be found in the appendix.

II. Basic definitions

To include a large variety of wavelet generating functions (see Daubechies 1992, Cohen et al. 1993) we will use father and mother wavelets $\phi(t)$ and $\psi(t)$ respectively with compact support $[0, N]$ (for some $N \in \mathbb{N}$) instead of $[0,1]$ only. The wavelet functions are assumed to be such that

$$\int_0^N \phi(t)dt = \int_0^N \phi^2(t)dt = \int_0^N \psi^2(t)dt = 1, \quad (3)$$

$$\psi(0) = \psi(N) = 0. \quad (4)$$

and, for any $J \geq 0$, the system $\{\phi_{Jk}, \psi_{jk}, k \in \mathbb{Z}, j \geq 0\}$ with

$$\psi_{jk}(t) = N^{\frac{1}{2}} 2^{\frac{J+j}{2}} \psi(N2^{J+j}t - k),$$

$$\phi_{Jk}(t) = N^{1/2} 2^{J/2} \phi(N2^J t - k),$$

is an orthonormal basis in $L^2(\mathbb{R})$. The number of vanishing moments of ψ will be denoted by $r \in \mathbb{N}$, i.e.

$$\int_0^N t^k \psi(t)dt = 0, k = 0,1, \dots, r-1 \quad (5)$$

and

$$\int_0^N t^r \psi(t)dt = \nu_r \neq 0. \quad (6)$$

Throughout the paper, ϕ and ψ will be assumed to be continuous and piecewise differentiable. Daubechies (1992) (Chap. 6) provides examples of wavelets satisfying these conditions.

For every $J \geq 0$, functions $g \in L^2([0,1])$ have a unique orthogonal wavelet expansion

$$g(t) = \sum_{k=-N+1}^{N2^J-1} s_{Jk}\phi_{Jk}(t) + \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{k=-N+1}^{N2^{J+j}-1} d_{jk}\psi_{jk}(t), \quad (7)$$

with wavelet coefficients

$$s_{Jk} = \int_0^1 g(t)\phi_{Jk}(t)dt, d_{jk} = \int_0^1 g(t)\psi_{jk}(t)dt.$$

A (hard) thresholding wavelet estimator of g is defined by

$$\hat{g}(t) = \sum_{k=-N+1}^{N2^J-1} \hat{s}_{Jk}\phi_{Jk}(t) + \sum_{j=0}^{q} \sum_{k=-N+1}^{N2^{J+j}-1} \hat{d}_{jk} I(|\hat{d}_{jk}| > \delta_j)\psi_{jk}(t) \quad (8)$$

where J, q and δ_j denote the decomposition level, smoothing parameter and threshold respectively, and the wavelet coefficients $\hat{s}_{Jk}$ and $\hat{d}_{jk}$ are defined by

$$\hat{s}_{Jk} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Y_i \phi_{Jk}(t_i), \hat{d}_{jk} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Y_i \psi_{jk}(t_i) \quad (9)$$

The estimator defined by equation (8) can be understood as a combination of two components, a smoothing component

$$\hat{g}_{low}(t) = \sum_{k=-N+1}^{N2^J-1} \hat{s}_{Jk}\phi_{Jk}(t) \quad (10)$$

consisting of the scaling function decomposition only with no thresholding, and a higher resolution component

$$\hat{g}_{high}(t) = \sum_{j=0}^{q} \sum_{k=-N+1}^{N2^{J+j}-1} \hat{d}_{jk} I(|\hat{d}_{jk}| > \delta_j)\psi_{jk}(t) \quad (11)$$

where estimated coefficients are filtered by thresholding. The first component provides a good estimate of smooth functions whereas the second component is useful for modeling discontinuities (see Beran and Shumeyko 2011).

In the derivation of optimal data adaptive wavelet estimators, the following constants play an important role (see Beran and Shumeyko 2011, Li and Xiao 2007),

$$C_\phi^2 = C_\gamma \int_0^N \int_0^N |x-y|^{-\alpha}\phi(x)\phi(y)dxdy, \quad (12)$$

$$C_\psi^2 = C_\gamma \int_0^N \int_0^N |x-y|^{-\alpha}\psi(x)\psi(y)dxdy. \quad (13)$$

The asymptotically optimal rate of the $MISE$ of $\hat{g}(t)$ defined in (8) is attained for

$$J = J_n = \frac{\alpha}{2r+\alpha}\log_2 n + C, C \in \mathbb{R} \quad (14)$$

$$q = q_n = \log_2 n - J \qquad (15)$$

and

$$2^{J+j}\delta_j^2 \to 0,\ 2^{(J+j)(2r+1)}\delta_j^2 \to \infty,\ \delta_j^2 \frac{n^\alpha 2^{(J+j)(1-\alpha)}}{\ln n} \to \infty \qquad (16)$$

III. Main results

Throughout the paper, E_n and Var_n will denote expectation and variance with respect to the distribution generated by the resampling procedure, conditionally on the observations $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$. Similarly, $P_n(A)$ will denote the conditional probability of A. Then the following yields

Theorem 1: Assume that $g \in L^2([0,1])$, g' exists on $[0,1]$ except for a finite number of points, and, where it exists, g' is piecewise continuous and bounded. Furthermore $r = 1$ and

$$\delta_j^2 = \frac{4eC_\psi^2 N^{-1+\alpha}(\ln n)^2}{n^\alpha 2^{(J_n+j)(1-\alpha)}}.$$

Then holds:

a) If g has no jumps on $(0,1)$, then

$$E_n(\hat{d}_{jk}) = \frac{v_r}{r!} g^{(r)}\left(kN^{-1}2^{-(J_n+j)}\right)N^{-\frac{2r+1}{2}}2^{-\frac{2r+1}{2}(J_n+j)} + \\ + o\left(2^{-\frac{2r+1}{2}(J_n+j)}\right),$$

$$Var_n(\hat{d}_{jk}) = C_\psi^2 N^{-(1-\alpha)} n^{-\alpha} 2^{-(J_n+j)(1-\alpha)} + O(n^{-1})$$

and

$$P(|\hat{d}_{jk}| > \delta_j) = O(\ln^{-2} n)$$

b) Suppose g has an isolated jump of size Δ at point $s^* \in (0,1)$. Then for all $0 \le j \le q_n$ and

$$\lfloor N2^{J_n+j}s^* \rfloor - N \le k \le \lfloor N2^{J_n+j}s^* \rfloor$$

yields:

$$E(\hat{d}_{jk}) = O\left(2^{-\frac{J+j}{2}}\right),$$

$$Var_n(\hat{d}_{jk}) = C_\psi^2 N^{-(1-\alpha)} n^{-\alpha} 2^{-(J_n+j)(1-\alpha)} + O(n^{-1})$$

and

$$1 - P(|\hat{d}_{jk}| > \delta_j) = O\left(n^{-\frac{r\alpha}{2r+\alpha}}2^{-\frac{\alpha j}{2}}\right)$$

Theorem 1 means that under the assumption of missing the jumps the high resolution component converges to 0 as n increases, as well as in case of jump the coefficients of high resolution persist in probability in the neighbourhoods of the isolated jumps.

IV. Structural Break Detection

Given theorem 1, a natural approach for detecting the jumps is to evaluate the statistic

$$T_{i,n} = \frac{1}{Nq_n}\sum_{j=0}^{q_n}\sum_{k=\lfloor N2^{J_n+j}\frac{i}{n}\rfloor - N}^{\lfloor N2^{J_n+j}\frac{i}{n}\rfloor} I\left(|\hat{d}_{jk}| > \delta_j\right), \forall i = 1, \dots, n \qquad (17)$$

Herewith yields

Corollary 1:
Under the assumptions of theorem 1 yields

a) $T_{i,n} \to 1, i = s^*$ a.s.

b) $T_{i,n} \to 0, i \notin U_{N2^{-J_n}}(s^*)$ a.s.

The following figure demonstrates the behaviour of the high resolution coefficients.

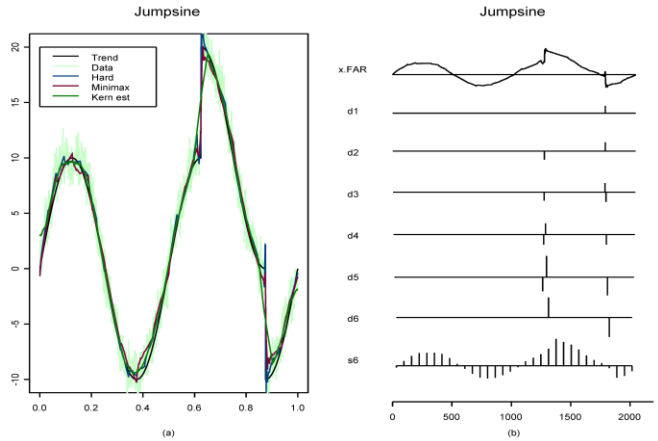


Figure 1. Simulated data (a) with JumpSine trend incl. FARIMA(0, 0.3, 0) process, and trend estimates obtained by kernel smoothing, minimax soft threshold wavelet estimation and data-adaptive hard threshold wavelet estimation (basis s4); (b) shows the coefficients of the data-adaptive wavelet estimate.

References

[1] Ait-Sahalia, Y. and Jacod, J. (2009). Estimating the degree of activity of jumps in high frequency data. Ann. Statist., Vol. 37, No. 5A, 2202-2244.

[2] Beran, J. (1994). Statistics for long-memory processes. Chapman & Hall, London.

[3] Beran, J. and Feng, Y. (2002a). SEMIFAR models - a semiparametric framework for modelling trends, long-range dependence and nonstationarity. Computational Statistics & Data Analysis, Vol. 40, No. 2, 393-419.

[4] Beran, J. and Feng, Y. (2002b). Data driven bandwidth choice for SEMIFAR models. Journal of Computational and Graphical Statistics, Vol. 11, No. 2, 690-713.

[5] Beran, J. and Feng, Y. (2002c). Local polynomial fitting with long memory, short memory and antipersistent errors. - Annals of the Institute of Statisitcal Mathematics, Vol. 54, No. 2, 291-311.

[6] Beran, J. and Shumeyko, Y. (2011). On optimal wavelet estimation of trend functions under long memory. - Bernoulli Journal 18(1), 2012, - P. 137–176, DOI: 10.3150/10-BEJ332.

[7] Beran, J. and Shumeyko, Y. (2012). Bootstrap testing for discontinuities under long-range dependence. - Journal of Multivariate Analysis, Volume 105, Issue 1, February 2012, - P. 322-347.

[8] Cohen, A., Daubechies, I. and Vial, P. (1993). Wavelets on the interval and fast wavelet transforms. - Applied and Computational Harmonic Analysis, 1, 54-81.

[9] Daubechies, I. (1992). Ten Lectures on Wavelets, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia.

[10] Gasser, T. and Müller, H.G. (1984). Estimating regression functions and their derivatives by the kernel method. Scand. J. Statist., 11, 171–185.

[11] Gil-Alana, L.A.(2008) Fractional integration and structural breaks at unknown periods of time. J. Time Ser. Analysis, Vol. 29, No. 1, 163185.

[12] Hall, P., Härdle, W., Kleinow, T. and Schmidt, P. (2000). Semiparametric bootstrap appraoch to hypothesis tests and confidence intervals for the Hurst coefficient. Stat. Inf. Stoch. Proc., 3, 263-276.

[13] Hall, P. and Hart, J. D. (1990). Nonparametric regression with longrange dependence. Stochastic Processes and Their Applications, 36, 339–351.

[14] Hall, P., Jing, B.Y. and Lahiri, S.N. (1998). On the sampling window method for long-range dependent data. Statistica Sinica, 8, 1189-1204.

[15] Hidalgo, J. and Robinson, P. M. (1996). Testing for structural change in a long memory environment. J. Econometrics, 70, 159-174.

[16] Krämer, W. and Sibbertsen, P. (2002). Testing for structural changes in the presence of long memory. Int. J. Bus. Econ., Vol. 1, No. 3, 235-242.

[17] Lahiri S.N. (1993) On the moving block bootstrap under long range dependence. Statistics & Probability Letters, 18, 405-413.

[18] Lazarova, S. (2005). Testing for structural change in regression with long memory processes. J. Econometrics, Vol. 129, No. 1-2, 329-372.

[19] Li, L. and Xiao, Y. (2007). Mean integrated squared error of nonlinear wavelet-based estimators with long memory data. Annals of the Institute of Statistical Mathematics, Vol. 59, No. 2, 299-324.

[20] Samorodnitsky, G. (2007). Long-range dependence. Now Publishers Inc., Hanover, USA.

[21] Wright, J. H. (1998). Testing for a structural break at unknown date with long-memory disturbances. J. Time Ser. Analysis, Vol. 19, No. 3, 369-376.

[22] Zygmund, A. (1953). Trigonometric Series. Cambridge University Press, London.

Probability Analysis of Management Information Systems Functioning

Anatoliy Litvinov
Professor of Department of Applied Mathematics and Information Technology
O.M. Beketov National Universityof Urban Economy in Kharkov
Kharkiv, Ukraine
litan6996@gmail.com

Abstract–The purpose of the research is the development of stochastic models of management information systems functioning based on queueing systems. It has been shown that it is possible to use a single line queueing systems with the generalized Erlang flow of random events. The study of such systems is carried out and the main characteristics of operation are obtained. This allows the planning of procedures for MIS operation.

Keywords–time, criterion, model, service, process, design, flow, system, event.

I. INTRODUCTION

Management information systems (MIS) are difficult to implement, their work is often associated with numerous and mutually independent streams of input events, wearing casual character. In this regard, on the design phase of such systems the use of stochastic modeling is necessary [1, 2].

II. MODELING OF MIS

Software of MIS provides the control of wide range MIS individual sub-system tasks solution in real time. These tasks are characterized by frequency of execution, duration of work, priority, volumes of output and input information. The launch on the execution of various tasks carried out by MIS supervisor system on the commands, which the planner of MIS periodically prepares [3]. The simple form of planning of the real time tasks execution is synchronous, when slot between sequential starts of the same task are equal to the selected slot. The flexibility and efficiency of such planning is greatly improved with the introduction of priorities, as well as with the ability to solve the background tasks when the computer system of MIS is free from solving real-time tasks [4, 5]. A variety of characteristics can serve as a criterion of the effectiveness of the dispatching operation of the system. For example the delay of start time of individual tasks on the planned time: the mean time, the probability that the time delay exceeds a certain fixed value and so on [6]. The knowledge of these characteristics can be used for synthesis of the system of planning of MIS software.

Let the whole time interval is split with the timer into separate interval Δ. For each interval a number of high-priority and low priority tasks in accordance with the operation of MIS is planned to perform. Time left free in the interval from solving real-time tasks is used to solve background tasks (for example, test equipment monitoring). Interruption of low priority tasks is authorized.

Interrupted low priority task complete service after processing of high priority tasks. If a low priority task is interrupted in i - th interval, it continuation is added to the execution of tasks in (i + 1) - th time interval. Each task perform is planned with a certain period T_i. You can select the main computing cycle $\boldsymbol{T}$, which is the least common multiple of T_i, $i = 1,2,...,N$, where N - total number of individual tasks, that can be solved with the help of MIS software. In general, the time of execution of each task can be random; therefore it is important to know their solving time delay. This is especially true for low priority tasks, the beginning of the implementation of which can be shift by high priority tasks.

For considering execution of high priority tasks assume the next. Let ξ_{ij} is the time of execution of i-th priority task in the j-th interval of time. Suppose that

$$\Phi_j = \sum_{i \in I_j} \xi_{ij}, i = 1,2,...,n,n+1,n+2,$$

is the time of execution of all high priority tasks in the j-th interval of time, where I_j are scheduled tasks on the j-th interval, and $n = T_h / \Delta$, where T_h is the main cycle of execution of high priority tasks. Let φ_j is the average time of execution of priority tasks in the j-th interval. The overall distribution function of service time can be written as a superposition of flows for each service interval

$$B(t) = 1 - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m} e^{-\mu_j t},$$

so it is described as hypereksponentsial distribution. Input stream for such a system is regular, but it can be approximated by Erlang distribution in the event that the coefficient of variation approaches to zero.

So, the entire system can be represented as a single line queueing system of type E/H/1. Let us investigate this system. Let

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{k} \text{ and } \bar{\mu} = \left[\sum_{i=1}^{m} \frac{1}{m\mu_i} \right]^{-1}$$

are average intensity of the flows described in accordance with the distribution of $A(t)$ and $B(t)$. $\alpha(s)$ and $\beta(s)$ are the Laplace-Stieltjes transformation of these distributions. So

$$\alpha(s) = \left(\frac{\lambda}{\lambda + s} \right)^k \text{ and } \beta(s) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \frac{\mu_i}{\mu_i + s}.$$

If $\bar{\mu} > \bar{\lambda}$, then for a stationary mode exists a function of the distribution of the waiting time $F(t)$, for which it is possible to compile the Lindley integral equation [7]. It corresponds to the factorization equationon

$$\gamma(s) = \frac{K_+(s)}{K_-(s)} = \alpha(-s)\beta(s) - 1 = \\ = \frac{1}{m} \left(\frac{\lambda}{\lambda - s} \right)^k \sum_{i=1}^{m} \frac{\mu_i}{\mu_i + s} - 1 = 0 \quad (1)$$

Notice, that function

$$\beta(s) = \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \mu_i \frac{\prod_{j=1}^{m} (\mu_j + s)}{\mu_i + s}}{\prod_{i=1}^{m} (\mu_i + s)} = \frac{P_{m-1}(s)}{Q_m(s)} \quad (2)$$

is the ratio of two polynomials, and the degree of the numerator is less than the denominator. Then the Laplace-Stieltjes transformation from $F(t)$ will be

$$\varphi(s) = \frac{Q_m(s)}{Q_m(0) \prod_{i=1}^{m} \left(1 - \frac{s}{q_i} \right)}, \quad (3)$$

where $q_i \, (i = 1,2,...,m)$ are the roots of equation

$$\gamma(s) = 0 \Rightarrow \frac{1}{m} \left(\frac{\lambda}{\lambda - s} \right)^k \sum_{i=1}^{m} \frac{\mu_i}{\mu_i + s} - 1 = 0, \quad (4)$$

which are located in the left half-plane $\operatorname{Re} s < 0$.

Using (2), we find in the left half-plane $\operatorname{Re} s < 0$

$$\varphi(s) = \frac{Q_m(s)}{\prod_{i=1}^{m} \mu_i \left(1 - \frac{s}{q_i} \right)}. \quad (5)$$

Let $s = \lambda(1 - z)$, then the equation (4) will have the form

$$\frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \frac{\mu_i}{\mu_i + \lambda(1 - z)} - z^k = 0. \quad (6)$$

Solving this equation after the transformations, we will get

$$\varphi(s) = \lambda^m \prod_{i=1}^{m} \frac{(\mu_i + s)(1 - z_i)}{\mu_i + [\lambda(1 - z_i) - s]}, \quad (7)$$

where z_i are the roots of equation (5) and

$$1 < z_1 < 1 + \frac{\mu_1}{\lambda} < z_2 < ... < 1 + \frac{\mu_{k-1}}{\lambda} < z_k < \\ < 1 + \frac{\mu_k}{\lambda} < ..... < z_m < 1 + \frac{\mu_m}{\lambda}. \quad (8)$$

Taking the inverse Laplace-Stieltjes transformation from (7), we can obtain an expression for the distribution function of delay time in serving high-priority tasks $F(t)$.

Let's find the average delay time in the service of high-priority tasks

$$\bar{t}_d = -\varphi'(s)\big|_{s=0} = \sum_{i=1}^{m} \left[\frac{1}{\lambda(z_i - 1)} - \frac{1}{\mu_i} \right]. \quad (9)$$

Probability that time of solving of high-priority tasks ξ will exceed Δ is determined by the next expression

$$P\{\xi > \Delta\} = \sum_{j=1}^{m} e^{-\mu_j \Delta} \Big/ m \ . \quad (10)$$

Real-time conditions have a strong impact on the execution of lower priority tasks, for which the interruption of service is allowed [6]. Suppose that *i* is the priority level and $T_i = N_i / \Delta$ the period of performance of the low priority task, which are scrutinized. Let u_j is the time required to execute this task in the *j*-th interval, and ω_j is the total time of execution of all high priority task in this interval including the time for the end of execution all tasks from (*j* - 1)- th interval.

Then the time that remains in the j-th period for the execution of low priority task is defined by the expression $v_j^i = \max\{0, T_i - w_j\}$, where v_j^i is a random variable. It can be either greater or less than the time u_j required to solve low priority task. Thus, the relationship between these random variables is similar to the process of service of requests in a single-server queueing system of type G/G/1; the sequence of

values v_j^i describes the input stream of requests, and u_j - service time.

To determine the relationship between the delay time Z when executing a low-priority task and the waiting time in an equivalent single-line queueing system, we will use the fact that if the solution of the problem starts in the planned time interval Δ, then $\eta = z$, otherwise $\eta = z - \Delta \cdot \text{int}(z/\Delta)$, where $\text{int}(x)$ is the integer part of the expression. So

$$P\{z > t\} = P^*\{\eta > t^*\} = 1 - F(t - \Delta \cdot \text{int}(t/\Delta)) =$$
$$= 1 - W(t - \Delta \cdot \text{int}(t/\Delta)),$$

Where $F(t)$ - is the law of the distribution of the waiting time for an equivalent single-line queueing system, and $W(t)$ a is the distribution function of the waiting time.

Let us approximate the input stream and the service flow with distributions that belong to the family of common Erlang distributions. The Laplace-Stieltjes transformation from their distribution functions have the form

$$f(s) = \prod_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{n_i} \frac{a_{ij}\lambda_{ij}}{s + \lambda_{ij}}, \quad \sum_{j=1}^{n_i} a_{ij} = 1, \qquad (11)$$

and is the ratio of two polynomials.

You can get comprehensive performance characteristics of low priority tasks in real time if you will approximates the input flow and service time by general Erlang distribution. Exponential, hyper-exponential and Erlang distribution are special cases of distribution (11). Any distribution of the duration of intervals between neighboring events can be approximated with any accuracy by the general Erlang distribution, it is only necessary to choose the parameters appropriately $a_{ij}, \lambda_{IJ}, n_i, k$. It is desirable that the values n_i and k will be small.

Let us consider a single-line queueing system with expectation that simulates the process of servicing low priority tasks, the input flow of requests and services for which are given by generalized Erlang distributions with Laplace-Stieltjes transforms from the distribution functions, respectively $\alpha(s)$ and $\beta(s)$.

The expression for the average intensity of requests for low-priority tasks is calculated as follows:

$$\overline{\lambda} = -\alpha'(0)^{-1} = \left[\sum_{i=1}^{k} \sum_{g=1}^{li} \frac{a_{ig}}{\lambda_{ig}} \right]^{-1}. \qquad (12)$$

The expression for the average intensity of the process of servicing low-priority tasks will have the form

$$\overline{\mu} = -\beta'(0)^{-1} = \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{q=1}^{c_i} \frac{b_{iq}}{\mu_{iq}} \right]^{-1}. \qquad (13)$$

If $\overline{\mu} > \overline{\lambda}$, then for the system, there is a steady-state regime, for the study of which the above approach can be used.

III. Conclusions

MIS operate under random event flows. In this regard, on the design phase of such systems the use of stochastic modeling is necessary, in particular on the basis of queueing systems. In paper process of planning of real time application is analyzed. The planning cycle is composed of solutions of high-priority and low-priority tasks. It has been shown that it is possible to use a single line queueing systems with the Erlang input stream and hyperexponential service time for the simulation of high priority tasks.

The integral equation Lindley for such a system is received. The solution of such equation is obtained by factorization of integral equation. Explicit expressions of the distribution function of the delay time of the real-time high-priority tasks is received, as well as its average value.

The process of execution of low-priority tasks is analyzes. It is shown that the analysis of this process can be done by the use of queueing systems with the generalized Erlang flow of random events. On the basis of the method of the integral equation Lindley the Laplace-Stieltjes transform of the waiting time in the queue and the average value of this time is obtained.

References

[1] В.И. Болтенков, А.Л. Литвинов, и Н.В. Лычева, Н.В. Конфигурирование и настройка автоматизированных информационных систем. Белгород: БелГУ, 2005.

[2] В.М. Трояновский. Информационно-управляющие системы и прикладная теория случайных процессов. Москва: Гелиос АРВ, 2004.

[3] В.Б. Кропивницька, Б.Л.Клим, А.Г. Ромаюіук, М.О. Сладінога."Дослідження алгоритмів диспетчеризації в комп'ютерних системах", Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ, №2(39), с. 93 – 105, 2011.

[4] Х. Гома. UML Проектирование систем реального времени, параллельных и распределенных приложений. Москва: ДМК-Пресс, 2011 .

[5] Rajib Mall. Real-Time Systems: Theory and Practice. IGI Global, 2006.

[6] А.М. Сулейманова. Системы реального времени. Уфа: УГАТУ, 2004.

[7] Г.П. Климов. Теория массового обслуживания. Москва: МГУ, 2011.

Комбінований Метод Ранжування Варіантів у Системах Підтримки Прийняття Рішень

Володимир Безкоровайний
кафедра системотехніки,
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
vladimir.beskorovainyi@nure.ua

Данило Лисак
кафедра системотехніки,
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
danylo.lysak@nure.ua

Оксана Драз
кафедра системотехніки,
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
oksana.draz@nure.ua

Дмитро Свідін
кафедра системотехніки,
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
dmytro.svidin@nure.ua

Combined Method of Ranking Options in Decision Support Systems

Vladimir Beskorovainyi
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
vladimir.beskorovainyi@nure.ua

Danylo Lysak
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
danylo.lysak@nure.ua

Oksana Draz
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
oksana.draz@nure.ua

Dmytro Svidin
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
dmytro.svidin@nure.ua

***Анотація*—Запропоновано комбінований експертно-машинний метод ранжування варіантів для систем підтримки прийняття багатокритеріальних рішень на потужних множинах альтернатив. У ньому передбачені етапи виділення підмножини ефективних варіантів, визначення переваг експертів, параметричного синтезу узагальненої функції корисності, ранжування варіантів з використанням функції корисності та експертів.**

***Abstract*—Combined expert-machine method of ranking options for multi criteria decision support systems on powerful sets of alternatives is proposed. It provides for the stages of selection of a subset of effective options, determining the preferences of experts, parametric synthesis of the generalized utility function, ranking of options using the synthesized utility function and experts.**

Ключові слова—підтримка прийняття рішень, варіант, ранжування, компараторна ідентифікація.

Keywords—decision support, option, ranking, comparative identification.

I. Вступ

Задачі прийняття рішень у сучасних системах проєктування й управління узагальнено подаються в термінах «умови – мета». При цьому умови розглядаються як множина ситуацій вибору (станів об'єкта і операторів переходу), а мета – як найкраще рішення (бажаний стан об'єкта) [1]. Ефективність прийнятого рішення оцінюється за множиною показників (часткових критеріїв). До найбільш важливих серед задач проблеми прийняття рішень відноситься задача ранжування альтернатив. Її розв'язання в автоматизованих системах проєктування й управління здійснюється з використанням апарату теорії корисності в рамках кардиналістичного підходу [2]. Серед найбільш поширених методів ранжування рішень виділяться експертні методи (аналізу ієрархій, аналізу мереж, ELECTRE, PROMETHEE тощо), які вимагають від експерта в явному вигляді надати інформацію про відносну важливість окремих критеріїв [3-4].

За результатами проведеного аналізу методів і технологій ранжування рішень встановлено, що [5-6]: вони зорієнтовані на вибір серед невеликої кількості альтернатив; у них можливе виникнення реверсу рангів (зміна рангів рішень при додаванні нових або видаленні існуючих альтернатив). Це обумовлює актуальність завдань розробки методів ранжування потужних множин альтернатив.

Метою дослідження є розробка комбінованого експертно-машинного методу ранжування варіантів для систем підтримки прийняття проектних і управлінських рішень на потужних множинах альтернатив.

II. Результати дослідження

Для розв'язання задач ранжування варіантів на потужних множинах альтернатив $S=\{s\}$ запропоновано комбінований експертно-машинний метод, який включає етапи: виділення на множині допустимих підмножини ефективних варіантів; визначення на ній переваг експертів; параметричного синтезу узагальненої функції корисності; ранжування варіантів з використанням синтезованої узагальненої функції корисності; експертне уточнення рангів підмножини найкращих альтернатив.

Суть етапу виділення підмножини ефективних альтернатив S^E полягає у виключенні з множини допустимих $S=\{s\}$ домінованих (неоптимальних) альтернатив, що належать підмножині згоди $s\in\overline{S}^E$: $S=S^E\bigcup\overline{S}^E$, $S^E\bigcap\overline{S}^E=\varnothing$. Рішення називається ефективним (Парето-оптимальним) $s\in S^E$, якщо не існує більш кращого рішення, тобто $s^E\succ s\ \ \forall s\in S$.

Залежно від потужності, опуклості чи неопуклості множини допустимих альтернатив $S=\{s\}$ доцільно використовувати один з методів виділення підмножин ефективних варіантів: парних порівнянь, Карліна, Гермейєра, еволюційного пошуку [7].

Задачу визначення переваг експертів чи особи, що приймає рішення (ОПР), пропонується здійснювати шляхом параметричного синтезу функції узагальненої корисності варіантів рішень з використанням технології компараторної ідентифікації [2, 6]. Найбільш універсальними вважаються функції узагальненої корисності, побудовані на основі поліному Колмогорова-Габора [2, 6]:

$$P(s)=\sum_{i=1}^{m}\lambda_i\xi_i(s)+\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=i}^{m}\lambda_{ij}\xi_i(s)\xi_j(s)+\dots, \qquad (1)$$

де λ_i,λ_{ij}, $i=\overline{1,m}$ - вагові коефіцієнти часткових критеріїв та їхніх добутків; $\xi_i(s),\xi_j(s)$ - функції корисності часткових критеріїв $k_i(s),k_j(s)$, $i=\overline{1,m}$.

При цьому кількість доданків N в (1) вибирається виходячи з необхідної точності відновлення переваг ОПР, розмірності задачі і наявних обчислювальних ресурсів.

Введемо позначення:

$$\begin{aligned}&\xi_1(s)\cdot\xi_1(s)=\xi_{m+1}(s),\ \lambda_{1,1}=\lambda_{m+1},\\&\xi_1(s)\cdot\xi_2(s)=\xi_{m+2}(s),\ \lambda_{1,2}=\lambda_{m+2},\dots\end{aligned} \qquad (2)$$

З використанням позначень (2) функція корисності (1) може бути подана у традиційній адитивній формі: $P(\lambda,x)=\sum_{i=1}^{N}\lambda_i\,\xi_i(x)$.

Для лінійної, опуклої, вигнутої, *S*- і *Z*-подібної апроксимації оцінок значень часткових критеріїв $k(s)$ пропонується використовувати універсальну функцію корисності $\xi(s)$ на основі склейки [8]:

$$\xi(s)=\begin{cases}\bar{a}(b_1+1)\left(1-\left(b_1/\left(b_1+\dfrac{\bar{k}(s)}{\bar{k}_a}\right)\right)\right),0\le\bar{k}(s)\le\bar{k}_a;\\ \bar{a}+(1-\bar{a})(b_2+1)\times\\ \times\left(1-\left(b_2/\left(b_2+\dfrac{\bar{k}(s)-\bar{k}_a}{1-\bar{k}_a}\right)\right)\right),\bar{k}_a<\bar{k}(s)\le 1,\end{cases} \qquad (3)$$

де $\xi(s)=\bar{k}(s)$; $\bar{k}_a,\bar{a}$ - нормовані значення координат точки склейки, $0\le\bar{k}_a\le 1$, $0<\bar{a}<1$; b_1,b_2 - коефіцієнти, що визначають вид залежності (3) на початковому і кінцевому відрізках функції.

Суть технології компараторної ідентифікації переваг ОПР полягає в наступному [2, 6]. ОПР аналізує пари варіантів лише з підмножини ефективних $s,v\in S^E$. Висунута вимога пов'язана з тим, що врахування домінованих альтернатив з $\overline{S}^E=S\setminus S^E$ при формуванні бінарних відношень строгої переваги $R_S(S')$ не несе корисної інформації, тобто $s\succ v\ \ \forall s\in S^E$ і $\forall z\in\overline{S}^E$. Це є наслідком того, що відношення строгої переваги для домінованих альтернатив виконуються при будь-яких значеннях вагових коефіцієнтів $\lambda=[\lambda_i]_{i=1}^N$.

За результатами аналізу ОПР здійснює якісну оцінку корисності варіантів, що дозволяє сформувати на деякій підмножині $S'\subset S^E$ бінарне відношення строгої переваги:

$$R_S(S')=\{<s,v>:\ s,v\in S',\ s\succ v\}. \qquad (4)$$

Відповідно до постулатів теорії корисності для пар варіантів, які входять до складу $R_S(S')$ (4), справедливою є система нерівностей: $s\succ v\leftrightarrow P(s)>P(v)\ \ \forall s,v\in S'$.

Таким чином, задача параметричного синтезу функцій узагальненої корисності (1) або (3) зводиться до визначення вектора $\lambda=[\lambda_i]_{i=1}^N$ (де N - кількість

параметрів моделі), що задовольняє сформованій системі нерівностей та нормуючим умовам:

$$\sum_{i=1}^{N}\lambda_i = 1\ ,\ \ \lambda_i \ge 0\ \ \forall i = \overline{1,N}\ . \qquad (5)$$

Подамо систему нерівностей і рівнянь (5)-(5) у вигляді:

$$\eta_j(\lambda) \equiv \sum_{i=1}^{N}\lambda_i\,\xi_i(s) > \sum_{i=1}^{N}\lambda_i\,\xi_i(v), < s,v > \in R_S(S'),\ j = \overline{1,n_S},$$
$$\eta_{n_s+1}(\lambda) \equiv \sum_{i=1}^{N}\lambda_i = 1,\ \lambda_i \ge 0,\ i = \overline{1,N}, \qquad (6)$$

де $n_S = Card\ R_S(S')$ - потужність встановленого відношення строгої переваги (4).

Перша частина системи (6) є однорідними нерівностями, які задають множину площин, що проходять через початок координат, а друга частина (нормуючі умови) – січну площину.

Сформована система нерівностей і рівнянь (6) може бути несумісною (за наявності протиріч у перевагах ОПР) або мати незліченну кількість рішень. Задача визначення вектора $\lambda = [\lambda_i]_{i=1}^{N}$ моделі (1) може бути зведена до пошуку чебишовської точки [2].

Для цього введемо додаткову змінну λ_{N+1} в обмеження (6) і будемо вимагати, щоб виконувалися умови $\eta_j(\lambda) \le \lambda_{N+1}$, $j = \overline{1,n_S}$. Тоді пошук чебишовської точки системи (6) зводиться до розв'язання задачі:

$$\lambda_{N+1} \to min,$$
$$-\eta_j(\lambda) + \lambda_{N+1} \ge 0, \quad j = \overline{1,n_S}, \qquad (7)$$
$$\eta_{n_s+1}(\lambda) \equiv \sum_{i=1}^{N}\lambda_i = 1, \quad \lambda_i \ge 0, \quad i = \overline{1,N}.$$

Якщо система нерівностей (7) сумісна, то індикаторна змінна $r = \min\limits_{\lambda}\max\limits_{j}\eta_j(\lambda) \le 0$ і отримане рішення λ^o буде максимально стійким до можливих зсувів площин обмежень. Якщо ж система (7) несумісна, то $r > 0$, і буде отримано чебишовське наближення, що являє собою значення мінімального ухилення для вирішення даної системи. У цьому випадку для системи переваг, поданої бінарним відношенням $R_S(S')$(4), не існує жодного вектора вагових коефіцієнтів часткових критеріїв $\lambda = [\lambda_i]_{i=1}^{N}$, що задовольняє умовам (7).

На наступному етапі здійснюється обчислення значень узагальненої функції корисності $P(s)$ (1) для всіх ефективних варіантів $s \in S^E$ з встановленими значеннями вагових коефіцієнтів $\lambda = [\lambda_i]_{i=1}^{N}$. Це дозволяє здійснити ранжування всієї множини ефективних варіантів з використанням значень синтезованої функції узагальненої корисності.

На останньому етапі на основі кількісної оцінки варіантів $P(s)$, $s \in S^E$ здійснюється відбір підмножини $S^o \subset S^E$ заданої кількості n^o найкращих варіантів. При цьому $Card\,(S^o) << Card\,(S^E)$. Після цього ОПР з використанням методів експертного оцінювання чи лексикографічної оптимізації здійснює остаточний вибір найкращого варіанта $s^o \in S^o$.

III. Висновки

За результатами дослідження запропоновано комбінований експертно-машинний метод ранжування варіантів у системах підтримки прийняття багатокритеріальних рішень на потужних множинах альтернатив. У ньому передбачені етапи виділення підмножини ефективних варіантів, визначення переваг експертів, параметричного синтезу узагальненої функції корисності, ранжування варіантів з використанням синтезованої функції корисності та експертів.

Практичне застосування запропонованого методу дозволить у задачах великої розмірності здійснювати аналіз і відбір визначеної кількості лише ефективних варіантів для остаточної експертизи і вибору. Це створює умови для підвищення ефективності рішень багатокритеріальних задач оптимізації у системах автоматизованого проектування й управління.

Література References

[1] Основы системного анализа и проектирования АСУ /А.А. Павлов, С.Н. Гриша, В.Н. Томашевский и др.; Под общ. ред. А.А. Павлова. К.: Выща школа, 1991. 367 с.

[2] Овезгельдыев А.О., Петров Э.Г., Петров К.Э. Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации. К.: Наук. думка, 2002. 164 с.

[3] Недашківська Н.І. Системний підхід до підтримання прийняття рішень на основі ієрархічних та мережевих моделей // Системні дослідження та інформаційні технології, 2018, № 1. С. 7-18.

[4] Недашківська Н.І. Оцінювання реверсу рангів у методі аналізу ієрархій // Системні дослідження та інформаційні технології. 2005. № 4. С. 120–130.

[5] Миронова Н.А., Юр Т.В. Информационная технология коллективного экспертного оценивания // Электротехнические и компьютерные системы. 2015. №19 (95). С. 195-200.

[6] Петров К.Э., Дейнеко А.А., Чалая О.В., Панферова И.Ю. Метод ранжирования альтернатив при проведении процедуры коллективного экспертного оценивания // Радіоелектроніка, інформатика, управління. 2020. № 2. С. 84-94.

[7] Vladimir V. Beskorovainyi, Lubomyr B. Petryshyn, Olha Yu. Shevchenko. Specific subset effective option in technology design decisions // Applied Aspects of Information Technology. 2020. Vol.3 No.1. P. 443–455.

[8] Beskorovainyi V., Berezovskyi H. Identification of preferences in decision support systems // ECONTECHMOD. 2017. Vol. 06. №4. P. 15–20.

Приклади Наближеного Відновлення Розривних Функцій Двох Змінних Сумами Фур'є без Явища Гіббса

Олег М. Литвин
кафедра інформаційних комп'ютерних технологій і математики
Українська інженерно-педагогічна академія
Харків, Україна
academ_mail@ukr.net

Олександра Литвин
кафедра прикладної математики
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
litvinog@ukr.net

Examples of Approximate Recovery of Discontinuous Functions of Two Variables by Fourier Sums without the Gibbs Phenomenon

Oleg M. Lytvyn
Department of Computer Information technology
Ukrainian engenering-pedagogical academy
Kharkiv, Ukraine
academ_mail@ukr.net

Oleksandra G. Lytvyn
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
litvinog@ukr.net

***Анотація*—Дана робота є продовженням досліджень авторів з наближення розривних функцій, що описують внутрішню структуру 2D тіла з допомогою проекцій, які поступають з комп'ютерного томографа. Пропонується метод побудови сплайн-функції, яка має на вказаних лініях такі ж розриви першого роду, як і наближувана розривна функція. На цій основі будується неперервна функція, для відновлення якої використовується метод О. М. Литвина наближення сумами Фур'є з використанням проекцій. Метод ілюструється на конкретних прикладах наявності однієї та двох ліній розриву. Наведено аналіз результатів. Підтверджується факт зникнення впливу явища Гіббса на кінцевий результат.**

***Abstract*—This work is a continuation of the authors' research on the approximation of discontinuous functions that describe the internal structure of a 2D body using projections coming from a computer tomograph. A method for constructing a spline function is proposed, which has the same discontinuities of the first kind on the indicated lines as the approximate discontinuity function. On this basis, a continuous function is built, for the restoration of which the method of O. M. Lytvyn approximation of Fourier sums using projections. The method is illustrated by specific examples of the presence of one and two rupture lines. The analysis of results is given. The fact of disappearance of the influence of the Gibbs phenomenon on the final result is confirmed.**

Ключові слова—комп'ютерна томографія, реконструкція, зображення, розривна функція, розривний сплайн, сума Фур'є

Keywords—computer tomography, reconstraction, image, discontinuous function, discontinuous spline, sum Fourier

I. Вступ

Задача відновлення функцій за допомогою проекцій виникає в комп'ютерній томографії, коли експериментальними даними є не значення наближуваної функції в окремих точках, а інтеграли вздовж заданої системи ліній – проекцій, які поступають з комп'ютерного томографа. У роботах [1, 2, 3] викладена основна ідея, яка може бути використана для розв'язання поставленої задачі. Ця ідея полягає у виконанні наступних етапів.

1. Вважаємо лінії розриву функції $f(x,y)$ відомими. Будуємо сплайн-функцію $Sp(x,y)$, яка має на вказаних лініях такі ж розриви першого роду, як і наближувана функція. У даній роботі використовуємо метод побудови розривного сплайну, викладений у роботі авторів [1].

2. Знаходимо функцію:

$$\varphi(x,y) = f(x,y) - Sp(x,y).$$

3. Відновлюємо функцію $\varphi(x,y)$ за допомогою метода скінченних сум Фур'є, наведеного у роботі [4], враховуючи, що ця функція не має розривів. Тобто її можна наближувати з допомогою відповідних сум Фур'є без явища Гіббса. Позначимо цю функцію $\tilde{\varphi}(x,y)$.

4. Використовуємо для аналізу функції $f(x,y)$ суму побудованого вище сплайну та наближення функції $\varphi(x,y)$ сумами Фур'є.

II. Загальна постановка задачі. Приклади

Вважаємо, що область, в якій задана розривна функція $f(x,y)$ повністю належить квадрату $[0,1]^2$ і відомі лінії розриву першого роду функції $f(x,y)$, що є колами з центром у точці $(0{,}5;\ 0{,}5)$, радіуси яких $R_1 < R_2 < \ldots < R_M$.

У загальному випадку задання розривної функції $f(x,y)$ та побудова розривного сплайну $Sp(x,y)$ наведена у роботі [1]. Ілюструємо цей підхід на прикладах наявності однієї та двох ліній розриву для випадку, коли функція $\varphi(x,y)$ неперервна.

Приклад 1. Наближене відновлення розривної функції $f(x,y)$, яка має одну лінію розриву, що є колом.

Задана інформація:

- M – кількість ліній розриву, $M = 1$;
- $f_1(x,y)$, $f_2(x,y)$ – задані функції для побудови тестової розривної функції $f(x,y)$;
- радіус кола R_1 і його центр $(0{,}5;0{,}5)$;
- проекційні дані для функції $f(x,y)$.

Розв'язання задачі виконується так:

1. Побудова функції $f(x,y)$.

Задаємо функцію:

$$f(x,y) = \begin{cases} f_1(x,y), & w_1(x,y) > 0; \\ \dfrac{f_1(x,y) + f_2(x,y)}{2}, & w_1(x,y) = 0; \\ f_2(x,y), & w_1(x,y) < 0, \end{cases}$$

$$w_1(x,y) = R_1 - \sqrt{(x-0{,}5)^2 + (y-0{,}5)^2}\ .$$

2. Побудова сплайну $Sp(x,y)$.

$$Sp(x,y) = \begin{cases} \dfrac{w_1(x,y)}{R_1} f_1(0{,}5;0{,}5) + \\ + \left(1 - \dfrac{w_1(x,y)}{R_1}\right) f_{1,N}(x,y),\ w_1(x,y) > 0; \\ \dfrac{f_1(x,y) + f_2(x,y)}{2},\ w_1(x,y) = 0; \\ \dfrac{w(x,y)}{w(x,y) - w_1(x,y)} f_{2,N}(x,y) + \\ + \dfrac{-w_1(x,y)}{w(x,y) - w_1(x,y)} Of_2(x,y),\ w_1(x,y) < 0. \end{cases}$$

3. Формули для функцій, використаних для побудови сплайну.

$$f_{1,N}(x,y) = f_1\big(X(x,y), Y(x,y)\big),$$
$$X(x,y) = x - w_1(x,y)\frac{\partial}{\partial x} w_1(x,y),$$
$$Y(x,y) = y - w_1(x,y)\frac{\partial}{\partial y} w_1(x,y).$$

$$f_{2,N}(x,y) = f_2\big(X(x,y), Y(x,y)\big),$$
$$X(x,y) = x - w_1(x,y)\frac{\partial}{\partial x} w_1(x,y),$$
$$Y(x,y) = y - w_1(x,y)\frac{\partial}{\partial y} w_1(x,y).$$

$$w(x,y) = x(1-x)y(1-y),$$

$$O_1 f_2(x,y) = \frac{x-1}{0-1} f_2(0,y) + \frac{x-0}{1-0} f_2(1,y),$$

$$O_2 f_2(x,y) = \frac{y-1}{0-1} f_2(x,0) + \frac{x-0}{1-0} f_2(x,1),$$

$$O_1 O_2 f_2(x,y) = \frac{x-1}{0-1} O_2 f_2(0,y) + \frac{x-0}{1-0} O_2 f_2(1,y),$$

$$Of_2(x,y) = O_1 f_2(x,y) + O_2 f_2(x,y) - O_1 O_2 f_2(x,y).$$

4. Побудова неперервної функції $\varphi(x,y)$.

$$\varphi(x,y) = f(x,y) - Sp(x,y).$$

5. Застосування методу О. М. Литвина [4] для знаходження коефіцієнтів Фур'є з використанням

проекцій для функції $\varphi(x,y)$. Вважаються відомими відповідні проекційні дані. Отримаємо функцію $\tilde{\varphi}(x,y)$.

6. Наближене відновлення функції $f(x,y)$.

$$\tilde{f}(x,y) = Sp(x,y) + \tilde{\varphi}(x,y).$$

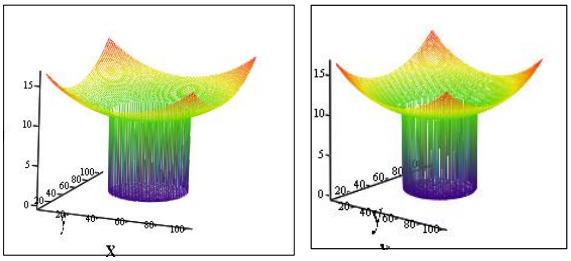
У чисельному експерименті для прикладу 1 задавались функції:

$$f_1(x,y) = k_1 \sin\left((x-0{,}5)^2 + (y-0{,}5)^2\right),$$

$$f_2(x,y) = k_2 e^{(x-0{,}5)^2+(y-0{,}5)^2},$$

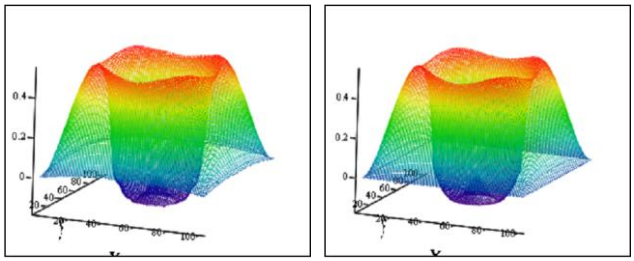
де k_1, k_2 – задані числа. Радіус кола $R_1 = 0{,}25$, центр кола $(0{,}5;0{,}5)$.

Наводимо геометричну інтерпретацію заданої функції $f(x,y)$ та її наближення $\tilde{f}(x,y)$; побудованої функції $\varphi(x,y)$ та її наближення $\tilde{\varphi}(x,y)$ при заданому порядку суми Фур'є $N = 16$.



ZT BZFSp

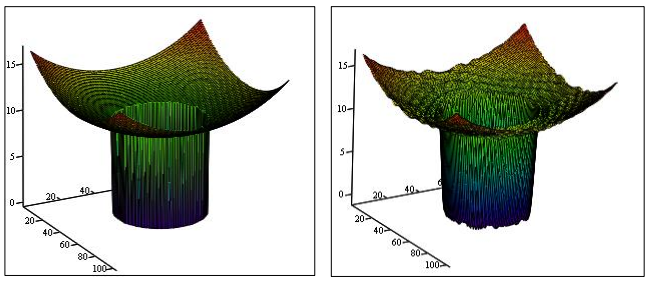
Рис. 1. Зображення функції $f(x,y)$ та $\tilde{f}(x,y)$



BZF ZT

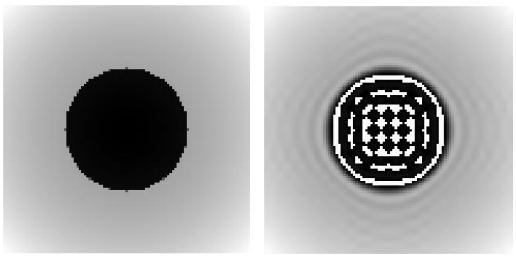
Рис. 2. Зображення функції $\varphi(x,y)$ та $\tilde{\varphi}(x,y)$

Для порівняння наводимо також зображення функції $f^*(x,y)$, яке отримано при безпосередньому використанні методу сум Фур'є для розривної функції $f(x,y)$. На рис. 3, 4 видно присутність осциляцій, що відповідає наявності явища Гіббса. Цей факт знайшов відображення і далі в таблиці 1 при підрахунку похибок.



ZT BZF

Рис. 3. Зображення функції $f(x,y)$ та $f^*(x,y)$



ZT·KK BZF·KK

Рис. 4. Напивтонове зображення функції $f(x,y)$ та $f^*(x,y)$

Порівняння похибок, наведених у табл. 1, також показує переваги запропонованого методу для відновлення розривних функцій.

ТАБЛИЦЯ I. ПОРІВНЯННЯ ПОХИБОК ДЛЯ ПРИКЛАДУ 1

	No.	**Максимальна відносна**	**Середньо-квадратична**	**Середня абсолютна**
Приклад 1 Без впливу явища Гіббса	4	0,223	0,038	0,029
	8	0,141	0,018	0,012
Приклад 1 З впливом явища Гіббса	16	0,083	0,0079	0,0046
	16	0,317	0,643	0,258

Приклад 2. Наближене відновлення розривної функції $f(x,y)$, яка має дві лінії розриву, що є концентричними колами.

Задана інформація:

- M – кількість ліній розриву, $M = 2$;
- $f_1(x,y)$, $f_2(x,y)$, $f_3(x,y)$ – задані функції для побудови тестової розривної функції $f(x,y)$;
- радіуси кіл R_1, R_2, їх центр $(0{,}5;0{,}5)$;
- проекційні дані для функції $f(x,y)$.

Розв'язання задачі виконується так:

1. Побудова функції $f(x,y)$.

Задаємо функцію:

$$f(x,y)=\begin{cases} f_1(x,y),\ 0\le w(x,y)<R_1; \\ \dfrac{f_1(x,y)+f_2(x,y)}{2},\ w(x,y)=R_1; \\ f_2(x,y),\ R_1<w(x,y)<R_2; \\ \dfrac{f_2(x,y)+f_3(x,y)}{2},\ w(x,y)=R_2; \\ f_3(x,y), \\ \big(w(x,y)>R_2\big)\wedge\big(x(1-x)\,y(1-y)\ge 0\big), \end{cases}$$

$$w(x,y)=\sqrt{(x-0{,}5)^2+(y-0{,}5)^2}\ .$$

2. Побудова сплайну $Sp(x,y)$.

$$Sp(x,y)=\frac{R_1-w(x,y)}{R_1}\,f_1(0{,}5;0{,}5)+$$
$$+\frac{w(x,y)}{R_1}\,f_1\big(X1(x,y),Y1(x,y)\big),$$
$$X1(x,y)=x-\big(w(x,y)-R_1\big)\frac{\partial w}{\partial x},$$
$$Y1(x,y)=y-\big(w(x,y)-R_1\big)\frac{\partial w}{\partial y},$$

якщо $0<w(x,y)<R_1$,

$$Sp(x,y)=\frac{f_1(x,y)+f_2(x,y)}{2},$$

якщо $w(x,y)=R_1$.

$$Sp(x,y)=\frac{w(x,y)-R_2}{R_1-R_2}\,f_2\big(X1(x,y)Y1(x,y)\big)+$$
$$+\frac{w(x,y)-R_1}{R_2-R_1}\,f_2\big(X2(x,y)Y2(x,y)\big),$$

$$X1(x,y)=x-\big(w(x,y)-R_1\big)\frac{\partial w}{\partial x},$$
$$Y1(x,y)=y-\big(w(x,y)-R_1\big)\frac{\partial w}{\partial y},$$

$$X2(x,y)=x-\big(w(x,y)-R_2\big)\frac{\partial w}{\partial x},$$
$$Y2(x,y)=y-\big(w(x,y)-R_2\big)\frac{\partial w}{\partial y},$$

якщо $R_1<w(x,y)<R_2$,

$$Sp(x,y)=\frac{f_2(x,y)+f_3(x,y)}{2},$$

якщо $w_2(x,y)=R_2$.

$$Sp(x,y)=\frac{\Omega(x,y)\,f_3\big(X2(x,y),Y2(x,y)\big)}{\Omega(x,y)+\big(w(x,y)-R_2\big)}+$$
$$+\frac{Of_3(x,y)(w-R_2)}{\Omega(x,y)+\big(w(x,y)-R_2\big)},$$

$$X2(x,y)=x-\big(w(x,y)-R_2\big)\frac{\partial w}{\partial x},$$
$$Y2(x,y)=y-\big(w(x,y)-R_2\big)\frac{\partial w}{\partial y},$$

якщо $\big(w(x,y)>R_2\big)\wedge\big(x(x-1)\,y(y-1)\ge 0\big)$.

$$\Omega(x,y)=x(1-x)\,y(1-y).$$

Далі пункти 3), 4), 5), 6) аналогічні наведеним у прикладі 1. Зокрема,

$$O_1\,f_3(x,y)=\frac{x-1}{0-1}\,f_3(0,y)+\frac{x-0}{1-0}\,f_3(1,y),$$

$$O_2\,f_3(x,y)=\frac{y-1}{0-1}\,f_3(x,0)+\frac{x-0}{1-0}\,f_3(x,1),$$

$$O_1O_2\,f_3(x,y)=\frac{x-1}{0-1}O_2\,f_3(0,y)+\frac{x-0}{1-0}O_2\,f_3(1,y),$$

$$Of_3(x,y)=O_1\,f_3(x,y)+O_2\,f_3(x,y)-O_1O_2\,f_3(x,y),$$

У чисельному експерименті для прикладу 2 задавались функції:

$$f_1(x,y)=k_1\sin\big((x-0{,}5)^2+(y-0{,}5)^2\big),$$

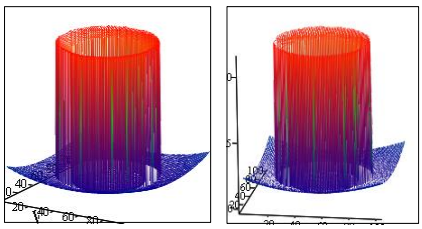
$$f_2(x,y)=k_2e^{(x-0{,}5)^2+(y-0{,}5)^2},$$

$$f_3(x,y)=b_0+b_1(w-R_2)+b_2(w-R_2)^2+b_3(w-R_2)^3,$$

де k_1,k_2,b_0,b_1,b_2,b_3 задані числа. Радіуси кіл $R_1=0{,}25$, $R_2=0{,}35$, центр кіл $(0{,}5;0{,}5)$.

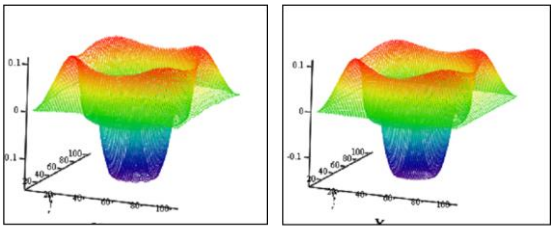
$$R_1=0{,}25,\ R_2=0{,}35.$$

Наводимо геометричну інтерпретацію заданої функції $f(x,y)$ та її наближення $\tilde{f}(x,y)$; побудованої функції $\varphi(x,y)$ та її наближення $\tilde{\varphi}(x,y)$ при заданому порядку суми Фур'є $N=16$.



ZT BZFSp

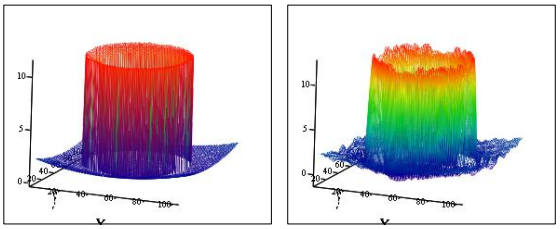
Рис. 5. Зображення функції $f(x,y)$ та $\tilde{f}(x,y)$



BZF ZT

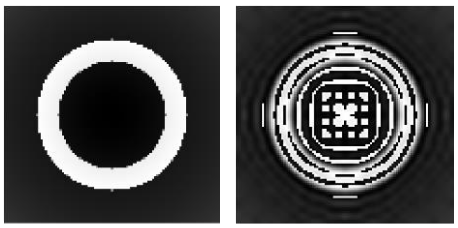
Рис. 6. Зображення функції $\varphi(x,y)$ та $\tilde{\varphi}(x,y)$

Для порівняння наводимо також зображення функції $f^*(x,y)$, яке отримано при безпосередньому використанні методу сум Фур'є для розривної функції $f(x,y)$. На рис. 7, 8 видно присутність осциляцій, що відповідає наявності явища Гіббса. Цей факт знайшов відображення і далі в табл. 2 при підрахунку похибок.



ZT BZF

Рис. 7. Зображення функції $f(x,y)$ та $f^*(x,y)$



ZT·KK BZF·KK

Рис. 8. Напивтонове зображення функції $f(x,y)$ та $f^*(x,y)$

Порівняння похибок, наведених у табл. 2, також показує переваги запропонованого методу для розривних функцій.

ТАБЛИЦЯ II. ПОРІВНЯННЯ ПОХИБОК ДЛЯ ПРИКЛАДУ 2

	No.	**Максимальна відносна**	**Середньо-квадратична**	**Середня абсолютна**
Приклад 1 Без впливу явища Гіббса	4	0,553	0,021	0,016
	8	0,223	0,0055	0,0040
Приклад 1 З впливом явища Гіббса	16	0,128	0,0025	0,0016
	16	0,493	0,987	0,509

III. Висновки

1. У розглянутих прикладах різниця між наближуваною функцією $f(x,y)$ і розривним сплайном $Sp(x,y)$ є неперервною функцією, що дозволяє наближувати її з використанням методу скінченних сум Фур'є з проекційними даними.

2. Збільшення порядку скінченних сум Фур'є приводить до зменшення похибки наближення функції $f(x,y)$. При цьому для обчислення коефіцієнтів Фур'є використовуються проекції.

3. Явище Гіббса в наближуваній функції відсутнє.

4. Запропонований метод є одним з ефективних підходів уникнення явища Гіббса, який виникає при наближенні сумами Фур'є розривних функцій двох змінних.

Література References

[1] O. M. Lytvyn, O. G. Lytvyn, O. O. Lytvyn and V. I. Mezhuyev, «The Method of Reconstructing Discontinuous Functions Using Projections Data and Finite Fourier Sums», The IX International Scientific and Practical Conference *«Information Control Systems &Technologies (ICST-2020)»*, 24–26 of September 2020, Odessa, pp. 661–673.

[2] О. М. Литвин, О. Г. Литвин, «Про один підхід до наближення розривних функцій з використанням проекцій і скінченних сум Фур'є», *Обчислювані методи і системи перетворення інформації*: зб. пр..V-ї наук.-техн. конф., Львів, 4–5 жовтня 2018 р. Львів: ФМІ НАНУ, 2018, с. 8–11.

[3] О. М. Литвин, О. Г. Литвин, «Метод відновлення розривних функцій спеціального вигляду з використанням проекцій і скінченних сум Фур'є», 7-а Міжнародна науково-технічна конференція *«Інформаційні системи та технології ІСТ-2018»*, 10–15 вересня 2018 р., Харків-Коблеве, 2018, с. 120–122.

[4] О. М. Литвин, «Періодичні сплайни і новий метод розв'язання плоскої задачі рентгенівської комп'ютерної томографії», *Системний аналіз, управління і інформаційні технології:* Вісник Харківського держ. політех. ун-ту. Збірка наукових праць. Випуск 125. Харків: ХДПУ, 2000, с. 27–35.

Математичне Моделювання Поверхонь Операторами Інтерстріпації

Олег Литвин
каф. інформаційних комп'ютерних систем і математики
Українська інженерно-педагогічна академія
Харків, Україна
academ.mail@ukr.net

Олексій Славік
каф. інформаційних комп'ютерних систем і математики
Українська інженерно-педагогічна академія
Харків, Україна
aleksey.slavik92@gmail.com

Mathematical Modeling of Surfaces Using Interstripation Operators

Oleg Lytvyn
dept. of Information Computer Systems and Mathematics
Ukrainian Engineering Pedagogics Academy
Kharkiv, Ukraine
academ.mail@ukr.net

Oleksii Slavik
dept. of Information Computer Systems and Mathematics
Ukrainian Engineering Pedagogics Academy
Kharkiv, Ukraine
aleksey.slavik92@gmail.com

***Анотація*—В роботі наведено огляд робіт із використання операторів інтерстріпації для математичного моделювання поверхонь. Проведено обчислювальні експерименти з відновлення штучно пошкоджених поверхонь наведеними операторами інтерстріпації.**

***Abstract*—The paper presents an overview of works on the use of interstripation operators for mathematical modeling of surfaces. Computational experiments on restoration of artificially damaged surfaces by the given interstripation operators are carried out.**

Ключові слова—інтерстріпація; інтерлінація; нові інформаційні оператори; математичне моделювання

Keywords—interstripation; interlination; new information operators; mathematical modeling

I. Вступ

У роботах [1-4] проведено дослідження операторів інтерстріпації (від англ. *inter* – між, від англ. *stripe* – смуга) функцій двох змінних, тобто відновлення цієї функції між системою смуг, якщо інформація про цю функцію є відомою лише в точках зазначених смуг.

У результаті авторами отримано деякі результати, які можна використовувати також для відновлення пошкоджених файлів, що містять графічну інформацію. Наприклад, під час передачі мережею файли можуть бути пошкоджені внаслідок помилок у передачі даних або перевантаження мережі. Потреба в оцінці справжніх значень втрачених пікселів виникає у більшості випадків розв'язання задач цифрового оброблення зображень або, наприклад, під час розв'язання задач оброблення архівних документів у формі зображень, що мають різноманітні спотворення (подряпини, плями, пил, непотрібні написи, лінії згину тощо). Тому актуальним є розроблення методів відновлення зображення в тих його частинах, де інформація з тих чи інших причин є відсутня або є неповністю відомою..

II. Математичне моделювання поверхні операторами інтерстріпації для смуг, паралельних осям координат

Нехай зображення поверхні відомо лише на системі вертикальних смуг:

$$G_{1,k} = \left\{ \alpha_k \le x \le \beta_k, y \in \left[\gamma_1, \delta_{n+1} \right] \right\},\ k = \overline{1,m},\ m \ge 2$$

або (та) на системі горизонтальних смуг:

$$G_{2,l} = \left\{ \gamma_l \le y \le \delta_l, x \in \left[\alpha_1, \beta_{m+1} \right] \right\},\ l = \overline{1,n},\ n \ge 2.$$

Введемо позначення:

$$\overline{G}_{1,k,k+1} = \mathbb{R}^2 \setminus \left(G_{1,k} \bigcup G_{1,k+1} \right),\ k = \overline{1,m-1},$$

$$\overline{G}_{2,l,l+1} = \mathbb{R}^2 \setminus \left(G_{2,l} \bigcup G_{2,l+1} \right),\ l = \overline{1,n-1}.$$

Вважаємо, що поверхня, яку ми хочемо відновити, є відомою лише на зазначених вище смугах, тобто

$$f(x,y)\big|_{\alpha_k \le x \le \beta_k} = f_{1,k}(x,y),\ \alpha_k \le x \le \beta_k,\ \gamma_1 \le y \le \delta_{n+1},$$

$$f(x,y)\big|_{\gamma_l \le y \le \delta_l} = f_{2,l}(x,y),\ \gamma_l \le y \le \delta_l,\ \alpha_1 \le x \le \beta_{m+1},$$

$$\alpha_k < \beta_k < \alpha_{k+1} < \beta_{k+1}, k = \overline{1,m},$$
$$\gamma_l < \delta_l < \gamma_{l+1} < \delta_{l+1}, l = \overline{1,n}.$$

Беручи до уваги наведені вище позначення математичні моделі поверхонь, інформація про які відома лише на смугах, границі яких паралельні осям координат, матимуть вигляд [5, 6]:

$$L_1 f(x,y) = \begin{cases} f_{1,k}(x,y) & (x,y) \in G_{1,k}, \ k = \overline{1,m}; \\ \mathrm{E}_{1,k,k+1} f(x,y) & (x,y) \in \overline{G}_{1,k,k+1}, \ k = \overline{1,m-1}. \end{cases}$$

$$L_2 f(x,y) = \begin{cases} f_{2,l}(x,y) & (x,y) \in G_{1,l}, \ l = \overline{1,n}; \\ \mathrm{E}_{2,l,l+1} f(x,y) & (x,y) \in \overline{G}_{2,l,l+1}, \ l = \overline{1,n-1}. \end{cases}$$

$$L_{1,2} f(x,y) = \begin{cases} f_{1,k}(x,y) & (x,y) \in G_{1,k}, \ k = \overline{1,m}; \\ f_{2,l}(x,y) & (x,y) \in G_{2,l}, \ l = \overline{1,n}; \\ \mathrm{E}_{1,2,k,l} f(x,y) & (x,y) \in \overline{G}_{1,k,k+1} \bigcap \overline{G}_{2,l,l+1}, \\ & k = \overline{1,m-1}, \ l = \overline{1,n-1}. \end{cases}$$

Оператори інтерстріпації $\mathrm{E}_{1,k,k+1} f(x,y)$, $\mathrm{E}_{2,l,l+1} f(x,y)$ та $\mathrm{E}_{1,2,k,l} f(x,y)$ можуть бути представлені у вигляді:

$$\mathrm{E}_{1,k,k+1} f(x,y) = \frac{x-\beta_k}{\alpha_{k+1}-\beta_k} f(\alpha_{k+1}, y) + \frac{x-\alpha_{k+1}}{\beta_k-\alpha_{k+1}} f(\beta_k, y),$$
$$\mathrm{E}_{2,l,l+1} f(x,y) = \frac{y-\delta_l}{\gamma_{l+1}-\delta_l} f(x, \gamma_{l+1}) + \frac{y-\gamma_{l+1}}{\delta_l-\gamma_{l+1}} f(x, \delta_l),$$
$$\mathrm{E}_{1,2,k,l} f(x,y) = \left[\mathrm{E}_{1,k,k+1} + \mathrm{E}_{2,l,l+1} - \mathrm{E}_{1,k,k+1}\mathrm{E}_{2,l,l+1}\right] f(x,y).$$

III. Математичне моделювання поверхні операторами інтерстріпації для смуг із границями у вигляді прямих, розташованих під довільним кутом

Нехай зображення поверхні відомо лише смуг вигляду [7]:

$$G_k = \left\{(x,y) : \omega_{1,k}(x,y) \le x, y \le \omega_{2,k}(x,y)\right\},$$
$$\omega_{1,k}(x,y) = \alpha_{1,k} x + \beta_{1,k} y - \gamma_{1,k},$$
$$\omega_{2,k}(x,y) = \alpha_{2,k} x + \beta_{2,k} y - \gamma_{2,k},$$
$$\alpha_{1,k}^2 + \beta_{1,k}^2 = \alpha_{2,k}^2 + \beta_{2,k}^2 = 1, \ k = \overline{1,m},$$

де $\omega_{1,k}(x,y)$ та $\omega_{2,k}(x,y)$ – деякі прямі, які є границями відомих ділянок зображення (смуг).

Вважаємо, що поверхня, яку ми хочемо відновити, є відомою лише на зазначених вище смугах, тобто

$$f(x,y)\big|_{G_k} = f_k(x,y), \ (x,y) \in G_k, \ k = \overline{1,m}.$$

Позначимо точки перетину прямих, що є границями смуг через

$$\mathrm{A}_{k,l}, \ (k,l) \in \Re = \left\{(k,l) : \Gamma_k \bigcap \Gamma_l = \mathrm{A}_{k,l}; \ k \ne l; \ k,l = \overline{1,m}\right\}.$$

Тоді математична модель поверхні тіла, інформація про яку відома лише на смугах, границі яких є прямі, що розташовані під довільним кутом, має вигляд:

$$\Theta_m f(x,y) = \begin{cases} f_k(x,y) & (x,y) \in G_k, \ k = \overline{1,m}; \\ \Lambda_m f(x,y) & (x,y) \notin G_k, \ k = \overline{1,m}, \end{cases}$$
$$\Lambda_m f(x,y) = \sum_{(k,l)\in\Re} \prod_{\substack{i=1 \\ i\ne k,l}}^{m} \frac{\omega_i(x,y)}{\omega_i(\mathrm{A}_{k,l})} \Lambda_{k,l} f(x,y).$$

Оператор $\Lambda_{k,l} f(x,y)$ – оператор інтерстріпації між k-ю та l-ю смугами вигляду:

$$\Lambda_{k,l} f(x,y) = \frac{\rho_l(x,y)}{\mathrm{P}(x,y)} f\left(x_k^*(x,y), y_k^*(x,y)\right) + \frac{\rho_k(x,y)}{\mathrm{P}(x,y)} f\left(x_l^*(x,y), y_l^*(x,y)\right),$$
$$\mathrm{P}(x,y) = \sum_{k=1}^{m} \rho_k(x,y),$$
$$\rho_k(x,y) = \sqrt{\left(x_k^*(x,y) - x\right)^2 + \left(y_k^*(x,y) - y\right)^2},$$
$$x_k^*(x,y) = \begin{vmatrix} \gamma_k & \beta_k \\ \alpha_k y - \beta_k x & \alpha_k \end{vmatrix} \Big/ \Delta_k,$$
$$y_k^*(x,y) = \begin{vmatrix} \alpha_k & \gamma_k \\ -\beta_k & \alpha_k y - \beta_k x \end{vmatrix} \Big/ \Delta_k,$$
$$\Delta_k = \begin{vmatrix} \alpha_k & \beta_k \\ -\beta_k & \alpha_k \end{vmatrix}.$$

IV. Математичне моделювання поверхні операторами інтерстріпації для смуг із криволінійними границями

Нехай зображення поверхні відомо лише на системі смуг із криволінійними границями вигляду:

$$G_{1,k} = \left\{\alpha_k(y) \le x \le \beta_k(y), y \in \left[\gamma_1, \delta_{n+1}\right]\right\}, \ k = \overline{1,m}, \ m \ge 2$$

або:

$$G_{2,l} = \left\{\gamma_l(x) \le y \le \delta_l(x), x \in \left[\alpha_1, \beta_{m+1}\right]\right\}, \ l = \overline{1,n}, \ n \ge 2.$$

Введемо позначення:

$$\overline{G}_{1,k,k+1} = \mathbb{R}^2 \setminus \left(G_{1,k} \bigcup G_{1,k+1}\right), \ k = \overline{1,m-1},$$
$$\overline{G}_{2,l,l+1} = \mathbb{R}^2 \setminus \left(G_{2,l} \bigcup G_{2,l+1}\right), \ l = \overline{1,n-1}.$$

Беручи до уваги наведені вище позначення математичні моделі поверхонь, інформація про які відома лише на смугах із криволінійними границями, матимуть вигляд [8]:

$$L_1 f(x,y) = \begin{cases} f_{1,k}(x,y) & (x,y) \in G_{1,k}, \ k = \overline{1,m}; \\ \mathrm{E}_{1,k,k+1} f(x,y) & (x,y) \in \overline{G}_{1,k,k+1}, \ k = \overline{1,m-1}. \end{cases}$$

$$L_2 f(x,y) = \begin{cases} f_{2,l}(x,y) & (x,y) \in G_{1,l}, \ l = \overline{1,n}; \\ \mathrm{E}_{2,l,l+1} f(x,y) & (x,y) \in \overline{G}_{2,l,l+1}, \ l = \overline{1,n-1}. \end{cases}$$

В даному випадку оператори інтерстріпації матимуть вигляд:

$$\mathrm{E}_{1,k,k+1} f(x,y) = \frac{x-\beta_k(y)}{\alpha_{k+1}(y)-\beta_k(y)} f(\alpha_{k+1}(y), y) +$$

$$+\frac{x-\alpha_{k+1}(y)}{\beta_k(y)-\alpha_{k+1}(y)}\,f(\beta_k(y),\ y),$$

$$\mathrm{E}_{2,l,l+1}f(x,y)=\frac{y-\delta_l(x)}{\gamma_{l+1}(x)-\delta_l(x)}\,f(x,\ \gamma_{l+1}(x))+$$

$$+\frac{y-\gamma_{l+1}(x)}{\delta_l(x)-\gamma_{l+1}(x)}\,f(x,\ \delta_l(x)).$$

V. Математичне моделювання поверхні операторами інтерстріпації для смуг із границями у вигляді замкнутих контурів

Для випадків смуг, границі яких представлені у вигляді замкнутого контуру ефективним буде застосування операторів інтерстріпації в полярних координатах:

$$\tilde{f}(r,\varphi)=f(r\cos\varphi,r\sin\varphi).$$

При цьому математична модель поверхні буде представлена у вигляді:

$$\Theta\tilde{f}(r,\varphi)=\begin{cases}\tilde{f}_k(r,\varphi) & (r,\varphi)\in G_k,\ \ k=\overline{1,m};\\ O_{k,k+1}\tilde{f}(r,\varphi) & (r,\varphi)\in\overline{G}_{k.k+1},\ \ k=\overline{1,m-1}.\end{cases}$$

$$G_k=\left\{(r,\varphi):r_{k,1}(\varphi)\le r\le r_{k,2}(\varphi),\ \ 0\le\varphi\le 2\pi\right\},$$

$$\overline{G}_{k,k+1}=\left\{(r,\varphi):r_{k,2}(\varphi)\le r\le r_{k+1,1}(\varphi),\ \ 0\le\varphi\le 2\pi\right\}.$$

Оператор інтерстріпації може бути представлений у вигляді:

$$O_{k,k+1}\tilde{f}(r,\varphi)=\tilde{H}_{1,k,k+1}(r,\varphi)\,\tilde{f}(r_{k,2}(\varphi),\varphi)+$$

$$+\tilde{H}_{2,k,k+1}(r,\varphi)\,\tilde{f}(r_{k+1,1}(\varphi),\varphi),$$

$$\tilde{H}_{1,k,k+1}(r,\varphi)=\frac{r-r_{k+1,1}(\varphi)}{r_{k,2}(\varphi)-r_{k+1,1}(\varphi)},$$

$$\tilde{H}_{2,k,k+1}(r,\varphi)=\frac{r-r_{k,2}(\varphi)}{r_{k+1,1}(\varphi)-r_{k,2}(\varphi)}.$$

VI. Приклади моделювання поверхонь операторами інтерстріпації

Наведемо приклади моделювання поверхонь наведеними в даній роботі методами.

Зображення поверхні має вигляд:

$$f(x,y)=0.2\sin\frac{\pi}{2}x+0.2\cos\frac{\pi}{2}y.$$

Припустимо, що інформація про поверхню відома лише на смугах вигляду:

$$\alpha_1=-3,\ \ \beta_1=-2,$$

$$\alpha_1=-1,\ \ \beta_1=1,$$

$$\alpha_1=2,\ \ \beta_1=3.$$

На рис.1 наведено зображення поверхні на системі смуг, результат відновлення поверхні операторами інтерстріпації для смуг, паралельних осям координат, та похибка наближення.

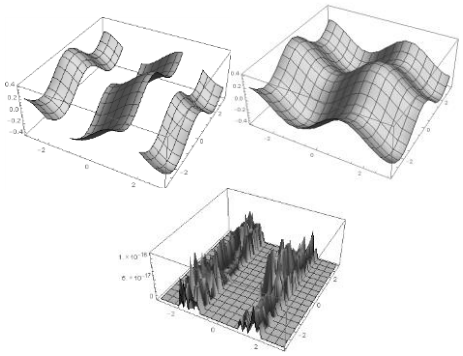


Рис. 1. Результати обчислювального експерименту на систему смуг, границі яких паралельні осям координат

Аналогічний обчислювальний експеримент був проведені для системи криволінійних смуг вигляду:

$$\delta_1(x)=-3,\ \gamma_1(x)=1+0.5\sin x,$$

$$\delta_2(x)=-1+0.5\cos x,\ \gamma_2(x)=3.$$

Для поверхні, що описується функцією вигляду:

$$f(x,y)=e^{-\frac{x^2}{3}-\frac{y^2}{3}}.$$

На рис.2 наведено зображення поверхні на отриманій системі смуг, результат відновлення поверхні операторами інтерстріпації для смуг із криволінійними границями та похибка наближення.

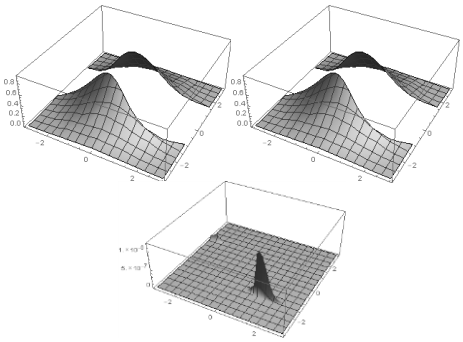


Рис. 2. Результати обчислювального експерименту на систему смуг із криволінійними границями

Останній обчислювальний експеримент було проведено для такої ж поверхні на системі смуг, що описуються наступним чином:

$$x^2+y^2<1+0.1\cos(10\arctan(x,y)),$$

$$x^2+y^2>4+\sin(10\arctan(x,y)).$$

На рис.3 наведено зображення поверхні на отриманій системі смуг, результат відновлення поверхні операторами інтерстріпації в полярних координатах та похибка наближення.

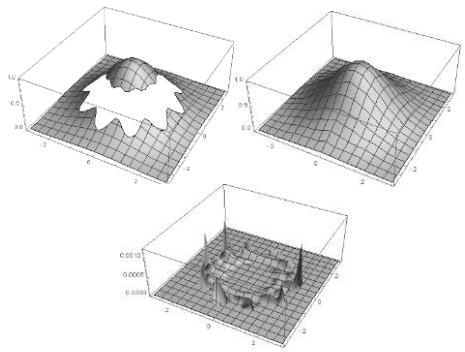


Рис. 3. Результати обчислювального експерименту на систему смуг із замнутим контуром

Висновки

В даній роботі наведено деякі математичні моделі поверхонь із використанням різних операторів інтерстріпації неперервних функцій двох змінних, а саме операторів інтерстріпації для смуг границі яких описуються: прямими, паралельними осям координат; прямими, розташованими під довільним кутом; криволінійними функціями; замкнутими контурами. Проведено низку обчислювальних експериментів для поверхонь, з яких видалялися смуги різної форми та відновлювалися наведеними в роботі методами.

Побудовані в роботі математичні моделі, методи та алгоритми можуть бути використані для обробки архівних даних у вигляді знімків, даних сейсмічної томографії, комп'ютерної томографії, рентгенографії, аерокосмічної зйомки, радіолокаторів бокового огляду тощо. При цьому функції, що описують поверхню можуть являти собою інтенсивність освітлення поверхні в кожній точці поверхні, рівнем радіоактивності тощо.

Література References

[1] Литвин О.М., Матвєєва С.Ю., Межуєв В.І. Метамодель для математичного моделювання поверхні тіла на основі даних радіолокації. Управляющие системы и машины. 2010. № 3. С. 33–47.

[2] Литвин О.М., Матвєєва С.Ю. Метод відновлення поверхні між смугами за допомогою інформації про поверхню на взаємоперпендикулярних смугах. Управляющие системы и машины. 2011. № 1. С. 33–41.

[3] Литвин О.М., Матвєєва С.Ю. Інтерстріпація функцій двох змінних на системі перетенних смуг. Управляющие системы и машины. 2013. № 2. С. 33–41.

[4] Литвин О.Н., Матвеева С.Ю. Обработка аэрокосмических снимков с помощью интерстрипация функций двух переменных. Проблемы управления и информатики. 2013. № 2. С. 111–124.

[5] Литвин О.М., Литвин О.О., Лісний Г.Д., Славік О.В. Новий метод відновлення зображень в зонах відсутності попіксельної інформації. Управляющие системы и машины. 2017. № 1. С. 46–58.

[6] Литвин О.М., Литвин О.О., Лісний Г.Д., Славік О.В. Відновлення зображень в зонах відсутності попіксельної інформації з використанням інтерстріпації функцій. Біоніка інтелекту. 2016. № 2. С. 88–93.

[7] Литвин О.М., Славік О.В. Наближення функцій двох змінних за допомогою їх слідів на системі перетинних смуг, розташованих під довільним кутом. Вісник Запорізького національного університету: Збірник наукових статей. Фізико-математичні науки. 2016. № 2. С. 175–182.

[8] Lytvyn O.M., Lytvyn O.O., Slavik O.V. Generalized Interstripation of Functions of Two Variables. Cybernetics and System Analysis. 2018. Vol.54 № 3. P. 465–475.

Математичне Моделювання Прогину Пластин при Розв'язанні Бігармонійних Задач за Допомогою Сплайнів П'ятого Степеня

Олег Литвин
каф. інформаційних комп'ютерних систем і математики
Українська інженерно-педагогічна академія
Харків, Україна
academ.mail@ukr.net

Ірина Томанова
каф. інформаційних комп'ютерних систем і математики
Українська інженерно-педагогічна академія
Харків, Україна
tomanova.iryna@gmail.com

Mathematical Mmodeling of Deflection of Plates in Solving the Biharmonic Problems Using Fifth-degree Splines

Oleg Lytvyn
dept. of Information Computer Systems and Mathematics
Ukrainian Engineering Pedagogics Academy
Kharkiv, Ukraine
academ.mail@ukr.net

Iryna Tomanova
dept. of Information Computer Systems and Mathematics
Ukrainian Engineering Pedagogics Academy
Kharkiv, Ukraine
tomanova.iryna@gmail.com

***Анотація* — В даній роботі проаналізовано використання явних формул для сплайнів п'ятого степеня на трикутній сітці вузлів при моделюванні прогину пластин різної форми, що описуються бігармонійним рівнянням із жорстко защемленими границями.**

***Abstract* — This paper analyzes the use of explicit formulas for fifth-degree splines on a triangular grid of nodes in modeling the deflection of plates of different shapes, described by a biharmonic equation with rigidly clamped boundaries.**

Ключові слова — бігармонійна задача; умови жорсткого защемлення; сплайни п'ятого степеня; тріангуляція; метод Рітца

Keywords — biharmonic problem; conditions of rigid clamping; fifth-degree splines; triangulation; Ritz method

I. Вступ

Методи математичної фізики використовуються у різних галузях науки та техніки. Проектування та створення конструкцій, які надійні в експлуатації і досить економічні, призводить до необхідності розглядати все більш складні крайові задачі згину пластин, які зводяться до інтегрування бігармонійного рівняння.

Найпоширенішим методом розв'язання такого роду задач є метод скінченних елементів. Для збільшення точності наближення виникає необхідність збільшити кількість вузлів, тобто зростає степінь полінома, що призводить до зросту похибки обчислень з визначенням значення самого полінома. Використання сплайнів п'ятого степеня для розв'язання такого типу рівнянь методом скінченних елементів потребує розв'язання систем рівнянь із 21 параметром на кожному елементі розбиття, що в свою чергу потребує значних обчислювальних ресурсів.

Використання явних формул Сергієнко І. В., Литвина О. М., Литвина О. О., Денисової О. І. [1] для сплайнів п’ятого степеня на трикутнику дасть змогу уникнути проблеми обчислювальних потужностей при розв'язанні такого класу задач і може значно покращити точність наближеного розв'язку.

II. Постановка задачі

Стаціонарна задача про згин тонкої пластини закріпленої на границі, на яку діє навантаження $f(x,y)$, описується рівнянням четвертого порядку:

$$\Delta^2 u(x, y) = f(x, y);$$

тобто бігармонійним рівнянням, при крайових умовах:

$$u\big|_{\partial G} = 0\,,\ \frac{\partial u}{\partial \nu}\bigg|_{\partial G} = 0\,,$$

де $\frac{\partial}{\partial \nu}$ – похідна по нормалі.

Таким чином, основна задача для бігармонійного рівняння полягає в знаходженні функції $u(x,y)$, неперервною разом із першою похідною, в замкнутій області $G \cup \partial G$, що має похідні до четвертого порядку у G, що задовольняє $\Delta^2 u(x,y) = f(x,y)$ в G, а на границі задовольняє умовам жорсткого защемлення:

$$u\big|_{\partial G} = 0\,,\ \frac{\partial u}{\partial \nu}\bigg|_{\partial G} = 0\,.$$

III. Метод математичного моделювання прогину пластин складної форми із використанням сплайнів п'ятого степеня

Для поставленої бігармонійної задачі пропонується шукати розв'язок таким чином [2]:

1) Область G розбиваємо на трикутники. В результаті такого розбиття задана область G буде розбита на N трикутників.

2) Вводимо лінійну нумерацію параметрів, які відповідають функціям базисних поліномів п'ятого степеня при вершинах. Для вершин трикутників, які знаходяться на границі області G, задля задоволення граничних умов поставленої задачі, відповідні параметри покладаються рівними нулю.

3) Продовжуємо лінійну нумерацію для невідомих параметрів, які відповідають функціям базисним поліномів п'ятого степеня при нормалях до середин сторін трикутників. Для параметрів, що відповідають нормалям, розташованим на границі області, покладаються рівними нулю.

В результаті пунктів 2 та 3 отримаємо набір із K невідомих параметрів.

4) Будуємо сплайни п'ятого степеня вигляду:

$$S_n(x,y) = w(x,y) + \sum_{(i,j)\in T}^{3} \left(c_{ij} - \frac{\partial w}{\partial \upsilon_{ij}} \right)\bigg|_{M_{ij}} H_{i,j}(x,y)\,,$$

$$w(x,y) = \sum_{i=0}^{3} \sum_{0 \le |\beta| \le 2} c_{i,\beta} \cdot h_{i,\beta}(x,y)\,,$$

$$h_{k\beta}(x,y) = \frac{(x-x_k)^{\beta_1}(y-y_k)^{\beta_2}}{\beta_1!\,\beta_2!}\,\omega_{ij}^3(x,y)\left\{\frac{1}{\omega_{ij}^3(x,y)}\right\}_{(x_k,y_k)}^{(2-|\beta|)},$$

$$H_{ij}(x,y) = \frac{\omega_{ik}^2(x,y)\omega_{jk}^2(x,y)\omega_{ij}(x,y)\,sign(\Delta_{kij})}{\omega_{ik}^2(x_{ij},y_{ij})\omega_{jk}^2(x_{ij},y_{ij})\left|A_i A_j\right|},$$

$$M_{ij} = \left(\frac{x_i + x_j}{2}, \frac{y_i + y_j}{2}\right) = (x_{ij}, y_{ij})\,,$$

$$\left|A_i, A_j\right| = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}\,,$$

$$\Delta_{kij} = \begin{vmatrix} x_k & y_k & 1 \\ x_i & y_i & 1 \\ x_j & y_j & 1 \end{vmatrix},$$

$$\omega_{ij}(x,y) = \begin{vmatrix} x & y & 1 \\ x_i & y_i & 1 \\ x_j & y_j & 1 \end{vmatrix},$$

де $c_{i,\beta}$ – невідомі параметри, що відповідають базисним функціям при вершинах $h_{i,\beta}$; $c_{i,j}$ – невідомі параметри, що відповідають базисним функціям при $H_{i,j}(x,y)$ нормалях до середин сторін трикутника з вершинами i та j.

5) Будуємо інтеграли на кожному із трикутників розбиття вигляду:

$$I_n = \iint_{T_n} \left(\left(\frac{\partial S_n(x,y)}{\partial x^2} \right)^2 + 2\left(\frac{\partial S_n(x,y)}{\partial x \partial y} \right)^2 + \right.$$

$$\left. + \left(\frac{\partial S_n(x,y)}{\partial y^2} \right)^2 - 2 f(x,y) S_n(x,y) \right) dxdy\,.$$

6) Обчислюємо значення виразу:

$$I = \sum_{n=1}^{N} I_n\,.$$

7) Знаходимо оптимальні значення параметрів, розв'язавши таку систему рівнянь:

$$\frac{\partial I}{\partial c_i} = 0,\ \ i = \overline{1,K}.$$

8) Підставляємо отримані значення параметрів у сплайни на кожному трикутнику розбиття.

Отриманий набір сплайнів та трикутниках розбиття є наближеним розв'язком бігармонійної задачі для жорстко защемленої пластини.

IV. Математичне моделювання прогину пластин складної форми методом Рітца із використанням сплайнів п'ятого степеня

Пропонується використовувати узагальнення методу Рітца розв'язання бігармонійних задач із використанням явних формул для сплайнів п'ятого степеня на трикутниках [3, 4]:

Розбиваємо область G на трикутники, вводимо лінійну нумерацію параметрів та будуємо сплайни на трикутниках

розбиття за аналогічною схемою наведеного вище методу (пункти 1-4).

5) Будуємо локальні матриці A_k та локальні вектори b_k, $k=\overline{1,N}$ для кожного трикутника розбиття вигляду:

$$A_k=\left\{A_{ij}:A_{ij}=\iint\limits_{T_n}\left[\left(\Phi_i^{(2,0)}(x,y)+\Phi_i^{(0,2)}(x,y)\right)\times\right.\right.$$

$$\left.\left.\times\left(\Phi_j^{(2,0)}(x,y)+\Phi_j^{(0,2)}(x,y)\right)\right]dxdy\right\},$$

$$b_k=\left\{b_i:b_i=\iint\limits_G\left[f(x,y)\cdot\Phi_i(x,y)\right]dxdy\right\},\quad k=\overline{1,N},$$

де $\Phi(x,y)$, $\Phi^{(2,0)}(x,y)$ та $\Phi^{(0,2)}(x,y)$ являють собою такі вектори:

$$\Phi(x,y)=\left\{\frac{\partial S_n(x,y)}{\partial c_i},\ i=\overline{1,21}\right\},$$

$$\Phi^{(2,0)}(x,y)=\left\{\frac{\partial^2\Phi_i(x,y)}{\partial x^2},\ i=\overline{1,21}\right\},$$

$$\Phi^{(0,2)}(x,y)=\left\{\frac{\partial^2\Phi_i f(x,y)}{\partial y^2},\ i=\overline{1,21}\right\}.$$

6) Будуємо матриці переходу U_k, $k=\overline{1,N}$ вигляду:

$$U_k=\left\{U_{ij}:U_{ij}=\begin{cases}1,\ c_i^{T_k}=c_j;\\ 0,c_i^{T_k}\neq c_j.\end{cases}\right\},\quad k=\overline{1,N}.$$

7) Будуємо розширені локальні матриці вигляду:

$$A_k^*=U_k^TA_kU_k,\quad k=\overline{1,N}.$$

8) Будуємо глобальну матрицю:

$$A=\sum_{k=1}^{N}A_k^*,$$

та глобальний вектор:

$$b=\sum_{k=1}^{N}b_k^*.$$

9) Знаходимо невідомі параметри, розв'язавши систему рівнянь, яка в матричній формі має вигляд:

$$A\cdot c=b.$$

10) Підставляємо отримані значення параметрів у сплайни на кожному трикутнику розбиття.

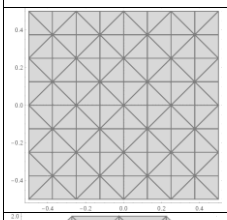
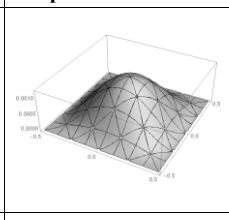
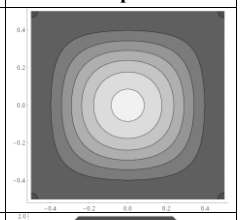
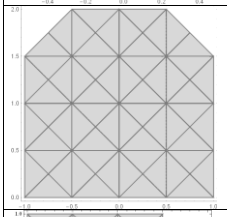
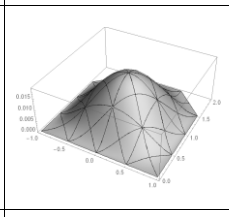
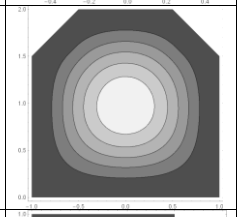
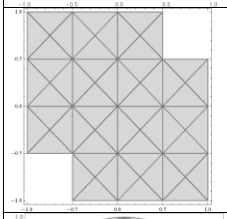
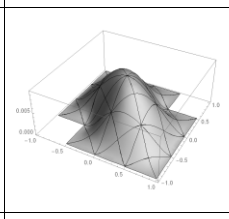
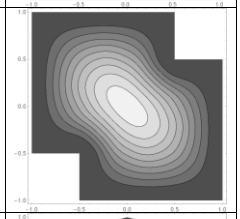
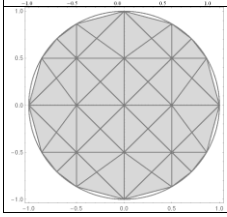
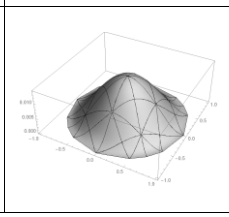
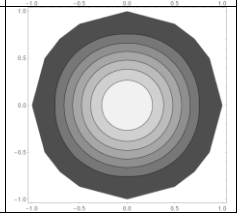
Отриманий набір сплайнів та трикутниках розбиття є наближеним розв'язком бігармонійної задачі для жорстко защемленої пластини.

V. Деякі приклади математичного моделювання прогину пластин складної форми

Наведені в роботі методи було застосовано до бігармонійних задач із жорстко защемленими пластинами різної форми: квадратної, круглої, багатокутної випуклої області та області із вхідними кутами.

Графічне зображення отриманих розв'язків наведено в табл. 1.

ТАБЛИЦЯ I. Графічне зображення отриманих розв'язків бігармонійних задач на різних областях

Розбиття області	Прогин пластини	Лінії рівня
		
		
		
		

Отримані результати обчислювальних експериментів було порівняно із розв'язками, отриманими в роботах С. П. Тимошенко, Д. В. Вайндберга, В. Л. Рвачова та Л. В. Курпи.

Так для квадратної області максимальне значення прогину досягається в точці (0, 0) та дорівнює 0.00126531 згідно [5] та, згідно наведено в роботі методу, 0.00126532.

Для випуклого багатокутника максимальне значення досягається в точці (0, 0.97) та дорівнює 0.0193874 згідно методу [6] та 0.0191495 згідно наведеного методу.

Для області із вхідними кутами максимальне значення досягається в точці (0, 0) та дорівнює 0.0105521 згідно із [7] та 0.00960909 згідно із наведеним методом.

Для круглої області максимальне значення досягається в точці (0, 0) та дорівнює 0.0186114 у роботах [5, 8] та 0.0140245 згідно із наведеним методом.

Також було проведено дослідження на неперервність між отриманими сплайнами кожного наближеного розв'язку задачі. Результати дослідження показали, що явні формули для сплайнів п'ятого степеня гарантують неперервність розв'язку та його похідних до першого порядку включно.

Висновки

В роботі наведено методи розв'язання бігармонійної задачі для жорстко защемлених пластин із використанням явних формул для сплайнів п'ятого степеня на трикутниках. Проведено обчислювальні експерименти зі знаходження розв'язку бігармонійної задачі про згин жорстко защемленої пластини різної форми у вигляді: квадрата; опуклого багатокутника; області із вхідними кутами; кола. Результати подано у вигляді графіків їх поверхонь та ліній рівня. Результати проведених обчислювальних експериментів порівнювалися із результатами отриманими в роботах С. П. Тимошенко, Д. В. Вайндберга, В. Л. Рвачова та Л. В. Курпи. Порівняння отриманих розв'язків бігармонійної доводить добру узгодженість із відомим світовим результатами. Отримані результати є основою для розв’язання прикладних задач математичної фізики, математичними моделями яких є бігармонійне рівняння із жорстко защемленими краями.

Література References

[1] Сергиенко И.В., Литвин О.Н., Литвин О.О., Денисова О.И. Явные формулы для интерполяционных сплайнов 5-й степени на треугольнике // Кибернетика и системный анализ. 2014. Т. 50. № 5. С. 25-33.

[2] Литвин О. М., Томанова І. С. Розв’язання задачі про згин пластини методом скінченних елементів з використанням сплайнів п'ятого степеня на трикутній сітці // Проблемы машиностроения. 2017. Т. 20, № 1. С. 52−61.

[3] Литвин О. М., Томанова І. С. Побудова локальних матриць системи Рітца з використанням сплайнів 5-го степеня на трикутнику при розв’язанні бігармонійної задачі про згин пластини // Бионика интеллекта: научно-технический журнал. 2017. № 2 (89). С.61–65.

[4] Lytvyn O. M., Lytvyn O. O., Tomanova I. S. Solving the bigarmonic plate bending problem by the Ritz method using explicit formulas for splines of degree 5 // Cybernetics and System Analysis. 2018. Vol. 54, № 6. P. 105–109.

[5] Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластины и оболочки. Москва: Наука, 1966. 635 с.

[6] Рвачев В.Л., Курпа Л.В. R–функции в задачах теории пластин. Киев: Наук. думка, 1987. 176 с.

[7] Курпа Л.В, Мазур О.С., Шматко Т.В. Применение теории R-функций к решению нелинейных задач динамики многослойных пластин. Харьков: ООО "В деле", 2016. 492 с.

[8] Вайнберг Д.В, Вайнберг Е.Д. Расчет пластин – Киев: "Будівельник", 1970. – 436с.

Реляційні засоби побудови моделей логічних мереж

Дмитро Шевченко
кафедра Програмної Інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
dmytro.shevchenko1@nure.ua

Ігор Шубін
професор
кафедра Програмної Інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
igor.shubin@nure.ua

Relational tools for building logical network models

Dmytro Shevchenko
Department of Software Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
dmytro.shevchenko1@nure.ua

Igor Shubin
PhD, professor
Department of Software Engineering Kharkiv National
University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
igor.shubin@nure.ua

Анотація—Охарактеризовано математичний апарат для опису людської мови - алгебра предикатів, так само охарактеризовані ефективні технічні засоби для моделювання мови на базі цього апарату - логічні мережі. Розроблено та обґрунтовано метод бінарної декомпозиції функціональних предикатів, який відрізняється від загального методу декартовой декомпозиції тим, що кількість значень допоміжної змінної зведено до мінімуму

Abstract—The mathematical apparatus for the description of human language - algebra of predicates is characterized, the effective technical means for modeling of language on the basis of this apparatus - logical networks are also characterized. The method of binary decomposition of functional predicates is developed and substantiated, which differs from the general method of Cartesian decomposition in that the number of values of the auxiliary variable is minimized

Ключові слова—алгебра кінцевих предикатів; реляційні методи; бінарна декомпозиція; логічні мережі

Keywords—algebra of finite predicates; relational methods; binary decomposition; logical networks

I. Вступ

Намагання вирішення задач повноцінної обробки звичної нам мови, через розробку спеціальних програм, робляться з моменту створення ЕОМ.

Разом із тим вирішення проблеми комунікації людини з ЕОМ з використанням людської мови, автоматичного перекладу та пошуку контекстноорієнтованої інформації вирішені не повністю.

Для опису таких механізмів була створена алгебра кінцевих предикатів [1]. За допомогою цієї алгебри було створено багато формальних описів різних частин людської мови. Але під час інтеграції цих моделей існує проблема вирішення великої кількості рівнянь алгебри кінцевих предикатів у реальному часі.

Пошук досконаліших технічник методів для вирішення рівнянь алгебри кінцевих предикатів в реальному часі призвів до створення логічних мереж орієнтованих на паралельну обробку інформації [2].

Однак модель логічної мережі повинна бути подана у вигляді системи бінарних рівнянь алгебри кінцевих предикатів та бути максимально компактною для економії ресурсів ЕОМ.

Існуючі методи мінімізації декомпозиції предикатів не враховують взаємозв'язків між змінними. Врахування таких особливостей дозволяє провести раціональнішу декомпозицію. В теорії реляційних баз даних пропонуються методи декомпозиції зв'язків у вигляді тверджень про зв'язки атрибутів.

Оскільки предикати та реляційні зв’язки тісно пов’язані – можна використати методи декомпозиції зв’язків задля вирішення задачі декомпозиції предикатів.

Створення нових чи удосконалення існуючих метрик є необхідним для роботи адаптивних навчальних систем [2].

Метою роботи є вдосконалення існуючих засобів декомпозиції предикатів за рахунок використання існуючих методів декомпозії зв’язків.

II. Логічна мережі та існуючи методи створення їх моделей

Багато вчених хотіли б розробити ідеальний паралельний комп’ютер, що базується на методах обробки інформації людським мозком [3]. Основний підхід до розробки «мозкоподібного» комп’ютера базується на гіпотезі про те, що людський інтелект є матеріальним втіленням деякої універсальної логічної алгебри. Тобто для створення такого комп’ютера необхідно створити максимально точний формальний опис тієї алгебри, яку використовує людський інтелект.

Таким чином була розроблеа алгебра предикатів та алгебра предикатних операцій.

Інженерна реалізації формул цих алгебр призводить до рішення, яке називається логічної мережею.

Логічная мережа це прилад для вирішення рівнянь алгебри предикатів поданих у бінарному вигляді. Логічна мережа складається з полюсів та гілок та має алгоритм роботи, який описує їх взаємодію [4]. Усі логічні мережі мають однаковий алгоритм роботи, але склад полюсів та гілок різниться в залежності від моделею. Саме через це для кожної моделі будується окрема логічна мережа.

Модель задається парою $<X, R>$, де X – кінцева непуста множина рівнянь АКП з однією предметною змінною, яка представляє предметні змінні моделі та області їх змін; R – це множина рівнянь АКП з двома змінними, котрі описують бінарні зв’язки між змінними моделі. Модель $<X, R>$ називатимемо моделлю логічної мережі. Множина X – полюса мережі, а R – гілки мережі.

Загальну структуру мережі можна зобразити неорієнтованим зв’язним графом з вершинами X та ребрами R.

Полюс мережі – комірка пам'яті, котра у кожний момент часу містить деяку підмножину значень з області змінення відповідної до неї змінної.

Гілка мережі – пара функцій: з буліана області змінення змінної x в буліан області змінення y та назад.

Задля моделювання інтелектуальних процесів в логічних мережах необхідно описувати ці процеси лише бінарними рівняннями АКП. Інакше кажучи, для опису процесів необхідно створювати моделі логічних мереж. На даний час існує декілька підходів для побудови таких моделей.

До першого підходу варто виділити такі методи побудови моделей, що виокремлюють бінарні зв’язки ще під час формалізації досліджуваного об’єкту, отримуючі бінарні рівняння з самого початку. Такий підхід було застосовано в роботі [5], що розробила модель логічної мережі відмінювання повних присвійних прийменників. В результаті цієї роботи було створено формальний опис невеликого кінцевого предметного простору.

Другий підхід складається з виокремлення бінарних зв’язків з бінарізацією формалізованих зв’язків більної арності. Тут бінарні зв’язки отримуються в результаті бінарізації вже формалізованих відносин, однак деякі бінарні зв’зки все ж виділяються та формалізуються окремо.

Доцільно буває інлоді повністю відділити формальний опис досліджуваного процесу від бінарної декомпозиції його моделі. Тоді можна розглянути такий підхід до створення поделей логічних переж, коли за основу береться вже існуюча формальна модель деякого процесу та виконується лише її бінарна декомпозиція.

Термін «декомпозиція» у загальному сенсі ознаає процес розбору деякого математичного об’єкту – зв’язку предиката, рівняння та інше. Зазвичай декомпозицією предиката називають перетворення даного предиката в деяку систему предикатів. Декомпозиція завжди повинна бути оборотною, тобто з отриманої системи предкатів завжди можна отримати первинний предикат. Бінарна декомпозиція моделі, описаній на мові АКП, зводиться до бінарної декомпозиції кожного її рівняння. Бінарна декомпозиція рівняння АКП - це подання цього рівняння системою бінарних рівнянь, тобто рівнянь з двома змінними.

Бінарна декомпозиція рівняння АКП зводиться до бінарної кон'юнктівной декомпозиції відповідного до цього рівняння предиката. Це означає, що вихідний предикат потрібно представити у вигляді кон'юнкції бінарних предикатів; при введенні допоміжних змінних така кон'юнкція може містити квантори існування, що зв'язують допоміжні змінні. Тому декомпозиція предиката може виконуватися або без допомоги допоміжних змінних, або за допомогою них. У першому випадку декомпозиція називається еквівалентною, у другому - нееквівалентній.

Бінарна декомпозиція предиката може проводитися в кілька етапів. Якщо предикат має відповідну внутрішню структуру, то на початковому етапі за допомогою засобів кон'юнктівной декомпозиції даний предикат можна представити у вигляді кон'юнкції кількох предикатів меншою арності. Мета підготовчого етапу: зробити кон'юнктівную декомпозицію вихідного предиката найбільш раціональним способом. Після цього до отриманих небінарним предикатам треба застосувати методи бінарної декомпозиції, щоб остаточно отримати бінарне представлення вихідного предиката. Такий підхід може забезпечити більш компактне представлення вихідного предиката, ніж при безпосередньому застосуванні методу бінарної декомпозиції до вихідного предикату.

З огляду на вищесказане, нас будуть цікавити не тільки методи бінарної декомпозиції, але і будь-які засоби кон'юнктівной декомпозиції предикатів.

Розглянемо метод декартової декомпозиції [5, 6] як приклад кон'юнктивної декомпозиції.

Суть декартовой декомпозиції предиката полягає в наступному. Кожному кортежу відносини, відповідного вихідного предикату, треба привласнити унікальне ім'я. Так, за допомогою допоміжної змінної, що виражає імена кортежів, з вихідного предиката утворюється новий предикат. Для повернення до вихідного предикату необхідно за допомогою квантора існування виключити з побудованого предиката допоміжну змінну. Так само за допомогою кванторів існування виконується декомпозиція допоміжного предиката в систему так званих проекційних предикатів. Кожен проекційний предикат є бінарним. Так досягається бінарна декомпозиція вихідного предиката.

Головні переваги декартовой декомпозиції - універсальність, простота і гарантія коректності результату. Це означає, що декомпозиція, виконується без втрат інформації: з'єднавши проекційні предикати і виключивши допоміжну змінну, буде отриманий вихідний предикат.

Розглянувши декартову декомпозицію з точки зору баз даних, легко побачити головний недолік цього методу. Допоміжна змінна, яка вводиться при декартовой декомпозиції предиката, грає роль ключа, який повністю визначає кортеж відповідного цьому предикату відносини. З безлічі всіх таких імен утворюється область зміни допоміжної змінної. В результаті декартовой декомпозиції відносини отримуємо систему бінарних відносин, кожне з яких містить ключ (допоміжну змінну) і один з атрибутів вихідного відносини. Тому кожне бінарне відношення містить таку ж кількість кортежів, як і вихідне відношення.

III. Реляційні засоби побудови моделей логічних мереж

Функціональним (однозначним) назвемо предикат $P \in \mathrm{Pre}(S)$ з функціональною залежністю $X \to Y$, для якого $X \cup Y = V$ [7]. Інакше кажучи, в функціональному предикате повинна міститися функціональну залежність, яка охоплює всі його змінні. Предикат $P \in \mathrm{Pre}(S)$ може містити функціональну залежність $X \to Y$, але при цьому не бути функціональним. Це можливо в разі, коли $X \cup Y \neq V$, тобто коли функціональна залежність охоплює не всі змінні предиката P.

Для чіткої постановки завдання вводимо позначення, що характеризують предметне простір. Нехай заданий остов $T \subseteq V \times U$, а кінцева множина V складається з двох непересічних груп змінних: $X = \{x_1, x_2, ..., x_m\}$ і $Z = \{z_1, z_2, ..., z_n\}$, тобто $V = \{x_1, x_2, ..., x_m, z_1, z_2, ..., z_n\}$. Нехай предметний простір S розмірності n утворюється за допомогою остова T як декартовій твір областей зміни змінних з V.

Необхідно виконати бінарну декомпозицію предиката $P(X,Z)$ за допомогою однієї допоміжної змінної.

Сутність запропонованого методу бінарної декомпозиції полягає в способах побудови допоміжних предикатів, на основі яких за допомогою кванторів існування (шляхом виключення змінних) утворюється безліч бінарних предикатів. Останні і є результатом бінарної декомпозиції вихідного предиката. Побудова допоміжних предикатів може виконуватися по-різному, а може і зовсім не знадобитися. З точки зору будови вихідного функціонального предиката можливі три різні ситуації, які визначають послідовність дій для досягнення бінарної декомпозиції мінімальною ціною (в зазначеному вище сенсі). Розглянемо кожен випадок в порядку зростання складності.

При бінарної декомпозиції функціонального предиката $P(X,Z)$ насамперед треба перевірити, чи є аргументи $\{x_1, x_2, ..., x_m\}$ описуваної функції $p: A \to C$ незалежними один від одного. Взаємна незалежність $x_1, x_2, ..., x_m$ змінних в предикате $P(X,Z)$ означає виконання залежності $Z \to\!> x_1 \mid x_2 \mid \ldots \mid x_m$. Для строгої перевірки предиката $P(X,Z)$ на наявність залежності $Z \to\!> x_1 \mid x_2 \mid \ldots \mid x_m$ необхідно виконати диз'юнктивне розкладання предиката $P(X,Z)$ по змінним Z. Після цього Вид цього розкладання дозволить точно встановити, виконується залежність $Z \to\!> x_1 \mid x_2 \mid \ldots \mid x_m$ в предикаті $P(X,Z)$ чи ні.

Якщо предикат $P(X,Z)$ задовольняє залежності $Z \to\!> x_1 \mid x_2 \mid \ldots \mid x_m$, то бінарна декомпозиція виконується досить просто. При цьому можливі дві ситуації.

Перша ситуація має місце, коли група змінних Z складається з однієї змінної - z. Тоді допоміжна змінна не потрібна: бінарна декомпозиція $P(X,z)$ виконується за допомогою кванторів існування безпосередньо на основі цієї залежності кон'юнкції, яку можна представити у вигляді $\wedge\{\{x_1, z\}, \{x_2, z\}, ..., \{x_m, z\}\}$. Це найпростіший випадок. Трохи складніший випадок - коли група Z складається з двох і більше змінних; тоді має місце друга ситуація.

У другій ситуації треба замінити групу змінних однієї допоміжної змінної, після чого здійснити перехід до двох допоміжних предикатів $P_1(X,y)$ і $P_2(y,Z)$ які є результатом проміжної декомпозиції предиката. Бінарна декомпозиція предикатів і здійснюється за допомогою кванторів існування на основі залежностей кон'юнкції $\wedge\{\{y, x_1\}, \{y, x_2\}, ..., \{y, x_m\}\}$ і $\wedge\{\{y, z_1\}, \{y, z_2\}, ...,$

$\{y, z_n\}\}$ відповідно, які, як буде показано далі, виконуються в силу побудови цих предикатів.

Коли $P(X,Z)$ не задовольняє залежності $Z \to\!> x_1 \mid x_2 \mid \ldots \mid x_m$, то має місце найскладніша ситуація з трьох можливих. Тут так само відбувається перехід до допоміжних предикатів $P_1(X,y)$ і $P_2(y,Z)$ з подальшою бінарної декомпозицией останніх. Однак спосіб утворення даних допоміжних предикатів в цьому випадку набагато складніше.

Нехай заданий кінцевий предикат $P(X,Z)$ з функціональною залежністю $X \to Z$. Для виконання його бінарної декомпозиції за допомогою однієї допоміжної змінної, що приймає мінімально можливу кількість значень, треба виконати наступні кроки.

1. Виконати диз'юнктивне розкладання предиката $P(X,Z)$ по змінним Z. Перевірити, чи виконується залежність $Z \to\!> x_1 \mid x_2 \mid \ldots \mid x_m$ в предикаті $P(X,Z)$ чи ні.

Якщо зазначена залежність виконується, то подальші кроки залежать від кількості змінних $Z = \{z_1, z_2, \ldots, z_n\}$: якщо $n = 1$, то перейти до пункту 2; якщо $n > 1$, то перейти до пункту 3. Якщо залежність $Z \to\!> x_1 \mid x_2 \mid \ldots \mid x_m$ не виконується, то перейти до пункту 5.

2. В даному випадку предикат $P(X,z)$ задовольняє залежності кон'юнкції ^$\{\{z, x_1\}, \{z, x_2\}, \ldots, \{z, x_m\}\}$. З допомогою кванторів існування на основі цієї залежності виконати бінарну декомпозицію $P(X,z)$. Бінарна декомпозиція предиката виконана.

3. Ввести допоміжну змінну.

4. Утворити допоміжний предикат $P_2(y,Z)$. Утворити допоміжний предикат $P_1(X,y)$. Перейти до пункту 7.

5. Кожен предикат $P(X,\bar{c}_i)$, $i = 1,2,\ldots,l$, представити у вигляді виразу так, щоб число доданків в цьому виразі було мінімальним. Ввести допоміжну змінну за формулами.

6. За формулами утворити допоміжний предикат $P_1(X,y)$. За формулами утворити допоміжний предикат $P_2(y,Z)$.

7. Виконати бінарну декомпозицію допоміжних предикатів на основі залежностей кон'юнкції, що в них містяться, за допомогою кванторів існування: декомпозицію предиката $P_1(X,y)$ виконати на основі залежності ^$\{\{x_1, y\}, \{x_2, y\}, \ldots, \{x_m, y\}\}$; декомпозицію предиката $P_2(y,Z)$ виконати на основі залежності ^$\{\{y, z_1\}, \{y, z_2\}, \ldots, \{y, z_n\}\}$. Бінарна декомпозиція предиката $P(X,Z)$ виконана.

IV. Висновки

В результаті проведеного дослідження була охарактеризовано математичний апарат для опису людської мови - алгебра предикатів, так само охарактеризовані ефективні технічні засоби для моделювання мови на базі цього апарату - логічні мережі. Проаналізовано сучасний стан проблеми в області розробки логічних мереж та математичних засобів для побудови їх моделей. Виявлено нестачу розвинених засобів в цій галузі. Обґрунтовано необхідність розробки засобів кон'юнктівной декомпозиції, заснованих на теорії нормалізації реляційних відносин і орієнтованих на уявлення предикатів в бінарній формі

Проведено аналіз зв'язку між операціями в реляційній алгебрі і в алгебрі скінченних предикатів.

За допомогою реляційних тверджень про залежності отримав подальший розвиток алгебри апарат декомпозиції предикатів.

У результаті аналізу було розроблено та обґрунтовано метод бінарної декомпозиції функціональних предикатів, який відрізняється від загального методу декартовой декомпозиції тим, що кількість значень допоміжної змінної зведено до мінімуму.

Література References

[1] Бондаренко М. Ф., Шабанов-Кушнаренко Ю.П. Про алгебри предикатів. // Біоніка інтелекту. - Харків: ХНУРЕ, 2004. - № 1 (61). - С.15-26.

[2] Лещинський В.А. Моделі бінарних логічних мереж та їх застосування в штучному інтелекті. Дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.23. - Харків: ХНУРЕ, 2006 - 160 с.

[3] Глушков В.М. Основи безпаперової інформатики. Изд.2-е испр. - М .: Наука. Гл.ред.фіз-мат.літ., 1987.- 552с.

[4] Бондаренко М.Ф., Чикина В.А., Шабанов-Кушнаренко Ю.П. Моделі мови // Біоніка інтелекту. - Харків: ХНУРЕ, 2004. - №1. - С. 27-37.

[5] Пронюк А.В. Метод багатошарової декомпозиції предикатів та його застосування у системах штучного інтелекту. Дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.23. - Харків, 2004. - 191 с.

[6] Козяєв Л.Л. Методи формалізації і моделі морфологічних структур та їх застосування в системах штучного інтелекту. Дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.23. - Харків, 2005. - 153 с.

[7] Chetverikov G., Puzik O., Vechirska I. Multiple-valued structures of intellectual systems //Proceedings of the with Internations Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). 2016, 7589907. -pp. 204-207

Нечіткі Множини та Нечітка Логіка як Інструмент Формалізації Вимог

Ольга Ашурова
кафедра Програмної Інженерії
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
olha.ashurova@nure.ua

Ігор Шубін
професор, кафедра Програмної Інженерії
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
igor.shubin@nure.ua

Fuzzy Sets and Fuzzy Logic as a Tool for Formalizing

Olga Ashurova
Department of Software Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
olha.ashurova@nure.ua

Igor Shubin
PhD, professor
Department of Software Engineering Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
igor.shubin@nure.ua

***Анотація*—Зроблено аналіз методик моделювання нечітких вимог до вибору об'єктів й оцінки сукупної по параметрах відповідності типів альтернативного набору об'єктів пропонованим вимогам на основі експертизи характеристичних параметрів в термінах нечітких виразів. Розроблено алгоритм обчислення агрегованої відповідності об'єктів по сукупності локальних відповідностей характеристичних і цільових параметрів з використанням багатомірних функцій приналежності.**

***Abstract*—The analysis of methods for modeling fuzzy requirements for the choice of objects and assessing the aggregate parameters of the conformity of the types of an alternative set of objects to the requirements on the basis of the examination of characteristic parameters in terms of fuzzy expressions. An algorithm has been developed for calculating the aggregated correspondence of objects by a set of local correspondences of characteristic and target parameters using multidimensional membership functions.**

Ключові слова—багатокрітеріальна оптимізація, нечіткі вимоги, адаптивні нечітки нейронні мережі.

Keywords— multi-criteria optimization, fuzzy requirements, adaptive fuzzy neural network.

I. Вступ

Актуальним завданням синтезу технічної системи є вибір такого складу системних елементів, який забезпечить можливість досягнення максимальної функціональної ефективності. Зокрема, це завдання виникає при синтезі виробничої системи, представленою сукупністю взаємодіючих елементів устаткування. Необхідно вибрати таке устаткування, яке буде найбільше адекватно виробничим умовам Підхід, заснований на нечіткості вимог, забезпечує взаємозамінність альтернатив і можливість їх оптимального вибору [1]. Число характеристичних параметрів складного устаткування може перевищувати кілька десятків, а їх значення в альтернативних видах устаткування найчастіше суперечать пропонованим вимогам. Тому вибір устаткування, здатного забезпечити досягнення найкращих показників ефективності, вимагає застосуванрня інформаційної автоматизованої системи підтримки прийняття рішень (СППР).

II. Сучасні підходи до розробки системи підтримки прийняття рішень

Для аналізу особливостей обробки інформації в СППР розглянуто основні процедури прийняття рішень, які можна відобразити у вигляді схеми, показаної на рис. 1.

Рис. 1. Схема основних процедур прийняття рішень

Рисунок 1 показує, що система підтримки прийняття рішень вимагає великої кількості специфічної інформації й інформаційних технологій для її обробки. Більше того,

більша розмірність вектора вимог і суперечливість компонентів відповідного вектора характеристичних параметрів альтернативних типів устаткування викликає необхідність агрегування локальних відповідностей кожного вектора. Схема реалізації блоку аналізу показано на рис. 2.

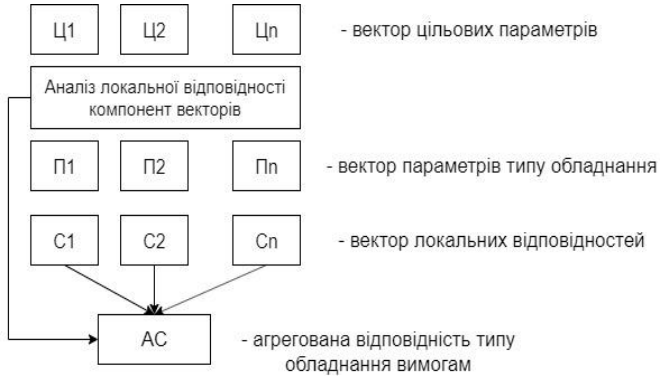


Рис. 2. Схема реалізації блоку параметричного аналізу відповідності устаткування вимогам

Необхідно відзначити, що агрегування здійснюється окремо по технічних і комерційних вимогах. Агрегування самих вимог не відбувається, тому що воно спричинить неминучу втрату інформації. Проведений аналіз особливостей інформаційного забезпечення СППР для вибору устаткування дозволяє сформулювати проведення додаткових аналітичних досліджень, які повинні забезпечити вибір найбільш раціональних підходів до синтезу математичних моделей і методів СППР.

Однією з актуальних завдань дослідження є встановлення локальної відповідності параметрів альтернативних видів однорідного устаткування пропонованим вимогам, а також розрахунок агрегованої відповідності для кожного типу альтернативного устаткування. Необхідно провести аналіз можливості використання для рішення цього завдання математичного апарату нечітких множин і нечіткого логічного висновку.

Нечіткі моделі можна розглядати як ефективний інструмент аналізу й прийняття рішень у наступних специфічних ситуаціях [2]:

– недостатність і невизначеність інформації про стан досліджуваної системи. Чіткі класичні моделі не можуть бути отримані або є занадто складними для практичного використання;

– значна частина інформації представлена експертними оцінками або вербальними описами процесів, що відбуваються; відсутні чіткі границі досліджуваних процесів і явищ;

– дані отримані в результаті вимірів характеризуються високою погрішністю й можливої зміщеності щодо дійсних значень;

– традиційні методи не тільки не дозволяють адекватно обробляти такі дані, але також не дозволяють урахувати властиву їм невизначеність.

Інформація, що описує характеристики устаткування й визначає його вибір, багато в чому відповідає зазначеним особливостям. Отже, нечіткі множини й нечітка логіка є ефективним підходом до рішення даної проблеми.

Використання нечітких логічних виразів для формулювання локальних нечітких вимог до вибору устаткування може припускати продовження застосування нечіткої логіки як для агрегування локальних вимог, так і для вибору устаткування, що максимально відповідає агрегованим вимогам. Досліджуємо таку можливість, для чого розглянемо основні процедури нечіткого логічного висновку. Нечіткий логічний висновок припускає, що для оцінки активізованої функції приналежності повинна використовуватися сукупність правил. Така сукупність у нечіткому логічному висновку називається базою правил або базою знань про деяку предметну область. Використання сукупності правил забезпечує більш повне покриття простору посилки й одночасно дозволяє підвищити вірогідність виведеного висновку [3].

На основі сукупності правил будується система нечіткого логічного висновку, що показана на рис. 3.

Стосовно до вибору устаткування, змінні на рис. 3 можна інтерпретувати в такий спосіб: у якості вхідних сигналів *x* виступають значення параметрів конкретного устаткування, у якості нечітких висловлень *A* – нечіткі вимоги до вибору, вихідні сигнали *в* і нечіткі вирази *Y* – ступінь відповідності й нечітка відповідність відповідно.

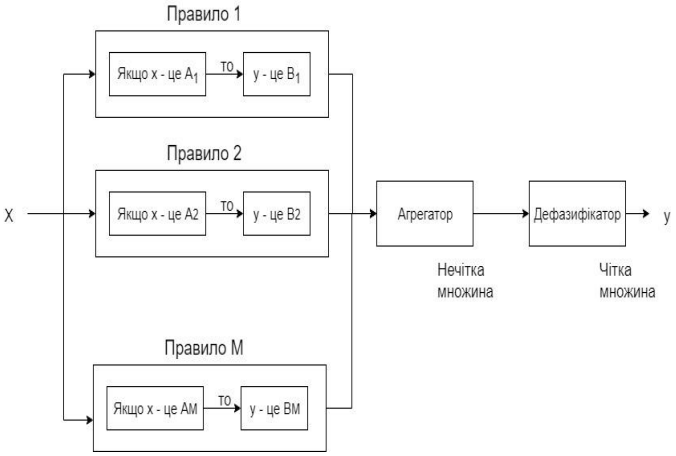


Рис. 3. Система нечіткого логічного висновку

У системі нечіткого логічного висновку для кожного *i*-го правила обчислюється своя функція приналежності *Руіс* (*уі*) відповідно до одного з правил нечіткої композиції.

III. Опис проектування алгоритмів системи

Вимоги до вибору виробничого устаткування з деякої однорідної сукупності його альтернативних видів задаються у вигляді сукупності інтервальних або якісних значень параметрів гіпотетичного, «ідеального» виду. Вибиратися буде такий альтернативний вид устаткування, який найкраще відповідає заданому «ідеалу» по всій сукупності параметрів. Завдання формалізованого опису «ідеалу» і визначення ступені відповідності чітких

значень параметрів альтернативних видів однорідного устаткування пропонованим нечітким вимогам доцільно вирішувати з використанням теорії нечітких множин і нечітких логіки. Згідно із цією теорією, експертним шляхом визначається перелік усіх характеристичних параметрів устаткування, цільові значення яких задаються в нечіткому виді [4].

Ці параметри надалі розглядаються як лінгвістичні змінні. Експерт задає необхідні компоненти лінгвістичних змінних, певним кортежем.

Для рішення завдань СППР актуальними компонентами є: ім'я лінгвістичної змінної; перелік термів, тобто імен прийнятих лінгвістичної змінної (тобто нечітких змінних); числова шкала, на якій задаються значення й функції приналежності кожного нечіткого значення:

$$(P; \{T_i\}; U; \{Pi\}); \quad i \ 1,..., n \qquad (1.1)$$

де P – ім'я лінгвістичної змінної; T_i – значення i -ої нечіткої змінної; U – універсальна числова шкала; Pi – функція приналежності i – ой нечіткої змінної.

Терми T_i задаються якісними (багато, високо, не більше й т.п.) або інтервальними (x_{min} d x d x_{max}) значеннями. В окремому випадку терм може мати цілком визначене, чітке значення. У теорії нечітких множин важливим є питання про кількість термів кожної лінгвістичної змінної посилки або висновку. Кількість якісних градацій деякої величини, яке й визначає число термів, бажане обмежувати числом 9, що переконливо показане в роботі [5].

На практиці зазвичай використовується не більш 5-6 термів. Однак при завданні нечітких вимог до устаткування експерт – проектувальник завжди задає єдине нечітке значення, виходячи з інженерної теорії й досвіду, а не шляхом вибору з певного набору нечітких значень, заданих в безперервному або дискретному виді.

Для розглянутої предметної області необхідно розробити методику формальної вистави нечітких вимог до вибору, індивідуальних для кожного конкретного виробництва, його особливості, що враховують, і характеристики. В основі такої методики повинні лежати положення побудови й агрегування нечітких логічних виразів.

Вибір значень конструктивних параметрів устаткування, відповідних до технічних вимог, відповідальне завдання, особливо для потенційно небезпечних виробничих процесів, до яких ставляться процеси нафтогазового виробництва. Відповідальними за рішення такого завдання є проектувальники, які виступають у ролі експертів.

Крім технічних вимог, необхідно враховувати комерційні вимоги, обумовлені характеристиками ринку устаткування. Таким чином, треба розглядати два класи вимог: технічні і комерційні вимоги [6]..

Технічні вимоги являють собою сукупність цільових значень технічних характеристичних параметрів, відповідних до виробничих умов що склалися на тому або іншому родовищі. Цільові значення задаються експертами – проектувальниками технологічного процесу. Цільові значення задаються у формі лінгвістичних змінних з іменами P_i^{mex}, i=1,…,n; n – кількість технічних характеристичних параметрів устаткування. Терми лінгвістичних змінних розглядаються як нечіткі цільові значення з відповідними функціями приналежності.

Комерційні характеристики формуються за аналогією з технічними з тим відмінністю, що експертами тут виступають інші фахівці компанії. Комерційні характеристики $P_i^{ком}$, i=1,...,n, також необхідно враховувати при виборі устаткування.

Технічні й комерційні вимоги можуть вступати в протиріччя. Наприклад, більш підходяще з технічної точки зору устаткування може виявитися дорожче інших припустимих альтернатив. Така ситуація змушує розглядати технічні й комерційні вимоги на етапі вибору окремо. Однак на етапі опису локальних вимог, тобто цільових характеристик, у термінах нечіткої логіки їх розгляд можна об'єднати.

Схема інформаційних компонентів i-го цільового параметру (як технічного, так і комерційного) показано на рис. 4.

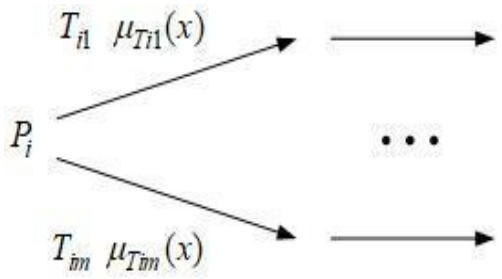


Рис. 4. Схема завдання нечітких вимог для i-го цільового параметру

При формулюванні вимоги експерт призначає з можливих значень T_{ij} – одне бажане значення $T_{iжел}$ для кожного параметра i .

Кон'юнктивна форма складеного нечіткого висловлення A інтегрує бажані значення всіх цільових параметрів:

$$A = «P_1 \ \epsilon \ T_{1жел} \ P_2 \ \epsilon \ T_{2жел} \ ... \ P_n \ \epsilon \ T_{nжел}». \qquad (1.2)$$

У виразі (1.2) кожний цільовий терм, $T_i^{жел}$ інтерпретується своєю функцією приналежності – P_{Ti} (x), що задається експертом. Функція приналежності будується над універсальною множиною, яка визначається всіма припустимими значеннями відповідного параметра, що характеризує устаткування.

Нехай, наприклад, бажане значення деякого характеристичного параметра визначене експертом на проміжку довжини x [100; 150] U як «велике».

Тоді функцію приналежності логічно представити, наприклад, у вигляді, показаному на рис. 5.

Дійсно, як показує рис. 5, більшим значенням довжини відповідають більші значення функції приналежності. Значення довжини рівне 150 має найкраща відповідність (P_T (150) 1) поняттю «більша». Функція приналежності має вигляд лінійної залежності: P_T (*x*) 0,02 *x* 2, де *x* – значення шкали універсальної множини, у розглянутому випадку – шкали довжини.

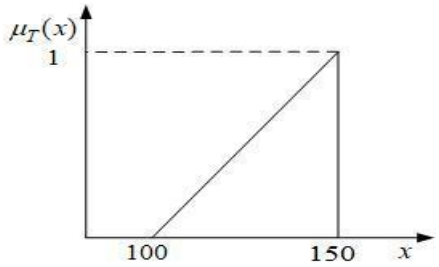


Рис. 5. Функція приналежності терма «більша» довжина

Нехай тепер кілька видів однорідного устаткування мають чіткі значення характеристичного параметра із припустимого діапазону[100;150]. Наприклад, значення характеристичного параметра виду 1 становить 120 див., а виду 2 – 140 див. Тоді відповідність цільовій (бажаній) вимозі «більша довжина» обчислюється в такий спосіб:

– першого виду устаткування P_T (120) 0,02 1202 0.4;

– другого виду устаткування P_T (140) 0,02 1402 0.8;

Вочевидь, що другий вид устаткування по зазначеному характеристичному параметру більше відповідає зазначеним нечітким вимогам.

Відповідність вимогам по одному характеристичному параметру устаткування будемо називати локальною відповідністю.

Визначення сукупного ступеня відповідності конкретного виду устаткування нечітким вимогам по сукупності локальних цільових характеристичних параметрів може здійснюватися різним образом.

Насамперед, можна спробувати скористатися відомими методами нечіткого логічного висновку. У цьому випадку експерт повинен побудувати систему нечітких продукційних правил, що встановлюють залежність між вектором нечітких відповідностей локальним вимогам і відповідністю устаткування в цілому по всій сукупності локальних вимог. Наприклад, у випадку двох параметрів ці правила можуть виглядати в такий спосіб:

ЯКЩО P_1 є «*велике*» ТА P_2 є «*велике*», ТО *Y* є «*висока*»,

ЯКЩО P_1 є «*велике*» ТА P_2 є «*мале*», ТО *Y* є «*середня*»,

ЯКЩО P_1 є «*мале*» ТА P_2 є «*велике*», ТО *Y* є «*середня*»,

ЯКЩО P_1 є «*мале*» ТА P_2 є «*мале*», ТО *Y* є «*низька*»,

де *Y* – лінгвістична змінна «ступінь відповідності устаткування сукупності вимог».

Наведені в прикладі правила експерт у стані сформулювати, система правил може забезпечити повне покриття простору посилки й адекватний висновок про відповідність.

У завданні вибору важливо вибрати таку групу однорідного устаткування, параметри якої забезпечують досягнення максимальної сукупної відповідності як по технічним, так і по комерційних вимогах. Інакше кажучи, вибір повинен бути оптимальним за критерієм відповідності. Такі завдання в рамках нечіткої логіки поки не мають рішення.

У цьому зв'язку пропонується інший шлях, який дозволить обчислювати агреговану відповідність на основі обчислених локальних відповідностей. Обчислення агрегованої відповідності можна звести до побудови багатозначної функції приналежності й обчисленню її значень. Багатозначна функція повинна відповідати ряду обов'язкових умов, які визначаються природними властивостями вибору устаткування:

– повна локальна невідповідність ($P_{лок}$ 0) хоча б по одному параметру тягне повну агреговану невідповідність;

– повна агрегована відповідність ($P_{сов}$ 1) може досягатися тільки при повній локальній відповідності ($P_{лок}$ 1) по всім характеристичним параметрам;

– ступінь агрегованої відповідності не може бути більше мінімуму ступенів локальних відповідностей, $P_{сов}$ d min{ $P_{лок}^{j}$ }.

Наведеним умовам відповідають бінарні операції реалізації кон'юнкції нечітких змінних

Графічна ілюстрація функцій відповідності «важливих» і «не важливих» параметрів показана на рис. 6.

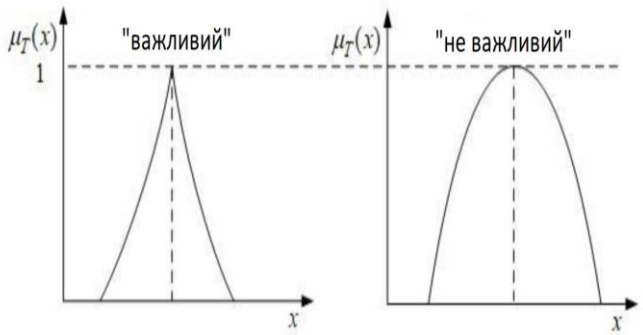


Рис. 6. Функції приналежності адекватні поняттям «важливий» параметр і «не важливий» параметр

Такі нелінійні функції можуть викликати утруднення при експертній побудові, з ними складніше виконувати різні обчислення. Тому пропонується апроксимувати ці функції більш простими – лінійними, зберігши при цьому відмінності в інтерпретації.

Пропонується для «важливих» параметрів зберегти звичайну стандартну трикутну форму функції приналежності, як показано на рис. 7 а). Для «не

важливих» параметрів функція приналежності приймає форму, що представлена на рис. 7 б).

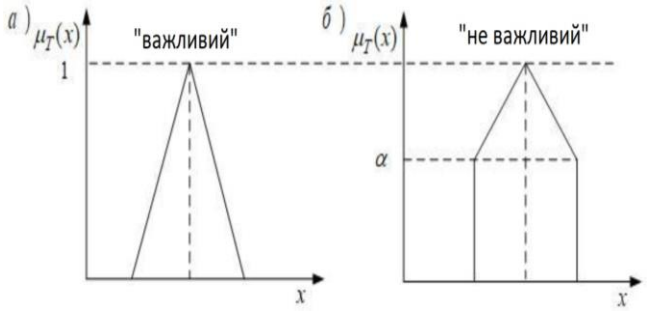


Рис. 7. Апроксимовані функції приналежності адекватні поняттям «важливий» параметр і «не важливий» параметр

Схема алгоритму обчислення локальних і агрегованих відповідностей типів альтернативного устаткування пропонованим нечітким вимогам показано на рис. 8.

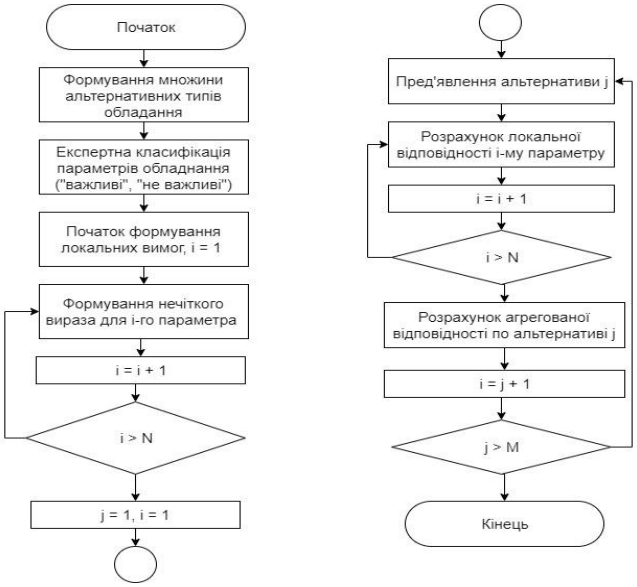


Рис. 8. Схема алгоритму обчислення локальних і агрегованих відповідностей альтернативних типів пропонованим вимогам

Розрахунок агрегованої відповідності буде проводиться за правилом, структурно ідентичному моделі Сугено [6], але з нелінійною функцією приналежності висновку.

IV. Висновки

Результати дослідження показали, що ефективність виробничої технічної системи може бути підвищена за рахунок більш обґрунтованого вибору устаткування по технічних і комерційних вимогах. Такий вибір забезпечується СППР на основі побудови математичних моделей і алгоритмів порівняльного аналізу альтернативних типів устаткування й оптимізації процедур вибору. Обґрунтована можливість використання нечітких логічних виразів і операцій нечіткої логіки для формалізованого опису експертних вимог до вибору устаткування виробничих технічних систем, що забезпечило одержання чисельних оцінок локальних відповідностей параметрів альтернативних типів устаткування заданим вимогам.

Розроблена методика математичної формалізації нечітких вимог до вибору устаткування у формі сукупності нечітких логічних виразів про цільові параметри устаткування з наступною агрегацією локальних відповідностей у кон'юнктивний складений вираз, що дозволяє проводити аналіз альтернативних типів устаткування на відповідність вимогам.

Запропонований алгоритм розрахунку агрегованої по параметрах відповідності типів альтернативного устаткування, заснований на обчисленні значень модифікованих трикутних функцій приналежності, що запобігає невиправдане заниження оцінок відповідності устаткування вимогам.

Розроблена модель модифікованого багатоцільового транспортного завдання для вибору устаткування з максимальною відповідністю технічним і комерційним вимогам, яка на відміну від класичної моделі забезпечує одночасно оптимальний розподіл закупівель устаткування по постачальниках і розподіл устаткування по виробничих структурах.

Розроблена модель оцінки за критеріями, що характеризують ризики альтернатив проекту впровадження устаткування з урахуванням питомих ваг кожного ризику по проекту, як у групі (ризики на стадії планування й ризики на стадії реалізації), так і по всій сукупності проектних ризиків, де проявляється синергетичний ефект як додатковий фактор невизначеності із застосуванням нечітких множин, що дає більш адекватну агреговану оцінку ризиків проекту.

Запропонована процедура структурування альтернатив, заснована на адаптованому під нечіткі множини моделі, що суттєво розширює його можливості й дозволяє одержати підсумкову оцінку кожної альтернативи з обліком як показників економічної ефективності, так і ризику по проекту, завдяки чому керівництво може прийняти обґрунтоване рішення про впровадженні конкретного проекту.

Література References

[1] Chetverikov G., Puzik O., Vechirska I. Multiple-valued structures of intellectual systems//Proceedings of the with Internations Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). 2016, 7589907. -pp. 204-207.

[2] Бокс Дж,, Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Выпуск 1.-М.: Мир, 1974. - 369с.

[3] Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. - М.: Наука, 1983. - 416с.

[4] Chetverikov G.G., Vechirska I.D., Leshchinsky V.A. Mathematical modeling and design of multiple-valued logic elements of digital telecommunications networks // International Conference Proceedings Crimean Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo).-2014, 6959429. - pp. 354-355.

[5] Бывшев В.А., Бабешко Л.О, Алгоритм прогнозирования финансовых индексов в рамках стационарной модели Колмогорова-Винера. - М.: Статистика, 2002. - 406с.

[6] Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. - М.: Наука, 1974. - 587с.

Модель Эластичной Сети с Неявным Использованием Информации о Степенях Узлов

Вадим Шергин, Лариса Чалая, Мария Погурская
Кафедра искусственного интеллекта
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
vadim.shergin@nure.ua, larysa.chala@nure.ua

Сергей Удовенко
Кафедра информатики и вычислительной техники
Харьковский национальный экономический университет имени Симона Кузнеца
Харьков, Украина
serhiy.udovenko@hneu.net

Model of Elastic Network with Implicit Use of Node Degree Data

Vadim Shergin, Larysa Chala, Mariya Pogurskaya
Artificial Intelligence dept.
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkov, Ukraine
vadim.shergin@nure.ua, larysa.chala@nure.ua

Serhii Udovenko
Informatics and Computer Engineering dept
Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics
Kharkov, Ukraine
serhiy.udovenko@hneu.net

Аннотация – Рассматривается проблема моделирования масштабно-инвариантных сетей. Предлагается модель эластичной сети с неявным использованием информации о степенях узлов. Основной особенностью модели является использование фактора копирования в качестве управляющего параметра модели вместо традиционно используемого количества связей входящего узла. Полученная модель сочетает ключевые преимущества модели с присоединением, основанным на посредничестве, и модели эластичной сети. Свойства разработанной модели исследованы аналитически и подтверждены результатами численного моделирования.

Abstract – The problem of modeling scale-free networks is considered. Model of elastic network with implicit use of node degree data is proposed. Using the copy-factor as the control parameter instead of traditionally used number of incoming links is the main feature of the proposed model. This model combines the key benefits of mediation-driven attachment model, and elasticity-based model. The properties of the proposed model have been studied analytically and fully confirmed by the simulation results.

Ключевые слова – масштабно-инвариантная сеть; эластичность; присоединение, основанное на посредничестве; фактор копирования

Keywords – scale-free network; elasticity; mediation-driven attachment; copy factor

I. ВВЕДЕНИЕ

Известно [1,2], что многие из сетей реального мира являются масштабно-инвариантными (МИС), например, социальные сети, сети сотрудничества, сети связи, нейронные и белковые сети, некоторые транспортные сети и т.д. Ключевым свойством МИС является степенной закон распределения числа связей у узлов таких сетей. В свою очередь, степенное распределение является характерной чертой фрактальных свойств системы и её способности к самоорганизации. Этот фактор является ещё одной причиной интереса к моделям МИС.

В основе большинства современных моделей МИС лежит модель, предложенная Барабаши и Альберт [3] (BA-модель). Хотя в настоящее время существует множество расширений и обобщений этой модели [4-9], многие из них обладают общими существенными недостатками, восходящими к BA-модели.

В этой связи наибольший интерес представляют модель присоединения, управляемого посредничеством [10], и модель эластичных сетей [11-12], позволяющие соответственно не использовать информацию о степенях узлов и строить плотные сети. Построение модели сети, сочетающей преимущества вышеназванных моделей, составляет предмет данного исследования.

II. Обзор моделей МИС и постановка задачи

Согласно концепции роста, начальная сеть состоит из n_0 узлов и L_0 связей между ними, а затем на каждом шаге к сети добавляется новый узел. Таким образом, размер сети n (количество узлов) можно использовать в качестве меры времени, номер узла (i) – как время его рождения, а величина $n-i$ служит возрастом узла.

Каждый узел сети характеризуется своей степенью (т.е. количеством связей, k_i) и другими свойствами P_i.

Свойства сети определяются правилом присоединения, то есть зависимостью вероятности π_i присоединения новой связи к узлу от его индивидуальных свойств (i,k_i,P_i) и от общих параметров сети (её размера n, начальных условий n_0, L_0 и управляющих параметров U):

$$\pi_i = f(i,k_i,n_0,L_0,P_i,U). \qquad (1)$$

Динамика роста сети определяется количеством ссылок $m(n)$, соединяющих входящий узел с существующими, или средней степенью узлов $\bar{k}(n)$.

Ключевым свойством МИС является распределение узлов по числу связей $p(k)$, которое должно (по крайней мере асимптотически), подчиняться закону Юла-Саймона, являющемуся в свою очередь дискретным аналогом степенного закона:

$$p(k) = C\frac{\Gamma(k)}{\Gamma(k+\gamma)} \propto k^{-\gamma}, \quad k \geq k_0 \qquad (2)$$

Параметр $\gamma \geq 2$ называется показателем скейлинга.

Самая простой и известной моделью МИС является модель ВА [3]. В её основе лежат две фундаментальные концепции: концепция роста и концепция предпочтительного присоединения, согласно которой вероятность того, что новый узел (с номером $n+1$) присоединится к существующему (номер i) пропорциональна его степени:

$$\pi_i = k_i / \sum k_i \qquad (3)$$

Легко видеть, что описанное правило (3) является простейшим частным случаем (1). Модель ВА приводит к распределению степеней узлов по закону Юла-Саймона (2) с показателем скейлинга $\gamma = 3$. Управляющим параметром служит количество связей $m = const$, инцидентных входящему узлу.

В настоящее время существует множество различных расширений и обобщений модели ВА, которые тем не менее укладываются в общую форму (1) генерирующего механизма (1) (фитнесс-модель [4], модель с фактором старения [5], с фактором дополнительной привлекательности [2], на основе нелинейного предпочтительного присоединения [6], перенаправления связей [7], с учётом свойств узлов второго уровня соседства [8] и т.д.).

Не все из перечисленных моделей порождают именно МИС. Показано [6], что это происходит лишь в том случае, когда правило присоединения (1) является асимптотически линейным относительно k_i, т.е. $\pi_i \sim a_\infty k_i$. С другой стороны, несмотря на широкое распространение моделей МИС в теоретических исследованиях, этот класс сетей является далеко не единственным среди сетей реального мира [9].

Являясь ядром моделей МИС, ВА-модель несёт в себе ряд недостатков, унаследованных и перечисленными нисходящими моделями:

- В сетях реального мира средняя степень узлов $\bar{k}(n)$ имеет тенденцию к росту с размером сети, в то время как в ВА-модели она постоянна. Таким образом, эта модель генерирует очень разреженные сети;
- Модель ВА порождает сети, нейтральные по ассортативности [7, 13], в то время как социальные сети существенно ассортативны, а биологические и технические – дизассортативны;
- Предполагается, что информация о степени узлов k_i используется явно, т.е. входящий узел "знает" (или может оценить) степени всех существующих узлов сети;
- Управляющие параметры моделей (например, m), являются, как правило, масштабно-зависимыми, что противоречит самой концепции масштабной инвариантности.

Для преодоления первого из указанных недостатков была предложена модель эластичных сетей [11-12]. В этой модели предполагается, что относительные темпы роста числа связей и узлов различны. Их отношение называется показателем эластичности:

$$\lambda = \frac{\delta L(t)}{\delta n(t)} = \frac{\Delta L(t)}{L(t)} \Big/ \frac{\Delta n(t)}{n(t)} = n\frac{L(n+1)-L(n)}{L(n)}. \qquad (4)$$

При $\lambda = const$ $(1 \leq \lambda < 2)$ общее количество связей в сети растёт асимптотически по степенному закону с показателем λ. Средняя степень узлов $\bar{k}(n)$ также является не постоянной (равной m), а растёт по степенному закону

$$\bar{k}(n) = L(n)/n \propto n^{\lambda-1}. \qquad (5)$$

Так, при $\lambda > 1$ каждый новый узел приносит больше связей, чем текущее среднее их значение (5). Например, чем больше научных статей было написано, тем больше ссылок должен пересмотреть автор новой статьи.

Таким образом, использование концепции эластичности обобщает исходную модель БА и позволяет создавать плотные МИС.

Модель присоединения, управляемого посредничеством (MDA), предложенная Хассаном и др. в [10], позволяет преодолеть второй из перечисленных недостатков семейства BA-моделей: явное использование информации о степенях узлов.

Согласно модели MDA, новый узел выбирает одного из существующих в качестве посредника (равновероятно) и затем соединяется (также равновероятно) с m соседями этого посредника. Показано [10], что при $m>14$ вероятность присоединения нового узла к существующему зависит только от его степени, однако в отличие от семейства BA-моделей эта зависимость неявная.

Для большинства реальных сетей правило MDA выглядит намного естественнее, чем правило BA, но также имеет некоторые существенные недостатки. В первую очередь, в силу того, что параметр m считается постоянным, что противоречит свойствам реальных сетей.

На основе проведённого анализа, очевидно, что применение концепции эластичности к MDA-модели позволит соединить достоинства обоих подходов. Построение модели эластичной сети с присоединением, управляемым посредничеством (EMDA) и исследование её свойств является целью настоящей работы.

III. Модель эластичной сети с присоединением, управляемым посредничеством

Согласно проведённому анализу предметной области, мы предлагаем [14] изменить правило MDA, применив в качестве управляющего параметра фактор копирования (q) – вероятность, с которой узел-сосед посредника связывается с новым узлом. Также установим, что узел-посредник сам всегда связывается с новым узлом (рис. 1).

Таким образом, количество связей нового узла является не константой (как в правиле MDA), а равно $m=1+q\cdot k_{med}$ (где k_{med} – степень узла-посредника). Тогда математическое ожидание этой величины составляет

$$E\{m(n)\}=1+q\cdot E\{k_{med}\}=1+q\cdot \bar{k}(n)=1+q\frac{L(n)}{n}. \quad (6)$$

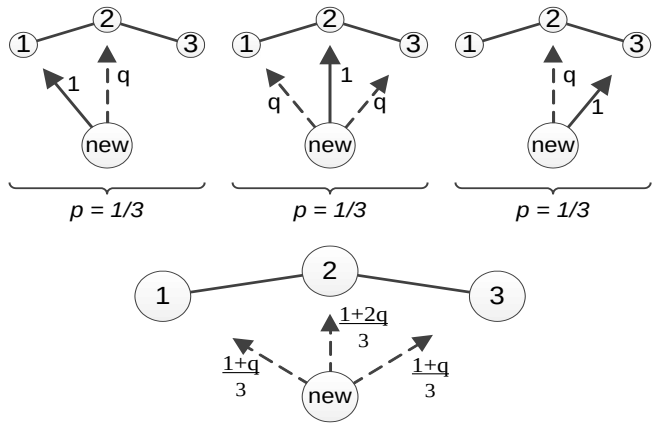


Рис. 1. Вероятности присоединения нового узла согласно предложенному эластичному правилу MDA.

Уравнение динамики роста количества связей сети:

$$L(n+1)-L(n)=2(1+q\cdot L(n)/n). \quad (7)$$

С учётом начальных условий $L(1)=0$, из (7) получим зависимость общего количества связей сети $L(n)$ и средней степени её узлов $\bar{k}(n)=L(n)/n$ от размера сети:

$$\bar{k}(n)=\frac{2}{2q-1}\left(\frac{\Gamma(n+2q)}{\Gamma(n+1)\Gamma(1+2q)}-1\right). \quad (8)$$

Сравнив (5) и (8), можно убедиться, что предложенная модель EMDA является эластичной с показателем эластичности $\lambda=2q$. При $0<q<0.5$ средняя степень узлов возрастает до конечного предела $\bar{k}_{\lim}=2/(1-2q)$, а при $0.5<q<1$ – растёт неограниченно по асимптотически степенному закону $\bar{k}(n)\propto n^{2q-1}$.

Для нахождения распределения узлов по количеству связей, запишем уравнение динамики математического ожидания числа связей у произвольного узла i:

$$k_i(n+1)-k_i(n)=\frac{1+q\cdot k_i(n)}{n}. \quad (9)$$

Общее решение (9) имеет вид

$$k_i(n)=C_i\frac{\Gamma(n+q)}{\Gamma(n)}-\frac{1}{q}. \quad (10)$$

Коэффициенты C_i могут быть найдены из условия, что ожидаемое значение степени узла i в момент времени i равно ожидаемому количеству рёбер, добавленных на шаге $i-1$ (6), т.е. $k_i(i)=E\{m(i-1)\}$. Следовательно,

$$C_i=\frac{1}{2q-1}\left(\frac{\Gamma(i-1+2q)}{\Gamma(i+q)\Gamma(2q)}-\frac{\Gamma(i)}{\Gamma(i+q)}\frac{1-q}{q}\right). \quad (11)$$

Согласно (11) при $i\gg 1$ этот коэффициент асимптотически растёт согласно степенному закону от i:

$$C_i\propto\begin{cases}\frac{1}{(2q-1)\Gamma(2q)}i^{q-1}, & 0.5<q<1\\ \frac{q-1}{(2q-1)q}\cdot i^{-q}, & 0<q<0.5\end{cases} \quad (12)$$

В силу монотонности зависимостей (11)-(12) относительно номера узла, его можно рассматривать как ранг распределения узлов по числу связей. Таким образом, ранговое распределение узлов асимптотически следует степенному закону с показателем

$$\beta=\min\{q,1-q\}. \quad (13)$$

Степенному закону рангового распределения степеней узлов с показателем (13) соответствует степенной закон частотного распределения (2) с показателем скейлинга

$$\gamma = 1 + 1/\beta = 1 + 1/\min\{q, 1-q\}. \qquad (14)$$

Таким образом, в результате теоретического исследования показано, что предложенная EMDA-модель порождает сети, являющиеся эластичными с $\lambda = 2q$ и масштабно-инвариантными с показателем скейлинга (14).

IV. Численное моделирование EMDA-сети

На первом этапе численного эксперимента исследовалась динамика роста числа связей у узлов EMDA-сети. Изначально сеть состоит из двух узлов, соединённых ребром. На каждом шаге добавлялся один узел и связывался с существующими согласно предложенному правилу. Численные результаты и соответствующие теоретические зависимости средней степени узлов от размера сети и фактора копирования показаны на рис. 2.

Затем было исследовано ранговое распределение степеней узлов в зависимости от q при фиксированном размере сети $n = 4096$. Полученные численные зависимости вместе с теоретическими (15)-(16) показаны на рис.3.

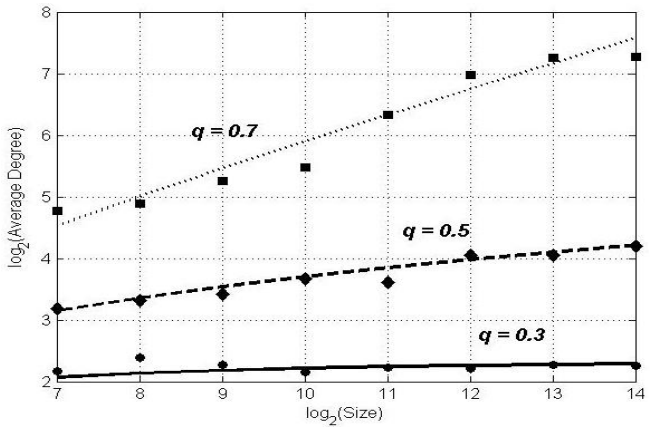


Рис. 2. Зависимость средней степени узлов от размера сети и фактора копирования

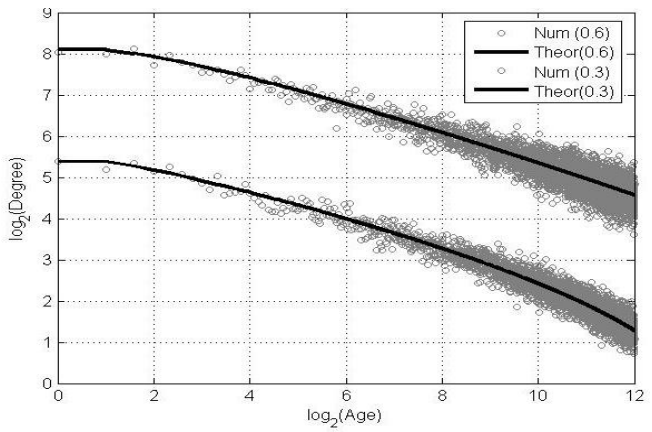


Рис. 3. Ранговое распределение степени узлов при q = 0.6 и q = 0.3

V. Выводы

Рассмотрена проблема моделирования МИС. Проведён анализ существующих моделей МИС и соответствующих правил присоединения узлов. Выявлено, что основными недостатками традиционных моделей являются линейная зависимость количества связей в сети от числа узлов и явное использование информации о свойствах существующих узлов сети. Модель эластичной сети и модель MDA позволяют исправить указанные недостатки, однако, лишь по отдельности.

Предложена модель эластичной сети с присоединением, управляемым посредничеством (EMDA-модель). Полученная модель сочетает в себе достоинства обоих родительских моделей: является эластичной и не использует статистику узлов.

Аналитически получена зависимость средней степени узлов от фактора копирования и размера сети, а также зависимость показателя рангового распределения степени узлов от фактора копирования. Результаты проведённого численного моделирования полностью согласуются с теоретическими.

Анализ свойств ассортативности предложенной EMDA-модели МИС рассматривается как перспективное направление дальнейших исследований.

Литература References

[1] M. E. J. Newman, "Power laws, Pareto distributions and Zipf's law", *Contemporary Physics*, 2005, 46(5). p.323-351.

[2] S. N. Dorogovtsev, J. F. F. Mendes, "Evolution of Networks: From Biological Networks to the Internet and WWW", Oxford, USA: Oxford University Press, 2003. – 280 p.

[3] R. Albert, A.-L. Barabási, "Statistical mechanics of complex networks", *Rev. Mod. Phys.*, 2002, - V. 74. - p. 42-97.

[4] G. Bianconi, A.-L. Barabási, "Competition and multiscaling in evolving networks", *Europhysics Letters*, 2001, 54 (4):436–442.

[5] G. Caldarelli, Guido; Catanzaro, Michele (2012). Networks: A Very Short Introduction. Oxford University Press. p. 78

[6] P. L. Krapivsky, S. Redner; F. Leyvraz, "Connectivity of Growing Random Networks", *Phys. Rev. Lett.*, 2000, 85: 4629–4632.

[7] R. Noldus, P. Van Mieghem, "Assortativity in complex networks", *J. Complex Networks*, 2015, vol. 3, pp. 507-542.

[8] Ch. Dangalchev, "Generation models for scale-free networks", *Physica A*, 2004, 338, 659

[9] A. D. Broido, A. Clauset, "Scale-free networks are rare". *Nat Commun* 10**,** 1017 (2019). https://doi.org/10.1038/s41467-019-08746-5

[10] M. K. Hassan, L. Islam, S. A. Haque, "Degree distribution, rank-size distribution, and leadership persistence in mediation-driven attachment networks". *Physica A: Stat. Mech. and its Appl.* 2017. 469 (2017): 23–30

[11] V. L. Shergin, L. E. Chala and S. G. Udovenko, "Fractal dimension of infinitely growing discrete sets," 2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelecrtronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Slavske, 2018, pp. 259-263.

[12] V. Shergin, L. Chala, "The concept of elasticity of scale-free networks," 2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkov, 2017, pp. 257-260.

[13] V. Shergin, S. Udovenko, L. Chala, "Assortativity Properties of Barabási-Albert Networks," In *Data-Centric Business and Application*. Springer, 2021.

[14] V. Shergin, L. Chala, S. Udovenko, M.Pogurskaya, "Elastic Scale-Free Networks Model Based on the Mediaton-Driven Attachment Rule", 2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), Lviv, 2020, in press.

Особливості Фрактального Аналізу Параметрів Потоку Газу в Магістральних Газопроводах

Юрій Пономарьов
заступник директора з наукової роботи
Інститут транспорту газу
АТ "Укртрансгаз"
Харків, Україна
ponomarev-yv@utg.ua

Віктор Луценко
відділ метрологічного та програмно-технічного забезпечення експлуатації газовимірювальних систем
Інститут транспорту газу АТ "Укртрансгаз"
Харків, Україна
lutcenko-va@utg.ua

Володимир Кобзєв
кафедра Прикладної математики
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
volodymyr.kobziev@nure.ua

Features of Gas Flow Parameters Fractal Analysis in Main Gas Pipelines

Yurii Ponomarev
Deputy Director
for Scientific Work
Institute of Gas Transportation
JSC "Ukrtransgaz"
Kharkiv, Ukraine
ponomarev-yv@utg.ua

Victor Lutsenko
Department of metrological and programmatic maintenance of operation of gas measuring systems
Institute of Gas Transportation
JSC "Ukrtransgaz"
Kharkiv, Ukraine
lutcenko-va@utg.ua

Volodymyr Kobziev
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
volodymyr.kobziev@nure.ua

***Анотація*—Розглядається особливості фрактального аналізу часових рядів основних параметрів потоку природного газу в процесі його транспортування по магістральних газопроводах.**

***Abstract*—Features of fractal analysis of the main parameters of natural gas flow time series of in the process of its transportation through main gas pipelines are considered.**

Ключові слова—природний газ; часовий ряд; фрактальний аналіз;показник Херста.

Keywords—natural gas; time series; fractal analysis, Hirst index.

I. Вступ

Відомо, що ринок природного газу має фрактальний характер. Це означає, що зміни кількості природного газу, які описують ринок продажу природного газу, також мають фрактальний (самоподібний) характер [1].

Природні гази при певних умовах, можуть проявляти нерівноважні властивості. Під нерівноважністю розуміється властивість системи відповідати на зміну зовнішніх умов з деяким запізненням. В цьому випадку характерна ситуація, коли нерівноважна система знаходиться в стані повільних змін, хоча зовнішні умови і залишаються незмінними.

Нерівноважні властивості особливо яскраво проявляються в технологічних ситуаціях, коли відбувається миттєвий стрибок в зміні тиску (пуск або зупинка газоперекачувальних агрегатів тощо). Для оцінки нерівноважних властивостей газів, як правило, використовуються як ідентифікаційні моделі, так і термодинамічний підхід. Використовуючи обидва ці метода, для опису нерівноважних явищ в природних газах потрібно вибрати адекватне рівняння стану для реальних газів.

Численні дослідження показали, що стохастичний характер перехідних режимів в магістральних газопроводах добре узгоджується зі зміною фрактальної міри кривих динаміки зміни основних параметрів потоку.

II. Основний матеріал

В даній роботі ставиться завдання фрактального аналізу часових рядів основних параметрів потоку природного газу в процесі його транспортування по

магістральних газопроводах, з метою побудови класу прогнозних індикаторів, які базуються на положеннях фрактальної математики.

До таких індикаторів відносять фрактальну розмірність, показник Херста, старший показник Ляпунова тощо.

Ці індикатори будуються з метою встановлення ступеня детермінованості досліджуваного процесу або близькості даного процесу до випадкового. З цього виникла задача застосування фрактальних показників до аналізу часових рядів, що описують результати моніторингу процесу транспортування природного газу по газотранспортній системі.

Оскільки газовий потік описується сукупністю параметрів фізичних (витрата, тиск, температура) і фізико-хімічних властивостей (компонентний склад, щільність, енергоємність тощо), то це завдання зводиться до порівняння побудованих індикаторів з мультифакторними показниками. Вони формуються кількома фрактальними процедурами.

Розглянемо результати чисельного експерименту, в ході якого використані дані про споживання газу на ГРС певного магістрального газопроводу. Аналізувався часовий ряд довжиною 8000 реалізацій значень обсягів споживання газу щогодини, наведений на рис.1. Для аналізованого ряду був розрахований узагальнений показник Херста методом мультифрактального детрендованого флуктуаційного аналізу (МФДФА) [2].

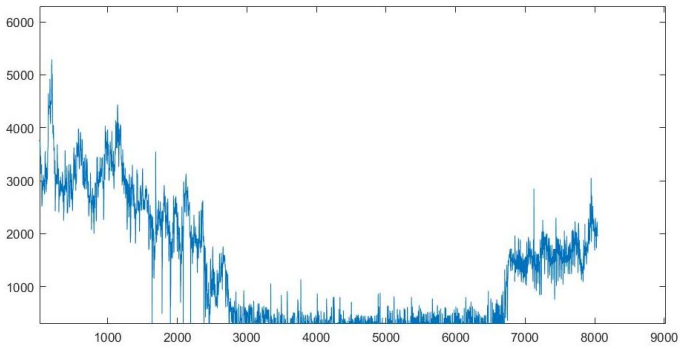


Рис. 1 Часовий ряд даних споживання природного газу.

Аналіз часового ряду, зображеного на рисунку 1, дає можливість стверджувати про його нестаціонарність, яка обумовлена наявністю нелінійного тренду (що, в свою чергу, може бути обумовлена сезонним чинником).

Наступний крок передбачає проведення аналізу флуктуацій ряду відносно тренду. На рис. 2 наведений графік залежності детрендованої флуктуаційної функції

$$F_{dfa}(n)=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}\left[y(k)-y_n(k)\right]^2}$$

від $\lg n$.

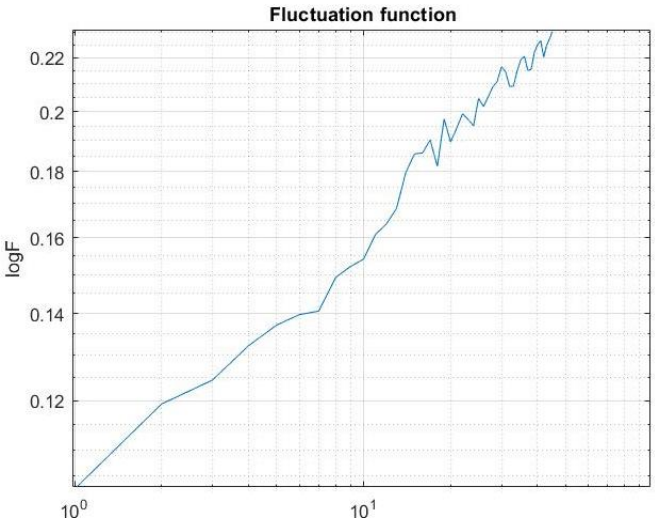


Рис. 2 Залежність $F_{dfa}(n)$.

Для знаходження показника Херста розглядається тільки ділянка, близька до лінійної, тому $H=0.2$.

Отримане значення узагальненого показника Херста $h(q)$ для всього ряду показано на рисунку 3.

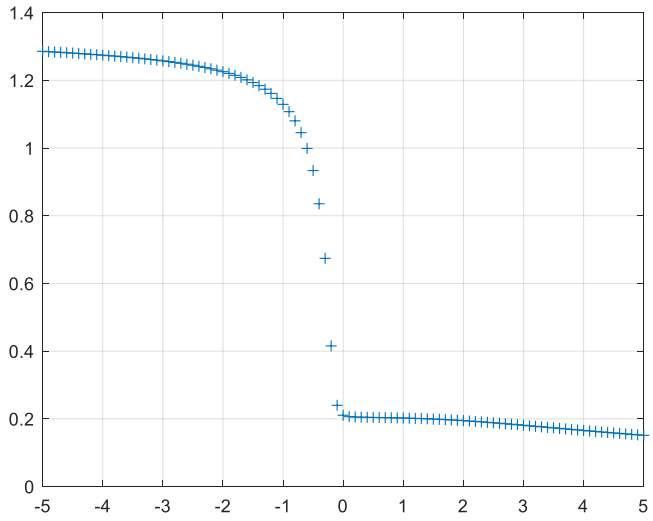


Рис. 3 Графік значень $h(q)$

Великий перепад значень $h(q)$ говорить про мультифрактальність ряду. Показник Херста $H=h(2)=0.2$. Отже процес антиперсистентний, тобто коефіцієнт ймовірності того, що ряд змінить свою тенденцію дорівнює $1-0.2=0.8$.

Далі розіб'ємо часовий ряд на три інтервали, що послідовно відповідають тенденції на зменшення наявних значень, більш стабільній поведінці у середньому та тенденції зростання обсягів споживання (це наочно відповідає поведінці аналізованих даних на рис.1).

Проведемо фрактальний аналіз в кожному з цих інтервалів та знайдемо значення узагальненого показника Херста для кожного окремо (див. рис 4 -9).

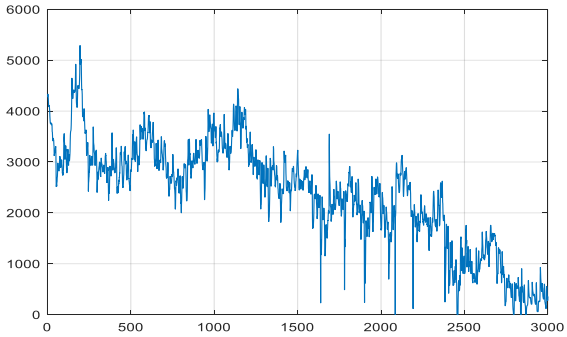


Рис. 4 Часовий ряд для ділянки спадання обсягів споживання газу

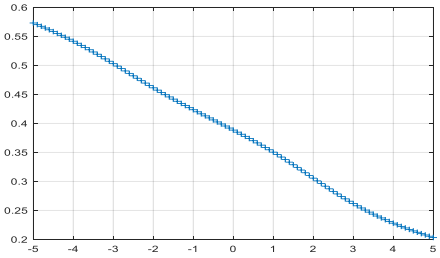


Рис. 5 Графік значень $h(q)$ для ділянки зі спадом

На цій ділянці властивості мультифрактального процесу слабко виражені. Значення параметру $h(2)=0.3$.

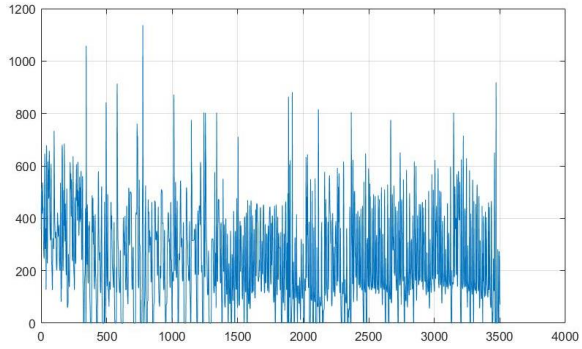


Рис. 6 Стаціонарна ділянка

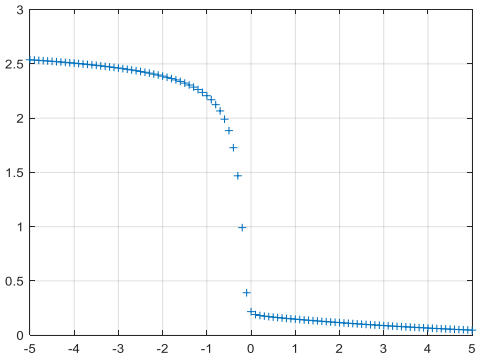


Рис. 7 Графік параметра $h(q)$ для стаціонарної ділянки

На цій ділянці значення параметру $h(2)=0.12$.

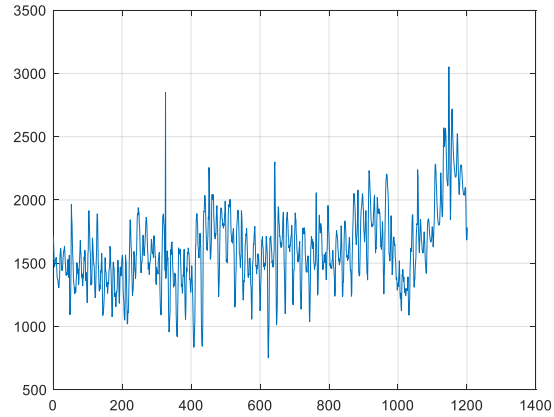


Рис. 8 Ділянка збільшення обсягів споживання газу

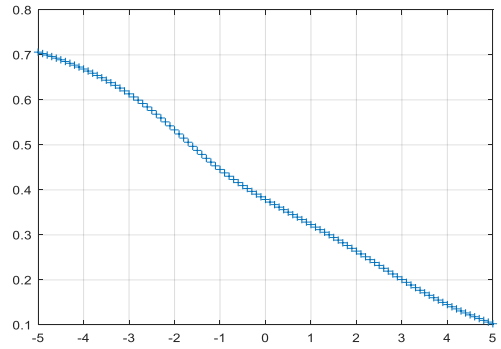


Рис. 9 Параметр $h(q)$ для ділянки збільшення споживання газу

Обчислення для ділянки збільшення споживання газу дають $h(2)=0.27$.

III. Висновки

Розглянуті особливості фрактального аналізу часових рядів споживання природного газу вказують на наявність властивості їх мультифрактальності на трьох ділянках часу спостережень.

Для всіх цих ділянок встановлено антиперсистентний або ергодичний характер процесу змін у часовому ряді. Це означає, що якщо система демонструє зростання в попередній період, то, швидше за все, в наступному періоді почнеться спад, і навпаки. Такий ряд більш мінливий, ніж ряд випадковий, так як складається з частих реверсів спад-підйом.

Література References

[1] Пономарьов Ю., Кобзєв В., Луценко В., Бондарев С. Особливості аналізу споживання природного газу з використанням самоподібних структур / Інформаційні системи та технології: матеріали статей 8-ї Міжнародної науково-технічної конференції, Коблеве-Харків, 09-14 вересня 2019 року / наук. ред. А.Д. Тевяшев, Л.Б. Петришин, В.Г. Кобзєв. – Х.: ХНУРЕ, 2019. – с. 286-287.

[2] Кіріченко Л.О., Радівілова Т.А. Фрактальний аналіз самоподібних і мультифрактальних часових рядів. Харків: ХНУРЕ, 2019. 106 с.

Технологія Формування Замовлень у Системі Керування Виробничо-Збутовим Процесом

Володимир Безкоровайний
кафедра системотехніки,
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
vladimir.beskorovainyi@nure.ua

Максим Куницький
кафедра системотехніки,
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
maksym.kunytskyi@nure.ua

Оксана Драз
кафедра системотехніки,
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
oksana.draz@nure.ua

Вячеслав Лавриков
кафедра системотехніки,
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
viacheslav.lavrykov@nure.ua

Order Generation Technology in the Production and Sales Process Management System Works

Vladimir Beskorovainyi
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
vladimir.beskorovainyi@nure.ua

Maksym Kunytskyi
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
maksym.kunytskyi@nure.ua

Oksana Draz
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
oksana.draz@nure.ua

Viacheslav Lavrykov
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
viacheslav.lavrykov@nure.ua

***Анотація*—Запропоновано варіант моделі динаміки для системи керування виробничо-збутовим процесом з удосконаленими регуляторами на основі Internet-технології процесу збору інформації щодо попиту на товар, фактичних і бажаних запасів всіх рівнів. Запропоновані рішення дозволять підвищити якість керування виробничо-збутовими процесами за рахунок зменшення перерегулювання в усіх ланках системи.**

***Abstract*—A variant of the dynamics model for the production and sales process management system with advanced regulators based on Internet technology of the process of collecting information on the demand for goods, actual and desired stocks of all levels is proposed. The proposed solutions will improve the quality of management of production and marketing processes by reducing over-regulation in all parts of the system.**

Ключові слова—виробничо-збутовий процес, динаміка, моделювання, інформаційна технологія, керування.

Keywords—production and sales process, dynamics, modeling, information technology, management.

I. Вступ

Швидкі зміни економічних і технологічних умов, в яких функціонують сучасні виробничо-збутові комплекси вимагають відповідних змін в технологіях керування ними. Функції автоматизації керування виробничо-збутовими процесами передбачають ітераційне розв'язання комплексу задач збору інформації щодо попиту на продукцію, прогнозу щодо його зміни, стану підсистем виробництва та збуту, прийняття рішень, формування та реалізації керуючих впливів [1-2]. Такі задачі розв'язуються за множиною функціональних і вартісних показників в умовах неповної визначеності даних. Можливості сучасної обчислювальної техніки дозволяють їх спільне розв'язання, що уможливлює

суттєве покращення якості управлінських рішень. При цьому з часів створення методології системної динаміки Дж. Форрестером однією з проблем керування виробничо-збутовими комплексами є визначення впливу організаційної структури й правил прийняття рішень на виникнення небажаних явищ у процесі їхнього функціонування [3-4]. Відомо, що в наслідок запізнювань, які мають місце на всіх етапах виробничо-збутового процесу, темпи виробництва можуть змінюватись у значно більших межах, ніж фактичні темпи споживчих покупок. Одним з основних факторів нестабільності таких процесів є технології формування замовлень у системах керування ними.

Метою дослідження є аналіз та удосконалення технології формування замовлень у системі керування виробничо-збутовими процесами.

II. Результати дослідження

Об'єктом дослідження є технологія формування замовлень у системі керування трирівневою виробничо-збутовою системою, яка складається з виробничої (ВЛ), оптової (ОЛ) та роздрібної ланок (РЛ).

У класичній моделі системної динаміки формування замовлень здійснюється у ланках роздрібної торгівлі, оптової торгівлі та заводського складу з використанням пропорційних регуляторів [3, 4]:

$$tzr = pzr + krzr\left[\left(jzr - fzr\right) + \left(juzr - fuzr\right) + \left(nzr - nnzr\right)\right], \quad (1)$$

$$tzo = pzo + krzo\left[\left(jzo - fzo\right) + \left(juzo - fuzo\right) + \left(nzo - nnzo\right)\right], \quad (2)$$

$$jvp = pzp + krzp\left[\left(jzp - fzp\right) + \left(juzp - fuzp\right) + \left(nzp - nnzp\right)\right], \quad (3)$$

де *tzr, tzo* - темпи закупівель в РЛ і ОЛ.; *jvp* - бажаний темп випуску продукції; *pzr, pzo, pzp* - темпи потоків замовлень РЛ, ОЛ і ВЛ; *krzr, krzo, krzp* - коефіцієнти регулювання запасів і заповнення каналів; *jzr, jzo, jzp* - бажані запаси товарів; *fzr, fzo, fzp* - фактичні запаси товарів; *juzr, juzo, juzp* - бажані рівні заповнення каналів забезпечення; *nzr, nzo, nzp* - невиконані замовлення; *nnzr, nnzo, nnzp* - нормальні кількості невиконаних замовлень.

На першому етапі удосконалення технології формування замовлень у всіх ланках замість регуляторів (1)-(3) використаємо дискретні аналоги пропорційно-інтегрально-диференціальних регуляторів, що дозволять визначати темпи видачі замовлень через розбіжність між бажаними та реальним значенням показників стану процесу:

$$tzr = pzr + krxr \cdot e_R + k_{IR}\int_o^t e_R(t)dt + k_{DR}\frac{de_R(t)}{dt}, \quad (4)$$

$$tzo = pzo + krxo \cdot e_O + k_{IO}\int_o^t e_O(t)dt + k_{DO}\frac{de_O(t)}{dt}, \quad (5)$$

$$jvp = pzp + krxp \cdot e_P + k_{IP}\int_o^t e_P(t)dt + k_{DP}\frac{de_P(t)}{dt}, \quad (6)$$

де $k_{IR}, k_{DR}, k_{IO}, k_{DO}, k_{IP}, k_{DP}$ - коефіцієнти для інтегральної й диференціальної складової регуляторів роздрібної, оптової та виробничої ланок;

$$e_R = \left(jzr - fzr\right) + \left(juzr - fuzr\right) + \left(nzr - nnzr\right), \quad (7)$$

$$e_O = \left(jzo - fzo\right) + \left(juzo - fuzo\right) + \left(nzo - nnzo\right), \quad (8)$$

$$e_P = \left(jzp - fzp\right) + \left(juzp - fuzp\right) + \left(nzp - nnzp\right). \quad (9)$$

Використання регуляторів (4)-(9) дещо підвищує обчислювальну складність методу формування замовлень. Проте це дозволяє зменшити перерегулювання темпів видачі замовлень і коливання рівнів запасів у всіх ланках системи.

Для практичного використання моделі динаміки виробничо-збутової процесу з регуляторами (4)-(9) у системах керування запропоновано удосконалити процес збору інформації щодо поточного стану системи. Реалізація процесу збору інформації щодо попиту на товар, фактичних і бажаних запасів всіх рівнів на основі Internet-технологій дозволяє суттєво зменшити запізнювання прийняття рішень щодо змін темпів видачі замовлень і їхнього пересилання. Це, в свою чергу, дозволяє підвищити якість керування процесом за рахунок адаптації моделі на визначених тактах керування шляхом зміни параметрів регуляторів на основі інформації щодо поточного і бажаного станів процесу.

III. Висновки

У результаті дослідження виконано аналіз класичної імітаційної моделі динаміки виробничо-збутового процесу. З метою використання її у системах керування запропоновано варіант її удосконалення, який передбачає формування замовлень у всіх ланках з використанням пропорційно-інтегрально-диференціальних регуляторів. Це дозволяє визначати темпи видачі замовлень через розбіжність між бажаними та реальним значенням показників стану процесу. Запропонована Internet-технологія процесу збору інформації щодо попиту на товар, фактичних і бажаних запасів всіх рівнів дозволяє суттєво зменшити запізнювання прийняття рішень щодо змін темпів видачі замовлень і їхнього пересилання. Запропоновані рішення дозволять підвищити якість керування виробничо-збутовими процесами за рахунок зменшення перерегулювання в усіх ланках системи.

Література References

[1] Бескоровайный В. В., Ахмед Ф.Х. Пошукові процедури для систем керування виробничо-збутовими процесами // Информационные системы и технологии: материалы 6-й Международ. науч.-техн. конф., Харьков, 11-16 сентября 2017 г.: тезисы докладов. Х.: ХНУРЕ, 2017. С. 134-135.

[2] Thompson K. Sales Automation Done Right: selling in the digital age / K. Thompson. Toronto: SalesWays Press, 2005. 296 p.

[3] Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия (индустриальная динамика): пер. с англ., общая редакция Д.М. Гвишиани. М: Прогресс, 1971. 340 с.

[4] Экономико-математическое обеспечение управленческих решений в менеджменте / Под ред. В.М. Вартаняна. Харьков: ХГЭУ, 2001. 288 с.

Секція 3.
Інформаційні технології сталого розвитку.
Геоінформаційні системи та технології.

Section 3.
Information technologies of sustainable development.
Geo-information systems and technologies.

Information and Analytical System for Monitoring the Energy Resources of the Enterprise

Andriy Tevyashev
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
andrew.teviashev@nure.ua

Vladimir Tkachenko
Department of Media System and Technology
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
volodymyr.tkachenko@nure.ua

Natalia Sizova
Department of Computer Science and Information Technology
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture
Kharkiv, Ukraine
sizova@ukr.net

Dmitrij Kostarev
Director of Flexis, LLC
Kharkiv, Ukraine
dmytro.kostaryev@gmail.com

***Abstract*—The issues of creation and functioning of the Ekoflex Information Monitoring System intended for accounting and forecasting values the consumption of energy resources of the enterprise, have been considered. A description of the system architecture and its software content has been given. A common digital network for centralized data collection and processing has been developed. The energy consumption of the enterprise can be monitored from any device anywhere in the world through a cloud web interface and a mobile interface. The gas (flow) consumption forecasting module takes into account several external factors (exogenous variables) and the structural specifics of the enterprise.**

Keywords—information system, forecasting, modeling, data collection and processing, software content

I. INTRODUCTION

The efficiency of the functioning of an industrial enterprise directly depends on the resources available to it, first of all, energy carriers: gas, water, electricity, chemicals, etc. The transition to energy markets and the dependence of the resulting cost of energy resources not only on the volumes of their consumption, but also on the difference between the declared (planned/predicted) and actual volumes of their consumption at a given time interval [0,T] led to the fact that the task of monitoring (control, accounting, analysis, and forecasting) the costs of energy resources of the enterprise is becoming extremely relevant. A systematic solution to this problem by creating an information and analytical system for monitoring the energy resources of an enterprise (IASMERE) allows not only to reduce direct costs for energy resources, but also to control parameters, such as the equipment operability, its shock-absorber characteristics, frequency of its renewal and modernization, environmental and hygienic indicators, the product quality, etc.

II. RESEARH OBJECTIVE

The problems of control and accounting of energy resources of the enterprise are solved by technical means of control and accounting of energy resources, while the analysis of current and forecasting of future volumes of energy consumption is possible only on the basis of methods of mathematical statistics and mathematical models of interconnected non-stationary random processes. It is known [1, 2] that the processes of energy consumption are random processes with a complex correlation structure, depending on the type of an enterprise and three main groups of factors:

• chronological (time-of-year, month, day of the week, hours of the day);

• meteorological (ambient temperature, wind speed and direction, air humidity, etc.);

• organizational (scheduled switching on/off of technological equipment, etc.).

The complex influence of these factors on the processes of energy resource consumption and the random nature of a number of these factors led to the fact that, as a rule, these processes are non-uniform non-stationary random processes.

The influence of chronological factors on energy consumption processes result in the appearance of polyharmonic trends in them, the nature of which is determined by the cycling of technological processes.

The influence of the ambient temperature, as well as the speed and direction of the wind, led to the appearance of polynomial trends in the processes of energy consumption, caused by changes in meteorological conditions. Changes in consumption volumes, for example, of natural gas in relation to changes in meteorological conditions always occur with a certain time delay due to the inertia of the heat exchange processes of the heated buildings and structures of the enterprise with the environment.

The influence of organizational factors on the processes of consumption of energy resources result in a violation of the homogeneity of these processes and a sharp change in the dynamic properties of these processes.

The complex influence of unobservable and uncontrolled factors on the energy consumption processes gives rise to the appearance of stochastic trends in them.

III. Results

Developed by Ekoflex IASMERE solves the problems of monitoring the consumption of energy resources, carries out their automated collection, accounting, storage, and provides analytical information both for the entire enterprise and for its individual divisions.

IASMERE provides the integration of all enterprise resource meters into a common digital network for centralized data collection and processing. The ability to control the energy consumption of the enterprise from any device anywhere in the world is provided through a cloud web interface and a mobile interface—it is enough to have an Internet connection and to be a registered user in the system with the appropriate access to the archive of data on resource consumption at the enterprise with varying degrees of detail.

Data from all flow meters are collected in a single storage—in a database installed on the server. The system collects and processes data around the clock. Average and current indicators are available to users for viewing via the Internet at any time of the day. The server performs the function of notification when the instantaneous consumption of a resource exceeds the threshold set. In such situations, the users specified in the system will receive an email. During normal operation, no manual action is required by the operating personnel.

It is possible to add additional data acquisition devices working with different parameters. The system allows generating reports, in accordance with certain specified criteria and the ability to automatically send them to responsible persons. IASMERE is geo-referenced with the ability to view the enterprise plan with applied equipment and meters at the installation sites, which provides additional information for various enterprise services about metering points, communications and allows to more efficiently building the energy balance in the context of workshops, sections, equipment units that are displayed on map. One can also carry out an online search for objects on the map, solving the direct and inverse problem of GIS systems. Moreover, IASMERE provides the possibility of operational control and further analysis of resource costs for certain production operations (both regular and irregular), the ability to obtain various types of reports that allow analysis and identification of the most resource-intensive production areas and/or technological operations in order to further optimization.

For data collection, special pulse counting devices are used. Up to 8 flow meters can be connected to one such collecting device and remote collecting devices will be connected by the RS-485 serial bus (fig. 1).

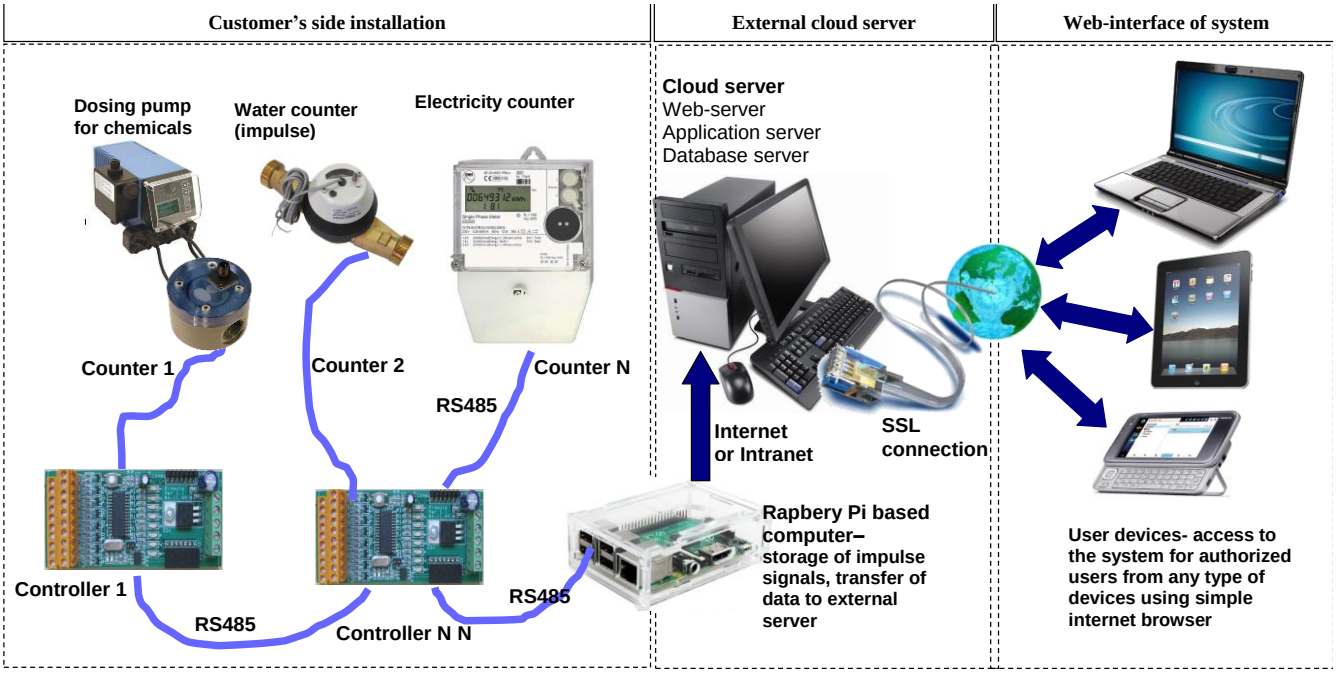


Fig. 1. Common structure of monitoring system "Ecoflex"

The data collectors are connected to the server via the same serial line. A specially developed program is constantly running on the server, which constantly inquires all collection devices and stores the data in the storage. The data collector itself does not store data but transmits it to the server for processing.

The controller is a microprocessor-based circuit that performs two main functions—counting pulses from meters and communication via a digital line [3].

Ekoflex IASMERE allows:

– to shape the balance of energy resources of the enterprise in real time;

– to analyze the specific cost of energy resources per unit of production for individual structural divisions of the enterprise (workshops, areas, pieces of equipment, etc.);

– to maintain constant data of certain resources in critical areas of production (for example, on humidity and temperature in cold stores);

– to analyze the depreciation of the equipment (for example, engine hours) and to inform about the need for its modernization and replacement;

– to create and to integrate local control systems into a single "cloud" information space for the purposes of accounting for consumption and distribution of resources (for example, electricity, steam, gas, humidity temperature, equipment operating time, etc.);

– to provide online access to information on energy consumption for various categories of users and to instantly inform about deviations from the set limits of resource consumption and values of temperature, humidity, as well as the need for maintenance of one or another equipment connected to the system.

One of the main tasks solved in Ekoflex IASMERE [4] is the task of predicting the consumption of all types of energy resources of the enterprise based on data collected for previous periods and predicted data on changes in external factors (manufacturing parameters, temperature and humidity in the premises of the enterprise, during the external environment, etc.).

The results of the system analysis of modern methods of forecasting energy resources, the study of physical characteristics and the nature of their relationships with external factors have shown that the most adequate models of energy consumption processes can be obtained in the class of linear discrete stochastic models of the form:

$$Y_t = \sum_{i \in M} V_i(B) F_{it} + V_{m+1}(B) a_t, \quad (1)$$

where Y_t – the value of the consumption process of the analyzed type of energy resource at time t ($t = 1, 2, \ldots$); $V_i(B)$, $i \in M$ – the operator of a linear discrete transfer function, connecting the process of energy resource consumption Y_t with the *i*-th meteorological or organizational factor F_{it}; $M = (1, 2, \ldots, m)$ – a variety of meteorological and organizational factors F_{it}, influencing the process Y_t; $V_{m+1}(B)$ – an operator of a linear discrete transfer function, linking the process Y_t with chronological factors; a_t – the residual model error.

In order to take into account the relation of energy resources with meteorological and organizational factors, it is most expedient to use the class of linear discrete transfer functions with a rational structure of the form:

$$y_{it} = V_i(B) F_{it} = \delta_i^{-1}(B) \omega_i(B) B^{b_i} F_{it}, \quad i \in M, \quad (2)$$

where Y_t – the component of the process Y_t associated with the *i*-th meteorological or organizational factor, $\omega_i(B) = (\omega_{0i} - \omega_{1i} B - \ldots - \omega_{c_i i} B^{c_i})$, $\delta_i(B) = (1 - \delta_{1i} B - \ldots \delta_{r_i i} B^{r_i})$ – polynomials in B degrees r_i, c_i; B – backward shift operator $B^{b_i} F_{it} = F_{it} - b_i$; b_i – the delay factor y_{it} and F_{it}, which can take values $0, 1, 2, \ldots$.

If the influence of all meteorological and organizational factors on the process is eliminated, then the process determined by the equation

$$y_{m+1,t} = Y_t = \sum_{i \in M} \delta_i^{-1}(B) \omega_i(B) B^{b_i} F_{it} \quad (3)$$

is associated only with chronological factors. The nature of the influence of chronological factors on the volume of energy consumption is much more complicated. The influence of these factors leads to the appearance of periodic components with random parameters, as well as deterministic or stochastic trends, reflecting the general trend of increasing (decreasing) natural gas consumption, in the processes under consideration.

An adequate description of such a process structure is possible in the class of multiplicative autoregression models—an integrated moving average (ARIMA) of the form:

$$\begin{aligned} &\Phi^1_{p_1}(B^{S_1}) \Phi^2_{p_2}(B^{S_2}) \ldots \Phi^j_{p_j}(B^{S_j}) \ldots \Phi^n_{p_n}(B^{S_n}) \nabla^{D_1}_{S_1} \nabla^{D_2}_{S_2} \ldots \nabla^{D_j}_{S_j} \ldots \nabla^{D_n}_{S_n} y_{m+1,t} = \\ &= \theta_0 + \theta^1_{q_1}(B^{S_1}) \theta^2_{q_2}(B^{S_2}) \ldots \theta^j_{q_j}(B^{S_j}) \ldots \theta^n_{q_n}(B^{S_n}) a_t, \end{aligned} \quad (4)$$

where $j \in N$, $N = \{1, 2, ..., n\}$ – a set of periodic process components $y_{m+1,t}$; S_j – the period of the j-th periodic component and $S_1 = 1$; ∇_{S_j} – simplifying operator defined as $\nabla_{S_j}^{D_j} = (1 - B^{S_j})^{D_j}$; D_j – the order of taking the j-th difference;

$$\Phi_{p_j}^{j}(B^{S_j}) = (1 - \Phi_1^j B^{S_j} - \Phi_2^j B^{2S_j} - ... - \Phi_{p_j}^{j} B^{p_j S_j}) \quad (5)$$

– polynomials B^{S_j} in degrees P_j, determining the autoregressive component S_j of the periodic component;

$$\theta_{q_j}^{j}(B^{S_j}) = (1 - \theta_1^j B^{S_j} - \theta_2^j B^{2S_j} - ... - \theta_{q_j}^{j} B^{q_j S_j}) \quad (6)$$

– polynomials B^{S_j} in degrees q_j, which correspond to the S_j moving average components of the periodic component;
a_t – the residual model error; θ_0 – a common constant.

If $\forall j \in N$, $D_j = 0$, then model (4) describes the class of linear stationary processes. If $\exists k \in N$ such as $D_k \neq 0$, then model (4) allows one to obtain an adequate description of homogeneous non-stationary processes, for which taking all $D_k \neq 0$ differences transforms them into a stationary reversible process. If $D_1 > 0$, then model (4) describes a non-stationary process containing a polynomial trend of the degree $D_1 - 1$.

If $\theta_0 = 0$, then model (4) allows describing random processes with stochastic trends, i.e. with a random level or slope. If $\theta_0 \neq 0$, then model (4) corresponds to the processes containing deterministic trends.

The mathematical model (1), which adequately describes the real processes of consumption of various types of energy resources of the enterprise, is obtained by solving the problems of structural identification, rough and accurate estimation of the model parameters, followed by checking the correlation value of the residual model errors a_t. For an adequate model, the values of the residual model errors are practically not correlated with each other and with the values $F_{it}, i \in M$.

Model (1) allows us to calculate the forecast of future volumes of energy consumption with a given lead in the form of a conditional mathematical expectation. Moreover, for each forecast value, its upper and lower confidence limits of the forecast, in which, with a given probability, the actual value of the volume of consumption of the predicted type of energy resource will be located, are calculated. The use of model (1) makes it possible to adequately describe almost all types of energy resources of the enterprise, and the variance of forecast errors approaches a practically achievable minimum within the framework of the correlation theory of random processes.

IV. CONCLUSIONS

Developed Ekoflex IASMERE allows for centralized data collection in a cloud architecture, automatic data processing, and provision of results of both direct data collection (in digital, tabular, and graphical form) and forecasting data—with the possibility of further data export to other external systems (MSExcel, XML, 1C).

Ekoflex IASMERE with this forecasting module can be used at many enterprises to estimate and to predict energy costs and, as a result, it can be one of the important tools in the complex of the enterprise energy efficiency.

REFERENCES

[1] Teviashev A. D. On One Strategy for Optimizing the Operating Modes of Gas Transportation Systems [Text] / A. D. Teviashev, O. A. Teviasheva, V. S. Smirnova, V. A. Frolov // Eastern European Journal of Advanced Technologies. – 2010. – Vol. 4, No. 3 (46). – Pp. 48–52. – Access mode: http://journals.uran.ua/eejet/article/view/2948/2751

[2] Teviashev A. D. On One Strategy for Optimizing the Operating Modes of Gas Transportation Systems [Text] / A. D. Teviashev, O. A. Teviasheva, V. S. Smirnova, V. A. Frolov // Eastern European Journal of Advanced Technologies. – 2010. – Vol. 4, No. 3 (46). – Pp. 48–52. – Access mode: http://journals.uran.ua/eejet/article/view/2948/2751

[3] Sizova N.D., Neezhmakov P.I., Kostarev D.B. Model Building and Synthesis of Intelligent Measuring Systems // Ukrainian Metrological Journal. – 2004. – No. 12. – Pp. 81-89.

[4] https://flexsys.com.ua/o-nas/

Вимірювально-обчислювальний Комплекс Автоматизованої Системи Обліку Енергоресурсів Pomenergy/E7

Ігор Сокорчук
кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
ihor.sokorchuk@nure.ua

Measuring and Computing Complex of the Automated Electricity Metering System Pomenergy/E7

Ihor Sokorchuk
dept. of Software Engeneering
Kharkiv National University of Radio Electronics

Kharkiv, Ukraine
ihor.sokorchuk@nure.ua

***Анотація*—розглядається вимірювально-обчислювальний комплекс автоматизованої системи обліку енергоресурсів Pomenergy/E7, побудований на базі відкритого UNIX-сумісного програмного забезпечення. Описуються архітектура та будова цього комплексу. У комплексі використовується рішення з клієнт-серверною архітектурою з «товстими клієнтами» на робочих станціях. Вказано переваги такого рішення.**

***Abstract*—The measuring and computing complex of the automated energy accounting system Pomenergy / E7, based on open UNIX-compatible software, is considered. The architecture and structure of this complex are described. The complex uses a solution with a client-server architecture with "rich clients" on workstations. The advantages of such a solution are indicated.**

Ключові слова—АСКОЕ; товстий клієнт;

Keywords—Automated Electricity Metering System; rich client

I. Вступ

Однією із актуальних задач на сьогодні є облік енергоресурсів. В Україні, усі споживачі електричної енергії з приєднаною потужністю понад 150 кВт або середнім споживанням від 50 МВт*год на місяць повинні вести облік електричної енергії з допомогою автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) або локального устаткування збору та обробки даних (ЛУЗОД).

II. Основна частина

Для АСКОЕ на сьогодні може бути використане програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом (Open Source). Вимірювально-обчислювальний комплекс автоматизованої системи обліку енергоресурсів Pomenergy/E7 побудований з використанням такого програмного забезпечення. Він має клієнт-серверну архітектуру і складається із підсистем: збору даних, обробки даних, збереження даних, обміну даними, відображення даних та генерації звітної документації.

Компоненти взаємодіють між собою з використанням протоколів TCP/IP, HTTPS, SMTP, POP3, SSH та спеціалізованого протоколу УППДВ.

Користувачі взаємодіють з системою у режимі веб доступу. Система має модульну будову та становить собою сукупність програмних модулів, які утворюють функціонально цілісну систему.

На рисунку 1 наведено діаграму розгортання цього комплексу.

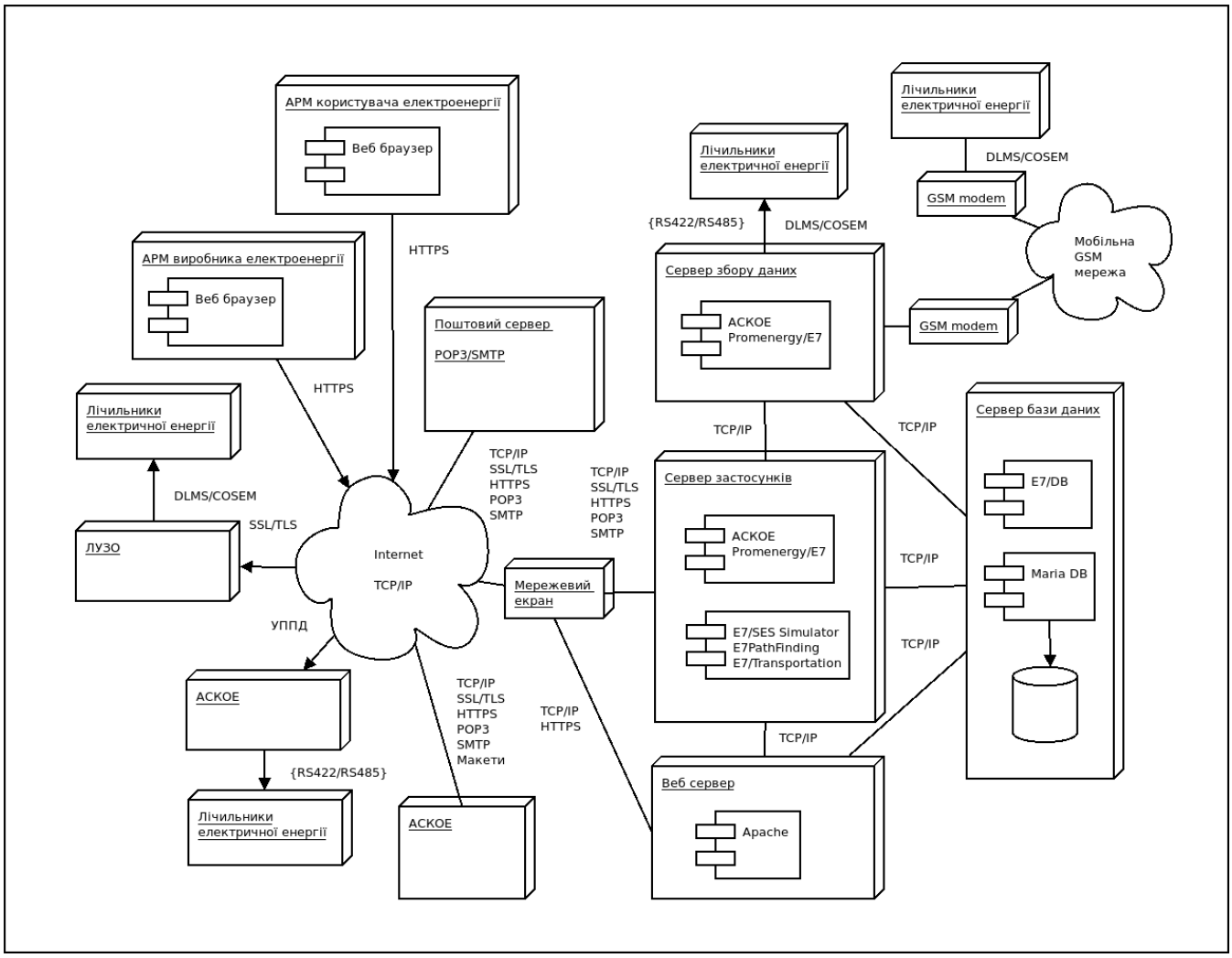


Рис. 1 – Діаграма розгортання АСКОЕ Promenergy/E7

До складу Promenergy/E7 входять:

– програмні модулі зчитування даних із пристроїв обліку електричної енергії;

– програмні модулі обробки первинних даних;

– програмні модулі ведення баз даних;

– програмні модулі адміністрування баз даних;

– програмні модулі формування звітів;

– програмні модулі експорту, імпорту даних;

– програмні модулі керування роботою.

Для збереження даних використовується реляційна база даних.

Підсистеми встановлюються на комп'ютери, що відповідає таким вимогам:

Системне програмне забезпечення:

– операційна система – GNU/Linux у складі:

– ядро GNU/Linux;

– командний інтерпретатор bash;

– служба періодичного запуску процесів cron;

– служба ведення обліку syslog;

– служба віддаленого доступу sshd;

– утиліти: chat, date, md5sum, tar, gzip, find;

– системні утиліти та системні служби необхідні для роботи операційної системи: ifconfig, route, iptables, udev, upsd тощо.

– СУБД – MariaDB;

– Веб-служба – Apache.

Локальні автоматизовані робочі місця (АРМ) підтримуються на базі архітектури з «товстим клієнтом» [1] (fat, rich client).

У порівняння із архітектурним рішенням із окремими автономними робочими станціями, це рішення має такі переваги:

– централізоване адміністрування програмного комплексу;

– спрощене обслуговування програмного забезпечення на робочих місцях;

– менша вартість апаратного устаткування;

– менша вартість ПЗ;

– централізоване збереження інформації;

– підвищена надійність збереження інформації.

У порівнянні із клієнт-серверною архітектурою із «тонким клієнтом» [2] (thin client) запропоноване рішення має такі переваги:

– значно менше навантаження на мережу;

– значно менші вимоги до обчислювальних ресурсів серверів;

– значно краще використання ресурсів робочих станцій.

У цьому разі, на робочих місцях використовуються бездискові робочі станції зі збільшеним обсягом оперативної пам'яті, які підтримують завантаження із мережі за протоколом PXE .

Для завантаження робочих станцій, у локальній мережі встановлюється один або більше серверів, що надають клієнтам такі сервіси:

– завантаження на робочі станції завантажувача операційної системи (boot loader) – dhcpd, tftpd, pxelinux;

– завантаження на робочі станції ядра операційної системи (vmlinuz) та кореневого образу файлової системиb (initrd) із базовим системним ПЗ – tftpd;

– налаштування операційної системи на робочих станціях – dhcpd, клієнтські скрипти bash;

– завантаження робочого образу файлової системи із прикладним ПЗ – ftpd, httpd;

– доступ до додаткового ПЗ та даних – nfsd;

– доступ до централізованого сховища даних – sshd, fuse.

Цей комплекс було введено в промислову експлуатацію і він успішно експлуатується тривалий час.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[1] Carter, J. Ubuntu How do LTSP Fat Clients work? – Режим доступу: https//https://jonathancarter.org/2010/11/24/how-do-ltsp-fat-clients-work/ – 10.11.2020. – Загол. з екрану.

[2] Офіційний сайт проекту LTSP. – Режим доступу: http://www.ltsp.org/ – 10.11.2020. – Загол. з екрану.

Імітаційна Модель Виробітку Електричної Енергії Сонячною Електростанцією

Ігор Сокорчук
кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
ihor.sokorchuk@nure.ua

Simulation Model of Electricity Generation from a Solar Power Plant

Ihor Sokorchuk
dept. of Software Engeneering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
ihor.sokorchuk@nure.ua

***Анотація*–розглянуто імітаційну модель для прогнозування обсягів виробітку електричної енергії сонячною електростанцією, описано результати такого моделювання.**

***Abstract*–the simulation model for forecasting of electricity generation on a solar power plant is considered, the results of such modeling are described.**

Ключові слова–сонячна електростанція; виробіток електричної енергії; імітаційне моделювання.

Keywords–solar power plant; electricity generation; simulation modeling.

I. Вступ

Використання енергії відновлюваних джерел потребує ретельної уваги завдяки спрямованості на збереження викопних енергоносіїв та довкілля, що відповідає цілям сталого розвитку ООН. Обсяги виробітку та споживання електричної енергії сонячною електростанцією (СЕС) мають виражену періодичність. Один із періодів має сезонний характер. Мають місце також значні коливання в обсягах виробітку та споживання електричної енергії з періодами 24 години та 7 діб. Також, спостерігаються зміни у її виробітку та споживанні, пов'язані зі зміною середньодобової температури та рівня хмарності.

Отже, однією з особливостей процесу прийняття рішень щодо планування обсягів поставок електричної енергії є необхідність урахування циклічності процесів її виробітку і споживання протягом доби та повторюваності протягом більш тривалого часу, що пов’язано зі змінами потреб різних груп споживачів у обсягах споживаної енергії.

II. Моделі потужності сонячної електростанції

Перш за все необхідно розглянути характер змін потужності сонячної електростанції протягом доби, які обумовлюються географічними та метеорологічними особливостями місця її розташування.

На рис. 1 наведено графік зміни потужності електростанції протягом доби, побудований на основі даних, отриманих на початку весни із введеної у промислову експлуатацію у м. Харків сонячної електростанції максимальною потужністю 25 кВт.

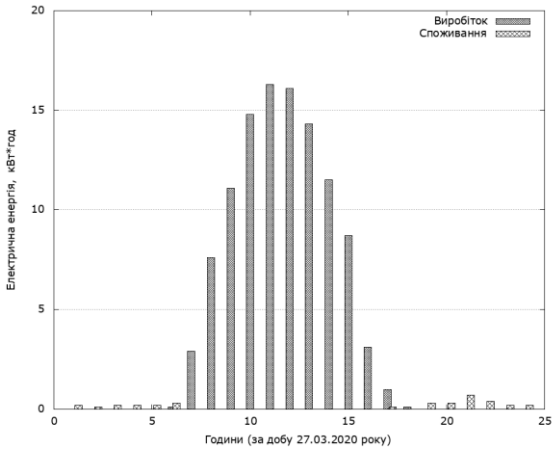


Рис. 1 – Зміна потужності сонячної електростанції протягом доби

Графік демонструє доволі короткий відрізок часу, протягом якого виробіток електроенергії достатній для її постачання до розподільчої мережі. Довжина такого відрізку для певної місцевості залежить від погодних умов, найбільшою буває влітку, найменшою – взимку.

Зміна потужності цієї СЕС протягом одного місяця показана на рисунку 2.

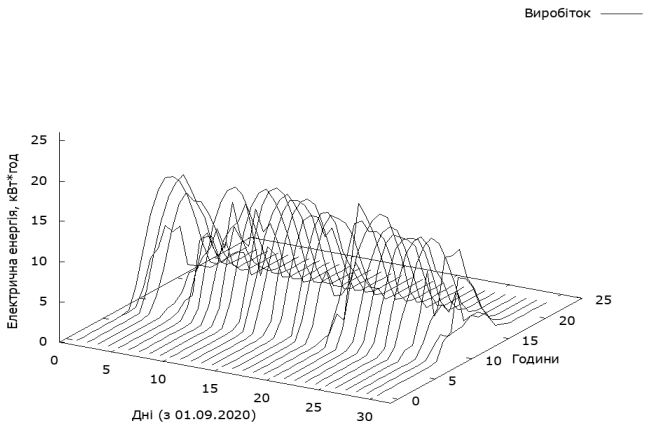


Рис. 2 – Зміна потужності сонячної електростанції протягом місяця

Це дозволяє припустити, що імітаційна модель виробітку електричної енергії СЕС, яка забезпечує достатню для оперативного планування точність, може бути представлена у вигляді простої математичної моделі, що описує виробіток електричної енергії сонячною електростанцією у залежності від ступеня інсоляції протягом доби та зміни рівня інсоляції у наслідок хмарності, у такому вигляді:

$$P(t) = (k_1 \cdot \sin(k_2 \cdot t + k_3) + k_4 \cdot \sin(k_5 \cdot t + k_6)) \cdot k_7 \cdot (t - t_0), \quad (1)$$

$$P(t) = 0, \text{ якщо } P(t) < 0;$$

де: k_1 – максимальна потужність СЕС; k_2 – тривалість доби; k_3 – зміщення ступеня інсоляції у часі протягом доби; k_4 – зміна рівня інсоляції протягом року; k_5 – тривалість року; k_6 – зміщення ступеня інсоляції у часі протягом року; k_7 – зміна потужності СЕС від хмарності; t – час; t_0 – початок періоду імітаційного моделювання.

Для підтвердження цього припущення, проведено дослідження даних із сонячної електростанції з допомогою методів спектрального аналізу.

На основі даних, отриманих з сонячної електростанції, за допомогою дискретного перетворення Фур'є визначено гармонійні складові. На рисунку 3 наведено отриману амплітудно-частотну характеристику потужності сонячної електростанції.

Ця амплітудна-частотна характеристика підтверджує присутність у зміні потужності, генерованої сонячною електростанцією, значних гармонійних складових і дозволяє побудувати імітаційну модель, що описує обсяги виробітку електричної енергії сонячною електростанцією з більшою точністю.

У такій імітаційній моделі зміна потужності сонячної електростанції протягом доби описується сумою визначених за допомогою спектрального аналізу даних гармонічних складових.

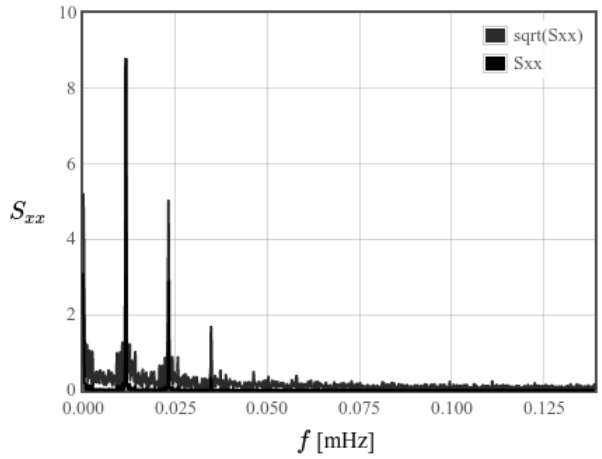


Рис. 3. – Амплітудна-частотна характеристика зміни потужності СЕС

Для визначення параметрів описаних імітаційних моделей запропоновано використовувати такий алгоритм:

Крок 1. Отримати дані про виробіток електроенергії СЕС за встановлений попередній період у кілька діб.

Крок 2. З допомогою методу лінійної регресії побудувати модель виробітку для кожної попередньої доби.

Крок 3. Із отриманих параметрів лінійної регресії, для кожної попередньої доби, з допомогою методу лінійної регресії, отримати прогнозовані параметри імітаційної моделі на наступну добу.

Крок 4. Побудувати імітаційну модель дня наступної доби і обчислити графік виробітку електроенергії на цю добу.

За результатами досліджень створено програмну реалізацію імітаційної моделі сонячної електростанції для розширення можливостей автоматизованої системи комерційного обліку електричної енергії додатковими функціями прогнозування виробітку електричної енергії сонячною електростанцією. У моделі були використані програмні засоби «ВОК АСОЕ Promenergy/E7» [1].

Для перевірки роботи цієї моделі, використовувалися дані отримані з сонячної електростанції встановленої у місті Харкові за період з 1 січня до 1 листопада 2020 року. Отримані результати показали, що запропонована імітаційна модель може забезпечити точність прогнозування, достатню для оперативного планування обсягів виробітку електричної енергії сонячною електростанцією.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[1] Сокорчук І. П. Комп'ютерна програма «Вимірювально-обчислювальний комплекс автоматизованої системи обліку енергоресурсів Promenergy/E7», свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір No 21713 від 15.08.2007 р.

Автоматизація Обчислень Кількості Природного Газу в Енергетичних Одиницях

Віктор Луценко, Сергій Бондарев
відділ метрологічного та програмно-технічного
забезпечення експлуатації газовимірювальних систем
Інститут транспорту газу АТ "Укртрансгаз"
Харків, Україна
lutcenko-va@utg.ua, bondarev-sa@utg.ua

Юрій Пономарьов
заступник директора з наукової роботи
к.т.н.
Інститут транспорту газу АТ "Укртрансгаз"
Харків, Україна
ponomarev-yv@utg.ua

Automation of Calculations of The Amount of Natural Gas in Energy Units

Viktor Lutsenko, Serhii Bondarev
department of metrological and programmatic maintenance
of operation of gas measuring systems
Institute of Gas Transportation JSC "Ukrtransgaz"
Kharkiv, Ukraine
lutcenko-va@utg.ua, bondarev-sa@utg.ua

Yurii Ponomarov
deputy director for scientific work
PhD
Institute of Gas Transportation JSC "Ukrtransgaz"
Kharkiv, Ukraine
ponomarev-yv@utg.ua

***Анотація*—У цій статі розглянуті проблеми при впровадженні обліку кількості природного газу в енергетичних одиницях та методи, які можуть допомогти для вирішення викладених проблем.**

***Abstract*—In this article discusses the problems at introduction of the account of amount energy of natural gas are considered and the methods that can help address these issues.**

Ключові слова—природний газ; вузол обліку газу; енергія

Keywords—natural gas; gas accounting unit; energy

I. Вступ

Актуальність переходу України на визначення обсягу газу в одиницях енергії полягає в поліпшенні розрахунків між споживачами за рахунок диференціації вартості газу, виходячи з показників його якості як товару, а також відкриває шлях до інтеграції внутрішнього ринку природного газу України з газовим ринком ЄС, зокрема залучення європейських партнерів до використання газотранспортної системи України та її газосховищ.

Важливість своєчасного виконання підготовчих робіт до впровадження обліку природного газу в енергетичних одиницях ілюструє зміст проекту Закону України від 06.12.2019 № 2553 "Про запровадження на ринку природного газу обліку та розрахунків за обсягом газу в одиницях енергії" [1].

Законотворча ініціатива передбачає зміну в Законі України "Про ринок природного газу" положення щодо здійснення розрахунків в операціях з природним газом "за обсягом природного газу в одиницях енергії, що визначається за вищою теплотою згоряння. Одиницею вимірювання енергії природного газу є кіловат-година [кВт·год]." та пріоритетності визначення обсягу природного газу в одиницях енергії на ринку природного газу в першу чергу "шляхом вимірювання обсягу природного газу в одиницях енергії", і, по-друге – "шляхом переведення обсягу природного газу в одиницях об'єму (кубічних метрів) до обсягу природного газу в одиницях енергії (кіловат-годинах), що визначається за вищою теплотою згоряння…".

Достатньо прийнятним і таким, що сприяє автоматизуванню, є метод розрахунку енерговмісту за відомими об'ємом газу за стандартних умов та вищою теплотою згоряння газу (її розраховують згідно з ДСТУ ISO 6976:2009 [2] за компонентним складом, який визначається хроматографічним методом).

II. Основна частина

За наявності автоматизованої системи визначення об'ємів газу, яка базується на витратомірних комплексах, що призначені для вимірювання газу в одиницях об'єму, використанні автоматичних обчислювачів/коректорів, результатом застосування яких є величина об'єму газу в стандартних умовах, застосуванні засобів визначення компонентного складу газу та розрахунку його калорійності, та програмному забезпеченні, яке об'єднує обладнання в єдину інформаційну систему – можна говорити про досяжність кінцевої мети простими способами.

Як відомо з Кодексу газосховищ [3], обсяг газу в одиницях енергії "… який передається у точці входу і відбирається у точці виходу, визначається як добуток об'єму природного газу, виміряного у відповідній точці входу або виходу, і теплоти згоряння, визначеної для такої точки входу або точки виходу.".

$$E = V * Hs$$

де E – обсяг газу в одиницях енергії, кВт*год.,
V – об'єм газу, $м^3$,
Hs – вища теплота згоряння, кВт*год./$м^3$.

Відповідно до розділу 2 «Порядок обліку природного газу» глави III «Норми якості …» Кодексу газотранспортної системи [4] для обчислення кількості природного газу в енергетичних одиницях передбачені такі варіанти:

а) обсяг енергії природного газу, що проходить через комерційний вузол обліку газу (ВОГ), який розташований на маршруті, який обладнаний потоковими засобами вимірювальної техніки (ЗВТ) визначення фізико-хімічних показників (ФХП) газу, може визначатися:

- в автоматичному режимі з використанням коректорів або обчислювачів об'єму газу з функцією розрахунку енергії природного газу, які отримують дані безпосередньо з потокових ЗВТ визначення ФХП газу;
- у напівавтоматичному режимі з використанням спеціалізованих програм на основі середніх значень теплоти згоряння за годину з потокових ЗВТ визначення ФХП газу та об'єму газу за годину з коректорів/обчислювачів об'єму газу;

б) обсяг енергії природного газу, що проходить через комерційний ВОГ, який розташований на маршруті, де визначення ФХП газу проводиться з використанням вимірювальних хіміко-аналітичних лабораторій, може визначатися:

- у напівавтоматичному режимі з використанням коректорів або обчислювачів об'єму газу з функцією розрахунку енергії природного газу на основі значення вищої теплоти згоряння, що вводиться до обчислювача/коректора з використанням спеціалізованих програм як умовно-постійний параметр, та об'єму газу за період розрахунку;
- у напівавтоматичному режимі з використанням спеціалізованих програм на основі значення вищої теплоти згоряння, що дорівнює останньому визначеному значенню вищої теплоти згоряння, та об'єму газу за годину з коректорів/обчислювачів об'єму газу (при цьому, вищезгадане значення вищої теплоти згоряння використовується для розрахунку, починаючи з години, наступної за годиною, під час якої до обчислювача/коректора з використанням спеціалізованих програм внесені, як умовно-постійні, параметри значення густини газу, вмісту азоту та діоксиду вуглецю).

До програмного забезпечення автоматизованого збирання, зберігання та перегляду газовимірювальної інформації (рис. 1) – програмного комплексу (ПК) Ask-2 було додано новий функціонал, який повністю відповідає вимогам нормативно-правових актів:

а) у частині графічного інтерфейсу:

- відображення значення теплоти згоряння під час перегляду статичних параметрів автоматичних обчислювачів та/або коректорів;
- відображення значень обсягу газу в одиницях енергії та теплоти згоряння при перегляді добових, годинних та періодичних архівів автоматичних обчислювачів та/або коректорів;

б) у частині розрахунку обсягу газу в одиницях енергії:

- для випадку наявності вимірювальної системи, у складі якої існує ВОГ, що надає величину об'єму природного газу в стандартних умовах, та потоковий газовий хроматограф, який обчислює, зокрема, вищу теплоту згоряння;
- для випадку наявності вимірювальної системи, у складі якої існує ВОГ, що надає величину об'єму природного газу в стандартних умовах, та лабораторний хроматограф, який обчислює, зокрема, вищу теплоту згоряння.

Для належного виконання нового функціоналу в ПК Ask-2 було додано новий графічний інтерфейс для користувача для створення та перегляду складу природного газу (рис. 2 та 3):

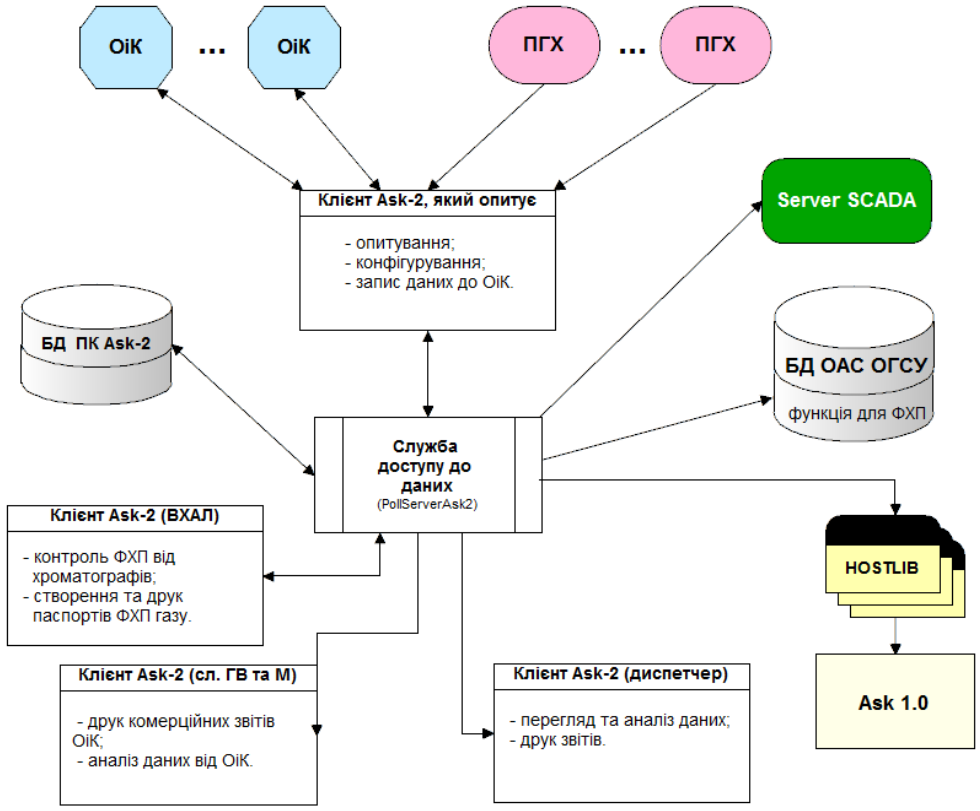


Рис. 1. Структурна схема функціонування ПК Ask-2.

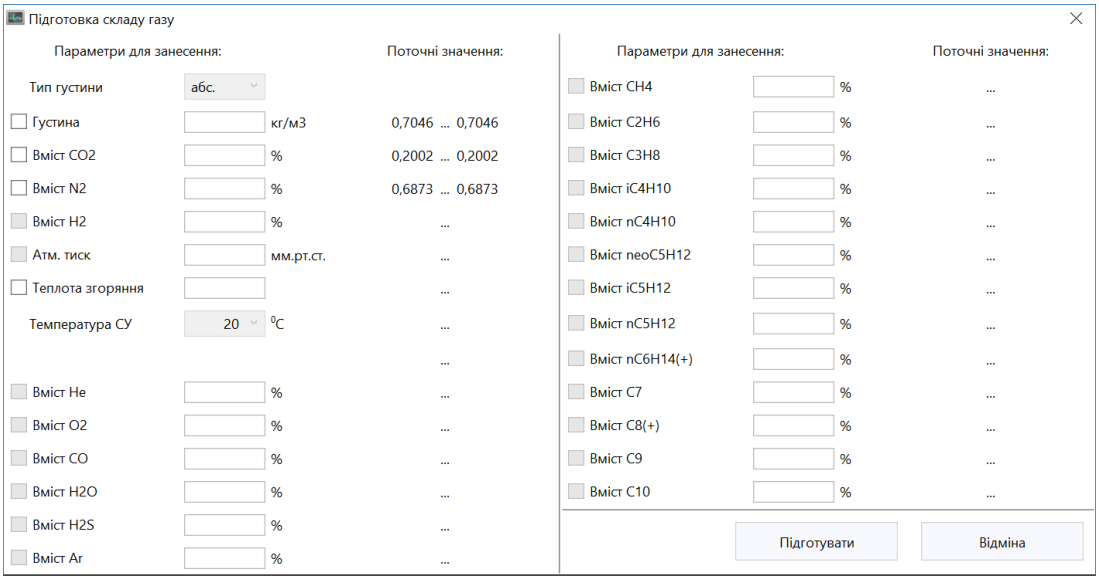


Рис. 2. Вікно створення нового складу газу.

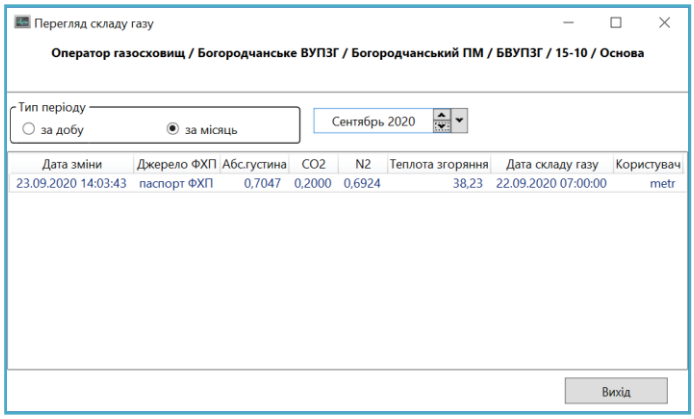


Рис. 3. Вікно перегляду складу газу, що було записано до ЗВТ.

Наразі ПК Ask-2 дозволяє переглядати значення енергії та теплоти згоряння (рис. 4) та формувати звіти.

Доданий новий функціонал до ПК Ask-2 надає можливість безболісно пройти перехідний період (до повної заміни ЗВТ з підтримкою автоматичного обчислення енергії газу) при впровадженні обліку обсягу природного газу в енергетичних одиницях.

Література References

[1] Проект Закону України «Про запровадження на ринку природного газу обліку та розрахунків за обсягом газу в одиницях енергії» від 06.12.2019 № 2553

[2] ДСТУ ISO 6976:2009 Природний газ. Обчислення теплоти згоряння, густини, відносної густини і числа Воббе на основі компонентного складу (ISO 6976:1995/Cor. 2:1997, Cor. 3:1999, IDT)

[3] «Кодекс газосховищ», затверджений Постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг від 30.09.2015 № 2495.

[4] «Кодекс газотранспортної системи», затверджений Постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг від 30.09.2015 № 2493.

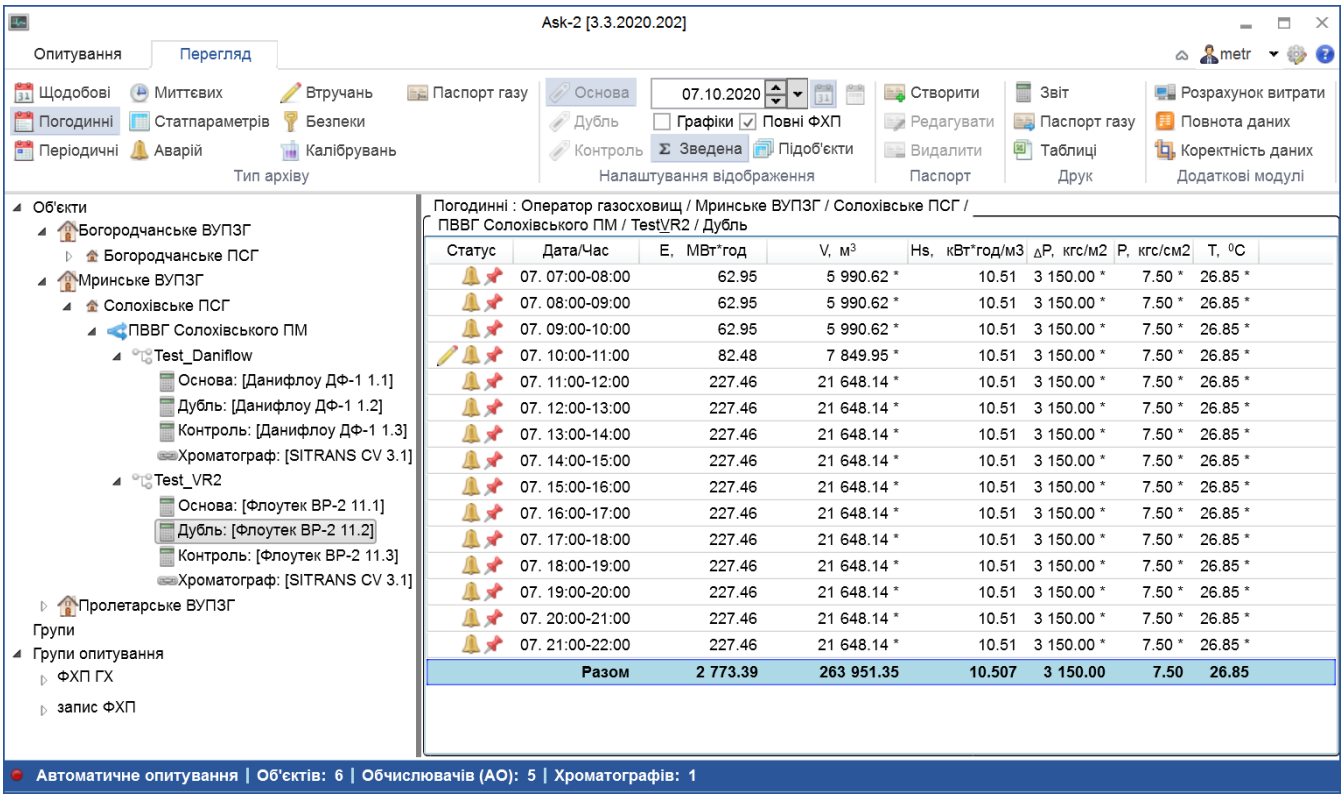


Рис. 4. Перегляд обсягу газу в енергетичних одиницях.

Секція 4.
Розпізнавання образів, цифрова обробка зображень і сигналів.

Section 4.
Pattern recognition, digital processing of images and signals.

Video Analytics of Aerial Objects

Andrei Tevyashev
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
andrew.teviashev@nure.ua

Igor Shostko
Department of Infocommunication Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
iss010166@gmail.com

Oleg Zemlyaniy
Department for Nonlinear Dynamics of Electronic Systems
O. Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics
National Academy of Sciences of Ukraine
Kharkiv, Ukraine
zolvas@ukr.net

***Abstract*—This work is devoted to the problem of creating and using video analytics of aerial objects with the aim to solve the variety of problems of airspace monitoring in the visible and infrared frequency ranges for security systems of general and special purpose.**

Keywords—aerial object, video analytics, monitoring, security systems.

I. INTRODUCTION

Video analytics (VCA, Video Content Analysis) is a technology that combines a variety of accurate analytical and approximate numerical methods for the automated analysis of the sequences of images that coming from video cameras in real-time mode, as well as from archive records. Video analytics is implemented as software tools (SW) for video content processing. A wide range of mathematical models and methods is a core of the SW for video analytics, which allows video monitoring and performing intellectual analysis of data without the direct human intervention.

Currently, there are numerous examples of successfully solved problems using video analytics technology application in video surveillance systems [1-17]:

- recognition of people and moving vehicles for the purpose of counting their number;
- ID numbers recognition (vehicles, banknotes, documents, etc.);
- detection of events (shifting, movement, crossing of admissible lines and borders, staying in zones, throwing of objects over a fence, etc.);
- detection of dangerous situations (crowds, abandoned objects, fires and smoke, etc.);
- recognition of dangerous objects and identification of human faces and their search in databases.

The global video analytics market is showing its rapid growth due to the fact that the prices for high-resolution video cameras are constantly declining. Individuals, small and medium-sized businesses are now quite able to purchase an autonomous video surveillance system with at least basic video analytics functions. Modern IP cameras have high resolution and remote access capabilities, both over the Internet and through a distributed corporate network, which is a necessary condition for the operation of video analytics systems. Widespread use of IP-cameras allows adequately mirroring the real world onto a parallel world, which is purely digital one with its own settings of strict conditions (laws) of staying and behavior for different subjects of this world. Video analytics, without the intervention of individual persons, allows most effectively monitoring the implementation of these conditions by different parties and, in the first stage, to issue emergency messages in case of violation. In the next steps, the video analytics provides support for decision-making on the measures and facilities that should be applied to the subjects who violated the conditions of stay and behavior, up to their implementation. Airspace monitoring systems use video cameras with rotation, tilt and zoom functions. These are PTZ cameras, named for their ability to rotate left and right in panoramic (horizontal) plane, tilt up and down in vertical plane, zoom and convert images. Rotating cameras perform these actions thanks to a unique combination of pan, tilt and zoom control functions. The overall zoom capability of the PTZ camera consists of digital and optical zoom values. Digital zoom uses electronics to enlarge and reduce the image, while optical zoom uses the lens movement.

The total zoom value of the video camera can be calculated by multiplying the digital and optical zoom values.

II. BASIC FUNCTIONS OF VIDEO ANALYTICS OF AERIAL OBJECTS

Video analytics of aerial objects (AO) automates a variety of airspace monitoring functions. The basic functions of video analytics software are as follows:

1) obtaining video data, forming and delivery images from video cameras in the visible (VIS) and infrared (IR) frequency bands;

2) image filtering and enhancement provides noise reduction (denoising), elimination of blurring (deblurring), smoothing, increase of contrast and strengthening of edges,

improvement of color reproduction, illumination of dark fragments, etc.;

3) AO detection. Detection of the AO is performed using a video motion detector. Video analytics allows selecting and analyzing of all moving AO in the field of view of VIS/IR cameras;

4) identification of the high-contrast points that form the boundary of both specific AO and the boundaries between different objects;

5) formation (selection) of AO tracking point. For stable tracking at selected points, it is usually necessary to fulfill the condition of significant inhomogeneity of the image around the point. Corners meet this condition. The use of corner points is necessary for most tracking methods;

6) AO classification allows dividing the AO being under observation into classes: aircrafts, helicopters, cruise missiles, drones, quadcopters, etc .;

7) AO identification allows performing identification the type of AO within the selected class;

8) AO tracking. The task of AO tracking is following. For each point of observation time it is necessary to ensure the most accurate alignment of the optical axis of the video surveillance camera mounted on the Optical-Electronic Station (OES) with the selected tracking point on the AO image (angular, center of gravity, Chebyshev, most vulnerable, etc.). Trackers that implement tracking algorithms are used to solve this problem;

9) evaluation of the parameters of the AO trajectory. The OES, which are equipped with EO/IR systems and laser rangefinders, for each time t allows measuring three parameters that characterize the state of the AO relative to the location of the OES: azimuth, angle and inclination between the OES and the AO. In the chosen coordinate system, this information is sufficient to estimate the parameters of the AO trajectory;

10) predicting the trajectory of the AO. Kalman filter and its numerous modifications are used in modern video analytics to predict the AO trajectory;

11) detection of events related to the behavior (trajectory) of the AO.

All functions are performed repeatedly, providing continuous refinement of hypotheses about the number, location, the AO type and its intentions in the airspace controlled area. AO recognition means a wide range of tasks: from binary classification of the AO type meaning target/noise distinguishing to the identification or verification of the AO by its features.

The task of airspace monitoring in the visible and infrared bands has been and remains extremely relevant for general and special purpose security systems. The use of video analytics software in airspace monitoring systems makes it possible to solve the problems in the process of video surveillance that are usually only possible for humans, in automatic mode of operation, without human intervention,. This technology is used both to ensure the security of the objects under protection and to stop the AO from being in the controlled airspace. The processing of video streams and images is carried out using high-speed computers, as well as FPGA [18, 19], which significantly increases the speed and efficiency of algorithms used in video analytics.

III. Fields of application of AO Video Analytics

Video analytics of the AO is used with the aim of obtaining an objective assessment of the effectiveness of airspace monitoring, as it is able to produce continuous and automated collection and analysis video data on non-human-dependent basis and generate reports at the request of the user at any time.

Depending on the sizes of the objects under protection, OES can be combined into a single information and monitoring system (IMS). Airspace IMS of general purpose in the visible and infrared frequency bands is used to control the airspace of airfields, to prevent drone flights in crowded places and mass events, monitor compliance with air traffic rules at sporting events and air shows, to protect airspace from drones over private property in order to counteract video recording, etc.

The field of IMS of special application is much wider and includes:

A. Covert, continuous, round-the-clock monitoring of airspace in the visible and infrared frequency bands by the OES sensor network.

The OES sensor network allows performing covert, continuous, round-the-clock monitoring of airspace in the visible and infrared frequency bands. In this case, the control of the AO position in the controlled space is carried out using two or more OES of the sensor network using triangulation, when each OES measure the azimuth and the angle on the AO without the usage of laser rangefinders to measure the slant distance between the AO and each OES. The absence of laser irradiation of the AO does not allow him to identify the fact of its detection. This provides a real opportunity for covert airspace monitoring.

B. External trajectory measurements during AO field tests.

The main purpose of field trials is to measure the external trajectory parameters of the AO (coordinates, velocity vector, angular positions in space, etc.). Using this values one can estimate their quality and identify the causes of abnormal situations. For the most objective assessment of the AO operation at the test during the shot (launch) it is necessary to ensure receiving of initial information and, accordingly, tracking of AO from its start (departure of artillery ammunition from the barrel, and for missiles or jet munitions, respectively, leaving the launcher) to the point of target hitting.

The initial speeds of various missile and artillery projectiles being under test at a modern facilities, can vary from 50 to 2000 m/s, and have the distances of their flight from several hundred meters to tens of kilometers. The OES of small size are used for tracking of the AO, which are located along the route of the AO. Each OES in its area of responsibility is programmed to track the AO on the predicted

section of the trajectory. The programming process is automated and performed simultaneously for all OES. Each OES in the process of tracking transmits through the communication channel the current coordinates of the AO for the OES, which is next in line staying in standby mode. Based on these data, the coordinates of the expected capture point and the flight path of the AO are adjusted relative to the predicted values. The number of OES in the IMS is determined depending on the length of the route on which the AO is tested.

C. Management of the AO defeat systems

The rapid pace of creation and use of high-precision weapons (HPW) for massive air attack with the widespread use of anti-radar missiles and electronic countermeasures has revealed an urgent need to create facilities for target detecting and tracking which are alternative to active radars. One of the ways to repel air attacks with maximum secrecy until the opening of fire is the use of small OES of detection, tracking and high-precision targeting to the AO. OES provide the necessary secrecy and the highest accuracy of guidance. The use of narrow-beam thermal imagers operating in the infrared range in the OES allows to ensure round-the-clock and, to a large extent, all-weather and noise immunity of their exploiting. The problem of high-precision targeting of the AO is one of the system-forming problems for almost all tools.

REFERENCES

[1] Шапиро Л., Стокман Д. Компьютерное зрение. М.: Издательство «БИНОМ. Лаборатория знаний», 765 с.

[2] Szeliski Richard. Computer Vision: Algorithms and Applications. Springer, 2010. 933 c.

[3] Shostko I., Tevyashev A., Kulia, Y., Koliadin A. Optical-electronic system of automatic detection and high-precise tracking of aerial objects in real-time // The Third International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems, CMIS, 2020. P. 784–803.

[4] http://ceur-ws.org/Vol-2608/paper59.pdf

[5] Experimental Researches on Determination of Angles of Side Illumination by Laser Radiation of Optical Devices and Optoelectronic Devices, Kulia Yu., Shostko I., Avchinnikov E., Tevyashev A., Neofitnyi M., Problems of Infocommunications. Science and Technology" (PICS&T-2019): International Scientific-Practical Conference–Kyiv, 2019. P. 319 - 323. Scopus. – El. access: 47496-CFP19PIA-USB/papers/picst19_319.pdf

[6] Tevyashev Andrey, Shostko Igor, Neofitniy Mihail, Koliadin Anton. Laser Opto-Electronic Airspace Monitoring System in The Visible and Infrared Ranges // 2019 IEEE 5th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments, APUAVD 2019 – Proceedings, 2019. C. 170–173, DOI: 10,1109 / APUAVD47061.2019.8943887.

[7] Mathematical model and method of optimal placement of optical-electronic systems for trajectory measurements of air objects at test / A. D. Tevjashev, I. S. Shostko, M. V. Neofinyi, S. V. Kolomiyets, I. Yu. Kyrychenko, Yu. D. Pryimachov // Odessa Astronomical Publications. Vol. 32 (2019). C. 171–175. https://doi.org/10.18524/1810-4215.2019.32.182231

[8] Shostko I., Tevyashev A., Neofitnyi M., Kulia Y. Information-measuring system of polygon based on wireless sensor infocommunication network // Chapter in the book Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, 48. Publisher: Springer Nature, 2021. C. 649–674.

[9] Shostko I., Tevyashev A., Neofitnyi M., Ageyev D., Gulak S. Information and Measurement System Based on Wireless Sensory Infocommunication Network for Polygon Testing of Guided and Unguided Rockets and Missiles // 2018 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018 – Proceedings, 2019. C. 705–710.

[10] AAP-6. Словник термінів та визначень НАТО [Електронний ресурс]: NATO/NSA Brussels – BE, 2005. Режим доступу до док.: http://www.nsa.nato.int.

[11] STANAG 1241. Угода НАТО з питань стандартизації. Опис структури ідентифікації НАТО для тактичного використання [Електронний ресурс]: NATO/NSA Brussels – BE, 2005. Режим доступу до док.: http://www.nsa.nato.int.

[12] Artemenko A. M. Problems of standardization of classification of air objects for providing of intergovernmental exchange information about an air situation // Системи обробки інформації, випуск 4 (78), 2009. С. 6–9.

[13] Шостко И.С. Анализ энергопотребления модулей для беспроводных сенсорных сетей стандарта IEEE 802.15.4 / И.С. Шостко, Ю.Э. Соседка // Радиотехника: Всеукр. межвед. научн. - техн. сб.– 2014. – №176. – С.253–257.

[14] Шостко И.С. Анализ потребляемой мощности и продолжительности работы в автономном режиме элементов беспроводных сенсорных сетей / И.С. Шостко, Ю.Э. Соседка // Сборник научных работ ХУВС «Системы обработки информации». – Вып. 5 (121). – 2014. – С. 100-104.

[15] Shostko Igor, Sosedka Julia. Proposals for the Integration of Various Wireless Sensor Networks. / XIIth International Conference "MODERN PROBLEMS OF RADIO ENGINEERING, TELECOMMUNICATIONS, AND COMPUTER SCIENCE", TCSET'2014, February 25 – March 1, Lviv-Slavske, Ukraine. – 2014. – P. 444–445.

[16] Shostko Igor, Kulia Ye. Applications of Multipath Routing for Energy Balancing in Sensor Networks // Scientific and Technical Journal «RADIOELECTRONICS & INFORMATICS». – 2015. − P1 №1. – 2015. – P. 12-16.

[17] Shostko Igor, Kulia Ye. Разработка модели маршрутизации беспроводной сенсорной сети с учётом устранения дисбаланса энергопотребления // Технологический аудит и резервы производства — № 3/2(23), 2015.– С. 94-98.

[18] K. Lukin, O. V. Zemlyaniy, D.Tatyanko, S.Lukin, V.Pascazio. Noise radar design based on FPGA technology: On-board digital waveform generation and real-time correlation processing // Proc. of the 18th International Radar Symposium (IRS2017), Prague, Czech Republic, June 28-30, 2017, pp. 1-7. DOI: 10.23919/IRS.2017.8008223

[19] K.A. Lukin, O.V. Zemlyaniy, D.N. Tatyanko, S. Lukin and V. Pascazio, "FPGA-based time-integrating multichannel correlator for Noise Radar applications," 2016 9th International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW), Kharkiv, 2016, pp. 1-5, DOI: 10.1109/MSMW.2016. 7538135.

Mathematical Model and Method for Covert Estimation of Aerial Object Coordinates Using Two Optical-electronic Stations

Oleg Zemlyaniy
Department for Nonlinear Dynamics of Electronic Systems
O. Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics
National Academy of Sciences of Ukraine
Kharkiv, Ukraine
zolvas@ukr.net

Andrei Tevyashev
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
andrew.teviashev@nure.ua

Igor Shostko
Department of Infocommunication Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
iss010166@gmail.com

Anton Koliadin
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
antonkoliadin@gmail.com

***Abstract*—The work is devoted to a method for determining the coordinates of an aerial object in a polygon coordinate system based on the results of data processing obtained using optoelectronic trajectory measurement stations, united into a single infocommunication network without the use of laser rangefinders to measure the slant distance.**

Keywords—aerial object, infocommunication network, optoelectronic trajectory measurement station.

I. INTRODUCTION

Currently, the scientific direction of developing tools for testing modern samples of missile and artillery equipment during their field trials is developing intensively. A new solution for the methodology of building an information-measuring system (IMS) is proposed in [1–5] to solve this problem. For control and automation of IMS it is suggested to create it on the principle of a sensor infocommunication network of optoelectronic stations of trajectory measurements (OESTM).

The network of such type of spatially spaced OESTM provides detection of targets in the visible and infrared range of the spectrum, tracking and issuance of coordinates in real time in conditions of direct visibility for several stations. IMS OESTM can be used for various flight experiments, certification of aviation and missile and artillery systems, to provide information about the trajectory and video information to monitor the characteristics of various munitions with subsequent analysis of their test results.

One of the tasks that are solved when conducting field trials is to determine the coordinates of the air object in the polygon coordinate system. In this work the corresponding technique is developed, and the results on its verification with use of the software for the personal computer allowing carrying out modeling of coordinate's measurement process of aerial objects are given as well.

II. THE PROBLEM STATEMENT AND BASIC CALCULATION FORMULAS

OESTM are located on the test site along the test track. All OESTM are combined into a single information and measurement network and grouped into clusters, each of which contains at least two stations (Fig. 1). If necessary, increasing the number of stations in each cluster, as well as the organization of the network topology, in which each OESTM belongs to more than one cluster, allows achieving higher accuracy when measuring the parameters of the trajectory of the aerial object.

The following are the calculations for the case when the aerial object at any time is in the field of view of at least two stations from their set, located along the main direction of the polygon. The result of the measurements is a vector of object trajectory parameters in the local Cartesian coordinate system (LCCS):

$$X_{nt} = \left(X_{Mt}, Y_{Mt}, Z_{Mt}, V_{Xt}, V_{Yt}, V_{Zt} \right),$$

where $t = t_0, t_1, t_2, ..., t_i, ..., T$, $t_i = t_0 + i \cdot \Delta t$, $t_i = t_0 + i \cdot \Delta t$ – sampling interval; t_0, T are the times of start and end of the object trajectory measurement; $T - t_0 = N \cdot \Delta t$, N is the

number of points on the trajectory at which measurements were made; X_{Mt}, Y_{Mt}, Z_{Mt} are the coordinates of the point of the object's trajectory at the time t; V_{Xt}, V_{Yt}, V_{Zt} is the projection of the object's velocity on the LCCS axes at the time t.

In Fig. 1, which shows a cluster consisting of two OESTM, the designations are as follows: $OX_MY_MZ_M$ is the local b (polygon) coordinate system; X_MOZ_M is the plane, which is tangent to the surface of the reference ellipsoid at the measurement site; $\left(x_i^S, y_i^S, z_i^S\right)$ are the coordinates of the station i in local coordinate system $OX_MY_MZ_M$; Y_{Mt}, y_i^S, y_{i+1}^S are heights above the plane X_MOZ_M of the object, stations i and $i+1$, accordingly; α_i is the angle between the direction from station i to station $i+1$ and the projection of the line of sight of the object from the station i to the plane X_MOZ_M; α_{i+1} is the angle between the direction from station i to station $i+1$ and the projection of the line of sight of the object from the station $i+1$ to the plane X_MOZ_M; β_i is the angle between the direction to the object from the station i and the plane passing through the point of the station i location parallel to the plane X_MOZ_M; d_i is the slant distance to the object from station i; $l_{i,i+1}$ is the distance between stations; $L_{i,i+1}$ is the distance between stations i and $i+1$ projections onto a plane X_MOZ_M.

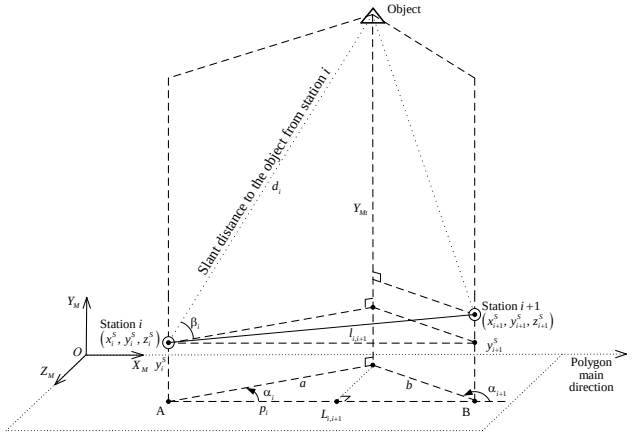


Fig.1. A cluster consisting of two OESTM

The calculation of the height of the object Y_{Mt} and its slant distance d_i from the station i at the time t with the given coordinates of the stations $\left(x_i^S, y_i^S, z_i^S\right)$, $\left(x_{i+1}^S, y_{i+1}^S, z_{i+1}^S\right)$, and the known values of α_i, α_{i+1}, β_i, obtained as a result of measurements, is carried out as follows.

For a triangle, lying in the plane X_MOZ_M, by the law of sines, we have:

$$\frac{a}{\sin\alpha_{i+1}} = \frac{b}{\sin\alpha_i} = \frac{L_{i,i+1}}{\sin\left(\alpha_{i+1}-\alpha_i\right)}. \quad (1)$$

Hence:

$$a = L_{i,i+1}\frac{\sin\alpha_{i+1}}{\sin\left(\alpha_{i+1}-\alpha_i\right)}, \quad (2)$$

$$b = L_{i,i+1}\frac{\sin\alpha_i}{\sin\left(\alpha_{i+1}-\alpha_i\right)}. \quad (3)$$

It follows from Fig. 1, that the height of the object and the distance between the object and the station i are determined in the following way:

$$Y_{Mt} = L_{i,i+1}\frac{\sin\alpha_{i+1}\mathrm{tg}\beta_i}{\sin\left(\alpha_{i+1}-\alpha_i\right)} + y_i^S. \quad (4)$$

$$d_i = L_{i,i+1}\frac{\sin\alpha_{i+1}}{\sin\left(\alpha_{i+1}-\alpha_i\right)\cos\beta_i}. \quad (5)$$

The distance between the projections of the stations i and $i+1$ onto the plane X_MOZ_M according to the known coordinates of the stations is determined by the formula:

$$L_{i,i+1} = \sqrt{\left(x_{i+1}^S - x_i^S\right)^2 + \left(z_{i+1}^S - z_i^S\right)^2}. \quad (6)$$

Substituting (6) into (4) and (5), we finally get:

$$Y_{Mt} = \sqrt{\left(x_{i+1}^S - x_i^S\right)^2 + \left(z_{i+1}^S - z_i^S\right)^2} \times \times\frac{\sin\alpha_{i+1}\mathrm{tg}\beta_i}{\sin\left(\alpha_{i+1}-\alpha_i\right)} + y_i^S, \quad (7)$$

$$d_i = \sqrt{\left(x_{i+1}^S - x_i^S\right)^2 + \left(z_{i+1}^S - z_i^S\right)^2} \times \times\frac{\sin\alpha_{i+1}}{\sin\left(\alpha_{i+1}-\alpha_i\right)\cos\beta_i}. \quad (8)$$

Let's calculate the coordinates of the object in LCCS.

Using the method of polar intersection [6] for determining the unknown coordinates of a point by two anchor nodes (stations i and $i+1$), knowing the angles α_i and γ_i (directional angle of the line AB between stations i and $i+1$), we have (see Fig. 2):

$$X_{Mt} = x_i^S + a\cos\left(\alpha_i + \gamma_i\right), \quad (9)$$

$$Z_{Mt} = z_i^S - a\sin\left(\alpha_i + \gamma_i\right). \quad (10)$$

After completing all the substitutions, we finally get:

$$X_{Mt} = x_i^S + \sqrt{\left(x_{i+1}^S - x_i^S\right)^2 + \left(z_{i+1}^S - z_i^S\right)^2} \times \times\frac{\sin\alpha_{i+1}\cos\left(\alpha_i + \gamma_i\right)}{\sin\left(\alpha_{i+1}-\alpha_i\right)}, \quad (11)$$

$$Z_{Mt} = z_i^S - \sqrt{\left(x_{i+1}^S - x_i^S\right)^2 + \left(z_{i+1}^S - z_i^S\right)^2} \times \times \frac{\sin\alpha_{i+1}\sin\left(\alpha_i + \gamma_i\right)}{\sin\left(\alpha_{i+1} - \alpha_i\right)}. \quad (12)$$

In this case $t = (i-1)k+1, (i-1)k+2, ..., ik$, where $i = 1,2,...,N/k$, k is the number of points on the trajectory obtained during measurements from each cluster.

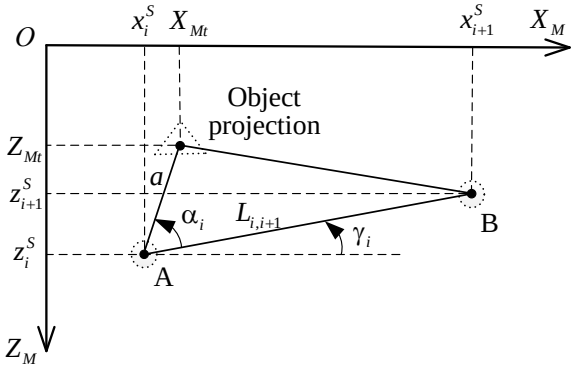


Fig. 2. Schematic of the polar intersection method

Thus, according to the results of measuring the angles of direction to the aerial object, obtained from two OESTM, the coordinates of which are known, the coordinates of the aerial object at each time t are uniquely calculated by formulas (7), (11), (12). If necessary, the projections of the object's velocity onto the LCCS axis are calculated from the results of two successive measurements of coordinates with known time interval (sampling interval Δt) between them:

$$V_{Xt} = \frac{X_{Mt} - X_{M(t-1)}}{\Delta t}, \quad (13)$$

$$V_{Yt} = \frac{Y_{Mt} - Y_{M(t-1)}}{\Delta t}, \quad (14)$$

$$V_{Zt} = \frac{Z_{Mt} - Z_{M(t-1)}}{\Delta t}. \quad (15)$$

III. Algorithm and its Software Implementation

The algorithm for determining the coordinates of an aerial object in a polygon coordinate system based on the results of data processing obtained using the OESTM network is depicted in Fig. 3.

To verify the algorithm, software for a personal computer was created that allows modeling the process of determining the coordinates of an aerial object and verifying the data received and processed during field trials on a polygon. An interactive graphical user interface (GUI) is integrated into the software module, with the help of which the data and the parameters for modeling are entered, as well as the visualization of calculation results (Fig. 4) is performed.

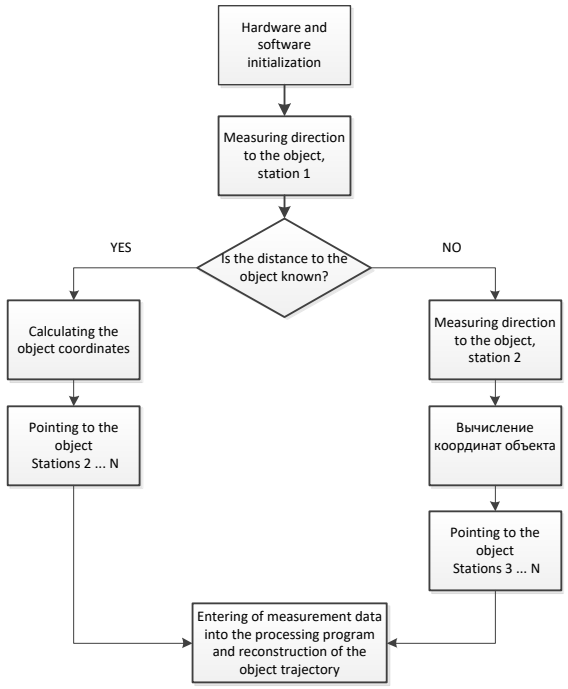


Fig. 3. The algorithm for determining the coordinates of an aerial object in a polygon coordinate system based on the results of data processing obtained using the OESTM network

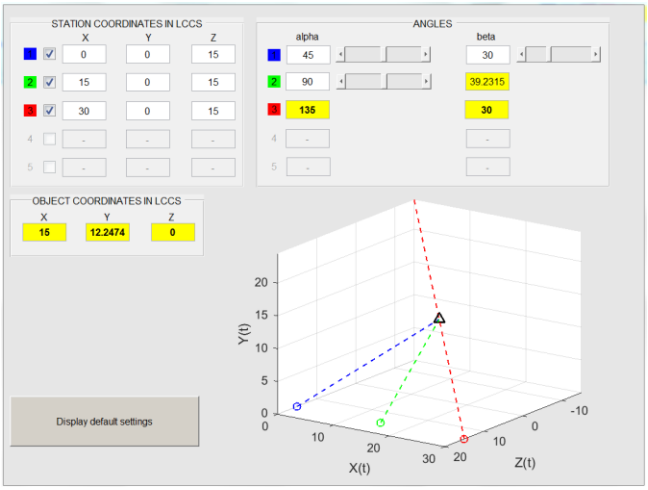


Fig. 4. Graphical user interface that simulates the process of measuring the coordinates of an aerial object

Modeling procedure consists of several interrelated stages:

- when the program is launched for execution, a GUI window opens, in which all parameters are set by default;
- the user enters the coordinates of the stations and the angles of the directions to the object in the corresponding fields on the GUI panels;
- the results of calculating of the object coordinates are displayed in digital form;
- the location of the object and the direction of the optical axes of the video cameras of the stations are

visualized on a three-dimensional chart with the possibility of detailed analysis by rotating it along each of the three axes.

IV. Conclusions

The paper presents the mathematical model and the method for covert estimation of an aerial object coordinates by two OESTM. It is shown that the estimation of the coordinates of the aerial object can be carried out by measuring the object azimuth and elevation by each OESTM without the use of laser rangefinders to measure the slant distance between the aerial object and OESTM. The absence of irradiation by a laser beam makes it impossible for onboard systems to determine the fact of the aerial object detection, which allows covert monitoring of the airspace.

References

[1] Shostko I., Tevyashev A., Kulia, Y., Koliadin A. Optical-electronic system of automatic detection and high-precise tracking of aerial objects in real-time // The Third International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems, CMIS, 2020. P. 784–803.

[2] Tevyashev Andrey, Shostko Igor, Neofitniy Mihail, Koliadin Anton. Laser Opto-Electronic Airspace Monitoring System in The Visible and Infrared Ranges // 2019 IEEE 5th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments, APUAVD 2019 – Proceedings, 2019. С. 170–173, DOI: 10.1109/APUAVD47061.2019.8943887.

[3] Mathematical model and method of optimal placement of optical-electronic systems for trajectory measurements of air objects at test / A. D. Tevjashev, I. S. Shostko, M. V. Neofinyi, S. V. Kolomiyets, I. Yu. Kyrychenko, Yu. D. Pryimachov // Odessa Astronomical Publications. Vol. 32 (2019). С. 171–175. https://doi.org/10.18524/1810-4215.2019.32.182231

[4] Shostko I., Tevyashev A., Neofitnyi M., Kulia Y. Information-measuring system of polygon based on wireless sensor infocommunication network // Chapter in the book Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, 48. Publisher: Springer Nature, 2021. С. 649–674.

[5] Shostko I., Tevyashev A., Neofitnyi M., Ageyev D., Gulak S. Information and Measurement System Based on Wireless Sensory Infocommunication Network for Polygon Testing of Guided and Unguided Rockets and Missiles // 2018 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018 – Proceedings, 2019. С. 705–710.

[6] Шостко И. С., Тевяшев А. Д., Неофитный М. В., Куля Ю. Э., Колядин А. В. Методы позиционирования узлов беспроводной сенсорной сети // Проблеми телекомунікацій, № 1 (24), 2019. С. 68–89

Range Instrumentation Complex for the Precision-Guided Weapons Testing

Andrei Tevyashev
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
andrew.teviashev@nure.ua

Igor Shostko
Department of Infocommunication Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
iss010166@gmail.com

Oleg Zemlyaniy
Department for Nonlinear Dynamics of Electronic Systems
O. Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics
National Academy of Sciences of Ukraine
Kharkiv, Ukraine
zolvas@ukr.net

Alexander Dokhov
Scientific-Research Laboratory «Satellite Technologies of Navigation and High-Precision Positioning»
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
dohov.alex@gmail.com

Alexey Zhalilo
Scientific-Research Laboratory «Satellite Technologies of Navigation and High-Precision Positioning»
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
alexey.zhalilo@nure.ua

***Abstract*—The report is devoted to the problem of creating a modern range instrumentation complex (RIC) for the testing of the precision-guided weapons. RIC will provides extremely achievable accuracy and reliability of estimation the trajectory parameters of the highly dynamic objects being tested.**

Keywords—range instrumentation complex (RIC), precision-guided weapons, Phase Comparison and Doppler Radio System (PDRS), Laser Opto-Electronic Station (LOES), trajectory measurements.

I. INTRODUCTION

At present, in Ukraine, the problem of creating a modern Range Instrumentation Complex (RIC) for flight-design tests of precision-guided weapons (highly dynamic flying vehicle – HDFV) – aeroballistic, cruising and antiaircraft missiles, air-launched weapons, etc. is extremely urgent.

In the course of field tests using trajectory measurement systems (TMS), the parameters of the HDFV trajectories (coordinates, velocity vector components and acceleration vector components) are determined [1–12, 28–33]. These independent high-precision measuring instruments make it possible in the RIC Information and Analytical Center (IAC) to compare the data of the on-board HDFV navigation systems and the independent TMS determinations transmitted via telemetry channels and objectively assess the quality of functioning of the on-board HDFV guidance systems, as well as identify the causes of emergency situations at all stages of flight of various types of precision-guided weapons.

The accuracy of determining the HDFV trajectory parameters using the TMS should be several times (usually ~5–10 times) higher than the accuracy of the on-board navigation systems of the HDFV guidance loop, which makes it possible to objectively perform the metrological control and certification of the on-board HDFV navigation and guidance means. The results of the preliminary analysis show that depending on the HDFV type and the tasks they solve, the root-mean-square (RMS) errors for determining the parameters of surface objects trajectories (including determining the rendezvous point position) in a given rectangular topocentric coordinate system should be in the range from ~0.1–0,5 m to ~3–5 m. The RMS of the velocity vector components determination should not exceed ~3–7 cm/s. The range instrumentation for trajectory determination existing in Ukraine [12, 28–33] do not satisfy such requirements or partially satisfy.

Currently, for field tests the radio location stations (RLS) and Laser Opto-Electronic Stations (LOES) [13–21] are used, which provide the measurements of azimuth, elevation, range (RLS, LOES), as well as Doppler frequency shifts (RLS) of the monitoring objects. Based on the results of the measurements, the required HDFV trajectory parameters are determined in given rectangular or in other coordinate systems. Analysis of the RLS capabilities [12] to ensure testing of the existing and prospective HDFV samples showed the unsatisfactory level of trajectory determination accuracy (from several tens up to hundreds of meters in coordinates). As for the existing LOES, their angular coordinates measurement errors are in the range from ~10–30 to ~60–100 angular seconds. [11] that is also not enough in order to achieve the modern requirements for the accuracy of the trajectory parameter determination for a limited operational range of LOES (~10–20 km) [11].

Taken together, this causes the necessity of the development and implementation of modern high-precision measuring systems, opto-electronic and radio engineering ones, as well as the creation of technologies for cooperative centralized processing (complexation/data fusion) the measuring information of TMS, included in the RIC, in order to improve the trajectory determination validity and accuracy during field tests of the already existing and prospective weapons.

II. Purpose of the project

The report considers the systemic solution to the problem of creating a modern RIC which will provide centimeter/decimeter accuracy and validity of the assessment of the trajectory parameters of the HDFV samples by complexation (data fusion) the measuring information (with spatial-temporal redundancy) of the TMS with different physical principles of architecting and functioning.

The cooperative operation and processing of the redundant results of trajectory measurements of several systems will provide a significant increase in the validity and accuracy of trajectory determination results, will allow evaluating the error parameter models of the measurements of each of the systems, will identify and eliminate unaccounted systematic errors of RIC measuring systems, to carry out the certification of other measuring instruments, in particular, the on-board measuring systems of navigation (radio engineering, inertial, etc.) and HDFV motion guidance. It is expected that the determination of the HDFV movement parameters will be carried out with centimeter/decimeter accuracy throughout the entire coverage area of the measuring systems that are part of the RIC.

III. The structure of the range instrumentation complex

To ensure the spatial and temporal redundancy of trajectory measurements, it is proposed to use small-sized LOES, united by an information and communication subsystem into opto-electronic systems (OES), as well as to use multi-position Phase Comparison and Doppler Radio systems (PDRS) which use the Global Navigation Satellite Systems (GNSS) signals.

The opto-electronic system being created assumes the use of a group (network) of stations (LOES), which are located along the HDFV flight route. Each LOES in its area of the responsibility is programmed to support the HDFV on the predicted trajectory section. The programming process is automated and is carried out simultaneously for all LOES. In the process of tracking each LOES transmits through the communication channel the current HDFV coordinates for the LOES, which is next in line in the standby mode. Based on these data, the coordinates of the expected capture point and the HDFV flight path are corrected in relation to the predicted one. The number of LOES in the optical-electronic system is determined depending on the length of the route and the maximum flight altitude of the controlled HDFV. It is expected that the joint use of a group (network) of LOES will significantly increase (in relation to individual LOES) the accuracy and validity of the HDFV trajectory determinations and achieve a centimeter/decimeter accuracy level in the autonomous mode of operation.

PDRS includes the equipment that is installed on board the HDFV: an on-board GNSS-receiver, an onboard transmit/receive antenna system, a telemetric radio line «airborne-ground», a network of ground (or sea) GNSS base stations located along the HDFV flight path. PDRS is based on the principles of accurate GNSS positioning using on-board dual-frequency code, carrier-phase and Doppler GNSS observations [16–20], which are transmitted via telecommunication channels to the center for gathering and processing of measurement information. To achieve high accuracy in determining the trajectory parameters of the HDFV movement it is proposed to use base GNSS stations and the method of differential and autonomous carrier-phase GNSS-positioning, which implements the centimeter/decimeter accuracy of the trajectory parameters [17, 18, 20]. For reliable reception of GNSS signals (under conditions of HDFV maneuvering and/or rotation while in motion) and the simultaneous transmission in real time of measurement results from the HDFV to receiving stations, the implementation of on-board antennas of various configurations are considered. The expected accuracy (RMS) of autonomous HDFV trajectory determinations using PDRS is (depending on the implementation method) from ~3–5 cm to several decimeters for coordinates and ~5 cm/s for velocity vector components.

The cooperative processing and analysis of measurement information is provided by IAC of the RIC. The RIC equipped with OES and PDRS will ensure the operation in the widest possible range of weather conditions and time of day, assessment of the parameters of trajectories of all types of HDFV in the specified ranges of altitudes, speeds and overloads from the moment of launch to the moment of rendezvous with various air-based, surface-based and sea-based objects.

In the course of work it is supposed to develop and test (both by mathematical modeling and by carrying out real field measurements) a RIC prototype, including OES and PDRS prototype units, as well as a prototype of mathematical and software complex for autonomous and cooperative processing of observations in the IAC.

IV. Conclusions

The structure of a modern RIC, including high-precision Opto-Electronic System and Phase Comparison and Doppler Radio System, as well as an Information and Analytical Center with the functions of complexation (data fusion) of the redundant trajectory measurements is proposed. Such a complex will provide the opportunity of carrying out the reliable tests of existing and promising samples of domestic high-precision weapons which will help to increase the defense capability and security of Ukraine.

References

[1] Range Instrumentation, Ernest H. Ehling, Published by Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1967, 634 p.

[2] MISTRAM – Missile Trajectory Measurement System [Електронний ресурс] // Режим доступу: http://maps.thefullwiki.org/MISTRAM, https://en.wikipedia.org/wiki/MISTRAM

[3] AZUSA. A Precision, Operational, Automatic Tracking System [Електронний ресурс] // Режим доступу: http://maps.thefullwiki.org/AZUSA, http://www.chemeurope.com/en/encyclopedia/AZUSA.html

[4] Литус Ю.П., Малафеев Е.Е., Михайлов Ю.В. Высокоточная многопараметрическая система внешнетраекторных измерений

параметров движения летательных аппаратов «ВЕГА» // Прикладная радиоэлектроника, 2006, Том 5. № 4. С. 448–453.

[5] Thompson T., Levy L. J., Westerfield E. E. The SATRACK System: Development and Applications // Johns Hopkins APL TECHNICAL DIGEST, Volume 19, Number 4 (1998). P. 436–447.

[6] Craig Desiree L. LOCATA Corporation. USAF's New Reference System. Truth on the Range // Inside GNSS, No. 3, May/June 2012. P. 37–48.

[7] Власов И. Б., Гаврилов А. И., Кушнир А. А., Михайлицкий В. П., Мыкольников Я. В., Пельтин А. В., Пудловский В. Б., Рауткин Ю. В. Комплекс аппаратно-программных средств внешнетраекторных измерений на основе использования ретранслированных сигналов навигационных спутников // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Приборостроение», 2012. С. 82–89.

[8] Волотов Е. М., Митрофанов И. В. Сравнительный анализ средств траекторных измерений на базе спутниковых навигационных систем, применяемых при испытаниях авиационной техники и вооружения. Государственный лётно-испытательный центр имени В. П. Чкалова, Астраханская область, Ахтубинск, Россия // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», 2015, том 1. С. 338–342.

[9] Високоточна багатофункціональна система визначення траєкторій літальних апаратів авіаційних, ракетних і космічних комплексів (шифр «Вега-V»), аванпроект/технічна пропозиція – пояснювальна записка, Харківський національний університет радіоелектроніки, НДЦ ІРЕСТ, 2017. 225 с. (з додатками на 194 с.).

[10] Жалило О. О., Дохов А. И., Катюшина Е. В., Васильева Е. М., Яковченко А. И., Лукьянова О .А. Разработка высокоточной системы определения траекторий космических аппаратов и других высокодинамичных объектов // Прикладная радиоэлектроника, 2017, Том 16, № 3, 4. С. 112–116.

[11] Путятин В. Г., Додонов А. Г. Об одной задаче высокоточных траекторных измерений оптическими средствами // Реєстрація, зберігання і обробка даних, 2017, Т. 19, № 2. С. 36–54.

[12] Додонов А. Г., Путятин В. Г. Радиотехнические средства внешнетраекторных измерений (обзор) // Математичні машини і системи, 2018, № 1. С. 3–30.

[13] Шапиро Л., Стокман Д. Компьютерное зрение. М.: Издательство «БИНОМ. Лаборатория знаний», 765 с.

[14] Szeliski Richard. Computer Vision: Algorithms and Applications. Springer, 2010. 933 с.

[15] Shostko I., Tevyashev A., Kulia, Y., Koliadin A. Optical-electronic system of automatic detection and high-precise tracking of aerial objects in real-time // The Third International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems, CMIS, 2020. P. 784–803.

[16] http://ceur-ws.org/Vol-2608/paper59.pdf

[17] Experimental researches on determination of angles of side illumination by laser radiation of optical devices and optoelectronic devices / Avchinnikov Evgeniy, Shostko Igor, Tevyashev Andriy, Neofitnyi Mykhaylo, Kulia Yuliia // Problems of Infocommunications. Science and Technology (PICS&T-2019): International Scientific-Practical Conference, Kyiv, 2019. El. access: 47496-CFP19PIA-USB/papers/picst19_319.pdf

[18] Tevyashev Andrey, Shostko Igor, Neofitniy Mihail, Koliadin Anton. Laser Opto-Electronic Airspace Monitoring System in The Visible and Infrared Ranges // 2019 IEEE 5th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments, APUAVD 2019 – Proceedings, 2019. С. 170–173, 8943887.

[19] Mathematical model and method of optimal placement of optical-electronic systems for trajectory measurements of air objects at test / A. D. Tevjashev, I. S. Shostko, M. V. Neofinyi, S. V. Kolomiyets, I. Yu. Kyrychenko, Yu. D. Pryimachov // Odessa Astronomical Publications. Vol. 32 (2019). С. 171–175. https://doi.org/10.18524/1810-4215.2019.32.182231

[20] Shostko I., Tevyashev A., Neofitnyi M., Kulia Y. Information-measuring system of polygon based on wireless sensor infocommunication network // Chapter in the book Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, 48. Publisher: Springer Nature, 2021. С. 649–674.

[21] Shostko I., Tevyashev A., Kulia Y., Koliadin A. Optical-electronic system of automatic detection and high-precise tracking of aerial objects in real-time. CEUR Workshop Proceedings, 2020. С. 784–803.

[22] Shostko I., Tevyashev A., Neofitnyi M., Ageyev D., Gulak S. Information and Measurement System Based on Wireless Sensory Infocommunication Network for Polygon Testing of Guided and Unguided Rockets and Missiles // 2018 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018 – Proceedings, 2019. С. 705–710.

[23] ААР-6. Словник термінів та визначень НАТО [Електронний ресурс]: NATO/NSA Brussels – BE, 2005. Режим доступу до док.: http://www.nsa.nato.int.

[24] STANAG 1241. Угода НАТО з питань стандартизації. Опис структури ідентифікації НАТО для тактичного використання [Електронний ресурс]: NATO/NSA Brussels – BE, 2005. Режим доступу до док.: http://www.nsa.nato.int.

[25] Artemenko A. M. Problems of standardization of classification of air objects for providing of intergovernmental exchange information about an air situation // Системи обробки інформації, випуск 4 (78), 2009. С. 6–9.

[26] Єсілевський В. С., Тевяшев А. Д., Колядін А. В. Дослідження методу розпізнавання типів повітряних об'єктів на основі нормалізованих дескрипторів контуру та комплекснозначної нейронної мережі «Східно-Європейський журнал передових технологій», № 6(108), 2020.

[27] ГОСТ Р 54022-2010, Группа Э50, НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, Глобальные навигационные спутниковые системы, СИСТЕМА ТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА БАЗЕ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ.

[28] Zhalilo O.O., Dokhov O.I., Yakovchenko O.I. Multi-positional phase system of trajectory measurements and experimental confirmation of its accuracy using GPS-observations of the ukrainian reference stations. Тези доповідей III-ї науково-практичної конференції »Аерокосмічні технології в Україні: проблеми та перспективи», 12–13 вересня 2019 року, Київ, НЦУВКЗ. С. 105–106.

[29] Zhalilo O. O., Yakovchenko O. I. LEOS trajectory determination using the on-board GPS-observations and PPP-technologies of their processing. Тези доповідей III-ї науково-практичної конференції «Аерокосмічні технології в Україні: проблеми та перспективи», 12–13 вересня 2019 року, Київ, НЦУВКЗ. С. 107.

[30] Жалило А. А., Дохов А. И., Яковченко А. И. Автономное (PPP) и дифференциальное (DGPS) кинематическое позиционирование. Сравнение точности на примере обработки бортовых GPS-наблюдений самолёта АН-158. Метрология, информационно-измерительные технологии и системы (МИИТС-2020). Тезисы докладов VII Международной научно-технической конференции. Харьков, 2020. С. 33. DOI: https://doi.org/10.24027/2306-7039.1A.2020.193279.

[31] Дохов О. І., Жаліло О. О., Літус Ю. П., Тевяшев А. Д., Шостко І. С., Яковченко О. І. Розробка полігонного комплексу радіотехнічних та квантово-оптичних систем траєкторних вимірювань. Збірник XX науково-технічної конференції «Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах» ДНВЦ ЗСУ, м. Чернігів, 03–04 вересня 2020 р. С. 78–79.

[32] Жаліло О. О., Дохов О. І., Яковченко О. І., Літус Ю. П., Катюшина О. В., Лук'янова О. О., Медведський М. М., Пап В. О. Реалізація ГНСС-технології автономної PPP-навігації високодинамічних об'єктів з використанням корекцій SBAS. Збірник XX науково-технічної конференції «Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах» ДНВЦ ЗСУ, м. Чернігів, 03–04 вересня 2020р. С. 85.

[33] Жаліло О. О., Дохов О. І., Яковченко О. І. Траєкторні визначення приземних літальних апаратів з використанням бортових GPS-спостережень. Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки. Тези доповідей на VIII науково-технічній конференції («Зброя та безпека-2020»), м. Київ, жовтень 2020 р. С. 115–116.

Air Objects Recognition by the Phase Correlation Method

Valentyn Yesilevskyi
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
yes_v_s@ukr.net

Andriy Tevyashev
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
andrew.teviashev@nure.ua

Anton Koliadin
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
antonkoliadin@gmail.com

***Abstract*—The article considers a method for determining the type of an air object on a digital image by comparing it with standard images using the phase correlation method.**

Keywords—airobject; image classification; phase correlation method.

I. INTRODUCTION

Systems for the detection and recognition of various classes of airborne objects (AO) are increasingly using optical video surveillance as an additional and even as basic tool. This is due both to the use of stealth technologies that mask the characteristics of an object in the radar detection area, and to advances in computer vision. Until recently, only airplanes were the object of detection in the tasks of recognizing the air situation. But in modern conditions, the list of AO classes has significantly expanded due to the use of unmanned aerial vehicles (UAVs), quadcopters, cruise missiles, and helicopters. This fundamentally changed the range of the AO's detectable parameters, from the shape and size to the dynamic characteristics of motion. In this connection, the task of improving the quality of recognition of the AO classes from digital video is especially urgent.

Video processing by ground-based air monitoring systems can be divided into a number of tasks. Among them, the following tasks can be distinguished: detection of a moving flying object; determination of object characteristics (range, size, speed, maneuverability, etc.); definition of AO class. These tasks can be solved both in stages and simultaneously. This can be the detection of all objects in one frame with the definition of their class and their subsequent accompaniment in the sequence of video frames, or the detection of moving objects in the video sequence with the subsequent identification of objects at each frame. In the proposed approach, we assume that a moving object or objects will first be detected and localized in the video image, and then the problem of assigning each object to a certain class will be solved.

In the field of pattern recognition in an image, the following stable terminology has been adopted for defining tasks [1]: detection – determining the class of each object in the image; classification – determination of the class of one object in the image; classification with localization – classification of one object and indication of its place in the image.

In this terminology, our task is the task of classifying an air object in a digital image.

II. THE PROBLEM STATEMENTS ANALYSIS AND RESEARCH OBJECTIVES

In recognizing a AO class important to highlight the numerical characteristics of an object that are sufficient for its identification. The problem is that these features must be invariant with respect to geometric distortion (displacement, orientation, scale) of the object, which is especially important for AO. To partially overcome this difficulty, an approach is used with the calculation of numerical values that are invariant to the rotation of the image on the plane. These characteristics include *Xy* moments, Zernike moments and Wavelet moments [2, 3].

In this case, the classification problem is solved, as a rule, by machine learning methods [2] which leads to large expenditures of computing resources at the stage of training and operation.

In [4] various methods of using invariant moments are presented, and in [5] the application of these methods for recognizing AO classes is shown.

The paper [6] describes the solution of the recognition problem based on phase correlation. In [7], a method for comparing three-dimensional objects using phase correlation is described. In this paper, a method is proposed for calculating the degree of similarity between 3D objects, taking into account displacement and rotation along the *x*, *y*, and *z* axes using the phase correlation method.

This approach gives good results for aircraft recognition in aerospace images of aerodromes, where variations in object position are limited by turns on the plane. These methods are less suitable for recognizing a flying air object. For this kind of tasks, various methods of recognizing three-dimensional objects are used. Phase-Only Correlation (POC) allows you to recognize similar objects and determine their transformation [8].

The invariance of the moments with respect to image shift, zoom and rotation in the shooting plane gives good results in the problem of recognition when two-dimensional images are the reference ones. In practical problems associated with AO images, objects are usually present not only at different angles, but also with different illumination. However, the phase

correlation method is robust to uneven, time-varying lighting changes. Therefore, the phase correlation method gives a better result than the approach based on invariant moments.

This work is devoted to the study of the phase correlation method. Section 3 discusses the theoretical background of the method, and Section 4 proposes a method for generating a set of images for the experiment. Section 5 describes an experiment with detecting an airborne object and determining the angle of rotation with respect to the standard. Section 6 discusses the results obtained.

III. Theoretical background of the phase corelation method

In describing one-dimensional signals, the phase of harmonic signals in spectral decomposition is quite important. But this is most clearly seen when obtaining a spectrum of a photographic image as a result of a two-dimensional Fourier transform.

Fig. 1 illustrates this statement using a real image of the A380 as input. The Fourier transform is applied to it. If we reconstruct the image in the first case by ignoring (zeroing) the phase, and in the second case, ignore the difference in amplitudes (all equal to 1), we find that information about the phase component is more important for understanding the image.

The phase part of the Fourier transform of the image contains much more recognizable information.

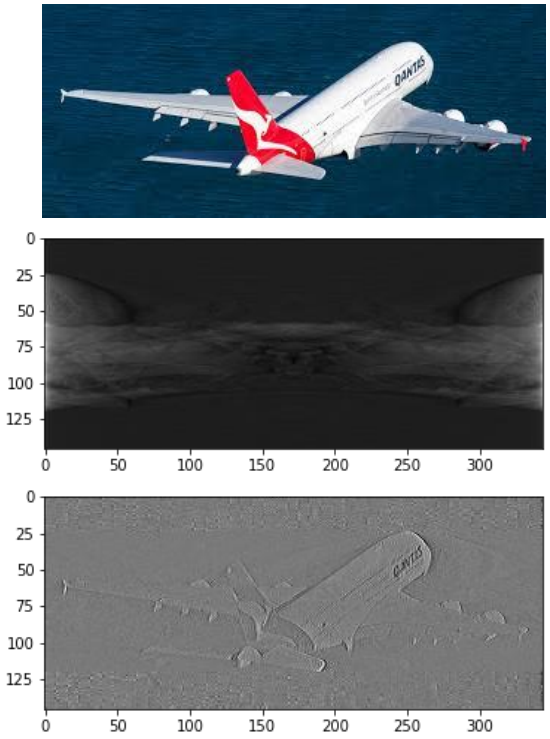


Fig. 1. Importance of phase information to Fourier transform Original image reconstructed ignoring phase and ignoring amplitude

The phase correlation is based on the Fourier shift property theorem: a coordinate system shift between two functions results in a linear phase difference in the frequency domain of the Fourier transform. If two two-dimensional functions $g_1(x, y)$ and $g_2(x, y)$, representing two images, are shifted relative to each other by a_1 horizontally and a_2 vertically:

$$g_2(x, y) = g_1(x+a_1, y+a_2), \quad (1)$$

then their corresponding Fourier transforms $G_1(u, v)$ and $G_2(u, v)$ are related to each other as follows:

$$G_2(u, v) = G_1(u, v)\exp\{-i(a_1 \cdot u + a_2 \cdot v)\}. \quad (2)$$

The phase correlation is calculated as the normalized cross-spectrum between G_1 and G_2 and is represented by a matrix:

$$K(u,v) = \frac{G_1(u,v)\overline{G_2(u,v)}}{\left|G_1(u,v)\overline{G_2(u,v)}\right|}, \quad (3)$$

where $\overline{G_2(u,v)}$ is conjugate to $G_2(u,v)$.

The inverse Fourier transform for $K(u, v)$ is the delta function:

$$k(x,y) = \delta(x+a_1, y+a_2). \quad (3)$$

In a discrete case, this means that the point at which $k(x, y)$ reaches its maximum determines the amount of shift between images. And the maximum itself determines the degree of similarity of the images.

If the spectrum is logarithmized, the phase shift in the exponent becomes a normal shift and can be detected by the maximum brightness values in the correlation image of the logarithmic spectra. This allows you to evaluate the rotation of the image.

IV. Database generation

To recognize an airborne object, a set of reference images is needed, which is collected into a single database, with which a real sample will be compared.

To generate the initial AO images, we used three-dimensional mesh models as in Fig. 2.

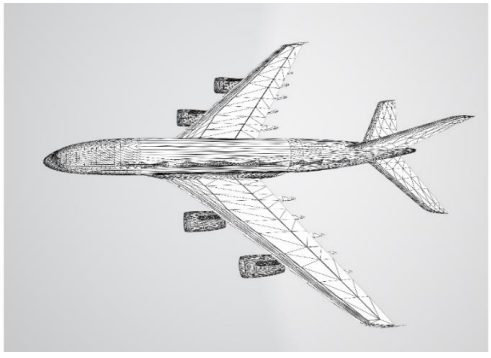


Fig. 2. Grid three-dimensional model of the A380 aircraft

For this task, models were used to determine one of the classes: aircraft, UAV, helicopter, quadcopter (Fig. 3). Different kinds of objects were used for each class.

At the same time, for each object, images corresponding to three different projections were used as a reference flat image (Fig. 4).

Fig. 3. Three-dimensional models of the main classes of AO for testing the phase correlation method

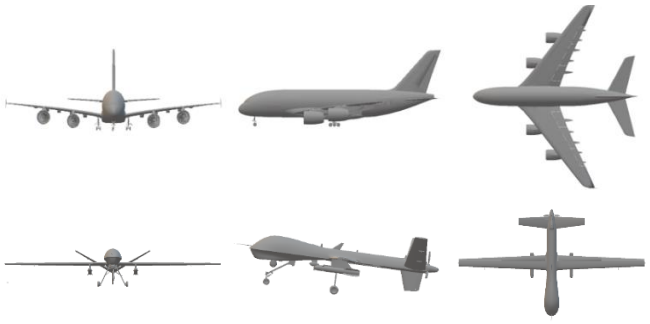


Fig. 4. Images corresponding to three different projections for aircraft and UAV

V. Experiment results

The experiments were carried out with test images of the same classes as those used in the database. Fig. 5 shows the reference and test image of the UAV. Their Fourier transforms already show the similarity of the images, the logarithmic spectrum translates the difference in angular position into the usual linear displacement.

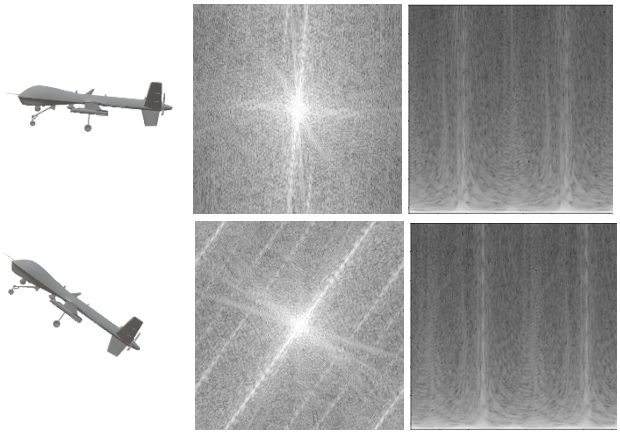


Fig. 5. Image processing phases: *a* – reference and test image of the UAV, *b* – its Fourier transform; *c* – logarithmic spectrum

The correlation function (Fig. 6) allows not only to determine the similarity, but also to set the angle of rotation in relation to the reference image.

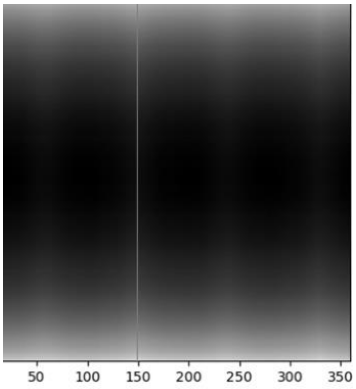


Fig. 6. Image of the correlation function for logarithmic spectra

The software for the project was developed in terms of 3D modeling in C #. The results processing programs are written in Python using the OpenCV library.

VI. Conclusions

The proposed approach makes it possible to obtain a solution to the problem of assigning an AO to a certain class and to calculate the characteristics of its position. This will also make it possible to determine the AO maneuver when analyzing the video sequence of images.

References

[1] Dharti Dhami «Object Detection/Localization Algorithms» Nov 25, 2018 [Online]. Available: ·https://medium.com/@dhartidhami/object-detection-localization-algorithms-e55b19259cbf

[2] Huihui Li, Xing Jin, Ning Yang, Zhe Yang. The recognition of landed aircrafts based on PCNN model and affine moment invariants // Pattern Recognition Letters 2015/01, Vol. 51.

[3] Y. Gangadhar, D. Lakshmi Srinivasulu and V. S. Giridhar Akula, Detection and comparison of objects using two dimensional geometric moment invariants, Int. J. Inf. Educ. Technol. 2 (2012). P. 458–460.

[4] Mingqiang Yang, Kidiyo Kpalma, Joseph Ronsin. Shape-based invariant features extraction for object recognition, Springer, 60 p., 2012. hal-00652422. DOI: 10.1007/978-3-642-24693-7_9

[5] Hai-Jun Rong, Ya-Xin Jia, Guang-She Zhao, Aircraft recognition using modular extreme learning machine, Neurocomputing, Volume 128, 2014. P. 166–174, ISSN 0925-2312, https://doi.org/10.1016/j.neucom.2012.12.064

[6] H. Yanand, J. G. Liu, Robust phase correlation based feature matching for image co-registration and DEM generation, RemoteSens. SpatialInf. Sci., 37 (2008). P. 1751–1756.

[7] Nakamori, H. Okabayashi and A. Kawanaka, 3-D object matching using phase correlation method, in: IEEE 10th International Conferenceon Signal Processing (ICSP), 24–28 Oct. 2010. P. 1275–1278.

[8] K. Ito, A. Morita, T. Aoki, H. Nakajima, K. Kobayashi and T. Higuchi, A fingerprint recognition algorithm combining phase-based image matching and feature-based matching, Springer-Verlag, Berlin, 2005. P. 316–325.

The Task of Weapon Guidance onto the Aerial Target Using Optoelectronic Station of Trajectory Measurements

Igor Shostko
Department of Infocommunication Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
iss010166@gmail.com

Andrey Tevyashev
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
andrew.teviashev@nure.ua

Oleg Zemlyaniy
Department for Nonlinear Dynamics of Electronic Systems
O. Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics
National Academy of Sciences of Ukraine
Kharkiv, Ukraine
zolvas@ukr.net

***Abstract*—The work is devoted to the development of a simulation model of tracking and measuring the coordinates of the flight of a missile over rough terrain to a moving target. To guide the missile, target designation from the optical-electronic station of trajectory measurements is used.**

Keywords—aerial object, optoelectronic station of trajectory measurements, simulation model.

I. INTRODUCTION

At the present time, the problem of detecting, tracking of mobile objects in the air and their recognition is extremely relevant for short-range missile artillery systems. In conditions of complete suppression of radar systems, optoelectronic stations on board the vehicle become the main equipment for target detection. This is confirmed by the growth in the number of such developments presented at exhibitions and reviews. For example, the fighting vehicle 2S38 of a self-moving anti-aircraft artillery complex (Russia) is equipped with an optoelectronic detection and aiming system, which was developed by the Minsk company «Peleng» [1, 2]. It allows for 360-degree panoramic observation of the terrain, as well as for a sector view.

The detection range through one of the video channels of a small unmanned aerial vehicle of the Bird Eye 400 type in the panoramic mode is declared of 700 m, and of 4900 m in the narrow field of view mode. The A-10 attack aircraft is detected in the first mode already at a distance of 6400 m, and in the second case at a distance of 12300 m. The thermal imaging channel allows detecting targets with a size of 2.3×2.3 m with a probability of 80 % at a distance of 10000 m and recognizing them at a distance of 4000 m. Fighting vehicles of similar characteristics have been developed in the USA, France, Great Britain, Israel, Canada, Russia, etc. However, the declared detection ranges can be provided only in open space. In reality, obstructing factor such as a terrain, trees and buildings always exists. In addition, the vehicle itself must be in cover so as not to become a target itself. To hit a target on a collision course, it is necessary to obtain target designation in advance for guiding the missile. Given the restrictions on the use of own intelligence assets this is possible in the case of usage of a network of brought forward optical-electronic stations of trajectory measurement (OESTM) [3–9], which will provide fighting vehicles with target designation, and will also be able to correct the missile flight until it captures the target itself. To test the efficiency of such a scenario, depending on the number of OESTM, their location, and data transmission delays, it became necessary to develop a simulation model.

II. THE PROBLEM STATEMENT

1. Create a simulation model of a missile flight over the rough terrain to a moving target.
2. Carry out a simulation of tracking and measuring the coordinates of the flight of a missile and an aerial target using OESTM.
3. Adjust the flight parameters of the missile to reach the optimal guidance trajectory.

Within the framework of this report, a model of a missile flight over rough terrain to a moving target is considered and a method for calculating the pixel coordinates of these objects in the image taken by the OESTM camera is be determined.

III. DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL OF OBJECTS FLIGHT

To solve the first task, one needs to create the following models:

- land terrain;
- trajectories of the missile and target over the terrain surface;
- scene that ensures the relative position of objects during their movement.

A possible implementation of simulation modeling is shown below.

A. Terrain modeling.

The terrain is modeled based on a height map. The RAW file format is used for storing height maps. This format, unlike a BMP file, is easy to read as it does not contain headers with any information about the image, such as size or type of image. The size of the map can be arbitrary, but it is more convenient to use a square one, with a side size multiple of 128: 128×128, 256×256, ..., 1024×1024. In 8-bit height maps, each byte within the RAW file represents the height of the peak. Height values range from 0 to 255, where 0 represents the lowest peak height and 255 (FF in HEX) is the maximum possible peak height. One can expand this range by using a scaling factor that is multiplied by the specified height value. To build a terrain from a height map, one first need to build a mesh of vertices with the same dimensions as that of a height map, and then use the point (pixel) height value from the height map as the height for the peak in the mesh of the peaks. Points are selected with certain step spacing. As known, any surface can be represented by triangles (surface triangulation). Therefore, any four adjacent points of the height map define a rectangle, which we can be divided into two triangles and drawn. In OpenGL, one can use a primitive of type GL_TRIANGLE_STRIP for this purpose.

Color interpolation can be applied to terrain painting. So, when drawing a triangle, a different color for each peak is needed to be set. In this case, OpenGL itself will interpolate the colors. In OpenGL, the color of one point in an image is described by three color components Red, Green and Blue. Defining all three components or only one of them as a function of height, allows getting a better representation of the terrain, specifically, high points will be lighter.

B. Modeling the trajectory of moving objects.

Two objects are moving over the terrain. There are a missile and a target. The trajectory of movement of each of them is determined by 4 points: R_{start} is the initial point; R_{finish} is the finish point; R_{current} is the current point; R_{next} is the next point after the current one. The y coordinate of points is determined as a function of the flight altitude of objects at a point with coordinates *x*, *z*: $y = H(x, z)$.

The target starting position and the point where it moves are determined using random numbers. The *x* and *z* coordinates of the target points R_{start} and R_{finish} are determined by a random number generator: x = rand (); z = rand (). The R_{start} point of the missile is at the origin of the coordinate system (with $y = H(0,0)$), the finish point of the missile coincides with the R_{next} point of the target: $R_{finish}^{rocket} = R_{next}^{target}$. The missile and the target move synchronously in a step-by-step mode, so that the positions of the points R_{current} and R_{next} are defined as follows:

$$R_{\text{current.X}} = R_{\text{start.X}} + (R_{\text{finish.X}} - R_{\text{start.X}}) \cdot i/i_k ,$$

$$R_{\text{current.Z}} = R_{\text{start.Z}} + (R_{\text{finish.Z}} - R_{\text{start.Z}}) \cdot i/i_k ,$$

$$0 < i \le i_k,$$

$$R_{\text{current.Y}} = H(R_{\text{current.X}}, R_{\text{current.Z}}) .$$

Target defeat occurs when $i = i_k$.

C. Scene modeling.

The problem is solved on the basis of the mathematical apparatus of affine transformations. Two coordinate systems are used. In the local (polygon) Cartesian coordinate system (LCCS) $X_M Y_M Z_M$ the terrain is modeled, the points of the trajectory of objects and the position of the local coordinate system are determined. In the local coordinate system *XYZ*, a missile model is created. The missile model is represented by two mutually perpendicular triangles; the target model is a large point. The position of the local coordinate system relative to the LCCS is determined by the current point of the missile trajectory, as well as by the angles Ψ_R (yaw), Θ_R (pitch) and Υ_R (roll).

The current parameters are determined by the points of the current missile position (R_{current} and R_{next}):

$$dx = R_{\text{next.X}} - R_{\text{current.X}} ;$$

$$dy = R_{\text{next.Y}} - R_{\text{current.Y}} ;$$

$$dz = R_{\text{next.Z}} - R_{\text{current.Z}} ;$$

$$dl = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2} ;$$

$$\Psi_R = \text{atan}(dx/dz) \cdot 180/\pi ;$$

$$\Theta_R = \text{asin}(dy/dl) \cdot 180/\pi ;$$

$$\Upsilon_R = k \cdot d\Psi_R ,$$

where $d\Psi_R = \Psi_R(i) - \Psi_R(i-1)$.

The coefficient k is set so that $\Upsilon_R < 45^\circ$.

The missile launch is initiated by pressing the P (launch) key. The parameters of the missile initial position are determined by the initial position of the target. Geometric transformations are implemented in OpenGL using the functions:

- glTranslate (x,y,z) performs a transfer, adding the values of its parameters to the coordinates;
- glRotate (angle,x,y,z) rotates the object by the angle value *angle* around the vector (x,y,z);
- glLookAt (eyeX, eyeY, eyeZ, centerX, centerY, centerZ,upX, upY, upZ) is the direction of view of the scene.

The explosion when the missile reaches the target is simulated by a sphere or a point of the large size glPointSize(45).

IV. Measuring the Flight Coordinates of a Missile and an Aerial Target Using Optical-Electronic Station of Trajectory Measurement

Consider how the image of the observed object is formed from a geometric point of view. In particular, we look at the mathematics of how a point selected on the surface of a missile or aerial target in 3D space is projected onto the image plane. At a large distance from the camera, the entire object will be perceived as a point. Let us consider the case when one OESTM is installed on the terrain surface. OESTM is tracking a point object in space. Let us denote it by point P. The task is to find the pixel coordinates (*u*, *v*) of this three-dimensional point in the image taken by the OESTM camera. There are three coordinate systems involved in this model.

1. LCCS.

First, one need to determine the LCCS to find the location of an object in space:

- select a reference point: use the initial position of the missile in the polygon coordinate system as the reference point (0,0,0);
- select the direction of the axes ($X_M Y_M Z_M$) of the local (polygon) coordinate system. Usually ($X_M O Z_M$) is a plane, which is tangent to the surface of the reference ellipsoid at the origin point Y_M. The normal to this plane X_M is directed along the polygon main direction.

Using the above, the 3D coordinates of a point object at any given time can be found by measuring the distance to its position from the origin along the axes X_M, Y_M and Z_M. Further, an uppercase font (for example, X_M) is used to display the axes and a lowercase font is used to display the coordinates of the point (e. g. x_p). In LCCS the coordinates of the point P are x_p, y_p, z_p.

2. Camera coordinate system.

The image of the object will be captured using the OESTM camera, and therefore the three-dimensional coordinate system $X_K Y_K Z_K$, which is attached to this camera, is in consideration. Let us place OESTM on the terrain surface in some arbitrary place with coordinates x_s, y_s, z_s of the station in the polygon coordinate system $X_M Y_M Z_M$.

At the initial moment of time the camera view is in arbitrary direction. 3D rotation is described using three parameters that are yaw, pitch and roll. For a mathematical description, it is convenient to encode the rotation as a 3×3 matrix (three degrees of freedom). The coordinates of the LCCS and the coordinates of the camera are related by a rotation matrix *R* and a three-element displacement vector *t*. This means that the point P with x_p, y_p, z_p coordinates in the LCCS, has different x_k, y_k, z_k coordinates in the camera coordinate system. The two coordinate values are related by the following equation.

$$\begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ z_k \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix} + t \,. \tag{1}$$

The 3×1 transfer vector is added as a column at the end of the 3×3 rotation matrix to produce a 3×4 matrix called the external matrix:

$$\begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ z_k \end{bmatrix} = [R/t] \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \\ 1 \end{bmatrix}, \tag{2}$$

where the external matrix T has the form:

$$T = [R/t] \,. \tag{3}$$

A three-dimensional point (*x*, *y*, *z*) in Cartesian coordinates can be written as (*x*, *y*, *z*, 1) in homogeneous coordinates. More generally, a point in homogeneous coordinates (*x*, *y*, *z*, *w*) coincides with a point (*x*/*w*, *y*/*w*, *z*/*w*) in Cartesian coordinates. Homogeneous coordinates allow to representing infinite quantities using finite numbers. For example, a point at infinity can be represented as (1, 1, 1, 0) in homogeneous coordinates.

3. Image coordinate system.

Once we get a point in the 3D camera coordinate system, applying rotation and transfer of the points in LCCS, we can project the point onto the image plane to get the location of the point in the image. In the image, we are looking at the point P with coordinates x_k, y_k, z_k in the camera coordinate system. Previously, we converted its coordinates to LCCS using an external matrix to get the coordinates in the camera coordinate system using equation (2).

The optical center (point aperture) is denoted by O_k. An inverted point image is formed on the image plane. For mathematical convenience, we simply perform all calculations as if the image plane is in front of the optical center, because the image readings from the sensor can trivially be rotated by 180 degrees to compensate the inversion. In practice, even this is not required because the sensor of a real camera simply reads data from the bottommost row in reverse order (from right to left), and then from bottom to top for each row. With this method, the image is automatically vertical and the left and right in the correct order. So in practice image rotation is not necessary. The image plane is located at a distance f (focal length) from the optical center. The following formulas give the image (*x*, *y*) of 3D point x_k, y_k, z_k:

$$x = f[x_k/z_k] \,, \quad y = f[y_k/z_k] \,. \tag{4}$$

The above two equations can be rewritten in matrix form as follows:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ z_k \end{bmatrix}. \quad (5)$$

The *K* matrix shown below is called the internal matrix and contains the internal parameters of the camera.

$$K = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

The above simple matrix only shows the focal length. However, the pixels in the image sensor might not be square, so it should be two different focal lengths f_x and f_y. The optical center (c_x, c_y) of the camera may not coincide with the center of the image coordinate system. In addition, the nonzero angle γ between the *x* and *y* axes of the camera sensor gives slight skew. Taking all of the above into account, the camera matrix can be rewritten as:

$$K = \begin{bmatrix} f_x & \gamma & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

However, in the above equation, pixel coordinates x and y are relative to the center of the image. The origin is at the upper left corner of the image when working with images. Let us represent the coordinates of the image as (u,v,w):

$$\begin{bmatrix} w' \\ v' \\ w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & \gamma & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ z_k \end{bmatrix}, \quad (8)$$

where

$$u = w'/w', \quad v = v'/w'. \quad (9)$$

Thus, the projection of a three-dimensional point in LCCS into the pixel coordinates of the camera is performed in three stages:

- a three-dimensional point is converted from LCCS to camera coordinates using an external matrix, which consists of rotation and movement between two coordinate systems;
- a new three-dimensional point in the camera coordinate system is projected onto the image plane using an internal matrix, which consists of the camera internal parameters, such as focal length, optical center, etc.

V. Conclusions

The development of a simulation model makes it possible to assess the efficiency of the OESTM in a network that unites them with fighting vehicles, depending on the selected parameters and external conditions. As a result, due to the reasonable choice of parameters, operating algorithms and components, costs are reduced at the stage of manufacturing a prototype of the OESTM network.

Further research will consist of completion the solution of the assigned tasks and creation a convenient tool for practicing various scenarios for tracking and guiding a missile to a target. Also, recommendations will be developed on improving the accuracy of target designation, taking into account the influence of various factors:

- *network-related*: choice of topology, data transmission delays, data transmission errors, the number of OESTM involved and the distance of their placement from each other;
- *OESTM-related*: accuracy and resolution of missile and target coordinates measurement, maximum measurement range, measurement delays;
- *target-related*: trajectory, speed and flight altitude.

References

[1] 2С38 Деривация-ПВО [Online]. Available: http://www.army-guide.com/rus/product.php?prodID=6027&printmode=1

[2] Самоходный зенитный артиллерийский комплекс 2С38 «Деривация-ПВО» [Online]. Available: https://vpk.name/library/f/derivaciya-pvo.html

[3] Shostko I., Tevyashev A., Kulia, Y., Koliadin A. Optical-electronic system of automatic detection and high-precise tracking of aerial objects in real-time // The Third International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems, CMIS, 2020. P. 784–803.

[4] Tevyashev Andrey, Shostko Igor, Neofitniy Mihail, Koliadin Anton. Laser Opto-Electronic Airspace Monitoring System in The Visible and Infrared Ranges // 2019 IEEE 5th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments, APUAVD 2019 – Proceedings, 2019. С. 170–173, DOI: 10,1109/APUAVD47061.2019.8943887.

[5] Shostko I., Tevyashev A., Neofitnyi M., Kulia Y. Information-measuring system of polygon based on wireless sensor infocommunication network // Chapter in the book Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, 48. Publisher: Springer Nature, 2021. С. 649–674.

[6] Shostko I., Tevyashev A., Neofitnyi M., Ageyev D., Gulak S. Information and Measurement System Based on Wireless Sensory Infocommunication Network for Polygon Testing of Guided and Unguided Rockets and Missiles // 2018 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018 – Proceedings, 2019. С. 705–710.

[7] Shostko Igor, Sosedka Julia. Proposals for the Integration of Various Wireless Sensor Networks // XII th International Conference «MODERN PROBLEMS OF RADIO ENGINEERING, TELECOMMUNICATIONS, AND COMPUTER SCIENCE», TCSET'2014, February 25 – March 1, Lviv-Slavske, Ukraine, 2014. P. 444–445.

[8] Shostko Igor, Kulia Ye. Applications of Multipath Routing for Energy Balancing in Sensor Networks // Scientific and Technical Journal «RADIOELECTRONICS & INFORMATICS», P1 No. 1, 2015. P. 12–16.

[9] Shostko Igor, Kulia Ye. Разработка модели маршрутизации беспроводной сенсорной сети с учётом устранения дисбаланса энергопотребления // Технологический аудит и резервы производства — № 3/2 (23), 2015. С. 94–98.

Interfaces and Software Control Models of Multipoint Aerial Objects Trajectory Measurements System

Andriy Tevyashev
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
andrew.teviashev@nure.ua

Anton Koliadin
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
anton.koliadin@nure.ua

***Abstract*—This paper is devoted to the development of the software interfaces for multipoint air objects trajectory measurements system.**

***Keywords*—aerial objects tracking, user interface, multi-threading, cross-platform, signals and slots, performance.**

I. Introduction

For optical-electronic system of aerial objects trajectory measurements (OESTM) the development of the interface and software requires the use of the fastest methods to provide sufficiently small delays for the operation of the entire system in real time and the ability to obtain video recording of high-speed supersonic targets.

The programming language is C++, some individual modules are written in C. This provides the highest performance on modern x86-64 compatible processors on Windows and Linux operating systems.

The basis of the user interface is made in the QT framework, which is written in C ++, is characterized by high speed, cross-platform and powerful methods of managing software flows. Each individual computing function that requires real-time performance or is directly involved in data exchange with stations is performed by a separate thread, which independently of other program modules is performed in parallel. Due to the multi-core processors, it is possible to run several threads simultaneously without interruption, each of which loads the entire processor core [1].

Individual threads in QT are implemented on the basis of QThread classes. Each object in QT allows you to transmit signals to the slots of any other object. All elements of the interface are objects implemented on the basis of its class which are the successors of the base class QObject.

II. Signals and slots in QT

Signals and slots are used for communication between objects. The signals and slots mechanism is the main feature of Qt and is probably the main part of Qt that differs the most in functionality from other libraries.

Qt uses an alternative technique to callbacks: signals and slots. A signal is emitted when a certain event occurs. Qt widgets have many predefined signals, and you can always subclass them to add your own signals. A slot is a function that is called in response to a specific signal.

All classes inheriting from QObject or one of its subclasses (for example, QWidget) can contain signals and slots. Signals are emitted when an object changes its state, if this change may be of interest to other objects. All objects do this to communicate with other objects. They don't care if anyone gets the signals they emit. This is a true encapsulation of information, and it ensures that objects can be used as separate pieces of software. Signals are emitted by an object when its internal state changes, and if it might be of interest to its clients or owner. Only classes containing signal definitions and their subclasses can emit signals.

When a signal is emitted, the slots associated with it are executed immediately, just like a normal function call. When this happens, the signals and slots mechanism is completely independent of the GUI event loop. Execution of the code following the emit statement will continue as soon as all slots have finished executing. In the case of queued connections, the situation is somewhat different; the execution of the code following the emit will continue immediately, and the slots will be executed a little later.

The slot is called as soon as the signal connected to it is emitted. Slots are regular C ++ functions and can be called in the usual way; their only feature is that signals can be attached to them.

Since slots are regular member functions, they have the same access rights as regular member functions. However, as slots, they can be called by any component regardless of the access level by means of a signal-slot connection. This means that the signal emitted by an object of an arbitrary class can be associated with a private slot and called in a completely foreign class.

III. QT thread management technologies

Qt provides support for threads in the form of platform-independent threading classes, a thread-safe way to dispatch events, and the ability to establish signal-slot connections between threads. This makes it easier to build portable multithreaded applications and take advantage of multiprocessor machines. Multi-threaded programming is also

a useful paradigm for performing time-consuming actions without freezing the user interface.

The QMutex, QReadWriteLock, QSemaphore, and QWaitCondition classes provide thread synchronization facilities. Although the main idea behind threads is to make threads as parallel as possible, there are times when a thread must stop its current operations and wait for other threads. For example, if two threads simultaneously try to access the same global variable, the result is usually undefined.

The QtConcurrent namespace provides high-level APIs that make it possible to write multithreaded programs without using low-level threading primitives such as mutexes, read-write locks, wait conditions, or semaphores. Programs written with QtConcurrent automatically match the number of threads in use with the available number of processor cores. This means that applications written today will continue to scale when deployed to multi-core systems in the future [2].

IV. Performance Optimization for Real-Time Tasks

The main task of the development is to minimize delays in the transmission of information from some parts of the system to others, that is, from video cameras to servo drives. In view of the high speed of the target, the time for correcting the position of the next camera after receiving the image of the previous one is significantly less than a second, about 200ms.

The second no less important task is to ensure the continuous operation of the image processing modules by carrying out all the interruptions to the input, output and transfer of information to separate streams.

A module executing in a separate thread is responsible for each resource-intensive operation. The main streams are the image acquisition stream for each camera, the image processing stream for each station, the servo control stream, the target trajectory calculation stream, the operator control stream, the telemetry recording stream.

The mechanism of signals and slots QT has certain delays inherent in any interface; therefore it is used at the stage of initialization and system configuration. Directly in the process of recording a trajectory, the main modules use direct access to memory and the functions of accessing variables of the processing flow, the flow of trajectory calculation [4].

V. GUI Interface View

For the convenience of the user, the interface is divided into separate tabs combined into separate groups. The main groups of tabs are settings, telemetry separately for each station, combined video image from all stations.

The number of stations controlled by the program can be adaptively changed in the development environment.

VI. Conclusions

Developed interfaces and introduced approaches can be used for other similar tasks, where speed and ease of use come first.

For the further development of the communication network of OESTM stations, the possibility of connecting several control points is provided, each of which receives a picture and controls a group of stations into a single network.

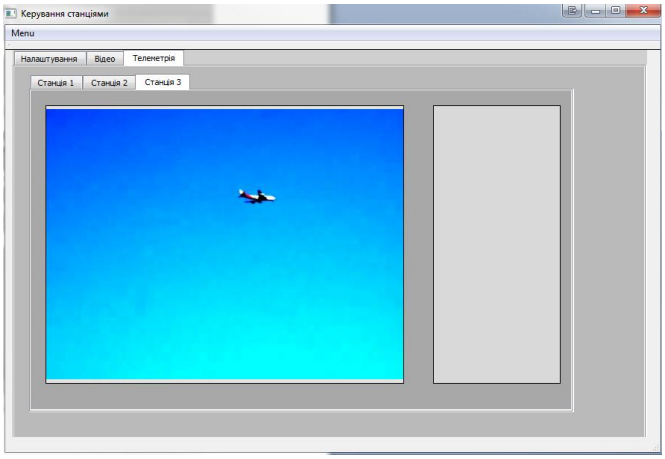


Figure 1. Telemetry picture of an individual station

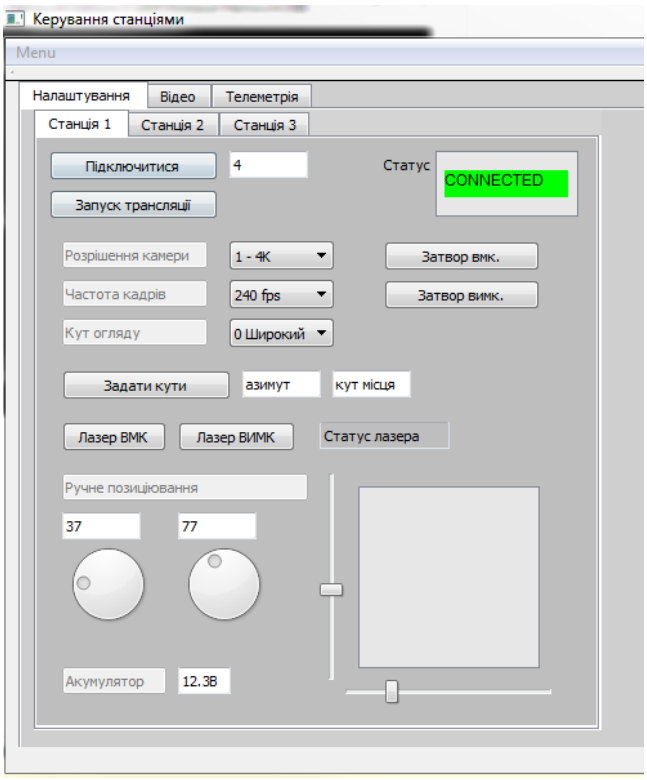


Figure 2. Station settings and control tab

References

[1] Payas Rajan, John Carey, Shreyans Doshi “C++ Data Structures and Algorithm Design Principles” / Packt. 2019. .626p.

[2] R. Murphy, K. Wheeler and D. Thain, "Qthreads: An API for programming with millions of lightweight threads," in *2008 IEEE International Parallel & Distributed Processing Symposium*, Miami, FL, 2008 pp. 1-8.

[3] Dong Y, Han W. (2017) Real-time Research of Linux Operating System Based on Multi-core ARM. Minicomputer System, 38:1262-1266.

[4] Peng J, Shi B. (2010) Construction of Embedded GUI Development Platform Based on Qt. Microcomputer Applications, 26:40-42.

Врахування Впливу Резонансних Нейтронів при Отриманні Нейтронографічних Зображень

Світлана Прохорець, Манап Хажмурадов
Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут"
Харків, Україна
khazhm@kipt.kharkov.ua

Taking into Account the Influence of Resonance Neutrons in Obtaining Neutronographic Images

Svitlana Prokhorets, Manap Khazmuradov
National Science Center "Kharkiv Institute of Physics and Technology"
Kharkiv, Ukraine
khazhm@kipt.kharkov.ua

***Анотація*—Проведено моделювання отримання нейтронографічних зображень методом резонансної радіографії на швидких нейтронах. Досліджено можливість використання швидких нейтронів для отримання нейтронографічного зображення та інформації про елементний склад об'єкта дослідження. Аналіз зображень, отриманих при моделюванні, показує, що метод резонансної радіографіїї на швидких нейтронах дозволяє отримати інформацію про відносний розподіл елементів, що нас цікавлять.**

***Abstract*—The simulation of neutron imaging by fast neutron resonance radiography was performed. The possibility of using fast neutrons to obtain a neutron image and information about the elemental composition of the object of study is investigated. Analysis of the images obtained in the simulation shows that the method of fast neutron resonance radiography allows us to obtain information about the relative distribution of the elements of interest.**

Ключові слова—нейтрон, нейтронна радіографія, математичне моделювання, метод Монте-Карло

Keywords—neutron, neutron radiography, mathematical modeling, Monte Carlo method

I. Вступ

Сучасні фізичні і технологічні установки, в яких використовується ядерне випромінювання, можна віднести до класу складних технічних об'єктів, на створення яких витрачаються значні матеріальні і фінансові ресурси, як окремих країн, так і всього світового співтовариства. До таких об'єктів належать нові термоядерні установки з безпечним використанням енергії ядра, фізичні установки для вивчення явищ при надвисоких щільності ядерної матерії і більшість сучасних пристроїв, що використовують нейтрони для наукових і технологічних цілей.

Нейтронна радіографія (НР) базується на явищі послаблення пучка нейтронів при проходженні його через різні матеріали [1]. Інформація про просторовий розподіл нейтронів реєструється позиційно-чутливим детектором і обробляється з використанням комп'ютера. З цієї точки зору нейтронна радіографія подібна радіографії з використанням рентгенівського випромінювання, гальмівного випромінювання з електронних прискорювачів і гамма-випромінювання від радіоактивних ізотопів. Об'єднавши три останні види випромінювання під однією назвою γ-випромінювання, ми можемо сказати, що взаємодія нейтронів і γ-випромінювання з середовищем докорінно відрізняється. У той час як γ-випромінювання взаємодіє з електронною хмарою, що оточує ядро атома, нейтрони взаємодіють безпосередньо з ядрами. Ступінь ослаблення випромінювання досліджуваним об'єктом, що залежить від атомного номера Z і масового числа A, буде відрізнятися для нейтронів і γ-квантів.

Проходження γ-квантів через речовину супроводжується трьома головними процесами взаємодії: фотоефект, комптонівське розсіювання, народження пар [2]. Крім цього, можуть відбуватися ядерні реакції (γ, n), (γ, p).

В області високих енергій фотонів, для отримання яких необхідно використовувати прискорювачі, взаємодія з речовиною визначається утворенням пар. У цьому випадку залежність коефіцієнта ослаблення від атомного номера виражена слабо.

Отже, через істотне відмінності взаємодії нейтронів від взаємодії фотонів нейтронну радіографію і томографію можна використовувати для візуалізації легких елементів, які слабо поглинають рентгенівські промені і гамма-кванти інших енергій. Це такі елементи як водень і речовини, що містять водень, бор, берилій, літій та ін. Здатність виявляти елементи, що містять водень, в речовині є одним з основних переваг та особливість нейтронної радіографії.

II. Методи нетйронної радіографії

У багатьох країнах нейтронна радіографія розвивалася і розвивається як один з методів неруйнівного контролю в атомній промисловості, в космічній та оборонній галузях, авіаційної та автомобільної промисловості, турбобудуванні, геології і т.д. [3]. Крім того, з огляду на широке застосування нейтронної радіографії в багатьох країнах і її проникнення в медицину, хімію, мистецтво, можна говорити про її зростаючу роль у всіх наукомістких галузях.

В загальному випадку метод нейтронної радіографії має достатню чутливість для усіх матеріалів, з якими інтенсивно взаємодіють нейтрони. Особливо ефективним є його застосування для дослідження обладнання, в якому використано декілька матеріалів, що сильно відрізняються один від одного за коефіцієнтом послаблення нейтронів. Застосування електронних методів візуалізації НР-зображень робить можливим вивчення динаміки потоків рідини – палива, охолоджуючих та змащувальних рідин у двигунах, хладагентів в теплообмінниках тощо. Для перевірки працездатності складних пристроїв з потоками рідини, газу та твердими речовинами можна використовувати трассування речовинами, що поглинають нейтрони. Ще одна важлива перевага НР – можливість застосування методу в інтенсивних полях гамма-випромінювання, що дозволяє використовувати метод для дослідження радіоактивних матеріалів. Більшість з існуючих в світі НР-установок створено на базі реакторів. В Україні є тільки один такий реактор, який можна використовувати для НР-завдань. Це дослідницький реактор ВВР-М (Київ), який останні роки майже не експлуатується. До того ж, не всі зразки, що потребують дослідження, можливо фізично доставити до вихідних каналів реактору. Тому поряд з вирішенням питання про розвиток в Україні нейтронної радіографії на базі реакторів, доцільно розглядати й альтернативні варіанти, зокрема, створення мобільної НР-установки [4].

Ідея резонансної радіографії на швидких нейтронах є простою та використовує залежність перерізів від енергій та ізотопного складу речовини. За допомогою моноенергетичного джерела нейтронів можливо одночасно відобразити один елемент, використовуючи область енергій з резонансним піком/долиною для одного елемента, тоді як перерізи для інших елементів є плоскими в одному і тому ж діапазоні енергій. Одне рентгенографічне зображення отримується при енергії резонансу, а інше - поза резонансом. Різниця двох зображень дає інформацію про розподіл відповідного елемента. Проаналізувавши декілька радіографічних зображень для нейтронів різних енергій, можна отримати просторовий розподіл потрібних елементів, або цифровим відніманням зображень, якщо потрібен розподіл поодиноких елементів, або методом розгортання, якщо потрібен розподіл одразу декількох елементів. Потоки швидких нейтронів високої інтенсивності отримують на сильнострумових прискорювачах з використанням різних мішеней. У зв'язку з великим виходом нейтронів, для реєстрації зображення частіше за все використовують сцинтилятори з CCD-зчитуванням. Мала часова роздільність не потрібна, оскільки зображення для різних енергій зчитуються один за іншим. Крім того, для утворення нейтронів можуть бути використані товсті мішені, з яких можна отримати нейтрони з майже "білим" спектром розподілу енергії в певному діапазоні, наприклад від 1 МеВ до 10 МеВ.

Одним із запропонованих методів для вимірювання двовимірного розподілу елементів з малим атомним номером Z у досліджуваних об'єктах зараз є резонансна радіографія на швидких нейтронах [5]. Швидкі нейтрони можуть проходити крізь масивні зразки, а перерізи їх взаємодії для різних елементів не дуже відрізняються один від одного (порівняно з перерізами для рентгенівських променів або теплових нейтронів). Метод заснований на енергетичних залежностях нейтронних перерізів для елементів, що представляють інтерес для дослідження.

Радіографія на швидких нейтронах може застосовуватися в різних системах безпеки та при неруйнівному контролі, де необхідна чутливість до розподілу легких елементів у захисному матеріалі з великим Z [5]. Особливу цікавість будуть мати таки елементи, як азот, вуглець, кисень та водень.

III. Результати моделювання

Для моделювання отримання зображень об'єкту методом нейтронної радіографії використовувався програмний комплекс MCNPX, в якому реалізовано метод проекції переданого зображення [6].

Для нейтронної радіографії з цифровим відніманням зображень для двох різних енергій існують методи з інтенсивними, майже моноенергетичними пучками нейтронів з високоточних прискорювачів та газових мішеней [7]. Швидка часова роздільна здатність непотрібна, оскільки зображення для різних енергій отримуються один за одним. Як альтернативу для отримання нейтронів можна використовувати товсті мішені, де у певному діапазоні, наприклад від 1 МеВ до 10 МеВ, отримують майже "білий" розподіл енергії нейтронів.

Для моделювання розглядалися об'єкти у формі куль діаметром 5 см. Склад об'єктів розглядався наступним:

– матеріал 1: (графіт) – 10,6 г;

– матеріал 2: водень (H) – 1,5 г, вуглець (C) – 16,3 г, азот (N) – 0,9 г,

кисень (O) – 5,2 г;

– матеріал 3: водень (H) – 1,0 г, вуглець (C) – 7,1 г, азот (N) – 7,1 г,

кисень (O) – 12,3 г;

– матеріал 4: водень (H) – 1,8 г, вуглець (C) – 10,6 г, азот (N) – 24,9 г.

Матеріал 2 може розглядатися як імітаційна модель наркотичної речовини, а матеріал 3 може розглядатися як модель вибухівки. В якості вхідних енергій нейтронів для моделювання використовувалися енергії 2,37 МеВ, та 2,23 МеВ (енергія резонансу для азоту N). На Рис. 1 та Рис. 2 наведено результати моделювання отримання нейтронографічного зображення для Матеріалів 2 та 3 за допомогою цього методу при опроміненні нейтронами з енергією 2,37 МеВ. Об'єкти розташовані у вакуумі та у грунті.

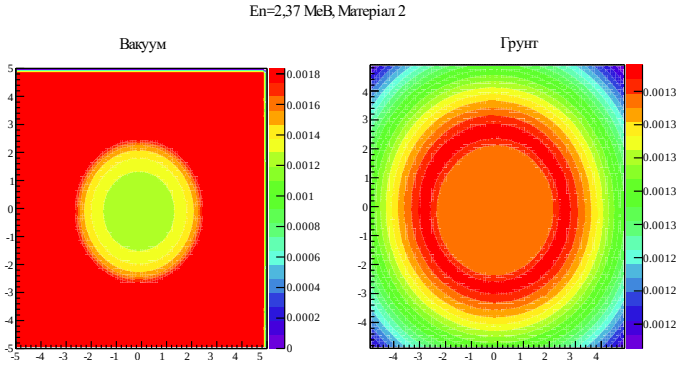


Рис. 1. Моделювання отримання НР-зображення для кулі з матеріалу 2

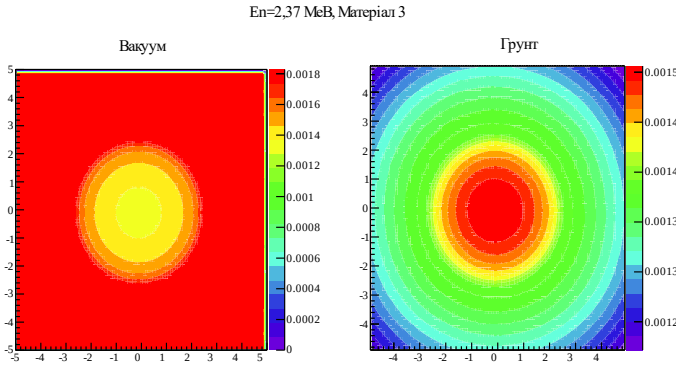


Рис. 2. Моделювання отримання НР-зображення для кулі з матеріалу 3

На Рис. 3 наведено результати моделювання віднімання нейтронографічних зображень, отриманих при енергіях нейтронів 2,37 МеВ та 2,23 МеВ для матеріалів 2 та матеріалу 3 при розташуванні кулі діаметром 5 см у ґрунті на глибині 1 см

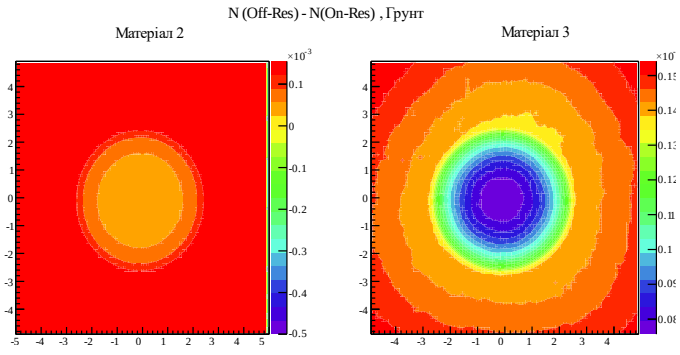


Рис. 3. Моделювання віднімання радіографічних зображень при розташуванні об'єкту в грунті

Аналіз зображень та їх різниці показує, що метод резонансної радіографії на швидких нейтронах дозволяє отримати інформацію про відносний розподіл елементів, що нас цікавлять, також для випадку, коли об'єкт дослідження розташований на невеликій глибині в грунті. Якщо нас цікавить в першу чергу кількісний аналіз елементного складу, отриманих зображень буде недостатньо, й буде потрібна більш складна обробка отриманих даних або застосовувати інші методи , але вочевидь, інформації, отриманої з зображень та їх різниці, буде достатньо у випадку, коли потрібно визначити, чи є необхідний нам елемент взагалі наявним в об'єкті дослідження. Наприклад, дивлячись на результати для матеріалів 2 та 3 у ґрунті, можна зробити висновок, що азоту в матеріалі 2 суттєво менше, ніж в матеріалі 3.

Резонансна радіографія на швидких нейтронах з поодинокими піками має низьку чутливість і стикається з деякими практичними труднощами. Для отримання вузького енергетичного розподілу потрібна тонка мішень, що обмежує вихід нейтронів. Далі, за наявності більшої кількості елементів, важко знайти виразні резонансні піки для всіх елементів, що цікавлять. але для речовин, подібних до розглянутих при моделюванні, цей метод дає позитивні результати та може застосовуватися на практиці

IV. Висновки

Розглянуто метод отримання НР- зображення методом резонансної радіографії на швидких нейтронах. Проведено моделювання отримання НР-зображень методом резонансної радіографії на швидких нейтронах. Досліджено можливість використання швидких нейтронів для отримання нейтронографічного зображення та інформації про елементний склад об'єкта дослідження. Аналіз зображень, отриманих при моделюванні, показує, що метод резонансної радіографіїї на швидких нейтронах дозволяє отримати інформацію про відносний розподіл елементів, що нас цікавлять

Література References

[1] Н.Д. Тюфяков, А.С. Штань, Основы нейтронной радиографии. М.:Атомиздат, 1975, 256 с.

[2] Ахиезер А.И., Берестецкий В.Б. Квантовая электродинамика. – М.: Наука, 1969, 624 с.

[3] Prokhorets I.M., Prokhorets S.I., Khazhmuradov M.A. et.al. Development of mathematical and experimental model of neutron radiography set up // Problems of atomic science and technology. Ser. “Nuclear physics investigations”(41). – 2003. – №2. – P. 116-117.

[4] И.М. Копанец, Н.А. Кочнев, М.А. Хажмурадов и др., Перспективы создания нейтронографической установки на основе ЛУЭ. Препринт ННЦ ХФТИ, Харьков, 2004, 28 с.

[5] Dangendorf V., Laczko G., Kersten C. et al. Fast Neutron Resonance radiography in a pulsed neutron beam // Neutron Radiography. Proceedings of the Seventh World Conference. – Rome, Italy, September 15-21, 2002. – P. 732-734.

[6] MCNP 2.4.0. RSICC computer code collection. Monte-Carlo N-Particle Transport Code System for multiparticle and high energy applications. CCC-715.–2002.

[7] J. Hall, F. Dietrich, C. Logan et al. “Rescent Results in the Development of Fast Neutron Imaging Techniques“ in CP576, Application of Accelerators in Research and Industry – Sixteenth Int’l Conf., Ed. J.L. Dugan, I.L Morgan, pp 1113 –1117, New York 2001.

Дослідження Електромагнітного Сигналу Клітин Методом Мікрохвильової Діелектрометрії при Ділатаційній Кардіоміопатії

Наталія Хміль
кафедра біомедичної інженерії
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
khmilnatali@gmail.com

Олександр Алтухов
рентгенологічне відділення
Державна установа "Національний інститут терапії імені Л.Т.Малої Національної академії медичних наук України
Харків, Україна
therapy@amnu.gov.ua

Володимир Колесніков
відділ біологічної фізики
Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова Національної академії наук України
Харків, Україна
kolesnik@ire.kharkov.ua

The Study of Cells' Electromagnetic Signal Using Microwave Dielectrometry at Dilatation Cardiomyopathy

Nataliia Khmil
Department of Biomedical Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
khmilnatali@gmail.com

Oleksandr Altukhov
X-ray Department
Government Institution "L.T.Malaya Therapy National Institute of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine
Kharkiv, Ukraine
therapy@amnu.gov.ua

Volodymyr Kolesnikov
Department of biological physics
A.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics
National Academy of Science of Ukraine
Kharkiv, Ukraine
kolesnik@ire.kharkov.ua

***Анотація*—Проведено дослідження діелектричної проникності еритроцитів хворих на ділатаційну кардіоміопатію за допомогою методу мікрохвильової діелектрометрії. Вимірювання були проведені на частоті 37.7 ГГц, яка входить до діапазону частот, в якому проявляється дисперсія діелектричної проникності вільної води. Візуалізація електромагнітного сигналу на молекулярно-клітинному рівні була реалізована в «sweep»-режимі частот 1000÷2500 Гц в присутності специфічних стимуляторів та блокаторів аденілатциклазної системи. Реєстрували зміну відносної кількості вільної та зв'язаної води та конформаційні перетворення на рецепторних комплексах еритроцитів за параметром ε′. Показана ефективність даного підходу в діагностичному алгоритмі серцевої недостатності на ранніх етапах розвитку хвороби.**

***Abstract*—The study of the dielectric constant of erythrocytes of patients with dilated cardiomyopathy was carried out using**

microwave dielectrometry. The measurements were carried out at frequency of 37.7 GHz, which is part of the dispersion region of the dielectric constant of free water. Visualization of the electromagnetic signal at the molecular-cellular level was realized in the "sweep"-regime of frequencies of 1000-2500 Hz in the presence of specific stimulators and blockers of the adenylate cyclase system. Changes in the relative amount of free and bound water and conformational transformations on erythrocytes' receptor complexes by the parameter ε′ were recorded. The effectiveness of this approach in the diagnostic algorithm of heart failure in the early stages of the disease is shown.

Ключові слова—електромагнітний сигнал, діелектрична проникність, візуалізація, еритроцити, ділатаційна кардіоміопатія

Keywords—electromagnetic signal, dielectric constant, imaging, erythrocytes, dilated cardiomyopathy

I. Вступ

Ділатаційна кардіоміопатія (ДКМП) являється захворюванням серцевого м'яза складної етіології з вираженою ділатацією шлуночків серця, що є причиною зниження скорочення міокарда. Частота виявлення ДКМП становить в середньому від 4 до 10 випадків на 100 тис.; швидкоплинність захворювання супроводжується, тромбоемболією та набряком легенів [1]. В більшості випадків ця форма серцевої недостатності завуальована загальними симптомами недомагання та маніфестуючою біллю в області серця, що унеможливлює коректно поставити діагноз та вчасно прийняти рішення щодо терапевтичних заходів. Традиційно в діагностичному алгоритмі ДКМП присутні рентгенографічні дослідження, ехокардіографія з автоматизованою комп'ютерною обробкою ехокардіографічних зображень, холтерівське моніторування та інші. Медицина сьогодення орієнтована на всебічний, комплексний підхід із паралельним залученням методів візуалізації патології міокарда на молекулярно-клітинному рівні, серед яких мікрохвильова діелектрометрія відрізняється точністю оцінки параметрів діелектричної проникності, швидкістю отримання результатів та економічністю (Рис. 1).

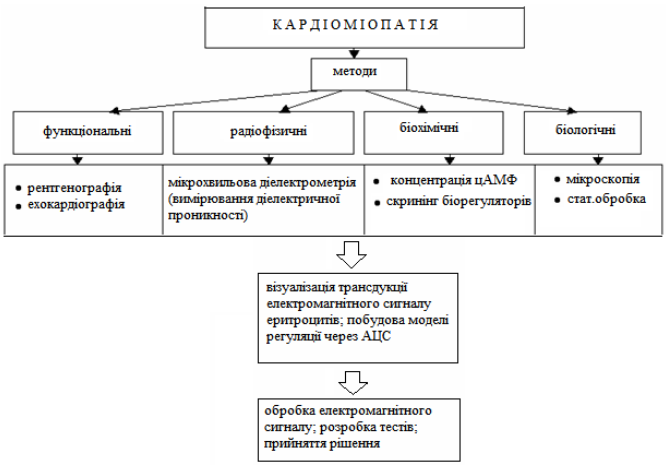


Рис. 1. Діагностичний алгоритм ділатаційної кардіоміопатії; методи визначення етіології та схема прийняття рішення

Мета дослідження – візуалізація порушення функціонування міокарда на основі оцінки електромагнітного сигналу від еритроцитів за параметром діелектричної проникності в модельній системі «клітина-біологічна добавка» методом мікрохвильової діелектрометрії.

II. Матеріали та методи дослідження

Методом ехокардіографії було обстежено 75 пацієнта, з них 36 хворих на ДКМП, яка в 86 % випадків супроводжувалася відносною недостатністю мітрального та тристулкового клапану, легеневою гіпертензією та аритмією тахісистолічної форми (Рис. 2).

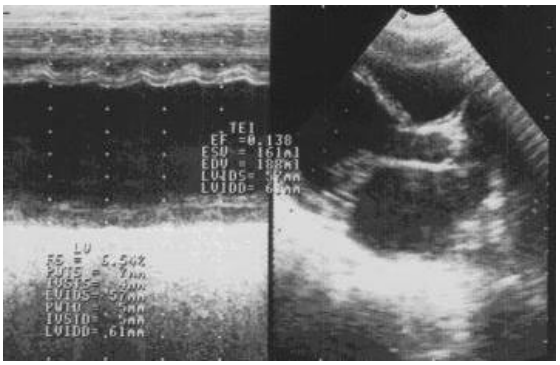


Рис. 2. Ділатаційна кардіоміопатія, відносна недостатність мітрального клапану, пасивний рух міжшлункової перегородки (Доплер-ЕхоКГ)

Об'єктом дослідження була суспензія еритроцитів стабілізована 3,8 % розчином цитрату натрію. Згідно схеми експерименту зразки суспензії еритроцитів були розділені на три групи – 1) група практично здорових донорів (12 пацієнтів); 2) група з серцевою недостатністю (39 пацієнта); 3) група з ДКМП (36 пацієнта). В якості біологічних добавок були використані: медіатор нейрохімічного проведення імпульсу – адреналін в поєднанні з традиційними стимуляторами та блокаторами кардіоміоцитів, які надійно зарекомендували себе в кардіологічній практиці – кофеїн, атенолол, АТФ (Таблиця 1).

ТАБЛИЦЯ І. Специфічні стимулятори та блокатори АЦС, механізм їх дії в терапевтичній концентрації

Біологічна добавка	**Механізм дії**	**Концентрація**
Атенолол	блокатор β-адренорецепторів	60 мкг/л
Адреналін	стимулятор β>α-адренорецепторів	40 мкг/л
Кофеїн	стимулятор синтезу цАМФ	80 мкг/л
АТФ	стимулятор серцевого-скорочення	40 мкг/л

Візуалізацію електромагнітного сигналу від еритроцитів було реалізовано шляхом побудови графічних образів, які відтворюють реакцію клітин на специфічну стимуляцію чи блокаду компонентів

аденілатциклазної системи (АЦС) в області γ-дисперсії діелектричної проникності вільної води. В експерименті був застосований апаратурно-реєструючий комплекс на основі мікрохвильвої діелектрометрії в поєднанні з «sweep»-режимом звукового діапазону частот. П'єзо-платформа з вбудованою вимірювальною кюветою об'ємом 200 мкл розміщувалася на виході детектора хвилеводної лінії Р1-39 та модулювалася частотами f=1000÷2500 Гц. Одночасно в міліметровий хвилеводний тракт вводилося електромагнітне випромінювання міліметрового діапазону; частота генерації діоду Гана склала 37.7 ГГц. Досліджувався відображений від поверхневого шару суспензії еритроцитів (глибина проникнення ~1,5 мм) електромагнітний сигнал міліметрового діапазону за допомогою програми накопичення сигналу із під шумів при одночасному графічному виведенню електромагнітного сигналу та його спектру в режимі реального часу. Результати кожного експерименту являли собою масив даних ємністю від 30 Мб до 80 Мб, отримані дані були оцифровані та оброблені із застосуванням алгоритму швидкого Фур'є перетворення. Реєстрували зміну параметру реальної частини комплексної діелектричної проникності в дослідних зразках по відношенню до контрольних. За цим параметром аналізували відносну кількість вільної та зв'язаної води, яка утворилась в результаті специфічної стимуляції чи блокади фармацевтичними препаратами рецепторних комплексів мембрани еритроцитів. Відносна похибка по ε′ склала ±0,7 %, абсолютна похибка по ε′ склала $1{,}73*10^{-12}$ Ф/м.

III. Результати та обговорення

Одним з пояснень патогенезу кардіоміопатій являється міокардіальна теорія, центральне місце в якій займає дисфункція кардіоміоциту, яка виникає під дією тканинних нейрогормональних систем. Гормональна стимуляція або блокада реалізується на рівні рецепторів мембрани клітини. Аденілатциклазна система являється універсальним трансмембранним білковим комплексом, який передає інформацію про зміни з навколишнього середовища в середину клітини через G-білки [2]. Цей процес супроводжується змінами концентрації внутрішньоклітинних месенджерів – циклічних нуклеотидів, таких як цАМФ, що відображається на кількості вільної-зв'язаної води [3]. Тому вибір біологічних добавок був не випадковим.

В ході експерименту показано, що при стимуляції адреналіном мали місце зміни конформаційного стану адренорецепторного комплексу еритроцитів, що супроводжувалося синтезом цАМФ, та збільшенням кількості вільної води. При дії кофеїну, також спостерігали прискорення синтезу цАМФ, але, в порівнянні з дією адреналіну, за діелектричними параметрами мало місце зв'язування молекул води на клітинних структурах еритроцитів. Атенолол – відомий адреноблокатор, при самостійній дії викликав в еритроцитах значні конформаційні перебудови адренорецепторів мембрани, зв'язуючи молекули води. Але при одночасній дії адреналіну та атенололу спостерігали ще більше зв'язування водневих зв'язків. Якщо порівняти вказані вище дані з даними при одночасній дії адреналіну та кофеїну, то як і прогнозувалось, мало місце збільшення синтезу цАМФ, при цьому дія одного препарату прискорювала та підвищувала дію іншого (Рис. 3).

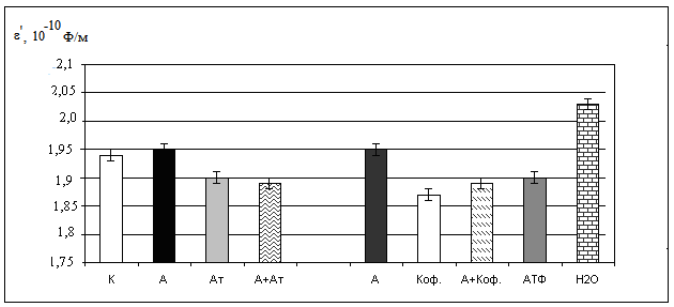


Рис. 3. Зміна діелектричної проникності еритроцитів при стимуляції та блокаді трансмембранної передачі сигналу (середньостатистичні дані в групі з 36 пацієнтів хворих на ДКМП). (К-контроль, А-адреналін, Ат-атенолол, Коф.-кофеїн, АТФ-аденозинтрифосфорна кислота, H_2O-вода дистильована)

В серії експериментів показано, що в групі хворих на серцеву недостатність в анамнезі, серед усіх інших, адреналін стабільно проявляв ефекти збільшення вільної води по відношенню до зразків суспензії еритроцитів контрольної групи хворих, та групи практично здорових донорів. Параметр ε′ досліджувався в динаміці розвитку патології міокарда, так як існує концепція про динамічність структури β-адренорецептора, яка передбачає здатність останнього конформаційно змінюватися в залежності від гомеостазу, дії фармакологічних препаратів, фізіологічного та патологічного стану клітини. На Рис. 4 показано графічне зображення електромагнітного сигналу, яке відображає реакцію АЦС на дію активатора β-адренорецепторного комплексу – адреналіну на ранніх етапах розвитку ДКМП, до клінічних проявів хвороби. На модуляційній частоті 1700 Гц спостерігається збільшення відносної кількості вільної води по відношенню до контролю (Рис. 5).

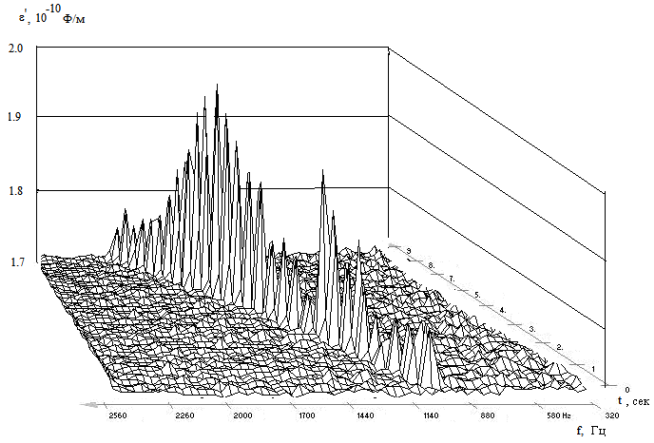


Рис. 4. Тривимірна візуалізація електромагнітного сигналу (час-частота-рівень) від еритроцитів хворих на ДКМП в присутності адреналіну при скринінгу акустичних частот f=1000÷2500 Гц

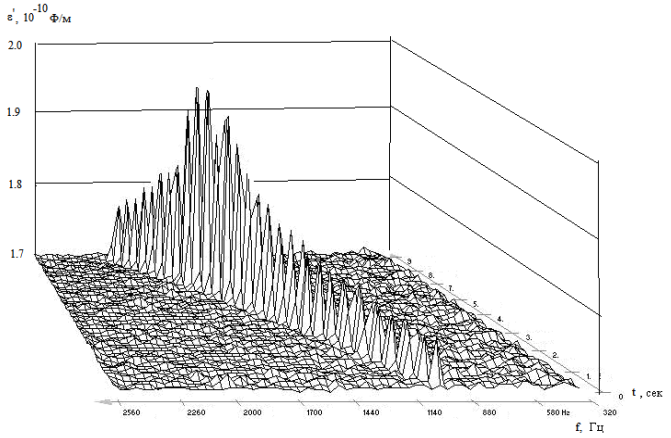


Рис. 5. Тривимірна візуалізація електромагнітного сигналу (час-частота-рівень) від еритроцитів хворих на ДКМП без біологічних добавок (контроль) при скринінгу акустичних частот f=1000÷2500 Гц

IV. Висновки

Мікрохвильова діелектрометрія реєструє порушення в функціонуванні еритроцитів на молекулярно-клітинному рівні до клінічних проявів хвороби, що дає можливість заздалегідь попередити швидкоплинність розвитку ДКМП та своєчасно вжити терапевтичні заходи.

Метод економічно вигідний, дозволить підвищити точність діагностики, значно скоротити час дослідження, підвищити ступінь його специфічності і здійснити індивідуальний підбір фармакологічних препаратів для корекції виявлених порушень.

Література References

[1] D. Reichatr, C. Magnussen, T. Zeller, S. Blankenberg, «Dilated cardiomyopathy: from epidemiologic to genetic phenotypes», *Journal of internal medicine*, 2019, vol. 286, no.4, pp. 362 – 372.

[2] L. Pardo, R.S. Prosser, L. Mueller, B.K. Kobilka, «Ligand-specific regulation of the extracellular surface of a G protein coupled receptor», *Nature*, 2010, vol. 463, pp.108–112.

[3] K. Takano, Y.Yamagata, K. Yutani, «Buried water molecules contribute to the conformational stability a protein», *Protein Eng.*, 2003, vol. 16, no 1, pp. 5–9.

Використання Нейронних Мереж для Обробки Незбалансованих Наборів Даних

Юрій Гунченко
кафедра комп'ютерних систем та технологій
Одеський національний університет ім. І.І.Мечникова
Одеса, Україна
gunchenko@onu.edu.ua

Сергій Шворов
кафедра автоматики та робототехнічних систем Національний університет біоресурсів і природокористування
Київ, Україна
sosdok@i.ua

Лариса Мартинович
кафедра комп'ютерних систем та технологій
Одеський національний університет ім. І.І.Мечникова
Одеса, Україна
larysa.yaroslavna@onu.edu.ua

Using Neural Networks to Process Unbalanced Data Sets

Yuriy Gunchenko
Computer System and Technology Department
I.I. Mechnykov Odessa National University
Odessa, Ukraine
gunchenko@onu.edu.ua

Sergey Shvorov
Automation and Robotic Systems Department
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
sosdok@i.ua

Larysa Martynovych
Computer System and Technology Department
I.I. Mechnykov Odessa National University
Odessa, Ukraine
larysa.yaroslavna@onu.edu.ua

***Анотація*—Розглянуто основні методи для роботи з незбалансованими даними, проблеми вибору підходу, алгоритму для бінарної класифікації незбалансованих наборів даних. Проаналізовано математичні моделі, виділені властивості кожного з підходів. Проведена класифікація з використанням алгоритмів, що представляють кожен з підходів. Підтверджено якість підходу до класифікації незбалансованих даних.**

***Abstract*—The main methods for working with unbalanced data, problems of approach selection, algorithm for binary classification of unbalanced data sets are considered. Mathematical models, selected properties of each of the approaches are analyzed. The classification is performed using algorithms representing each of the approaches. The quality of the approach to the classification of unbalanced data is confirmed.**

Ключові слова—лінійна бінарна класифікація, нейронна мережа, навчання з учителем, згорткова нейронна мережа, незбалансовані дані

Keywords—linear binary classification, neural network, teacher training, convolutional neural network, unbalanced data

I. Вступ

Для забезпечення повноцінного і ефективного обміну інформацією як всередині однієї інформаційної системи (ІС), так і між різними ІС, а також для автоматизації роботи з даними різних типів, необхідно певним чином уніфікувати і стандартизувати форму представлення інформації без зміни її змісту. Для цього служить система класифікації і кодування, причому кодування є засобом вираження елементів класифікації. Класифікація – це умовне розбиття об'єктів на підмножини на основі їх характерних ознак [1] з метою упорядкування і систематизації. Коли у наборі даних один з класів має набагато менше екземплярів від іншого з'являється проблема дисбалансу. Вирішення проблеми дисбалансу даних допомагає виявити шахрайство, аномалії і т. ін.

II. Алгоритми та методи класифікації

Задача класифікації — формалізована задача, яка містить множину об'єктів (ситуацій), поділених певним чином на класи. Задана скінченна множина об'єктів, для яких відомо, до яких класів вони належать. Ця множина називається вибіркою. До якого класу належать інші об'єкти невідомо. Необхідно побудувати такий алгоритм,

який буде здатний класифікувати довільний об'єкт з вихідної множини.

Класифікувати об'єкт — означає, вказати номер (чи назву) класу, до якого належить цей об'єкт. Класифікація об'єкта — номер або найменування класу, що видається алгоритмом класифікації в результаті його застосування до цього об'єкта. В машинному навчанні завдання класифікації вирішується, як правило, за допомогою методів штучної нейронної мережі при постановці експерименту у вигляді навчання з учителем.

Існують також інші способи постановки експерименту — навчання без вчителя, але вони використовуються для вирішення іншого завдання — кластеризації або таксономії. У цих завданнях поділ об'єктів навчальної вибірки на класи не задається, і потрібно класифікувати об'єкти тільки на основі їх подібності.

Деякі алгоритми для вирішення задач класифікації комбінують навчання з учителем і навчання без вчителя, наприклад, одна з версій нейронних мереж Кохонена — мережі векторного квантування, яких навчають способом навчання з учителем.

Типи класів.

• Двокласова класифікація. Найпростіший в технічному відношенні випадок, який служить основою для вирішення складніших завдань.
• Багатокласова класифікація. Коли число класів досягає багатьох тисяч (наприклад, при розпізнаванні ієрогліфів або злитого мовлення), завдання класифікації стає істотно важчим.
• Непересічні класи.
• Пересічні класи. Об'єкт може належати одночасно до декількох класів.
• Нечіткі класи. Потрібно визначати ступінь належності об'єкта кожному з класів, звичайно це дійсне число від 0 до 1.

Більшість алгоритмів класифікації ігнорують дані меншого класу та фокусуються на класифікації даних більшого класу. Це відбувається оскільки зазвичай дані з меншого класу зустрічаються дуже рідко. Найбільший інтерес мають дані яких мало, екземпляри меншого класу.

Перш за все потрібно побудувати модель, це проходить у чотири етапи:

— розбиття даних,
— вибір алгоритмів,
— підбір параметрів для алгоритму,
— оцінка якості.

На першому етапі стандартним підходом вважається розбиття даних на три частини, а саме дані для тренування, для підбору параметрів та для тестування. На етапі підбору параметрів моделі використовується перехресна перевірка. Перехресна перевірка це метод оцінки аналітичної моделі і її поведінки на незалежних даних. При оцінці моделі наявні дані розбиваються на *n* частин, якість оцінюється відносною кількістю помилок.

III. Вибір алгоритму

Існує безліч методів для рішення задач класифікації. Найвідомішими є:

— байєсівський класифікатор,
— нейронна мережа,
— лінійний роздільник,
— алгоритмічна композиція,
— скорочення розмірності.

Сформулюємо задачу таким чином:

Нехай X це множина описів об’єктів, У це кінцева множина класів. Існує невідома цільова залежність відображень y*: X → Y, значення якої відомі тільки на об’єктах кінцевої навчальної вибірки, що має вигляд:

$$X_m = \{(x_1, y_1),\ldots,(x_m, y_m)\}.$$

Потрібно побудувати алгоритм α: X → Y, який може класифікувати довільний об’єкт $x \in X$.

Байєсівський класифікатор - це клас алгоритмів класифікації, які основані на принципі максимуму апостеріорної ймовірності. Апостеріорна ймовірність - це умовна ймовірність події при деякій умові, що розглядається в протилежність його апріорної ймовірності. Апріорна ймовірність - це ймовірність, привласнена події при відсутності знання, що підтримує її настання [2]. Для об'єкта, що класифікується, обчислюються функції правдоподібності кожного з класів, по ним обчислюються апостеріорні ймовірності класів. Об'єкт відноситься до того класу, для якого апостеріорна ймовірність максимальна.

IV. Розв'язання задачі класифікації на основі нейронних мереж

Відомо, що штучна нейронна мережа є сукупністю з'єднаних між собою нейронів (вузлів, модулів), що моделюють структуру й функції біологічних нейронів. У загальному випадку, нейронна мережа може містити вхідний шар, на який надходять зовнішні сигнали, вихідний, що відображає результуючу реакцію мережі на вхідні сигнали, а також приховані шари [5,6]. Важливою характеристикою нейронних мереж є їх здатність до навчання або тренування, яке полягає у визначенні таких параметрів мережі, при яких вона формує необхідні вихідні сигнали. Протягом цього процесу інформація поширюється в мережі, спричиняючи процес адаптації синаптичних ваг, що залежить від значень вихідних сигналів та найменувань відповідних класів.

При навчанні з учителем або з підкріпленням існує деяка база даних, яка складається з елементів, на яких вчиться мережа. Коли мережа отримує елемент із бази, вона дає відповідь, не обов’язково вірну. Зазвичай виходом задачі класифікації беруть набір 0 та 1, де 1 позначає вірну відповідь, а 0 хибну. Вирахувавши різницю між бажаною відповіддю і реальною відповіддю мережі, ми отримуємо вектор помилки. Використовуючи різні алгоритми навчання, тобто набір формул, який дозволяє по вектору помилки обчислити необхідні поправки для мережі, щоб вона давала вірну відповідь.

Після багатократного пред'явлення прикладів вага мережі стабілізується, причому мережа дає правильні відповіді на всі, або майже всі приклади з бази даних. У такому разі говорять, що мережа навчена. У програмних реалізаціях, у процесі навчання функція помилки поступово зменшується. Коли функція помилки досягає нуля або прийнятного малого рівня, вправи зупиняють, а одержану мережу вважають готовою до використання на нових даних. Важливо відзначити, що вся інформація, яку мережа має про задачу, міститься в наборі прикладів. Тому якість навчання мережі напряму залежить від кількості прикладів у навчальній вибірці. Одним із найбільших ускладнень у застосуванні нейронних мереж є можливість виникнення явища перенавчання, або надто близького підлаштування моделі до реальних даних.

Ще одним методом для класифікації є застосування лінійних класифікаторів. Алгоритм класифікації на основі логістичної регресії є одним з алгоритмів лінійної класифікації - алгоритмів, в основі яких лежить ідея побудови гіперплощини між об'єктами різних класів.

Наступним методом, який використовується для рішень задач класифікації, є алгоритмічна композиція, а саме бустінг та беггінг [3].

Бустінг це процедура послідовної побудови композиції алгоритмів машинного навчання, коли кожен наступний алгоритм прагне компенсувати недоліки композиції всіх попередніх алгоритмів. Бустінг є жадібний алгоритм побудови композиції алгоритмів. Він має гарну навчальну здатність, та вона може збільшуватися по мірі росту базових алгоритмів. Алгоритми які використовують бустінг найчастіше легко реалізовувати, але недоліками бустінгу є здатність до перенавчання, наявність великої кількості навчальних вибірок. Оскільки це жадібний алгоритм цу може призвести до не оптимального вибору базових алгоритмів. Також бустінг може призводити до побудови громіздких композицій, які складаються із сотен алгоритмів.

Беггінг це технологія класифікації, що використовує композиції алгоритмів, кожен з яких навчається незалежно. Результат класифікації визначається шляхом голосування. Беггінг дозволяє знизити відсоток помилки класифікації в разі, коли має місце висока дисперсія помилки базового методу. Нехай є навчальна вибірка X. Згенеруємо з неї вибірки X_1, ..., X_M. Тепер на кожній вибірці навчимо класифікатор $a_i(x)$. Підсумковий класифікатор буде усереднювати відповіді всіх цих алгоритмів що відповідає голосуванню.

Для обробки незбалансованих даних також можливе використання алгоритмів скорочення розмірності. Метод головних компонент [4] є одним з основних способів зменшити розмірність даних, втративши найменшу кількість інформації. Цей метод застосовується в багатьох областях, таких як розпізнавання образів, комп'ютерний зір, стиснення даних тощо. Обчислення головних компонент зводиться до обчислення власних векторів і власних значень коваріаційної матриці вихідних даних або до сингулярного розкладання матриці даних. Інший спосіб зменшення розмірності даних є використання методу незалежних компонент.

V. Порівняння методів класифікації

Розглянемо недоліки та переваги кожного з цих підходів. Першою групою алгоритмів є ті що використовують байєсівський класифікатор. Він має добру навчальну здатність та дає добрі результати у задачах роботи з текстом, але коли мова іде про класифікацію об’єктів результат буде гіршим оскільки даний підхід працює з ймовірностями. Основним недоліком цього методу є явище яке має назву нульова частота. Цей термін означає що, коли у тестовому наборі є деяка ознака якою не було у навчальному наборі тоді модель дає нульову ймовірність та буде не здатна зробити вірний прогноз.

Наступний алгоритм роботи з незбалансованими даними є застосування нейронних мереж. Нейронні мережі активно використовуються у зв'язку з появою великих обсягів даних і великих обчислювальних можливостей. Мережі з прямим зв'язком є універсальним засобом апроксимації функцій, що дозволяє їх використовувати при вирішенні задач класифікації. Їх ефективність досить висока, тому що вони генерують фактично велике число регресійних моделей , які використовуються в рішенні задач класифікації. Однак, будь-який метод, заснований на нейронних мережах, ніколи не дасть класифікатор потрібної якості, якщо вибраний набір прикладів не буде достатньо повним для того завдання, з яким прийдеться працювати в системі.

Одним з прикладів алгоритму який працює за принципом бустингу є алгоритм AdaBoost. Це мета-алгоритм в процесі роботи якого будується композиція базових алгоритмів для покращення їх ефективності. Ідея полягає у тому що для кожного алгоритму будується класифікатор, та кожний наступний класифікатор будується на об’єктах які погано класифікуються. Алгоритми із цієї групи класифікують об’єкти достатньо добре. Однак, основним недоліком є те, що алгоритм бустингу може приводити до громіздких композицій які складаються з сотень алгоритмів.

При роботі з незбалансованими даними також використовуюсь методи зниження розмірності. Ідея таких методів полягає у лінійному перетворенні вхідного вектору деякої розмірності у вихідний вектор меншої розмірності, при такому підході можлива втрати важливої інформації. На практиці цей метод добре працює в задачах розпізнання облич.

VI. Реалізація алгоритму та принцип роботи

Для задачі класифікації незбалансованих даних вибрано алгоритм багатошарової згорткової нейронної мережі. Згорткові нейронні мережі - це спеціальний вид глибинних штучних нейронних мереж прямого поширення для обробки даних з гратчастої топологією. Вони досягли колосального успіху в практичних застосуваннях, особливо до аналізу візуальних зображень, а також до задач обробки природньої мови та рекомендаційних систем. Своєю назвою вони зобов'язані

використанню математичної операції згортки. Згортка - це особливий вид лінійної операції. Згорткові мережі це нейронні мережі, в яких замість спільної операції множення на матрицю, як мінімум в одному шарі, використовується згортка. У кожному шарі повнозв'язної нейронної мережі в повторюється одна і та ж операція: на вхід подається вектор, який множиться на матрицю ваги, а до результату додається вектор вільних членів; тільки після цього до результату застосовується якась нелінійна функція активації. Незалежно від типу даних ці афінні перетворення в нейронної мережі залишаються незмінними. В ході дослідження була розроблена нейрона мережа яка класифікує рукописні цифри від одиниці до дев'ятки. Нейронна мережа працює за принципом навчання з вчителем. У якості даних для навчання була вибрана одна база MNIST яка складається з десяти тисяч та друга база що складається з шестидесяти тисяч об'єктів. Усі об'єкти з бази представлені у вигляді зображень розміром 28x28 пікселів. Для даних для тестування також вибрана база MNIST.

На вхід мережі подається зображення, яке у першому шарі розбивається на карти ознак , та формується матриця ваг. Перший шар є загортковим. Кожна карта це деякий фільтр зображення. Кількість нейронів на першому шарі дорівнює 13x13x6 а саме 1014 нейронів. Кількість ваг дорівнює 156, кількість з'єднань дорівнює 26364.

Другий шар також згортковий. На цьому шарі карти з попереднього шару розбиваються на карти ознак розміром 5x5 пікселів. Кількість ваг на одній карті ознак 151, оскільки кожен нейрон пов'язаний через спільне ядро карти ознак із попереднього шару. Усього на другому шарі формується 50 карт та 1250 нейронів, 7550 ваг та 188750 зв'язків.

На третьому шарі кожен нейрон пов'язаний з усіма нейронами із другого шару, тобто для кожного нейрону формується 1251 вага включаючи ядро. Цей шар є повнозв'язним. Усього на даному шарі 125100 ваг та стільки же зв'язків.

Четвертий шар пов'язаний, та має зв'язок з усіма нейронами попереднього шару та має сто нейронів. На останньому шарі формується вектор помилок, за результатом якого мережа дає відповідь. Чим ближче до нуля буде значення помилки для конкретної цифри тим більше вірогідність що мереже класифікує цифру точно.

На кожному шарі також присутній нейрон зміщення. Нейрон зміщення або bias нейрон це вид нейронів, що використовується в більшості нейромереж. Особливість цього типу нейронів полягає в тому, що його вхід і вихід завжди дорівнюють 1 і вони ніколи не мають вхідних синапсів. Нейрони зміщення можуть, або бути присутнім в нейронної мережі по одному на шарі, або повністю відсутні. Нейрон зміщення потрібен для того, щоб мати можливість отримувати вихідний результат, шляхом зсуву графіка функції активації вправо або вліво. Також нейрони зміщення допомагають в тому випадку, коли всі вхідні нейрони отримують на вхід 0 і незалежно від того які у них ваги, вони все передадуть на наступний шар 0, але не у випадку присутності нейрона зміщення.

Навчання даної мережі проходить за допомогою методу зворотного поширення помилки. Метод зворотного поширення помилки метод навчання багатошарового перцептрону. Основна ідея цього методу полягає в поширенні сигналів помилки від виходів мережі до її входів, в напрямку, зворотному прямому поширенню сигналів у звичайному режимі роботи. Для активації нейронів застосовується функція гіперболічного тангенсу.

В програмному забезпечені реалізована функція тестування з можливістю перегляду на яких об'єктах мережа помилилась. Також реалізована можливість загрузки картинки формату jpeg для того, щоб мережа розпізнала її. Після запуску програми е можливість загрузити базу для навчання та для тестування. Реалізована функція автоматичного тестування, яке показує де були помилки. До мережі була підключена база, що містить десять тисяч об'єктів для тестування. Було вибрано довільне число із бази для тестування. Мережа дала вірну відповідь. Також проілюстровано, які карти були створені для роботи на різних шарах. Після того, як мережа розпізнає зображення, вона показує вектор помилок, по якому видно де було значення найближче до нуля. Було проведено тестування щоб переконатися, що мережа добре навчена. Результат тестування дав 147 помилок з десяти тисяч об'єктів, тобто точність розпізнання рукописних цифр дорівнює 98,5%, а помилка дорівнює 1,5%.

VII. Висновки

Було розглянуто основні методи для роботи з незбалансованими даними, їх недоліки та переваги. В ході дослідження алгоритмів для роботи з незбалансованими даними було обрано та реалізовано алгоритм згорткової нейронної мережі. В результаті розробки алгоритм дає високу точність. Цей алгоритм був протестований для розпізнання рукописних цифр, що не є прикладом незбалансованих даних, та, оскільки він має високу точність результату, його можливо переробити та навчати на незбалансованих даних. Метод, який був застосований для навчання мережі, універсальний, його можливо застосовувати і в інших задачах. Нейронна мережа забезпечує стійкість до змін зображень, а саме зміщення та поворот. Два останні шари є багатошарові перцептрони, які відповідають за класифікацію, їх можливо використовувати для багатьох видів задач зв'язаних з класифікацією.

Література References

[1] "Elements of Statistical Learning". Jerome H. Friedman, Robert Tibshirani, and Trevor Hastie., 2001.

[2] An Introduction to Statistical Learning by James, Witten, Hastie and Tibshirani. Corrected 7th printing, Springer. 2014.

[3] Bernhard Schölkopf, Alexander J. Smola. Learning with Kernels. Support Vector Machines, Regularization, Optimization, and Beyond. — MIT Press, Cambridge, MA, 2002.

[4] A tutorial on Principal Components Analysis, Jonathon Shlens, 22, 2009; Version 3.01.

[5] Raul Rojas. Neural Networks - A Systematic Introduction. — Springer-Verlag, Berlin, New-York: 1996. — C. 502 p.

[6] Make Your Own Neural Network. 1st Edition by Tariq Rashid., CreateSpace Independent Publishing Platform. 2016., 222 p.

Об Одном Методе Построения Адаптивной Сегментации Изображений

Александр Шумейко, Николай Веремейченко
Кафедра программного обеспечения систем
Днепровский государственный технический университет
Каменское, Украина
shumeiko_a@ukr.net

Геннадий Шевченко
Научный отдел
Компания Ноосфера
Днепр, Украина
nikk.gena@gmail.com

About One Method of Building Adaptive Image Segmentation

Alexander Shumeiko, Nikolay Veremeichenko
Computer Science Department
Dniprovsk Technical University
Kamianske, Ukraine
shumeiko_a@ukr.net

Gannady Shevchenko
Scientific Center
Noosphere company
Dnipro,Ukraine
nikk.gena@gmail.com

***Аннотация*—Работа посвящена построению адаптивной сегментации сложных изображений с целью фильтрации информационного шума. В основе предложенного подхода лежит идея описания непрерывной функции кусочно постоянной с нефиксированными узлами, реализующей наименьшую среднеквадратическую ошибку. Предложенный алгоритм был применен для анализа клеточного материала при различных патологиях.**

***Abstract*—The paper is devoted to the construction of adaptive segmentation of complex images in order to filter information noise. The proposed approach is based on the idea of describing a continuous function of piecewise constant with non-fixed nodes that implements the least root-mean-square error. The proposed algorithm was applied to the analysis of cellular material in various pathologies.**

Ключевые слова—сегментация; изображения; адаптивность

Keywords— segmentation; images; adaptability

I. Введение

Под сегментацией будем понимать разбиение изображения на отдельные области, содержащие точки (пиксели) с аналогичными признаками [1]. Для того, чтобы полученные сегменты были значимыми и полезными для анализа и интерпретации изображений, они должны быть связаны, либо с теми или иными предметами на изображениях, либо с признаками, которые представляют интерес. Успех анализа изображений [2] зависит от надежности и корректности сегментации, что представляет собой достаточно сложную задачу.

Методы сегментации могут быть контекстные или неконтекстные. Последние не учитывают пространственных отношений между объектами изображения или групп пикселей на основе некоторого глобального атрибута, например, уровень серого или другого цвета. Контекстные методы используют эти отношения, например, группируя пиксели с похожими уровнями цвета или близким пространственным расположением.

Пороговая сегментация является неконтекстным методом сегментации. Использование одного порога позволяет рассматривать изображение как бинарную карту, содержащую два типа непересекающихся областей, одна из которых содержат пиксели со значениями входных данных меньше, чем пороговое значение, а другая, относящимися к входным значениям, которые находятся на уровне или выше порогового значения. В этом случае одна область содержит пиксели, удовлетворяющие некоторому требуемому условию, а другая – нет. Ясно, что неконтекстная сегментация может включать в себя любое конечное число значений порогов, разделяя при этом изображение на заданное

фиксированное число областей. В этом случае вопрос лишь о том, как автоматически определить пороговые значения.

Наиболее простым подходом выбора порога уровня серого, является следующий:

$$g(x, y) = 0, \text{ если } P(x, y) < T$$

и

$$g(x, y) = 1, \text{ если } P(x, y) \geq T,$$

где T - значение порога (см. рис.1 и рис.2).

Использование двух пороговых значений, $T_1 < T_1$, позволяет определить диапазон уровней серого, относящихся к области 1:

$$g(x, y) = 0, \text{ если } P(x, y) < T_1 \text{ ИЛИ } P(x, y) > T_2,$$

и к области 2:

$$g(x, y) = 1, \text{ если } T_1 \leq P(x, y) \leq T_2,$$

что иллюстрируют рис. 3 - 6.

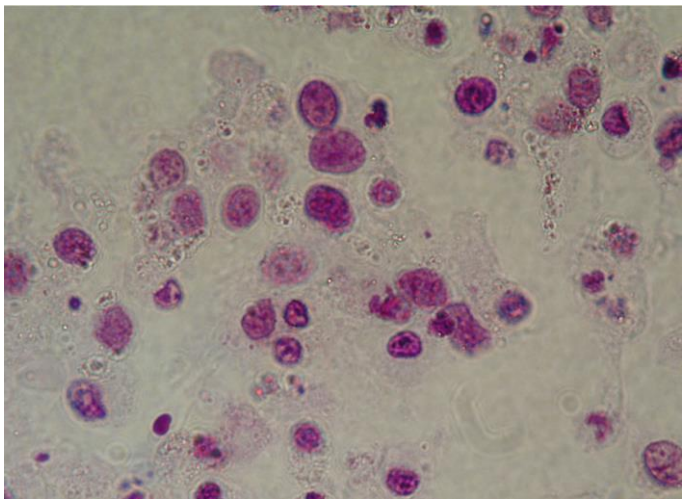


Рис. 1. Оригинальное изображение

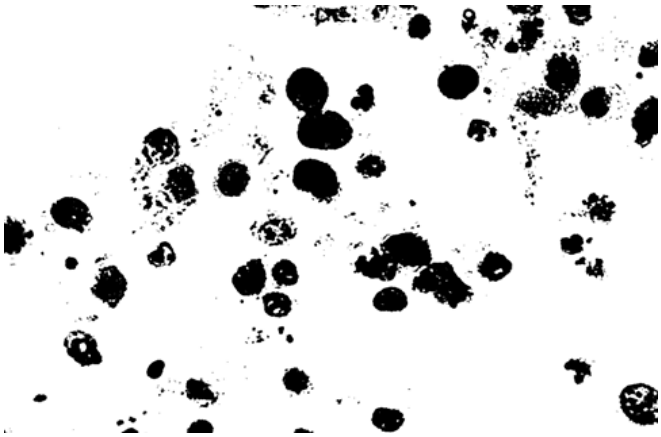


Рис. 2. Изображение, сегментированное по порогу

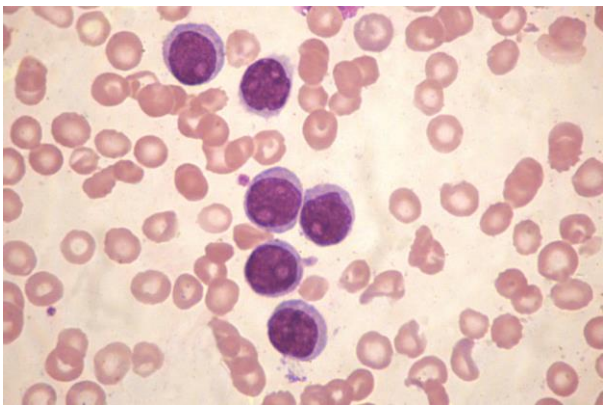


Рис. 3. Оригинальное изображение

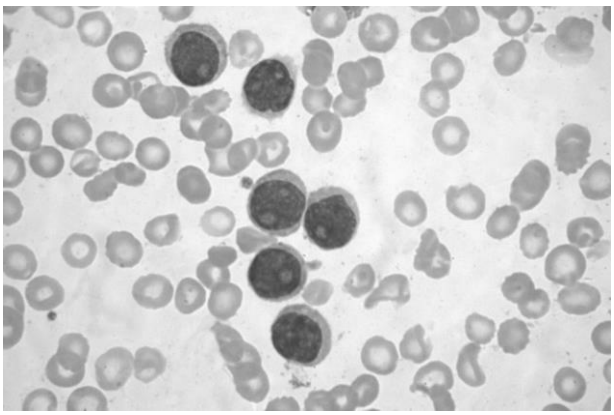


Рис. 4. Освещенность изображения

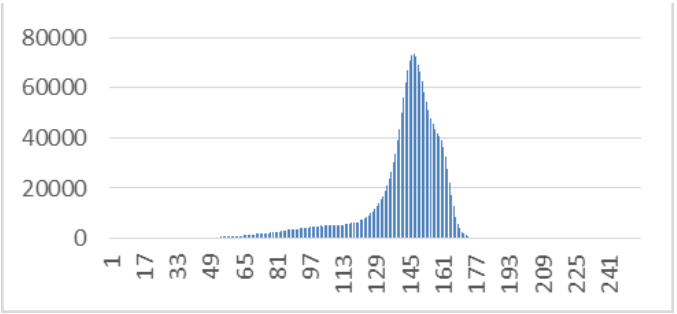


Рис. 5. Распределение освещенности

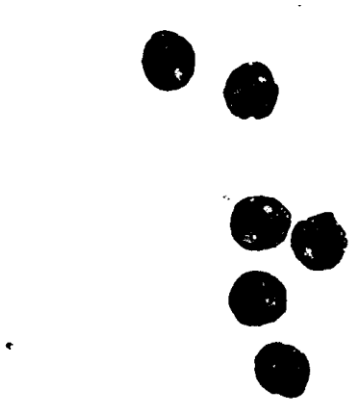


Рис. 6. Изображение, сегментированное предложенным методом.

Основные проблемы, можно ли и, если можно, то как выбрать адекватный порог или несколько порогов, чтобы отделить один или несколько желаемых объектов от фона.

Общий подход к выбору пороговых значений основан на предположении, что изображения являются мультимодальными, то есть различные объекты интереса относятся к различным пикам (или модам) гистограммы сигнала. Пороги должны оптимально разделить эти пики, несмотря на типичные наложения между диапазонами сигналов, соответствующих отдельными пиками. Порог в долине между двумя перекрывающимися пиками отделяют их основные регионы (рис. 7), но неизбежно обнаруживает неправильно или отклоняет некоторые пиксели с промежуточными сигналами. Оптимальный порог, который минимизирует ожидаемые числа ложных обнаружений и отказов может не совпадать с самой низкой точкой в долине между двумя перекрывающимися пиками:

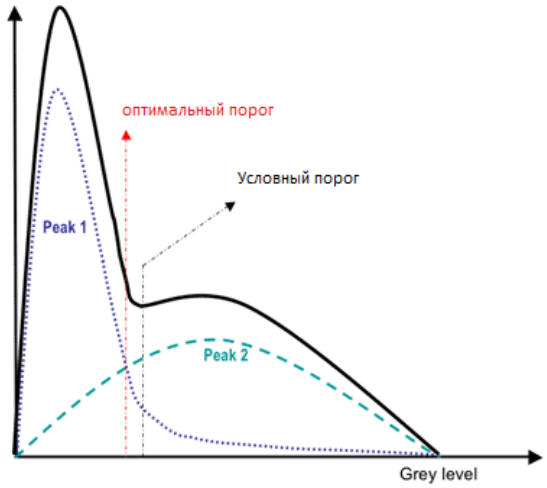


Рис. 7. Иллюстрация выбора порога.

II. Адаптивная пороговая сегментация

Поскольку порог отделяет фон от объекта, адаптивное разделение может принимать во внимание эмпирические распределения вероятности объекта (например, темные) и фон (светлые) пиксели. Такой порог имеет цель уравнять два вида ожидаемых ошибок: присвоение фона пикселя к объекту и присвоение пикселя объекта к фону. Более сложные адаптивные пороговые методы используют пространственно изменяющееся пороговое значение для компенсации локальных эффектов пространственного контекста (такой пространственно различный порог можно рассматривать в качестве фона нормализации) [3].

Простые итеративные адаптивные методы вычисления порога основаны на последовательном уточнении расчетных положений пиков. Это предполагает, что каждый пик совпадает со средним уровнем серого для всех пикселей, которые имеют отношение к этому пику и вероятность пикселя монотонно убывает по абсолютной разности между значениями пикселов и пиком как для объекта и фона пика.

Классификация объекта и фона пикселей выполняется на каждой j–й итерации с использованием порога T_j, который находится на предыдущей итерации.

Таким образом, при j-й итерации, каждый уровень серого $P(x, y)$ соответствует объекту или фону (другой области), если $P(x,y) \le T_j$ или $P(x,y) > T_j$, соответственно.

Затем находится новый порог:

$$T_j = 0.5\left(\mu_{j,ob} + \mu_{j,bg}\right),$$

где $\mu_{j,ob}$ и $\mu_{j,bg}$ обозначают средний уровень серого на итерации j для найденного объекта и фона пикселей, соответственно:

Input: значение гистограммы исходного изображения $\boldsymbol{h} = \{h(i): i=0,\ldots,255\}$

Initialization: j=0; $N = \sum_{i=0}^{255} h(i)$; $T_0 = \frac{1}{N}\sum_{i=0}^{255} ih(i)$

while $T_{j+1} \neq T_j$ do

$$\mu_{j,ob} = \frac{\sum_{i=0}^{255} ih(i)}{\sum_{i=0}^{255} h(i)}; \quad \mu_{j,bg} = \frac{\sum_{i=T_j+1}^{255} ih(i)}{\sum_{i=T_j+1}^{255} h(i)};$$

$$T_{j+1} = \frac{1}{2}\left(\mu_{j,ob} + \mu_{j,bg}\right)$$

end while

III. Основной результат

В основе предложенного подхода лежит идея разделения изображения на заданное число сегментов, с минимальной среднеквадратичной ошибкой. Полученный алгоритм основан на описании непрерывной функции кусочно постоянной с нефиксированными узлами ([4, 5]), реализующей наименьшую среднеквадратическую ошибку и опирается на следующий результат.

Рассмотрим задачу:

$$\min\left\{\sum_{i=1}^{n}\int_{x_{i-1}}^{x_i}\left(f(x)-c_i\right)^2 dx \,\middle|\, \{c_i\}_{i=1}^{n}, \{x_i\}_{i=0}^{n}\right\}. \qquad (1)$$

Тогда, прежде всего, нетрудно решить задачу:

$$\int_a^b \left(f(x)-c\right)^2 dx \to \min_c.$$

Имеем:

$$\Phi(c)=\int_a^b\big(f(x)-c\big)^2dx=\int_a^b\big(f^2(x)-2cf(x)+c^2\big)dx=$$
$$\int_a^b f^2(x)dx-2c\int_a^b f(x)dx+c^2\int_a^b dx=$$
$$\int_a^b f^2(x)dx-2c\int_a^b f(x)dx+c^2(b-a).$$

Отсюда получаем:

$$\frac{d}{dc}\Phi(c)=-2\int_a^b f(x)dx+2c(b-a)=0$$

и

$$c=\frac{1}{b-a}\int_a^b f(x)dx.$$

Следовательно, задача (1) может быть записана в виде:

$$\min\left\{\sum_{i=1}^n\int_{x_{i-1}}^{x_i}\big(f(x)-c_i\big)^2dx\,\middle|\,\{c_i\}_{i=1}^n,\{x_i\}_{i=0}^n\right\}=.$$

$$\min\left\{\sum_{i=1}^n\int_{x_{i-1}}^{x_i}\left(f(x)-\frac{1}{x_{i+1}-x_i}\int_{x_i}^{x_{i+1}}f(x)dx\right)^2dx\,\middle|\,\{x_i\}_{i=0}^n\right\}$$

Пусть, теперь

$$\delta_i=\int_{x_i}^{x_{i+1}}\left(f(x)-\frac{1}{x_{i+1}-x_i}\int_{x_i}^{x_{i+1}}f(x)dx\right)^2dx=$$
$$\int_{x_i}^{x_{i+1}}\left(f^2(x)-2\frac{f(x)}{x_{i+1}-x_i}\int_{x_i}^{x_{i+1}}f(x)dx+\right.$$
$$\left.+\frac{1}{(x_{i+1}-x_i)^2}\left(\int_{x_i}^{x_{i+1}}f(x)dx\right)^2\right)dx=$$
$$\int_{x_i}^{x_{i+1}}f^2(x)dx-\frac{1}{x_{i+1}-x_i}\left(\int_{x_i}^{x_{i+1}}f(x)dx\right)^2.$$

Если

$$\tau=\frac{x-(x_{i+1}+x_i)/2}{x_{i+1}-x_i}\ \text{ и }\ f\in C^2,$$

используя теорему Тейлора, получаем, равномерно по x:

$$f(x)=f(x_{i+1/2})+f'(x_{i+1/2})\tau+$$
$$+\frac{1}{2}f''(x_{i+1/2})\tau^2+o\big(h_{i+1/2}^2\big)$$

и

$$\int_{x_i}^{x_{i+1}}f^2(x)dx=h_{i+1/2}\big(f(x_{i+1/2})\big)^2+$$
$$\frac{h_{i+1/2}^3}{12}\Big(f(x_{i+1/2})f''(x_{i+1/2})+\big(f'(x_{i+1/2})\big)^2\Big)+o\big(h_{i+1/2}^4\big)$$
$$\left(\int_{x_i}^{x_{i+1}}f(x)dx\right)^2=h_{i+1/2}^2\big(f(x_{i+1/2})\big)^2+$$
$$+\frac{h_{i+1/2}^4}{12}f(x_{i+1/2})f''(x_{i+1/2})+O\big(h_{i+1/2}^6\big)$$

Тогда:

$$\delta_i=\int_{x_i}^{x_{i+1}}f^2(x)dx-\frac{1}{x_{i+1}-x_i}\left(\int_{x_i}^{x_{i+1}}f(x)dx\right)^2=$$
$$\frac{h_{i+1/2}^3}{12}\big(f'(x_{i+1/2})\big)^2+o\big(h_{i+1/2}^4\big)=$$
$$\frac{1}{12}\Big(h_{i+1/2}\big(f'(x_{i+1/2})\big)^{2/3}\Big)^3+o\big(h_{i+1/2}^4\big)=$$
$$\frac{1}{12}\left(\int_{x_i}^{x_{i+1}}\big(f'(x)\big)^{2/3}dx\right)^3+o\big(h_{i+1/2}^4\big).$$

Далее нам понадобится следующее простое утверждение:

для любого $n=1,2,...$ и $\alpha>1$ при условиях

$$A_i>0,\sum_{i=1}^n A_i=A$$

справедливо соотношение:

$$\min\left\{\sum_{i=1}^n A_i^\alpha\,\middle|\,A_i\right\}=A^\alpha n^{1-\alpha},$$

причем минимум правой части достигается при

$$A_i^*=A/n.$$

Действительно, составим функцию Лагранжа

$$L(\lambda, A_1, A_2, ..., A_n) = \sum_{i=1}^{n} A_i^{\alpha} - \lambda\left(\sum_{i=1}^{n} A_i - A\right).$$

Для нахождения минимума функции Лагранжа, найдем производную по $A_i(i = 1,2,...,n)$ и приравняем ее нулю

$$\frac{\partial}{\partial A_i} L(\lambda, A_1, A_2, ..., A_n) = -\lambda + \alpha A_i^{\alpha-1} = 0 (i = 1,2,...,n).$$

Решением этой системы является:

$$A_i^* = \left(\frac{\lambda}{\alpha}\right)^{\frac{1}{\alpha-1}} (i = 1,2,...,n).$$

Отсюда сразу получаем:

$$A_i^* = A/n,$$

и экстремальное значение этой задачи равно:

$$\sum_{i=1}^{n} \left(A_i^*\right)^{\alpha} = \sum_{i=1}^{n} \frac{A^{\alpha}}{n^{\alpha}} = \frac{A^{\alpha}}{n^{\alpha-1}}.$$

Таким образом,

$$\min\left\{\sum_{i=1}^{n}\left(\int_{x_i}^{x_{i+1}} \left(f'(x)\right)^{2/3} dx\right)^3 \middle| \{x_i\}_{i=1}^{n}\right\} = \frac{1}{n^2}\left(\int_a^b \left(f'(x)\right)^{2/3} dx\right)^3 \left(1 + o(1)\right)$$

Причем минимум реализуется для множества $\{x_i^*\}_{i=0}^{n}$, определяемого условиями

$$\int_{x_i^*}^{x_{i+1}^*} \left(f'(x)\right)^{2/3} dx = \frac{1}{n} \int_a^b \left(f'(x)\right)^{2/3} dx$$

и, соответственно,

$$c_i^* = \frac{1}{x_{i+1}^* - x_i^*} \int_{x_i^*}^{x_{i+1}^*} f(x) dx.$$

IV. Алгоритм

Опишем алгоритм сегментации на основе предложенного подхода.

Для гистограммы исходного изображения $\boldsymbol{h} = \{ h(i): i=0,\ldots,255\}$ найдем

$$\sum_{i=1}^{255} (\boldsymbol{h_i} - \boldsymbol{h_{i-1}})^{2/3} = \boldsymbol{H}$$

и для заданного числа сегментов n выберем пороги сегментации $T_j (j = 1, \ldots, n)$ из условия

$$\sum_{i=T_j}^{T_{j+1}} (\boldsymbol{h_i} - \boldsymbol{h_{i-1}})^{2/3} = \frac{\boldsymbol{1}}{\boldsymbol{n}} \boldsymbol{H}.$$

А значение соответствующей градации серого будет равно:

$$\mu_j = \frac{1}{h_{T_{j+1}} - h_{T_j}} \sum_{i=T_j}^{T_{j+1}} h_i.$$

V. Вывод

Использование адаптивной сегментации, позволяет выделить на цифровом изображении объекты с важной информацией и провести фильтрацию информационного шума.

Авторы статьи выражают благодарность научным сотрудникам отдела онкогематологии Института экспериментальной патологии, онкологии и радиобиологии им. Р.Е. Кавецкого НАН Украины за предоставленный для анализа и обработки фото- и информационный материал [6]-[7].

Литература References

[1] Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. - М.: Техносфера, 2005. - 1072 с.

[2] Brytik V., Grebinnik O., Kobziev V. Research the possibilities of different filters and their application to image recognition problems / Econtechmod. – 2016, Vol.5, No.4, pp. 21-27.

[3] Haidekker, Mark A. Advanced biomedical image analysis / Mark A. Haidekker - John Wiley & Sons, Inc., 2011, 512 p.

[4] Корнейчук Н.П. Экстремальные задачи теории приближения. - М.: Наука, 1976, - 320 с.

[5] Лигун А.А., Шумейко А.А. Асимптотические методы восстановления кривых. - Киев, Институт математики НАН Украины, 1997. - 358 с. /http://178.219.93.18:8080/Portal/Data/ 3/19/3-19-b4.pdf/.

[6] Диагностика лейкозов: Атлас и практическое руководство / Д.Ф. Глузман [и др.]; ред. Д.Ф. Глузман ; Нац. акад. наук Украины, Ин-т эксперимент. патологии, онкологии и радиобиологии им. Р.Е. Кавецкого. - К.: Морион, 2000. - 224 с.

[7] Диагностическая онкогематология. / Д.Ф. Глузман [и др.]; ред. Д.Ф. Глузман. - Киев: ДИА, 2011. - 256 с.

Обзор Решений Нейронных Сетей Применяемых для Распознавания Образов

Александр Олейник
кафедра Программной Инженерии
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
oleksandr.oliinyk1@nure.ua

Екатерина Зыбина
кафедра Программной Инженерии
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
kateryna.zybina@nure.ua

Елена Олейник
кафедра Программной Инженерии
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
olena.oliinik@nure.ua

Review of Neural Network Solutions Used for Pattern Recognition

Oleksandr Oliynyk
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
Oleksandr.oliinyk1@nure.ua

Ekaterina Zybina
Department of Software Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkov, Ukraine
kateryna.zybina@nure.ua

Elena Oleinik
Department of Software Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkov, Ukraine
olena.oliinik@nure.ua

***Анотация*—В данном тексте рассмотрены основные идеи легшие в основу применения нейронных сетей для распознавания образов и ряд примеров их использования для решения задач в этой области.**

***Abstract*—This text discusses the main ideas that formed the basis for the use of neural networks for pattern recognition and a number of examples of their use to solve problems in this area.**

Ключовые слова—нейронные сети, распознавание образов, сверточные нейронные сети

Keywords—neural networks, pattern recognition, convolutional neural networks

I. Введение

Искусственные нейронные сети (ИНС) – это математическая модель функционирования традиционных для живых организмов нейросетей, которые представляют собой сети нервных клеток. Как и в биологическом аналоге, в искусственных сетях основным элементом выступают нейроны, соединенные между собой и образующие слои, число которых может быть разным в зависимости от сложности нейросети и ее назначения (решаемых задач) [1].

Нейросети используются для распознавания и классификации многих объектов. Например, их используют для распознавания рукописного текста,

выделения важного на изображении, определения номеров машин, водители которых нарушают правила дорожного движения, распознавания лиц людей в видеопотоке, опознания самих людей по изображению, подсчета количества предметов определенного типа на изображении и многого другого. Как вы можете заметить, нейросети довольно многогранны и позволяют сделать многое, что не под силу обычным алгоритмам. Давайте рассмотрим их более пристально.

II. Общее описание

Нейросеть – это математическая модель в виде программного и аппаратного воплощения, строящаяся на принципах функционирования биологических нейросетей [1].

Изначально понятие «нейронная сеть» берет свое начало в работе американских математиков, нейролингвистов и нейропсихологов У. Маккалока и У. Питтса (1943 г.), где авторы впервые упоминают о ней, дают ей определение и производят первую попытку построения модели нейронной сети [2]. Уже в 1949 г. Д. Хебб предлагает первый алгоритм обучения. Далее был ряд исследований в области нейронного обучения, и первые рабочие прототипы появились в 1990–1991 гг. прошлого столетия. Тем не менее, вычислительных мощностей оборудования того времени не хватало для достаточно быстрой работы нейронных сетей. К 2010 году мощности GPU видеокарт сильно увеличились и появилось понятие программирования непосредственно на видеокартах, что существенным образом (в 3–4 раза) увеличило производительность компьютеров. В 2012 г. нейросети впервые победили на чемпионате ImageNet.

Существует два вида нейронных сетей: «обычные» и сверточные. Рассмотрим немного подробнее.

«Обычные» или «классические» нейросети [4] – это полносвязные нейронные сети (ПНС) прямого распространения с обратным распространением ошибки (см. Рис. 1).

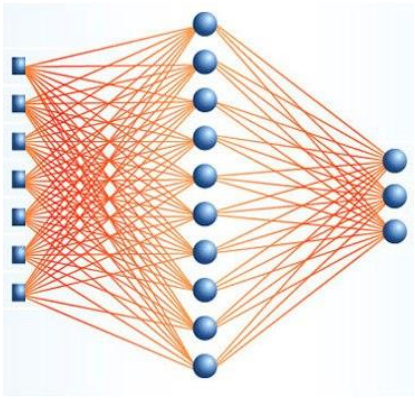


Рис. 1. Примерная схема ПНС [4]

Как следует из названия, в такой сети каждый нейрон связан с каждым, сигнал идет только в направлении от входного слоя к выходному, нет никаких рекурсий.

Сначала необходимо решить, как подавать данные на вход. Самое простое и почти безальтернативное решение для ПНС — это выразить двумерную матрицу изображения в виде одномерного вектора. Дальше происходит выбор архитектуры. До сих пор не существует методов, позволяющих однозначно определить структуру и состав нейросети исходя из описания задачи. Кроме того существует множество различных методик редукции сети (например OBD [3]), а также разные эвристики и эмпирические правила. Одно из таких правил гласит, что количество нейронов в скрытом слое должно быть хотя бы на порядок больше количества входов. Если принять во внимание что само по себе преобразование из изображения в индикатор класса довольно сложное и существенно нелинейное, одним слоем тут не обойтись. Задача распознавания подразумевает умение нейросети быть устойчивой к небольшим сдвигам, поворотам и изменению масштаба изображения.

Решение этой проблемы было найдено американским ученым французского происхождения Яном ЛеКуном, который предложил использовать так называемые сверточные нейронные сети [5].

Идея сверточных нейронных сетей заключается в чередовании сверточных слоев (C-layers), субдискретизирующих слоев (S-layers) и наличии полносвязных (F-layers) слоев на выходе (см. Рис. 2).

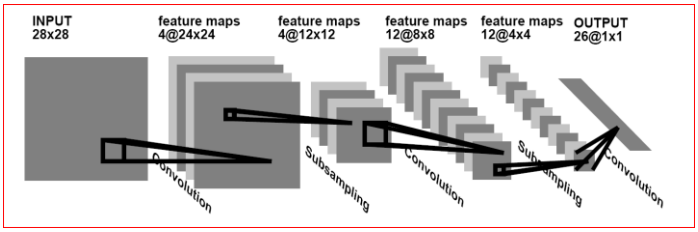


Рис. 2. Примерная схема сверточной нейронной сети [4]

Такая архитектура заключает в себе 3 основных парадигмы: локальное восприятие, разделяемые веса, субдискретизация.

Локальное восприятие подразумевает, что на вход одного нейрона подается не все изображение (или выходы предыдущего слоя), а лишь некоторая его область.

Концепция разделяемых весов предполагает, что для большого количества связей используется очень небольшой набор весов. Важно понимать, что самих наборов весов может быть много, но каждый из них будет применен ко всему изображению. Такие наборы часто называют ядрами.

Искусственно введенное ограничение на веса улучшает обобщающие свойства сети, что в итоге позитивно сказывается на способности сети находить инварианты в изображении и реагировать главным образом на них, не обращая внимания на прочий шум.

Процесс распространения сигнала в С-слое изображен на рисунке 3.

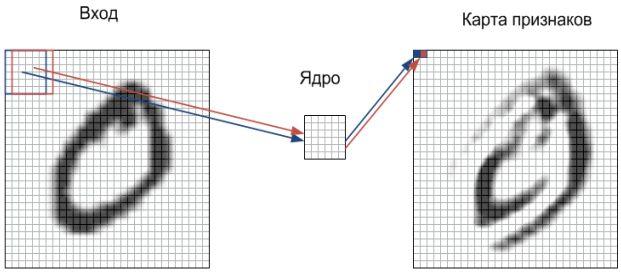


Рис. 3. Процесс распространения сигнала в С-слое [4]

Каждый фрагмент изображения поэлементно умножается на небольшую матрицу весов (ядро), результат суммируется. Эта сумма является пикселом выходного изображения, которое называется картой признаков. В идеале не разные фрагменты проходят последовательно через ядро, а параллельно все изображение проходит через идентичные ядра. Кроме того, количество ядер (наборов весов) определяется разработчиком и зависит от того какое количество признаков необходимо выделить. Еще одна особенность сверточного слоя в том, что он немного уменьшает изображение за счет краевых эффектов.

Суть субдискретизации и S-слоев заключается в уменьшении пространственной размерности изображения. Т.е. входное изображение грубо (усреднением) уменьшается в заданное количество раз. Чаще всего в 2 раза, хотя может быть и не равномерное изменение, например, 2 по вертикали и 3 по горизонтали. Субдискретизация нужна для обеспечения инвариантности к масштабу.

Чередование слоев позволяет составлять карты признаков из карт признаков, что на практике означает способность распознавания сложных иерархий признаков.

Обычно после прохождения нескольких слоев карта признаков вырождается в вектор или даже скаляр, но таких карт признаков становится сотни. В таком виде они подаются на один-два слоя полносвязной сети. Выходной слой такой сети может иметь различные функции активации. В простейшем случае это может быть тангенциальная функция, также успешно используются радиальные базисные функции [4].

III. Примеры использования

Применение подвижных технических средств позволяет добиться автоматизации и качества их решения. Примером выступают задачи, связанные с быстрым осмотром или обходом территории без присутствия человека, проникновением на недоступные или угрожающие жизни людей территории. Обход территории сопровождается составлением ее плана, нанесением на план точек интереса, распознавание найденных объектов, Двигаясь по известному маршруту помещения или местности, техническое средство выделяет и распознает встречающиеся на пути объекты, тем самым создавая план помещения с нанесенными на него знаками, в качестве которых могут выступать особые объекты на местности, условные обозначения, нанесенные на стены, пол или потолок. Особые знаки могут контролировать взлет и посадку БПЛА.

Например, в статье [6] распознавание объектов основано на контурном представлении изображений и измерении сходства этих контуров. Изначально входное изображение преобразуется в контурное бинарное изображение. Процесс сопоставления и вычисления меры сходства контурного эталона с текущим, преобразованным в дистантное изображение объекта, сводится к процедуре вычисления локальной суммы пикселей дистантного изображения, “накрытых” контурными пикселями эталонного изображения.

В работе [7] предложен и описан метод позиционирования БПЛА без использования систем спутниковой навигации, с применением данных, полученных с бортового фото-видео регистратора, и заранее загруженных данных о местности. В статье [8] представлен быстрый алгоритм нахождения маркеров на изображениях. Данный алгоритм полезен при нахождении маркеров, которые имеют четкие границы с фоном, и устойчив к неравномерному освещению и деформации маркеров.

В работе [9] описывается система, которая является ассистентом для водителя. Система позволяет выделять разметку и границы дороги, тем самым корректируя движение автомобиля. Определение линий разметки не чувствительно к освещению и масштабу. В работе [10] представлен алгоритм автоматического поиска и распознавания особых объектов на фото и видеокадрах, получаемых с борта БПЛА и ПТС, совершающих обход помещения. Он настолько хорошо описан, что хотелось бы его процитировать: «Применительно к фото и видеокадрам (далее изображениям) используется подход на основе сканирующего окна: окном поиска сканируется изображение, а затем применяется классификатор к каждому положению. Далее СНС выбирает положения с наиболее значимыми признаками (с наименьшей ошибкой классификации). Алгоритм сканирования окна с признаками выглядит так: (1) дано исследуемое изображение, выбрано окно сканирования размером 40 × 40 пикселей; (2) далее окно сканирования начинает последовательно двигаться по изображению с шагом в одну ячейку окна (размер самого окна есть размер ячейки); (3) сканирование производится последовательно для различных масштабов; (4) масштабируется не само изображение, а сканирующее окно (изменяется размер ячейки: 70, 100, 130, 170, 210, 250, 300 пикселей); (5) все найденные фрагменты формируют выборку для обучения СНС, которая «выносит вердикт», к какому классу относится объект во фрагменте».

IV. Выводы

В данной работе рассмотрены идеи, легшие в основу нейронных сетей, применения нейронных сетей и сверточных нейронных сетей для распознавания образов. А так же рассмотрены примеры решения задач распознавания образов с использованием нейронных сетей.

Література References

[1] Нейронные сети: распознавание образов и изображений с помощью ИИ // Центр2М URL: https://center2m.ru/ai-recognition (дата обращения: 10/21).

[2] Маркова С.В., Жигалов К.Ю. Применение нейронной сети для создания системы распознавани изображений // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 8-1. – С. 60-64; URL: http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41621 (дата обращения: 02.11.2020).

[3] Yann LeCun, J. S. Denker, S. Solla, R. E. Howard and L. D. Jackel: Optimal Brain Damage, in Touretzky, David (Eds), Advances in Neural Information Processing Systems 2 (NIPS*89), Morgan Kaufman, Denver, CO, 1990.

[4] Применение нейросетей в распознавании изображений // Хабр URL: https://habr.com/ru/post/74326/ (дата обращения: 10/21).

[5] Y. LeCun and Y. Bengio: Convolutional Networks for Images, Speech, and Time-Series, in Arbib, M. A. (Eds), The Handbook of Brain Theory and Neural Networks, MIT Press, 1995.

[6] Павлова В.А., Крюков С.Н., Каркаева Р.К., Созинова М.В. Автоматическое компьютерное распознавание наземных и морских объектов. Известия ЮФУ. Технические науки, 2010, №3, с. 73–77.

[7] Амелин К.С. «Метод ориентирования сверхлегкого БПЛА при редком обновлении данных о его местоположении», Стохастическая оптимизация в информатике, 10:2 (2010), с. 3–14.

[8] M. Hirzer. Marker Detection for Augmented Reality Applications, Technical Report ICG-TR-08/05, Inst. for Computer Graphics and Vision, Graz University of Technology, Graz, Austria, 2008, 27 p., URL: http: //studierstube.icg.tugraz.at/thesis/marker_detection.pdf.

[9] N. Arshad, K.-S. Moon, S.-S. Park, J.-N. Kim. “Lane Detection with Moving Vehicles Using Color Information”, Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science. V. 1, WCECS 2011 (San Francisco, USA, October 19–21, 2011), 2011, pp. 499–502, URL: http://www. iaeng.org/publication/WCECS2011/WCECS2011_pp499-502.pdf

[10] Кирюшина А.Е. Выделение и классификация знаков пожарной безопасности с использованием нейронных сетей. Программные Системы: Теория и приложения №4(31), 2016, с. 317–329.

Способ Защиты Обзорных РЛС от Имитационных Помех

Владимир Жирнов
НИЦ интегрированных радиоэлектронных систем и технологий
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
nauka123@ukr.net

Светлана Солонская
Кафедра естественных и гуманитарных дисциплин
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
Харьков, Украина
solonskaya@ukr.net

Валерий Зарицкий
НИЛ Радиолокационных систем наблюдения
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
valerii.zarytskyi@nure.ua

Method forSurveillance Radar Protection Against Simulation Interference

Volodymyr Zhyrnov
Scientific Research Centre of integrated electronic systems and technologies
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
nauka123@ukr.net

Svitlana Solonska
Natural and Humanity Disciplines Department
Kharkiv National Automobile and Highway University
Kharkiv, Ukraine
solonskaya@ukr.net

Valeryi Zarytskyi
Research Laboratory Radar surveillance systems
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
valerii.zarytskyi@nure.ua

***Аннотация*—Предлагается способ защиты обзорных радиолокационных станций от имитирующей помехи на основе семантического анализа изображения пачки. Разработаны универсальные алгоритмы автоматизации операций обработки информации, обеспечивается эффективная идентификация ложных отметок за счет семантических признаков флуктуаций радиолокационной пачки. Показано, как этот подход может использоваться для автоматического обнаружения и распознавания ложных отметок воздушных и надводных объектов. В разработанную технологию входят процедуры формализации и анализа символьной модели наблюдаемых объектов для принятия решений, основанных на прецедентах**.

Abstract—**A method for protecting surveillance radar stations from imitating interference based on semantic analysis of the packet image is proposed. Universal algorithms for the automation of information processing operations have been developed, effective identification of false marks is provided due to the semantic features of fluctuations in the radar pack. It is shown how this approach can be used for automatic detection and recognition of false marks of air and surface objects. The developed technology includes procedures for formalizing and analyzing the symbolic model of observable objects for making decisions based on precedents.**

Ключевые слова—защита РЛС; имитирующая помеха, обнаружение; распознавание; интеллектуальный анализ; символьная модель.

Keywords—radar protection; simulating interference, detection; recognition; intellectual analysis; symbolic model.

I. Введение

Известно, что радиолокационные станции (РЛС), использующие как сложные сигналы с внутриимпульсной модуляцией, так и локаторы обычного типа подверждены воздействию преднамеренных имитирующих помех. Для создания ложных отметок противник использует внесение амплитудной модуляции в ретраслируемый зондирующий сигнал РЛС [1]. В результате анализа удалось выяснить, что в имитирующих помехах, полученных путем размножения амплитудной модуляцией, появляются так называемые «интеллектуальные» флуктуации пачечной структуры ложных отметок, которые отличаются от флуктуаций пачек реальных отметок и могут быть легко обнаружены человеком-оператором [2, 3].

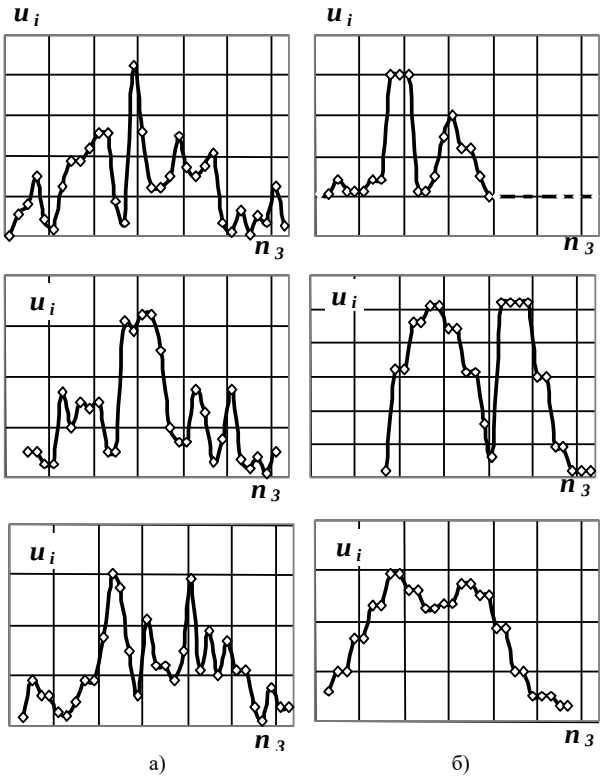
Анализ состояния проблемы показывает [3-5], что интеллектуальными считают системы, которые могут решать весь комплекс задач, выполняемых человеком-оператором, или осуществляют поддержку принятия решений. В информационных системах мониторинга подвижных объектов на воздушном и надводном транспорте используют методы обнаружения и распознавания сигналов [6-8]. Основной недостаток в известных методах состоит в низкой автоматизации процедур обработки данных, в том числе, при

обнаружении, распознавании и принятия решений о наблюдаемых объектах мониторинга.

II. Семантическая модель пачки сигналов от ложных и от реальных объектов.

Семантическая модель процессных знаний формирования и анализа амплитудой картины пачки импульсных сигналов – это математическое описание процедур и отношений при восприятии и анализе сигналов человеком-оператором в виде различительных признаков (или свойств) для определения типов объектов. Такое математическое описание процессов деятельности эксперта называется идентификацией. Процессы действий эксперта можно идентифицировать прямо и косвенно. При прямой или логической идентификации действий оператора рассматриваем, что для определенного действия оператора поступают сигналы (виды амплитудных флуктуаций пачки), выбираемые из некоторого множества амплитудных составляющих пачки, и регистрируются ответные сигналы. Всевозможные ответные сигналы деятельности оператора образуют множество.

В ходе исследований типов флуктуаций пачки использовались реальные экспериментальные данные (рис.1), полученные на обзорной РЛС сантиметрового диапазона (длительность импульса 1 мкс, частота зондирования 365 Гц, период обзора 10 с).



а) б)

Рис.1. Пачка сигналов от ложных (а) и от реальных (б) объектов.

В результате анализа виды типов картин флуктуаций радиолокационной пачки в амплитудной области для мешающих отражений типа «ангел-эхо» и воздушных объектов классифицированы на некоторое количество типов (см. рис. 2).

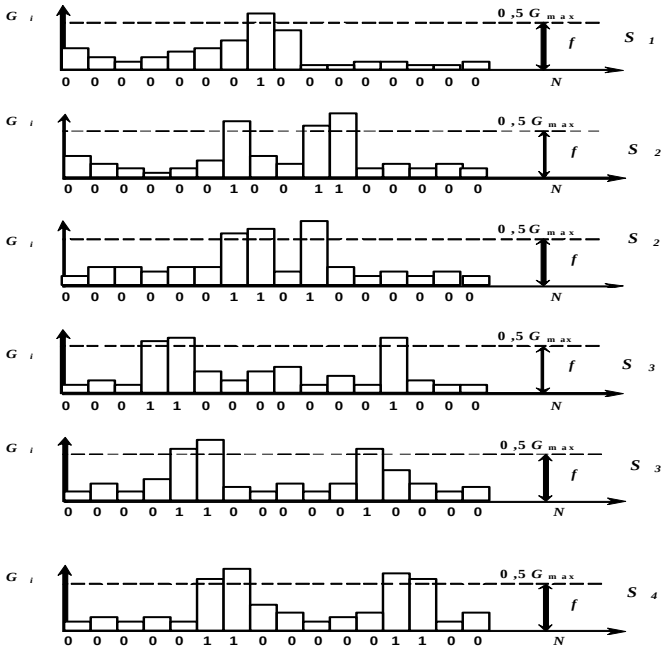


Рис. 2. Типы амплитудных картин флуктуаций пачек сигналов

В разработанную модель входят процедуры формализации и анализа геометрического сигнального образа пачки от наблюдаемых объектов на основе алгебры предикатов [9-11] и операций создания предикатной модели процессных знаний для получения решений о наблюдаемых объектах локации на основе методов интеллектуального анализа реальных процессов.

Пусть $M = \{q_{11}, q_{12}, ..., q_{ij}, ..., q_{mn}\}$ - множество, представляющее собой матрицу $\|A\|$ размерностью $M \times N$, состоящее из элементов $k = m \times n$ – значений амплитуд сигналов в элементах обработки зоны обзора РЛС, а B – некоторое из его подмножеств $B \subseteq M$, амплитуды сигналов которого q_{ij} превышают пороговые значения V_{ij}. Составляем набор логических элементов t_{ij} по следующему принципу: если $q_{ij} \in B$, то $t_{ij} = 1$; если $q_{ij} \notin B$, то $t_{ij} = 0$, $i = \overline{1,m}$, $j = \overline{1,n}$.

Предикат $A(x)$ на множестве M, соответствующий множеству B элементов обработки, превысивших порог, с характеристикой $(t_{11}, t_{12}, \cdots, t_{ij}, \cdots, t_{mn})$, запишется формулой:

$$A(x) = t_{11}x^{q_{11}} \vee ... \vee t_{mn}x^{q_{mn}} = \bigvee_{i=1,j=1}^{mn} t_{ij}x^{q_{ij}} \qquad (1)$$

Здесь выражение $x^{q_{ij}}$ – форма узнавания события. Когда $x = q_{ij}$, то $x^{q_{ij}} = 1$.

Предикатная модель процессных знаний о наблюдаемых объектов в общем виде – это система n унарных и бинарных предикатов Z_j.

$$M = \{Z_j,\ j = 1..n\}. \quad (2)$$

Такая система предикатов позволяет описать ситуацию вокруг анализируемой в данный момент информационной ячейки и позволяет формализовать процесс формирования символьного изображения отметки из $A(x)$ в течение ряда циклов зондирований РЛС. Их еще называют атрибутами или предикатными признаками процесса. Например, для радиолокационных систем обзора пространства это могут быть:

– унарный предикат Z_{pij} присутствия (англ.–presence) или наличия сигнала в a_{ij} информационной ячейке; i, j – номера элементов зоны обзора РЛС;

– бинарный предикат Z_{dij} ухода (англ. - departure) сигнала a_{ij} в соседнюю по дальности информационную ячейку;

– бинарный предикат Z_{aij} перехода сигнала в смежную по азимуту (англ. – adjacent) или соседнюю информационную ячейку, прилегающую к рассматриваемой ячейке.

При таких исходных условиях эти предикатные признаки формируются по следующим правилам:

$$Z_{pij} = 1, \text{ при } A_{ij} > 0 \quad (3)$$

$$Z_{dij} = 1, \text{ при } A_{i-1j} > 0 \wedge Z_{pij} = 1 \quad (4)$$

$$Z_{aij} = 1, \text{ при } Z_{pij} = 1 \wedge A_{ij-1} > 0, \quad (5)$$

где A_{ij} – предикат события наличия-отсутствия сигнала в соответствующем элементе анализа.

Для радиолокационных станций обзора пространства амплитудная картина флуктуаций огибающей пачки описывается двумя составляющими [4, 5]:

1. Предикатным признаком символьной модели пачки сигналов (отметок) воздушных объектов, определяемым как решение уравнения:

$$I_{m1} = Z_{mij} = \bigwedge_{l_1}^{l_n} Z_{ai,\,j+l_n} = 1. \quad (6)$$

2. Предикатной моделью амплитудных флуктуаций радиолокационной пачки, определяемой как совокупность произведений каждого элемента символьной пачки на их амплитудные значения:

$$I_{m2} = \bigvee_{l_1}^{l_n} q_{i,\,j+l_n} Z_{ai,\,j+l_n}, \quad (7)$$

где l_1, l_n – номера элементов начала и конца пачки.

Каждый тип амплитудной картины S_j, приведенный на рис. 2, имеет соответствующие нули и единицы согласно предикатной функции $A(x)$. Тип S_1 имеет одиночные группы единиц среди всех остальных нулей. Тип S_2 имеет две группы единиц, а количество нулей между ними меньше или равно двум.

Для идентификации с амплитудными типами была сформирована система предикатов-признаков L_i [1, 3, 7], «чувствительных» к количеству и разрывности нулей, единиц и групп сомкнутых единиц (амплитудных пиков) в предикате $A(x)$.

Был введен еще один вид предиката – F(y), построенный на множестве F, элементы $f_1, f_2, ..., f_{k-1}$ которого определены путем суммирования по модулю два каждого элемента t_i со смежным элементом. Для определения количества амплитудных пиков использована арифметическая сумма Ф предиката $F(t)$

$$\Phi = \sum_{i}^{k-1} f_i = \sum_{i=1}^{k-1} [t_i + t_{i+1}] \Big| M_2,$$

где индекс $\Big| M_2$ означает суммирование по модулю два.

Анализ возможных значений Ф для различных типов амплитудных картин показывает, что для одиночной группы сомкнутых единиц в множестве F результат суммирования всегда равен двум, независимо от ширины пика, т.е. от количества сомкнутых единиц. Для двух групп сомкнутых единиц результат такой операции равен четырем, для трех пиков – шести и т.д. В признаке $L_1^{j_i}$, верхний индекс j_i указывает на наличие в предикате f(x) на количество амплитудных пиков и определяется по следующему правилу: если Ф≥2, то $j_i = \Phi/2$, иначе $j_i = 0$. В модели $j_i = P_i$.

Введен признак $L_2^{l_j}$, верхний индекс которого или номер предиката l_i указывает на количество нулей между группами единиц в предикате A(x). В модели $l_i = L_i$. Для учета отличий амплитудных картин по энергетике принятого сигнала введен признак $L_3^{s_j}$, верхний индекс которого указывает на количество единиц в предикате A(x). В модели $s_i = E_i$.

Алгоритм идентификации типов S_j для амплитудных картин, представленных на рис.2, описывается следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} S_1 &= L_1^1 \wedge L_2^0 \wedge (L_3^1 \vee L_3^2); \\ S_2 &= L_1^2 \wedge (L_2^0 \vee L_2^1 \vee L_2^2 \vee L_2^3) \wedge (L_3^2 \vee L_3^3 \vee L_3^4); \\ S_3 &= L_1^2 \wedge (L_2^5 \vee L_2^6 \vee L_2^7 \vee L_2^8) \wedge L_3^3; \\ S_4 &= L_1^2 \wedge (L_2^4 \vee L_2^5 \vee L_2^6) \wedge (L_3^4 \vee L_3^5 \vee L_3^6) \end{aligned} \quad (8)$$

$$S_j = (L_1^0 \vee L_1^1 \vee ... \vee L_1^j) \wedge (L_2^0 \vee L_2^1 \vee ... \vee L_2^{l_i}) \wedge (L_3^1 \vee L_3^2 \vee ... \vee L_3^{s_i})$$

В общем виде (8) можно представить в виде

$$S_j = (\bigvee_{j_1}^{j_2} L_1^j) \wedge (\bigvee_{l_1}^{l_2} L_2^l) \wedge (\bigvee_{s_1}^{s_2} L_3^s).$$

На основе полученных уравнений разработана функциональная схема алгоритма автоматического определения типов амплитудных флуктуаций пачки приведена на рис. 3.

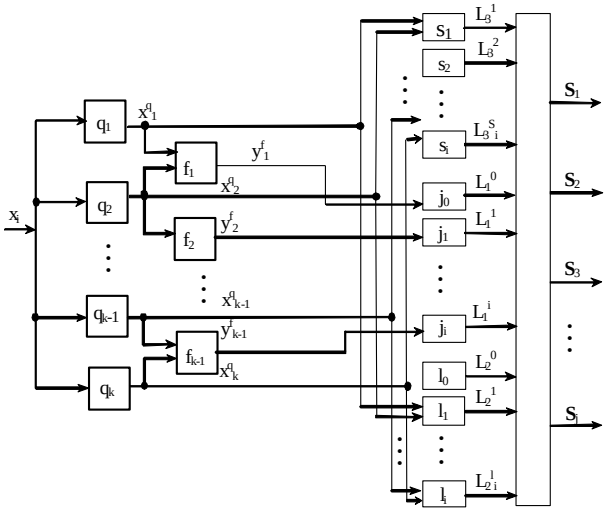


Рис. 3. Схема алгоритма определегия типов флуктуации пачки

Таким образом, все операции по классификации и распознаванию воздушных объектов выполняются автоматически и в реальном масштабе времени.

III. Заключение

Разработан способ защиты обзорных РЛС от имитирующей помехи на основе семантического анализа изображения пачки. Получены универсальные алгоритмы обработки информации, обеспечивающие эффективную идентификацию ложных отметок за счет семантических признаков флуктуаций радиолокационной пачки. Показано, как этот подход может использоваться для автоматического обнаружения и распознавания ложных отметок. В разработанную технологию входят процедуры формализации и анализа символьной модели наблюдаемых объектов для принятия решений, основанных на прецедентах

Литература References

[1] Карманов Ю.Т., Непомнящий Г.А Способ защиты РЛС со сложным сигналом от имитирующей помехи // Вестник ЮУрГУ. 2009. №26. С. 41–46.

[2] Russel S. Artificial intelligence. A modern approach, Second Edition / S. Russel, P. Norvig. – Williams, 2006. – 1410 p.

[3] Бондаренко, М.Ф. Теория интеллекта: учебник / М.Ф. Бондаренко, Ю.П. Шабанов-Кушнаренко. – Харьков: изд-во СМИТ, 2007. – 576 с.

[4] Журавлев, Ю.И. Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания или классификации / Ю.И. Журавлев // Проблемы кибернетики. – 2005. – Вып. 33. – С. 5–68.

[5] Жирнов В.В., Солонская С.В. Предикатная модель процессных знаний о наблюдаемых объектах в многоканальных интеллектуальных системах мониторинга // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. - 2019. - Вып. 199. - С. 67 - 74.

[6] Solonskaya S.V., Zhirnov, V.V. Intelligent analysis of radar data based on fuzzy transforms / Telecommunications and Radio Engineering (English translation of Elektrosvyaz and Radio-tekhnika)/ - 2018. 77 (15), pp. 1321-1329.

[7] Solonskaya, S.V., Zhirnov, V.V. Signal processing in the intelligence systems of detecting low-observable and low-doppler aerial targets/ Telecommunications and Radio Engineering – 2018. Volume 77, Issue 20, pp. 1827-1835.

[8] Solonska S., Zhyrnov V., Holovin O. Semantic Processing of Radar Spectral Information for Air Object Recognition. 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2019 – Proceedings.

Обробка Даних в Інформаційній Мережі Радіолокаційних Систем Спостереження Повітряного Простору

Ірина Свид
кафедра мікропроцесорних технологій і систем
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
iryna.svyd@nure.ua

Олександр Мальцев
кафедра мікропроцесорних технологій і систем
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
aleksandr.maltsev@nure.ua

Ганна Заволодько
кафедра систем інформації ім. В.О. Кравця
Національний технічний університет «ХПІ»
Харків, Україна
ann.zavolodko@gmail.com

Максим Чернишов
кафедра мікропроцесорних технологій і систем
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
maksym.chernyshov@nure.ua

Сергій Козирєв
кафедра мікропроцесорних технологій і систем
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
serhii.kozyriev@nure.ua

Марія Ткач
кафедра мікропроцесорних технологій і систем
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
mariia.zavorotna@nure.ua

Data Processing in the Information Network of Radar Airspace Surveillance Systems

Iryna Svyd
Department of Microprocessor Technologies and Systems
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
iryna.svyd@nure.ua

Oleksandr Maltsev
Department of Microprocessor Technologies and Systems
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
aleksandr.maltsev@nure.ua

Hanna Zavolodko
Department of Information Systems
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»
Kharkiv, Ukraine
ann.zavolodko@gmail.com

Maksym Chernyshov
Department of Microprocessor Technologies and Systems
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
maksym.chernyshov@nure.ua

Serhii Kozyriev
Department of Microprocessor Technologies and Systems
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
serhii.kozyriev@nure.ua

Mariia Tkach
Department of Microprocessor Technologies and Systems
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
mariia.zavorotna@nure.ua

***Анотація*—У роботі проводиться аналіз переваг інформаційного забезпечення споживачів системи контролю повітряного простору на базі єдиної інформаційної мережі систем спостереження, наводиться класифікація і принципи організації інформаційної мережі систем спостереження і показано, що маркування координатних даних інформаційних засобів часом її отримання дозволяє узгодити процес фільтрації траєкторії за даними від різних інформаційних засобів на етапі вторинної обробки даних.**

***Abstract*—The paper analyzes the advantages of information support for consumers of airspace control system on the basis of a single information network of surveillance systems. The classification and principles of organization of the information**

network of surveillance systems are given. It is shown that the time marking of the coordinate data of the information means allows to coordinate the process of filtering the trajectory according to the data from different information means at the stage of secondary data processing.

Ключові слова—радіолокаційний радар; повітряний об'єкт; обробка даних.

Keywords—rimary radar; air object; data processing.

I. Вступ

Система контролю повітряного простору в значній мірі забезпечує як безпеку країни, так і безпеку повітряного руху. До основних процедур системи контролю повітряного простору відносяться аналіз повітряної обстановки і прийняття управлінських рішень. Рішення приймається на основі аналізу підготовлених даних про стан повітряної обстановки в зоні відповідальності. Вірні рішення можна прийняти лише в тому разі, якщо є досить повна, точна, достовірна і безперервна інформація про повітряну обстановку в зоні управління. Радіолокаційні системи спостереження (СС), до яких відносяться системи первинної та вторинної радіолокації, в значній мірі зумовлюють рішення вищеназваних завдань. Досвід провідних країн світу свідчить, що в них уже досить тривалий час існують національні єдині системи контролю використання повітряного простору як військовою, так і цивільною авіацією. Очевидно, що при цьому досягається максимальна ефективність використання повітряного простору при порівняно низьких матеріальних, технічних і людських витратах. Однією зі складових системи контролю використання повітряного простору є єдина інформаційна мережа (ІС), на базі існуючих СС. Мережевій побудови інформаційних засобів приділяється значна увага [1-5]. Зокрема, існуючі національні єдині системи контролю використання повітряного простору, як правило, реалізовані на мережевому використанні окремих інформаційних засобів (програми 968Н, ACCS та ін.). Основними завданнями цих програм є об'єднання в загальну мережу існуючих СС і централізоване управління цією мережею вищим органом. Об'єднані (результуючі) дані мережі видаються споживачам. Однак такий принцип організації мережі уніфікує інформаційне забезпечення споживачів. Дійсно, споживачеві часто потрібна інформація конкретного джерела, а не об'єднана інформація мережі [5-8]. Крім того, включення окремих СС в єдиній ІС на принципі механічного об'єднання тільки інформації не вирішує проблеми окремих інформаційних засобів, зокрема, систем вторинної радіолокації, спільного функціонування систем первинної і вторинної радіолокації і тому подібне. Це стимулює пошук нових принципів організації єдиної ІС, в якій поєднувалося б повне і надійне інформаційне забезпечення споживачів, а також вирішувалися проблеми функціонування окремих інформаційних засобів.

II. Аналіз переваг мережевих систем спостереження повітряного простору

Раціональна еволюція СС призводить до об'єднання радіолокаційних СС або інших датчиків інформації, розосереджених на певній ділянці контрольованого простору, в мережу. Така еволюція мотивується можливістю злиття великого обсягу даних, одержуваних елементами СС, що працюють незалежно один від одного і володіють певною мірою взаємодоповнюючими даними. Завдання полягає в точному відображенні навколишнього оточення і своєчасного виявлення змін у ньому. Такий супровід повітряних об'єктів (ПО) представляє загальновідому системну концепцію, що довела свою корисність при вирішенні як цивільних, так і військових прикладних задач практично у всіх розвинених державах.

Розглянемо переваги мережевої інформаційної системи в порівнянні з поодинокими інформаційними системами спостереження.

Відомо, що з'єднання декількох радіолокаційні СС лініями зв'язку дозволяє розширити зону видимості за межами максимальної дальності одиночного радіолокатора, яка обмежена або межами прямої видимості, або потужністю випромінювання радіолокації. Такого результату можна досягти при мінімальному перекритті зон видимості радіолокатора, тим самим, мінімізуючи кількість приймальних датчиків, розгорнутих в заданій області. Об'єднання в мережу СС з перекриттям зон видимості надає ряд переваг [9-12].

Одна з переваг полягає в збільшенні ймовірності виявлення в межах деякого інтервалу часу, який забезпечується мережевою системою спостереження, в порівнянні з випадком розрізнених радіолокаторів, що призводить до зниження ймовірності зриву супроводу. Як варіант, при заданій ймовірності зриву супроводу, ймовірність виявлення для кожної СС може бути знижена щодо випадку розрізнених СС. Можливе за рахунок зниження потужності передавачів, що призведе до зниження вартості кожної з СС. Залежно від типу прикладної задачі, об'єднання СС в мережу може виявитися більш зручним, ніж одиночна СС, яка має високу потужність і швидкістю видачі даних [13-15].

Ще однією з переваг мережевих СС є можливість використання відмінностей в ефективних поверхнях розсіювання (ЕПР) ПО в різних трактах проходження сигналів між ПО та СС. Для розосереджених СС розкид ЕПР, в залежності від кута візування, становить значну величину. Ця обставина дозволяє забезпечити надійне виявлення ПО з малою ЕПР при мережевій структурі СС.

Серед інших переваг, можна відмітити надійність і безперервність супроводу при переході спостереження між сусідніми СС і підвищення точності супроводу ПО.

Мережева СС забезпечує більш високий темп видачі даних споживачеві, при відповідному зменшенні похибок фільтрації. Мережева структура, яка дозволяє комбінувати дані, що надходять від двох або більше СС, підвищує точність системи в цілому. Коли комбінування даних здійснюється простим усередненням, то в цьому випадку точність координат, які видаються споживачу, підвищується пропорційно квадратному кореню числа врахованих СС. Кращі результати може дати метод комбінування, при якому координатні дані по кожному

окремому ПО піддаються ваговій обробці, відповідно до їх точнісних показників [16-18].

Ще однією перевагою мережевих СС є їх більш висока стійкість до природних і навмисним завад, а також живучість, що обумовлена незвичайною геометрію розташування СС і можливістю координувати в часі випромінювання останніх. Крім того, висоту ПО і сумарний вектор швидкості можна оцінити, відповідним чином комбінуючи дані вимірювань, що видаються СС. При об'єднанні в мережу забезпечуються розширені можливості реконфігурації системи в разі виникнення відмов в роботі СС, тим самим досягається велика надійність радіолокаційного огляду контрольованого простору і, як наслідок, підвищується якість інформаційного забезпечення споживачів [19-21].

III. Характеристика Структури Інформаційної Мережі Систем Спостереження

Головна функція інформаційної мережі полягає в передачі даних, які видаються різними інформаційними засобами споживачеві, який комбінує інформацію для того, щоб забезпечити мережевий супровід. При такій реалізації мережі сукупність СС здійснює виявлення і вимірювання координат ПО з різним темпом видачі даних і з різними показниками якості виявлення і вимірювання координат. За лініях передачі дані передаються до споживача, який виконує функції супроводу, прогнозування радіолокаційної траєкторії, кореляцію, згладжування траєкторій і перетворення координат, одержуваних за даними вимірювань, що видаються розосередженими інформаційними джерелами, до опорної системи координат споживача.

Відповідно до просторового розміщення СС, можна виділити два класи систем, що об'єднуються в мережу, а саме:

- сумісних або суміщених;
- розподілених.

Сумісні СС, це ті СС, у яких антени обертаються спільно на одній і тій же платформі, а суміщені - це ті, у яких антени розташовуються в межах досить обмеженою області та здійснюють синхронний огляд по азимуту. Прикладом сумісних радіолокаційних систем з спільно обертаючимися антенами є системи, що містять первинну СС і вбудовану вторинну СС. Поєднання даних вимірювань вторинної СС з даними, що видаються первинної СС, сприяють поліпшенню функції кореляції між координатними даними і даними спостереження, завдяки можливості використання розпізнавального коду ПО. Більш того, об'єднання даних вимірювань первинної і вторинної СС підвищує якість як виявлення, так і точність визначення координат повітряного об'єкта [10-15].

Залежно від ступеня використовуваної обробки даних, мережеві СС можна додатково класифікувати як розподілені або централізовані. Розподілена архітектура характеризується тим, що на кожній СС здійснюється первинна та вторинна обробка даних. Локальні дані спостереження потім видаються споживачам, в апаратурі обробці де дані об'єднуються, з метою встановлення єдиного багатостанційного стеження за кожним ПО. Така структура мережі найбільш доцільна при об'єднанні існуючих СС в єдину інформаційну мережу (ІМ). У централізованій архітектурі використовується єдиний процесор обробки даних. Така структура мережі може бути рекомендована при розташуванні СС в обмеженому просторі, наприклад, СС ближньої і далекої зони радіолокаційного забезпечення управління польотами авіації.

В ІМ з розподіленою або централізованою обробкою інформації дані або споживачеві, або на пункт спільної обробки надходять з різним темпом. Так як огляд простору окремих СС не синхронізований, то об'єднання інформації в ІМ з розподіленою обробкою даних споживачів здійснюється шляхом проведення третинної обробки даних. В ІМ з централізованою обробкою інформація з СС надходить зі змінною швидкістю і різною точністю, що потрібно враховувати при побудові апаратури вторинної обробки даних. Саме ці обставини вимагають маркувати координатну інформацію часом її отримання, що дозволяє узгодити процес фільтрації траєкторії за даними від різних інформаційних засобів на етапі вторинної обробки даних. Далі детальніше розглянемо цей процес.

Припустимо, що є два датчика радіолокаційної інформації з різним темпом огляду простору. У кожному з джерел радіолокаційних даних є своя шкала часу, організована, наприклад, за допомогою GPS приймачів, що характеризується часовим процесом T_{ij}, де індексом i позначається номер джерела отримання інформації ($i=1,2$), а j – дискретний час отримання даних. Будемо вважати, що споживач інформації територіально розташований в першому датчику інформації. Припустимо, що по $j=k$ попереднім вимірам в апаратурі споживача отримана результуюча оцінка вектора стану $\hat{\vec{W}}_k(T_{1k})$ з відповідною матрицею точності $\vec{C}_k$.

При отриманні поточної оцінки вектора стану, наприклад від другого датчика в момент часу $k+1$ $\hat{\vec{W}}_{y(k+1)}(T_{2(k+1)})$ з матрицею точності $\vec{C}_{y(k+1)}$, за даними результуючої оцінки вектора стану і матриці точності на k-ому кроці здійснюється обчислення апріорного розподілу на цей крок вимірювань. Цьому розподілу відповідає $\hat{\vec{W}}_{o(k+1)}(T_{1(k+1)})$ и $\vec{C}_{o(k+1)}$, тобто здійснюється прогнозування вектора стану і матриці точності на момент часу отримання поточної оцінки вектора стану. В цьому випадку результуючу оцінку вектора стану і матрицю точності на момент часу $k+1$ можна записати як

$$\hat{\vec{W}}_{k+1}(T_{1(k+1)}) = \hat{\vec{W}}_{0(k+1)}(T_{1(k+1)}) + \vec{C}_{k+1}^{-1}\vec{C}_{y(k+1)} \times \times\left[\hat{\vec{W}}_{y(k+1)}(T_{2(k+1)}) - \hat{\vec{W}}_{0(k+1)}(T_{1(k+1)})\right],$$

$$\vec{C}_{k+1} = \vec{C}_{o(k+1)} + \vec{C}_{y(k+1)} .$$

Надалі процедура повторюється. Таким чином, виходить рекурентне правило, що дозволяє послідовно в часі виконувати фільтрацію траєкторії ПО при отриманні вимірювань від датчиків даних з різних темпом видачі інформації.

Як випливає з вищевикладеного, розглянутий алгоритм фільтрації відрізняється від відомих тим, що прогнозування вектора стану і матриці точності здійснюється після отримання нових вимірів, мають час їх отримання. Ось на цей момент часу і здійснюється прогнозування вектора стану і матриці точності.

Вищевикладене дозволяє зробити висновок, що при побудові єдиної ІМ необхідно здійснити єдине координатно-часове забезпечення СС, що входять в дану ІМ, з необхідними точносними показниками. Залежно від точносних показників координатно-часового забезпечення інформаційних засобів єдину ІМ можна класифікувати як мережу, реалізовану на несинхронному або синхронному принципах.

Несинхронний принцип організації мережі вимагає часового забезпечення СС з точністю, що становить частки часу спостереження ПО. Це дозволяє синхронізувати потоки даних в мережі з розподіленою обробкою, забезпечити фільтрацію траєкторії ПО за даними різних джерел з різним темпом видачі інформації.

Синхронний принцип організації мережі базується на створенні єдиної шкали часу всіх СС мережі з точністю, що становить частки мікросекунд. Це дозволяє узгодити процеси отримання і обробки даних з розрізнених інформаційних засобів, і зумовлює вирішення технічних протиріч, що практично не вирішуються в існуючих СС [16-20].

При цьому необхідно зазначити, що поняття синхронності тісно пов'язане з поняттям одночасності. Так, в пунктах розташування СС повинні одночасно генеруватися однойменні часові імпульси. Саме ж поняття одночасності в загальній теорії відносності не однозначно трактується. Однак можна стверджувати, що єдиним несуперечливим визначенням одночасності є наступне визначення. Для аналізу будь-яких явищ в рамках загальної теорії відносності можна ввести деяку чотиривимірну систему координат, що має одну часову координату (можна назвати координатний час даної системи координат) і три просторових. Дві події, фіксовані в деякій системі координат значеннями (t_1, x_1, y_1, z_1) і (t_2, x_2, y_2, z_2), вважаються одночасними щодо цієї системи координат, якщо відповідні їм значення часової координати збігаються: $(t_1 = t_2)$. Надалі таке визначення одночасності (і відповідне йому визначення синхронізації часу) будемо називати координатним. Зазначене визначення дозволяє ввести в рамках загальної теорії відносності самоузгоджену єдину шкалу часу в самих різних областях простору-часу і з будь-якою допустимою точністю. Той факт, що вибір системи координат, за координатним часом щодо синхронізації, довільний, не повинен викликати занепокоєння: від синхронізації за координатним часом однієї системи координат легко перейти до синхронізації за координатним часом будь-якої іншої системи координат.

Слід зауважити, що до складу єдиної ІМ можуть входити (і повинні) датчики з взаємодоповнюючими характеристиками. Реалізація мережі на синхронному принципі дозволяє реалізувати багатопозиційні радіолокаційні системи з кооперативним прийомом сигналів. Багатодатчикова концепція організації єдиної ІМ вже використовується при вирішенні деяких цивільних і військових прикладних задач. Безперечною перевагою об'єднання в мережу різних типів датчиків є підвищена надійність огляду і більш чітка оцінка повітряної обстановки.

Наприклад, в існуючих СС традиційні активні (первинні) СС взаємодіють з СС активної відповіді (вторинними СС). Введення в інформаційні потоки інформації про державну приналежність (ДП), яку в об'єднаній мережі можна отримати від значного числа інформаційних джерел дозволить значно послабити проблему однозначного визначення ДП виявлених ПО. Зокрема, споживач може визначити ДП виявлених ПО за інформацією від систем радіолокаційного розпізнавання, від систем вторинної радіолокації, і інших радіотехнічних СС.

Таким чином, об'єднання існуючих СС в єдину ІМ на несинхронному принципі дозволяє:

- виключити третинну обробку даних при супроводі ПО в мережі;
- підвищити ймовірність об'єднання координатної й додаткової інформації, отриманої засобами первинної й вторинної радіолокації;
- істотно підвищити завадостійкість запитальних радіотехнічних систем, зокрема систем радіолокаційного опізнавання, на спадкоємній основі;
- підвищити якість опізнавання ПО.

Реалізація єдиної ІМ на синхронному принципі дозволить:

- реалізувати принцип багатопозиційної радіолокації з кооперативним прийомом сигналів;
- підвищити живучість радіолокаційних засобів первинної радіолокації;
- на спадкоємній основі перейти до завадостійких системам вторинної радіолокації, в тому числі і до завадостійких систем радіолокаційного опізнавання.

IV. Висновки

Концептуальними засадами створення єдиної ІМ на базі існуючих систем спостереження повітряного простору, в якій може бути реалізовано надійне інформаційне забезпечення споживачів і вирішені протиріччя окремих інформаційних засобів можуть бути:

- єдине координатно-часове забезпечення всіх інформаційних засобів мережі з визначеними показниками якості;
- розподілена обробка даних в інформаційних засобах мережі;
- вільний, але контрольований, доступ споживача до необхідного джерела інформації.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[1] A. Farina and F. Studer, *Digital processing of radar information*. Moscow, Russia: Radio i svyaz, 1993.

[2] V. Chernyak, *Fundamentals of Multisite Radar Systems: Multistatic Radars and Multistatic Radar Systems*. Gordon and Breach Science Publishers, CRC Press, 1998.

[3] V. Tkachev, Y. Danyk, S. Zhukov, I. Obod and I. Romanenko, *Theoretical bases of construction of noise-protected systems of information monitoring of air space*. Kyiv: Ministry of Education of Ukraine, 2004.

[4] G. Gilbert, "Historical Development of the Air Traffic Control System," in *IEEE Transactions on Communications*, vol. 21, no. 5, pp. 364-375, May 1973, doi: 10.1109/TCOM.1973.1091699.

[5] B. Stevens, F. Lewis and E. Johnson, *Aircraft Control and Simulation: Dynamics, Controls Design, and Autonomous*. John Wiley & Sons, 2016.

[6] H. You, X. Jianjuan and G. Xin, "Practical Application of Radar Data Processing", in *Radar Data Processing with Applications*, 1st ed., H. You, X. Jianjuan and G. Xin, Ed. House of Electronics Industry, 2016, pp. 464-498. doi: 10.1002/9781118956878.ch19.

[7] J. Li and P. Stoica, *MIMO radar signal processing*. Hoboken, NJ: Wiley-IEEE Press, 2008.

[8] H. You, X. Jianjuan and G. Xin, "Practical Application of Radar Data Processing", in *Radar Data Processing with Applications*, 1st ed., H. You, X. Jianjuan and G. Xin, Ed. House of Electronics Industry, 2016, pp. 464-498. doi: 10.1002/9781118956878.ch19.

[9] I. Svyd, O. Maltsev, I. Obod and G. Zavolodko, "Fusion Method of Primary Surveillance Radar Data and IFF systems Data," *2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 336-340, doi: 10.1109/DESSERT50317.2020.9125040.

[10] I. Obod, I. Svyd, O. Maltsev, G. Zavolodko, D. Pavlova and G. Maistrenko, "Fusion of Discrete Evaluation of the State Vector of Air Objects Based on 4D Measurement," *2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*, Kyiv, Ukraine, 2019, pp. 593-596, doi: 10.1109/PICST47496.2019.9061562.

[11] I. Svyd, I. Obod, O. Maltsev, I. Shtykh, G. Zavolodko and G. Maistrenko, "Model and Method for Request Signals Processing of Secondary Surveillance Radar," *2019 IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM)*, Polyana, Ukraine, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/CADSM.2019.8779347.

[12] D. B. Pavlova, G. E. Zavolodko, I. I. Obod, I. V. Svyd, O. S. Maltsev and L. F. Saikivska, "Optimizing Data Processing in Information Networks of Airspace Surveillance Systems," *2019 10th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, Leeds, United Kingdom, 2019, pp. 136-139, doi: 10.1109/DESSERT.2019.8770022.

[13] I. Svyd, I. Obod, O. Maltsev, G. Maistrenko, G. Zavolodko and D. Pavlova, "Fusion of Airspace Surveillance Systems Data," *2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT)*, Lviv, Ukraine, 2019, pp. 430-433, doi: 10.1109/AIACT.2019.8847916.

[14] D. B. Pavlova, G. E. Zavolodko, I. I. Obod, I. V. Svyd, O. S. Maltsev and L. F. Saikivska, "Comparative Analysis of Data Consolidation in Surveillance Networks," *2019 10th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, Leeds, United Kingdom, 2019, pp. 140-143, doi: 10.1109/DESSERT.2019.8770008.

[15] X. Tang, Y. Zhang, P. Chen, B. Li and S. Han, "Strategic Deconfliction of 4D Trajectory and Perturbation Analysis for Air Traffic Control and Automation System", *Discrete Dynamics in Nature and Society*, vol. 2016, pp. 1-18, 2016. doi: 10.1155/2016/7028305.

[16] I. Obod, I. Svyd, O. Maltsev, G. Maistrenko, O. Zubkov and G. Zavolodko, "Bandwidth Assessment of Cooperative Surveillance Systems," *2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT)*, Lviv, Ukraine, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/AIACT.2019.8847742.

[17] I. Svyd, I. Obod, O. Maltsev, O. Vorgul, G. Zavolodko and A. Goriushkina, "Noise Immunity of Data Transfer Channels in Cooperative Observation Systems: Comparative Analysis," *2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, Kharkiv, Ukraine, 2018, pp. 509-512, doi: 10.1109/INFOCOMMST.2018.8632019.

[18] I. Svyd, I. Obod, O. Maltsev and A. Hlushchenko, "Secondary Surveillance Radar Response Channel Information Security Improvement Method," *2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 341-345, doi: 10.1109/DESSERT50317.2020.9125018.

[19] I. Obod, I. Svyd, O. Maltsev and B. Bakumenko, "Spatial Methods for Increasing the Bandwidth of a Mobile Information Network," *2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Lviv-Slavske, Ukraine, 2020, pp. 50-54, doi: 10.1109/TCSET49122.2020.235388.

[20] I. Obod, I. Svyd, O. Maltsev, G. Zavolodko and D. Pavlova, "Optimization of Data Processing of Primary Radar Systems," *2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 757-760, doi: 10.1109/ELNANO50318.2020.9088842.

[21] I. Svyd, I. Obod, O. Maltsev, T. Òkachova and G. Zavolodko, "Optimal Request Signals Detection in Cooperative Surveillance Systems," *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, Lviv, Ukraine, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/UKRCON.2019.8879840.

Цифрова Обробка Сигналів на Основі Дискретного Трійкового Симетричного Вейвлет-Перетворення

Артем Ізмайлов
кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем
ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»
Івано-Франківськ, Україна
artem.v.izmailov@gmail.com

Digital Signal Processing Based on the Discrete Symmetric Ternary Wavelet Transform

Artem Izmailov
dept. of Computer Science and Information Systems
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
artem.v.izmailov@gmail.com

***Анотація*—Здійснено оцінку ефективності застосування дискретного трійкового симетричного вейвлет-перетворення для ущільнення даних. На основі критерію мінімуму середнього абсолютного значення деталізуючих коефіцієнтів дискретного вейвлет-перетворення та тестової послідовності Matlab brkintri доведена перевага запропонованого перетворення у порівнянні з існуючими.**

***Abstract*—Application efficiency of the discrete symmetric ternary wavelet transform for data compaction is estimated. The advantage of the proposed transform over the existing ones is proved based on the criterion of minimum of the absolute value of the detail coefficients of the discrete wavelet transform and the Matlab brkintri test sequence.**

Ключові слова—цифрова обробка сигналів; дискретне вейвлет-перетворення; деталізуючі коефіцієнти

Keywords—digital signal processing; discrete wavelet transform; detail coefficients

I. Вступ

Функціонування більшості комп'ютеризованих виробничих систем пов'язане з обробкою цифрових даних, яка забезпечена застосуванням методів та засобів цифрової обробки сигналів (ЦОС), зокрема, дискретних вейвлет-перетворень (ДВП) [1–4].

Актуальним завданням ЦОС є ущільнення даних, що особливо актуально для виробничого обладнання, яке за характеристиками близьке до мобільних або IoT-пристроїв [1, 3]. При розв'язанні цього завдання за допомогою ДВП зберігають не самі дані, а коефіцієнти перетворення, частина з яких рівні нулю або близькі до нуля. Такі коефіцієнти відкидають, а при відновленні даних – замінюють нулями [1–4].

Аналіз існуючих досліджень вказує на те, що дискретне трійкове симетричне вейвлет-перетворення (ДТСВП) на основі трійкових симетричних вейвлетів раніше не застосовувалось для розв'язання задач ущільнення даних, незважаючи на ряд властивостей цих вейвлетів, які вказують на перспективність подібних застосувань [2, 4, 5].

Метою дослідження є оцінка ефективності застосування ДТСВП для ущільнення даних, представлених сигналами у вигляді трикутних імпульсів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в успішній оцінці ефективності застосування ДТСВП для ущільнення даних, представлених сигналами у вигляді трикутних імпульсів, що вказало на перспективність розробки та впровадження відповідних засобів ЦОС у виробничих процесах.

II. Основна частина

Усі ДВП побудовані таким чином, що вони утворюють апроксимуючі та деталізуючі коефіцієнти: [2, 3, 6]. У апроксимуючих коефіцієнтах зберігається загальна інформація про цифрові сигнали, наприклад, тренд, тому,

вони здебільшого не є нульовими [2, 3, 6]. Деталізуючі коефіцієнти містять інформацію про особливості окремих областей цифрових сигналів, наприклад, величини відхилень від тренду, а тому, серед них часто зустрічаються близькі до нуля значення [2, 3, 6]. Відповідно, для ущільнення даних, відбувається відкидання саме деталізуючих коефіцієнтів ДВП, що не призводить до істотних значень похибки відновлення даних [3, 6].

Для оцінки здатності ДВП концентрувати енергію у апроксимуючих коефіцієнтах та оцінки ефективності їх застосування у задачах ущільнення даних та очищення сигналів від шуму використовують критерій мінімуму середнього абсолютного значення деталізуючих коефіцієнтів ДВП [3, 7]

$$d_{mean} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|d_i|, \qquad (1)$$

де N – загальна кількість деталізуючих коефіцієнтів по всіх рівнях ДВП, d_i – i-ий член послідовності деталізуючих коефіцієнтів всіх рівнів ДВП.

Дані вибірки Matlab brkintri включають в себе трикутний імпульс [6]. Відповідно, цей тестовий сигнал зручно використовувати для перевірки ефективності застосування ДВП при обробці цифрових сигналів, які мають вигляд трикутних імпульсів [6]. На рисунку 1 наведено графік цього тестового сигналу.

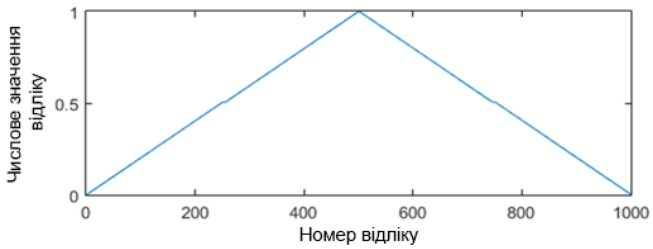


Рис. 1. Графік тестового сигналу Matlab brkintri

На рисунку 2 наведені графіки залежності середнього абсолютного значення деталізуючих коефіцієнтів від кількості рівнів ДТСВП (ST), ДВП Хаара (Haar), ДВП Добеші 2-го, 3-го та 4-го порядків (db2, db3, db4) та біортогональних ДВП з параметрами 1.3, 2.2 та 3.7 (bior1.3, bior2.2, bior3.7).

Із отриманих графіків (рис. 2) випливає, що максимальним середнім абсолютним значенням деталізуючих коефіцієнтів ДВП володіє ДТСВП. Це вказує на те, що у деталізуючих коефіцієнтах цього перетворення міститься більше інформації про особливості сигналу, ніж у випадку інших ДВП, у зв'язку з чим, деталізуючі коефіцієнти ДТСВП рідше будуть набувати близьких до нуля значень (які можна відкинути), ніж у випадку інших ДВП, що вказує на нижчу ефективність застосування для розв'язання задач ущільнення даних.

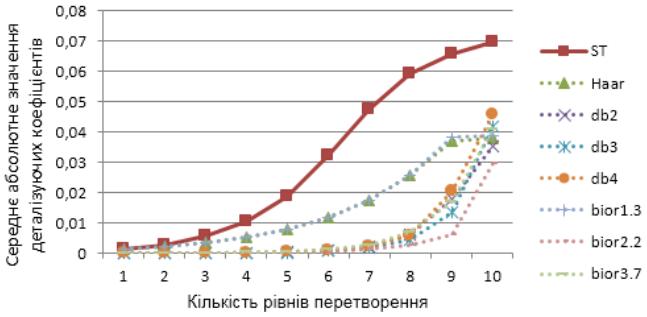


Рис. 2. Графіки залежності середнього абсолютного значення деталізуючих коефіцієнтів від кількості рівнів ДВП

Проте, підвищена інформативність деталізуючих коефіцієнтів ДТСВП, у порівнянні з іншими ДВП, вказує на підвищену точність виявлення короткотермінових особливостей цифрових сигналів, оскільки, інформація про них міститься саме у деталізуючих коефіцієнтах перетворення. Крім цього, така інформація з меншою імовірністю буде втрачена при очищенні сигналу від шуму, наприклад за допомогою техніки «м'якого» порогу [6], оскільки абсолютні значення деталізуючих коефіцієнтів ДТСВП є більшими.

III. Висновки

Результати проведених досліджень ефективності (рис. 2) застосування ДВП для ущільнення даних, представлених сигналами у вигляді трикутних імпульсів, вказали на нижчу ефективність застосування ДТСВП для розв'язання таких задач, у порівнянні з іншими ДВП у межах від 15 до 60%. Водночас, одержані показники вказують на відповідну перевагу застосування ДТСВП для розв'язання задач виявлення короткотермінових особливостей та очищення від шуму цифрових сигналів заданого типу. Це вказує на перспективність подальших досліджень щодо створення засобів ДТСВП для ЦОС у комп'ютеризованих виробничих системах.

Література References

[1] Э. Айфичер, Б. Джервис. Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 992 с.

[2] P.S. Addison, The Illustrated Wavelet Transform Handbook: Introductory Theory and Applications in Science, Engineering, Medicine and Finance (Second Edition) / P.S. Addison, CRC Press, 2016, P. 446.

[3] Д. Сэломон, Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэломон; пер. с англ. В.В. Чепыжова. – М.: Техносфера, 2004. – 368 с.

[4] S. Prasad, Information Fusion in the Redundant-Wavelet-Transform Domain for Noise-Robust Hyperspectral Classification / S. Prasad, W. Li, J.E. Fowler, L.M. Bruce // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, September 2012, Vol. 50, No. 9, P. 3474-3486. doi:10.1109/TGRS.2012.2185053

[5] A. Izmailov, "Symmetric Ternary Wavelet Transform and Its Application in Digital Information Processing," 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Lviv, Ukraine, 2019, P. 1127-1132. doi:10.1109/UKRCON.2019.8879808

[6] Н.К. Смоленцев, Основы теории вейвлетов в MATLAB. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 304 с.

[7] I. Daubechies, "Ten Lectures on Wavelets," Soc. for Industrial and Applied Math., Philadelphia, PA, USA, 1992.

Секція 5.

Інформаційні технології в соціумі, освіті, економіці, медицині, управлінні, поліграфії, екології та юриспруденції.

Section 5.

Information technologies in society, education, economics, medicine, management, polygraphs, ecology and jurisprudence.

The Transition of Economy from Analogue to Digital by the Case of the Republic of Korea and the Republic of Belarus

Aliaksei Danilchanka
Faculty of Marketing, Management and Entrepreneurship
Belarus National Technical University
Minsk, Republic of Belarus
danilchanka@mail.ru

Boris Zhalezka
Department of Marketing
Belarus National Technical University
Minsk, Republic of Belarus
boriszh@yandex.by

Oh Dok Hee
Department of Business Administration
Belarus National Technical University
Minsk, Republic of Belarus
paulminsk@mail.ru

***Abstract*—The article monitors the impact of the digital economy based on the IT revolution of the XXI century on the political system and economy of the Republic of Korea. Besides, through the digital economy, an analysis of specific phenomena arising in the economy and society as a whole is carried out (by the case of the Republic of Korea and the Republic of Belarus).**

Keywords—Digital economy, innovation strategies, competitiveness, digital transformation

I. INTRODUCTION

The main sources of the research base of this article are compiled by materials from Korean scientists who studied the direction of the digital economy of the Republic of Korea: Go Jongsuk [1], Kim Kiwuan [2], Kim Seongho [3], Yun Seung Hee [13]. The definition of the digital economy is given following the opinion of the Belarusian economist M.M. Kovalev [4].

Not only scientists, but also politicians understand by the economy of the XXI century several other economic phenomena and processes around the world. As usual, each somewhat emphasizes the process that is more important to him, and takes it as the basis of the economy. One of the most notable of these contemporary economic phenomena in the XXI century is the digital economy. The digital economy is one of the new, actively discussed topics in the XXI century. The term “Digital Economy” can often be heard from politicians, businessmen, and media representatives. The term “Digital Economy” became widespread after the ministerial conference of 40 developed countries held under the authority of the OECD in Cancun (Mexico) in 2016, which adopted the Declaration "Digital Economy: Innovation, Growth and Social Well-being" [4, p. 22].

II. RESULTS AND ITS DISCUSSION

The digital economy is an economic activity based on digital technologies. The issue is not about the traditional information economy (the term “Analogue economy” is used in a different way), associated with the development and use of information technologies (programs, database management systems, automated systems, etc.), but about electronic goods and services, the sale of virtual goods on the Internet, the use of electronic money and crypto currency, special Internet services, primarily social networks, the Internet of things - IoT, BigDate, Cloud data storage [4, p. 23].

Liberalization, globalization, and the development of technology through the information technology revolution are the fundamental driving forces behind the radical changes in the Korean economy in the XXI century. The characteristic features of Korean society in recent decades have been stagnant population growth, a decline in the share of the working-age population, an aging population and an increase in the rate of singlehood due to a drop in the birth rate. Labour production in Korea fell sharply in the mid-2000s. This is the result of internal growth in labour wages and external tractor development through the development of manufacturing industries in developing countries such as Vietnam and India. In particular, high youth unemployment has become a serious social problem.

The focus is on the development of the IT industry as a key driver of economic development in the digital economy. The development of information technology directly accelerates the development of such areas as BT (Biotechnology), MT (Material Technology,) and NT (Nanotechnology), thus contributing to the progress in the field of life extension technologies, as well as the liberalization of economic activities and the tendency towards globalization. The reason for this is that, thanks to the advancement of technology in the digital society, humanity can overcome the fatal limitations of the analogue society associated with time and space, mental abilities and physical strength. All this leads to the de-bordering of the existing political, cultural, ideological, economic and geographical boundaries between people.

The transition from the analogue economy to digital economy as a result of the IT revolution will lead to the following economic and social phenomena:

A. *Changes in the structure of the economy and business model.*

Transformation from imitator to innovator, Growth in the leisure and eco industries, Development of industries targeted at women and elderly, Leadership transition from large and powerful enterprises to small and flexible ones, From producer to consumer, Technologization of traditional industries.

B. *Expanding liberalization*.

South Korean political scientist Yoon Sung Hee, in his research report "Information and Communication Technology Development and Political Development", expressed the following views that the transition from the analogue economy to the digital economy due to the IT revolution expands personal freedom in the long term. The IT revolution also enriches the economy and culture, increases the level of diversity in society, and promotes the democratization and liberalization of politics).

C. *The phenomenon_of accelerating flexibility and economic integration*.

Globalization is a phenomenon when the globalization trend of economic activity extends beyond the borders of one state to the sphere of international economic relations. The rapid development of the IT revolution at the end of the XX century led to the weakening of various barriers that existed between countries, thereby making possible the milestone progress of globalization. In the digital economy, business entities are faced with the goal of conducting economic activities around the world. Consumers have found the opportunity to purchase those products that best meet their needs from manufacturers around the world. Besides, workers had a choice in which country to work, and companies, in turn, began to supply their products, focusing on consumers around the world. As a result, the share of enterprises with 100% local capital is gradually decreasing, giving way to multinational and mixed ones. More and more often, the meaning of drawing the boundaries between local and foreign enterprises is getting lost. Thanks to the IT revolution, economic relations between Korea, Japan and China have become even closer. Consumers, employees and entrepreneurs of the three East Asian countries are becoming subjects of free economic activity, carried out regardless of geographic state boundaries. Korea, Japan and most of China form a common economic space and are united by a well-developed transport system that allows you to move freely from place of residence to place of work and back every day. Thus, in the digital economy, the economic integration of neighbouring countries is carried out at a faster pace.

Business relationships are also changing. Due to the IT revolution, competition between companies has become much fiercer. In the analogue economy, several large enterprises, through their exclusive ownership of information, were able to form cartels. Small and medium-sized enterprises (SMEs) had no choice but to enter into long-term relationships with such large enterprises. However, as information costs have declined in the digital economy, SMEs have no longer needed to maintain long-term trade relationships with a small number of large corporations. As a result, the Republic of Korea is currently undergoing significant changes in the conglomerate system. The digital economy is becoming an environment conducive to SMEs, which are more flexible and responsive than too large and slow corporations. In addition, the growth of venture capital companies directly related to the IT revolution is the most important feature of the digital economy [1].

D. *Efficiency of resource allocation and balanced development of regions*.

As the digital economy developed, it became possible to conduct economic activities without time and space constraints. For example, in the field of finance, such barriers have been overcome by the progress of E-trading (electronic commerce) and E-banking (electronic banking services) services. In addition, manifestations of the digitalization of the economy, such as Internet banking, are helping to increase production capacity by reducing the transaction costs associated with economic activities. Reducing transaction costs contributes to an increase in the welfare of economic agents, thereby ensuring a truly efficient allocation of resources. In other words, savings in operating costs compared to the analogue economy system result in more efficient savings and investments. Moreover, due to the fact that education and training began to actively develop in production, technological progress is further intensified. First of all, in the digital economy, the principles of the law of diminishing returns, which hampered economic activity in the analogue economy, lose their relevance, and they are replaced by the principles of the opposite theory of increasing returns. The Increasing Returns of Scale is an effect during which output increases exponentially as the number of incoming factors increases. This principle contradicts the provisions of the Diminishing returns of scale, still applied in the traditional industrial economy. Increasing Returns of Scale is applied in the areas of intellectual capital and knowledge-based economics (information industry, software industries, culture and services). For example, the use of knowledge and know-

how acquired in the process of work by the employees of companies becomes the basis for further development and creation of new know-how, since intellectual capital is not a limited resource and, based on the existing knowledge and experience, it is possible to develop infinitely further [3].

In the system of mass production, the decreasing returns law dominates, but in the high-tech industry, which is a knowledge-based production system, as well as in the Internet business, dominance is consolidated with the theory of increasing profitability. This leads to an increase in the socio-economic efficiency of resource allocation.

E. *Changing the role of government*.

Changes in the economic paradigm also influenced the changing role of government in the economy. In the analogue economy, the government planned, managed, and controlled many aspects of business. In the digital economy, however, such control is not only unnecessary, but, moreover, it becomes impossible. As the trend towards liberalization developed, government intervention and control over the private sector weakened. As the proportion of aspects that the private sector can manage on its own has increased, the need for the government to plan, promote, manage and coordinate all economic processes has been eliminated. This means that the economic potential of the private sector has increased in the digital economy and the self-regulation function of the market has been strengthened. Also, the IT revolution has contributed to the establishment of transparency in government functions. In the analogue economy, the government was able to control the private sector through a monopoly on knowledge and information. However, thanks to e-government, e-procurement and e-taxation, many things for which the government was previously responsible, were computerized and became open [3, p. 59 - 61].

In this way, the development of the digital economy in connection with the progress of the IT revolution contributes to the liberalization and globalization of the economy of the Republic of Korea. The digitalization of economic processes in the Republic of Korea was carried out by replacing hardware and software. Narrowly defined, the digitalization of hardware and software has been achieved due to:

1) the continuous growth and development of the digital industry, including electronics, communications and electricity;

2) digitization of industries such as steel, automobile construction, pharmaceutical, finance, etc.;

3) the emergence of new digital services such as finance, health care, education, distribution, sports, leisure and tourism;

4) development and humanization of technologies.

Regarding digitalization on the part of software in a broad sense, with the development of digital technologies, there have been changes in the relationship between economic agents, in the quality, quantity and type of products; quality, quantity and type of factors of production, method of production, method of distribution, consumption, saving and investing, labour and leisure, finance, training, technology development and other areas. These changes have virtually affected the entire life of the Korean people, including politics, diplomacy, security, society and culture.

III. Conclusion

Broadly speaking, changes in software resulting from the IT revolution are accompanied by changes in the orders, norms and structures that prevail in society, as well as changes in ideologies, trends and policies. Eventually, the analogue economy economic paradigm that dominated Korean society underwent a transformation and became digital. In the digital economy, it was possible to overcome excessive government control, uniformity, closed ideology and achieve political liberalization and autonomy, as well as diversity and openness in the private sector. These changes ultimately led to an increase in the growth potential of the economy, which, in turn, caused an increase in economic growth and, as a result, an increase in the welfare of economic entities.

In modern conditions IT and digital transformation of economy is the driver of technological changes and a condition of competitiveness both at the level of the separate enterprises, and at the level of the countries. Digitalization leads to reorganization of all economic and productions, to radical increase in productivity, improvement of quality, decrease in costs of goods and services. That's why additional education of the specialists in digitalization of entrepreneur activity is very relevant.

The perspective direction of the development of master training in the business is "Digital Engineering Entrepreneurship" master program opening. Main objective of the program is training of the highly skilled engineers-economists for the industrial sector having profound knowledge in implementation of business activity in the conditions of digital transformation of business processes and infrastructure at the enterprise. The main disciplines of new master program are Innovation Economics and Business, Enterprise Economics, Information management, Theory of Innovation Development and Competitive Advantages, Digital Management of Raw Flows, Investment Project Management in Technological Entrepreneurship, Common Information Space of Enterprise Planning and Management, Engineering, etc.

The Digital Engineering Entrepreneurship master program is absolutely new for Belarusian educational organizations, when not only theoretical material is used during the educational process of engineers-economists but also a digital approach that takes into account the current requirements of potential employers, competencies, experience and best practices of specialists from EU universities.

References

[1] Go Jongsuk. The onset of the digital economy and the consequences of its result for the Korean economy / Go Jongsuk. - Seoul: Institute of Foreign Economic Policy Publishing House, 2015. - 448 p. (in Korean).

[2] Kim Kiwuan. Digital Economy of the Republic of Korea / Kim Kiwuan. - Seoul // Journal of the Korean Development Institute. - 2017. No. 04. - P. 5 - 7. (in Korean).

[3] Kim Seongho. 5 Major Megatrends of the Korean Economy in the 21st Century / 3. Kim Seongho - Seoul: Kyohaksa Publishing House. - 2017 .- 319 p. (in Korean).

[4] Kovalev M. M. Digital economy - a chance for Belarus / M. M. Kovalev. G.G. Golovenchik. - monograph. - BSU, 2018 .- 328 p.

[5] Kim Han Suk. Increasing Returns of Scale and Economies of Scale / Han Suk Kim - Seoul: Korean Economic Research Institute Publishing House. - 2016 .- 119 p. (in Korean).

[6] Forecast of the growth rate of the industry focused on the elderly (%) x [Electronic resource] - Access mode: https://slidesplayer.org/slide/14099406/ - Access date: 29/07/2019 (in Korean)

[7] Announcement of the results of the "Survey of trends in the main areas of ICT 2017" [Electronic resource]. - Access mode: https://www.ctp.or.kr/newsletter/432/index09.asp - Access date: 29/07/2019 (in Korean)

[8] Korean National Statistical Office [Electronic resource]. - Access mode: http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1009 - Access date: 29/07/2019 (in Korean)

[9] Korean National Statistical Office [Electronic resource]. - Access mode: http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=2716 - Access date: 29/07/2019 (in Korean)

[10] Korean National Statistical Office [Electronic resource]. - Access mode: http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1063 - Access date: 29/07/2019 (in Korean)

[11] Top 10 countries with an average Internet speed in 2017 [Electronic resource]. - Access mode: <https://www.bloter.net/archives/281976.> - Access date: 26.07.2019 (in Korean)

[12] The level of distribution of smartphones in 2018 [Electronic resource]. - Access mode: <http://catalk.kr/information/smartphone-ownership-rate.html.> - Access date: 26.07.2019. (in Korean)

[13] Yun Seung Hee. Development of information and communication technologies and political development / Yun Seung Hee - Seoul: "Mungen" Publishing house. - 2017 .-- 219 p. (in Korean)

[14] The Internet Economy in the G-20. The $ 4.2 Trillion Growth Opportunity // The Boston Consulting Group. - [Electronic resource]. — Mode of Access: http://image-src.bcg.com/Images/The_Internet_Economy_G-20_tcm9-106842.pdf. - Date of access: 25.07.2019.

Организация Удаленного Обучения для Иностранных Магистрантов на Примере Учебной Дисциплины «Маркетинг Инновационного Проекта»

Борис Железко
кафедра маркетинга
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
boriszh@yandex.by

Ольга Синявская
кафедра промышленного маркетинга и коммуникаций
Белорусский государственный экономический университет
Минск, Республика Беларусь
olechka_si@mail.ru

Remote Learning Organization for Foreign Master Students on the Case of the Course «Marketing of the Innovation Project»

Boris Zhalezka
dept. of Marketing
Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus
boriszh@yandex.by

Volha Siniauskaya
dept. of Industrial Marketing and Communications
Belarusian State Economic University
Minsk, Republic of Belarus
olechka_si@mail.ru

***Аннотация*—В статье рассмотрен опыт удаленного обучения иностранных магистрантов (граждан Китая) по дисциплине «Маркетинг инновационного проекта». Выявлены проблемы, а также положительные факторы и особенности, возникающие при обучении иностранных магистрантов в удаленном формате. Описаны проведенные мероприятия, которые позволяют обеспечить эффективные результаты такого обучения. Предложены перспективные направлениям развития удаленного обучения иностранных магистрантов.**

***Abstract* —The experience of remote learning organization for foreign master students (Chinese citizens) on the case of the course «Marketing of the Innovation Project» is considered. Problems, positive factors, and peculiarities of foreign master students' remote learning are revealed. Events needed for effective remote learning results are described. Perspective directions of master students' remote learning are suggested.**

Ключевые слова—удаленное обучение, магистратура, иностранные студенты, маркетинг инновационного проекта

Keywords—remote learning, magistracy, foreign students, marketing of the innovation project

I. Введение

Актуальность организации удаленного обучения очень возросла в связи с неблагоприятной эпидемиологической обстановкой, когда эта форма обучения стала единственной возможностью продолжать образовательный процесс.

Целью данной статьи является обобщение опыта удаленного обучения иностранных граждан, который будет рассмотрен на примере учебной дисциплины «Маркетинг инновационного проекта», читаемой для магистрантов профилизации «Событийный маркетинг» специальности «Маркетинг».

II. Особенности изучения дисциплины «Маркетинг инновационного проекта»

Учебный план профилизации магистратуры «Событийный маркетинг» был обновлен в 2019 году в рамках общей реформы магистратуры.

Учебная дисциплина «Маркетинг инновационного проекта» является новой дисциплиной государственного

компонента, входит в состав модуля «Маркетинг инноваций» и в 2019-2020 учебном году читалась впервые для всех профилизаций специальности магистратуры «Маркетинг».

В Белорусском государственном экономическом университете все учебно-методическое обеспечение данной дисциплины было разработано на двух языках (русском и английском), поскольку обучение по профилизации «Событийный маркетинг» организовано на английском языке, по остальным профилизациям («Маркетинг в бизнесе», «Маркетинг инновационного проекта» и др.) – на русском.

Учебная дисциплина «Маркетинг инновационного проекта» включает в себя 7 тем:

- инновационная деятельность экономических субъектов как объект проектирования и маркетинга,
- жизненный цикл инновационного проекта и его проектирование,
- маркетинговая оценка инновационного потенциала проекта,
- бизнес-план инновационного проекта и его структура,
- маркетинговый раздел бизнес-плана инновационного проекта,
- риски инновационного проекта и маркетинговые инструменты их идентификации, локализации и нейтрализации,
- оценка маркетинговой результативности и эффективности инновационного проекта.

Контингент профилизации «Событийный маркетинг» в 2019-2020 учебном году полностью был представлен иностранными магистрантами (16 граждан Китая). Дисциплина «Маркетинг инновационного проекта» читалась во втором семестре, ее изучение совпало с началом эпидемии в Китае, в связи с чем не все магистранты смогли вернуться в каникул. В дальнейшем в связи с пандемией обучение остальных магистрантов также было переведено на удаленную форму.

III. Проблемы удаленного обучения иностранных граждан

При обучении иностранных граждан, как правило, возникают следующие проблемы, накладывающие определенные особенности на организацию учебного процесса:

- недостаточно хорошее знание магистрантами английского языка в части понимания устной речи,
- отсутствие доступа к офисному и специализированному программному обеспечению с интерфейсом на английском языке,
- различный уровень начальных знаний магистрантов в предметной области учебной дисциплины (маркетинг, инновации),
- различный уровень владения магистрантами информационными технологиями.

Сферы предыдущего образования и профессиональной деятельности магистратов также весьма разнообразны.

Среди магистрантов встречались те, кто профессионально работает маркетологами и имеет опыт в данной сфере, те, кто имеет высшее образование и опыт работы в иных, не связанных напрямую с маркетингом сферах (образование, туризм, информационные технологии и другие), а также выпускники, не имеющие опыта работы, поступившие в магистратуру в год окончания вуза.

IV. Мероприятия по организации эффективного удаленного обучения иностранных магистрантов и их результаты

Внезапный переход на удаленное обучение стал дополнительной проблемой, которая была успешно решена наряду с вышеупомянутыми благодаря реализации следующих мероприятий:

- для магистрантов были подготовлены подробные конспекты лекций и презентации к ним по всем 7 темам учебной дисциплины «Маркетинг инновационного проекта», текст на презентациях позволял магистрантам наряду с устной речью лектора визуально воспринимать излагаемый материал, что значительно облегчало его понимание,
- в рамках изучения практической части учебной дисциплины «Маркетинг инновационного проекта» был подготовлен материал, объясняющий основные принципы экономических расчетов в сфере маркетинга инновационных проектов, подробно разобраны примеры решения задач, далее магистрантам предлагалось по аналогии с изученным примером решить аналогичные задачи и обосновать решения,
- проводился постоянный контроль усвоения магистрантами учебного материала: после проведения каждой из лекций магистранты выполняли тест, лабораторные занятия оценивались по результатам решения магистрантами задач,
- при организации удаленного обучения не было никаких ограничений и требований по использованию специального программного обеспечения, операционных систем или средств коммуникаций.

Как показал опыт, магистранты использовали для решения задач MS Excel с китайским интерфейсом, а также онлайн-сервисы для расчетов показателей экономической эффективности инновационных проектов.

От некоторых магистрантов поступали запросы на дополнительные консультации по MS Excel. Все магистранты успешно освоили учебную дисциплину «Маркетинг инновационного проекта». Результаты их рейтинговой оценки, на основании которой был выставлен зачет по данной учебной дисциплине, представлены в таблице I. Для сравнения в данной таблице также приведены результаты защиты магистерских диссертаций.

ТАБЛИЦА I. РЕЗУЛЬТАТЫ РЕЙТИНГОВОЙ ОЦЕНКИ МАГИСТРАНТОВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ «МАРКЕТИНГ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА» И ЗАЩИТЕ МАГИСТЕРСКИХ ДИССЕРТАЦИЙ

Номер магистранта	**Рейтинговая оценка по учебной дисциплине «Маркетинг инновационного проекта»**	**Оценка на защите магистерской диссертации**
1.	8,64	9
2.	8,73	10
3.	8,09	8
4.	8,36	7
5.	8,27	10
6.	7,82	9
7.	8,36	8
8.	8,36	7
9.	8,27	9
10.	7,45	7
11.	8,45	8
12.	8,27	7
13.	8,27	7
14.	5,55	8
15.	8,27	10
16.	6,91	7
Средний балл по группе	8,00	8,19

Положительным фактором при организации удаленного обучения являлась хорошая организованность иностранных магистрантов. Почти всегда они выполняли задания в установленный срок, раньше срока или с минимальными задержками. График учебного процесса хорошо соблюдался.

Следует отметить, что данные оценки являются высокими по сравнению с оценками иностранных студентов, обучающихся на первой ступени высшего образования (где средний балл, как правило, равен 4-4,5). Из таблицы также можно видеть, что средний балл по учебной дисциплине «Маркетинг инновационного проекта» близок к среднему баллу по защите магистерских диссертаций.

V. НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ УДАЛЕННОГО ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННЫХ МАГИСТРАНТОВ

Направлениями развития удаленного обучения иностранных магистрантов можно считать:

- использование для проведения он-лайн занятий программного обеспечения MS Teams, которое имеет англоязычный интерфейс, совместимо с операционными системами компьютеров и мобильных устройств, позволяет проводить аудио- и видеолекции, контролировать посещаемость, оценивать успеваемость, при этом является более легким в освоении для иностранных магистрантов, чем, например, платформы Moodle или Google Class,
- привлечение к образовательному он-лайн процессу на иностранном языке зарубежных партнеров, в частности, в рамках международных проектов программы Erasmus+ [1],
- организациию удаленного обучения иностранных магистрантов на базе совместных учебных подразделений, созданных вузами и их бизнес-партнерами (совместные лаборатории, филиалы кафедр, центры компетенций и другие [2]).

Кроме того, необходима адаптация организационной составляющей учебного процесса к наиболее популярным платформам: Zoom, Microsoft Teams, Moodle (с учетом их особенностей, преимуществ и недостатков). Например, сложный интерфейс и относительная незащищенность от хакерских атак, плохое качество связи при повышенной нагрузке платформы, трудности с большим количеством команд, которые завязаны на определенном предмете. Например, в БНТУ потребовалось добавить в базу 11,5 тысяч студентов и 2,5 тысячи преподавателей.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенный опыт удаленного обучения китайских магистрантов дисциплине «Маркетинг инновационного проекта» показывает, что такая форма обучения может быть организована достаточно эффективно. Для успешного удаленного обучения иностранных магистрантов необходимо и очень важно учитывать особенности контингента обучающихся, их технические возможности и условия, в которых происходит обучение. Удаленное обучение является не только перспективным направлением, но и необходимостью в образовательном процессе в ближайшее время.

ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

[1] U. Khmialnitski, B. Zhalezka, V. Siniauskaya. “Directions of fostering of knowledge triangle “education-research-innovation” in the Republic of Belarus” в *Система "наука-технологии-инновации": методология, опыт, перспективы*: материалы международной научно-практической конференции, Минск, 1 декабря 2016 г. Под. ред. В.В. Гончарова. Минск: Центр системного анализа и стратегических исследований НАН Беларуси, 2016, с. 236 – 240.

[2] Б.А. Железко, О.А. Синявская. «Роль центров ИТ-компетенций SAP в вузах в повышении конкурентоспособности образовательных проектов и программ» в *Мировая экономика и бизнес-администрирование малых и средних предприятий*: материалы 16-го Международного научного семинара, проводимого в рамках 18-ой Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике» 26 марта 2020 года, Минск, Респ. Беларусь; программ. комитет С.В. Харитончик, А.В. Данильченко [и др.]. Минск: Право и экономика, 2020, с. 155 – 156.

Место Инноваций в Стратегическом Планировании Предприятия

Максим Вечерский
Кафедра «Бизнес-администрирование»
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь
ve4er.max@yandex.by

The Place of Innovation in the Strategic Planning of an Enterprise

Maksim Vecherskiy
dept. of Business-Administration
Belarusian National Technical University
Minsk, Belarus
ve4er.max@yandex.by

***Аннотация*—В условиях развития современной рыночной экономики приоритетным направлением деятельности каждой организации, является повышение ее конкурентоспособности. На своем пути организации часто сталкиваются с проблемами достижения финансовой устойчивости, увеличения рыночной доли, привлечения потребителей. Достижение преимущества над конкурентами невозможно без применения нововведений и правильно построенной инновационной стратегии.**

***Abstract*—In the conditions of development of modern market economy the priority direction of activity of each organization, is increase of its competitiveness. On their way, organizations often face the problems of achieving financial stability, increasing market share, attracting consumers. Achievement of advantage over competitors is impossible without application of innovations and correctly constructed innovative strategy.**

Ключевые слова—Инновации, инновационные стратегии, конкурентоспособность, цифровая трансформация

Keywords—Innovation, innovation strategies, competitiveness, digital transformation

Сегодня развитие экономики любого государства неразрывно связано с местом и темпами развития инновационного процесса. Инновации являются движущей силой и основой успешной деятельности любой организации. В настоящее время технологии развиваются стремительно, особенно в промышленности. В связи с этим возрастает необходимость подготовки квалифицированных специалистов в области инновационного менеджмента с углубленным изучением стратегического менеджмента.

На сегодняшний день существует множество способов интерпретации понятия «инновационная стратегия», однако, общим является то, что они направлены на достижение стратегических целей организации путем использования новшеств. Под новшеством понимается сам факт новизны какого-либо продукта или явления. Причем, результатом новшества может выступать как принципиально новый продукт, технология, так и модернизированные товары, процессы, направленные на повышение эффективности деятельности организации. Процесс практического внедрения новшеств называется нововведением. Инновации, в свою очередь, представляют собой внедренные новшества [1].

Инновации имеют большое значение в создании конкурентного преимущества. Различают продуктовые и процессные инновации. Продуктовые инновации подразумевают разработку или модернизацию определенного товара, продукции. Процессные инновации направлены на совершенствование методов или разработку новых технологий производства продукции. Эффектом внедрения новшеств может выступать выпуск новых товаров, отличающихся от конкурентов, повышение качества существующих товаров, снижение затрат на производство, возможность увеличение объемов выпуска продукции. Инновации могут дать сравнительное преимущество, до тех пор, пока она не будут воспроизведены конкурентами. Инновации могут стать источником конкурентного преимущества организации различной степени устойчивости:

- Низкая степень. Данный вид преимущества не создает никаких барьеров для воспроизведения их

конкурентами. К таким преимуществам относится: выгодное положение относительно источника ресурсов, достижение эффекта масштаба и др.

- Средняя степень. Для имитации такого источника преимущества конкурентами необходимо больше времени, чаще всего к данной категории можно отнести улучшающие инновации, которые не создают сложности для копирования. Организации-разработчики, для того чтобы получить больший запас времени от потенциального заимствования технологий, самостоятельно создают барьеры, препятствующие копированию разработок конкурентами, например, патентуют разработки, создают условия для предотвращения распространения коммерческой информации др.

- Высокая степень. Данные степень преимущества характерна для капиталоемких, технологически-сложных инноваций. Некоторые организации просто не могут позволить себе гнаться за технологиями подобной сложности. Ведь, помимо больших затрат на исполнение инноваций необходимо добиться такого же высокого качества исполнения продукции, что может явиться непосильной целью. Поэтому данная инновация сама по себе является барьером к копированию конкурентами [2].

Таким образом, инновации направлены на создание конкурентного преимущества организации. Срок, в течении которого организация-разработчик сможет пользоваться данным преимуществом, зависит от сложности новшества для копирования конкурентами, а также от собственных попыток организации препятствовать заимствованию технологий.

Однако не всегда инновации несут за собой благоприятные последствия. Возможны ситуации, когда даже самые перспективные инновации, могут принести вред организации из-за того, что они реализованы не в подходящее для рынка время. Во время кризиса, некоторые инновации могут остаться незамеченными, а глобальные проекты могут потерпеть крах ввиду недостаточного финансирования и ухудшить положение самой организации. В некоторых случаях, снижение активности на рынке может стать хорошей возможностью для начала разработок, чтобы вывести продукт на рынок уже после восстановления экономики. Все эти факторы должны быть тщательно проанализированы и отражены в инновационной стратегии организации [3].

Стратегия развития организации представляет собой деятельность по постоянному качественному улучшению ее процессов для достижения целевых показателей. Именно непрерывное развитие организации служит фундаментом повышения ее конкурентоспособности, при условии учета следующих факторов:

- Постоянное совершенствование технологии производства. На сегодняшний день технологии развиваются стремительно, и необходимо постоянно проводить мониторинг рынка на предмет более совершенных методик построения процесса производства, для того, чтобы в дальнейшем перенять их или использовать как базу развития новых методик.

- Используемые технологии должны быть востребованы рынком. Очень важно, чтобы развитие организации было увязано на потребностях рынка, так как даже самые продвинутые технологии могут быть неправильно восприняты рынком или вообще остаться незамеченными. Связи с этим, разработанные технологии не смогут найти ожидаемого отклика, а затраты, понесенные на их создание, негативно скажутся на финансовом состоянии организации.

- Способность быстро реагировать и внедрять новые технологии. Малый и средний бизнес становятся главным источником новшеств, благодаря способности их производства быстро осваивать новые методики производства. Крупные организации не могут быстро подстраиваться под изменение технологического уровня, ввиду необходимости полного изменения производственного процесса, что требует больших капитальных затрат и времени. Поэтому гибкость производства является важным фактором, позволяющим использовать преимущества, пока технологии не будут переняты конкурентами [4].

Ценность учета данных факторов можно проследить в 2020 году. Ввиду необходимости сокращения личных контактов, возросла роль информационно-коммуникационных технологий. Несмотря на то, что уровень развития информационных технологий с каждым годом растет с ускоренными темпами, практическое их применение на предприятиях остается на достаточно низкой отметке. Особенно явно это можно увидеть на примере крупных предприятий, которые тяжело адаптируются к изменяющимся условиям. Предприятия охотнее инвестируют в новые производственные технологии, чем в организационные преобразования. В результате возникла ситуация, при которой производственные технологии используются неэффективно, ввиду отсутствия необходимых информационно-коммуникационных технологий, которые необходимы для оперативного реагирования. К концу 2020 года можно проследить значительное увеличение сделок совершаемых на электронных площадках. Таким образом, сложившаяся обстановка послужила толчком к быстрым организационным преобразованиям предприятий и ускорению цифровой трансформации экономики.

На основе перечисленных факторов можно сформулировать основные принципы формирования инновационных стратегий:

- Экономическая целесообразность. Все инновации требуют больших финансовых вложений, с учетом этого организация должна выбрать наиболее экономически эффективные направления ее развития. Однако, при этом недостаточно использовать в качестве критерия только ожидаемый экономический эффект, но и сроки его достижения, потребность рынка в данной инновации, так

как за период нововведения инновация может потерять актуальность.

- Конкурентоспособность. Все инновационные стратегии должны быть направлены на выработку конкурентных преимуществ организации. Так как инновационное развитие является довольно рискованным и затратным направлением, все стратегические решения должны быть исследованы на предмет возможности получения долгосрочного преимущества для достижения желаемого эффекта.

- Эффективность. Основным направлением инновационного развития является достижение положительного эффекта, как качественного, так и количественного. Доказанная количественная эффективность является основным критерием при принятии решения относительно реализации конкретного проекта, а также имеет приоритет при поиске заемного финансирования. Качественная эффективность важна для самой организации, так как результатом инноваций может являться не только прирост прибыли, но и повышение качества продукции, упрощение технологического процесса, рост влияния на рынке конкретного вида продукции и др.

- Законность инновационной деятельности. Инновационная деятельность должна соответствовать нормам существующего законодательства, в частности при использовании объектов интеллектуальной собственности. Это значит, что организация не может пользоваться технологиями других организаций, если они защищены авторским правом или патентами. Поэтому организация-владелец патента получает долгосрочное конкурентное преимущество, пока не будут разработаны новые опережающие технологии.

- Приоритетность инноваций. Существуют различные способы достижения целей организации, например, для повышения прибыли организации можно пойти по пути искусственного снижения расходов (покупка дешевого сырья, поддержание минимальной численности персонала и др.), однако данный путь не принесет длительного преимущества, поэтому при разработке стратегии стоит делать акцент на инновациях как залоге дальнейшего развития.

- Ориентация на долгосрочную перспективу. При формировании инновационной стратегии недостаточно ставить целью только финансовое благополучие организации, так как эффект от быстрого получения доходов может также быстро рассеяться и предприятие не успеет подготовить основу для дальнейшего развития. Стратегия предполагает прогнозирование деятельности организации на несколько лет вперед, а значит, должна учитывать все варианты ее стабильного развития за этот период.

- Адаптивность. В связи с изменчивыми условиями современной рыночной экономики, должна существовать возможность быстрой корректировки стратегии организации. При изменении рыночных укладов может выиграть та организация, которая позаимствовала технологии у своих конкурентов и смогла быстро адаптироваться под изменения. Структура, разработавшая технологии, при этом, может потерпеть поражение, ввиду того, что не сможет отклониться от разрабатываемого годами направления.

- Системность. Стратегии должны оказывать комплексное воздействие на организацию и не могут быть направлены на развитие отдельных ее процессов.

- Экологическая безопасность и нравственное базирование. При разработке инновационной стратегии стоит учитывать и влияние, которое отразится на человеке и окружающей среде, организация должна отвергать любые проекты, оказывающие негативное влияние на общество или экологию [5].

Таким образом, именно системный подход является основой методологии формирования эффективной инновационной стратегии. Только логически построенная система взаимосвязанных этапов с каждым шагом уменьшает количество потенциальных моделей развития, пока не будет найдена оптимальная стратегия. Правильное выполнение каждого из пунктов позволяет предприятию найти, так называемую, стержневую компетенцию, то есть его отличительные особенности позволяющие производить товары качеством выше среднего по отрасли. Данные особенности подходят только одной организации и не могут быть скопированы конкурентами. Важным элементом определения стержневой компетенции, является наличие квалифицированных специалистов, так как технология может быть заимствована конкурентами в достаточно короткие сроки, а воссоздание профессионального коллектива, способного освоить данную технологию, может занять много времени. Стержневые компетенции являются абсолютным источником конкурентоспособности любого субъекта, позволяющие ему становиться лидером в отрасли. Поиск таких компетенций является главной целью стратегического планирования каждой организации.

ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

[1] Агарков, С. А. Инновационный менеджмент и государственная инновационная политика: учебное пособие / С. А. Агарков, Е. С. Кузнецова . Москва: Академия Естествознания, 2011. 143 с.

[2] Амосов, А. О долгосрочной стратегии модернизации и развития промышленности / А. Амосов // Экономист. 2012. № 9. С. 3-15.

[3] 13. Ефимова С. М. Обоснование стратегии модернизации промышленного производства / С. М. Ефимова // Науковедение. 2013. №4. С. 1-7.

[4] 17. Карпов, А. С. Стратегическое управление и эффективное развитие бизнеса /А. С. Карпов - Москва: Результат и качество, 2015. 528 с.

[5] Мушкатова, М. С. Влияние организации инновационной деятельности на экономическую эффективность работы предприятия / М. С. Мушкатова, Т. С. Викторова // Экономика и современный менеджмент. 2012. №3. С. 23-26.

Технології Big Data при Прийнятті Економічних Рішень: Переваги та Виклики на Шляху Використання

Тетяна Полозова, Ірина Шейко, Андрій Ткаченко
кафедра економічної кібернетики та управління економічною безпекою
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
tetiana.polozova@nure.ua, sheiko.irina@nure.ua, andrii.tkachenko@nure.ua

Big Data Technologies in Economic Decision Making: Advantages and Challenges on the Way of Usage

Tetiana Polozova, Iryna Sheiko, Andrii Tkachenko
Department of Economic Cybernetics and Management of Economic Security
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
tetiana.polozova@nure.ua, sheiko.irina@nure.ua, andrii.tkachenko@nure.ua

***Анотація* – В роботі проведено дослідження досвіду використання технології Big Data у прийнятті економічних рішень та проведенні економічних досліджень. Були виокремлені основні переваги використання технології Big Data у сфері маркетингу, у банківських операціях, при проведенні економічних досліджень. Big Data – це той інструмент, який може кардинально змінити методи оцінки деяких економічних процесів. Окремо були окреслені перепони на шляху використання технології Big Data: значні інвестиції у технічне переобладнання, інвестиції у зберігання даних, нестача кваліфікованих кадрів з аналізу даних. У сфері прийняття економічних рішень Dsg Data можна як інструмент, який підтримує центральну стратегію бізнесу і дає змогу аналізувати минулу та поточну діяльність та прогнозувати майбутні події.**

***Abstract* – The study of the experience of using Big Data technology in economic decision-making and economic research is conducted. The main advantages of using Big Data technology in the field of marketing, banking, economic research were highlighted. Big Data is a tool that can radically change the methods of estimating some economic processes. Challenges of Big Data technology usage were outlined: significant investments in technical re-equipment, investments in data storage, lack of qualified data analysis personnel. In the field of economic decision making, Dsg Data can be used as a tool that supports a central business strategy and allows you to analyze past and current activities and predict future events.**

Ключові слова – технології Big Data, аналіз даних,візуалізація даних, маркетинг, фінансова сфера, протидія кіберзлочинності

Keywords – Big Data technologies, data analysis, data visualization, marketing, financial sphere, cybercrime counteraction

I. Вступ

В умовах формування інформаційного суспільства в різних галузях економіки створюється і накопичується величезна кількість різноманітних даних. У промисловості, бізнесі невпинно зростає потік інформації, необхідної для управління підприємством. Постійно з'являються нові сервіси, засновані на застосуванні інформаційних і комунікаційних технологій (ІКТ). Щоб пропонувати клієнтам нові інформаційні продукти та послуги, підприємствам доводиться аналізувати великі

обсяги даних із різноманітних джерел. У результаті для підприємств накопичена інформація стає стратегічно важливим активом, від ефективності управління яким суттєво залежать результати їхньої діяльності.

Зростання обсягів інформації супроводжується появою апаратних і програмних засобів, здатних оперативно обробляти великі обсяги інформації, а також значним зниженням вартості збору, обробки, зберігання і передачі інформації. У результаті поєднання цих двох процесів – зростання потреби бізнесу в обробці і зберіганні великих обсягів даних і появи технічних засобів, здатних оперативно обробляти такі дані з мінімальними витратами, – з'явився один із найцікавіших і перспективних напрямів розвитку послуг, що отримав назву Big Data (Великі дані) [3].

У першу чергу, «Big Data» є базою даних, яка містить величезний набір інформації. До того ж, обсяг її настільки великий, що обробка великих обсягів даних стандартними програмними і апаратними засобами представляється вкрай складною. Іншими словами, Big Data – це вирішення проблеми зберігання та обробки надвеликих обсягів даних.

З іншого боку, обробка великих обсягів інформації – це тільки частина «айсберга». Як правило, коли говорять про термін «Big Data», то використовують найбільш популярне визначення трьох «V», що означають відповідно Volume – обсяг даних, Velocity – необхідність обробляти інформацію з великою швидкістю і Variety – різноманіття і часто недостатню структурованість даних. Третя сторона питання – це різноманітність і неструктурованість інформації. Все частіше в економічних дослідженнях, в прийнятті економічних рішень доводиться оперувати медіа-контентом, записами в блогах, слабо структурованими документами та іншими засобами [5].

Таким чином, коли ми говоримо про Big Data, ми розуміємо, що це пов'язано з трьома аспектами: великим обсягом інформації, її різноманітністю або необхідністю обробляти дані дуже швидко.

З іншого боку, під цим терміном часто розуміють абсолютно конкретний набір підходів і технологій, покликаних вирішити ці завдання. В основі одного з таких підходів лежить система розподілених обчислень, де обробка великих обсягів розподілена між кількома компьютерами, або з підключеням «хмарних» обчислень.

Зростаюче значення Big Data як активу компанії веде до розробки нових способів визначення цінності даних. Інтернет і поширення мобільних та інтелектуальних технологій докорінно змінило профіль і значущість даних в бізнесі. Дані все частіше використовується для управління операційною ефективністю.

Таким чином, актуальність дослідження питань використання технологій Big Data при прийнятті рішень в економічному та фінансовому секторах не викликає сумнівів.

II. Виклад основного матеріалу

Big Data як інформаційна категорія мають одну особливість на відміну від матеріальних ресурсів: для їх застосування необхідний по-справжньому високий рівень організації бізнес-процесів компанії. Без такого рівня підготовки, без наявності певної кваліфікації у бізнесі покупка (або збір) великих даних буде супроводжуватись низькою ефективністю.

Нині ринок Big Data обмежений станом розвитку інформаційних технологій, але інтенсивне зростання інформаційних мереж і вдосконалення інформаційних технологій знімає бар'єри з обчислювальних потужностей. Це змусить передові амбітні бізнеси змістити акцент у бік нових ефективних методик, інструментів, технологій менеджменту, що базуються на знаннях і навчанні [6].

Заперечувати величезне значення збору й аналізу Big Data для розвитку бізнесу неможливо. Особливо важливі великі дані для розподіленого та інформаційно-активного бізнесу. Середній та малий бізнес також з урахуванням деяких особливостей може опинитися у виграші від Big Data, особливо в кооперації з великими компаніями і спільнотами.

Big data надають можливості не тільки для великого бізнесу. Наявність онлайнових і «хмарних» платформ, таких як Google Analytics і Tableau, означає, що малі та середні підприємства можуть брати ідеї з великих даних без істотних капітальних вкладень. Не обтяжені великими застарілими системами, ці підприємства іноді здатні перестрибнути старі технології і почати безпосередньо з великих даних.

Отже, великі дані – це бізнес-інструмент, що використовується для досягнення конкурентної переваги (приносить прибуток чи мінімізує витрати). Для все більшого числа компаній, у дедалі різноманітніших галузях, це також і бізнес-модель. Наприклад, інтернет-компанії, такі як Google, були піонерами в монетизації великих даних. На сьогодні будь-який цифровий слід – це сировина для індустрії даних. Зазначимо, що можливості Big Data на сьогодні найбільше використовують компанії, які пов'язані з Інтернет (інтернет-реклама, електронна комерція) та з датчиками у інфраструктурних галузях (інтелетуальні мережі, інтелектуальні міста, «розумні датчики» як основа для формування «розумного дому») і в складних машинах (авіаційні двигуни).

Збір та аналіз даних традиційно застосовується маркетологами. В сфері маркетингу, як і в інших сферах, аналітика уже вбудована в додатки і використовується не тільки для управлінських, а й для операційних рішень, часто навіть без втручання користувачів. Наприклад, в роздрібній торгівлі використовують історію покупок клієнта для визначення персональних знижок чи реклами супутніх (пов'язаних) товарів [7].

За допомогою застосування технологій Big Data ми можемо вирішити як звичайні маркетингові задачі (визначення ядра аудиторії, оптимізація маркетингового бюджету та ін.), так і ті, які раніше на прийнятному рівні було складно вирішити (знаходження неочевидних кореляцій, персональні пропозиції чи деталізована поведінка клієнтів).

Зазначимо, що Big Data не повністю замінює традиційні маркетингові дослідження. Справа в тому, що для правильного управління даними необхідно подолати шум великих даних, тобто очистити дані. Маркетологи, беручи до уваги попередні дослідження, можуть проаналізувати набори даних і визначити, які з них придатні для використання. Технології Big Data застосовують для побудови ефективних маркетингових стратегій та створення інструментів для взаємодії з цільовою аудиторією. Обробка та систематизація великих даних дає наступні можливості для маркетологів:

- більш точно сегментувати аудиторію, виявляти мікросегменти;
- прогнозувати споживчу поведінку та реакцію на маркетингові кампанії чи іншу активність бренду;
- персоналізувати комунікацію з цільовою аудиторією;
- більш точно прогнозувати продажі, темпи зростання або спаду;
- залучати нових чи утримувати лояльних клієнтів з меншими витратами;
- створювати ефективні стратегії цифрового маркетингу з максимальним охопленням.

Щоб застосовувати Big Data собі на користь, компанії повинні розробити показники і стандарти для оцінки насамперед внутрішніх даних. Крім того, вони повинні об'єднати різні бази даних для вимірювання ефективності роботи організації та оцінки і прогнозування ризиків. Все, починаючи від коментарів в соціальних мережах аж до інформації про стандарти якості, умови праці та кредитні і політичні ризики зарубіжних ринків, може бути важливим для аналізу. Все більшої уваги потребують неструктуровані дані і дані, до яких немає прямого доступу у системі підприємства.

Також запровадження візуалізації даних це можливість для різних рівнів менеджменту відслідковувати процеси практично в реальному часі. На сьогодні вже існує багато сервісів для візуалізації даних, на кшталт, Tableau чи Tibco.

Отже, Big Data мають потенціал для перетворення майже кожного аспекту бізнесу – від досліджень і розробок до маркетингу та управління ланцюгом постачання.

У фінансовому секторі обробка великих даних дає можливість банкам проаналізувати кредитоспроможність позичальника, що, у свою чергу, дозволяє скоротити час розгляду кредитних заявок. За допомогою Big Data можна проаналізувати операції конкретного клієнта і запропонувати адаптовані саме для нього банківські послуги. Також банки використовують цю технологію у боротьбі з махінаціями пластикових карток. Завдяки цьому вдалося збільшити ефективність служб безпеки у декілька разів. Урбан [4] встановив, що обробка великих даних стала важливою частиною будь-якої стратегії сприяння розкриттю та запобіганню фінансових злочинів. Великі дані дозволили банкам широко застосовувати аналітику в реальному часі для задоволення зростаючих загроз.

До основних напрямів використання технології Big Data у банківському секторі відносяться:

– докладні дані про клієнтів для кращої диференціації існуючих та нових споживачів;

– використання даних з більш широкого кола джерел з метою оцінки потенційних позичальників і ризиків, пов'язаних з кредитами: неструктуровані дані соціальних мереж, блогів тощо;

– швидка ідентифікація порушення правил безпеки і прогнозування майбутніх порушень;

– використання централізованої інформації з метою забезпечення дотримання нормативних вимог до звітності, одночасно захищаючи конфіденційність клієнта;

– моделювання тенденцій розвитку майбутніх подій та розуміння стану бізнесу, щоб мати можливість управляти ризиками.

Українські банки практикують застосування технології Big Data на умовах аутсорсингу. Так, ПАТ «Правекс Банк» у рамках нової стратегії вирішив переглянути розташування своїх відділень і розмістити їх там, де знаходиться найбільший цільовий сегмент клієнтів. За зверненням банку «Київстар» розробив карту місць найбільшого скупчення таких клієнтів, які визначалися на основі моделі Big Data. Завдяки співпраці з «Київстар» банк отримав динамічну карту, яка давала порівняння місць перебування клієнтів з розташуванням відділень. Внаслідок цього ПАТ «Правекс Банк» вирішив перемістити в нові точки вісімнадцять відділень [1].

Згідно з дослідженнями міжнародної консалтингової компанії «McKinsey & Company» обсяг даних потужних світових банків перевищує 4 петабайта, проте лише третина їх використовується раціонально. Використання технології Big Data дозволяє покращити клієнтський сервіс, підвищити ефективність аналізу потенційного клієнта та знизити ризики шахрайства. Наприклад, фінансовим конгломератом «HSBC» запроваджено технологію «великих даних» до складу рішення протидії шахрайства з кредитними картами. В результаті ефективність служби щодо виявлення випадків шахрайства підвищилася в три рази, а точність його виявлення в десять разів. За перші два тижні експлуатації сім фахівців служби безпеки «HSBC» виявили нові кримінальні групи і схеми з загальним потенційним збитком понад 10 мільйонів доларів [2].

У деяких країнах Big Data також застосовується для протидії тероризму, оптимізації витрат на армію, моніторингу становища національних меншин, розвитку дорожньої мережі з урахуванням прогнозованого завантаження трас і аналізу переміщення громадян для

планування міської інфраструктури тощо. Крім того, урядові установи та агенції використовують Big Data для поширення статистичної інформації, збільшення точності, швидкості розрахунку статистичних показників, при обробці даних соціологічних опитувань тощо.

На рівні державного управління та місцевого самоврядування технології обробки великих обсягів даних можуть знайти застосування при аналізі адміністративних даних (особливо у таких сферах, як освіта, податки, соціальне страхування та видатки місцевого самоврядування). Результати такого аналізу можуть бути використані в економічних дослідженнях для встановлення нових взаємозв'язків, важливих фактів та ін. [2].

Державні установи також використовують переваги технології Big Data при моніторингу економічної діяльності приватного сектору. Традиційно велика частина цього робилася методами опитування. Наприклад, Бюро статистики праці США вимірює інфляцію цін, посилаючи геодезистів до магазинів, щоб вручну збирати інформацію про розміщені ціни та наявність приблизно 80000 відповідним чином вибраних предметів. Ці дані агрегуються у різні індекси інфляції, такі як Індекс споживчих цін. Проте зараз стають доступними альтернативні підходи до збору великих масивів даних, навіть у реальному часі, про ціни, зайнятість та витрати. Наприклад, Проект «Billion Prices Project» (BPP), розроблений групою вчених на базі Массачусетського технологічного інституту, забезпечує альтернативний показник інфляції роздрібних цін. Він спирається на дані сотень веб-сайтів роздрібної торгівлі в більш ніж п'ятдесяти країнах. Дані використовуються для побудови індексів цін, які можна оновлювати в режимі реального часу [8].

У Києві відкрився перший в Україні некомерційний інкубатор IT-проектів на основі відкритих даних – «1991 Open Data Incubator». Головне його призначення – трансформація великих обсягів державних даних з відкритим доступом в платформу для створення стартапів, які нададуть українцям зручні сервіси. У плани проекту входить «оцифровування» таких галузей економіки як енергетика, агробізнес, інфраструктурні проекти, державні послуги для громадян і внутрішні аналітичні системи в державі, тобто метою є «...надати нове цифрове життя найбільш нецифровим секторам економіки...» [9].

Одним з головних чинників, який гальмує впровадження Big Data-проектів, крім високої вартості, а також нестачі кваліфікованих фахівців, вважають проблему вибору оброблюваних даних: тобто визначення того, які дані необхідно отримувати, зберігати і аналізувати, а які – не брати до уваги.

Поки в Україні, порівняно із західними країнами, практично немає попиту на фахівців з Big Data. Водночас дослідження, проведене інститутом «McKinseu Global institute» показало гостру нестачу таких фахівців. Тільки Сполучені Штати в 2018 році зіткнулися з нестачею 190 тисяч осіб, що володіють навичками для роботи з Big Data. Розрив попиту на фахівців з Big Data може перевищити 60 відсотків пропозицій на американському ринку праці [2, с.11].

III. Висновки

Big Data – це той інструмент, який може кардинально змінити методи оцінки деяких економічних процесів. Уже зараз ця технологія чинить сильний вплив на економіку, сприяючи зростанню конкуренції та підвищенню продуктивності.

Таким чином, найближчим часом більшість великих і середніх промислових підприємств будуть впроваджувати передові західні стандарти управління. Економічної ефективності можна досягти за рахунок використання накопиченого попереднього досвіду розробників ERP-систем, а також впровадження готових рішень, які розроблені для інших підприємств з мінімальним доопрацюванням.

Але не можна підміняти Великими даними вирішення нагальних проблем. Краще розглядати їх як напрям, який підтримує центральну стратегію бізнесу і дає змогу бути в курсі того, що сталося, що відбувається і частково прогнозувати розвиток ситуації в майбутньому.

Література References

[1] Юхименко Т. В. Сучасні вектори розвитку банківського сектору в Україні та світі. *Економіка та держава*. 2015. № 10.С. 130-133.

[2] Піжук О. І. Великі дані як основоположний драйвер цифрової трансформації економіки. *Економіка та держава*. 2019. № 6. С. 50-54. DOI: 10.32702/2306-6806.2019.6.50.

[3] The business of data / Economist Intelligence Unit survey URL: http://www.eiuperspectives.economist.com/technology-innovation/business-data-0.

[4] Urban, M. (2014, December 18). Big data analytics in the fight against financial crime. URL: http://www.bobsguide.com/guide/news/2014/Dec/18/big-data-analytics-in-the-fight-against-financial-crime.html.

[5] De Mauro, Greco, Grimaldi (2016), A Formal Definition of Big Data Based on its Essential Features Library Review, Vol. 65 Iss: 3, pp.122 – 135, DOI: 10.1108/LR-06-2015-0061.

[6] D. Blazquez, J. Domenech (2018) Big Data sources and methods for social and economic analyses, *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 130,P. 99-113, doi.org/10.1016/j.techfore.2017.07.027.

[7] Harding, M., Hersh, J. Big Data in economics. IZA World of Labor 2018: 451 doi: 10.15185/izawol.451.

[8] Alberto Cavallo, W. Erwin Diewert, Robert C. Feenstra, Robert Inklaar, and Marcel P. Timmer *American Economic Association* - Papers and Proceedings, Vol 108: 483-487.

[9] "1991 Open Data Incubator". Офіційний вебсайт. URL: http://1991.vc/about/.

Інформаційні Технології в Системі Підготовки в Національному Виді Спорту України - Хортингу

Андрій Литвиненко, Ганна Грохова
кафедра фізичного виховання та спорту
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
wtka-iaksa@ukr.net, anna0282gr@gmail.com

Юлія Дорофєєва
кафедра медіасистем та технологій
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
julgub@ukr.net

Information Technology in the Primary Healthcare System in the National Sport of Ukraine – Horting

Andii Lytvynenko, Grokhova Ganna
Department of Physical Education and Sport
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
wtka-iaksa@ukr.net, anna0282gr@gmail.com

Yuliia Dorofieieva
Department of Mediasystems and technologies
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
julgub@ukr.net

***Анотація*—На основі аналізу значного емпіричного матеріалу показана результативність застосування сучасних інформаційних технологій для планування, побудови та корекції системи спортивного тренування в хортингу. Проаналізовано особливості національного виду спорту – хортингу у якості ефективного засобу техніко-тактичної, фізичної, психологічної та теоретичної підготовки. Зроблено висновки щодо доцільності застосування інформаційних технологій для побудови прогностичних моделей тренувальної та змагальної діяльності.**

Abstract—The article, based on the analogy of a significant numeric material, shows the effectiveness of the latest information technologies for the planning process, and encourages the use of Korean systems of sports training in hosting. The special features of the national type of sport - horting - have been made known by the fact that it is an effective means of technical-tactical, physical, psychological and theoretical training. We have also developed the use of information technologies to stimulate prognostic models of training and cognitive activity.

Ключові слова—система, спортивна підготовка, психологічний стан, аналіз, змагальна діяльність, фізичні якості, спортивна техніка, цінна інформація, ефективність.

Keywords—system, sports training, psychological condition, analysis, competitive activities, physical qualities, sports equipment, valuable information, efficiency.

I. Вступ

В останні десять років в практиці побудови системи підготовки в різних видах спортивних єдиноборств все більше поширення набуло застосування сучасних інформаційних технологій [1, 3]. Це пов'язано із значним зростанням обчислювальних можливостей спеціальної апаратури та запитів на ефективне програмне забезпечення моніторингу спортивної діяльності. Вважаючи, що національний вид спортивних єдиноборств – хортинг – має високий тренувальний і виховний потенціал та розвивається фахівцями високого кваліфікаційного рівня, інформаційні технології стали невід'ємною частиною побудови системи спортивного тренування.

II. Виклад основного матеріалу

Хортинг є сучасним українським національним видом єдиноборств в якому гармонійно поєдналися бойові традиції українського козацтва та сучасні досягнення науки о спорті [2, 4-6]. Правила змагань в хортингу дозволяють застосування різноманітної ударної і борцівської техніки та передбачають агресивне ведення спортивної боротьби в стійці та партері. Тобто за загально прийнятою класифікацією хортинг - сучасний різновид змішаних єдиноборств з повним контактом. Головною змагальною відмінною рисою хортингу є те, що в поєдинку спортсмени проводять раунди з різними

правилами – другий раунд проводиться без захисних рукавиць. Якщо в двох раундах не виявлено переможця то призначається третій раунд, який ведеться без обмеження часу до першої результативної техніки або до признання поразки одним із хортингістів. Поєдинки в хортингу проходять динамічно, видовищно і потребують високого рівня підготовленості спортсменів. Дослідження змагальної діяльності в хортингу показує, що в залежності від рангу змагань та віку хортингістів достроково (перевагою в балах, нокаутами та больовими і задушливими прийомами) закінчується до 60% поєдинків.

Спортивна підготовка в хортингу згідно прийнятого в теорії спорту класифікаційного підходу поділяється на технічну, тактичну, фізичну, психологічну, теоретичну та інтегральну підготовку. Огляд спеціальної літератури по обраній тематиці та наші власні дослідження показують, що сучасні інформаційні технології, адаптовані до вимог спорту, дають змогу значно покращити результативність всіх видів спортивної підготовки. В практиці досліджень спортивної діяльності одним з найбільш важливим критерієм ефективності техніко-тактичної підготовки є коефіцієнти атаки та захисту, які виражають співвідношення вдалих (результативних) спроб застосування технічних та тактичних прийомів до всіх, які були за визначений інтервал часу. Інформаційні технології на постійній основі застосовуються нами для дослідження змагальних сутичок на змаганнях різного рангу що дозволяє з високим степенем вірогідності розпізнавати, класифікувати та рахувати застосовані технічні дії, а також визначати технічні дії, які отримали оцінку суддів. Для визначення ефективності дій хортингістів в змагальних сутичках із зазначеними вище показниками призначений коефіцієнт витривалості. Він вказує на стабільність інтегральних показників спеціальної працездатності спортсменів протягом сутички.

Перспективними для подальших досліджень представляються, інформаційні технології на основі цифрової обробки даних, розпізнання образів з метою оперативного визначення психологічного стану спортсменів. Зростаючі обчислювальні можливості комп'ютерної техніки використовуються фахівцями, дослідниками спортивного тренування та змагальної діяльності в хортингу для встановлення кореляцій між окремими фізіологічними показниками організму спортсменів їх психологічним станом, а також змагальними результатами на різних етапах спортивної підготовки. Це дає змогу оптимізувати структуру тренувальних циклів, проводити корекцію навантажень та алгоритмів техніко-тактичної підготовки.

Високу результативність в системі підготовки спортсменів високого кваліфікаційного рівня показав метод математичного моделювання, модернізований із застосуванням інформаційних технологій. Для висвітлення напрямів покращення тренувального процесу створюються групові та індивідуальні моделі змагальної діяльності та спортивної підготовленості хортингістів. Порівняння їх із еталонними моделями дає змогу визначити резерви для подальшого вдосконалення змагального майстерства.

Авторами на основі класичних уявлень теорії спортивної підготовки в Олімпійському і професійному спорті та методології міждисциплінарного синергетичного дослідного підходу розроблений та опробований в процесі підготовки спортсменів різного кваліфікаційного рівня, синергетичний метод корекції тренувальної та змагальної діяльності [1, 3, 6]. Цей метод враховує здатність надскладних, відкритих, нелінійних, ієрархічно впорядкованих систем (до яких відносяться спортсмени) в певних обставинах входити в режим із загостренням. Такий режим виникає в певні моменти змагальної сутички і названий нами «періодом різкого загострення спортивної боротьби». Побудовані моделі дій спортсменів в періоди різкого загострення спортивної боротьбі показують їх значну відмінність від дій в інші періоди сутички і дають змогу визначити напрямки для ефективної корекції спортивного тренування.

III. Висновки

1. Застосування сучасних інформаційних технологій має значний позитивний ефект на процес спортивної підготовки і збільшує результативність тренувальних впливів.

2. Отримані інформаційні моделі тренувальної та змагальної діяльності дають змогу ефективної корекції складових частин спортивної підготовки, що достовірно сприяє зростанню змагальних результатів.

3. Національний український вид спортивних єдиноборств – хортинг, який формується в умовах наявності розвинутих засобів інформаційного забезпечення, є дієвим засобом фізичного та духовного розвитку студентської молоді.

Література References

[1] Ашанін В.С. Литвиненко А.М. Індивідуалізація техніко-тактичної підготовки в спортивних єдиноборствах / В.С. Ашанін, А.М. Литвиненко // Вісник Чернигівського національного педагогічного університету імені Т.Г. Шевченка. – Ч.: ЧНПУ, 2013. Вип. 107. Том 2 – С. 102-107.

[2] Капица С.П. Синергетика и прогнозы будущего / С.П.Капица, С.П.Курдюмов, Г.Г. Малинецкий. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 288 с.

[3] Коган М.С. Синергетическая парадигма – диалектика общего и особенного в познании различных сфер бытия [Текст] / М.С. Коган // В кн. Синергетическая парадигма. Нелинейное мышление в науке и искусстве. Под общ. ред. В.И. Аршинова, В.Г. Буданова, В.Э. Войцеховича. – М.: Прогресс-Традиция, 2002. С. 28 – 50.

[4] Литвиненко А.М. Вдосконалення силових якостей спортсменів у хортингу / А.М. Литвиненко // Збірник наукових праць «Теорія і методика хорингу» Випуск 6, Видавець Паливода А.В., Київ 2016. – С. 132-137.

[5] Литвиненко А.М. Індивідуалізація техніко-тактичної підготовки в спортивних єдиноборствах / А.М. Литвиненко // Вісник Чернигівського національного педагогічного університету імені Т.Г. Шевченка. – Ч.: ЧНПУ, 2013. Вип. 107. Том 2. – С. 102-107.

[6] Prigogine I. The Die is Not Cast // Futures. Bulletin of the World Futures Studies Federation. Vol. 25, No. 4. January 2000. – P. 17-19.

Метод Оцінювання Рівня Вивченості Суб'єкта Навчання

Валентин Козлов
Кафедра військового зв'язку та інформатизації
Національна академія
Національної гвардії України
Харків, Україна
kozlov1945ve@gmail.com

Юрій Козлов
Кафедра метрології та технічної експертизи
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
yurii.kozlov@nure.ua

Володимир Кобзєв
Кафедра прикладної математики
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
volodymyr.kobziev@nure.ua

Інна Мощенко
Кафедра метрології та технічної експертизи
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
my1485@ukr.net

Method of Assessing the Level of Learning Subject of Training

Valentin Kozlov
Department of communication and informatization
National Academy National Guard of Ukraine
Kharkiv, Ukraine
kozlov1945ve@gmail.com

Yuri Kozlov
Department of Metrology and Technical Expertise
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
yurii.kozlov@nure.ua

Volodymyr Kobziev
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
volodymyr.kobziev@nure.ua

Inna Moschenko
Department of Metrology and Technical Expertise
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
my1485@ukr.net

***Анотація*–Розглянуто метод експертного оцінювання з використанням чотирибальних шкал порядку, придатий для визначення рівня вивченості суб'єкта навчання.**

***Abstract*–The method of expert assessment using four-point scales of order, given to determine the level of study of the subject is considered.**

Ключові слова–експертний метод, шкали, результати навчання.

Keywords–expert method, scales, learning outcomes.

I. Вступ

Визначимося з дефініціями.

Навчання (в автентичному перекладі з російської) – основний шлях отримання освіти, процес оволодіння знаннями, уміннями та навичками під керівництвом педагогів, майстрів, наставників і т.д. [1]. Результат навчання точніше за все можна виразити словниковим терміном "виучка (військова)" [2]. У нашому випадку застосуємо винесений у заголовок цивільний аналог цього терміна – вивченість – показник (бажано інтегральний), що характеризує проміжний або кінцевий результат

навчання як рівень засвоєння суб'єктом навчання (СН) знань, умінь та навичок у певній галузі людської діяльності.

II. Виклад основного матеріалу

В освітянській (педагогічній) діяльності при вимірюванні рівня вивченості СН застосовують різноманітні шкали порядку (ШП): чотирибальну, десятибальну, дванадцятибальну тощо.

Чотирибальна шкала (ЧШ) порядку протягом довгих років широко застосовується у педагогічній кваліметрії. Відмітимо, що для отримання більш якісного розрізнювання об'єктів порівняння (суб'єктів навчання0 діапазон оцінок розширюють: викладачі застосовують іноді оцінки типу 2+ або 4–. Метод ноніуса [3] дозволяє збільшити число градацій у межах однієї поділки основної шкали. Наприклад, шкала ртутного термометра, що слугує для вимірювання температури тіла людини, з діапазоном 33 – 42 °С, має поділку в 1 °С і ноніус 1/10.

Використання ноніуса 1/100 означає, що при записі результату оцінювання (вимірювання) необхідно залишати дві цифри після коми; при цьому абсолютна похибка не перевищить ±0,010. Можливість розрізнення збільшується у сто разів при незмінній довжині шкали. Для чотирибальної шкали оцінки, наведені наприкінці другого речення цього абзацу, будуть відповідати значенням 2,33 і 3,66. Введену таким чином шкалу назвемо удосконаленою чотирибальною шкалою (УЧШ).

Метод ноніуса також можна застосувати до десятибальної (ДсШ), дванадцятибальної (ДвШ) та інших шкал порядку. Рисунок 1 і таблиця I ілюструють відповідність оцінок за УЧШ, десяти- та дванадцятибальною шкалами, що характеризується так званим реперними точками, основними з яких є трійки: 2,00 – 1 – 0; 3,00 – 4 – 4; 4,00 – 7 – 8; 5,00 – 10 – 12 відповідно.

Якщо продовжити зіставлення цих шкал, то виникають асоціації:

- оцінки 2+ і 3– (2,33 і 2,66 за УЧШ) можна вважати балами 2 і 3 за ДсШ, далі за аналогією;

- оцінки 2+, 2++ і 3– (2,25, 2,50 і 2,75 за УЧШ) можна вважати балами 1, 2 і 3 за ДвШ; далі за аналогією.

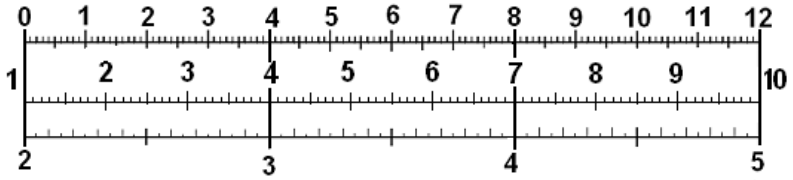


Рис. 1. Номограма зв'язку оцінок за УЧШ, десяти- та дванадцятибальною шкалами

ТАБЛИЦЯ I. ВІДПОВІДНІСТЬ ОЦІНОК ЗА УЧШ, ДСШ ТА ДВШ

Назва шкали	**Оцінки**											
УЧШ	2,00	2,25	2,33	2,50	2,66	2,75	…	4,33	4,50	4,66	4,75	5,00
Дванадцятибальна шкала	0	1	-	2	-	3	…	-	10	-	11	12
Десятибальна шкала	1	-	2	-	3	-	…	8		9		10

ТАБЛИЦЯ II. ВІДПОВІДНІСТЬ СУДЖЕНЬ БАЛАМ ЧОТИРИБАЛЬНОЇ ШКАЛИ

Судження	**Бал**
Так	5
Скоріше так, чим ні	4
Скоріше ні, чим так	3
Ні	2

З викладеного можна зробити проміжний висновок, що використання ЧШ і УЧШ робить застосування десяти- і дванадцятибальної шкал для оцінювання рівня вивченості суб'єктів навчання недоцільним.

Значення оцінок чотирибальної шкали виражають словами "незадовільно", "задовільно", "добре" і "відмінно", що свідчить про їх нечисловий характер. Бали за результатами оцінювання виставляють експерти (викладач або група викладачів) як відповідь (судження) на запитання (твердження) типу "Відповідає чи ні зміст відповіді смислу твердження?" (табл. 2).

Зазначимо, що відомий приклад перетворення температурної шкали від неградуйованої до шкали порядку і далі до шкала відношень ілюструє можливість переходу між шкалами. Очевидно, що можливий і зворотний перехід, зокрема, до балів УЧШ [4],

Результат оцінювання рівня вивченості СН за декількома запитаннями (завданнями, задачами тощо) у балах чотирибальної або/та удосконаленої чотирибальної шкали – середнє арифметичне значення в УЧШ. Для даних загальної природи і вузьких шкал це не суперечить теорії [5] і підтверджено розрахунками [6].

III. Висновки

Таким чином, викладене вище дозволяє запропонувати до застосування систему оцінювання рівня вивченості суб'єкта навчання як послідовність таких процедур:

- оцінюють значення часткових показників вивченості (ЧПВ) СН у будь-який спосіб за будь-якою з кількісних шкал або шкал порядку;
- приводять до УЧШ та усереднюють отримані значення часткових показників;
- визначають вагу ЧПВ експертним методом приписування балів [3];
- розраховують інтегральний показник вивченості (ІПВ) СН ваговим або іншим методом.

При необхідності за розрахованими значеннями ІПВ суб'єктів навчання складають ранжируваний список, який подають особі, що приймає рішення.

Інтегральний показник вивченості може слугувати також як опосередкована оцінка діяльності педагогів, майстрів, наставників і т.п.

Література References

[1] Большая Энциклопедия Кирилла и Мефодия-2000 [Электронный ресурс] – Москва: Совр. Универс. Рос. Энцикл., 2000. – 1 электрон. опт. диск (CD ROM).

[2] Російсько-український словник / Уклад. Д.І. Ганич, І.С. Олійник. – Київ: Гол. ред. Укр. радянської енцикл., 1979. – 1012 с.

[3] Шабалин С.А. Прикладная метрология в вопросах и ответах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://padaread.com/?book=23281. – Загл. с экрана.

[4] Козлов В.Є. Удосконалення моделі особистості кандидата до вступу у військовий вищий навчальний заклад / В.Є Козлов, О. О. Новикова, В.Т. Оленченко // Зб. наук. праць ХУПС, 2016. – №3 (48). – С. 205-207.

[5] Орлов А.И. Эконометрика. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2009. – 572 с.

[6] Козлов В.Є. Теоретико-множинний метод експертного оцінювання / В.Є. Козлов, О.О. Новикова // Системи обробки інформації. – 2012. – Вип. 9(107). – С. 291-293.

Побудова Системи Моніторингу та Керування Безпілотними Збиральними Комбайнами

Сергій Шворов
кафедра автоматики та робототехнічних систем
Національний університет біоресурсів і природокористування
Київ, Україна
sosdok@i.ua

Юхименко А.С.
кафедра автоматики та робототехнічних систем
Національний університет біоресурсів і природокористування
Київ, Україна

Лариса Мартинович
кафедра комп'ютерних систем та технологій
Одеський національний університет ім.І.І.Мечникова
Одеса, Україна
larysa.yaroslavna@onu.edu.ua

Ільнара Шаріпова
кафедра комп'ютерних систем та технологій
Одеський національний університет ім.І.І.Мечникова
Одеса, Україна
iln.sharipova@ukr.net

Construction of Monitoring System and Management of Unmanned Harvesters

Sergey Shvorov
Department of Automation and Robotic Systems
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
sosdok@i.ua

Ukhymenko A.
Department of Automation and Robotic Systems
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine

Larysa Martynovych
dept. of Computer System and technology
I.I.Mechnykov Odesa National University
Odesa, Ukraine
larysa.yaroslavna@onu.edu.ua

Ilnara Sharipova
dept. of Computer System and technology
I.I.Mechnykov Odesa National University
Odesa, Ukraine
iln.sharipova@ukr.net

***Анотація*—У роботі розглядається підхід та технічні принципи побудови інтелектуальної системи моніторингу та керування (ІСМК) процесами збирання біомаси для біогазових установок (БГУ) на забруднених після чорнобильської катастрофи землях. За допомогою запропонованої ІСМК вирішуються наступні задачі: моніторинг процесу вирощування та визначення обсягів біомаси на основі застосування супутникових та літакових платформ; розпізнавання активних і пасивних перешкод на шляху руху безпілотних збиральних комбайнів (БЗК); розподіл БЗК по полях та планування оптимальних маршрутів їх руху для збору біомаси; оперативне управління процесами завантаження та доставки до БГУ сировини**

***Abstract*—The paper considers the approach and technical principles of building an intelligent system of monitoring and control (ISMC) of biomass collection processes for biogas plants (BGP) on the lands contaminated after the Chernobyl disaster. With the help of the proposed ISMC the following tasks are solved: monitoring the process of growing and determining the amount of biomass based on the use of satellite and aircraft platforms; recognition of active and passive obstacles in the way of unmanned combine harvesters (UCH); distribution of UCH by fields and planning of optimal routes of their movement for biomass collection; operational management of loading and delivery of raw materials to BGP**

Ключові слова—моніторинг, біомаса, супутникові та літакові платформи, керування, біогаз, безпілотна роботизована збиральна техніка

Keywords—monitoring, biomass, satellite and aircraft platforms, control, biogas, unmanned robotic harvesting equipment

I. Вступ

Одним із найважливіших завдань на сьогоднішній день є розробка та реалізація перспективних технологій промислового виробництва біометану для заміщення природного газу. Одним із напрямків отримання максимальних об'ємів біометану є використання на біогазових заводах біомаси енергетичних культур. Після чорнобильської катастрофи більше ніж 3000 кв. км ріллі, луків і пасовищ були вилучені з господарського обороту. Через 34 роки після аварії на територіях, що зазнали радіаційного забруднення, відбувається ренатуралізація і відновлення природних флористичних і фауністичних процесів. Використання половини цих зон для

вирощування енергетичних рослин може дати енергетичний еквівалент у кількості 1,5-2 мільярдів кубів біогазу. Вирішення цього завдання у великих промислових масштабах передбачає розробку та застосування інтелектуальних систем моніторингу та керування процесами збирання ЕК для БГЗ. Однак, на даний час недостатньо повно досліджені методи визначення обсягів енергетичних культур з БПЛА, планування збиральних робіт на неякісних (забруднених після чорнобильської катастрофи) землях, синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху перспективної безпілотної роботизованої збиральної техніки та побудови інтелектуальних систем моніторингу та керування процесами збирання ЕК для біогазових установок (комплексів і заводів).

Метою роботи є обґрунтування функціональної структури інтелектуальної системи моніторингу ЕК та керування БЗК при збиранні ЕК для біогазових установок.

У роботі для досягнення поставленої мети вирішуються наступні задачі: розробка методу та алгоритму розпізнавання та визначення обсягів біомаси на полях за допомогою безпілотних літальних апаратів та космічних апаратів; обґрунтування методу синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху роботизованої збиральної техніки з мінімальною довжиною маршрутів руху БЗК у процесі збору біомаси та з урахуванням пасивних (нерухомих) перешкод; розробка методу та алгоритму розпізнавання ЕК та активних (рухомих) перешкод на шляху пересування БЗК; обґрунтування функціональної структури гібридної інтелектуальної системи моніторингу та керування процесами збирання ЕК; створення бази знань і системної інтеграції методів, алгоритмів та продукційних правил інтелектуальної підтримки прийняття рішень.

II. Обґрунтування функціональної структури ІСМК

За допомогою запропонованої ІСМК повинні вирішуватися наступні функціональні задачі: моніторинг процесу вирощування та визначення обсягів ЕК на основі застосування БПЛА, КА та інших інформаційних джерел; розпізнавання активних і пасивних перешкод на шляху руху БЗК, розподіл РЗТ по полях та планування компромісно-оптимальних маршрутів її руху для збору ЕК; оперативне керування БЗК. Для вирішення перерахованих задач ІСМК повинна включати підсистеми моніторингу, планування та оперативного керування процесами збирання ЕК. Крім того, однією з найбільш важливих задач, яка вирішується за допомогою ІСМК, є розміщення посівів різних енергетичних культур, моніторинг їх стану та їх диференційне підживлення на спеціально визначеній місцевості з урахуванням геофізичних особливостей для кожної культури. Найбільш перспективним є використання БПЛА та КА для планування та керування рухом безпілотної збиральної техніки в залежності від наявності врожаю та перешкод на кожній ділянці поля.

Процес планування змісту та часу виконання робіт поділяється на декілька етапів, а саме: сівба ранніх озимих культур та їх збирання, сівба наступних ЕК та їх збирання. Кожний із перерахованих етапів планування має свої особливості, і для їх реалізації доцільно передбачити в ІСМК відповідну базу даних та знань.

Підсистема моніторингу ЕК являє собою геоінформаційну систему, яка отримує дані про кількість і стан ЕК з датчиків інформації, що розташовані на БПЛА та КА, а також з інших інформаційних джерел. На основі цих даних формується множина припустимих рішень щодо поліпшення стану енергетичних культур, а також організації збору та подальшого використання органічної сировини в БГУ. Після проведення фотозйомки на електронній карті поля на основі статистичної обробки RGB-сигналів визначається декілька контрастних за оптичними характеристиками зон (ділянок). Для кожної із цих зон експериментально розраховуються контрольні обсяги врожаю, які використовуються для навчання нейронної мережі. За допомогою спеціального програмного забезпечення обробки спектральних характеристик цифрових знімків кожної ділянки місцевості з використанням апарату нейронних мереж визначаються обсяги врожаю на шляху руху безпілотних комбайнів, що забезпечує оперативне прийняття рішень для їх розподілу, планування маршрутів та керування рухом БЗК.

III. Застосування ІСМК

Специфіка використання супутникових та літакових платформ для визначення обсягів ЕК обумовила технічні рішення щодо вибору спектральних каналів БПЛА та методик радіочастотної корекції, тобто корекції щодо змін освітлення. Підвищення точності та вірогідності результатів радіочастотної корекції щодо змін освітлення досягається шляхом використання штатного експонометра фотокамери, додаткового зенітного сенсора, природних чи штучних оптичних шаблонів.

Неоптимальне планування польових робіт призводить до накладання маршрутів руху збиральної техніки, затримок в її роботі і, як наслідок, надмірних витрат пального. З метою усунення цих недоліків за допомогою ІСМК повинно забезпечуватися планування збиральних робіт і розрахунок оптимальних траєкторій руху збиральної техніки, які вводяться в навігаційне обладнання кожного збирального засобу.

На основі отриманої інформації про біомасу з БПЛА та КА забезпечується планування маршрутів руху та розподіл БЗК по технологічним ділянкам на основі використанням методів динамічного та лінійного програмування. Крім того, за допомогою ІСМК обґрунтовується рішення про доцільність залучення до збирання ЕК необхідної кількості роботизованих збиральних комбайнів і безпілотних транспортних засобів.

При розробці методу та алгоритму планування збиральної техніки передбачається, що процес планування збиральних робіт для БЗК являє собою керований багатоетапний динамічний процес, який на кожному етапі характеризується двома видами параметрів: параметрами керування (кількістю спланованих безпілотних комбайнів) і параметрами стану (об'ємом зібраної біомаси на

кожному етапі). У вигляді обмежень виступає сумарний ресурс часу збиральних робіт, що виділяється на збиральну кампанію. Кінцевою метою планування збиральних робіт на кожному полі є максимальний обсяг зібраних ЕК.

У підсистемах планування та керування БЗК, залежно від наявності роботизованих технічних засобів і прогнозованих умов збиральної кампанії, генерується множина варіантів виконання робіт БЗК. Серед існуючої множини варіантів визначається такий, що забезпечує отримання максимального прибутку від реалізації біометану. За допомогою ГІС забезпечується формування електронної карти місцевості та відображення на кожній ділянці обсягів урожаю, а також компромісно-оптимальних маршрутів руху збиральної техніки на полях з перешкодами та складними геометричними формами.

Для вирішення даної задачі розроблено метод синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху безпілотної збиральної техніки (БЗТ), заснований на використанні процедури динамічного програмування, що забезпечує визначення мінімальної довжини маршрутів руху БЗТ з урахуванням перешкод та об'їзду ділянок, на яких відсутня біомаса ЕК, за рахунок чого мінімізуються витрати пального.

Завдяки використанню Інтернет та RTK-сервісу вирішуються такі задачі :

- попереднє визначення місцезнаходження БЗТ;
- обробка даних;
- отримання точних координат БЗТ.

При цьому точність визначення координат БЗТ досягає 2 см.

Як показують результати попередніх досліджень, застосування ІСМК процесами збирання енергетичних культур дозволяє зменшити на 12-15% довжину маршрутів руху збиральної техніки з урахуванням перешкод та загальні витрати на проведення збиральної кампанії.

IV. Висновки

Інтелектуальна система моніторингу та керування БЗТ повинна включати підсистему моніторингу на базі БПЛА та КА, а також підсистеми планування та оперативного керування процесами збирання ЕК, що необхідно для керування рухом безпілотної збиральної техніки в залежності від наявності (щільності) врожаю та перешкод на кожній ділянці поля.

Застосування запропонованої інтелектуальної системи моніторингу та керування процесами збирання біомаси для біогазових установок забезпечує більш високу оперативність та точність керування безпілотними комбайнами, а також зменшення вартісних витрат на збиральну кампанію.

Література References

[1] Шворов С. Методичний апарат параметричного синтезу інтелектуальних роботизованих систем спеціального призначення [Електронний ресурс] / С. Шворов, В. Осипа, М. Михайлов, Д. Чирченко // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки. - 2012. - Вип. 29. - С. 16-19. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKNU_vsn_2012_29_6

[2] Лєнков С. В. Методологічні основи побудови та організації функціонування роботизованих систем спеціального призначення [Електронний ресурс] / С. В. Лєнков, С. А. Шворов, Ю. В. Гунченко, Д. В. Чирченко // Вісник Інженерної академії України. - 2012. - Вип. 1. - С. 205-210. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Viau_2012_1_45

Метод Ближайших Соседей в Финансовом Прогнозировании

Абдурахмон Кадыров
Государственное образовательное учреждение
«Худжандский Государственный университет имени академика Бободжона Гафурова»
Худжанд, Таджикистан
kadir55@mail.ru

Nearest Neighbors Method in Financial Forecasting

Abdurahmon Kadyrov
State educational institution “Khujand State University named after academician Bobojon Gafurov”
Khujand, Tajikistan
kadir55@mail.ru

***Аннотация*—Рассматривается метод ближайших соседей, применение метода k–NN в интеллектуальном анализе финансовых данных. Обосновывается прогнозирование курса валюты на валютном рынке посредством алгоритма k ближайших соседей.**

***Abstract*—The method of nearest neighbors, the application of the k–NN method in the mining of financial data are considered. Prediction of the exchange rate in the foreign exchange market by means of the k nearest neighbors algorithm is substantiated.**

Ключевые слова—*метод k–NN; авторегрессионное интегрированное скользящее среднее; расстояние Махаланобиса.*

Keywords—*k–NN method; autoregressive integrated moving average; Mahalanobis distance.*

I. Введение

Правило ближайшего соседа привлекло много исследователей и продолжает изучаться сегодня многими исследователями. В своей работе Фикс и Ходж численно оценивали работу алгоритма ближайшего соседа для малых выборок с нормальным распределением. Данный алгоритм, более известный как *k – NN*, является одним из лучших 10 алгоритмов интеллектуального анализа данных. Это один из тех алгоритмов, которые достаточно просты для понимания и довольно удобны на практике. Алгоритм *k – NN* применим к различным областям, таким, как машиностроение, физика, медицина, финансы и вычислительная геометрия.

k–NN является непараметрическим алгоритмом обучения. Он выполняет небольшую работу при анализе набора данных, но требует больше усилий, при этом классификации затрагиваются новые выборки. Будучи непараметрическим, алгоритм не делает никаких выводов и предположений относительно исходного распределения данных. Поскольку большинство практических данных не подчиняется типичным теоретическим предположениям. В связи с этим алгоритм ближайшего соседа становится всё более и более актуальным для реальных проблем.

II. Основной материал

Задачу оптимизации можно сформулировать так. Цель состоит в определении точки (или точек), которая минимизируют целевую функцию. В данном случае – расстояние до точки запроса. Будем считать, что точка *p*, как и *r*, расположены вблизи соседа точки *g*, если расстояние между *p* и *g* не превосходит *r*. Таким образом, алгоритм либо считает один из *r* близким соседом, или делает вывод, что ни одна из таких точек не существует для некоторого фиксированного параметра *r*.

Рассмотрим алгоритм ближайшего соседа.

Пусть (x_1; θ_1); (x_2; θ_2);….; (x_n; θ_n) множество из *n* пар, каждый x_i связан в *n* – мерном метрическом пространстве (X*; d*), где *d* является мерой и θ_i принадлежит множеству индексов $\{1, 2, \dots, N\}$. Здесь мы предполагаем, что x_i принадлежит классу (или категории) θ. Когда появляется новое наблюдение *x*,, цель состоит в том, чтобы отнести его к своему истинному классу θ. Для того, чтобы отнести вновь прибывший образец к классу, которому он

принадлежит, вычисляется расстояния d (x_i; x) между новыми наблюдениями x и x_i для $i = 1, 2, \ldots, n$.

Мы говорим, $x^* \epsilon\{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ является ближайшим соседом x, если выполняется

$$d(x^*, x) = min\{d(x_i, x)\};\ i=1, 2, \ldots, n.$$

Таким образом, правило ближайшего соседа полностью зависит от сходства между структурой данных и не требует каких-либо теоретических предположений распределения данных. Метод ближайшего соседа также является важной гарантией границ. Нам нужно сделать самое общее предположение о том, что все статистические данные известны.

Возьмём x в качестве измерения для человека и Ω в качестве образца пространства возможных исходов x. Должно быть принято решение относительно членства индивида в одной из указанных категорий N (классы) на основе значения x. Пусть $f_1, f_2, \ldots, f_n$ является плотностью вероятности в точке x по отношению k конечной мерой. Таким образом, индивидиум в категории i приводит к наблюдению x в соответствии с плотностью f . Ошибка возникает, если мы принимаем решение о присвоении человеком категории i, когда он на самом деле относится к категории j. Пусть L (i; j) будет убытком, понесённым в этом случае.

Цель здесь заключается в том, что

$$p_1, p_2, \ldots p_n \text{ при } p_i \geq 0 \text{ и } \Sigma p_i = 1$$

является условием минимизации потерь. Очевидно, что это минимум, когда человек назначается категорией x, для которой i является наименьшей.

$$q_i(x) = \frac{p_i f_i}{\sum_{i=1}^{N} p_i f_i} \quad i = 1; 2; \ldots; N.$$

Обратим внимание, что за счёт минимизации условного математического ожидания потерь, возможно минимизировать безусловный ожидаемый убыток. Решение, которое минимизирует условное математическое ожидание потерь, называется правилом Байеса.

$$r_i(x) = \sum_{i=1}^{N} q_i(x) L(i, j)$$

Пусть δ^* – решающее правило Байеса относительно p. Тогда условный байесовский риск δ^* вследствие принятия решения в общем будет минимизировать ожидаемый риск, который называется риском Байеса. Его можно записать в следующим виде:

$$r^*(x) = \min_i \left\{ \sum_{i=1}^{N} q_i(x) L(i, j) \right\}$$

где ожидание берётся по отношению к плотности:

$$R^* = E[r^*(x)] \qquad f(x) = \sum_{i=1}^{N} p_i f_i(x).$$

Основные свойства правила ближайшего соседа основаны на предположении, что к распределению θ приближается условное распределение θ в качестве

$$lim\ x^1 \to x.$$

Прежде чем обсуждать оценки погрешности по правилу k–NN, сначала определим минимальную вероятность ошибки. Пусть $X = \{x_1, x_2, \ldots x_n\}$, тогда есть множество доступных выборок данных x_n как ближайших соседей x. Пусть θ_n есть категория, к которой индивид x_n принадлежит и действительно является категорией x. Если мы обозначим через L (θ, θ_n) потери, связанные с этим утверждением, то можем определить риск k – NN классификации R (n) следующим ожиданием

$$R(n) = E[L(\theta, \theta_n)]$$

и минимальный риск R как

$$R = \lim_{n \to \infty} R(n)$$

Следует отметить, что здесь мы предполагаем, что пары (x, θ); (x_1, θ_1); (x_2, θ_2), …, (x_n, θ_n) являются независимыми, индивидуально распределенными случайными величинами X.

Тогда правомерны следующие утверждения оценки погрешности двух классов задач k – NN. Пусть X сепарабельное метрическое пространство и x и f_1; f_2 такие, что с вероятностью единицы x являются либо i-ой точкой непрерывности f_1 и f_2, или ii точкой, не равной нулю с вероятностью измерения. Тогда асимптотический риск R метода k–NN (вероятность ошибки) имеет следующие пределы:

$$R^* \leq R \leq 2R^*(1 - R^*)$$

Следующими утверждениями для оценки погрешности k–NN является задача M-класса с $N \neq 2$:

$$R^* \leq R \leq R^* \left(2 - \frac{N}{N-1} R^*\right)$$

Метод k-NN используется для выбора некоторых геометрических сегментов из ретроспективных временных рядов, подобно последнему сегменту доступному до наблюдения, которое должно прогнозироваться. Если мы можем выбрать m наблюдений с аналогичными динамическими характеристиками, эти значения могут использоваться впоследствии для прогнозирования следующего значения временного ряда.

Этот алгоритм использовался для ежедневного прогнозирования валютного курса посредством процедуры k –ближайшего соседа на валютном рынке.

Для выявления степени точности осуществлено сравнение нами предложенного алгоритма прогнозирования методом k-ближайшего соседа на основе расстояния Махаланобиса с моделью Авторегрессионной интегрированой скользящей средней, которая считается наиболее точным методом прогнозирования.

U- статистика Тейла для сравнения точности прогнозирования модели:

$$U = \frac{\sqrt{\sum_{t=1}^{n}(\hat{x}_t - x_t)^2}}{\sqrt{\sum_{t=1}^{n}(\hat{x}_t)^2} + \sqrt{\sum_{t=1}^{n}(x_t)^2}}$$

Средне квадратическое отклонение (СКО) которое, определяется как

$$СКО = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(\hat{x}_t - x_t)^2$$

Масштабные инвариантные формы СКО полезны, потому что часто сталкиваемся со сравнением ошибок прогнозирования в различных масштабах. Безразмерную версию СКО назовём нормированным корнем среднеквадратичной ошибки НСКО, которая определяется по формуле:

$$\text{НСКО} = \frac{\sqrt{\sum_{t=1}^{n} e^2(t)}}{\sigma} = \frac{\sqrt{\sum_{t=1}^{n}(\hat{x}_t - x_t)^2}}{\sigma}$$

В следующих таблицах 1 – 3 приведена *U*-статистики, среднеквадратичной ошибки и нормированной среднеквадратичной ошибки для валют EUR, RUB, CNY, UZS, TJS и для алгоритма *k-NN* на основе расстояния Махаланобиса, и для модели АРИСС.

ТАБЛИЦА I. *U*-СТАТИСТИКА МОДЕЛЕЙ *K-NN* И АРИСС

Валюта	***k-NN* прогнозирование**	**АРИСС прогнозирование**
EUR	0: 003898012	0: 003456137
RUB	0: 003454303	0: 00318494
CNY	0: 00690517	0: 008302838
UZS	0: 005559151	0: 007286362
TJS	0: 005979865	0: 00731294

ТАБЛИЦА II. СКО МОДЕЛЕЙ *K-NN* И АРИСС

Валюта	***k-NN* прогнозирование**	**АРИСС прогнозирование**
EUR	0: 00010905	0: 00008479
RUB	0: 00011439	0: 00009725
CNY	0: 00024810	0: 00035878
UZS	0: 00011441	0: 000196566
TJS	0: 00010905	0: 00008479

ТАБЛИЦА III. НСКО МОДЕЛЕЙ *K-NN* И АРИСС

Валюта	***k-NN* прогнозирование**	**АРИСС прогнозирование**
EUR	0: 16748184	0: 14691536
RUB	0: 22251281	0: 20423380
CNY	0: 30304086	0: 35985560
UZS	0: 21693213	0: 28301529
TJS	0: 58311581	0: 65600438

Как видно из данных таблиц, полученные результаты подтверждают теоретические утверждения.

ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

[1] Кадыров, А.Л., Шарипова М.М Преимущества *k*-ближайшего прогнозирования по сравнению с традиционными методами. // Учёные записки, Серия естественные и экономические науки. – Худжанд: “Нури маърифат”, 2019. - № 4 (51) – С. 138-144.

[2] Шарипова, М.М. Методы определения курса валют//Учёные записки, Серия естественные и экономические науки. – Худжанд: “Нури маърифат”, 2018. - № 4 (47) - С.156-160.

[3] Кадыров, А.Л. Криптовалюта Биткойн: деньги или финансовые инвестиции / Учёные записки, Серия естественные и экономические науки. – Худжанд: “Нури маърифат”, 2020. - № 3 (53) - С. 171-176.

Секція 6.

Програмна інженерія.

Section 6.

Software engineering.

Огляд Розвитку Технології Tensorflow Lite під Платформу Android

Степан Титаренко
кафедра Програмної інженерії
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
stepan.tytarenko@nure.ua

Ірина Кириченко
кафедра Програмної інженерії
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
iryna.kyrychenko@nure.ua

Overview of Tensorflow Lite Development On Android

Stepan Tytarenko
Department of Software engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
stepan.tytarenko@nure.ua

Iryna Kyrychenko
Department of Software engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
iryna.kyrychenko@nure.ua

***Анотація*—У цій статті автори хочуть зупинитися на наступних моментах: що таке сам Tensorflow, що таке Tensorflow Lite, які варіанти використання цієї технології, яка найкраща практика для пристроїв Android, обчислення хмарного машинного навчання за допомогою ML Kit, або нативного на пристрої з TFLite.**

***Abstract*—In this article the authori want to set on the following points: what is Tensorflow itself, what is Tensorflow Lite, which are the use cases for this technology, what is the best practice for android device, cloud Machine Learning computations with ML Kit, or native running on device with TFLite.**

Ключові слова—Штучний інтелект; Машинне навчання; Android; Tensorflow; TPU; Google; Хмарні технології

Keywords—Artificial Intelligence; Machine Learning; Android; Tensorflow; TPU; Google; Cloud technologies

I. Introduction

Since the supremacy of AI is coming, Google as the so-called AI-first company in the World, continues on developing Machine Learning solutions for mobile architectures. In 2017 they introduced their first version of Tensorflow Lite, as a native solution, towards running Machine Learning models on device. This idea has already lived into the minds of most of the developers for quite some time. TFLite software stack is designed specifically for mobile development. TensorFlow Lite "Micro", on the other hand, is a version specifically for Microcontrollers, which recently merged with ARM's uTensor.

A year after TFLite was announced in 2018, Google introduced Firebase ML Kit, which became the part of the FIrebase services, and provided an interface to various Machine Learning models, either custom or pre-defined running in the powerfull Cloud, so that the user device is less involved. But still, the code in the cloud runs on Tensorflow, boosted by the powerful TPUs (Tensor Processing Units) special type of processors, delivered by Google for the needs of fast Tensorflow models.

II. What is TensorFlow?

In order to understand what Tensorflow is, the best idea would be to refer to the first source, to the creators themselves.

"An entire ecosystem to help you solve challenging, real-world problems with machine learning… TensorFlow offers multiple levels of abstraction so you can choose the right one for your needs. Build and train models by using the high-level Keras API, which makes getting started with TensorFlow and machine learning easy.

If you need more flexibility, eager execution allows for immediate iteration and intuitive debugging. For large ML

training tasks, use the Distribution Strategy API for distributed training on different hardware configurations without changing the model definition." [1]

As it is stated from the developers, it is the ecosystem, with the build-in solutions for different ML pipeline stages, such as modelling, fine-tuning, deployment, etc. Generally tensorflow is created using C/C++, however it is mostly used in Python. Since the release of version 2, previous year, the technology has changed a lot, becoming more high-level and user-friendly, providing even simpler interface towards ML solutions. Mostly this technology is used on cope with Keras. Below the basic example of a piece of code for the Tensorflow on Java is provided [1].

```
import org.tensorflow.ConcreteFunction;
import org.tensorflow.Signature;
import org.tensorflow.Tensor;
import org.tensorflow.TensorFlow;
import org.tensorflow.op.Ops;
import org.tensorflow.op.core.Placeholder;
import org.tensorflow.op.math.Add;
import org.tensorflow.types.TInt32;
public class HelloTensorFlow {
  public static void main(String[] args) throws Exception {
    System.out.println("Hello TensorFlow " + TensorFlow.version());
    try (ConcreteFunction dbl = ConcreteFunction.create(HelloTensorFlow::dbl);
        Tensor<TInt32> x = TInt32.scalarOf(10);
        Tensor<TInt32> dblX = dbl.call(x).expect(TInt32.DTYPE)) {
      System.out.println(x.data().getInt() + " doubled is " + dblX.data().getInt());
    }
  }
  private static Signature dbl(Ops tf) {
    Placeholder<TInt32> x = tf.placeholder(TInt32.DTYPE);
    Add<TInt32> dblX = tf.math.add(x, x);
    return Signature.builder().input("x", x).output("dbl", dblX).build();
  }
}
```

Diving deeper into the review of the Tensorflow and its implementation is out of the scope of this paper, so we will only limit it with the basic notion and an example, of "Hello, World" program. Further analysis, and free tutorials with examples can be found on the Tensorflow official web-site [1].

III. What is Tensorflow Lite?

The best thing to start with defining some notion, is basically refer to the creators, and find out how they define it.

"TensorFlow Lite is a set of tools to help developers run TensorFlow models on mobile, embedded, and IoT devices. It enables on-device machine learning inference with low latency and a small binary size.

TensorFlow Lite consists of two main components:

The TensorFlow Lite interpreter, which runs specially optimized models on many different hardware types, including mobile phones, embedded Linux devices, and microcontrollers.

The TensorFlow Lite converter, which converts TensorFlow models into an efficient form for use by the interpreter, and can introduce optimizations to improve binary size and performance." [2]

TensorFlow Lite is available on Android and iOS via a C++ API and a Java wrapper for Android developers. On devices that support it, the library can also take advantage of the Android Neural Networks API for hardware acceleration.

According to Google, Tensorflow is designed to perform Machine Learning difficult computations ondevice, without the need of sending data back and forth from a server. And that is actually a significant point, to which we will refer later in this work, discussing best practises and when it is better to use Firebase ML Kit instead of device hardware.

For developers the use of native ML tool can support:

- Latency, as far as there is no data flow to the server and back;
- Privacy, because no data leaves the device;
- Independence, as far there is no need for internet connection;
- Power consumption, internet connectivity usually quite power-demanding;

But there are some limitations on the use of Tensorflow Lite, related to running on mobile devices. TensorFlow Lite plans to provide high performance on-device inference for any TensorFlow model. However, the TensorFlow Lite interpreter currently supports a limited subset of TensorFlow operators that have been optimized for on-device use. This means that some models require additional steps to work with TensorFlow Lite.

On the fig.1 there is a Tensorflow Lite architecture. It is clear from the diagram, that custom architectures are easily applied, and natively supported via the provided TFLite API. Even though it is quite beneficial to use such way of Machine

Learning pipeline, just as always, there are some trade-offs, and here are a few of them [3]:

System utilization: Performing neural networks computations involves a lot of cpu capacity, which could increase battery power usage. The one should take into account and monitor the battery health, especially for long-running computations.

Application size: The one should also pay attention to the size of the models. Models may take up multiple megabytes of space. If bundling large models in APK would truly impact users, the one may want to consider downloading the models after app installation, using smaller models, or running computations in the cloud, as will be proposed in the further chapters. NNAPI does not provide functionality for running models in the cloud.

Below a part of code with an example of computer vision classification usage is provided, from the official Tensorflow team [1].

```
/** Initializes an {@code ImageClassifier}. */
ImageClassifier(Activity activity) throws IOException {
// TODO(b/169965231): Add support for delegates.
tflite = new Interpreter(loadModelFile(activity));
labelList = loadLabelList(activity);
imgData =
ByteBuffer.allocateDirect(
DIM_BATCH_SIZE
* getImageSizeX()
* getImageSizeY()
* DIM_PIXEL_SIZE
* getNumBytesPerChannel());
imgData.order(ByteOrder.nativeOrder());
filterLabelProbArray = new float[FILTER_STAGES][getNumLabels()];
Log.d(TAG, "Created a Tensorflow Lite Image Classifier.");
}
```

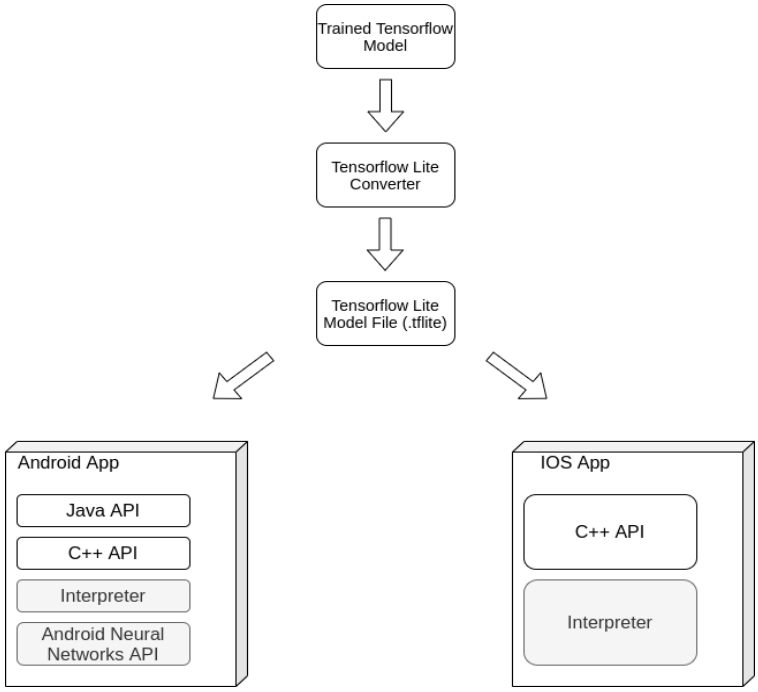


Fig. 1. TensorFlow Lite architecture

IV. TensorFlow Lite Use Cases

A typical example of a Machine Learning application is computer vision. It provides computers with the ability to recognize objects on an image or a live camera feed. To accomplish such tasks, the program must first be “trained” by the process of tuning its parameters such as weights, biases etc, and being shown quite a huge amount of pictures of the object to be taught to recognize. The system never understands what it is, it tries to recognize, it simply learns the patterns (changes in contrast, particular angles or curves) that are likely to match the object. With the passing time, the program becomes more precise at recognizing and spotting that object, depending on the task being solved.

As an Android developer, computer vision creates many possibilities: it is quite common practice today, to have facial recognition technology on Android devices, which is just about Computer vision, and is built with the help of Tensorflow tools in most cases. It serves as a security feature, in the similar way it is possible to create an augmented reality program that can highlight elements in the environment, or build the next "Reface" app. Such companies as Google are pretty concerned about AR today.

Creating and implementing these types of models from scratch would be an extremely arduous task for a single developer, which is why it's so useful to have access to ready-made libraries.

V. Comparing TensorFlow Lite and FireBase ML Kit

There are advantages and drawbacks of both, and some of them were already touched in this article, but still let us compare these two approaches on some general basis.

The TensorFlow version can be used without an Internet connection. While, when taking a snapshot, there is a noticeable delay when using the MLKit cloud API, it is related to the data transfer process, which is inevitable when we speak about cloud solutions, and the bigger data is being transferred, the bigger delay will be experienced.

The ML Kit app is smaller, since the model files are not needed, while they sometimes may reach the size of several megabytes.

Accuracy:

It is highly dependent on the implementation. Sometimes the model which is more flexible, and easily fine-tuned, where the author knows all its aspects and features can run better. But in that case it also needs more data, more time, and better expertise. While on the ML Kit solutions, there is usually "plug-and-go", as soon as the one is intended to use something, it can be used, without much effort. It definitely speeds up the development process, moreover, the models there are created and tuned by the best Google engineers as well as data gathered by the best data analysts, so in general case these models are still at least no worse than self-made ones.

Pricing:

TensorFlow, as used in an app, is free of charge. So are the ML Kit on-device APIs. But the cloud API is subject to Google Cloud pricing. The first 1000 calls each month are free. After that, it will cost around one dollar per 1000 calls.

Flexibility:

It is usually quite easy to modify the ML Kit solution to recognize one set of things instead of the other. It is just about substituting the data or changing the labels, or the models. With TensorFlow, it is required to download thousands of samples of new data from the Internet and do a new transfer learning, with possibly new models and fine-tuning, which may take several days sometimes.

But with ML Kit, the one is limited by the undocumented on-device and cloud labels supported by ML Kit. Or use ML Kit's functions for training and deploying custom TensorFlow Lite models.

So as it is clear from the comparison, there is no dominance of one solution over another. They are quite equal, and each of them is preferred for different kinds of tasks, and different development processes. It is for the developer to decide which approach to use.

VI. Conclusions

As for the conclusion, it is clear that with the development of processing power of mobile devices, more and more complicated Machine Learning tools appear on them, and become applied. There are various approaches towards applying such solutions, either involving cloud computations, or ondevice processing. It is more of a specific project question which approach is better. While the purpose of this work is to show the rapidly developing and highly demanded technology Tensorflow, with the reference to Android development on it, with Java.

References

[1] TensorFlow Official Web Site [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://www.tensorflow.org/about.

[2] TensorFlow Lite Guide [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://www.tensorflow.org/lite/guide

[3] Sharma S. TensorFlow on Mobile [Електронний ресурс] / Sagar Sharma. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://towardsdatascience.com/tensorflow-on-mobile-tutorial-1-744703297267.

[4] Hellgern B. ML Kit or TensorFlow: Which is best? [Електронний ресурс] / B. Hellgern. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://medium.com/flutter-community/ml-kit-or-tensorflow-which-is-best-6c965e74366

Алгоритми Багатокрітеріальної Оптимізації з Нечіткими Компонентами

Ольга Ашурова
кафедра Програмної Інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
olha.ashurova@nure.ua

Ігор Шубін
професор
кафедра Програмної Інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
igor.shubin@nure.ua

Multicriteria Optimization Algorithms with Fuzzy Components

Olga Ashurova
Department of Software Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
olha.ashurova@nure.ua

Igor Shubin
PhD, professor
Department of Software Engineering Kharkiv National
University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
igor.shubin@nure.ua

***Анотація*—Синтезовано онтологічну модель тексту для автоматизації семантичного аналізу технічної документації. Метод дослідження – математичний апарат теорії нечітких множин, методи представлення знань в штучному інтелекті. В результаті наведено основні методи побудови онтологічних моделей, які використовувалися при побудові даної моделі. Спроектована онтологічна модель тексту технічної документації та її програмна модель**

***Abstract*—An ontological model of the text for automation of semantic analysis of technical documentation is synthesized. Research method - mathematical apparatus of the theory of automata, fuzzy sets, methods of structural and applied linguistics, methods of knowledge representation in artificial intelligence. As a result, the main methods of constructing ontological models used in the construction of this model are presented. The ontological model of the text of the technical documentation and its program model are designed**

***Ключові слова*—нормативний профіль; онтологічна модель; онтологічний запит; експертна система; нечітка атрибутна граматика**

***Keywords*— ormative profile; ontological model; ontological query; expert system; fuzzy attribute grammar**

I. Вступ

У зв'язку з цим при розробці онтологій особливої важливості набуває організація ефективного оцінювання ПЗ, проведеного сертифікаційними центрами, до функцій яких входить, в тому числі і залучення кваліфікованих фахівців, здатних швидко і достовірно оцінити ПЗ. При цьому якість самої оцінки визначається кваліфікацією експертів і наявних в їх розпорядженні інформаційних ресурсів – бази нормативних документів.

Таким чином, для створення експертної нормативної бази документів, може бути використаний онтологічний підхід.

Застосування такого підходу для оцінки якості ПЗ [1] передбачає вирішення низки завдань, серед яких слід виділити:

– формування нормативного профілю (НП) – гармонізованої з міжнародними та національними стандартами сукупності вимог, що пред'являються до даного проекту або групі проектів [2]. НП можуть бути знову розробляються державні або галузеві стандарти, нормативно-методичні документи підприємств і загальне вимоги специфікацій ПЗ;

– реінжиніринг процесу проектування ПЗ і його оцінка на основі НП;

– динамічний аналіз ПЗ і інтервальний аналіз виконуваного модуля.

II. Розробка онтологічних моделей

У свою чергу онтології володіють власними засобами обробки (логічного висновку), відповідними засобами семантичної обробки інформації, які можуть бути покладені в основу експертної системи, яка забезпечить підтримку експерта при роботі з нормативною базою. Така система дозволить, шляхом накопичення та узагальнення досвіду оцінок в базі знань експертних систем, знизити суб'єктивність і підвищити ефективність прийнятих рішень за рахунок врахування великої кількості факторів, що визначають властивості аналізованого проекту [3].

Так, завдяки онтології, при зверненні до пошукової системи користувач зможе отримувати у відповідь ресурси, семантично релевантні запиту, завдяки цьому онтології набули широкого поширення в рішенні проблем подання знань та інженерії знань, інформаційного пошуку і т. ін. [4].

Варто відзначити, що онтологічні системи є якісно новими інтелектуальними засобами для пошуку, новими методами подання та обробки знань і запитів [5]. Вони здатні точно і ефективно описувати семантику даних для деякої предметної області і вирішувати проблему несумісності і протилежності понять.

З огляду на зазначені обставини, при розробці онтологій особливої важливості набуває організація ефективного оцінювання ПЗ, проведеного сертифікаційними центрами, до функцій яких входить, в тому числі і залучення кваліфікованих фахівців, здатних швидко і достовірно оцінити ПЗ [6].

Проектування ПЗ – це процес складання опису, його перетворення, визначення архітектури, компонентів, інтерфейсів, інших характеристик системи і кінцевого складу програмного продукту, результатом якого є проектне рішення, яке задовольняє заданим вимогам. Проектування являє собою трудомісткий процес, що вимагає від користувача глибокого знання предметної області та навичок в проектуванні.

У зв'язку з цим вельми актуальним є використання онтологій для формування нормативного профілю НП, при сертифікації програмних систем (ПС), це дає можливість отримання моделі декларативних знань у вигляді класів зі ставленням ієрархії між ними, що допускає повторне використання.

Основна мета полягає у вирішенні завдань, пов'язаних з розробкою технологій формування нормативного профілю для сертифікації програмних систем і інтелектуальної підтримки прийняття рішень аудитором сертифікаційного центру при реалізації основного завдання експертизи програмного забезпечення – формування нормативного профілю [7].

Розроблена методика семантичного аналізу тексту ТД шляхом використання онтологічного підходу та онтологічна модель аналізу тексту для автоматизації семантичного аналізу технічної документації, що дозволяє спростити процес сертифікації ПЗ

В результаті розробки і впровадження пропонованої моделі підвищується якість проектування за рахунок автоматизації рутинної праці людини.

Однак, процес створення онтологій складний процес. Інформаційні онтології складаються з екземплярів, понять, атрибутів і відносин між ними.

Загальновідомо, що розробка і аналіз технічної документації вимагає від осіб, що займаються сертифікацією ПЗ, семантичної обробкою великого обсягу технічного тексту, глибокого знання предметної області та навичок зі сертифікування. Трудомісткість процесу аналізу тексту призводить до необхідності його автоматизації. Однак надзвичайна складність проблеми синтезу та аналізу семантики технічного тексту, для вирішення якої необхідно використовувати симбіоз методів штучного інтелекту, прикладної лінгвістики, онтологічних моделей, психології тощо, призводить до того, що вона до цих пір не вирішена [8].

Для семантичного аналізу тексту ТД необхідне створення уніфікованої структури тексту ТД, тобто створення такої граматики і таких онтологічних моделей, яка дозволить найбільш повно відобразити вміст ТД.

Проблема полягає в тому, що частина компонентів ТД містить інформацію, яка за своїм характером є нечіткою, що обумовлено варіантністю і рухливістю меж мовної норми і статистичними характером окремих видів інформації. Неточність інформації, що міститься в компонентах ТД, відноситься до семантичного і предметно-залежному рівню ТД і обумовлена складністю процесу формалізації описуваних явищ [9]. Рекомендації по проведенню такої формалізації складаються у вигляді описів на ЕЯ, що апелюють до мовної інтуїції людини, і можуть трактуватися по-різному різними фахівцями.

Практично непереборної причиною неповноти лінгвістичної інформації є відкритість і постійний розвиток ПМ: поява нових мовних одиниць, зміна властивостей існуючих одиниць та правил їх сполучуваності. Така динаміка особливо помітна в підмовою нових предметних областей з слабкою термінологією [11].

Іншою причиною неповноти лінгвістичної інформації є наявність величезного числа нюансів і мовних особливостей окремих носіїв мови, описати і формалізувати які на сьогоднішній день не представляється можливим.

Завданням дослідження є автоматизована обробка тексту документа на основі онтологічної моделі.

На даному етапі розвитку методів аналізу тексту не представляється можливим аналізувати природний мову без будь-яких обмежень, тому необхідно виявити

особливості існуючої практики написання ТД і сформулювати додаткові вимоги [12].

При проведенні досліджень було розглянуто множини різних варіантів ТД і детально вивчені стандарти.

В результаті було відзначено, що ТД є документ, написаний технічною мовою. ТД має наступні стильові особливості:

– текст не містить образних виразів, оціночних прикметників, майже позбавлений говірок, природна полісемічність мови зводиться до мінімуму використанням заздалегідь визначених термінів;

– текст містить наступні граматичні конструкції: граматична основа з рядом доповнень (домінуюча конструкція), причетні і дієприслівникові обороти. З точки зору російської мови причетні і дієприслівникові обороти еквівалентні окремих пропозицій, де підмет запозичується з основного пропозиції.

III. Реалізація нечіткої граматики

Найбільш зручним і поширеним способом опису функцій системи, а також її вхідних та вихідних даних є пронумеровані пропозиції російською мовою, причому однієї функції або елементу даних відповідає одне речення.

Як правило, для елементів даних вказано тип, число елементів даних і назва. Для функцій часто вказується тип: «Основна», «Додаткова» або «Допоміжна». Функція системи описується згідно з концепцією «чорного ящика», тобто в опис включають її входи і виходи, не торкаючись способу реалізації функції і її внутрішніх процесів.

Нечітка атрибутна граматика ТД є формалізм, що описує структуру ТД, і є допоміжним елементом, призначеним для перетворення даних з «сирого тексту» ТД до виду списку пропозицій обмеженого природної мови і подальшого його розбору. Фактично граматика ТД використовується для розбиття вихідного тексту документа на розділи і обробки найбільш важливих з них для нашої задачі. Для цього потрібно чітке дотримання структури документа. ТД є структурований текст, що складається з послідовності заздалегідь заданих розділів.

Сформульована ТД на природній мові містить семантично значиму інформацію, яку і слід формалізувати і представити у вигляді інваріантної до ПМ моделі.

Щоб зробити ПМ інваріантним до перестановок слів, відмінкові зміни словоформ передбачається використання методів морфологічного аналізу шляхом побудови морфологічного фільтра, який на основі аналізу відмінків іменників у реченні ПМ виділяє елементи. Наприклад: іменник в називному відмінку є об'єктом, але в разі, якщо таких іменників два і знахідний і називний відмінок нероздільні – перший зустрінутий іменник – суб'єкт, другий – об'єкт. Важливо відзначити, що в рамках пропонованої методики не розглядаються питання контролю повноти і несуперечності тексту ТД.

У структурі технічної документації виділені ключові слова, на підставі яких визначається приналежність розділу до певного нетерміналу, так як назви розділів можуть бути нефіксованим і відрізнятися в формулюваннях.

Запропонована методика аналізу тексту технічного завдання містить формалізми, необхідні для подання семантики вимог до програмного забезпечення на ранніх етапах проектування. Відповідно до запропонованої методики система розглядається як чорний ящик, а вимоги до неї вимоги представляються у вигляді специфікації функцій і визначення потоків вхідних і вихідних впливів. Методика аналізу тексту ТД включає в себе обробку тексту технічної документації, створення онтологічної моделі тексту. Для реалізації першого етапу необхідна семантична модель тексту ТД, сформульована у вигляді документа на обмеженій природній мові; другого етапу – онтологічна модель у вигляді опису вимог на графічній мові у вигляді діаграм.

Семантична модель тексту ТД містить розроблену розширену нечітку атрибутну граматику над онтологічною структурою формального документа.

Розширена нечітка атрибутна граматика, що необхідна для автоматизованого аналізу тексту технічного завдання, визначена у вигляді:

$$AG = <N, T, P, S, B, F, A, R (A)>,$$

де N – кінцеве множина нетермінальних символів ; T – непересічне з N множина термінальних символів; P – скінченна множина правил; S – виділений символ з N, званий початковим символом; B – множина лінгвістичних змінних $\beta_{k,i}$, відповідно термінальним символам *T* (змінна і на k рівні); F – множина функцій приналежності $f_{k,i}$, що визначають ступінь приналежності лінгвістичних змінних $\beta_{k,i}$; A – кінцева множина атрибутів, $A = A_{sin} U A_{sem}$, де A_{sin} – синтаксичні атрибути, A_{sem} – семантичні атрибути; R (A) – кінцева множина семантичних дій.

Лінгвістичні змінні з множини $B = \{\beta_{k,}i\}_{k,\ i}$ використовуються для аналізу тексту технічного завдання та описуються наступним кортежем:

$$\beta_{k,\ i} = <\beta, T (\beta), U, G, M>,$$

де β – назва лінгвістичної змінної (найменування і область застосування, підстава для розробки, призначення розробки, технічні вимоги до програмного виробу, стадії і етапи розробки і т.д.);

T (β) – мовні вирази, для лінгвістичних змінних верхнього рівня вони є лінгвістичними змінними, відповідними терміналів правій частині правила, а для лінгвістичних змінних нижнього рівня – нечіткими змінними, тобто виразами природної мови; U – універсум, $T (\beta) \in U$; G – правила морфологічного і синтаксичного опису мовних виразів, які визначають синтаксичні атрибути Asin.

Можливість розширення – властивість онтологічної моделі тексту, яке говорить про те, що дана модель повинна бути розроблена з можливістю використання

розділяється і поповнюється словника термінів. Тобто онтологія не повинна оперувати вузькими поняттями, так як в подальшому використанні можливе внесення в неї нових знань, які, в свою чергу, можуть бути використані і для створення опису раніше не врахованих або нових залежностей між її об'єктами.

Незалежність від синтаксису в онтології передбачає, що концептуалізація повинна бути специфікована на рівні знання максимально незалежно від уявлення понять предметної області на рівні символів (рис. 1).

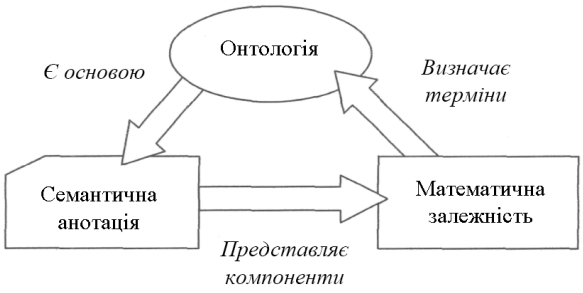


Рис. 1 – Відносини між математичною залежністю і її семантичної анотацією

Також слід зазначити, що природа об'єктів, що беруть участь у визначенні математичної залежності, може мати кілька різних представлень. При цьому онтологічна модель тексту має інваріантне уявлення опису даної предметної області. Це властивість онтологічної моделі може, як ускладнювати, так і спрощувати, в залежності від контексту виникнення, формування опису математичної залежності.

При розробці семантичної анотації математичної залежності немає необхідності використовувати онтологію математичних функцій, операцій і операторів. Семантична анотація повинна бути записана в термінах такої онтологічної моделі, яка описує поняття самої залежності, а не її математичну структуру.

Для побудови онтологічної моделі тексту семантичного аналізу ТД використовуємо – стандарт онтологічного дослідження складних систем.

IV. Висновки

Таким чином, створювана онтологія описує знання про терміни, які використовуються у визначенні математичного виразу, а відповідна йому семантична анотація вказує лише на спосіб реалізації математичної залежності, описаної в онтологічної моделі тексту,

Виходячи з замкнутості контуру відносин між математичною залежністю, відповідної онтологічної моделі тексту та її понять і семантичної анотацією даної залежності, які слід, що процес створення онтологічної моделі тексту – ітеративний.

Розроблено алгоритмічне забезпечення аналізу тексту ТД, а також алгоритми попередньої обробки тексту, семантичного аналізу тексту. Представлено автомат розбору тексту ТД на розділи. Та як алгоритм попередньої обробки тексту ТД завдання ґрунтується на роботі кінцевих автоматів, то його недоліком є громіздкість опису і фіксована структура, яка задає обмеження на вхідний текст відповідно до ДСТУ.

Спроектована автоматизована система семантичного аналізу тексту ТД, розроблена загальна архітектура, функціональна структура автоматизованої системи, представлена структура вихідних файлів, показані діаграми класів. Розглянуто середу моделювання онтологічних структур – Protégé, як засіб розробки, що дозволяє розширювати себе для вирішення більш широкого кола завдань.

Література References

[1] Шостак И.В., Бутенко Ю.И. Знаниеориентированные методы формирования нормативных профилей к системам критического применения на основе онтологий / И.В. Шостак, М.А. Бутенко Ю.И. // Радіоелектронні і комп'ютерні системи.- 2010г. – С.104-107.

[2] Шостак И.В. Текущее состояние базы знаний в динамических экспертных системах управления сложными объектами / Шостак И.В. // Радиоэлектроника и информатика. 2000.-№3.-С.68-71.

[3] Motta E. Reusable Components for Knowledge Modelling // Ph.D. Thesis. The Open University, 1997.

[4] Дослідження логічних моделей семантики переговорів інтелектуальних агентів в мультиагентних системах // http://science.donntu.edu.ua/ius/kirgaev/diss/indexu.htm

[5] Musen M. Domain Ontologies in Software Engineering: Use of Protege with the EON Architecture // Methods of Inform. in Medicine, pages 540-550, 2013

[6] Ю.М. Гонтар, О.Ю. Чередніченко, О.В. Янголенко, М.А. Вовк - розробка розподіленої системи обробки бізнес-інформації з використанням агентного підходу / Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків – 137-141с .

[7] SWEBOK Guide V3.0 // ISBN-10: 0-7695-5166-1 // ISBN-13: 978-0-7695-5166-1 // 2013

[8] Дослідження логічних моделей семантики переговорів інтелектуальних агентів в мультиагентних системах // http://science.donntu.edu.ua/ius/kirgaev/diss/indexu.htm

[9] О. А. Симоненко , О. Я. Сова , В. А. Романюк , Я. Л. Уманець. Аналіз існуючих агентних платформ для побудови систем управління вузлами мобільних радіомереж класу manet Системи обробки інформації. – 2014. – № 1(117). – С. 200-203

[10] OntoEdit: Collaborative ontology development for the Semantic Web. Y. Sure, M. Erdmann, J. Angele, S. Staab, R. Studer, D. Wenke // In Proc. of the Inter. Semantic Web Conference (ISWC 2002), Sardinia, Italia, June 2002.

[11] Farquhar A., Fikes R., Rice J. The Ontolingua server: A tool for collaborative ontology construction // International Journal of Human-Computer Studies, 46(6), pages 707–728, 1997.

[12] Shostak I., Danova M. Computer Support for Decision-Making on Defining the Strategy of Green IT Development at the State Level: Green-IT Engineering: Social, Business and Industrial Applications, Vol. 171. Berlin, 533–559 (2018),

Моделі Параметричної Статистики в Системах Дистанційного Тестування Знань

Володимир Ляшик
кафедра Програмної Інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
volodymyr.liashyk@nure.ua

Ігор Шубін
професор
кафедра Програмної Інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
igor.shubin@nure.ua

Models of Parametric Statistics in Distance Testing Systems

Volodymyr Liashyk
Department of Software Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
volodymyr.liashyk@nure.ua

Igor Shubin
PhD, professor
Department of Software Engineering Kharkiv National
University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
igor.shubin@nure.ua

***Анотація*—показано перевагу запропонованого методу побудови ПЗ адаптивного тестування на базі мереж Маркова з елементами мереж Петрі при використанні концепції основних і додаткових питань. Різниця в рівнях складності основних і додаткових питань і здійснюваний зв'язок між основними і гілками додаткових питань дозволяє в процесі тестування як мінімізувати кількість необхідних відповідей, так і суттєво поліпшити адаптаційні властивості тестування.**

***Abstract*—The advantage of the proposed method of constructing adaptive testing software based on Markov networks with elements of Petri nets using the concept of basic and additional questions is shown. The difference in the levels of complexity of the main and additional questions and the connection between the main and branches of additional questions allows in the testing process to minimize the number of required answers of those taught to determine their level of knowledge and significantly improve the adaptive properties of testing.**

Ключові слова—адаптивне тестування, мережі маркова, модель раша, параметрична статистика, апроксимація функцій, критеріальні оцінки

Keywords— adaptive testing, markov nets, rash model, parametric statistics, stochastic methods, approximation functions, criterial estimates

I. Вступ

Контроль знань або тестування – це процес, проведений з метою визначення рівня знань [1]. Це найбільш стандартизований і об'єктивний метод контролю й оцінювання знань, умінь і навичок випробуваного, який позбавлений таких традиційних недоліків інших методів контролю знань, як неоднорідність вимог, суб'єктивність екзаменаторів, невизначеність системи оцінок і т.п. Рівні знань зазвичай дискретизуються.

При такому підході, тестування може розглядатися як деякий діагностичний процес, а стани, що характеризують оцінки знань випробуваного, — як діагностичні стани. Тести є ефективним засобом перевірки якості знань, одержуваних студентами, і оперативного контролю ходу навчання [2]. Інформаційні освітні ресурси (ІОР) тестові матеріали, що містять, можна розбити на дві категорії: орієнтовані на проходження студентами тестів у писемній формі з подальшою перевіркою вручну викладачем (як варіант – сканування результатів тестування з метою їх подальшої автоматизованої перевірки) та системи комп'ютерного тестування (СКС) з відповідним наповненням тестовими матеріалами. Переваги другої категорії тестових ІОР вони дозволяють звільнити викладача від рутинної роботи при проведенні іспитів і

проміжній оцінці знань у традиційному навчальному процесі, а при навчанні з використанням дистанційних технологій стають основним засобом контролю; надають можливість автоматизації обробки результатів, об'єктивність контролю й швидкість перевірки якості підготовки великого числа тестуємих по широкім колу питань. Це дозволяє визначити розділи, які представляють найбільшу складність у вивченні, і, можливо, коректувати процес навчання залежно від результатів тестування; надають можливість реалізації навчальної функції;дозволяють зробити індивідуалізацію процесу засвоєння знань учнями.

II. Системи адаптивного керування

Функції контролю знань носять не тільки контролюючий характер, але також навчально-виховний і розвиваючий. Форми тестових завдань можна представити в наступних формах: закрита форма; відкрита форма; на відповідність; на встановлення правильної послідовності.

Проведений аналіз існуючих КСТ показав, що вони в більшості випадків орієнтовані на проведення тестів, а не на їхню розробку. При реалізації тестування жодна з розглянутих КСТ не підтримує адаптивні методи проведення тестів, слабко розвинена політонічна оцінка [3] виконання тестових завдань.

При наявності великої кількості систем комп'ютерного тестування, постійнім створенні нових систем необхідно визначитися з основними критеріями, яким повинні відповідати такі системи. Попередній аналіз показує, що весь набір параметрів може бути зведений у наступні чотири основні групи: типи підтримуваних тестових завдань; сервіс по створенню тестових завдань; побудова траєкторії тестування; обробка результатів тестування; адміністративні функції.

Для порівняння були обрані відомі системи Прометей 4.0, АСТ, Ellekta 5.01, Test Commander 3.0, Webquiz XP 2.0.34. Як показує аналіз, основні параметри провідних систем багато в чому схожі. Загальним недоліком усіх систем (у напрямку його подолання багато хто з них, імовірно, будуть розвиватися) є відсутність або обмеженість можливостей по обміну інформацією з міжнародним стандартом IMS QTI, а також відсутність засобів адаптивного тестування [4].

Під адаптивним тестовим контролем розуміють комп'ютеризовану систему науково обґрунтованої перевірки й оцінки результатів навчання, що має високу ефективність за рахунок оптимізації процедур генерації, пред'явлення й оцінки результатів виконання адаптивних тестів.

Ефективність контрольно-оцінних процедур підвищується при використанні багатокрокової стратегії відбору й пред'явлення завдань, заснованої на алгоритмах з повною контекстною залежністю, у яких черговий крок відбувається тільки після оцінки результатів виконання попереднього кроку (або кроків). Після виконання випробуваним чергового завдання щораз виникає потреба в ухваленні рішення про вибір рівня складності наступного завдання залежно від того, вірною або невірною була попередня відповідь [5].

Алгоритм підбору й пред'явлення завдань будується за принципом зворотного зв'язку, коли при правильній відповіді випробуваного чергове завдання вибирається більш важким, а невірна відповідь спричиняє пред'явлення наступного більш легкого завдання, ніж те, на яке випробуваним була дана невірна відповідь. Також є можливість завдання додаткових питань по темах, які той, якого навчають, знає не дуже добре для більш тонкого з'ясування рівня знань у даних областях. Таким чином, можна сказати, що адаптивна модель нагадує викладача на іспиті – якщо той, якого навчають, відповідає на, що задаються питання впевнено й правильно, викладач досить швидко ставить йому позитивну оцінку. Якщо той, якого навчають, починає «плавати», то викладач задає йому додаткові або навідні запитання того ж рівня складності або по тій же темі. І, нарешті, якщо той, якого навчають, із самого початку відповідає погано, оцінку викладач теж ставить досить швидко, але негативну [6].

До неодмінних умов реалізації таких алгоритмів слід віднести:

– наявність банку каліброваних завдань зі стійкими оцінками їх параметрів, що дозволяють прогнозувати успіх або неуспіх випробуваного при доборі чергового завдання адаптивного тесту;

– використання інструментальних-програмно-інструментальних засобів і комп'ютерних програм для індивідуалізації алгоритмів добору завдань, заснованих, як правило, на оцінці ймовірності правильного виконання навчальних завдань;

– використання параметричних моделей Item Response Theory [7] (психометрична теорія завдання і відповідь).

Багатокрокові стратегії адаптивного тестування можна підрозділити на фіксоване, варіюють від того, як конструюються багатокрокові адаптивні тести. Співставлення різних видів адаптивного тестування призводить до вибору комп'ютерного адаптивного тестування, заснованого на багатокрокових стратегіях, що варіюють, у якості основного підходу. Найбільш важлива перевага стратегій, що варіюють, пов'язане з можливістю оперативного реагування на результати виконання навчальних завдань шляхом переоцінки рівня підготовки того, якого навчають, після виконання кожного чергового завдання адаптивного тесту.

Тестування зазвичай починається із завдань середньої складності, але можна починати й з легких завдань, тобто йти за принципом підвищення складності. Тестування закінчується, коли параметри функції успіху (по моделі Раша [8]) є статистично певними й дозволяють оцінити по тій або іншій шкалі рівень підготовки випробуваного.

Особливості адаптивного тестування: дозволяють більш гнучко й точно вимірювати знання суб’єктів навчання; дозволяє вимірювати знання меншою кількістю завдань, ніж в класичній моделі; виявляє теми, які суб’єкт

навчання знає погано й дозволяє задати по них низку додаткових питань; заздалегідь невідомо, скільки питань необхідно задати суб'єкту навчання, щоб визначити його рівень знань. Якщо кількість питань, закладених у систему тестування, виявляється недостатньою, можна перервати тестування й оцінювати результат по тій кількості питань, на яку відповів суб'єкт навчання; можливе застосування тільки на ПК.

Надійність результатів тестування в цьому випадку досить висока, тому що здійснюється пристосування під рівень знань конкретного суб'єкта навчання, що забезпечує більш високу точність вимірів.

III. Моделювання адаптивного тестування

Для визначення базового алгоритму, необхідно привести сценарій роботи системи. У його основі лежить модель приймання іспиту викладачем у студента, як модель адаптивного тестування. Такий вибір сценарію роботи системи обумовлений тим, що, по-перше, дана процедура історично зложилася дуже давно й добре формалізована, по-друге, — при проектуванні тестів, їх розроблювачеві необхідно опиратися на загальноприйняті, відомі й використовувані їм методи з мінімальною модифікацією. Далі наведений сценарій приймання іспиту.

Сам алгоритм адаптивного тестування повинен мати на кожному кроці (при переході від одного завдання до іншого) максимальною інформативністю (тобто надавати максимум інформації про здатності студента на одне задане питання). У той же час, не можна повністю відмовлятися від обліку суб'єктивних властивостей студента, які можуть виражатися в нерозумінні очевидно поставленого питання або завдання.

Додаткові питання є невід'ємною частиною тестів за певних умов, однак потрібно врахувати: не всі додаткові питання є тотожні як з погляду складності, так і з погляду повноти відповідності основному питанню; ланцюжка додаткових питань є логічно зв'язаними послідовностями; питання (як основні, так і додаткові) задаються послідовно, тобто неможливо задати два або більш питання одночасно; частота завдавання додаткових питань різна.

За базову, але не єдину модель системи адаптивного тестування, обрана вистава у вигляді Марківських мереж, яке має наступні властивості: основною одиницею є питання певної складності, у якого можуть бути ланцюга додаткових питань; вибір додаткового питання визначається виходячи з імовірності появи кожного додаткового питання як потоку найпростіших подій з експонентним розподілом або шляхом логічного висновку на вибір невірної відповіді; система тестів є замкненою в розумінні Марківських мереж, тобто якщо питання (основний або додатковий) являє собою стан s_i, що має ймовірність перебування в ній системи $P(s_i)$, те сумарна ймовірність $P\sum$ перебування системи в S тотожно визначається як:

$$P\sum=\sum P(s_i) =1;$$

зазначений стан – це тестове завдання як процес оцінки знань і вмінь випробуваного, повинне виконуватися у випадку вдалої відповіді на одне з питань та/або додаткового питання (або їх ланцюгів), тобто «вирахування» одного з питань не повинне «руйнувати» зазначений стан.

Останнє дозволяє обходити питання нескінченно, тобто завершення тесту можливо в наступних випадках: вичерпані всі питання в банку тестових завдань; досягнуто кінець тесту; рівень знань оцінений з достатньою точністю; рівень знань розташований на досить далекій відстані від значення критерію проходження тесту; суб'єкт тестування показує свою неспроможність при відповідях на запитання тесту.

Подання алгоритму тестування у вигляді Марківських мереж не є вичерпним. Як при правільній, так і при невірній відповіді на запитання повинне ухвалюватися одне з наступних рішень: перехід до наступного основного питання з вибором рівня його складності; перехід до додаткових питань (або до їхніх дерев), при цьому потрібно відкинути вже задані додаткові питання (як окремі, так і їх дерева); повернення до основного питання, якщо отримана відповідь на додатковий (або додаткові) питання; закінчення тестування. «Питання» (тестове завдання) як суб'єкт у розглянутому процесі тестування припускає виконання правил, що встановлені екзаменатором. Це відповідає й традиційному процесу приймання іспиту, тобто залежно від відповіді на поставлені питання екзаменатор ухвалює зазначені вище рішення. При цьому він бере до уваги як фрагментарно розділену відповідь (оцінка за кожне питання й висновок середнього), так і за певними їм правилами весь ланцюжок відповідей суб'єкта тестування.

Загальним підходом у прийнятих методах, крім загальних правил для всіх завдань, є компонування завдань із різних частин (рисунків, таблиць, мультимедійного змісту), обумовлених як стимули. Це дозволяє заощаджувати ресурси по розміщенню стимулів і виділяти програму обробки та загальні правила в різних частинах ПЗ.

Даний підхід не дозволяє в достатній ступені індивідуалізувати «питання». Насамперед, це пов'язане з тим, що кожне питання поєднує як безпосереднє завдання, так і рішення, що пов'язане з виконанням цього завдання з відповідями на додаткові питання. Враховуючи викладене, для забезпечення гнучкості в прийнятті рішень, простоти створення питань і правил, що визначають прийняття рішень для конкретного питання, доцільним є об'єднання питання й процедури ухвалення рішення, пов'язаного з ним. Такий підхід спрощує як процедуру тестування, так і саму систему тестування з погляду задоволення вимогам мінімальної складності застосовуваних алгоритмів.

Прийняття загальних для всього процесу тестування рішень, вимагає загальних підходів в одному сеансі тестування. Це вимагає використання протоколу тестування й застосування: алгоритмів операційного й

статистичного аналізу результатів тестування з погляду надмірності або недостатності інформації; алгоритмів, що визначають, рівень підготовки суб'єкта тестування; алгоритмів, що забезпечують стохастичні переходи по мережах тестових завдань.

Фактично, модель суб'єкта тестування в окремій сесії визначається протоколом опитування та результатами оцінювання знань.

Таким чином, даний підхід формує те, що є природнім для викладача, має аналог у класичному розумінні іспиту й визначається як модель суб'єкта навчання.

IV. Висновки

Процедуру додаткових питань пропонується виконувати двома способами. Перший спосіб полягає в тому, що до закінчення множини додаткових питань одного основного (або єдиного питання) не здійснюється ніяких дій, крім фіксування відповідей на запитання з наступної передачі протоколу основному питанню, де ухвалюється одне з наступних рішень: зарахувати відповідь на основне питання як правильний з можливим коректуванням складності; вважати питання незадовільним і перейти до групи питань більш низького рівня; повторно поставити додаткове запитання із залученням, що залишилися додаткових питань; повторно поставити основне запитання без залучення додаткових питань.

Останнє є загальною формою, тобто псевдо-інтерактивна процедура може бути зведена до маршової шляхом видалення логічного аналізу й прийняття рішень (тільки перехід у класичному розумінні Марківських мереж).

У випадку, коли додаткові питання, що належать основному питанню, утворюють фрагмент деревоподібної мережі, то при використанні якого-небудь додаткового питання із усього безлічі цих питань певного для тесту взагалі, гілка деревоподібної мережі (графа) знищується повністю. Такий же результат має місце тоді, коли це додаткове питання задане безпосередньо в контексті конкретного основного питання тесту, але в цьому випадку цей результат має місце після закінчення відповіді на додаткові питання, що належать його гілці.

У результаті проведеного аналізу моделей і методів адаптивного тестування можна зробити висновки, що кращими є підходи, засновані на класі багатоступінчастих методів адаптивного тестування, які ефективно підтримують комплексну модель адаптивного тестування.

Дана модель у свою чергу є оптимальною для реалізації контролю знань у дистанційному навчанні. Однак, виявлене протиріччя між адекватною статистичною оцінкою знань і вмінь випробуваного й обраного методу, заснованого на принципі максимуму інформативності.

Обрана модель представлення тестових завдань із використанням додаткових питань на основі мереж Маркова, яка може забезпечити вирішення зазначеного вище протиріччя.

Для вирішення завдань тестування обраний метод адаптивного тестування Г. Раша. Визначені методи статистичної обробки результатів тестування й побудови функції розподілу ймовірностей правильних відповідей. Наявність логічного аналізу й ухвалення рішення в тестовім завданні моделює правило поведінки екзаменатора. Тобто прийнятий ситуативний підхід на підставі правил для конкретного питання про поведінку (передача керування іншому питанню) у рамках окремо взятого завдання. Це дозволяє не тільки враховувати елементарну безліч результатів відповіді (ложно або істинно), але й те, яка відповідь із безлічі неправильних відповідей обраний з урахуванням стану протоколу тестування до звертання до конкретного питання.

Запропонована модель лінійного програмування для конструювання систем багатоступінчастого тестування, засновану на критерії максимуму інформації, що дозволяє брати до уваги різноманітні обмеження для різних тестових структур. Можливість включення таких обмежень у системи східчастого адаптивне тестування привернула увагу до цього методу.

Література References

[1] Learning management system // URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Learning_management_system.

[2] Бейкер, Р. Educational data mining and learning analytics/Р. Бейкер, Г. Сіменс – The Cambridge handbook of the learning sciences, 2019. – 274 с.

[3] Ржеуцька С. Опыт применения методов кластеризации для анализа результатов дистанционного обучения // Информатизация инженерного образования: материалы международной науч.-практ. конф. 2016. № 56. С. 617 – 620.

[4] Expectation-maximization algorithm // URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Expectation%E2%80%93maximization_algorithm.

[5] Кукіер, К. Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think/К. Кукіер, В. Штойнберг, 2017. – 236 с.

[6] Дашкевич О. Аналіз можливостей Apache Kafka в рамках забезпечення стримінгу Big Data // Информационные системы и технологии: материалы 7-й Международ. науч.-техн. конф. 2018. № 12. С. 34-35.

[7] Data Mining with WEKA MOOC – Material // Machine Learning at Waikato University. URL: https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/WEKA/mooc/ dataminingwithWEKA.

[8] A Simple Step by Step Guide to WEKA // Analyticscosm. URL: https://analyticscosm.com/a-simple-step-by-step-guide-to-WEKA

Моніторинг Використання Неліцензованого Програмного Забезпечення

Андрій Гальченко
кафедра програмної інженерії
Запорізький національний університет
Запоріжжя, Україна
andream1993@ukr.net

Сергій Чопоров
кафедра програмної інженерії
Запорізький національний університет
Запоріжжя, Україна
s.choporoff@znu.edu.ua

The Unlicensed Software Monitoring

Andrii Halchenko
dept. of Software Engineering
Zaporizhzhian National University
Zaporizhzhia, Ukraine
andream1993@ukr.net

Sergey Choporov
dept. of Software Engineering
Zaporizhzhian National University
Zaporizhzhia, Ukraine
s.choporoff@znu.edu.ua

***Анотація*—Вказана робота є результатом дослідження особливостей криптографічних засобів захисту, зокрема алгоритмів заперечуваного шифрування. Метою цієї роботи є попередня презентація можливості застосування механізмів заперечуваного шифрування для боротьби з використанням і поширенням неліцензованого програмного забезпечення. Об'єктом дослідження є засоби захисту програмного забезпечення від крадіжки програмного коду. Предметом дослідження є перевірка можливості використання механізмів заперечуваного шифрування для виявлення джерел і шляхів поширення неліцензованого програмного забезпечення. За результатами роботи запропоновано та описано метод виявлення фактів зламу програмного забезпечення, їх реєстрації та пошуку зловмисників через мережу Інтернет. Отже використання механізмів заперечуваного шифрування дозволяє захищати не лише дані та їх операторів, а також програмне забезпечення від несанкціонованого копіювання та поширення вірусного програмного забезпечення разом з ним.**

***Abstract*—This article is a result of the deniable encryption algorithms investigation. The reducing of unlicensed software distribution by the deniable encryption mechanisms is the main goal of this paper. The investigated object is a protection of programming code from leaking. The unlicensed software developers and software distribution routes locating by by the deniable encryption algorithms is the subject of this article. The methods of software cracking detection, its registration and location in the Internet are proposed and described. That's why secured data, its users and the unauthorized software copying prevention are allowed by the deniable encryption mechanisms applying.**

Ключові слова—інтелектуальна власність; Інтернет; заперечуване шифрування; захист інформації; ліцензування; локалізація; моніторинг; несанкціонований доступ; піратство; програмне забезпечення; програмний код.

Keywords—intellectual property; Internet; deniable encryption; information security; licensing; localization; monitoring; unauthorized access; piracy; software; program code.

I. Вступ

Сучасний світ – це інформаційний простір, який містить різноманітні дані про процеси в оточуючому середовищі. В теперішній час об'єм усієї інформації, яка знаходиться у мережі, складає приблизно $40 \cdot 10^{21}$ байт [1]. Але вказане значення стосується лише мережі та не враховує інформації, яка зберігається на ізольованих від мережі пристроях. Згідно з відкритими джерелами лише 1% цієї інформації оброблено, а захищено менше 20%. При цьому об'єм даних зростає кожного дня [2].

Обробка та використання вказаних даних є ключовим завданням в будь-якій галузі. Однак, враховуючи розмір даних, людина фізично не має можливості обробляти її. Для виконання вказаних завдань використовуються автоматизовані системи обробки даних. Однак для інтерпретації та подальшого використання цієї інформації необхідно використання додаткового програмного забезпечення, яке не входить до складу автоматизованих систем. Вказані програми дозволяють перетворювати інформацію згідно з побажаннями користувача. Однак ідеї, на яких ґрунтується робота програм, процес їх

розробки і супроводу потребують значного часу та людських ресурсів. Вказане зумовлює формування деякого еквівалентного значення, яке часто виражається у вигляді матеріальних (грошових) ресурсів [3].

Враховуючи вищевказане в галузі інформаційних технологій з'явилося поняття «піратства» [4]. Суть вказаного поняття полягає в зламі засобів захисту ліцензованого програмного забезпечення, крадіжці ідей розробників (програмного коду) та їх використання в особистих цілях.

Вказане є одним із способів несанкціонованого доступу до інформації, яка виражена у вигляді коду програмного забезпечення. За результатами незалежних досліджень частка використання програмного забезпечення в світі складає 15-90% [5]. Внаслідок цього щорічно компанії-розробники програмного забезпечення несуть збитки в середньому на 345,93 млн. доларів. Враховуючи той факт, що компанії повинні сплачувати податки на прибуток з кожної копії програмного продукту, то збитки завдані державам-піратам складають 70 млн. доларів/рік [6]. Крім того, деякі екземпляри програмного забезпечення умисно оснащуються додатковим програмним забезпечення для реалізації несанкціонованого доступу до особистої інформації користувачів. Середній розмір збитків від таких атак складає до 6 трлн. доларів/рік [7], лише в США. Внаслідок цього збитки несуть компанії-розробники, «держави-пірати» та кінцеві користувачі вказаного програмного забезпечення.

II. Способи зламу програмного забезпечення

Злам програмного забезпечення досить кропіткий процес. Він вимагає знання не лише процесу та моделей розробки програмного забезпечення, але й середовищ в яких програмне забезпечення розробляється та використовується. На практиці виділяють наступні види зламу програмного забезпечення [8]:

- підбір валідного серійного номеру отриманого у нелегальний спосіб або його генерація. Такий номер генерується на підставі будь-якої інформації, а інколи має фіксоване значення (найбільш поширений серед зловмисників);
- використання loader-програм, які дозволяють змінювати фрагменти програмного забезпечення після його завантаження до оперативної пам'яті, але до його запуску (використовується проти зовнішніх засобів захисту програмного забезпечення);
- використання patch-програм полягає у статичній модифікації програмних файлів (найменш поширений метод зламу);
- використання cracked-файлів для заміни оригінальних файлів вихідного програмного забезпечення;
- використання емуляторів ключа ґрунтуються на підробці та копіюванні електронних ключів;
- підміна офіційних сайтів компаній-розробників програмного забезпечення з виконання відповідних налаштувань мережі або віртуальних машин для проходження перевірки ключа;
- перешкоджання доступу програмного забезпечення до мережі Інтернет у випадках активації ліцензійного ключа через мережу або зв'язку з сервером компанії-розробника.

Максимальний результат від зламу досягається зловмисниками шляхом комбінування способів зламу.

III. Способи захисту програмного забезпечення

Провідні компанії-розробники програмного забезпечення здійснюють боротьбу зі зламом і підробкою своїх продуктів за допомогою організаційних і юридичних заходів [9]. Разом з тим найбільш надійним та ефективним залишається використання технічних засобів захисту. На практиці виділяють наступні методи захисту програмного забезпечення:

- електронні ключі з прив'язкою до обладнання використовуються для захисту більш популярних і коштовних програмних продуктів (електронні ключі неможливо скопіювати);
- активація програмного засобу через мережу Інтернет не потребує використання фізичних носіїв (відносно дешевий, легкий у використанні та впровадженні);
- обфускація програмного коду передбачає заплутування вихідного програмного коду шляхом додавання «сміттєвих інструкцій» (не забезпечує суттєвого захисту від зламу).

IV. Використання механізмів заперечуваного шифрування

Незважаючи на вищевказані заходи, використання неліцензованого програмного забезпечення триває [5]. Компанії-розробники продовжують нести збитки. Крім того, зловмисники користуються цим для поширення шкідливого програмного забезпечення для доступу до чутливої інформації автоматизованих систем обробки даних [10]. При цьому можливість виявити та усунути шляхи поширення програмного забезпечення неможливо. Враховуючи вказане та існуючі способи зламу програм, авторами запропоновано спосіб боротьби з «піратством», який ґрунтується на використанні механізмів заперечуваного шифрування (рис. 1) [11]:

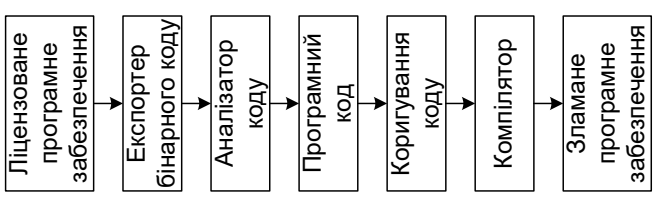


Рис. 1. Узагальнена схема зламу програмного забезпечення

В загальному випадку, штатні механізми перевірки ключів і активація програмних засобів не потребують внесення змін. Однак кожний примірник програми повинен бути оснащений модулем, який реалізує механізми заперечуваного шифрування даних (рис. 2):

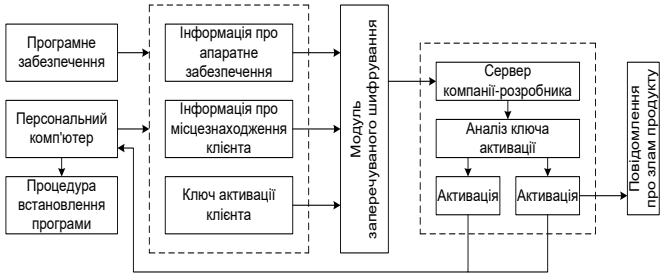


Рис. 2. Узагальнена схема захисту програмного забезпечення

Згідно з рис. 2 виділено 3 етапи активації програмного засобу: формування ключової інформації та автентифікація ключової інформації.

Алгоритм формування ключової інформації передбачає наступний порядок дій:

1) запуск процедури встановлення програмного забезпечення;
2) збір інформації про апаратне та програмне забезпечення персонального комп'ютера;
3) збір інформації про місце знаходження персонального комп'ютера (зовнішня, внутрішня, MAC-адреси, перелік сусідніх комп'ютерів, перелік бездротових точок доступу, тощо);
4) генерація ключової інформації на підставі даних з пункту 2;
5) отримання ключа шифрування даних від серверу компанії-розробника;
6) шифрування даних за допомогою одного з алгоритмів заперечуваного шифрування даних;
7) відправка зашифрованих даних на сервер компанії-розробника.

Алгоритм автентифікації включає наступні кроки:

1) Отримання шифрограми від клієнта.
2) Дешифрування ключової інформації про клієнта.
3) Аналіз ключової інформації:
   - якщо ключ має валідне значення, то виконується перехід до пункту 4;
   - якщо ключ має невалідне значення, то активація програмного забезпечення блокується, направляє повідомлення до служби безпеки про можливий випадок зламу програмного продукту з боку користувача.
4) Автентифікація ключової інформації:
   - якщо ключ автентичний - дозволити активацію та подальше встановлення програмного продукту;
   - якщо ключ був підроблений або використаний раніше - сервер погоджує активацію клієнта, запускає обов'язкове встановлення модуля зворотного зв'язку та направляє повідомлення до служби безпеки про можливий випадок зламу програмного продукту з боку користувача.

Обмеженнями використання вказаного підходу є:

- необхідність обов'язкової активації продукту через мережу Інтернет і його блокування в іншому випадку;
- генерація даних підтвердження (файлу з ключем) повинне формуватися виключно на сервері компанії-розробника;
- дані підтвердження (файл з ключем) повинні бути унікальними для кожного екземпляру програмного забезпечення;
- у випадку приховування користувачем свого місцезнаходження необхідно розробити додаткові заходи захисту або блокувати встановлення програмного продукту клієнтом.

В кінцевому результаті дані отримані за допомогою даного методу передбачають формування бази даних пристроїв, активацій автентикованих і зламаних програмних продуктів, з можливістю побудови географічної карти з їх розміщенням.

Також в якості додаткової функції автори пропонують використовувати модуль зворотного зв'язку програмного забезпечення з сервером компанії-розробника для уточнення даних про місцезнаходження клієнта.

V. Висновки

Таким чином, авторами була досягнута мета поставлена на початку роботи, зокрема запропоновано спосіб боротьби з використанням і поширенням неліцензованого програмного забезпечення.

Для досягнення вказаного результату були виконані наступні завдання:

1) виконано огляд аспектів створення та використання неліцензованого програмного забезпечення;
2) виконано огляд способів зламу програмного забезпечення та захисту від нього;
3) запропоновано модель автентифікації клієнтів на базі механізмів заперечуваного шифрування.

Запропонований авторами спосіб захисту не захищає від крадіжки ліцензованого програмного забезпечення, однак він дозволяє виробникам і спеціалізованим органам здійснювати відстеження осіб, які зламують або використовують неліцензоване програмне забезпечення. Вказаний підхід до вирішення проблеми, у сукупності з

іншими, повинен призвести або до зупинки створення неліцензованих копій програмного забезпечення, або до повної зупинки їх використання цільовими користувачами.

Наукова новизна вказаної роботи полягає у використанні механізмів заперечуваного шифрування для моніторингу шляхів поширення програмного забезпечення у мережі Інтернет.

Практичне значення вказаної роботи полягає в створенні способу виявлення (не перешкоджання) та встановлення місця перебування осіб, які зламують ліцензоване та використовують неліцензоване програмне забезпечення, за допомогою технічних даних з робочих станцій і мереж.

Література References

[1] Толмачев, С., 2020. Стал Известен Объем Трафика Интернета 2020. [онлайн] VN.ru. Режим доступа: <https://vn.ru/news-stal-izvesten-obem-trafika-interneta-2020/> [Последний доступ 31 августа 2020].

[2] Bit.Samag.ru. 2020. В Мире Проанализировано Менее 1% Всей Информации, Защищено Менее 20%. [онлайн] Режим доступа: < http://bit.samag.ru/uart/more/23#:~:text=Согласно прогнозам, к 2020 г,использовано 2,8 зеттабайт данных> [Последний доступ 31 августа 2020].

[3] Румянцев, А., 2020. Модели формирования цены программных продуктов. Ph. D. Санкт-Петербургский государственный инженерно-экономический университет.

[4] Середа, С., 2004. Проблема теневого рынка программных продуктов и пути ее разрешения. In: Международная конференция «Проблемы противодействия компьютерной преступности». [онлайн] Режим доступа: <http://consumer.stormway.ru/piracy.htm> [Последний доступ 31 августа 2020].

[5] Global Software Survey, 2017. Рейтинг Стран По Уровню Использования Пиратского ПО. [онлайн] Режим доступа: <https://nonews.co/directory/lists/countries/software-license> [Последний доступ 31 августа 2020].

[6] Кравченко, Д., 2018. Поставки программной продукции: особенности применения IT-льготы. Бухгалтерская неделя, [онлайн] 24. Режим доступа: <https://i.factor.ua/journals/bn/2018/june/issue-24/article-37044.html> [Последний доступ 31 августа 2020].

[7] Смирнов, В., 2019. Ежегодно Компании Теряют От Кибератак До 6 Триллионов Долларов США. [онлайн] Channel4it. Режим доступа: <https://channel4it.com/publications/Ezhegodno-kompanii-teryayut-ot-kiberatak-do-6-trillionov-dollarov-SSHA-35900.html> [Последний доступ 31 августа 2020].

[8] Середа, С., 2002. Анализ средств преодоления систем защиты программного обеспечения. ИНФОРМОСТ - Радиоэлектроника и Телекоммуникации, [онлайн] 4(22). Режим доступа: <http://consumer.stormway.ru/hacktool.htm> [Последний доступ 31 августа 2020].

[9] Степин, А., 2010. Современные технологии защиты ПО от нелегального копирования: что выбрать разработчику?. Information Security / Информационная безопасность, [онлайн] 4. Режим доступа: <http://lib.itsec.ru/articles2/Oborandteh/sovremennie-tehnologii-zashiti-po-ot-nelegalnogo-kopirovaniya-chto-vibrat-razrabotchiky> [Последний доступ 31 августа 2020].

[10] Герасюкова, М., 2019. Вирус С Завода: Хакеры Атаковали Колыбель Android На Android-Смартфонах Нашли Предустановленный Вирус. [онлайн] Gazeta.ru. Режим доступа: <https://www.gazeta.ru/tech/2019/06/10/12405745/android_factory.shtml> [Последний доступ 31 августа 2020].

[11] Canetti, R., Dwork, C., Naor, M. and Ostrovsky, R., 2020. Deniable Encryption. In: Advances in cryptology, (CRYPTO-97). Springer-Verlag Lecture Notes in Computer Science, pp.90-104.

Аналіз Методів Обробки Природної Мови

Костянтин Онищенко
кафедра Програмної інженерії
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
kostiantyn.onyshchenko@nure.ua

Яна Данієль
кафедра Програмної інженерії
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
yana.daniiel@nure.ua

Роман Каменєв
кафедра Програмної інженерії
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
roman.kameniev@nure.ua

Analysis of Natural Language Processing Methods

Kostiantyn Onyshchenko
department of System Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
kostiantyn.onyshchenko@nure.ua

Yana Daniiel
department of System Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
yana.daniiel@nure.ua

Roman Kameniev
department of System Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
roman.kameniev@nure.ua

***Анотація*—Розглянуто підходи та методи, що використовуються для розв'язування задач оброки природної мови. Виділені перспективні напрямки розвитку галузі, окреслені переваги та недоліки розглянутих методів у задачах «розуміння» природної мови, перекладу такого тексту та відповіді на питання.**

***Abstract*—The approaches and methods used to link natural language tasks are discussed. The separate perspective directions of development of branch, separate advantages and lacks consider methods in a problem of "understanding" of natural language, translation of such text and answers to questions.**

Ключові слова—обробка природної мови, машинне навчання, глибинне навчання, інструменти машинного навчання, методи

Keywords—natural language processing; machine learning; deep learning; machine learning tools; methods

I. Вступ

В останні десятиріччя спостерігається значний інтерес до вирішення задач обробки тексту. Із розвитком голосових помічників та чат-ботів все більше постає необхідність у «розумінні» та інтерпретації природної мови. Однозначність сприйняття тексту суттєво впливає на процес обробки закладених даних та отримання результатів.

Обробка природної мови (NLP – Natural Language Processing) – це підрозділ інформаційних технологій, штучного інтелекту та лінгвістики, метою якого є вивчення проблем комп'ютерного аналізу та синтезу природної мови. Повне розуміння та відтворення сенсу мови – надзвичайно складне завдання, оскільки людська мова має цілий ряд особливостей.

Людська мова – це спеціально сконструйована система передачі сенсу сказаного або написаного, якій притаманні дискретні, категоріальні або символьні властивості. Така система володіє особливим кодуванням та усвідомленою передачою інформації, що вирізняється стійкістю та надійністю. Категоріальні символи мови кодуються як сигнали для спілкування по декількох каналах: звук, жести, лист, зображення, інше. При цьому мова здатна виражатися будь-яким способом.

Сьогоденне використання NLP зводиться до вирішення задач пошуку (письмовий або усний), підбору контекстної онлайн-реклами, автоматичного або напівавтоматичного перекладу, аналізу настроїв для задач маркетингу, розпізнавання мови, чат-ботів та голосових помічників.

II. Глибинне навчання в NLP

Істотна частина технологій NLP працює завдяки глибинному навчанню (Deep Learning) – галузі машинного навчання, що ґрунтується на наборі алгоритмів, які намагаються моделювати високорівневі абстракції в даних, застосовуючи глибинний граф із декількома обробними шарами, що побудовано з кількох лінійних або нелінійних перетворень [1].

Доцільність використання глибинного навчання зумовлюється наступними факторами:

- накопичено великі обсяги тренувальних даних;
- розроблено обчислювальні потужності: багатоядерні CPU і GPU;
- створено нові моделі і алгоритми з розширеними можливостями і поліпшеною продуктивністю, з гнучким навчанням на проміжних уявленнях;

- з'явилися навчальні методи з використанням контексту, нові методи регуляризації та оптимізації.

Успішне використання більшості методів машинного навчання було досягнуто завдяки наявності репрезентативних даних, вхідних ознак, та оптимізації ваг, для підвищення точності фінального передбачення [1].

У глибинному навчанні алгоритм намагається автоматично витягти кращі ознаки (подання) з сирих вхідних даних. Створені вручну ознаки можуть бути занадто спеціалізованими, неповними та такими, що потребують часу для створення та затвердження. На противагу цьому, виявлені глибинним навчанням ознаки легко пристосовуються.

Глибинне навчання пропонує гнучкий, універсальний та навчаємий фреймворк для подання інформації за допомогою візульного та лінгвістичного представлень.

III. Векторне представлення (text embeddings)

У традиційному NLP слова розглядаються як дискретні символи, які в подальшому представлені у вигляді одноразових векторів. Недолік такого способу представлення слів полягає у відсутності визначення схожості для одноразових векторів. Вирішити дану проблему можна за допомогою кодування схожості у самих векторах [2].

Векторне представлення – це метод представлення строк у вигляді векторів зі значеннями. Створюється плоский (щільний) вектор для кожного слова так, щоб слова у схожих контекстах мали подібні вектори. Такий спосіб представлення враховує стартову точку для більшості завдань NLP та робить глибинне навчання ефективним на малих датасетах [2]. Техніки векторних представлень Word2vec і GloVe, створених Google, користуються популярністю та часто використовуються для задач NLP. Розглянемо їх.

A. Word2Vec

Word2vec приймає великий корпус (corpus) тексту, в якому кожне слово у фіксованому словнику подано у вигляді вектору. Алгоритм проходить по кожній позиції *t* в тексті, яка представляє собою центральне слово *c* і контекстне слово *o*. Далі використовується схожість векторів слів для *c* та *o*, щоб розрахувати ймовірність *o* при заданому *c* (або навпаки), і триває регулювання вектор слів для максимізації цієї ймовірності (рис. 1).

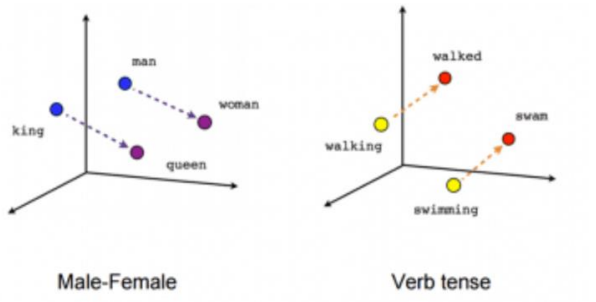


Рис. 1. Приклад роботи алгоритму Word2Vec

Для досягнення кращого результату роботи Word2vec, з датасету видаляються непотрібні слова (або слова з великою вживаністю, в англійській мові - a, the, of, then, тощо). Це допомагає збільшити точність моделі та скоротити час на тренування. Крім того, використовується негативна вибірка (negative sampling) для кожного входу, оновлюючи ваги для всіх правильних міток, але тільки на невеликій кількості некоректних міток.

Word2Vec представлено у 2 варіаціях моделей (рис. 2).

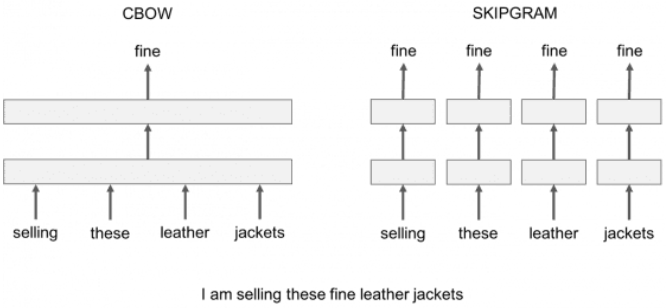


Рис. 2. Моделі CBOW та SKIPGRAM

При використанні моделі SKIPGRAM розглядається контекстне вікно, що містить *k* послідовних слів. Далі пропускається одне слово і відбувається процес навчання нейронної мережі, що містить всі слова, крім пропущеного. Алгоритм намагається передбачити його. Якщо 2 слова періодично поділяють схожий контекст в корпусі, ці слова будуть мати близькі вектори.

При використанні моделі CBOW (Continuous Bag of Words) береться багато пропозицій в корпусі. Кожен раз, коли алгоритм бачить слово, береться сусіднє слово. Далі на вхід нейромережі подається контекстні слова і передбачається слово в центрі цього контексту. У випадку великої кількості тематичних слів і центрального слова, отримуємо один екземпляр датасету для нейромережі. Нейромережа тренується та подає на виході закодований прихований шар, що представляє собою вкладення (embedding) для певного слова. Аналогічна ситуація відбувається, якщо нейромережа тренується на великій кількості пропозицій та слів. В схожому контексті для них формуються схожі вектори.

Недоліком даних методів є приналежність до класу window-based моделей, для яких характерна низька ефективність використання статистики збігів в корпусі, що призводить до неоптимальних результатів.

B. GloVe

GloVe має на меті вирішити цю проблему захопленням значення одного word embedding зі структурою всього доступного для огляду корпусу. Щоб зробити це, модель шукає глобальні збіги числа слів і використовує досить статистики, мінімізує середньоквадратичне відхилення, видає простір вектора слова з розумною Субструктура. Така схема в достатній мірі дозволяє ототожнювати схожість слова з векторним відстанню.

IV. Машинний переклад

Машинний переклад (Machine translation) - перетворення тексту на одному природною мовою в еквівалентний за змістом текст на іншій мові. Машинний переклад виконується програмою або машиною без участі людини. У машинному перекладі використовується статистика використання слів по сусідству [3].

У традиційних системах машинного перекладу доводиться використовувати паралельний корпус - набір текстів, кожен з яких перекладено на один або декілька інших мов. Наприклад, маючи вихідних мову *f* (Французький) і цільову *e* (Англійська), потрібно побудувати статистичну модель, що включає вірогіднісне формулювання для правила Байєса, модель перекладу *p (f | e)*, навчену на паралельному корпусі, і модель мови *p (e)*, навчену тільки на корпусі з англійською мовою [3].

Даний підхід пропускає сотні важливих деталей, вимагає великої кількості спроектованих вручну ознак, складається з різних і незалежних завдань машинного навчання.

Нейромережевий машинний переклад (Neural Machine Translation, NMT) - підхід до моделювання перекладу за допомогою рекурентної нейронної мережі (Recurrent Neural Network, RNN). RNN - нейромережа із залежністю від попередніх станів, що має зв'язки між ітераціями. Нейрони отримують інформацію з попередніх шарів та з самих себе на попередньому етапі. Це означає, що порядок, в якому подається на вхід дані і тренується мережа, важливий: результат подачі "Міккі" - "Маус" не збігається з результатом подачі "Маус" - "Міккі" (рис. 3).

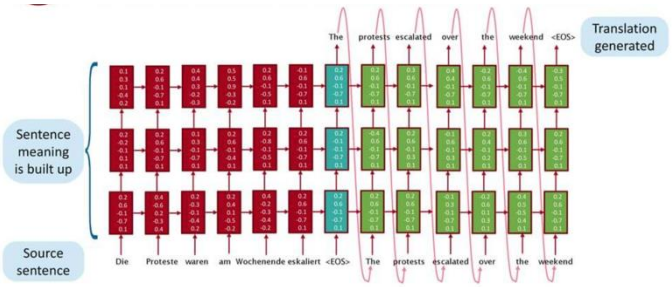


Рис. 3. Neural Machine Translation

Стандартна модель нейро-машинного перекладу є наскрізною нейромережею, де вихідна пропозиція кодується RNN (encoder), а цільове слово передбачається за допомогою іншої RNN (decoder). Кодувальник «читає» вихідну пропозицію зі швидкістю один символ в одиницю часу, після чого об'єднує вихідну пропозицію в останньому прихованому шарі. Декодер використовує зворотне поширення помилки для вивчення цього об'єднання і повертає перекладений варіант.

Головна проблема RNN - це зникнення градієнта, коли інформація втрачається з часом. Спершу можна сприйняти цю проблему як не серйозну, оскільки це ваги, а не стани нейронів. Але, з часом, ваги стають місцями для зберігання інформації з минулого. Якщо вага прийме значення 0 або 100000, попередній стан втратить свою інформативність. Як наслідок, RNN будуть зазнавати труднощів у запам'ятовуванні слів, що стоять далі в послідовності, а передбачення будуть робитися на основі крайніх слів.

Мережі довгої короткочасної пам'яті (Long / short term memory, далі LSTM) борються з проблемою градієнта зникнення шляхом введення гейтів (gates) та ячеєк пам'яті. Кожен нейрон представляє з себе ячейку пам'яті з трьома гейтами: на вхід, вихід та забування (forget). Ці затвори виконують функцію охоронців інформації, дозволяючи або забороняючи потік даних.

Вхідний гейт визначає кількість інформації, що буде зберігатися в цьому осередку з попереднього шару. Вихідний гейт визначає, яка частина наступного шару дізнається про стан поточної ячейки. Гейт забування контролює міру збереження значення в пам'яті. Наприклад: при вивченні книги починається новий розділ, тому, іноді, для нейромережі стає необхідним забути деякі слова з попереднього розділу.

LSTM мережі здатні навчатися на складних послідовностях. Вони поширені і використовуються в машинному перекладі, здатні до написання текстів в конкретному стилі та можуть використовуватись для складення простої музики. Крім цього, це стандартна модель для більшості завдань маркування (labeling) послідовності, які складаються з великої кількості даних.

Закриті рекурентні блоки (Gated recurrent units, GRU) відрізняються від LSTM, хоча теж є розширенням для нейромережевого машинного навчання. У GRU міститься на один гейт менше та інший принцип принцип роботи: відсутні вхідний та вихідний гейти, а також гейт забування. Замість них у GRU є гейт поновлення (update gate). Він визначає, скільки інформації необхідно зберегти з останнього стану і скільки інформації пропускати з попередніх шарів.

Функції скидання гейта (reset gate) схожа на затвор забування у LSTM, але відрізняється розташуванням. GRU завжди передає свій повний стан, не маючи вихідного затвору. За функціональністю цей затвор схожий на аналогічний у LSTM, однак, в GRU затвор працюють швидше і легше в управлінні. На практиці вони прагнуть нейтралізувати один одного, оскільки потрібна велика нейромережа для відновлення виразності (expressiveness), яка зводить нанівець прирости результативності. У випадках, де не потрібно екстра виразності, GRU показують кращий результат, ніж LSTM.

Крім цих трьох головних архітектур, за останні кілька років з'явилося багато покращень в нейромережевому машинному перекладі:

• Sequence-to-Sequence Learning with Neural Networks довели ефективність LSTM для нейронного машинного перекладу. Цей метод використовує багатошарову LSTM, щоб відобразити вхідну послідовність у вигляді вектора з

фіксованою розмірністю, далі йде застосування іншої LSTM для декодування цільової послідовності з вектора.

• Neural Machine Translation by Jointly Learning to Align and Translate представив механізм уваги (attention mechanism) в NLP. Визнаючи факт, що використання вектора фіксованої довжини є вузьким місцем в поліпшенні результативності NMT, було запропоновано дозволити моделі автоматично шукати частини вихідної пропозиції, що релевантні до передбачення цільового слова (без необхідності явного формування цих частин).

• Google створила власну NMT систему, Google's Neural Machine Translation, яка вирішує завдання точності і простоти застосування. Модель складається з глибокої LSTM мережі з 8 кодуючими та 8 декодуючими шарами і використовує як залишкові зв'язку, так і attention-зв'язку від декодермережі до кодермережі.

• Замість використання рекурентних нейромереж, Facebook AI Researchers використовують згорткову нейронну мережу для задач sequence-to-sequence навчання в NMT.

V. Голосові помічники

Через обмеженість можливостей штучного інтелекту у обробці природної мови, створення повноцінного розмовного асистента залишається відкритою задачею.

Сумісною працею дослідників з Монреалю, Технічного Інституту Технологій Джорджії, Microsoft та Facebook було створено нейронну мережу, що може генерувати чутливі до контексту відповіді у розмові [https://arxiv.org/pdf/1506.06714v1.pdf]. Тренування системи проводилося на великому наборі неструктурованих діалогів у соціальній мережі Twitter. Архітектура рекурентної нейронної мережі використовується для створення відповідей на розріджені питання, що виникають під час інтегрування контекстної інформації у класичну статистичну модель. Створена модель показує істотне покращення результатів над контент-чутливою і контент-нечутливою базовою лінією машинного перекладу та пошуку інформації [1].

Нейронна машина для відповідей (NRM — Neural Responding Machine) — це розроблений у Гонконзі генератор відповідей для коротких розмов, створений із використанням спільного кодер-декодер фреймворка. Спочатку формалізується створення відповіді, як процес розшифрування на основі прихованого представлення вхідного тексту, у той час як кодування та декодування здійснюються за допомогою рекурретних нейронних мереж. Навчання NRM здійснювалося на великих об'ємах даних із однозначними діалогами, зібраними з мікроблогів. Емпірично встановлено, що NRM генерує граматично коректні та контекстуально доречні відповіді у 75% наданих для обробки розмов, що перевищує показники інших сучасних моделей подібної конфігурації [1].

Google's Neural Conversational Model — це модель, що пропонує підхід до моделювання діалогів на основі sequence-to-sequence фреймворку. Модель здатна вести розмову, висуваючи припущення стосовно наступної репліки. Припущення базуються на попередніх висловлюваннях. Модель здатна до наскрізного навчання, що зменшує потребу у створенні великої кількості штучних правил і обмежень. Прості діалоги можуть конструюватися на основі діалогового тренувального датасету, вузькоспеціалізованих датасетів та зашумлених датасетів із субтитрами до фільмів [3].

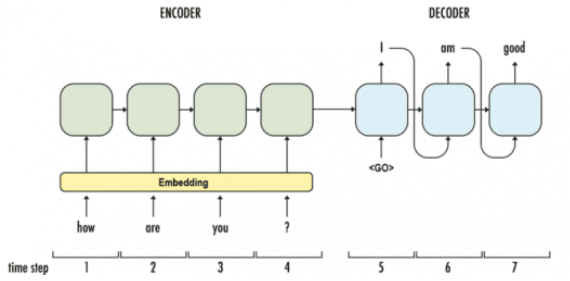


Рис. 4. Neural Responding Machine

VI. Системи типу «питання-відповідь» (QA)

Системи типу «питання-відповідь» добувають інформацію безпосередньо з джерела (документа, розмови, онлайн пошуку, набору картинок, тощо). Такі системи надають короткі і лаконічні відповіді замість розгорнутого тексту. Більшість NLP задач можна розглядати як задачі типу «питання-відповідь», де користувач надсилає запит (наприклад, через інтегрованого чат-бота) і отримує відповідь від системи [4].

Для вирішення QA задач існує спеціальна оптимізована архітектура глибинного навчання — Мережа Динамічної Пам'яті (Dynamic Memory Network, далі — DNM). DNM навчається на тренувальному наборі вхідних даних та питань і формує епізодичні «спогади» про них, які потім використовуються для генерації доречних відповідей. Архітектура DNM складається з наступних компонентів:

• Модуль семантичної пам'яті, аналогічний базі знань. Він складається із попередньо підготовлених GloVe векторів, що використовуються для створення послідовностей векторних представлень слів із вхідних висловлювань. Ці вектори будуть використані як вхідні дані моделі.

• Вхідний модуль переробляє зв'язані із питанням вхідні вектори в наборах векторів, що називаються фактами. Цей модуль реалізований за допомогою Керованого рекурентного блоку (Gated Recurrent Unit, далі — GRU), що дозволяє визначити релевантність розглянутого висловлювання.

• Модуль питань обробляє питання слово за словом, і генерує вектор із використанням GRU (аналогічно з вхідним модулем, і такими самими вагами).

• Модуль епізодичної пам'яті зберігає визначені на вході вектори фактів і питань, закодованих як вкладення.

• Модуль відповідей генерує доречну відповідь із епізодичної пам'яті, що містить необхідну для цього інформацію на останньому етапі. Цей модуль використовує інший GRU, натренований із класифікацією крос-ентропійної помилки коректної послідовності, що конвертується назад у природню мову.

DNM мають вищу ефективність у вирішенні QA задач порівняно з іншими архітектурами для семантичного аналізу та часткомовної розмітки (part-of-speech tagging).

VII. Стислий переказ тексту

Стислий переказ тексту (Text Summarization) — інструмент інтерпретації текстової інформації, що дозволяє створювати лаконічні резюме великих текстових фрагментів. Скорочення тексту формується у декілька етапів: підрахунок частоти появи слова в текстовому документі; визначення 100 найбільш частих слів; сортування визначених слів; оцінювання кожного речення із найбільш частими словами, із наданням більшого вагового коефіцієнту словам, що зустрічаються частіше; сортування перших X речень з урахуванням їхнього положення в оригінальному тексті [5].

Виділяють два основних підходи до скорочення тексту: видобувний та абстрактний. Видобувний підхід добуває слова та фрази з оригінального тексту для створення стислого перекладу. LexRank і TextRank є відомими представниками цього підходу, що використовують варіації алгоритму сортування сторінок Google PageRank.

LexRank - алгоритм навчання без вчителя на основі графів, який застосовує модифікований косинус зворотної частоти використання слова як міру схожості двох речень. LexRank запобігає тавтологій шляхом інтелектуальної післяобробки, що перевіряє головні речення переказу на низький коефіцієнт подібності.

TextRank схожий на LexRank, але містить низку переваг, а саме: використання лемматизації замість стеммінгу; застосування часткомовної розмітки та розпізнавання імені об'єкту; виділення важливих ключових фраз разом зі стислим викладом тексту.

Абстрактний підхід вивчає внутрішнє мовне представлення тексту, щоб створити подібну до людської інтерпретацію шляхом перефразування. Моделі для абстрактного стислого переказу тексту використовують глибинне навчання, що призвело до прориву у цій сфері.

Висновки

Моделі рекурсивного глибокого навчання можуть вирішувати безліч мовних завдань, що включають передбачення на рівні слова та речення як безперервного, так і дискретного характеру. Одним із багатьох можливих рішень для досягнення цієї мети є застосування рекурсивних або рекурентних методів для обчислення подань рівня абзацу або документа. Другий виклик для глибиних моделей - це логічні міркування першого порядку, які можуть знадобитися для отримання правильної інформації з баз знань за допомогою питань природної мови. Розглянуті моделі в цій дипломній роботі можуть бути розширені, щоб врешті-решт спільно моделювати мову, образи та бази знань в одній цілісній семантичній структурі.

Література References

[1] J. Le. (2018). "The 7 NLP Techniques That Will Change How You Communicate in the Future (Part I)" [Online]. Available: https://heartbeat.fritz.ai/the-7-nlp-techniques-that-will-change-how-you-communicate-in-the-future-part-i-f0114b2f0497

[2] M. Bates (1995). "Models of natural language understanding" [Online]. Available: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC40721/

[3] R. Socher, "Recursive deep learning for natural language processing and computer vision" Stanford University, 2014, pp. 8-120.

[4] Afanasieva I. Data exchange model in the Internet of Things concept / I. Afanasieva, N. Golian, O. Hnatenko, Y. Daniiel, K. Onyshchenko // Telecommunications and Radio Engineering, New York, 2019. – 10(78). – p. 869-878

[5] Onyshchenko A. Adaptive method of training neural networks / A. Onyshchenko, K. Onyshchenko // Technique and technology. Science, Research, Development #29. Gdansk, 2020. – p. 9-11.

Задачи по Программированию с Трекингом Решений

Владимир Бондарев
кафедра программной инженерии
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
volodymyr.bondariev@nure.ua

Юлия Черепанова
кафедра программной инженерии
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
yulia.cherepanova@nure.ua

Programming Problems with Solution Tracking

Volodymyr Bondariev
Department of Software Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
volodymyr.bondariev@nure.ua

Yulia Cherepanova
Department of Software Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
yulia.cherepanova@nure.ua

***Аннотация*—Предлагается дополнить систему автоматической проверки задач по программированию детальным протоколированием хода решения. Протокол позволяет анализировать действия обучаемого и корректировать процесс обучения на основании такого анализа. Кроме того, протокол может показать, сам ли обучаемый нашел решение или воспользовался чужим, что весьма актуально при удаленном обучении.**

***Abstract*—It is proposed to supplement the system of automatic verification of programming problems with detailed logging of the solution progress. The protocol allows you to analyze the student's actions and adjust the learning process based on such an analysis. In addition, the protocol can show whether the student himself found a solution or used someone else's, which is very important in remote learning.**

Ключевые слова—обучение программированию; задача; трекинг решения; автоматическая проверка решений; контроль знаний

Keywords—teaching of programming; a task; tracking of solution; automatic testing; knowledge control

I. Введение

Нет нужды доказывать, что залогом успешного обучения программированию является практическая работа самого обучаемого, а именно решение задач. Условием задачи является словесная спецификация некоторой программы или ее фрагмента. Обучаемый должен написать программный код, который полностью удовлетворяет заданной спецификации.

Проверять соответствие кода спецификации можно по-разному. Чаще других применяется проверка программы на наборе тестов. Если все тесты пройдены успешно, задача считается решенной, если хоть один тест провален, задача не решена. Подход, в котором оценка решения зависит от количества пройденных тестов, вносит ненужный субъективизм в оценивание и идет вразрез со сложившейся практикой [1].

Проверка решения при помощи тестирования может быть автоматизирована. Автоматизация проверки имеет несколько следствий. Во-первых, автоматизация кардинально уменьшает участие преподавателя в проверке. Это важно, т.к. для успеха обучения студент должен решить много задач, и преподаватель физически не может проверить все решения.

Во-вторых, наряду с собственно проверкой, открывается возможность сохранения результатов работы обучаемого, как конечных, так и промежуточных. Это даст дополнительную информацию о решении и о том, каким образом оно было получено, что позволит преподавателю точнее оценить решение.

II. Контроль знаний

Вопрос самостоятельности работы при сдаче экзаменов стоял всегда, но при дистанционном контроле знаний он стал особенно острым. Не будет преувеличением сказать, что от решения этого вопроса зависит судьба всего высшего образования, поскольку оценки являются главным мотивирующим фактором для

большинства студентов. Вряд ли здесь возможна серебряная пуля, которая гарантирует самостоятельность выполнения заданий, но можно и нужно затруднить заимствование настолько, чтобы оно стало не целесообразным для основной массы студентов.

В этом отношении будет полезным детальное протоколирование действий студента по решению задачи. Представим, что содержимое окна редактора периодически сохраняется, скажем, каждые 5 сек. Тогда итогом работы будет не только программный код, но и то, каким образом он создавался. По протоколу решения можно судить, работал студент над задачей самостоятельно или же воспользовался чужим решением.

Разумеется, непосредственное восприятие длинной последовательности вариантов кода мало что даст, но после обработки сырых данных ситуация может измениться. Например, просто подсчитав количество добавленных и удаленных символов на каждом шаге наблюдения, можно составить диаграмму, которая имеет характерный вид для определенных вариантов поведения испытуемых (рис.1-4).

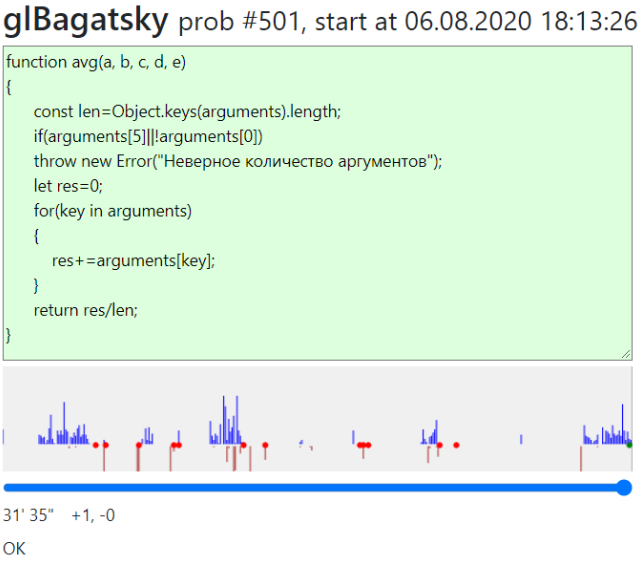


Рис. 1. Окно анализа решения.

Рис. 2. Диаграмма быстро написанного решения простой задачи.

Рис. 3. Диаграмма решения, которое последовательно редактировалось и тестировалось на протяжении сеанса тестирования.

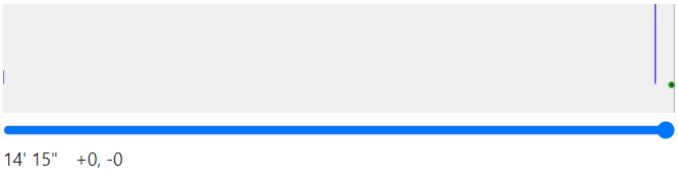


Рис. 4. Диаграмма решения, внезапно полученного в конце сеанса тестирования, – подозрение на плагиат.

Другим применением протокола является выявление трудностей, которые испытал студент в ходе решения задачи. В черновом виде такое выявление также можно автоматизировать, например, указывая на отрезки времени, в течение которых студент не предпринимал никаких действий. Уверены, что это позволит преподавателю скорректировать свои действия при изложении материала, например, остановиться на тех моментах, которые хуже усвоены аудиторией.

III. Реализация трекинга

Решение задач с автоматической проверкой производится в рамках портала по обучению программированию [2]. Трекинг представляет собой последовательность состояний решения задачи. Под состоянием понимается уже написанный программный код, вообще говоря, строка. Состояния фиксируются через равные промежутки времени. Чтобы уменьшить количество сохраняемых данных, сохраняются не сами состояния, а разности между двумя соседними состояниями.

Определение разности основано на алгоритме нахождения максимальной общей подстроки двух строк. Разность состояний A и B, B-A, определяется следующим образом. Находится максимальная подстрока M, которая разбивает строки A и B на три области: (A1, M, A2) и (B1, M, B2) соответственно. Разность B-A определяется рекурсивно как (pos, len, B1-A1, B2-A2), где pos - место вхождения M в A, а len - длина подстроки M.

Базу рекурсии составляет случай, когда строка M пуста (либо меньше минимально допустимого размера d). В этом случае разность B-A = B.

Для поиска максимальной общей подстроки применяется динамический вариант алгоритма LCS (Lagest Common String) [3].

Література References

[1] Официальный сайт компании TopCoder. [Online]. Available: https://www.topcoder.com/

[2] Бондарев В.М., Черепанова Ю.Ю. Сетевая среда для подготовки и чтения лекций. / Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 4(53). 2017. С. 171-177. http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/17810

[3] Т.Х. Кормен, Ч.И. Лейзерсон, Р.Л. Ривест, К. Штайн. Алгоритмы: построение и анализ, 3-е издание = Introduction to Algorithms, Third Edition. — М.: «Вильямс», 2013. — 1328 с. — ISBN 978-5-8459-1794-2.

Тональний Аналіз як Напрямок Обробки Природної Мови

Владислав Біленький
кафедра програмної інженерії
Харківський національний
університет радіоелектроники
Харків, Україна
vladyslav.bilenkyi@nure.ua

Володимир Кобзєв
кафедра програмної інженерії
Харківський національний
університет радіоелектроники
Харків, Україна
volodymyr.kobziev@nure.ua

Дмитро Матвєєв
кафедра програмної інженерії
Харківський національний
університет радіоелектроники
Харків, Україна
dmytro.matvieiev@nure.ua

Tonal Analysis as a Direction of Natural Language Processing

Vladyslav Bilenky
department of Software Engineering
Kharkiv National University of
Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
vladyslav.bilenkyi@nure.ua

Volodymyr Kobziev
department of Software Engineering
Kharkiv National University of
Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
volodymyr.kobziev@nure.ua

Dmytro Matveev
department of Software Engineering
Kharkiv National University of
Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
dmytro.matvieiev@nure.ua

***Анотація*—Представлений сучасний стан тонального аналізу текстів та перспективи його розвитку.**

***Abstract*—The current state of texts tonal analysis and prospects of its development are presented.**

Ключові слова—природна мова, сентиментальний аналіз, тональність, текст, емоція.

Keywords—natural language, sentiment analysis, tonality, text, emotion.

I. Вступ

Обробка природної мови або комп'ютерна лінгвістика являє собою окремий напрямок штучного інтелекту (AI) і математичної лінгвістики. Вона дозволяє витягувати різноманітну корисну інформацію з тексту на природній мові. Одним із перспективних напрямків комп'ютерної лінгвістики є аналіз тональності тексту.

Розуміння емоцій – це один з найважливіших аспектів особистого розвитку та зростання, і, таким чином, це ключова плитка для емуляції людського інтелекту. Окрім важливості для просування AI, обробка емоцій також важлива для тісно пов'язаного завдання визначення полярності. Фактично, можливість автоматично зафіксувати настрої широкої громадськості щодо соціальних подій, політичних рухів, маркетингових кампаній та переваг товару викликала все більший інтерес як у науковому співтоваристві, так і до хвилюючих відкритих викликів, і в діловому світі, за чудові наслідки маркетингу та прогнозування фінансового ринку. Це призвело до появи сфер впливу афективного обчислення та аналізу настроїв, що впливає на взаємодію між людьми та комп'ютером, пошук інформації та обробку мультимодальних сигналів для вилучення настроїв людей з постійно зростаючої кількості соціальних даних в Інтернеті.

На стику такого роду наукових і бізнес-інтересів з'явилися два нових напрямки досліджень: аналіз думок, тобто їх витяг, і аналіз тональності (сентиментальний аналіз). Варто зазначити, що аналіз тональності прийнято вважати підзадачею з області аналізу думок. У даних областях активно використовуються методи інтелектуального аналізу даних (data mining) і обробки текстів на природній мові (natural language processing).

Аналіз тональності тексту [1] – клас методів у комп'ютерній лінгвістиці, призначених для автоматизованого виявлення в текстах емоційно забарвленої лексики і емоційної оцінки думок авторів по відношенню до об'єктів, мова про які йде в тексті. Більшість сучасних систем використовують бінарну оцінку, тобто «позитивний» або «негативний» сентимент, деякі системи здатні виявляти силу (глибину) тональності.

Дослідження завдання аналізу тональності текстових даних почалися відносно нещодавно та точного ідеального рішення на даний момент не існує, існують різні варіації відносно кожної специфіки моделі.

Вітчизняних робіт у даній галузі дуже мало. Англомовних робіт достатньо багато у виданнях усього світу. Науковці звідусіль спочатку шукають праці з теми тонального аналізу у міжнародних наукометричних базах даних, а потім вже вивчають і удосконалюють досліджені моделі на прикладі своєї мови. Звісно кожна мова має свою специфіку за рахунок різниці структури, писемності, але здебільшого можна сказати, що різниця між мовами і діалектами однієї мови умовна.

II. Основна частина

Протягом останніх років значні успіхи були досягнуті у здатності систем штучного інтелекту (AI) розпізнавати та аналізувати людські емоції та настрої, в значній мірі завдяки прискоренню доступу до даних, недорогих обчислювальних потужностей і розвинення глибоких можливостей навчання разом з обробкою природних мов (NLP) та комп'ютерним баченням [2].

Сентиментальний аналіз як напрямок обробки природної мови відноситься до так названих AI-повних задач наголошуючи на тому, що обчислювальна складність цих задач еквівалентна складності вирішення головного завдання штучного інтелекту — створення комп'ютерів, настільки ж розумних, як і люди. Задача, котру називають AI-повною, вважається такою, що не може бути розв'язаною за допомогою простого алгоритму. Такі задачі не можуть бути розв'язані лише за допомогою сучасних комп'ютерних технологій без використання людино-орієнтованих обчислень. Ця властивість може бути корисною, наприклад, для перевірки присутності людини за допомогою тесту, а також в галузі комп'ютерної безпеки для запобігання атакам методом "грубої сили", тобто простим перебором наявних варіантів.

Згідно з новим звітом Tractica, ці тенденції починають стимулювати зростання ринку програмного забезпечення для аналізу настроїв та емоцій. Tractica прогнозує, що до 2022 року світовий дохід від програмного забезпечення для аналізу настроїв та емоцій збільшиться до 237,3 мільярдів доларів. Група компаній з розвідки ринку прогнозує, що це зростання буде обумовлено рядом ключових галузей, включаючи роздрібну торгівлю, рекламу, бізнес-послуги, охорону здоров'я та ігровий процес (див. рис. 1).

Відповідно до результатів аналізу, найважливіші категорії випадків для визначення настроїв та емоцій будуть такими: клієнтський досвід, маркетингові дослідження; обслуговування клієнтів, охорона здоров'я, ігри, освіта та автомобільна промисловість.

Краще розуміння людської емоції допоможе інтелектуальним технологіям створювати більше емпатичних клієнтів та досвід в галузі охорони здоров'я, керувати нашими вимогами, вдосконалити методи навчання та з'ясувати способи створення кращих продуктів, які відповідають нашим потребам.

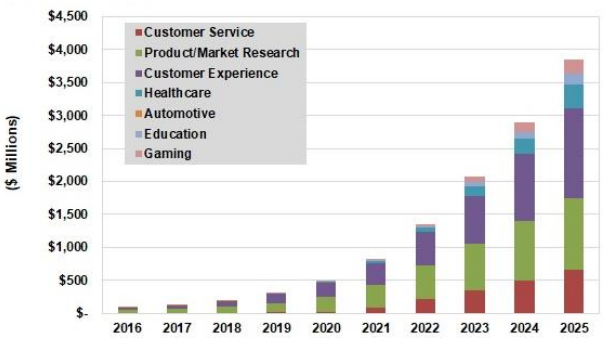


Рис. 1 – Прибуток ринку від ПЗ емоційного аналізу

Існуючі підходи до аналізу афективних обчислень та настроїв можна згрупувати у три основні категорії: технології, основані на знаннях, статистичні методи та гібридні підходи.

Текст розбивається на категорії, що залежать від наявності досить однозначних схожих слів, наприклад "щасливий", "сумний". Основною слабкістю підходів, що базуються на знаннях, є погане визнання впливу, коли беруть участь мовні правила. Наприклад, хоча база знань може правильно класифікувати речення «сьогодні був щасливим днем» як щасливу, воно, ймовірно, не зможе виконати речення «сьогодні не був щасливий день взагалі». З цією метою більш складні підходи, що базуються на знаннях, використовують правила лінгвістики, щоб розрізняти, як кожен конкретний запис бази знань використовується в тексті. Більш того, дійсність підходів, що базуються на знаннях, значною мірою залежить від глибини та широти зайнятих ресурсів. Інше обмеження підходів, що ґрунтуються на знаннях, полягає в типовій формі представлення їх знань, яка зазвичай суворо визначена і не дозволяє керувати різними нюансами концепції, оскільки висновок семантичних та афективних рис, пов'язаних з поняттями, обмежений фіксованим, плоским представленням.

Перехід від простого читання до прийняття участі у оцінюванні веб-сайтів змушує користувачів з більшим ентузіазмом ділитися своїми емоціями та думками через соціальні мережі, онлайн-спільноти, блоги, форуми та інші спільні засоби масової інформації. Останнім часом цей колективний розвідник поширився на багато різних напрямків Інтернету з особливим фокусом на областях, пов'язаних з нашим повсякденним життям, такими як торгівля, туризм, освіта, преса та здоров'я [3].

Проте, незважаючи на значний прогрес аналіз емоційних обчислень та настроїв все ще знаходить власний голос як нова міждисциплінарна галузь. Інженери та комп'ютерні вчені використовують методи машинного навчання для автоматичної класифікації впливу від відео, голосу, тексту та фізіології.

Поки що підхід до виявлення настроїв з тексту або мови базується, головним чином, на моделі "мішок слів", оскільки, на перший погляд, найпершою одиницею мовної

структури є слово. Однак вирази з одним словом – це лише підмножина понять, у той час коли вирази з декількох слів несуть певну семантику, яка зазвичай пов'язана з об'єктами, діями, подіями та людьми. Семантика, зокрема, вказує афективну (емоційну) інформацію, пов'язану з реальними сутностями, що є ключовим для розпізнавання емоцій та виявлення полярності, основними завданнями афективного обчислення та аналізу настроїв [4].

Гібридні підходи спрямовані на краще розуміння концептуальних правил, які регулюють настрої та ключі, які можуть передати ці поняття від реалізації до вербалізації в людському розумі. В останні роки подібні підходи поступово включають аналіз афективного обчислення та настроїв як міждисциплінарні поля між простою NLP та розумінням природної мови шляхом поступового переходу від синтаксичних методів до все більш і більш смислової системи, де обидва концептуальні знання та структура речення враховуються (див. рис. 2).

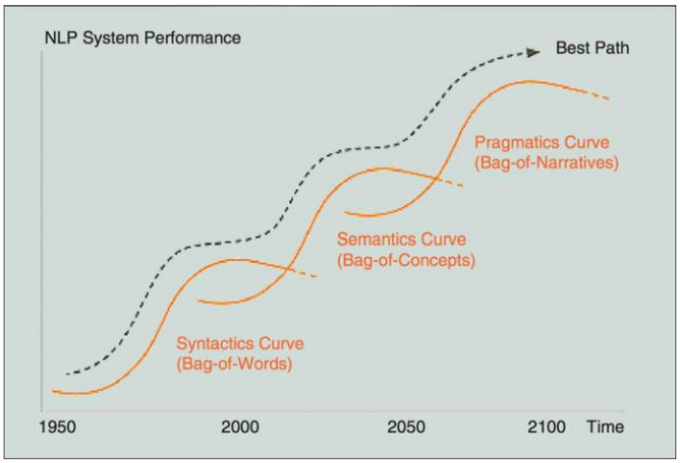


Рис. 2 – Розвиток продуктивності системи NLP

Зокрема, комбіноване застосування лінгвістики та баз знань дозволить відчути потік від концепції до поняття, заснованого на співвідношенні залежностей вхідної пропозиції, тоді як машинне навчання буде виконувати роль резервного копіювання відсутніх концепцій та невідомих лінгвістичних моделей.

Сентиментальний аналіз, як одна із AI-повних задач дозволяє витягувати різноманітну інформацію, що знаходиться у формі тексту на природній мові, а саме:

– маркетингові дослідження (вивчення споживчих переваг, вимір ступеня задоволення потреб споживачів, визначення ефективності поширення продуктів або послуг);

– фінансові сектор (пошук позитивної і негативної інформації щодо працівників або клієнтів банку, акційних фондів, тощо);

– політологічні дослідження (збираються дані про політичні погляди населення. Це може мати істотне значення для кандидатів, які виступають від різних партій. Такий підхід застосовується організаторами передвиборної кампанії для виявлення того, що думають виборці по відношенню до різних проблем, і як вони пов'язують ці проблеми зі словами і діями кандидатів);

– рекомендації (аналіз відгуків та оглядів різних продуктів з метою допомоги покупцям при виборі товару, система не буде рекомендувати продукт або його постачальника при наявності негативних відгуків);

– аналіз новинних ресурсів щодо різних персон і подій;

– соціологічні дослідження (аналізуються дані з соціальних мереж, інших медіа);

– аналіз зворотного зв'язку від користувачів (при діалозі з користувачем система розпізнає його емоції і в разі незадоволення перемикає зв'язок на оператора);

– освіта (пошук кращих вищих навчальний закладів, підготовчих курсів, шкіл).

Висновки

Питання застосування систем обробки природної мови на основі методів та алгоритмів семантичного аналізу багато досліджують протягом останніх десяти років. На сьогоднішній день існує проблема досить чіткого знаходження емоційного стану текстових даних через швидкий доступ до інформації, взаємодії з метою вирішення питань споживачів, комунікації з клієнтами, проведення аналітичних досліджень, збору необхідної інформації, підвищення сервісу та інших переваг.

Системи видобутку настроїв наступного покоління потребують ширшої та більш глибокої загальноприйнятої бази знань, а також більш мозкових і психологічно мотивованих методів обґрунтування, щоб краще зрозуміти природні мовні думки і, отже, ефективніше подолати розрив між (неструктурованими) мультимодальними даними та (структурованими) машинообробленими даними.

У майбутньому поєднання наукових теорій емоцій з практичними інженерними цілями аналізу настроїв природної мови та поведінки людини прокладе шлях до розробки більш біологічно наближених підходів створення інтелектуальних пошукових систем, здатних застосовувати семантичні знання, робити аналогії, вивчаючи нові афективні знання та виявляючи, сприймаючи та "відчуваючи" емоції.

Література References

[1] Liddy, E.D. Natural Language Processing. In Encyclopedia of Library and Information Science. - NY. Marcel Decker Inc., 2001.— pp. 2-15.

[2] Іванов О.В. Класичний контент-аналіз та аналіз тексту: термінологічні та методологічні відмінності / Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна, - Харків: Видавничий центр ХНУ ім. В.Н. Каразіна. – № 1045, 2013, с. 69-73.

[3] Lenat D.B., Guha R.V. Building Large Knowledge-Based Systems. Addison-Wesley, 1989. – pp. 21-36.

[4] Artstein, R., & Poesio, M. Inter-coder agreement for computational linguistics. Journal of Computational Linguistics, 34(4), 2008. - pp. 555-596.

Програмні Рішення Для Оперативного Прогнозування Продуктивності Газосховищ

Андрій Бугай, Сергій Алтухов
відділ науково-технічної підтримки експлуатації
підземних сховищ газу
Інститут транспорту газу АТ "Укртрансгаз"
Харків, Україна
bugay-ao@utg.ua, altuhov-sa@utg.ua

Юрій Пономарьов
заступник директора з наукової роботи
к.т.н.
Інститут транспорту газу АТ "Укртрансгаз"
Харків, Україна
ponomarev-yv@utg.ua

Software Solutions For Operational Forecasting of Gas Storage Productivity

Bugai Andrii, Serhii Altuhov
scientific and technological support department of
underground gas storage facilities operation
Institute of Gas Transportation JSC "Ukrtransgaz"
Kharkiv, Ukraine
bugay-ao@utg.ua, altuhov-sa@utg.ua

Yurii Ponomarov
deputy director for scientific work
PhD
Institute of Gas Transportation JSC "Ukrtransgaz"
Kharkiv, Ukraine
ponomarev-yv@utg.ua

***Анотація*—У цій статі розглянуті питання ефективного функціонування газосховищ після впровадження ринку газу, та запропоновано програмні рішення для підвищення оперативності управління потужностями газосховищ.**

***Abstract*—This article addresses the issues of effective functioning of underground gas storage facilities after the introduction of the gas market and proposes software solutions to improve the efficiency of gas storage facilities management**

Ключові слова—газ; газосховище; програмні засоби

Keywords—gas; gas storage; software tools

I. Вступ

Керування технологічним процесом підземного зберігання газу в сучасних умовах супроводжується не лише обробкою великих обсягів даних [1-3], але й необхідністю оперативного прийняття рішень щодо вибору найбільш оптимальних режимів експлуатації газосховищ. Правильність та ефективність прийнятих рішень безпосередньо впливає на витрату паливного газу газоперекачувальних агрегатів який складає основну частину собівартості зберігання газу.

Підвищення ефективності використання потужностей газосховищ можна досягти шляхом розробки та впровадження спеціалізованих програмних засобів інтегрованих в структуру підприємства з урахуванням технологічних особливостей окремих газосховищ. За сучасного стану розвитку ринків газу такі програмні засоби повинні враховувати високу частоту зміни режиму газосховищ (динаміка продуктивності, часті зупинки та пуски – неусталені режими роботи).

II. Основна частина

До основних задач, які повинні вирішуватись за допомогою розроблених програмних засобів, належать:

- визначення максимально можливого об'єму відбирання газу впродовж заданого періоду;

- оперативне визначення терміну необхідного для відбирання (закачування) заданого об'єму газу;

- оперативне визначення переліку газосховищ для закачування газу з метою забезпечення якомога більшої продуктивності в кінці сезону відбирання;

- визначення необхідного об'єму активного газу на початок сезону відбирання для забезпечення заданої продуктивності в кінці сезону;

- визначення прогнозної продуктивності газосховищ для заданих тисків в магістральному газопроводі;

- моніторинг процесу експлуатації ПСГ та динаміки прогнозних і фактичних технологічних параметрів.

Для оперативного прогнозування доступної продуктивності, об'ємів та термінів відбирання і закачування газу під час експлуатації ПСГ запропоновані програмні рішення які складаються з БД, механізмів моделювання та візуалізації результатів, що є найбільш оптимальним, з точки зору гнучкості, можливостей і простоти використання. БД консолідує всю необхідну для аналізу інформацію, забезпечує швидкий і зручний доступ до необхідних даних. Отримані з БД дані аналізуються за допомогою комбінування різних методів моделювання та візуалізації, що дає можливість прогнозувати стан об'єкта, що моделюється, і приймати на цій основі оптимальні як короткочасні так і стратегічні рішення.

Структура БД складається з чотирьох основних частин, кожна з яких призначена для зберігання відповідних даних:

– об'єкти (газосховища) та рівень доступу до них користувачів (рис. 1);

– параметри технологічних об’єктів та одиниці вимірювання, в яких вони повинні відображатися;

– значення можливих технологічних режимів та сценаріїв експлуатації газосховищ;

– шаблони шкал та кривих.

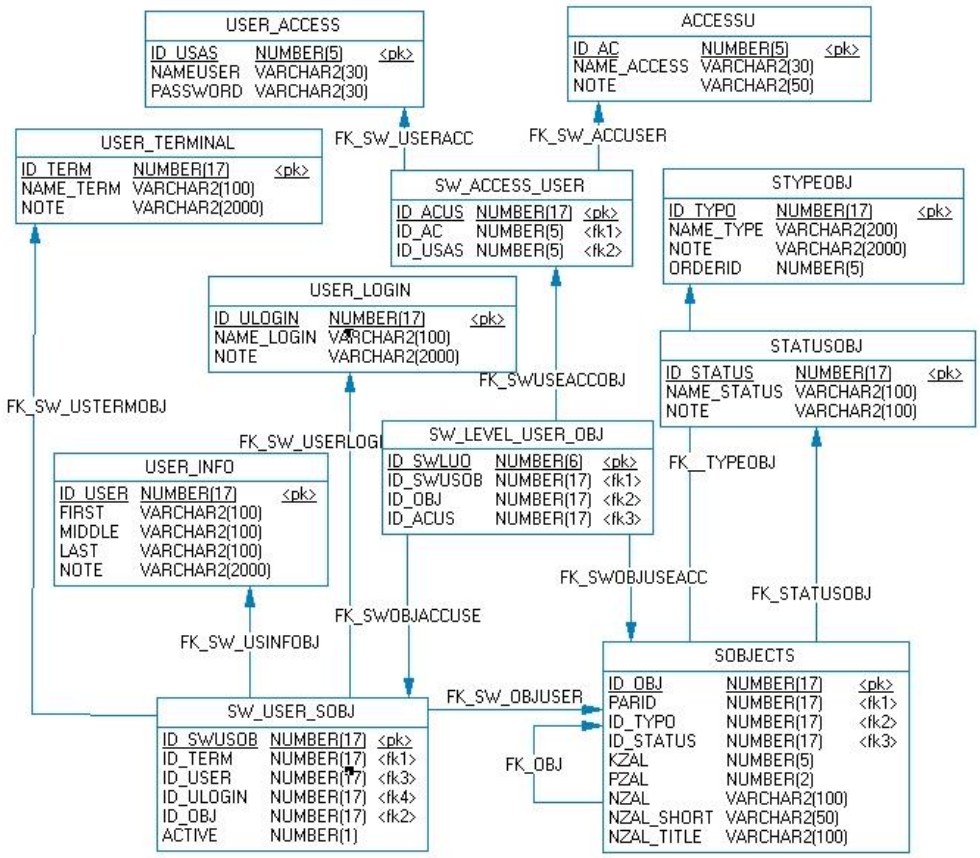


Рис. 1. Схема структури БД технологічних об'єктів та рівень доступу.

На підставі розробленої структури БД були розроблені модулі, які забезпечують збирання, оброблення і перегляд даних, а також виконання необхідних розрахунків.

Клієнтська частина передбачає введення, обробку та збереження даних різними користувачами з можливістю обміну результатами розрахунків та розробленими шаблонами в корпоративній мережі. Візуалізація результатів передбачена в табличному (рис. 2) та графічному вигляді (рис. 3).

Робоча зона головного вікна поділяється на два блоки: блок формування технологічних режимів та блок відображення розрахованих параметрів технологічних режимів.

Враховуючи використання цього ПЗ на різних рівнях управління, його реалізовано таким чином, щоб забезпечити користувача функціональними можливостями, які відповідають рівню його доступу.

Основою для прогнозних розрахунків є паспортні характеристики окремого обладнання, пропускна здатність промислових газопроводів, продуктивні характеристики свердловин, а також статистичні дані отримані за попередні періоди експлуатації ПСГ.

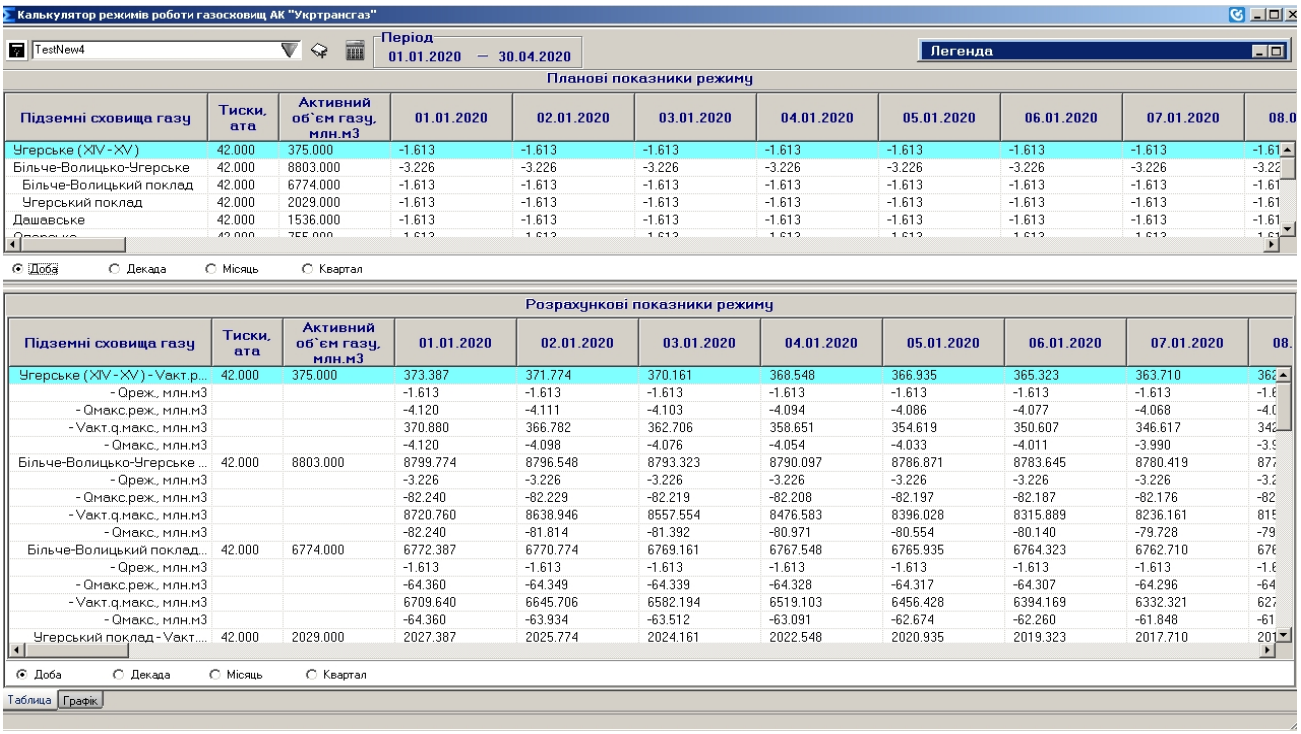


Рис. 2. Візуалізація результатів розрахунку режимних показників експлуатації газосховищ у табличному вигляді.

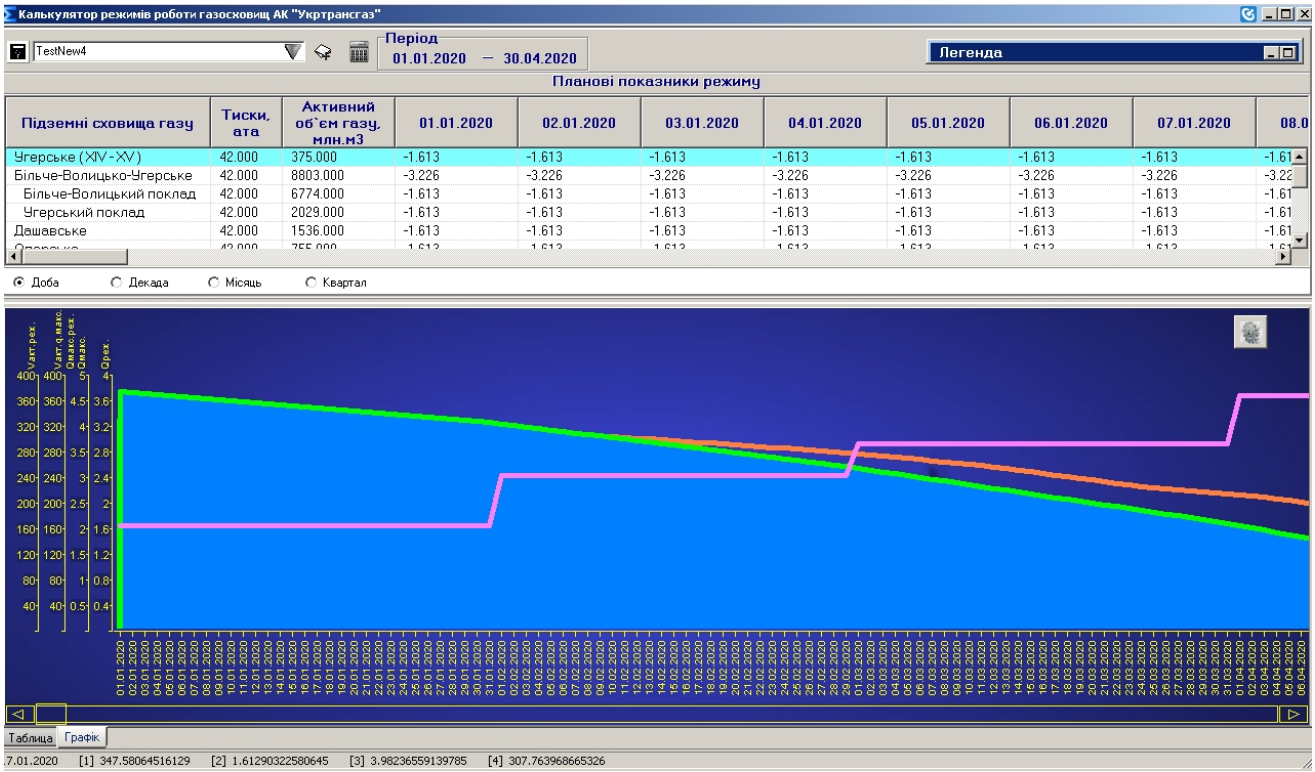


Рис. 3. Візуалізація результатів розрахунку режимних показників експлуатації газосховищ у графічному вигляді.

Потужність кожного газосховища визначається для кожного мінімального інтервалу часу в залежності від наявного активного об’єму газу та тиску в точках виходу (входу).

Для забезпечення уніфікації вхідних та розрахункових параметрів адміністратор забезпечує формування відповідного довідника.

Формування каталогу вихідних даних реалізовано в окремому модулі де передбачені типові форми для введення продуктивних характеристик та проектних параметрів газосховищ.

Розроблене ПЗ передбачає можливість формувати технологічні режими двох типів: глобальні та індивідуальні. Глобальний статус передбачає доступність інформації для всіх користувачів, індивідуальний – тільки для користувача, яким було сформовано та збережено обраний технологічний режим.

Користувач, який є автором режиму, має можливість вносити до нього зміни та за потреби видалити. Всі інші користувачі можуть використати як шаблон будь-який глобальний режим та зберегти його зі змінами з іншою назвою.

Під час роботи з графічним відображенням результатів користувач має можливість визначити кількість шкал ординат для графічного представлення, діапазон значень параметрів та групування параметрів по шкалах для найбільшої зручності перегляду та аналізу результатів розрахунку. Також для економії часу передбачено можливість створення індивідуальних графічних шаблонів які користувач формує для візуалізації рішень типових задач (рис. 4).

Під час розроблення інтерфейсу значну увагу приділено гнучкості і швидкості роботи, так як у процес планування експлуатації газосховищ залучено велику кількість фахівців, які повинні в оперативному режимі аналізувати фактичні дані і коригувати розраховані технологічні режими в залежності від реальної ситуації яка визначається кількістю заявок на відбирання або закачування газу.

Розроблене програмне забезпечення призначено для вирішення задач з прогнозування і планування роботи газосховищ та використання їх потужностей в залежності від рівня споживання, попиту на послугу зберігання природного газу та з метою досягнення найвищої оборотності активного газу та максимальної добової продуктивності на кінець лютого – початок березня, що дозволить більш обґрунтовано планувати стратегію розвитку підземних сховищ газу (реконструкцію та модернізацію), визначати необхідність в додаткових капітальних інвестиціях, направлених на збільшення потужностей ПСГ (активний об’єм та/або продуктивність).

Подальший розвиток програмних рішень для оперативного прогнозування продуктивності газосховищ пов'язаний з розробкою набору алгоритмів для вирішення вузькоспеціалізованих задач та автоматизованого погодження режимних показників з відповідальними структурними підрозділами підприємства.

Література References

[1] Положення про регламент з контролю за експлуатацією пластових систем підземних сховищ газу ПАТ "УКРТРАНСГАЗ".

[2] СОУ 60.3-20077720-028:2008 Сховища газу підземні в пористих пластах. Експлуатація. Основні положення.

[3] СТК 320.20077720.009-99 Правила створення та експлуатації підземних сховищ газу в пористих пластах.

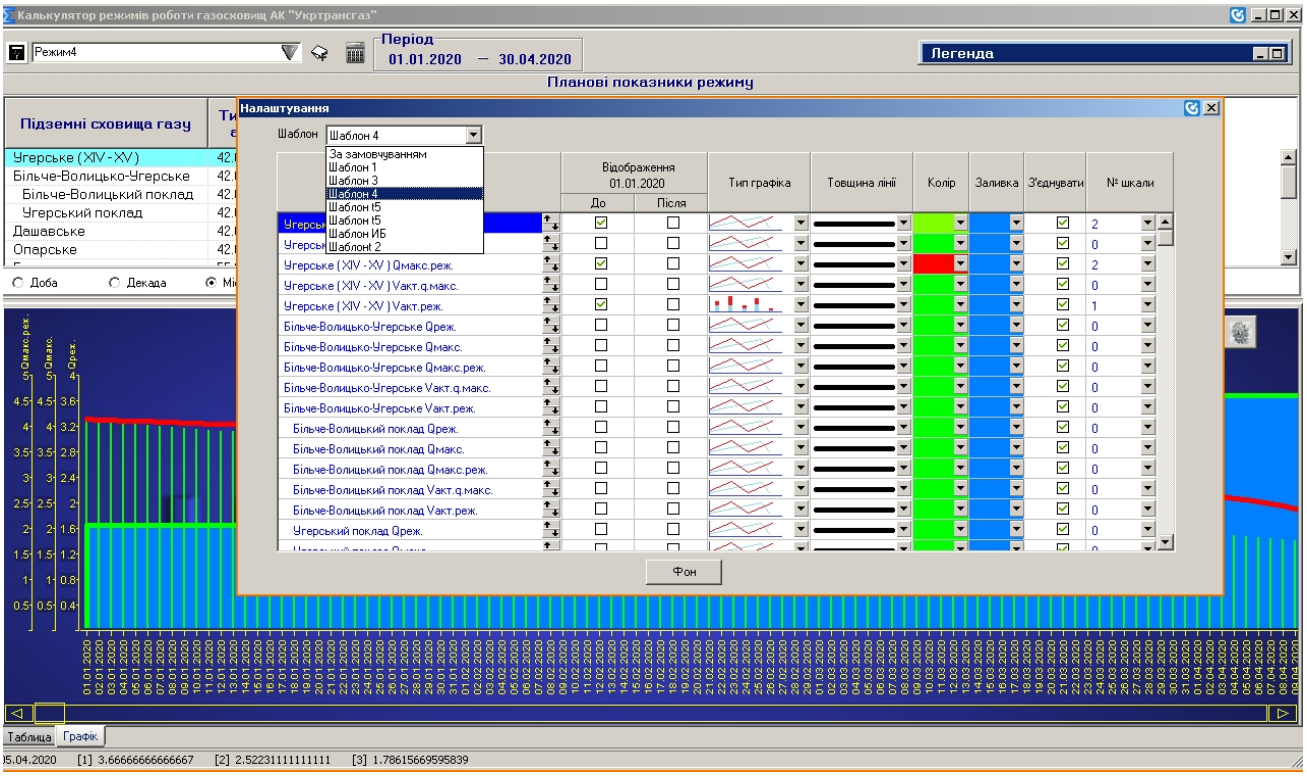


Рис. 4. Приклад екранної форми для налаштування параметрів графічного представлення інформації.

Элементы Веб-приложения для Дистанционного Обучения Детей Школьного Возраста

Евгений Лепеха
Кафедра программной инженерии
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
yevhen.lepekha@nure.ua

Владимир Кобзев
Кафедра программной инженерии
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
volodymyr.kobziev@nure.ua

Elements of a Web Application for School-aged Children Distance Education

Yevhen Lepekha
dept. of Software Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
yevhen.lepekha@nure.ua

Volodymyr Kobziev
dept. of Applied Mathematics
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
volodymyr.kobziev@nure.ua

***Аннотация*—В работе рассмотрено актуальное состояние платформ для проведения видеовстреч в контексте возможного применения для организации дистанционного обучения. Предложен один из вариантов системного решения данной задачи для организации учебного процесса.**

***Abstract*—This work contains an overview of the current state of online meetings platforms. Advantages and disadvantages of those platforms for remote education were considered. One of possible solutions for specific cases has been proposed.**

Ключевые слова—дистанционное обучение; видеовстреча; онлайн

Keywords—remote education; videocall; online

I. Введение

Основными задачами онлайн-платформ для видеовстреч являются повышение качества коммуникации между людьми и распространения информации. Стандартными требованиями к таким платформам считаются:

- возможность групповых звонков,
- возможность демонстрации экрана одного из участников,
- возможность принять участие во встрече по приглашению.

Таким образом, существующие технологии могут быть использованы для организации дистанционного обучения, что является особенно актуальным в условиях пандемии.

II. Суть проблемы

Существующие решения для организации видеоконференций, такие как Google Meet, Skype, Zoom, не предполагают их использования в качестве полноценного инструмента управления образовательным процессом. В частности, в них отсутствует возможность для учебных заведений и авторов курсов делиться информацией о событиях, а ученикам - выбрать и зарегистрироваться на интересующий их обучающий курс. Данные сервисы дают лишь общие возможности, но в то же время они могут быть использованы как часть сторонней системы для проведения событий в формате онлайн, например в составе систем дистанционного обучения Moodle или ClassRoom.

III. Основная часть

Большинство частных школ и индивидуальных репетиторов при организации событий и учета посещаемости пользуются не предназначенным для данных целей программным обеспечением, что вызывает трудности как при росте базы пользователей, так и при попытках корректировки параметров мероприятий. Анализ требований к системам дистанционного обучения показал, что создание универсальной и максимально удобной системы для охвата широкого круга пользователей представляется маловероятным. В результате было принято решение сфокусироваться на создании системы для учащихся младшего школьного возраста, находящихся под опекой родителей, так как данная целевая аудитория является наиболее

заинтересованной в данном решении. Такая система должна иметь:

- удобный интерфейс планирования как одиночных, так и повторяющихся событий,
- возможность смены языка интерфейса,
- шаблоны для однотипных событий,
- возможность фильтрации курсов по темам и возрасту участников,
- возможность управления ролями сотрудников для школ,
- возможность регистрации посещаемости курсов для отправки отчетов родителям или опекунам ученика.

В интерфейсе формы создания события проектируемой системы (рис. 1), помимо основных полей, реализована возможность указания конечной даты окончания регистрации на данное событие, возможность выбора конкретных дней недели в диапазоне дат начала и конца события (с установкой времени), а также возможность включения праздничных дней. По результатам опросов, проведенных среди персональных репетиторов, последняя из указанных возможностей была достаточно актуальной. Также для улучшения восприятия заданной информации рядом с формой добавлена визуализация выбранного временного отрезка с отмеченными днями сессий данного события.

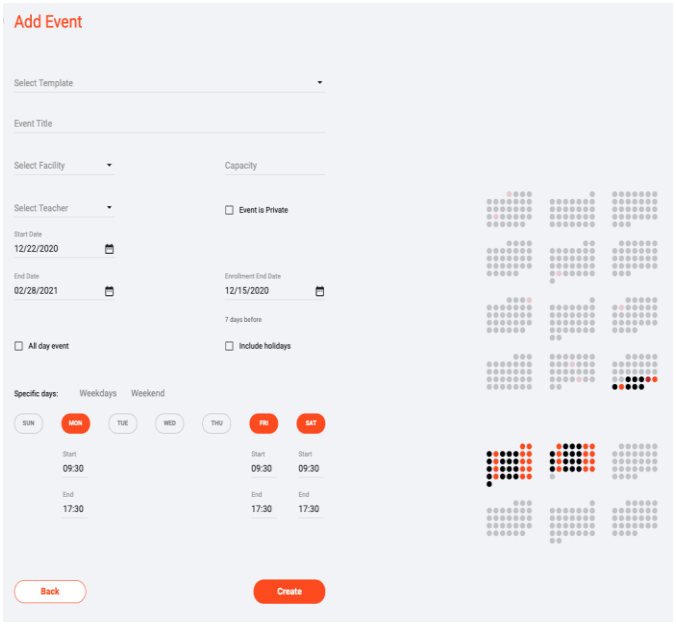


Рис. 1. Интерфейс формы создания события

Это, безусловно, важно для родителей, которые желают планировать занятия своих детей (в том числе более одного) с разными учителями/репетиторами по разным дисциплинам, учитывая общую занятость своих детей и ограничения, вызванные наличием необходимых технических средств проведения занятий.

Смена языка интерфейса системы (рис. 2) вынесена в настройки личного кабинета пользователя. Внесенные пользователем изменения фиксируются и применяются без необходимости повторного входа в систему. Программно интернационализация интерфейса была реализована путем написания собственного решения, удобного для данной конкретной архитектуры приложения. В результате этого, добавление новых профилей пользователей системы получает удобный интерфейс и занимает незначительное время.

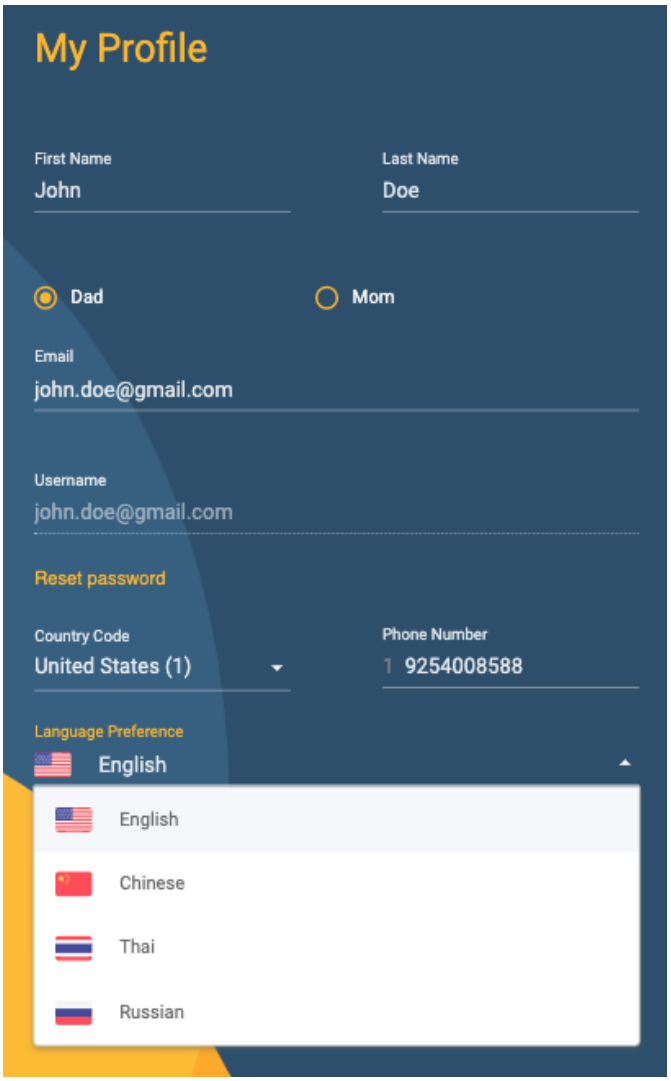


Рис. 2. Смена языка интерфейса системы

Создание события в рамках системы подразумевает выбор шаблона для данного события, поскольку большинство событий у поставщиков услуг (школ и репетиторов) являются типовыми. Шаблон события (см. рис. 3) должен содержать название, описание, а также относиться к одной или нескольким категориям тем. Это позволяет в дальнейшем учитывать предпочтения конечных пользователей системы в лице учеников. Наиболее популярные категории шаблонов доступны по умолчанию и не требуют дополнительной конфигурации.

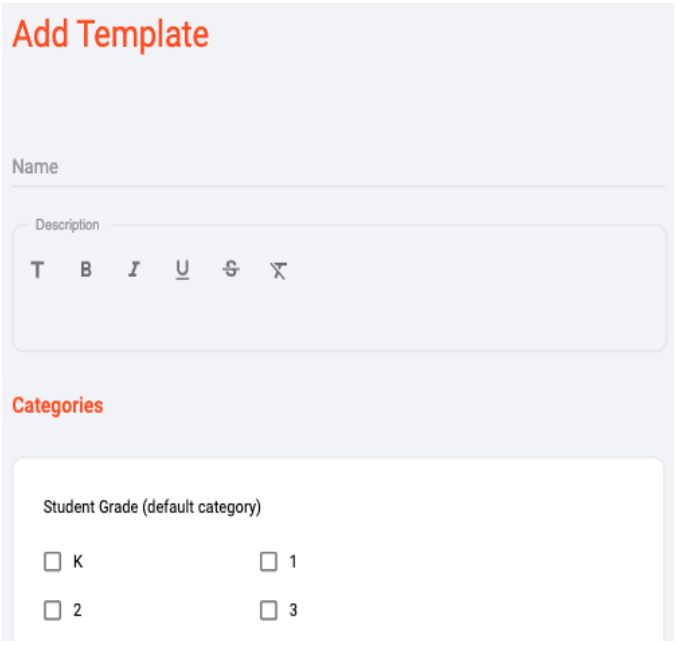


Рис. 3. Интерфейс формы создания шаблона события

Основные достоинства данного веб-приложения:

- возможность организации как онлайн, так и оффлайн обучения,

- гибкая настройка повторяющихся событий,

- возможность сохранения шаблонов событий,

- возможность проведения параллельных мероприятий,

- прямые контакты преподавателей,

- возможность брендирования персональных страниц репетиторами.

В качестве программных средств для создания данной системы выбраны JavaScript и JavaScript-библиотека для создания пользовательских интерфейсов React, удобное руководство по которому [1] не предполагает наличия каких-либо специфических знаний React. Серверная часть написана с использованием среды Node.js и системы управления базами данных MySQL. В качестве библиотеки для стилизации внешнего вида элементов управления пользовательским интерфейсом выбран фреймворк Material-UI [2, 3].

IV. Выводы

1. Для организации дистанционного обучения целесообразно использование специализированных систем. Существующие сервисы для онлайн видеовстреч не предназначены для данных целей и, как следствие, не обладают требуемым функционалом.

2. В данной работе кратко рассмотрены ключевые моменты и требования, которые следует учитывать при создании систем дистанционного обучения. Выполнен обзор прототипа подобной системы.

3. Предложенное веб-приложение поможет частным репетиторам и компаниям продвигать свои услуги по обучению, делая их более доступными, а их клиентам - проще и удобнее находить преподавателей и выбирать подходящий формат обучения.

Литература References

[1] Tutorial: Intro to React. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://reactjs.org/tutorial/ 20.10.2020г. - Заголовок с экрана.

[2] Material-UI: A popular React UI framework. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://material-ui.com/ 20.10.2020г. - Заголовок с экрана.

[3] MATERIAL-UI. React компоненты для быстрой и легкой веб-разработки. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://material-ui.com/ 20.10.2020г. - Заголовок с экрана.

Реалізація Програмного Забезпечення Системи Контролю Доступу до Приміщення

Дмитро Бугай
кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет Радіоелектроніки
Харків, Україна
dmytro.buhai@nure.ua

Михайло Копоть
кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет Радіоелектроніки
Харків, Україна
mykhaylo.kopot@nure.ua

Зоя Дудар
кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет Радіоелектроніки
Харків, Україна
zoia.dudar@nure.ua

Realization of the Software for the Access Control System to the Room

Dmytro Buhai
Department of Software Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
dmytro.buhai@nure.ua

Mykhaylo Kopot
Department of Software Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
mykhaylo.kopot@nure.ua

Zoia Dudar
Department of Software Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
zoia.dudar@nure.ua

***Анотація*—Розглядається система оповіщення в житловому приміщенні, яка буде реалізована за допомогою електронного музичного дзвінка, як інформаційно-комунікаційного пристрою для домашнього або комерційного використання, з принципом побудови схеми компонентів системи і програми електронного музичного дзвінка з поліпшеним споживчими можливостями.**

***Abstract*—The system of the notification in a living space which will be realized by means of electronic musical call as the information and communication device for house or commercial use, with the principle of construction of the scheme of components of system and the program of electronic musical call with the improved consumer possibilities is considered.**

Ключові слова—програмне забезпечення; система контролю; приміщення; мікропроцесор; прилад; сигнал; дзвінок; користувач; відтворення мелодій; Wi-Fi; схема; пристрій; ESP32; C/C++; Arduino; PlatformIO.

Keywords—software; control system; room; microprocessor; instrument; signal; call; user; play melodies; Wi-Fi; scheme; device; ESP32; C / C ++; Arduino; PlatformIO.

I. Вступ

Сучасний рівень електронної техніки в значній мірі визначається розвитком технологій цифрової схемотехніки. Радіодеталі стають все менше, а збільшення площі кремнієвих пластин на платі дозволяє розміщувати ще більше деталей в схемах, щоб реалізовувати створені програмні алгоритми досить високої складності. Поряд із розвитком радіо-технологій, інтенсивно вдосконалюються програмні засоби для взаємодії апаратних компонентів системи, на базі мікроконтролерів [1]. Створення систем із смарт пристроями, мобільними та веб-додатками на сьогодні вимагає певних навичок та вмінь у роботі як із схемотехнічною складовою проекту, так і наявності досвіду та знань у роботі компонентів серверної, клієнтської та мобільної частин.

II. Огляд систем

Системи оповіщення інформують людей про пожежі, надзвичайні ситуації, евакуацію. На даний момент

існують різні підходи та реалізації комплексу програмно-апаратних частин для облаштування таких систем. Говорячи більш конкретніше на прикладі звичайних сімейних будівель, квартир, чи офісів середніх та малих компаній – ці приміщення можуть бути оснащені як протипожежною системою сповіщення, чи системою евакуації, але не говорячи про надзвичайні ситуації, кожне приміщення, чи то будинок, у більшості випадків, оснащенні системою сповіщення такою, як дверний дзвінок.

III. Постановка задачі

Задача авторів полягає в покращенні функціональності побутового пристрою, згаданого вище. Основні критерії розробки направлені на спосіб живлення системи, способом підключення пристрою до мережі 220В без інших додаткових джерел живлення. Управління повинно здійснюватися за допомогою віддаленого доступу, а саме через Wi-Fi модуль, вбудований в мікроконтроллер. Сповіщення про натискання на кнопку системи повинно надходити як на мобільний додаток, який буде встановлений до смартфону власника приміщення, так і до веб-сервісу, де власник буде зареєстрований. Також при натисканні на кнопку сповіщення повинна відбуватися відеофіксація персони, яка це зробила.

На даний момент ринок дверних дзвінків досить повний. Виробники пропонують свої пристрої різної цінової категорії. Існують високотехнологічні дверні системи із вбудованою камерою, яка дозволяє користувачу побачити персону, яка натиснула на кнопку виклику, і реалізована ця функція як на дисплеєві дверного дзвінка, так і у мобільному додатку, який власноруч користувач повинен встановити на свій смартфон. Це в свою чергу належить до організації контролю доступу до приміщення. Так як система виступає в ролі інформатора для користувача, а користувач не залежно від свого розташування, бачить сповіщення про натискання на кнопку виклику та може відповісти даній персоні за допомогою динаміку дверного дзвінка.

IV. План розробки системи

Розробка програмного забезпечення системи контролю доступу до приміщення буде відбуватися на мікроконтролеру ESP32-CAM [2], на базі процесору ESP32S, так як дана модель має достатні технічні характеристики для виконання поставленої задачі. Програмне середовище, на якому буде написана система – це Visual Studio Code з екосистемою PlatformIO для розробки на Arduino, мова програмування C/C++. Back-end та Front-end частини будуть проекту реалізовуватимуть веб-сервер, який буде створений за допомогою ASP.NET MVC, база даних – MS SQL Server, мобільний додаток на Kotlin. Всі компоненти повинні працювати злагоджено, отже веб-сервер з базою даних будуть слугувати основним джерелом зберігання всієї інформації та функціоналу, але сам дзвінок буде мати власний блок зберігання даних та веб-сервер. Ці компоненти дзвінка будуть у постійному зв'язку із back-end-ом основного веб-серверу, тому цілісність даних відповідним чином буде збережена та синхронізована.

V. Функціональна схема дзвінка

Основу системи складає дзвінок [3], схема якого зображена на рис.1. Блок живлення відповідає за живлення всіх компонентів пристрою. Блок керування – це складова системи, яка контролює всі компоненти дзвінкового пристрою, а саме здійснює управління Wi-Fi модулем, камерою, блоком зберігання даних, подає сигнал до підсилювачу, щоб відтворити аудіофрагмент для повідомлення про натискання на кнопку виклику. Також блок керування приймає вхідний сигнал від вище згаданої кнопки, після чого в процесорі відбувається переривання [4] і, відповідно, користувач системи контролю доступу отримує сповіщення про те, що деяка персона провзаємодіяла із системою. Схема пристрою працює наступним чином: після підключення до електромережі, через діоди 3 і 5, на блок живлення 4 подається одна півхвиля, здійснюючи тим самим живлення всього пристрою. Пристрій знаходиться в черговому режимі. При замиканні контактів кнопки 2 далі проходять обидві півхвилі (тобто повна синусоїда). Друга півхвиля потрапляє через діод 9 до блоку керування 6 і лунає музичний фрагмент. За допомогою модулю Wi-Fi, відбувається дистанційне регулювання функцій дзвінка.

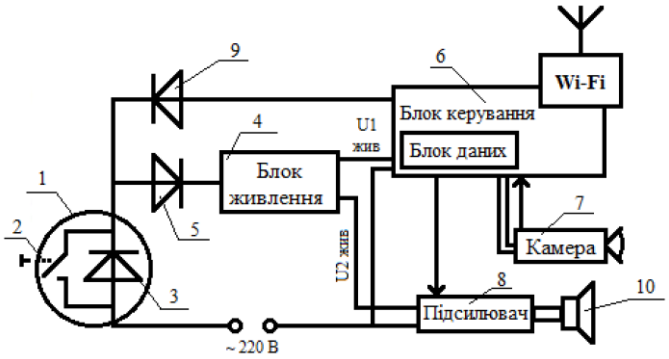


Рис. 1 – Функціональна схема дзвінка.

VI. Аналоги системи

Програмна система для контролю доступу до приміщень через електронний відеодзвінок буде мати близький аналог – це відеодзвінки від компанії Ring [5], але існує декілька істотних відмінностей між ними. На відміну від електронних дзвінків компанії Ring, програмна

система для контролю доступу до приміщень через електронний відеодзвінок записана до IOT-пристрою, який розміщується в самому приміщенні й тільки камера, під'єднана до мікроконтролеру, встановлюється ззовні, а також програмна система для контролю доступу до приміщень через електронний відеодзвінок реалізована на пристрої, який не потребує додаткового джерела живлення від акумулятора та працює лише через кнопку, яка зашунтована діодом, за допомогою однопівперіодного джерела живлення та під'єднана до мережі 220В.

VII. Функціональні компоненти системи та їх взаємозв'язок

В основу апаратної частини системи контролю доступу до приміщення поставлена задача реалізувати звя'зок мікроконтролеру із камерою та динаміком. Програмна частина має відповідати за реалізацію бізнес-логіки системи, а саме за роботу всіх чотирьох складових: back-end і front-end частин, IoT пристрою [6] та мобільного додатку. Функціональність системи буде полягати в наступному:

- Повідомлення про натискання на кнопку системи сповіщення;
- Реєстрація та запис відеофрагменту персони, яка натиснула на кнопку;
- Формування даних сповіщення про персон, які повідомили про свою присутність біля пристрою;
- Надання власнику дистанційного доступу для керування налаштуваннями пристрою;
- Синхронізація сповіщення на веб-додатку та на мобільному пристрої.

Система складається із чотирьох компонентів, зв'язок яких між собою показаний на рисунку 2.

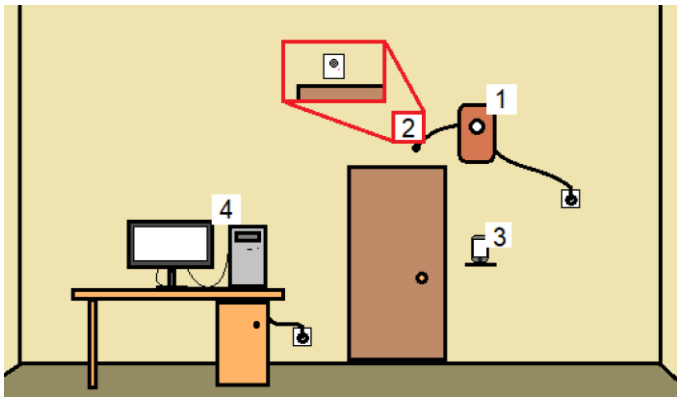


Рис. 2 – Розташування компонентів системи в підконтрольному приміщенні.

Смарт-пристрій із динаміком (компонент 1) встановлюється всередині приміщення, для якого буде здійснюватися контроль доступу, камера від мікроконтролера (компонент 2) буде розташована із зовнішньої сторони кімнати, біля вхідних дверей. Припустимо, смартфон із мобільним додатком для системи (компонент 3) та веб-застосунок (компонент 4) також знаходяться в даній кімнаті.

VIII. Робоча функціональність компонентів

При натисканні на кнопку системи контролю доступу до приміщення, яка буде знаходитись зі сторони, де буде вихід камери від мікроконтролера, відбувається подання сигналу до процесору мікроконтролера. Цей сигнал фіксується, інформація про дату та час, разом із відеофрагментом записується до блоку зберігання даних. Сповіщення про натискання одночасно приходять як на смартфон із мобільним додатком, так і на веб-частину системи та інформують власника приміщення про персону, котра хоче мати доступ до приміщення. У подальших реалізаціях планується підключення камери та налагодження доступу до відеоспостереження правоохоронним органам, що в свою чергу буде здійснюватися як додатковий функціонал для захисту приміщення, а також слугуватиме для правоохоронців як допоміжний засіб у боротьбі із злочинністю. Правоохоронні органи зможуть у будь-який час підключитися до камери системи та слідкувати за трансляцією зображення.

Блок зберігання даних буде містити інформацію про зареєстрованих користувачів системи, саме кому будуть надходити сповіщення про персону, яку зафіксувала система. Також ці користувачі матимуть доступ до бази даних взаємодій із системою, а також матимуть можливість самостійно управляти налаштуваннями системи.

До таких функцій налаштування системою відносяться:

- Управління записом відео з камери;
- Управління сигналами сповіщення, тобто CRUD [7] операції із мелодіями відтворення сигналів;
- Управління режимами роботи системи контролю доступу до приміщення, а саме – це встановлення режимів роботи Wi-Fi модулю, та керування режимами відтворення сигналів;
- Буде здійснюватися керування гучністю відтворення сповіщення від системи;
- Управління налаштуваннями камери, такими як роздільною здатністю камери, віддзеркаленням зображення тощо.

IX. Висновки

Програмне забезпечення системи контролю доступу до приміщення повинне виконувати низку користувацьких вимог, які надають додаткові можливості відстеження персон, які хочуть отримати доступ до приміщення. Система складається із чотирьох частин, які зв'язані між собою в одну екосистему та будуть працювати відповідно до функціональних вимог програмного продукту. Система може бути використана як для звичайних сімейних будівель так і для офісів, фірм малого та середнього бізнесу.

Література References

[1] С. О. Іщук, Л. Й. Созанський, Р. В. Міхель, М. І. Бирка, наук. ред. С.О. Іщук "Конкурентоспроможність промисловості регіонів України" ДУ «Інститут регіональних досліджень імені М. І. Долішнього НАН України», Львів, 2016, p. 73 (Серія «Регіони: моніторинг, прогнози, моделі»). [Online]. Available: http://ird.gov.ua/irdp/p20160601a.pdf

[2] AI Thinker ESP32-CAM — PlatformIO 5.0.4a2 documentation [Online]. Available: https://docs.platformio.org/en/latest/boards/espressif32/esp32cam.html#hardware

[3] Семенець В.В., Копоть М.А.. Грицунов О.В. Патент України № 137310 "Електромузичний дзвінок" опубл. 10.10.2019, бюл. №19.

[4] Погорелый С., Слободянюк Т. "Программное обеспечение микропроцессорных систем": Справочник в журнале "Техніка", Киев, 1985, pp. 235-236.

[5] Ring: Home Security Systems | Smart Home Automation [Online]. Available: https://ring.com/.

[6] Что такое IoT устройства? Коротко о главном [Online]. Available: https://iotconf.ru/ru/article/chto-takoe-iot-ustroystva-korotko-o-glavnom-91029 © IOT conference.

[7] Create, read, update and delete [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Create,_read,_update_and_delete.

[8] Мэк Р. "Импульсные источники питания. Теоретические основы проектирования и руководство по практическому применению". Издательский дом «Додэка-XXI», Москва.

[9] Семенець В.В., Копоть М.А., Дудар З.В., Бугай Д.Ю. "Програма електромузичного дзвінка". Свідоцтво авторського права України №95379 15.01.2020

Програмна Система для Планування Виробітку Електричної Енергії з Відновлювальних Джерел

Ігор Сокорчук
кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
ihor.sokorchuk@nure.ua

Software System for Planning Electricity Generation from Renewable Sources

Ihor Sokorchuk
dept. of Software Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
ihor.sokorchuk@nure.ua

***Анотація*–розглядається програмна система для планування виробітку, постачання та споживання електричної енергії з відновлювальних джерел. Описуються алгоритми визначення обсягів виробітку та постачання електричної енергії.**

***Abstract*–the software system for planning the generation, supply and consumption of electricity from renewable resources is considered. Algorithms for determining the generation and supply of electricity are described.**

Ключові слова–виробіток електричної енергії; сонячна електростанція.

Keywords–electricity generation; solar power plant.

I. Вступ

За даними Євростату [1] в усіх країнах ЄС спостерігається ріст використання відновлювальних джерел енергії. У Швеції ця частка складає понад 50%, у Фінляндії 40%, Данії, Латвії, Австрії – понад 30%. Такий стрімкий розвиток використання відновлювальних джерел енергії спостерігається не тільки у ЄС але й у світі. В Україні частка виробництва електричної енергії з відновлювальних джерел також активно зростає.

Електростанції, що виробляють електричну енергію з відновлювальних джерел, на сьогодні приєднують переважно до розподільчих мереж. Особливістю їх експлуатації є те, що потужність окремого об'єкту цієї мережі є обмеженою, і на сьогодні не може перевищувати 30 кВт. Таке обмеження пов'язане із технічними можливостями цих мереж. Програмні рішення для обліку енергоресурсів у таких системах запропоновані у [2].

Водночас, вже на сьогодні кількість окремих виробників електричної енергії в Україні, що приєднані до розподільчої мережі електропостачання становить майже 30 тисяч, а динаміка зростання кількості сонячних електростанцій за минулий період у 2020 році складає понад 30%. Для кожного такого об'єкта необхідно спланувати виробництво електричної енергії яке визначається, як можливістю генерації цього обсягу електростанцією, так і можливістю її транспортування через розподільчу мережу електропостачання.

II. Основна частина

Для розв'язку задачі оперативного планування виробітку електричної енергії для мережі з сонячною електростанцією використовується наступний алгоритм.

A. Підготовча стадія:

Крок 1.1. Побудувати графову імітаційну модель мережі електропостачання.

Крок 1.2. Виокремити у графі частини із циклами та без циклів (розділити імітаційну модель мережі на центральний граф та приєднані до нього дерева).

Крок 1.3. Визначити втрати на транспортування електричної енергії та граничні навантаження на кожній ділянці (за різницями показів приладів обліку) і присвоїти ці значення ребрам графа та дерев.

B. Стадія пошуку шляхів передачі електричної енергії у графовій частині мережі.

Крок 2.1. Спрогнозувати обсяги виробітку та споживання електричної енергії.

Крок 2.2. Обчислити обсяги електричної енергії, що транспортуватиметься через центральний граф як суму небалансів у деревах.

Крок 2.3. Обчислити загальний небаланс (визначити обсяг електричної енергії, що передаватиметься із мережі або споживатиметься нею із зовні).

Крок 2.4. Присвоїти обчислений небаланс вершині, що позначає точку приєднання електромережі до зовнішньої енергосистеми.

Крок 2.5. Побудувати шляхи передачі електричної енергії як найкоротші шляхи між вузлами графа.

Крок 2.6. Визначити гранично допустимі навантаження для кожного шляху, як найменше значення із множини значень допустимих навантажень на ділянках шляху.

Крок 2.7. Розв'язати транспортну задачу з врахуванням граничних обмежень на транспортування.

Крок 2.8. Визначити навантаження на кожній ділянці транспортування електричної енергії.

Крок 2.9. Визначити перевантажені ділянки.

Крок 2.10. Вилучити (заблокувати) ребра графа, що описують перевантажені ділянки.

Крок 2.11. Повторювати кроки 2.4..2.8, поки мережа матиме перевантажені ділянки.

C. Стадія балансування обсягів виробітку

Крок 3.1. Визначити небаланс у дереві та присвоїти його кореню дерева.

Крок 3.2. Присвоїти листкам дерева прогнозовані значення виробітку та споживання електричної енергії. Усім ребрам дерева присвоїти нульове значення передачі електричної енергії

Крок 3.3. Обійти дерево від кореня у глибину і пронумерувати вузли та ребра дерева.

Крок 3.4 Виконати обхід дерева у ширину від листків до кореня. Обчислити небаланс електричної енергії в кожному вузлі на шляху обходу. Присвоїти небаланс ребру, що веде до кореня.

Крок 3.5. Перевірити, що навантаження на ребрах не перевищує гранично допустимі навантаження на ділянки мережі.

Крок 3.6. Перейти на один рівень ближче до кореня.

Крок 3.7. Повторювати кроки 3.2..3.6 поки не буде досягнуто кореня дерева.

Блок-схема для цього алгоритму наведена на рисунку 1.

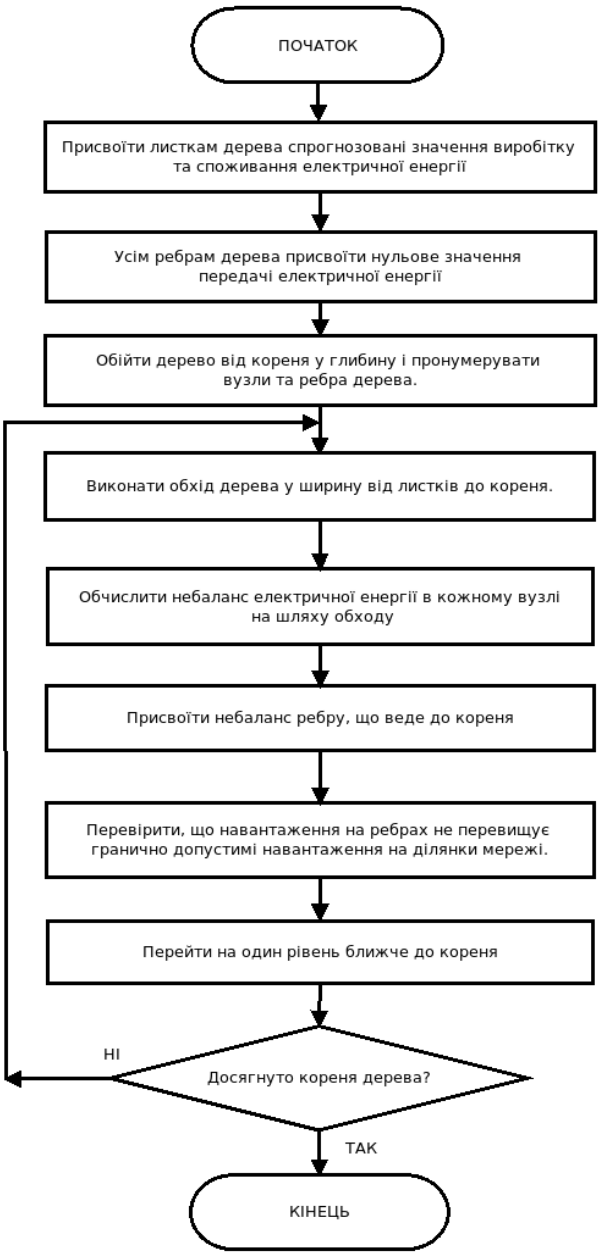


Рис. 1 - Алгоритм оперативного планування виробітку електричної енергії

Описані методи та алгоритми дозволяють побудувати програмну систему для оперативного планування виробітку електричної енергії сонячною електростанцією, приєднаною до розподільчої мережі.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[1] Eurostat Statistics Explained // URL: https://ec.europa.eu/ eurostat/ statistics-explained/ (дата звернення: 15.10.2020)

[2] Сокорчук І. П. Комп'ютерна програма «Вимірювально-обчислювальний комплекс автоматизованої системи обліку енергоресурсів Promenergy/E7», свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір No 21713 від 15.08.2007

Секція 7.
Комунікаційні, GRID та хмарні технології. IoT.

Section 7.
Communication, GRID and cloud technologies. IoT.

New Metrics for Assessment the Risks of the Internet Route Hijack Cyberattacs

Vitalii Zubok
Pukhov Institute for Modeling in Energy Engineering
National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
vitaly.zubok@gmail.com

***Abstract*—Possibility of dynamic routes change between nodes which are not physically connected is a key feature of the Internet routing. One of the most significant problems deriving from weaknesses of the exterior gateway protocol BGP-4 is route leaks and route hijacks. None of proposed and partially implemented upgrades and add-ons like MANRS and RPKI can not deliver reliable defense against those types of attacks. Estimating the risks of route hijack requires quantitative measurement of the impact of an attack on the routing distortion, and therefore, the loss of information security breach. In this paper, we will use the knowledge of the features of the Internet topology. Then we will find the relationship between topology and routing vulnerability. As a conclusion, we will try to obtain a method for quantifying information risk using a formal global routing model and trust metrics.**

Keywords—global routing, the Internet, route hijack, routing model, trust metrics, cybersecurity, risk assessment.

I. INTRODUCTION

The exterior gateway protocol BGP 4 has been developed to deliver this feature, along with policies and procedures of inter-domain routing. Developed for the network of hundreds nodes which rely on information from each other, after decades BGP-4 is still the same with tens thousands nodes and its crucial lack of routing data integrity. Nowadays there are over 80000 nodes called Autonomous Systems (ASes) interconnected in some way and thus building the telecommunication network – the Internet [1]. Such big figure of transit nodes and even much bigger number of links moves us from the theory of graphs to the theory of complex networks, where the study of the general properties of topology is preferred to the study of specific connections between nodes [2, 3]. This is the start point of route forges, route hijacks and other frauds with global impact each [4].

There are proposed proactive mechanisms such as Resource Public Key Infrastructure (RPKI) [5]. It's part of the Internet Routing Registry system. This service provides a collective method to allow one network to filter another networks routes. Method begins with cryptographic signing the route origin. A Route Origin Authorization (ROA) is a cryptographically signed object that states which AS is authorized to originate a certain prefix. A ROA contains three informational elements: the AS Number that is authorized, the prefix that may be originated from the AS, and the maximum length of the prefix. However such techniques are fully effective only in global deployment, and operators are reluctant to deploy them because of the associated technical and financial costs. For example, Telia, one of the Tier-I Internet backbone operators, announced that it's using RPKI for security in its internet routing infrastructure since only September, 2019.

II. APPROACH TO THE PROBLEM

In the face of the impossibility of reliable protection against damage associated with an attack, it is necessary to learn how to manage risks arising from cyberattacks on global routing. For this purpose we must use well-studied topological peculiarities of the Internet to find methods of routing attacks mitigation by a forehead improvement of the connections between Internet nodes.

III. ANALYSIS OF RECENT RESEARCH AND PUBLICATIONS

Anti-hijack protection consists of two steps: detection and mitigation. RPKI mechanism with route origin validation is not sufficient to mitigate AS hijacking. An analysis of the mechanisms of the attack, depending on its objectives and options for its implementation is described in detail in [6]. Detection is mainly provided by third-party services such as BGPMon. They notify the network administrator of suspicious events related to their prefixes based on routing information. They track worldwide routes by tracing and keep track of route announcements in BGP. In the event of an incident, the affected networks begin to mitigate the consequences of the event, for example by announcing more specific prefixes to their networks or by requesting other ASs to filter out false announcements. There are some other studies which offer mechanisms for route attack detection such as ARTEMIS [7] and Peerlock [8].

However, due to the combination of technological and practical deployment issues, existing reactive approaches are largely inadequate. In particular, the most advanced technologies have the following major problems:

- the variety of types of routing attacks and combinations of methods lead to the lack of a reliable method for detecting route interception;
- operators should be informed in advance of legitimate changes to their routing policy (new interactions between AS, announcement of a new prefix, etc.) so that such changes are not considered suspicious events for conditional third party detection systems.

Otherwise, adopting a less rigorous policy to compensate for the lack of updated information and reducing the number of false positives carries the risk of neglecting real events and not detecting false negatives;

- only few minutes of unauthorized traffic diversion can result in heavy financial losses due to unavailability of service or security breaches. At the same time, the response time to incidents is slow in any case, as current practice requires the need to manually check alerts coming from monitoring systems and third-party services. The duration of widely known incidents ranged from several hours to months [9].

At the risk identification stage of risk assessment process, specific requirements for the quality of information are raised. There is a requirement of the highest possible level of completeness, accuracy and conformity at the time of its receipt. Quality requirements are also raised to the quality of information sources [10].

Our purpose. Assuming the information above, we are trying to find the relationship between topology and routing vulnerability to obtain a method for quantifying information risk using a formal global routing model.

IV. Basics of Global Internet Routing and the Nature of Route Hijack

Existence of links between Internet nodes is determined by existance of border interaction between groups of network communication equipment. With relation to border interaction, we suppose these groups as a node, or as an autonomous system. An Autonomous System (AS) is a group of IP networks having a single clearly defined routing policy which is run by one or more network operators. ASes exchange routing information with other ASes using Border Gateway Protocol BGP-4. Exterior routing decisions are frequently based on policy based rules rather than purely on technical parameters [11]. A model of 4 AS interconnection is represented on a fig. 1.

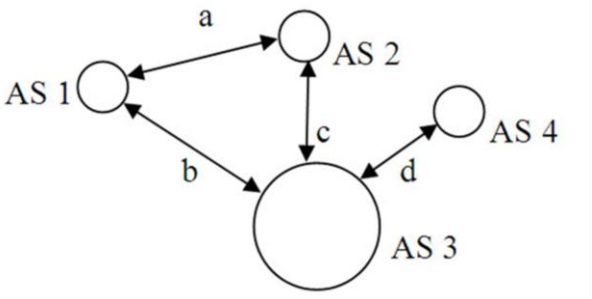


Fig.1. Autonomous systems interconnection

Each AS provides network prefixes to which it is ready to accept traffic, to a connected AS (it is called peer AS). So, AS4 has peering with AS3 using link d and announces it's prefixes to AS3. It means that AS3 now "knows" at least one way to transfer packets addressed to networks which prefixes are announced by AS3. At the same time, AS3 announces to AS4 it's prefixes too. As it's show on fig. 1, AS3 also is peering with AS1 and AS2 using links b and c. Due to this, AS3 is able to reannounce AS4 prefixes accepted from AS1 and AS2, and vice versa, reannounce AS1's and AS2's prefixes to AS4. This ability comes from gateway protocol's features, and it's precense is subject of a routing policy. Also we can see that AS1 and AS2 are peering (a), so in AS1-AS2-AS3 triangle they are able to be a transit node for each other. However AS4 has only one peer and it can't provide any transit. It's called "stub" AS.

Pretend AS3 and AS4 are not linked, however AS3 by misconfiguration or maliciously announces to AS1 and(or) AS2 prefixes originated by AS4. Due to the lack of integrity inherit to BGP-4, AS1 and AS2 have no mechanisms to automatically verify and authorize those routes. More complex network of ASes is shown on fig.2. AS6 is legitimate origin for 12.34.0.0/16 route, however if AS1 also announces this route, even in such easy network map we can see the nodes (AS2 and AS3) which accept this route as the best (shortest) path. Being aware that according to BGP model each BGP system can announce only one path – the best, i.e. shortest route for each prefix, we understand that AS2 and AS3 will use and propagate forged route to all their peers.

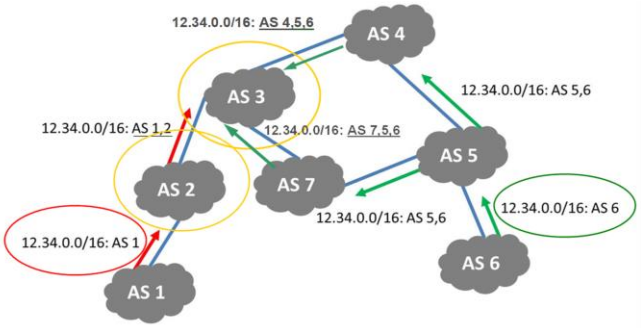


Fig.2. AS1 performs hijack of the route to 12.34.0.0/16 belonging to AS6.

And let's look at fig.3 where the route hijack has become a prefix hijack due to (erroreous or malicious) deaggregation of 12.34.0.0/16 prefix to more specific 12.34.0.0/17 + 12.34.128.0/17, in result all other nodes will not use route to 12.34.0.0/16 because of existence of more specific ones. In this case affected ASes will not stop to announce legal route to whole prefix 12.34.0.0./16, although it can be used only if more specific /17 prefixes are not accepted by some AS for any reason.

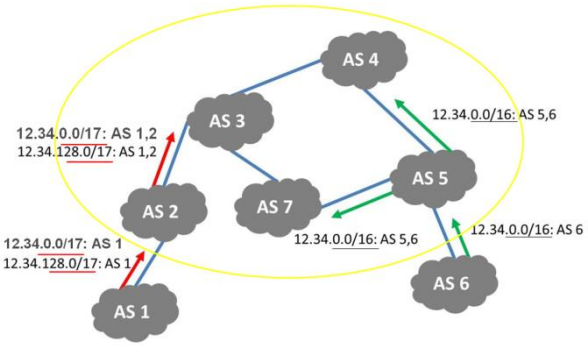


Fig.3. AS1 uses deaggregatin to hijack the route to 12.34.0.0/16 belonging to AS6.

When (or rather "if") the RPKI is implemented on 100% Internet providers including biggest Tier I networks, such hijack will not be possible due to route origin validation procedure, complementary to global rounting. But there's nothing to counteract to man-in-the-middle attack with AS path forgery, when origin keeps looking valid (Fig.4). Any ideas of registering and validation complete set of legitimate Internet routes does not look realistic neither now nor in future. That's why we suppose the global routing will be vulnerable for a long time.

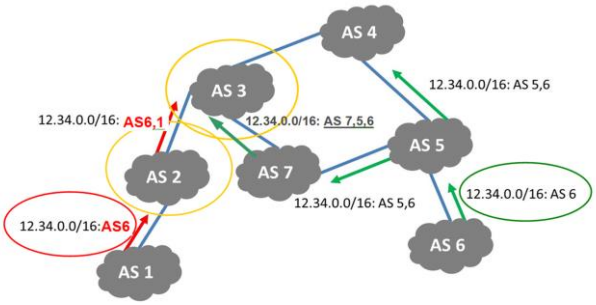


Fig.4. AS1 forges route origin while AS2 is not using appropriate BGP filtering.

V. Formal description of route hijack

Distance is the parameter routing attacks are tampering. From a practical point of view, this means that if route is hijacked only if the distance through the fictitious route will be less than through the real route. Then let's find the formula of affecting the node with forged route. The task of finding the best route is complicated and non-linear. Therefore, the TCP/IP stack has adopted the so-called one-step approach to optimizing the packet route (next-hop routing) - each router and destination node only have to choose one step forward of packet transmission. A formal description of the Internet global routing objects and processes is described in [12]. Here are formulated the process of choosing a prefix $p(a)$ by destination IP address and then choosing a route with shortest path $\pi(p)$:

$$p(a) = \{\min_j(p_j) \ : \ a \in p \subset A, \ 0 < j \le |A|\},$$

$$\pi_v(p) = \{\min_v(m_v(p)) : \pi \in M_p, v \in V_p\}.$$

For common case, we assume that our network is connected, that is, at least one route to any prefix is known at each node. If there are two or more of prefixes on a particular node *u*, BGP chooses one of them based on known criteria, the most important of which is path length. After that, this route is in use at this node, and will it be announced to neighboring nodes. If at some node two or more routes have the same path length, the decision will be made according to secondary criteria. After passing each transit node, the route is extended by 1 node.

Consider at this stage the case of intercepting a route without deaggregation. The hijack of prefix legitimately originated from node *v*, is that a spoofed route $\pi'(p_v)$ is announced to the network (typically from one particular node - [4]), competing with true route $\pi(p_v)$. In Figure 1, we can see that $\pi'(p_v)$ will obviously capture the nodes AS2 and AS3. On the other hand, AS4 and AS7 will receive a false route $\pi'(p_v)$ but it will lose to $\pi(p_v)$. These nodes will not pass it on to their other neighbors. In more complex topology we could see that on some hubs route hijack with initially one forged route can significantly increase number of competing routes on some network hubs.

In more complex topology we could see that on some hubs route hijack with initially one forged route can significantly increase number of competing routes on some network hubs. In our opinion, the most plausible way to model route distribution is method of cellular automation. However forged route leads to information risk only in two cases: (a) if it changes the route of IP packets through malicious node; (b) if it changes final destination of IP packets.

VI. The distance and risk assessment

As described below, likelyhood of inequality $\pi'(p_v) < \pi(p_v)$ seen on particular node *u*, the more likely the bigger is $d(v,u)$. The extreme value of $d(v,u)=1$ leads to impossibility to provide forged route $\pi'(p_v)$ through the node *u*. So this should also eliminate for node *v* the risk of data loss on node *u*.

It is easier to manipulate the path length if the path is longer. In the long way in the middle there are more nodes through which you can announce a forged route. Therefore, the probability P of interception between nodes *u,v* increases for distant nodes and decreases for close ones:

$$P(v,u) \sim d(v,u).$$

And also information losses increase with increasing number of affected nodes. $d(v,u)$ affects whether destination node *u* receives false of legitimate route. So does the risk, and we reasonably assume that risk is proportional to distance :

$$R_v \sim \sum_{i=1}^{|V|} d(v,u); \ u \in V.$$

The last expression is relative quantity of route hijack risk for node *v* regarding target group of network nodes *V*. One cannot prophet whether destination node *u* receives false of legitimate route since there no ways to see the BGP processes inside *u* in real time. But one can make subjective probability estimate. Let's call it "trust", while the subject of trust is probability that node *u* receives and uses (and further propagates) legitimate route to *v*. The value of trust T is a ratio of average distance between *v* and other nodes, and the distance between *v* and particular *u*:

$$T_u^v = \frac{\sum_i^{|AS|} d(u,i)}{d(u,v)(|AS|-1)} \; ; \; \{i,u,v\} \in AS \; ; u \neq v \; ; u \neq i \cdot$$

The risk depends on two components – loss and likelihood and the last one is much similar to probability. So we got a new mertrics for Internet nodes related to route protection.

If we express likelihood via trust, let's express losses using number of nodes impacted by false routes due to route hijack. The more shortest paths $\pi_v(p)$ go through node *u* or prefixes originated by it, the more is impact of this node to routes distribution. This parameter is calculatable by BGP routing tables. Let's call it "significance":

$$S_v^u = |\pi_v(p)|.$$

Using two metrics "trust" and "significance" we can build a model of route hijack risk based on 2-dimentional nodes distribution by trust and significance:

$$R^u = \frac{\sum_{i \neq u}^{|V|-1} S_i^u T_i^{u\,-1}}{|V|-1} \cdot$$

Using this model the route hijack risk mitigation will be associated with increased trust in the most significant nodes with topology improvement techniques. That is, a direct BGP interaction with the most significant and distant peers should be modeled to achieve acceptable risk level for risk owner.

VII. Conclusions

The most significant problem deriving from Border Gateway Protocol weaknesses and vulnerabilities is is route leak and route hijack threats. An important step towards assessing the risk posed by attacks on global routing is to predict the impact of the attack, namely to assess the scale of the attack (distribution routes, impact area, number of "damaged" routes). Estimating the risks of route hijack requires quantitative measurement of the impact of an attack on the routing distortion, and therefore, the loss of information security breach. There is the relationship between the topology of the Internet and routing vulnerability. We formulated and proposed an approach for assessing and mitigationg risk of route hijack using a two new metrics for Internet nodes derived from topology learning – trust and significance.

References

[1] Internet Mapping and Annotation. Center for Applied Internet Data Analysis [Online]. Available: https://www.caida.org/research/topology/internet_mapping/. Accessed on: June 28, 2020.

[2] Newman M. The structure and function of complex networks / M.E.J. Newman // SIAM Review. - 2003. - Vol.45. – p.167–256..

[3] Faloutsos M. On Power Law Relationships of the Internet Topology / Faloutsos M., Faloutsos P., Faloutsos C .// Comput. Commun. Rev. – 1999. – №.29. – С.251-263.

[4] В.Ю. Зубок. Ретроспективний аналіз інцидентів кібербезпеки, пов'язаних з атаками на глобальну маршрутизацію // Моделювання та інформаційні технології. Збір. наук. праць. Вип.86, 2019, с.41-49, http://doi.org/10.5281/zenodo.3610642.

[5] RIPE NCC's Implementation of Resource Public Key Infrastructure (RPKI) Certificate Tree Validation [Online]. Available: https://tools.ietf.org/html/rfc8488. Accessed on: May 25, 2020.

[6] Zubok, V.: Metric Approach to Risk Evaluation of Cyberattacks on Global Routing: Selected Papers of the XVIII International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and Security" (ITS 2018). Vol-2318 urn:nbn:de:0074-2318-4.

[7] P. Sermpezis. ARTEMIS: Neutralizing BGP Hijacking within a Minute / P. Sermpezis, V. Kotronis, et al. // arXiv:1801.01085v4 [cs.NI] 27 Jun 2018.

[8] T. McDaniel. Peerlock: Flexsealing BGP / T. McDaniel, J.M. Smith, M. Schuchard // arXiv:2006.06576v3 [cs.NI] 17 Jul 2020.

[9] Zubok V. Exploring the relations between topology and security risk of cybernetic attacks on global Internet routing]. / Zubok V., Mokhor V. // Modelyuvannya ta informaciyni technologii, vol. 85, p. 23-26.

[10] Risk Management – Vocabulary (ISO Guide 73:2009, IDT) : DSTU ISO Guide 73:2013. – [Valid since 2014–07–01] . – Kyiv : Minekonomrozvytku Ukrainy, 2014.

[11] Y. Rekhter, P. Gross. RFC 1772. Application of the Border Gateway Protocol in the Internet [Online]. Available: http://tools.ietf.org/html/rfc1772. Accessed on Sep 20, 2019.

[12] V.Zubok. Building Formal Model of the Internet Routing for Risk Evaluation of Cyberattacks on Global Routing // CEUR workshop Processing. – Vol.2577. – pages 292-301 [Online]. Avaliable: http://ceur-ws.org/Vol-2577/. Accessed on Aug 12, 2020.

Основні Складнощі при Виборі Архітектури Хмарного Додатка

Наталія Сердюк
кафедра комп'ютерних інтелектуальних систем та технологій
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
nataliya.serdyuk@nure.ua

The Main Difficulties in Choosing the Architecture of the Cloud Application

Nataliia Serdiuk
Department of Computer Intelligent Systems and Technologies
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
nataliya.serdyuk@nure.ua

***Анотація*—IT-індустрія живе з урахуванням хмарних обчислень. Шаблони споживання послуг дають нові можливості для користувачів, але хмари створюють ряд проблем, коли справа стосується побудови програм у хмарній парадигмі.**

***Abstract*—The IT industry lives with the cloud in mind. Service consumption patterns provide new opportunities for users, but clouds pose a number of challenges when it comes to building applications within the cloud paradigm.**

Ключові слова—хмарні технології; додатки; архітектура; розгортання, модель

Keywords—cloud technologies; applications; architecture; deployment, model

I. Вступ

Хмарні технології змінюють принципи проектування додатків. Хмарні додатки не монолітні, а складаються з невеликих децентралізованих служб. Ці служби взаємодіють між собою через API за допомогою асинхронного обміну повідомленнями або подіями. Додатки можна масштабувати горизонтально, додаючи нові екземпляри, якщо з'являється потреба в цьому. З цими тенденціями пов'язані нові складності. Система в цілому повинна зберігати стійкість у разі збоїв, а розгортання повинні бути автоматизованими і передбачуваними. Для розуміння стану системи вкрай важливо налагодити ефективний моніторинг і телеметрію [1].

II. Відмінності класичних додатків від хмарних

До основних особливостей класичних локальних додатків слід зарахувати такі особливості: додатки монолітні, централізовані; забезпечують передбачувану масштабованість; реляційні бази даних; сильна узгодженість; послідовна і синхронна обробка; архітектура орієнтована на уникнення відмов (основна характеристика - середній час між відмовами); рідкісні масштабні оновлення; ручне управління і централізована архітектура серверів [2,3].

На відміну від класичних додатків, сучасні хмарні додатки фрагментовані і децентралізовані; підтримують гнучке масштабування; можливе одночасне використання різних технологій зберігання даних; «Узгодженість в кінцевому рахунку»; паралельна і асинхронна обробка;

архітектура стійка до відмов (основна характеристика - середній час відновлення); часті невеликі оновлення; автоматичне самообслуговування і незмінна інфраструктура [2,3].

III. Вибір архітектури додатків

На самому початку необхідно вибрати архітектуру додатку. Від першого прийнятого рішення залежить решту шляху. Яку архітектуру виберете? Це може бути архітектура на базі мікро сервісів, більш традиційний N-рівневий додаток або рішення для роботи з великими даними. Існує безліч варіантів, але найбільш використовувані сім варіантів архітектури. У кожного з них є свої переваги і недоліки. Вибір архітектури залежить від складності додатка, області застосування, його типу і завдань, для вирішення яких він призначений. Також важливо враховувати навички команди розробників і менеджерів проекту, а також наявність у додатки готової архітектури.

Вибір архітектури накладає певні обмеження на структуру додатку, обмежуючи вибір технологій і інших елементів додатку. З цими обмеженнями пов'язані як переваги, так і недоліки обраної архітектури.

IV. Вибір технологій для обчислень та зберігання даних

Вибір технологій для обчислень пов'язаний з визначенням моделі розміщення обчислювальних ресурсів, на яких запускається додаток. У максимально загальному вигляді його можна сформулювати як вибір між моделями IaaS (інфраструктура як послуга), PaaS (платформа як послуга), FaaS (функція як послуга) і всіма проміжними варіантами [4]. Щоб прийняти рішення, необхідно оцінити функції і обмеження конкретної служби, її доступність і масштабованість, вартість і можливості для управління процесом розробки При виборі технологій для зберігання даних необхідно зрозуміти, з якими даними працює ваш додаток, які дані воно отримує і генерує і які дані створюють його користувачі. Найбільш поширені типи даних - бізнес-дані, кеші, дані Інтернету речей і телеметричні дані, а також неструктуровані журнали. Найчастіше додаток працюють з кількома типами даних. У кожного типу даних є свої вимоги до обробки, тому вам потрібно вибрати відповідне сховище для кожного з них. Деякі технології зберігання даних підтримують різні моделі зберігання. На підставі наведеної в цьому розділі інформації виберіть модель зберігання даних, яка найбільшою мірою відповідає вашим вимогам. Після цього визначте конкретний сховище даних у відповідній категорії, виходячи з таких параметрів, як функціональні можливості, вартість та зручність управління.

При виборі технології для обчислень необхідно враховувати наступні обставини:

1. Модель розміщення.

2. Управління процесом розробки.

3. Масштабованість.

4. Доступність.

5.Вартість.

Крім вартості власне служби необхідно врахувати операційні витрати на управління побудованим на базі цієї служби рішенням. Зокрема операційні витрати на вирішення IaaS, як правило, бувають більш високими. Які загальні обмеження кожної служби? Які архітектури додатків підходять для тієї чи іншої служби?

На одному кінці набору можливих рішень знаходиться модель IaaS (інфраструктура як послуга). В рамках IaaS готуються необхідні віртуальні машини, а також пов'язані мережеві ресурси і компоненти для зберігання даних. Після цього на них можна розгорнути будь-яке програмне забезпечення і додатки. Така модель найбільше нагадує традиційну локальну середу [4].

У моделі PaaS (платформа як послуга) ви отримуєте керовану середу розміщення, в якій можна розгорнути свій додаток без необхідності керувати віртуальними машинами і мережевими ресурсами [5].

Між IaaS і PaaS є безліч інших проміжних варіантів розгортання.

У моделі FaaS (функція як послуга) ідея відмови від необхідності думати про середовище проживання реалізована в ще більшій мірі. Замість того щоб створювати обчислювальні екземпляри і розгортати на них код, просто розгортається код, а потім служба автоматично запускає його. Не потрібно адмініструвати обчислювальні ресурси. У цих службах застосовується без серверна архітектура, що забезпечує просте масштабування відповідно до потреб в обробці трафіку.

IaaS забезпечує максимальний контроль, гнучкість і переносимість, FaaS - простоту, гнучку масштабованість і потенційну економію фінансів, оскільки оплачується тільки час, протягом якого виконувався код.

PaaS займає проміжне положення. У загальному випадку чим більш гнучкою є служба, тим більший обсяг обов'язків по конфігурації і управління ресурсами лягає на

користовуча. Послуги FaaS автоматично керують багатьма аспектами середовища виконання програми, а рішення IaaS дозволяють готувати, налаштовувати і контролювати створювані віртуальні машини і мережеві компоненти.

Вибір технології зберігання даних, що відповідають вимогам, є одним з ключових рішень, прийнятих на етапі проектування. Можна вибирати з сотень технологій баз даних SQL і NoSQL. Сховища даних зазвичай класифікують за структурою даних і за типами операцій, які вони підтримують.

Не всі технології зберігання даних в рамках однієї категорії володіють одним і тим же набором функцій. Більшість таких технологій підтримують серверні механізми запитів і обробки даних. В одних випадках ці функції вбудовані в систему управління сховищем, в інших - функції зберігання і обробки даних відокремлені один від одного, і можна вибирати між різними технологіями обробки і аналізу. Крім того, технології зберігання даних підтримують різні інтерфейси програмування і управління [6].

У загальному випадку спочатку треба вирішити, яка модель зберігання даних найкраще відповідає вимогам. Після цього визначається конкретне сховище даних у відповідній категорії, виходячи з таких параметрів, як функціональні можливості, вартість та зручність управління.

V. Висновок

Поява і розвиток нових тенденцій, вимог користувачів і можливостей дає можливість постійно вдосконалювати архітектури. Вибір правильної архітектури для застосування, підбір найбільш підходящих технологій для обчислювальних систем і систем зберігання даних дозволяє переходити до проектування та розробки хмарного додатка.

Література References

[1] Gillam, Lee, Nick Antonopoulos «Cloud Computing: Principles, Systems and Applications», *Computer Communications and Networks* Springer, 2010, ISBN 9781849962407, 379 p.

[2] Amazon S3 Available:: http://ru.wikipedia.org/wiki/Amazon_S3

[3] Windows Azure. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Windows_Azure

[4] Orlando D. “Modeli servisnykh oblachnykh vycherpan′: infrastruktura yak servis” Available: http://www.ibm.com/developerwork/ru/library/cloudservices1iaas/.

[5] Orlando D. “Modeli servisnykh oblachnykh vypadiv: platforma yak servis”, Available: http://www.ibm.com/developerworks/ru/library/cl-cloudservices2paas/.

[6] Miller R. Who “Has the Most Web Servers?”, Available: http://www.datacenterknowledge.com/archi-ves/2009/05/14/whos-got-the-most-web-servers/

Застосування Методів Доменного Моделювання для Підтримки Варіабельності Програмного Забезпечення в Розробці Систем «Розумний Будинок»

Рустам Гамзаєв, Микола Ткачук
Кафедра моделювання систем і технологій
Харківський національний університет
імені В. Н. Каразіна
Харків, Україна
rustam.gamzayev@gmail.com, tka.mobile@gmail.com

Товстокоренко Олег
Кафедра програмної інженерії та інформаційних технологій управління
Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут"
Харків, Україна
tovstokorenko@gmail.com

Usage of Domain Modeling Methods for Software Variability Support in “Smart-Home” Systems Development

Rustam Gamzayev, Mykola Tkachuk
Department of Systems and Technologies Modeling
V.N. Karazin Kharkiv National University
Kharkiv, Ukraine
rustam.gamzayev@gmail.com, tka.mobile@gmail.com

Tovstokorenko Oleh
Department of Software Engineering and Management Information Technologies
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»
Kharkiv, Ukraine
tovstokorenko@gmail.com

***Анотація*—В роботі розглянута проблема розробки систем «Розумний дім» з використанням методів доменного моделювання з метою забезпечення певного рівня варіабельності їх програмного забезпечення.**

***Abstract*—In this work the problem of “Smart-Home” systems development with usage of domain modeling methods to provide a certain level of software variability is considered.**

Ключові слова—розумний дім, Інтернет речей, доменна модель, варіабельність, програмне забезпечення

Keywords— Smart home, Internet of Things, domain modeling, variability, software

I. Вступ

Аналіз сучасних тенденцій у галузі програмної інженерії свідчить про стрімке зростання кількості наукових досліджень і практичних розробок, які відрізняються підвищеним рівнем інтелектуалізації усіх основних процесів повного життєвого циклу (full life cycle) відповідних програмних систем (ПС) [1-2]: від аналізу та моделювання вимог (requirements engineering) до автоматизованого розміщення та супроводу (deployment and maintenance) готових програмних компонентів. Метою такого підходу до створення складних ПС є намагання скоротити проектні витрати та підвищити їх якість, що в кінцевому рахунку має забезпечити успіх у їх просуванні на ринку програмних продуктів та ІТ-послуг.

Саме для вирішення цих завдань в програмній інженерії з’явилися і наразі активно застосовуються такі підходи як, зокрема, доменне моделювання (domain modeling), методи підтримки варіабельності програмного забезпечення (software variability) та архітектурні моделі та технології розробки лінійок програмних продуктів (software product line). По кожному з цих напрямків наразі існує досить великий обсяг публікацій (див. їх стислий огляд, напр., у [3]), але в той же час актуальною

проблемою лишається комплексне застосування цих підходів для вирішення задач ефективної розробки ПС у нових високотехнологічних та затребуваних на практиці предметних галузях, таких як, наприклад, розробка систем типу «Розумний дім» («Smart-Home» systems - SHS). Ці системи, в свою чергу, можливо розглядати як певний тип у більш широкому класі комп'ютеризованих систем, а саме систем Інтернет – речей (Internet of Things - IoT) [4,5], і які представляють собою складні розподілені апаратно-програмні комплекси, що мають відповідні інтелектуальні інтерфейси для підтримки зручної роботи різних груп їх користувачів.

II. Деякі сучасні проблеми розробки систем «Розумний дім»

Огляд науково-практичних розробок у галузі створення SHS-систем дозволяє зробити висновок, що наразі існує досить значний прогрес у створенні високотехнологічних апаратно-програмних рішень, зокрема, з використання методів і технологій з інструментарію побудови IoT – систем і кіберфізичних систем (cyber-physical system) [6,7], а також у розробці нових інтелектуальних моделей та алгоритмів керування ресурсами цих систем та розв'язання проблемних ситуацій, що виникають в процесі їх функціонування, наприклад, з використанням нейронних мереж, систем продукційних правил, методів аналізу прецедентів та деяких інших [8].

Існує також певна і досить обмежена кількість публікацій, переважно закордонних, у яких розглядаються питання застосування вищезгаданих понять: доменного моделювання (ДМ), моделей варіабельності (МВ) програмного забезпечення (ПЗ) та технології побудови лінійок програмних продуктів (ЛППП) саме для розробки SHS-систем [9-11]. В той же час у таких роботах недостатньо опрацьованими залишаються питання отримання кількісних оцінок можливого підвищення ефективності процесів проектування та реалізації саме компонентів ПЗ шляхом забезпечення їх варіабельності та можливостей повторного використання у відповідних ЛППП. Саме тому метою дослідження є розробка підходу до вирішення цієї проблеми на основі оцінки складності відповідних доменних моделей ще на етапі аналізу функціональних вимог та архітектурного проектування їх ПЗ.

III. Моделювання властивостей варіабельності програмного забезпечення для альтернативних варіантів системної архітектури

Через відсутність єдиного стандарту/протоколу зв'язку між пристроями та системами при розробці SHS-систем, створення апаратних комплексів, основаних на елементах різних компаній зумовлює наявність інтеграційних проблем на рівні їх ПЗ. Основною проблемою при цьому є необхідність поєднання окремих IoT – компонентів різних виробників в одну систему управління, з можливістю централізованого керування усім обладнанням, і в той же час забезпечити необхідний рівень варіабельності (або адаптивності) властивостей компонентів ПЗ у відповідності з функціональними вимогами їх кінцевих користувачів.

За цих умов для формалізації процесу аналізу та синтезу структури SHS – системи пропонується побудувати відповідну ДМ з використанням нотації FODA [1,2], яка наведена на рисунку 1, де червоним кольором виділено проблемну частину системи (апаратні модулі). Структура цієї моделі містить відповідні сенсори (sensor – пристрої, що збирають данні) та актуатори (actuator – пристрої, що виконують певні функції) , різних виробників та визначає їх функції на найнижчому рівні. Керуються сенсори та актуатори блоками управління-«Hub». Для сенсорів та актуаторів кожного з виробників потрібен Hub цього ж виробника. Самі ж функції управління Hub компонентами різних виробників безпосередньо можуть бути використані за двома варіантами організації їх управління.

Перший варіант – це використання набору окремих мобільних додатків для кожного з виробників. Другий (наведено на рис. 1) – використання Модулю з ОС для управління IoT компонентами[12]. Перший варіант є досить складним для управління та адміністрування.

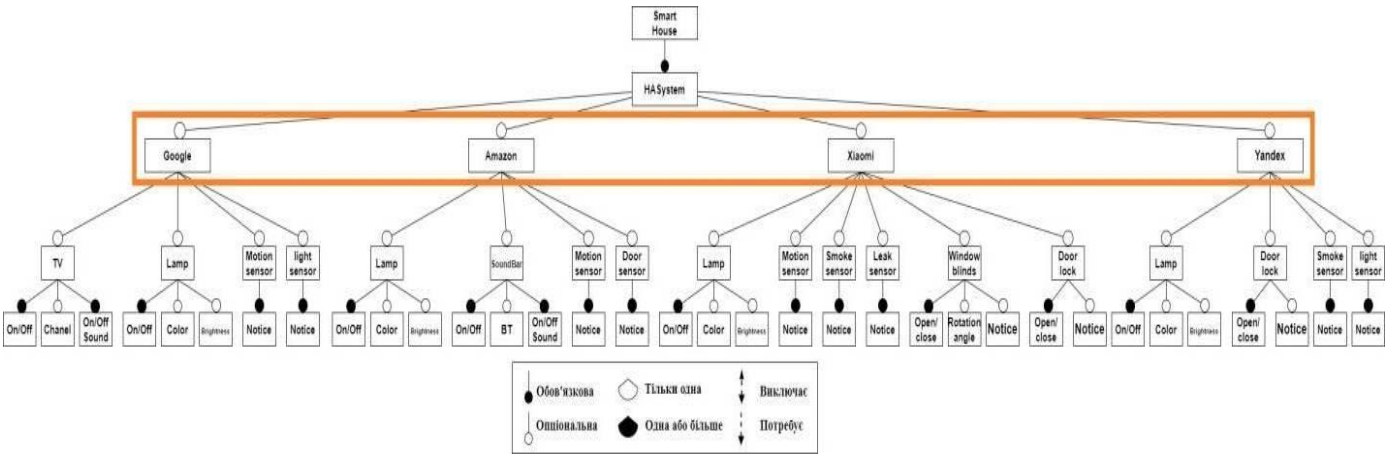


Рис. 1. ДМ SHS з пристроями різних виробників

Другий варіант є більш універсальним за рахунок єдиного користувацького інтерфейсу ОС для управління IoT компонентами (далі IoT-OS). Але як і перший, він передбачає необхідність застосування Hub кожного з виробників (див. рис. 2), що суттєво ускладнює архітектуру та процеси підтримки системи загалом.

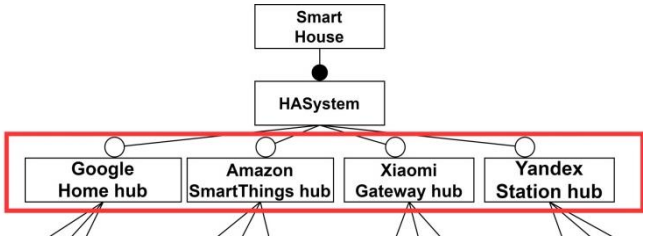


Рис. 2. Варіант ДМ SHS з використанням набору Hub компонент

При використанні варіанту архітектури зображеного на рис. 2, з'являється необхідність у наступних процесах:

- налаштування зв'язку з кожним з Hub компонент для IoT-OS;
- окреме налаштування кожного з вузлів Hub;
- налаштування зв'язку між Hub та певним пристроєм (сенсор/актуатор);
- налаштування/конфігурація функцій та сценаріїв для кожного пристрою (сенсор/актуатор) на рівні Hub компонент;
- налаштування/ конфігурація функцій та сценаріїв для кожного пристрою (сенсор/актуатор) на рівні IoT-OS.

Таким чином, при використанні даної архітектури налаштування системи, так як і подальше масштабування будуть потребувати значних затрат часу зважаючи на те, що сучасні IoT-OS складаються широкого набору компонент.

Кожен з кінцевих сенсорів/актуаторів має певні стандартизовані пристрої зв'язку, так само як і апаратні системи на яких працюють IoT-OS[13], необхідність архітектурного рівня «Hub» обумовлена або повною відсутністю функціональної можливості інтеграції безпосередньо сенсорів/актуаторів з IoTOS в одних випадках, або необхідністю розробки програмних модулів для IoT-OS в інших.

Зважаючи на той факт, що сенсори/актуатори мають спільні стандарти зв'язку можно говорити про можливість проектування уніфікованого програмного модуля, який дозволить створювати, накопичувати, повторно використовувати конфігурації для інтеграції певних сенсорів/актуаторів та відповідних IoT-OS (рис. 3).

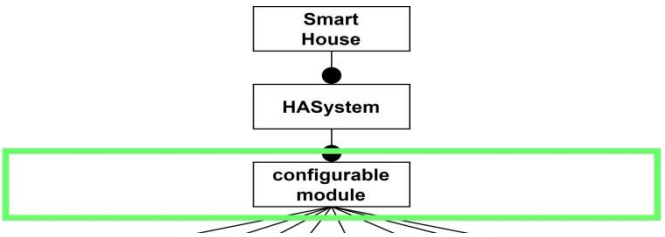


Рис. 3. ДМ SHS з використанням запрпонованого компоненту.

Модуль пропонується розташовувати як компонент системи IoT-OS. Як варіант вирішення зазначених проблем запропоновано змінити розглянуту архітектуру, за рахунок заміни Hub компонент на конфігураційний модуль інтеграції.

При використанні варіанту архітектури системи без Hub компонент залишається необхідність у наступних процесах:

- налаштування зв'язку між IoT-OS та певним пристроєм (сенсор/актуатор);
- налаштування функцій та сценаріїв для кожного пристрою (сенсор/актуатор).

Таким чином, за рахунок наявності запропонованого модуля кількість етапів налаштування компонентів IoT-OS значно скорочується.

IV. Експериментальне дослідження застосування запропонованого підходу

Для оцінки запропонованого підходу було використано показник сполучної складності ДМ [14]. В якості вхідних даних було використано ДМ SHS без використання запропонованого модуля та після модифікації. Для розрахунку сполучної складності було використано наступну формулу:

$$C_m = F^2 + \frac{(R_{and}^2 + 2R_{or}^2 + 3R_{case}^2 + 3R_{gr}^2 + 3R^2)}{9} \to \min$$

де C_m - комплексна міра складності; F - кількість елементів моделі (точок варіанту та варіантів); R_{and} - кількість обов'язкових відносин; R_{or} - кількість необов'язкових відношень; R_c - кількість альтернативних відношень; R_{gr} - число групування відносин; R - кількість відношень між вузлами, включаючи обмеження.

Коефіцієнт поділу - це сума когнітивних ваг для вирівнювання рівняння [14].

Сполучна складність ДМ з використанням окремих модулів Hub:

$$C_m = 57^2 + \frac{(22^2 + 2*36^2 + 3*4^2)}{9} = 3249 + 343 = 3592 .$$

Тоді сполучна складність ДМ з використанням запропонованого програмного модуля дорівнює:

$$C_m = 54^2 + \frac{(22^2 + 2*36^2 + 3*4^2)}{9} = 3249 + 343 = 3203$$

Виходячи з результатів, можна зробити висновок, що використання системи з запропонованою модифікацією зменшує складність ДМ приблизно на 10.8%.

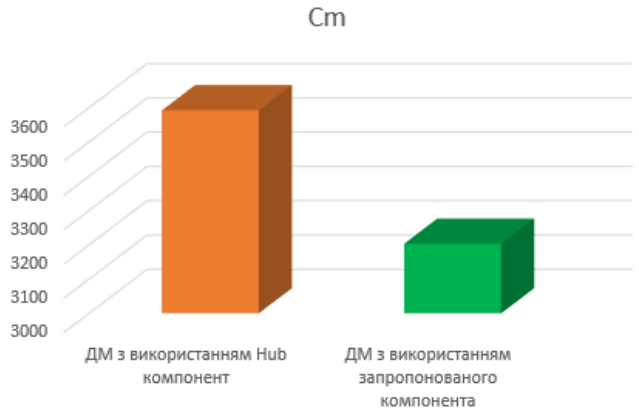


Рис. 4. Результат порівняння показника складність для двох моделей

На основі досліджень в роботі [15] можна також зробити висновок, що зменшення складності ДМ дає можливість отримання вже на етапі програмної реалізації компонентів відповідної SHS вихідний код з більшим коефіцієнтом його повторного використання, що в кінцевому рахунку означає можливе скорочення загальних проектних витрат при створенні такої системи.

V. Висновки

В роботі показана актуальність та доцільність застосування методів побудови ДМ при архітектурному проектуванні систем SHS з заданим рівнем варіабельності їх ПЗ. Запропоновано підхід до отримання кількісних оцінок сполученої складності відповідних ДМ, застосування якого дозволило на прикладі тестової SHS отримати альтернативні системні архітектури, які відрізняються за цим показником більш ніж на 10%. На підставі цього можливо отримання вихідного програмного коду, який буде мати більше значення коефіцієнту його повторного використання, що в кінцевому рахунку дозволяє зменшити загальні проектні витрати.

В подальшому планується розробити та експериментально дослідити інші можливі метрики для кількісної оцінки показників якості ПЗ у системах SHS.

Література References

[1] Th. Berger, M. Chechik, T. Kehrer, “ Software Evolution in Time and Space: Unifying Version and Variability Management”, in (Eds.) - 2019, Dagstuhl Seminar Reports, Vol. 9, Issue 5, pp. 1–31 (printed in Germany)

[2] Steinberger, M., Reinhartz-Berger, I., Tomer A., “Cross Lifecycle Variability Analysis: Utilizing Requirements and Testing Artifacts”, in The Journal of Systems & Software 143 (2018), pp.208–230.

[3] R.O. Gamzayev, E. Karaçuha, M.V. Tkachuk , O.Y. Tovstokorenko., “An Approach to Assessment of Dynamic Software Variability in Mobile Applications Development”, in Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна, № 40, 2018. – С. 14-25.

[4] M. Mazzara, I. Afanasyev, S. R. Sarangi, S. Distefano, V. Kumar and M. Ahmad, "A Reference Architecture for Smart and Software-Defined Buildings," 2019 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP), Washington, DC, USA, 2019, pp. 167-172, doi: 10.1109/SMARTCOMP.2019.00048.

[5] Pandit, D., Pattanaik, S., “Software Engineering Oriented Approach to Iot - Applications: Need of the Day”, in International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), Vol.7, Issue-6, 2019 - pp. 886-895.

[6] Rawat, D.B., Rodrigues, J.J., Stojmenovic, I., “Cyber-Physical Systems: From Theory to Practice.”, in CRC Press, 2015.

[7] Fei Tao, Qinglin Qi, Lihui Wang, A.Y.C. Nee, “Digital Twins and Cyber–Physical Systems: Toward Smart Manufacturing and Industry 4.0: Correlation and Comparison”, in International Journal of Engineering Vol. 5, Issue 4, August 2019, pp. 653-661.

[8] Береговський В.В., “Математичне та програмне забезпечення автоматизованого проектування систем “Інтелектуального Будинку””, Автореф. дис. канд. техн. наук, спеціальність: 05.13.12 – системи автоматизації проектувальних робіт, НУ «Львівська політехніка», 2017.

[9] Sosa-Reyna,C., Tello-Leal, E., Lara-Alabazares, D.. s, Jonathan Alfonso Mata-Torres, Esmeralda Lopez-Garza, “Methodology Based on Model-Driven Engineering for IoT Application Development”, in Proceeding of the 12th International Conference on Digital Society and e-Governments (ICDS 2018), March 25-29, Rome, pp. 36-41.

[10] Huber, R., Pueschel, L., Roeglinger, M., Capturing smart service systems: Development of a domain-specific modelling language, in Inf. Systems Journal, Vol. 29, Issue 6 November 2019, pp. 1207-1255

[11] Tzeremes, V., Hassan, G., “A Software Product Line Approach to Designing End User Applications for the Internet of Things”, in Proceedings of the 13th International Conference on Software Technologies (ICSOFT 2018), pp. 656-663.

[12] Ткаченко М.В., Товстокоренко О.Ю., “Використання концепції лінійок програмних продуктів в контексті процесу проєктування систем «Розумний дім»”, у журналі «Наукові підсумки 2019 року», XXXVII Міжнародна науково-практична інтернет-конференція. – м. Вінниця, 09 грудня 2019 року. – Ч.14, с. 84.

[13] Пархоменко, А.,А. Туленков, О. Соколянський, О. Гладкова, Я. Залюбовський. Дослідження та розробка методу веб-орієнтованого прототипування при проектуванні смарт систем. / Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, вип. 2, вип. 6 (247), Січень 2019, с. 118-24,

[14] Stuikys, Vytautas & Damasevicius, Robertas.. Measuring Complexity of Domain Models Represented by Feature Diagrams. Information technology and control. 38. 2009.

[15] Ткачук М.В., Мартінкус І.О., Гамзаев Р.О. та ін. Про один підхід до оцінки ефективності застосування методів доменного моделювання при розробці сімейств програмних систем // Збірка наук. праць ХУПС, № 5(54), 2017. – С. 127-134.

Використання Хмарного Сервісу для Розгортання та Підтримки Медичної Системи

Ірина Кириченко
кафедра Програмної інженерії
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
iryna.kyrychenko@nure.ua

Артем Ніколайчук
кафедра Програмної інженерії
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
artem.nikolaichuk@nure.ua

Using of a Cloud Service to Deploy and Support a Medical System

Iryna Kyrychenko
Department of Software engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
iryna.kyrychenko@nure.ua

Artem Nikolaichuk
Department of Software engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
artem.nikolaichuk@nure.ua

***Анотація*—Актуальність цієї роботи зумовлена бажанням врятувати життя та зберегти здоров'я, що є одним з найбільш важливих двигунів прогресу. В наш час з кожним днем більшає кількість нових можливостей для медицинських організацій та розвитку науки. Більшість цих можливостей з'являється за допомогою адаптації хмарних технологій цією сферою. Хмарні технології дають змогу медицинським організаціям переосмислити свої робочі процеси та впоратись з багатьма проблемами галузі. Ці обставини роблять розробку та впровадження хмарних технологій в галузь медицини дуже актуальними.**

***Abstract*—The relevance of this work is due to the desire to save lives and preserve health, which is one of the most important engines of progress. In our time, the number of new opportunities for medical organizations and the development of science is increasing every day. Most of these opportunities appear through the adaptation of cloud technologies by this sphere. Cloud technologies allow medical organizations to rethink their work processes and cope with many problems. These circumstances make the development and implementation of cloud technologies in the field of medicine very relevant.**

Ключові слова—Медична Система; Хмарний Сервіс; Безсервені Технології; Реляційні Бази Даних

Keywords—Medical System; Cloud Service; Peer-To-Peer Technology; Relational Database

I. Вступ

Зараз все більше сфер життя переходить у діджиталізовану форму, сфера медицини не виняток. Ще на процесі планування медичної системи необхідно відповісти на такі питання:

- Який спосіб розгортання проекту обрати, щоб надалі його підтримка, масштабування були швидкими та надійними;
- Який сервер обрати, щоб користувачі мали можливість швидко отримувати всю необхідну інформацію;
- Як забезпечити надійність системи, щоб при збільшенні кількості запитів система залишалася відказостійкою.

У минулому медична індустрія використовувала дорогі успадковані інфраструктури, що складаються з розрізнених компонентів. Найбільшою проблемою для успадкованих інфраструктур було те, що вони не мали змоги впоратися з динамічно зростаючим обсягом медичних даних. Деякий час його використання виправдовувалося відсутністю кращих варіантів. Однак з появою хмарних сервісів все почало змінюватися.

З кожним роком хмарні сервіси стають більш популярними [1]. Але виникає питання чому саме так?

По-перше, сервіси такого типу пропонують широкий спектр інструментів для розробки, масштабування, моніторингу, розгортання та підтримки застосунку.

По- друге, використання хмарного сервісу дозволяє створювати розподілену систему, але при розміщенні всіх її компонентів використовувати лише один провайдер, що дозволяє полегшити зв'язування компонентів системи. По-третє, вартість, велика кількість провайдерів використовує підхід "pay as you go", який надає ряд переваг, а саме: коли припиняється використання сервісу, плата за припинення не стягується і виставлення рахунків негайно припиняється, що дає можливість заощадити витрати на локальну інфраструктуру, не купуючи ліцензію на програмне забезпечення довічно.

Беручи до уваги переваги, що наведені вище, використання хмарних рішень у сфері медицини повинно значно покращити якість вже існуючих та тих, що знаходяться ще у фазі розробки. Але це не єдині переваги, які можуть надати хмарні сервіси для даної галузі, а саме:

- При використанні реляційних баз даних є можливість покращити характеристики віртуальної машини, на якій вони розгорнуті, або навіть додати ще декілька, що дозволить моментально адаптуватися до швидкого збільшення кількості споживачів сервісу [2];

- Інтеграція з технологіями безсерверних розрахунків дозволить: зменшити кількість витрат на утримання серверів, пришвидшити у декілька разів виконання коротких, але часто повторюваних процесів, за допомогою виділення більшої кількості пам'яті та розрахункових ресурсів [3];

- Безпека даних пацієнтів є одним із найважливіших аспектів, саме тому використання хмарного рішення надасть змогу додати у систему декілька рівнів захисту даних, що дозволить позиціонувати сервіс, як надійний.

Таким чином, використання хмарних рішень у галузі медицини надасть змогу системі витримувати велике навантаження без шкоди для цілісності та безпеки даних. Також хмарна інфраструктура робить робочий процес кожного компонента більш збалансованим і прозорим, що спрощує управління і підтримку у майбутньому.

II. Недоліки використання хмарних технологій

Небезпека даних - це основна проблема, з якою стикаються медичні працівники при виборі хмарного рішення. Для подолання цих проблем медичні підприємства повинні вибрати надійного постачальника хмарних послуг, який діє у повній відповідності до положень, викладених у Законі про переносимість та підзвітність медичного страхування [4].

Оскільки в останні роки дедалі частіше повідомляється про масові порушення зберігання даних та їх витоки, серед пацієнтів зростає занепокоєння, вони побоюються, що лікарні та лікарі, які використовують хмарного постачальника послуг, ускладнять систему конфіденційності своїх даних.

На додаток до конфіденційності пацієнтів, порушення зберігання та втрата даних щорічно коштує організаціям охорони здоров'я мільйони і мільйони доларів. Насправді, два останні дослідження про порушення даних, проведені Інститутом Понемона, показують, що викрадені медичні записи коштують удвічі більше загальносвітових показників. Такі витрати можуть бути руйнівними для медичного бізнесу.

Ризик порушення публічних даних - і, як наслідок, втрата довіри громадськості - повинна бути мотивацією зосередити зусилля на захисті цифрових даних. Звичайно, для галузі охорони здоров'я неможливо продовжувати працювати на безпечному рівні, використовуючи методи минулого.

III. Висновки

Незважаючи на те, що хмарні технології в галузі охорони здоров'я викликають зростаючий інтерес, поки існує лише декілька успішних реалізацій, і багато джерел просто використовують термін "хмара" синонімічно для "використання віртуальних машин" або "веб-бази", не маючи описаних переваг хмарної парадигми. Найбільшу загрозу для прийняття в галузі охорони здоров'я викликає залучення зовнішніх хмарних партнерів: багато питань безпеки та захисту даних ще мають бути вирішені. До цього часу віддають перевагу більше окремим, індивідуальним особливостям хмарних технологій, таким як еластичність, плата за використання та широкий доступ до мережі, а не хмарній парадигмі в цілому.

Література References

[1] Cloud computing [Електронний ресурс] / Wikipedia. - Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing 03.09.2020р. - Загол. з екрану.

[2] What a Relational Database Is [Електронний ресурс] / Oracle. - Режим доступу: https://www.oracle.com/database/what-is-a-relational-database/ 03.09.2020 р. - Загол. з екрану.

[3] Serverless computing [Електронний ресурс] / Wikipedia. - Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Serverless_computing 03.09.2020 р. - Загол. з екрану.

[4] CLOUD Computing Services for the Healthcare Industry [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://www.innovativearchitects.com/KnowledgeCenter/industry-specific/healthcare-and-cloud-computing.aspx 03.09.2020 р.

Методи, Засновані на Знаннях, для Прогнозування Цифрової Реклами та Підвищення Ефективності Рекламних Кампаній

Олександра Дудка
кафедра радіотехнологій інформаційно-комунікаційних систем
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
oleksandra.dudka@nure.ua

Knowledge Based Methods for Digital ad Forecasting and Enhancement of Advertising Campaigns Effectiveness

Oleksandra Dudka
Radiotechnologies Information and Communication Systems Department
Kharkiv National University of Radioelectronics
Kharkiv, Ukraine
oleksandra.dudka@nure.ua

***Анотація*—Запропоновано використовувати методи засновані на знаннях в існуючих системах цифрових рекламних кампаній для прогнозування аудиторії та обрання ефективної маркетингової стратегії.**

***Abstract*—The article presents the approach of introducing the knowledge based methods into the existing digital advertisement systems for audience forecasting and selecting the effective marketing strategy.**

Ключові слова—digital advertisement; forecating; knowledge base; effectiveness

Keywords— digital advertisement; forecating; knowledge base; effectiveness

I. Introduction

Digital advertising has become one of the most important revenue sources for lots of technology companies nowadays. Unlike those traditional advertising techniques, digital advertising unlocks far more reliable insights about the campaign performance. Therefore, more and more advertisers start to put more budget on online ads, and more and more technology companies start to offer advertising options on their platform [1].

Ad exchange is finally following its programmatic peers and moving to a first-price auction model, in which the advertiser that places the highest bid wins the impression and pays as much as they bid. It's a more straightforward setup than the traditional second-price model, in which that advertiser would only pay a penny more than the runner-up bid. However, transitioning from second-price auctions to first-price auctions can be more complicated — and costly — for advertisers [2].

The advertiser has to change the strategy of ad campaigns budgeting and requires having more tools to predict the audience.

Most part of audience forecasting tools are cost consuming due to usage of external payed data sources and doesn't correspond to the audience of this specific DAS. Those tools don't take into account the historical data of audience behavior of this specific DAS. Big DASs work mainly with clients for a long time, so that this historical information could be really useful for predicting the possible audience of the ad campaign and change geo targeting or budgeting strategy to achieve the marking goals.

II. Reference architecture of DAS

The Fig 1. diagram shows the overall architecture of a fully functioning digital advertisement system. Some DASs may have more enhancement to meet the specific needs. However, this architecture has all main blocks:

- advertisement platform,
- data processing platform,

- advertisement serving module,
- statistical data collection platform.

Advertisement platform is used by operation managers for ad campaigns setup and is served on advertisement servers, usually it's client-server applications.

Advertisement serving module provides the advertisement located on CDN and tracks the impressions logs on the static files repository. Statistical data collection platform helps to track user clicks for further click through rate calculations – the main ad KPI.

Data processing platform (AWS EMR on the Fig. 1) is used for running multiple aggregations pipelines.

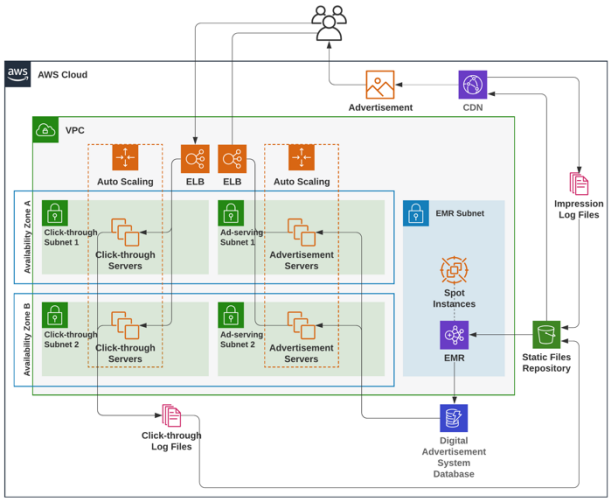


Рис. 1. Reference architecture of Digital Advertisement System.

III. DAS WITH KNOWLEDGE MANAGEMENT PLATFORM

To provide the forecast functionality based on existing DAS data stored in its database we need to introduce the Knowledge Management Platform KMP (Fig. 2).

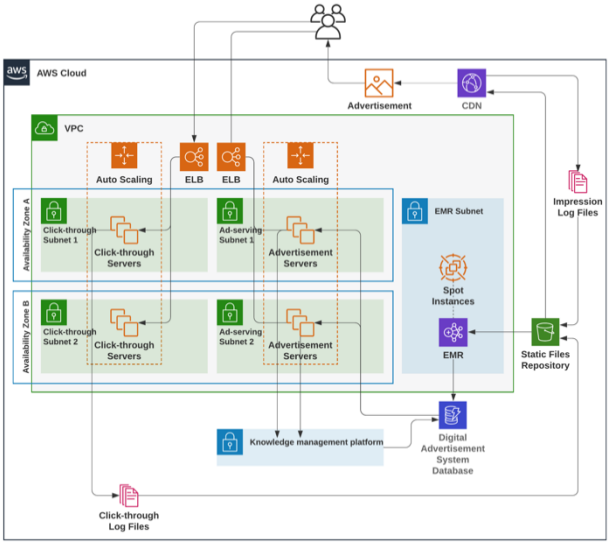


Рис. 2. Digital Advertisement System with Knowledge Management Platform

The adding of KMP into the existing DAS have to be done in two stages:

- Extracting keywords from existing digital advertisement system database
- Introducing the keywords extraction into existing campaign creation and statistics collection, processing pipelines for real time knowledge base updates.

There are multiple approaches for automatic keyword extraction based on machine learning methods. Two main approaches can be distinguished for keyword extraction: centered on the document content or driven according to external knowledge [3]. The steps of the keywords extraction pipeline is presented on Fig. 3.

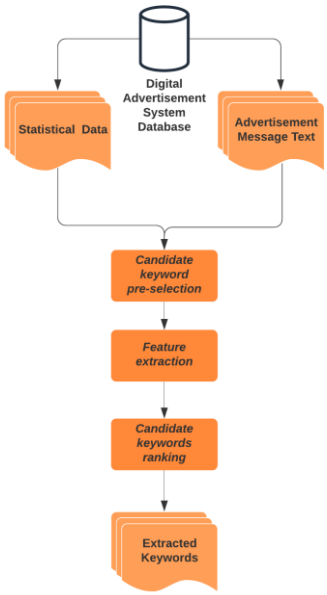


Рис. 3. The overview of the steps of keywords extraction pipeline.

IV. CONSLUSION

The architectural approach of introducing the knowledge management platform into DAS could be the reference for the advertisement system architects. This approach consists of system architecture diagram, steps required for introducing it into the existing DAS system. The KMP is going so help advertisers to set up more campaigns to experiment with their marketing strategy by using the keyword-based audience forecasting.

REFERENCES

[1] Ethan Yanjia Li. (2019). "Advertising System Architecture: How to Build a Production Ad Platform" [Online]. Available: https://yanjia.li/advertising-system-architecture-how-to-build-a-production-ad-platform/

[2] Tim Peterson, Seb Joseph (2019). "'It's going to be a big change for us': Google's adoption of first-party auction creates migration headaches for buyers" [Online]. Available: https://digiday.com/marketing/first-party-auction-google-creates-headaches-buyers/

[3] Jean-Louis Ludovic, Gagnon Michel, Charton Eric, "A knowledge-base oriented approach for automatic keyword extraction. Computacion y Sistemas" in Conference: 14th International Conference on Intelligent Text Processing and Computational Linguistics, 2013, p.17.

Секція 8.
Захист інформації. Інформаційна безпека.

Section 8
Information protection. Information security.

Математична Модель Системи Захисту Мовної Інформації на Основі Системи Постановки Активних Завад Скремблерного Типу

Сергій Нужний
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
s.nuzhniy@gmail.com

Mathematical Model of the System of Active Protection Against Eavesdropping of Speech Information on the Scrambler Generator

Sergey Nuzhniy
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
s.nuzhniy@gmail.com

***Анотація*—Запропоновано структуру та математичну модель системи захисту мовної інформації на основі генератора шуму скремблерного типу. Перехід у таких системах захисту мовної інформації до запропонованої структури дозволяє відмовитися від застарілого, неефективного в сучасних умовах енергетичного зашумлення мовної інформації та перейти до більш продуктивного методу – інформаційного (лінгвістичного) маскування. Аналіз руйнівного ефекту цього типу завади показує його високу стійкість до сучасних методів математичної обробки цифрових фонограм (вейвлет-перетворення, кореляційно-спектральний аналіз тощо), фільтрації завад та розподілу голосів мовців. Дослідження математичної моделі в середовищі Matlab 15 R2015a/Simulink показують високу ефективність такої системи захисту та зменшення відношення сигнал/шум при рівні залишковою розбірливістю мови 0,1 на 6 ... 9 дБА. Це призводить до зменшення шуму в приміщенні та за його межами, що позитивно впливає на біоакустичні характеристики приміщення, а також знижує показники демонстрації об'єкта.**

***Abstract*—The structure and mathematical model of a speech information protection system based on a scrambler-type noise generator is proposed. The transition in such systems of protection of speech information to this structure allows to abandon the outdated, ineffective in modern conditions, energy noise of speech information and move on to a more productive method – information (linguistic) masking. An analysis of the destructive effect of this type of interference shows its high resistance to modern methods of mathematical processing of digital phonograms (wavelet transform, correlation-spectral analysis, etc.), filtering interference, and dividing the voices of speakers. Studies of the mathematical model in the environment of Matlab 15 R2015a/Simulink show the high efficiency of such a protection system and a decrease in the signal-to-noise ratio with a residual speech intelligibility of 0.1 by 6...9 dBA. This leads to a decrease in noise in the room and beyond, which positively affects the bioacoustic characteristics of the premises, and also reduces the unmasking performance of the object.**

Ключові слова*—генератор мовного сигналу скремблерного типу, активне придушення мовного сигналу, запобігання витоку мовної інформації.*

Keywords—scrambler-type speech generator, active suppression of speech signal, prevention of leakage of speech information.

I. Вступ

Захист мовної інформації від витоку акустичними та вібраційними каналами відноситься до головних, першочергових завдань, які повинні бути вирішені службою безпеки організації, фірми та ін. (далі фірми). Її рішення багато в чому забезпечує захист, як власних корпоративних інтересів фірми, так і сприяє підвищенню її престижу. Особливо це важливо при участі фірми у вирішенні завдань, пов'язаних з державною комерційною таємницею.

Уразливість сучасних СЗМІ підтверджується публікаціями Едварда Сноудена [1]. Такого ж рівня скандал стався після опублікування матеріалів про шпигунську діяльність Федеральної розвідувальної служби Німеччини (BND) на австрійській території (наприклад, «Deutsche Welle» від 17.06.2018 р).

У загальному випадку система захисту мовної інформації (СЗМІ) складається зі спеціалізованого генератора сигналу завади (ГСЗ) і наборів випромінювачів. При цьому, елементом СЗМІ, який визначає її можливості і рівень захисту, є ГСЗ.

СЗМІ, побудовані на ГСЗ, які представлені на світовому ринку (і в тому числі України [2,3]), не задовольняють сучасним вимоги до рівня захисту мовної інформації. Вони уразливі до сучасних методів цифрової обробки фонограм (акустичних сигналів), фільтрації завад, реінжинірингу («розбиття» натовпу на окремих дикторів і видалення реверберації) та інше.

Аналіз ситуації в Україні та ряді інших країн (в першу чергу на пострадянському просторі [4]) показує абсолютно протилежний підхід до проектування СЗМІ. Відповідно до нормативних документів цих країн, при розробці СЗМІ дозволено використання тільки генераторів «білого» шуму або його клонів, незважаючи на всі їхні недоліки.

У зв'язку з цим актуальним є збільшення ефективності СЗМІ на базі використання генератора сигналу мовоподібної завади скремблерного типу. Такий генератор використовує методи частотної і часу маніпуляції для створення сигналу завади на основі голосу диктора. Також в ГСЗ передбачено використання методу «мовний хор», який в комплексі з скремблювання успішно протистоїть методам реінжинірингу.

II. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Розвиток цифрових методів обробки акустичних сигналів (фонограм), таких як вейвлет-перетворення [5, 6], нейронні мережі [7–9], кореляційно-спектральний аналіз [6], та ін., дозволило розробити технології, які з успіхом вирішують завдання фільтрації таких завад. При цьому забезпечується розпізнавання до 40...60% лінгвістичної складової мовного повідомлення, навіть для сильно зашумлений сигналів – співвідношення сигнал/шум (SNR) досягають рівнів –18...–10 дБА [6, 10].

Ще більше збільшення рівня сигналу завади істотно погіршує біоакустичні параметри приміщення і негативно позначається на здоров'я персоналу. Дослідження впливу значних рівнів шуму і стресових умов на аудиторів і їх здатності до розпізнавання мови диктора наведено в [11]. В [12] показано, що зашумлення, які створюється технічними засобами (всередині літаків, броньованих транспортних засобів і морських судів), менш ефективно, ніж лінгвістичне.

В [13] запропоновано систему, яка здатна зберігати звук від джерела в заданому напрямку щодо аудитора, в той же час звук в інших напрямках послаблюється.

Технологія побудови систем, здатних працювати як на відкритих просторах, так і в закритих приміщеннях запропонована в [14]. В її основу покладено метод нелінійної обробки (кодування) звукового сигналу (DirAC – Directional Audio Coding) і використання для контролю створеного поля оптимального пост-фільтра.

В [15] розглянуто питання розпізнавання акустичних сигналів (мови диктора) в умовах присутності конкуруючого джерела сигналу в безпосередній близькості від аудитора. Питання розглядається з точки зору біоакустики.

За результатами аналізу можна зробити висновок, що найбільш ефективними СЗМІ є ті, що використовують ГСЗ методи перетворення мови диктора і/або маніпуляції з нею, а також методи, типу «мовний хор».

Застосування методів маніпуляції з промовою диктора забезпечує захист від технологій (методів) виділення мови диктора з записів, де одночасно розмовляє кілька людей, описаних в [7,12,15]. З іншого боку, застосування методу «мовний хор» істотно ускладнює ідентифікацію наявності ознак мови диктора (за методикою [9]), а також застосування методів фільтрації, описаних в [8,14].

Таким чином, метою проведених досліджень є розробка структури і математичної моделі системи захисту мовної інформації на основі генератора сигналу завади скремблерного типу.

Для досягнення мети в роботі були поставлені наступні завдання:

1. Розроблення узагальненої схеми СЗМІ на основі генератора мовоподібної сигналу скремблерного типу.
2. Розробка і дослідження спрощеної математичної моделі СЗМІ на основі генератора мовоподібної сигналу завади скремблерного типу.

III. Мета та задачі дослідження

Метою проведених досліджень є розробка структури і математичної моделі СЗМІ на основі генератора сигналу завади скремблерного типу.

Для досягнення мети в роботі були поставлені наступні **завдання**:

1. Розробити узагальнену схему СЗМІ на основі генератора мовоподібного сигналу завади скремблерного типу.
2. Розробити і дослідити спрощену математичну модель СЗМІ на основі генератора мовоподібного сигналу завади скремблерного типу.

IV. Узагальнена схема системи захисту мовної інформації

Головною ідеєю при розробці СЗМІ стало використання спеціалізованого генератора мовоподібної шуму скремблерного типу.

У загальному випадку передбачається, що СЗМІ буде складатися з (рис. 1):

– генератора мовоподібної шуму скремблерного типу (STSNG);

– блоку контролю рівнів небезпечних сигналів (CBHSL);

– система озвучування приміщення (General microphone end Speaker);

– набір акустичних (Acoustic noisers) і вібраційних випромінювачів (Vibration noisers);

– набір акустичних (Acoustic meters) і вібраційних вимірювачів (Vibration meters) небезпечних сигналів.

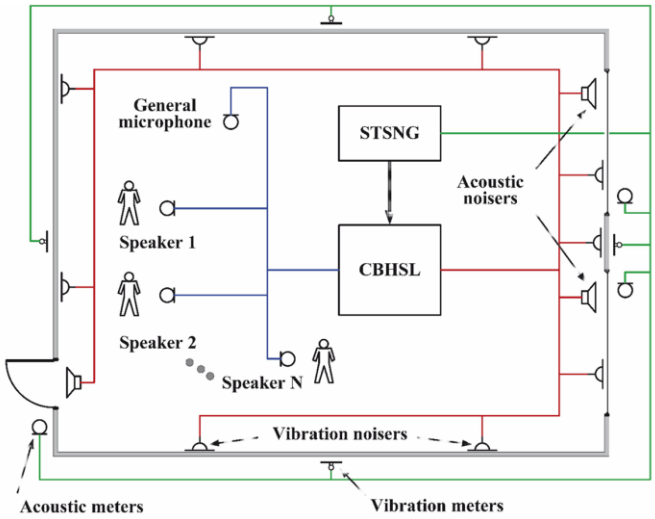


Рис. 1 – Узагальнена структурна схема СЗМІ від витоку акустичними та вібраційними каналами на базі STSNG

У загальному випадку, вираз для сигналу в акустичному каналі поширення інформації (на кордоні контрольованої зони) може бути описано виразом:

$$SA_i(t) = \sum_y \left\{ k_A \cdot A_i(t) \right\}_y + SG_i(t) + BS(t), \qquad (1)$$

де $A_i(t)$ – мовний сигнал, озвучувати *y*-им диктором;

k_A – коефіцієнт загасання сигналу (в разі невизначених умов може бути дорівнює 1);

y – кількість «активних» (говорять) дикторів в момент часу *t*;

$SG_i(t)$ – сигнал перешкоди, створюваний в даному каналі акустичним (вібраційних) випромінювачем;

$BS(t)$ – фоновий шум в каналі (приміщенні / будівельної конструкції). Враховує природні шуми, створювані персоналом і технічними засобами, в тому числі від випромінювачів в інших каналах (напрямках).

V. Математична модель системи захисту мовної інформації на базі генератора мовоподібного шума

Моделювання системи захисту мовної інформації виконано в середовищі Matlab 15 R2015a / Simulink. При моделюванні використана спрощена структурна схема каналу поширення акустичної/вібраційної інформації – розглянутий випадок з одні диктором, коефіцієнт згасання сигналу прийнятий рівним 1, а фонові шуми не враховуються. Так само, за аналогією з [16], в генераторі мовоподібного шуму не використовуються зовнішні джерела мовних сигналів (багатоканальний ресивер і флеш-пам'ять).

Такий режим є критичним, з точки зору системи безпеки, і забезпечує мінімальний рівень безпеки, який можливий при використанні даного генератора. Однак він дозволяє досліджувати граничні можливості системи безпеки на мінімальних режимах стійкості до реінжинірингу – виділення мовної інформації з загального потоку в акустичному / вібраційному каналі.

Так само передбачено, що зловмисник отримав прямий доступ до зовнішньої межі виділеного приміщення, тобто передбачається можливість використання зловмисником стетоскопів («лазерного» мікрофона і/або механіко-електронних стетоскопів), встановлених безпосередньо на будівельну конструкцію. Таке розміщення є найбільш небезпечним, оскільки виключаються природні і штучні перешкоди, що виникають в середовищі поширення небезпечного сигналу.

Таким чином, запропонований підхід до моделювання роботи СЗМІ дозволяє уникнути вибору математичної моделі поширення акустичного сигналу в контрольованій зоні і за її кордоном, і, отже, уникнути можливих помилок. Так само прийняті умови моделюють найгірший, по відношенню до системи безпеки, і найбільш прийнятний, для зловмисника, випадок співвідношення параметрів системи і зовнішніх умов. Будь-які ускладнення приведуть тільки до підвищення рівня безпеки.

На рис. 2 приведена математична модель системи активного захисту від несанкціонованого доступу до мовної інформації дистанційними / контактними методами, що використовує генератор формування перешкоди скремблерного типу, розроблена в середовищі Matlab 15 R2015a / Simulink.

На рис. 3-5 наведені осцилограми: вхідного сигналу – *A(t)*, вихідного сигналу генератора перешкоди – *SG(t)* і акустичного сигналу в каналі – *SA (t)*, відповідно.

VI. Аналіз результатів дослідження

Аналіз отриманих результатів показує, що:

1. Вхідний тест-сигнал *A(t)* відповідає вимогам простий безперервної мови (рис. 3):

– протяжність тест-сигналу становить, приблизно, 2 с

– проміжок при повторенні тест-сигналу – 0,2 с

– кількість повторень тест-сигналу – 4 повних періоди;

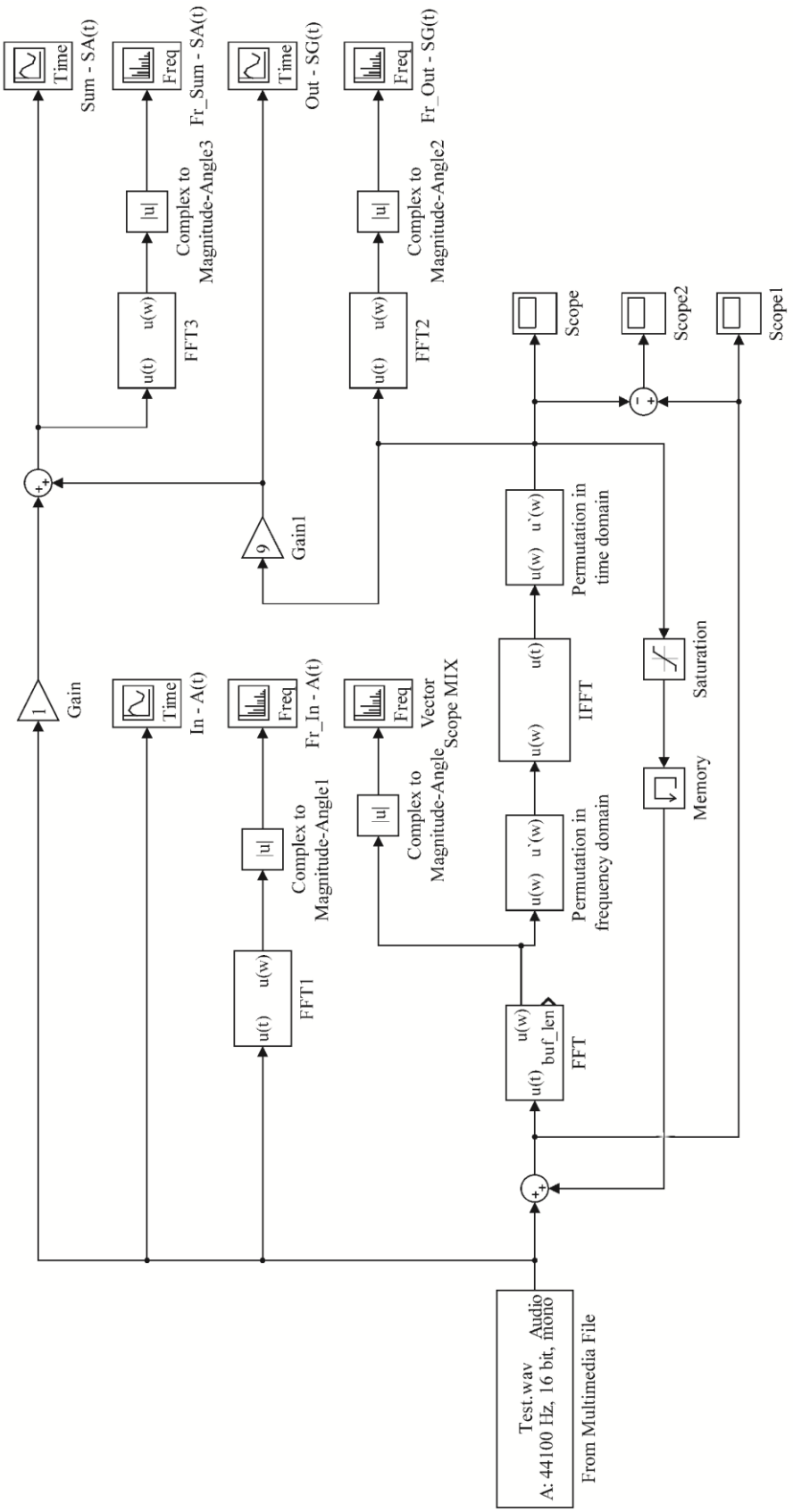


Рис. 2 – Математична модель системи захисту мовної інформації на базі STSNG

– основні лінгвістичні параметри фонем (частота основного тону *F0* і основні форманти *F1, F2* і *F3*) чітко визначені (рис. 3, б) і знаходяться в проміжку від 200 Гц до 1000 Гц;

– частотний діапазон, який займає сигнал (від 20 Гц до 5600 Гц) є типовим для фонограм, оброблюваних на персональному комп'ютері, без використання в його складі додаткових апаратно-програмних пристроїв.

2. Зміщення акустичного сигналу в каналі *SA(t)* (рис. 5, а) по відношенню до вхідного сигналу *A(t)* (рис. 3, а), про який було вказано в [16], не виявлено, що обумовлено особливостями роботи моделі каналу.

3. Аналіз спектрограм вихідного сигналу генератора перешкоди *SG(t)* (рис. 4, б) і акустичного сигналу в каналі *SA(t)* (рис. 5, б) показує:

– неможливість виділення основних лінгвістичних параметрів фонем;

– діапазон частотного спектра сигналу розширився до 10 кГц;

– в спектрі вихідного сигналу генератора перешкоди *SG(t)* (рис. 4, б) присутні зона максимумів в інтервалі частот 3...7 кГц, однак вона не корелюються з спектром вхідного тест -сигнал *A(t)*;

– в спектрі акустичного сигналу в каналі *SA(t)* (рис. 5, б) є три групи максимумів – основний (в інтервалі частот 3...7 кГц) і два крайових (в інтервалі частот 0...1500 Гц і 8,5...10 кГц). Поява крайових груп обумовлюється впливом вхідного тест-сигналу *A(t)* і особливостями математичної моделі в Matlab 15 R2015a/ Simulink. При цьому ці групи максимумів не корелює з спектром вхідного тест-сигналу *A(t)* і між собою.

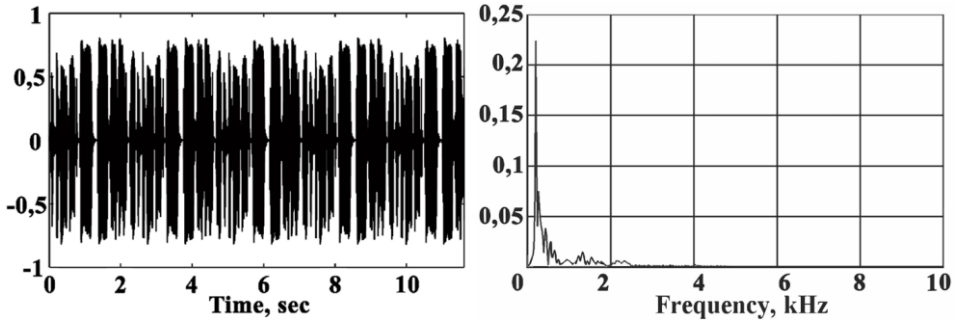


Рис. 3 – Результати моделювання (осцилограми) вхідного сигналу *A(t)*: а) – тимчасова діаграма, б) – частотна спектрограма

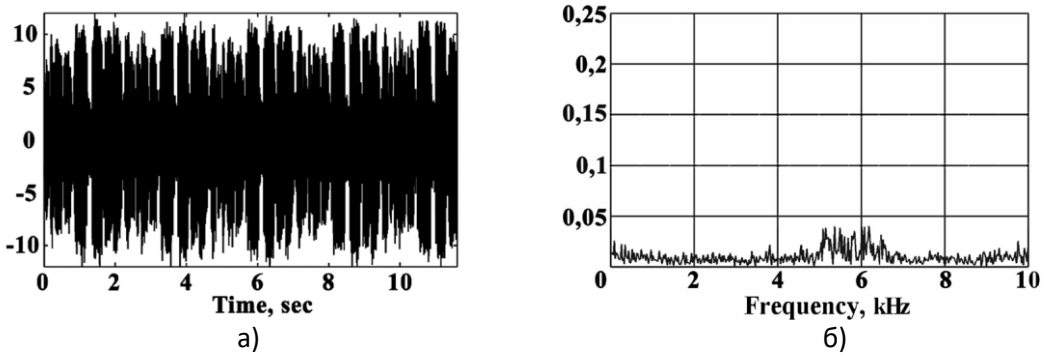


Рис. 4 – Результати моделювання (осцилограми) вихідного сигналу генератора перешкоди – *SG(t)*: а) – тимчасова діаграма, б) – частотна спектрограма

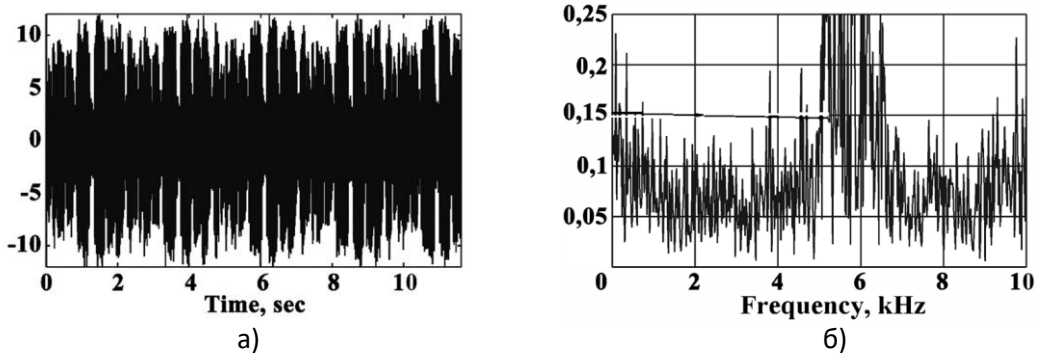


Рис. 5 – Результати моделювання (осцилограми) акустичного сигналу в каналі – *SA(t)*: а) – тимчасова діаграма, б) – частотна спектрограма

VII. Висновки

1. В роботі запропонована узагальнена структурна схема системи захисту мовної інформації від витоку акустичними та вібраційними каналами на базі генератора сигналу мовоподібної перешкод скремблерного типу. Система забезпечує комплексний підхід до формування сигналу перешкоди (шуму) - використовуються тимчасові і частотні маніпуляції (перестановки), а також використовується метод «мовної хор».

Для підвищення рівня стійкості сигналу перешкоди до методів реінжинірингу, в систему введено позитивний зворотний зв'язок.

2. Запропоновано математичний опис системи, що дозволило розробити і дослідити в середовищі Matlab 15 R2015a/Simulink математичну модель системи захисту мовної інформації від витоку акустичними та вібраційними каналами на базі генератора сигналу мовоподібної шуму скремблерного типу. Дослідження показали високу ефективність запропонованого методу формування завади (шуму), що дозволяє знизити рівень сигналу завади на 6 ... 9 дБА при тому ж рівні залишкової розбірливості мови (W = 0,1).

Література References

[1] Vidomosti pro zasoby tekhnichnoho zakhystu informatsiyi, na yaki zakinchyvsia termin diyi sertyfikativ vidpovidnosti ta ekspertnykh vysnovkiv (stanom na 1 sichnia 2017 roku). Derzhavna sluzhba spetsialnoho zviazku ta zakhystu informatsiyi Ukrainy. Available at: http://www.dsszzi.gov.ua/dsszzi/control/uk/publish/article?art_id=234241&cat_ id=39181

[2] Perelik zasobiv tekhnichnoho zakhystu informatsiyi, dozvolenykh dlia zabezpechennia tekhnichnoho zakhystu derzhavnykh informatsiynykh resursiv ta informatsiyi, vymoha shchodo zakhystu yakoi vstanovlena zakonom (2018). Derzhavna sluzhba spetsialnoho zviazku ta zakhystu informatsiyi Ukrainy. Available at: http://www.dsszzi.gov.ua/dsszzi/control/uk/publish/article?art_id=284094&cat_id=39181

[3] Snouden, E. (2020). Lichnoe delo. Moskva: Eksmo, 410. Available at: https://readli.net/edvard-snouden-lichnoe-delo/

[4] Horev, A. A. (2009). Otsenka vozmozhnostey sredstv akusticheskoy (rechevoy) razvedki. Spetsial'naya tehnika, 4, 49– 63. Available at: https://elibrary.ru/contents.asp?id=33383431&selid=12944066

[5] Rybal'skiy, O. V., Solov'ev, V. I., Zhuravel', V. V. (2017). Fraktal'niy podhod k viyavleniyu sledov tsifrovoy obrabotki v analogovyh fonogrammah. Suchasna spetsialna tekhnika, 1, 4–9. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/sstt_ 2017_1_4

[6] Blintsov, V., Nuzhniy, S., Parkhuts, L., Kasianov, Y. (2018). The objectified procedure and a technology for assessing the state of complex noise speech information protection. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (9 (95)), 26–34. doi: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.144146

[7] Wang, Q., Muckenhirn, H., Wilson, K., Sridhar, P., Wu, Z., Hershey, J. R. et. al. (2019). VoiceFilter: Targeted Voice Separation by Speaker-Conditioned Spectrogram Masking. Interspeech 2019. doi: https://doi.org/10.21437/interspeech.2019-1101

[8] Renevey, P., Drygajlo, A. (2001). Entropy based voice activity detection in very noisy conditions. In EUROSPEECH-2001, 1887–1890. Available at: https://www.isca-speech.org/archive/archive_papers/eurospeech_2001/e01_1887.pdf

[9] Özaydın, S. (2019). Examination of Energy Based Voice Activity Detection Algorithms for Noisy Speech Signals. European Journal of Science and Technology, 157–163. doi: https://doi.org/10.31590/ejosat.637741

[10] Nuzhnyy, S. M. (2018). Improved technology of evaluation of stage of protection of license information. Modern Information Security, 1 (33), 66–73. Available at: http://journals.dut.edu.ua/index.php/dataprotect/article/view/1796

[11] Nakashima, A., Cai, J., Vartanian, O. (2018). Speech-in-noise research: From classrooms to Canadian Armed Forces operational environments. The Journal of the Acoustical Society of America, 144 (3), 1975–1975. doi: https://doi.org/ 10.1121/1.5068628

[12] Brungart, D. S. (2001). Informational and energetic masking effects in the perception of two simultaneous talkers. The Journal of the Acoustical Society of America, 109 (3), 1101–1109. doi: https://doi.org/10.1121/1.1345696

[13] Xu, B., Miller, T. (2019). Selective active noise cancellation based on directional reference signals. The Journal of the Acoustical Society of America, 146 (4), 2794–2794. doi: https://doi.org/10.1121/1.5136678

[14] Thiergart, O., Milano, G., Habets, E. A. P. (2019). Combining Linear Spatial Filtering and Non-linear Parametric Processing for High-quality Spatial Sound Capturing. ICASSP 2019 - 2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). doi: https://doi.org/10.1109/icassp.2019.8683515

[15] Brungart, D. S., Simpson, B. D. (2002). The effects of spatial separation in distance on the informational and energetic masking of a nearby speech signal. The Journal of the Acoustical Society of America, 112 (2), 664–676. doi: https://doi.org/ 10.1121/1.1490592

[16] Blintsov, V., Nuzhniy, S., Kasianov, Y., Korytskyi, V. (2019). Development of a mathematical model of scrambler-type speech-like interference generator for system of prevent speech information from leaking via acoustic and vibration channels. Technology Audit and Production Reserves, 5 (2 (49)), 19–26. doi: https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.185133

Проблеми Виявлення та Локалізації Цифрових Засобів Негласного Отримання Інформації

Сергій Нужний
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
s.nuzhniy@gmail.com

Віктор Васєв
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
vasiev.v@gmail.com

Problems of Detection and Localization of Digital Devices of Surreptitious Obtaining of Information

Sergey Nuzhniy
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
s.nuzhniy@gmail.com

Viktor Vasiev
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
vasiev.v@gmail.com

***Анотація*—Широке застосування цифрових технологій в обробці та передачі інформації призвело до появи пристроїв негласного отримання інформації, які, на даний час, не можуть гарантовано виявлятись та локалізуватись існуючими засобами радіомоніторингу. Додатковим фактором є підвищення частоти радіоканалу передачі в таких пристроях (до 10 ГГц).**

В роботі проведено аналіз сучасних засобів виявлення пристроїв негласного отримання інформації та вказано на існуючі проблеми. За результатами аналізу зроблено висновок про необхідність розробки удосконаленої методики пошуку закладних пристроїв на основі безперервного аналізу цифрових мереж та комплексному використанні засобів виявлення, в тому числі й таких як тепловізори, локатори нелінійності та інше.

***Abstract*—The widespread use of digital technologies in the processing and transmission of information has led to the emergence of devices for the surreptitious obtaining of information. It cannot guaranteed to detected and localized by existing means of radio monitoring. An additional factor is increase in the frequency of the radio transmission channel in such devices (up to 10 GHz).**

The research analyzes modern means of detecting devices for covert retrieval of information and points out the existing problems. Based on the results of the analysis, it is to conclude that it is necessary to develop an improved method of searching for embedded devices based on incessant analysis of digital networks and all-inclusive use of detection tools, including such as thermal imagers, nonlinear locators and more.

Ключові слова—пристроїв негласного отримання інформації; радіомоніторинг; виявлення та локалізація

Keywords—devices for the surreptitious obtaining of information; radio monitoring; detected and localized

I. Вступ

Стрімкий розвиток сучасних цифрових та інформаційних технологій обумовлює нові можливості несанкціонованого здобуття інформації, які можуть нанести політичні, економічні, фінансові та інші збитки особі, суспільству, державі. Саме тому, законодавством України передбачено кримінальну відповідальність за незаконне придбання, збут або використання спеціальних технічних засобів негласного отримання інформації (СТЗНОІ). Під СТЗНОІ розуміється програмний або апаратний прилад, який створений або призначений виключно для перехоплення, обробки та аналізу інформації, або ж це такі пристрої, обладнання, апаратура

тощо, які були спеціально пристосовані (сконструйовані) для негласного отримання інформації [1]. Проте, зважаючи на відсутність чітких критеріїв розмежування СТЗНОІ від будь-яких інших технічних засобів фіксації інформації, на легальному ринку України з'явилася велика кількість побутових технічних засобів подвійного використання.

Зокрема, широкого розповсюдження у вільному доступі набули так звані смарт-пристрої, що використовують бездротові цифрові технології загального користування Bluetooth, Wi-Fi, GSM, CDMA, GPRS, EDGE, 3G та інші, а також технології геолокації за допомогою глобальних систем GPS, GLONASS та мобільних операторів. До таких пристроїв належать засоби охоронної GSM-сигналізації, відеоспостереження, GPS-трекери (в тому числі з мікрофонами), смарт-годинники, Bluetooth-брелоки, бездротові гарнітури для мобільних телефонів тощо, які можуть використовуватися для несанкціонованого прослуховування, отримання відеоінформації та даних геолокації об'єкта спостереження. Зразки спеціальної техніки, що мають аналогічні функції, можуть бути закамуфльовані під комп'ютерну та побутову техніку, електричні розетки та зарядні пристрої, прилади освітлення, флеш-носії тощо.

II. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Аналіз публікацій показав [2,3,4,5], що вищевказані технічні засоби мають певні особливості, що ускладнюють їх виявлення, ідентифікацію та локалізацію під час проведення пошукових заходів.

По-перше, це короткочасний режим роботи ЗП та використання малопотужних широкосмугових сигналів, складних для виявлення. В класичних моделях широкосмугових детекторів вкрай важко виявлення таких сигналів, звичайні детектори поля можуть виявити передавач Wi-Fi на відстані близько 10 см, а Bluetooth може залишитися практично не поміченим.

По-друге, випромінювання електромагнітного сигналу відбувається в стандартних діапазонах частот, в яких працює безліч пристроїв з аналогічними протоколами передачі даних. Навіть у разі виявлення сигналу пошуковим комплексом його ідентифікація за допомогою енергетичних або акустичних кореляторів буде суттєво ускладнена, а методи акустичної або амплітудної (енергетичної) локалізації взагалі будуть неефективні.

По-третє, такі пристрої як правило мають автономні джерела живлення, а також можливості дистанційного керування режимами роботи, накопичення інформації за досить тривалий час з наступною передачею в призначений час або при отриманні зовнішньої команди, активізації роботи за командою або акустичним сигналом (вібрацією).

Ситуація обтяжується тим, що ЗП нового покоління працюють у цілком легальному діапазоні і їх виявлення у приміщенні, яке межує з іншими, заповненими легальними пристроями, є проблематичним. Таким чином, радіовипромінювання технічного засобу зняття інформації може бути використане в якості основної демаскуючої ознаки лише за умови проведення радіомоніторінгу протягом тривалого часу з подальшим аналізом всіх виміряних панорам за відповідними алгоритмами [4].

Перераховані вище фактори дозволяють зробити висновок, що на сучасному етапі розвитку суспільства процес пошуку засобів негласного знімання інформації виходить на якісно інший рівень, і вимоги до обладнання, в тому числі і до програмно-апаратних комплексів пошуку засобів прихованого знімання інформації, пред'являються зовсім інші [2].

Завданням пошуку засобів негласного знімання інформації присвячена значна кількість публікацій.

III. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є аналіз існуючих методів та засобів виявлення, ідентифікації і локалізації цифрових засобів негласного отримання інформації (далі – закладні пристрої, ЗП).

IV. Аналіз апаратних та програмно-апаратних засобів, призначених для виявлення цифрових пристроїв негласного отримання інформації

Одним з ефективних способів виявлення сучасних ЗП є використання багатоканальних детекторів, які за допомогою преселекторних чипів (ПАВ-фільтрів) фільтрують сторонні сигнали, що забезпечує високу вибірковість і чутливість детектора в кожній виділеній частотній смузі. Наприклад, детектор Protect 1207i має можливість одночасного аналізу радіовипромінювання в шести частотних смугах, які належать різним протоколам радіозв'язку. Цифрова обробка та ідентифікація протоколу сигналу дозволяють ефективно визначати і локалізувати «складні» радіосигнали на відстані кількох метрів. А наявність мікроволнової логоперіодичної спрямованої антени Micro-Pointer у складі детектора Protect 1206i забезпечує надійну локалізацію ЗП [6].

Крім того, для виявлення засобів прихованого отримання інформації застосовується широка номенклатура засобів радіосканування. Зокрема – популярними та недорогими є системи моніторингу, здатні сканувати та зберігати панорами спектрів сигналів. У той же час, такі системи, як правило, не дозволяють вирішувати завдання аналізу цифрових легальних каналів зв'язку через незадовільну якість радіоприймального тракту і неможливість підключення до ПЕОМ (зокрема, апарати типу Oscor Green) [2].

Лінійку самих передових і технологічних рішень в області радіомоніторингу очолює комплекс радіомоніторингу "Delta", який надає широкі можливості щодо виявлення та ідентифікації джерел сигналів. Він дозволяє виявляти і в більшості випадків локалізувати цифрові радіозакладки, демодулювати, аналізувати, ідентифікувати і визначати місця розташування базових станцій, як WI-FI, так і DECT, різні мобільні пристрої. До недоліків можна віднести відсутність автоматичної пеленгації радіозакладок [3].

Зазначених недоліків позбавлені апаратно-програмні комплекси АКОР-3, які крім вище перелічених функцій мають можливість накопичення та аналізу історії сканування, а також локалізації методом вимірювання рівня електромагнітного поля, або автоматичної локалізації амплітудним методом за допомогою рознесених антен [7, 8]. Проте, враховуючи особливості сучасних цифрових ЗП, ефективне застосування комплексу АКОР-3 можливе за умови стаціонарного розміщення на об'єкті в режимі цілодобового контролю радіоефіру.

Таким чином, на сьогоднішній день не існує пристроїв (приладів, програмних комплексів) для аналізу цифрових пакетів з метою вирішення всіх завдань пошукового радіоконтролю. Існуючі засоби пошуку у кращому випадку можуть визначити сам факт випромінювання і лише в умовах простої радіообстановки [2].

V. Висновки

З аналізу сучасної літератури можна дійти висновку про відсутність універсальних приладів і програмних комплексів пошуку засобів негласного отримання інформації, які дозволяють вирішувати завдання автоматизованого пошуку цифрових радіозакладок в повному обсязі, в усіх частотних діапазонах. Постійне удосконалення засобів прихованого знімання інформації, маскування їх роботи під сигнали легальних передавачів вимагає пошуку нових підходів щодо виявлення, розпізнавання та локалізації зазначених засобів.

На сьогодні залишаються не повністю вирішеними такі проблеми:

1. На підставі викладеного та аналізу нових загроз подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку удосконаленої методики пошуку ЗП на основі безперервного аналізу цифрових мереж всіх стандартів з використанням наявних або перспективних пошукових комплексів.

2. Потребує вивчення ефективність методів пошуку цифрових ЗП засобами неруйнівного контролю (за допомогою локаторів нелінійності, металошукачів, рентгенівських комплексів, тепловізорів, ультразвукових та інших приладів неруйнівного контролю), а також заходів з проведення візуального та фізичного пошуку. При цьому слід враховувати, що теплове випромінювання та нелінійні характеристики закладних пристроїв можуть бути приховані побутовою технікою, а їх візуальний пошук ускладнений камуфлюванням або прихованим монтажем в інженерних конструкціях будинку та предметах інтер'єру [9, 10].

Література References

[1] Pasyeka O. F. Okremi problemni aspekty kryminal′noyi vidpovidal′nosti za nezakonne prydbannya, zbut abo vykorystannya spetsial′nykh tekhnichnykh zasobiv nehlasnoho otrymannya informatsiyi za KK Ukrayiny // Naukovyy visnyk LDUVS. – 2016. – № 2. – S. 301–310.

[2] Mul′tyahentna tekhnolohiya poshuku tsyfrovykh radiozakladnykh prystroyiv na osnovi klasteryzatsiyi za metodom bdzholynoyi koloniyi. Savchenko V. ta in. // Zakhyst informatsiyi, Tom 21, №3, – 2019. – S. 194–202.

[3] Laptyev O.A., Hrozovs′kyy R.I. Analiz ta tendentsiyi rozvytku zasobiv poshuku tsyfrovykh radiozakladok // Suchasni informatsiyni tekhnolohiyi u sferi bezpeky ta oborony. – 2019. – № 2 (35). – S. 35–42.

[4] Laptyev O. A. Alhorytm rozrobky suchasnykh kompleksiv vyznachennya, rozpiznavannya ta lokalizatsiyi zasobiv nehlasnoho otrymannya informatsiyi // Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal), №12(52), 2019., S15-21.

[5] Laptyev O. A., Fedorenko R. M., Berestov D. S. Udoskonalennya metodyky poshuku tsyfrovykh radiozakladok v diapazoni Wi-Fi //, Zbirnyk naukovykh prats′ Tsentru voyenno-stratehichnykh doslidzhen′ NUOU imeni Ivana Chernyakhovs′koho, №2(66),2019., S102-107

[6] Poyskovye kompleksy [Élektronnyy resurs]. https://www.dasua.com/documents/catalog/search-appliances/searchcomplexes/page-01.php

[7] Kompleks AKOR-3. Rukovodstvo pol′zovatelya ASCHA 411168.001 RP. Metodyka poyska y radyomonytorynha ustroystv nehlasnoho s′ema rechevoy y vydeoynformatsyy (zakladnykh ustroystv)

[8] Kompleks AKOR-3. Rukovodstvo po ékspluatatsyy. Knyha 1. ASCHA 411168.001 RÉ

[9] ND TZI 2.7-011-2012. Zakhyst informatsiyi na ob′yektakh informatsiynoyi diyal′nosti. Metodychni vkazivky z rozrobky metodyky vyyavlennya zakladnykh prystroyiv

[10] Khorev A.A. Tekhnycheskaya zashchyta ynformatsyy: uchebnoe posobye dlya studentov vuzov. V 3 t. T. 1 / Tekhnycheskye kanaly utechky ynformatsyy. - M: «NPTS Analytyka», 2008. - 436 s.

Методика Аналізу Алофонів в Професійно-Спрямованих Текстах для Оцінки Рівня Захищеності Мовної Інформації

Сергій Нужний
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
s.nuzhniy@gmail.com

Поліна Заноскіна
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
lilianrhade@gmail.com

Method of Analysis of Allophones in Professionally-oriented Texts to Assess the Level of Proteck of Speech Information

Sergey Nuzhniy
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
s.nuzhniy@gmail.com

Polina Zanoskina
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
lilianrhade@gmail.com

***Анотація*—Запропоновано вдосконалення методики оцінки рівня захищеності мовної інформації від витоку віброакустичними каналами за коефіцієнтом залишкової розбірливості на основі формування артикуляційних таблиць української мови, які враховують особливості професійної спрямованості об'єкту захисту.**

Досліджено частота розподілу букв, дифонів та трифонів українського та латинського алфавіту, цифр та спеціальних знаків в відкритих спеціалізованих текстах українською мовою.

Результати досліджень частоти повторюваності букв у текстах українською мовою за професійними спрямуваннями показують наявність незначних відмінностей між окремими напрямками та результатами з відкритих джерел. Але наявні сильні відхилення для деяких букв в усіх напрямках.

Дослідження є складовою частиною робіт по розробці системи підтримки прийняття рішення для оцінки рівня захисту мовної інформації

***Abstract*—Improving the method of assessing the level of protection of speech information from leakage by vibroacoustic channels by the coefficient of residual legibility on the basis of articulation tables of the Ukrainian language, taking into account the peculiarities of the professional orientation of the object of protection is the basis for this work.**

The frequency of distribution of letters, diphones and triphons of the Ukrainian and Latin alphabets, numbers and special signs in open specialized texts in the Ukrainian language is investigate.

The results of research on the frequency of repetition of letters in texts in the Ukrainian language for professional purposes show the presence of insignificant differences between individual areas and results from open sources. However, there are strong deviations for some letters in all directions.

The research is a part of the work on developing a decision-support system to assess the level protection of speech information

Ключові слова*—артикуляційні таблиці, дифон, трифон, буква, частота повторюваності букв, алофон, коефіцієнт залишкової розбірливості мови.*

Keywords*—articulation tables, diphone, tryphon, letter, frequency of letters repetition, allophone, coefficient of residual intelligibility of language.*

I. Вступ

Розвиток технічних засобів несанкціонованого перехоплення мовної інформації в віброакустичному каналі на фоні удосконалення математичних методів обробки, фільтрації та відновлення суттєво зашумленних фонограм спричинило значне відставання теоретичних та практичних наробок в області технічного захисту мовної інформації на об'єктах, що підлягають захисту. Використання акустичних та вібраційних систем постановки активної завади типу «білий шум» та його клонів не спроможне гарантовано забезпечити вимоги по захисту мовної інформації.

Перехід від порівняння енергетичних рівнів сигналу та завади на довготривалих спектрах по октавним та ⅓-октавним смугам до визначення рівня впливу завади на спектральні характеристики мовного сигналу є вирішенням вказаної проблеми. Такий підхід визначення рівnz захищеності мовного сигналу регламентується стандартами США [1-4], Англії [5] та національними стандартами інших країн ЄС, а також міжнародними стандартами [6]. Оцінка рівня захищеності проводиться шляхом визначення коефіцієнту SII (Speech Intelligibility Index). Вказаний коефіцієнт введено в дію в 1987 році і є формальною заміною назви коефіцієнту AI (Articulation Index). В подальшому в методику визначення SII були введені деякі зміни, що були відображені в атрибутах назви – індекси (R1997) та (R2017).

В даному напрямку Україна суттєво відстала від провідних країн – відсутні нормативні документи в яких би були розглянуті методи формування артикуляційних таблиць та/або запропоновані самі таблиці для вирішення задач захисту мовної інформації. Це зумовлює обмеження по використанню сучасних методів оцінки захищеності мовної інформації в віброакустичному каналі.

II. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Якості розпізнавання інформації в смугах частотного спектру фонеми (слова) суттєво залежить від рівня деструктивного впливу шумової завади та викривлення частотного спектру в наслідок використання цифрових методів обробки. Найбільш простим засобом визначення якості розпізнавання є використання спектрально-кореляційного методу.

В [8–10] зазначається, що мінімальна кількість розпізнаних формант для впевненого розпізнавання фонеми повинна бути не менше двох. Це зумовлюється складним спектральними складом фонем, зумовлених особливостями їх формування в голосовому тракті людини. В [8] наведені результати формування фонеми [а] шляхом афінних перетворень з короткотривалих фрагментів за умови малої інтенсивності звуку (шепіт). Дослідження показали, що тільки 70–80 % короткотривалих фрагментів здатні сформувати відповідну фонему з заданою достовірністю ідентифікації. Це зумовлене наявність в короткотривалих фрагментах значної кількості додаткових нестаціонарних ділянок, які не несуть інформацію про відповідний фонем.

В [9] наведено дослідження явища розщеплення формант – коли на місці однієї простої (скалярної) форманти постає група підформант. Таке явище характерне для свистячих і шиплячих приголосних [с], [з], [ш], [ж], [с'], [з'], [ш'], [ж'] і призводить до появи додаткових резонансних частот.

Ще більш складний спектральний склад мають носові звуки [м], [н], [м'], [н']. Ці звуки мають не дві, а три характерні частоти – першу головну носову форманту Fp1(н), першу головну ротову форманту Fp1(р) та другу постійну форманту Fp2. Це призвело до появи додаткових спектральних складових. Наприклад, згідно з [9] для звуку [н], крім вказаних Fp1(н), Fp1(р) та Fp2, додатковий спектральний склад визначається з залежності: Fp2 + n·Fp1(н), де n={1, 2, 3, 4}. Для звуку [л], в українській мові, характерним є наявність додаткових комбінаційних формант, які виникають на частотах, близьких до Fp2–Fp1, Fp2+n·Fp1, де n={1, 2, 3, 4, 5}.

Також необхідно враховувати, характерне для більшості фонем, спадання на 3 дБ/октава інтенсивності сигналу, що призводить до збільшення впливу шумової завади [7, 11].

Задача суттєво ускладняється при значних рівнях деструктивного впливу (при SNR ≤ –10 дБА).

Вирішенням проблеми є використання алофонів. Їх основною властивістю, згідно з визначенням, є врахування взаємовпливу фонем, що споять в слові поряд. Це дозволяє врахувати ряд особливостей:

1) суттєво збільшується протяжність спектрального відрізка, яка підлягає аналізу, що зменшує вплив сторонніх завад на обвідну алофону та збільшує вірогідність коректного відновлення алофону (фонеми);

2) врахування частоти використання алофону в мові суттєво зменшує варіативну частину можливих наборів основних складових фонем – частоти основного тону (Fp0) і формант (Fp1, Fp2, Fp3 та Fp4).

Тобто, в такому випадку фактично необхідно оцінювати якість розпізнавання обвідних основного тону та формант та їх взаємне розміщення на частотному спектрі.

III. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є вдосконалення методики оцінки рівня захищеності мовної інформації від витоку віброакустичними каналами за коефіцієнтом залишкової розбірливості на основі артикуляційних таблиць української мови з врахуванням особливостей професійної спрямованості об'єкту захисту.

Для досягнення цієї мети в дипломній роботі розв'язуються такі задачі:

– дослідження частоти розподілу букв, дифонів та трифонів українського та латинського алфавіту, цифр та спеціальних знаків в відкритих спеціалізованих текстах українською мовою.

– розробка методики формування артикуляційних таблиць української мови

IV. Опис методики розрахунку

Для отримання статистичних даних був обраний метод від більшого до меншого. Тобто спочатку було проведене аналіз букв та їх місць розташування у тексті, а потім поступово був проведений перехід до дифонів, а потім і до трифонів. Таким чином отримали наступні пункти для отримання даних:

1) Кількість кожної літери, цифри та літер англійського алфавіту;
2) Кількість кожної літер на початку слова, на початку слова перед голосно, приголосною, та м'яким знаком;
3) Кількість кожної літери в кінці слова, в кінці слова після голосної, приголосної та м'якого знаку;
4) Поодинокі літери;
5) Кількість кожної літери між голосними;
6) Кількість кожної літери між приголосними;
7) Кількість кожної літери між голосною та приголосною;
8) Кількість кожної літери між приголосної та голосною;
9) Кількість кожної літери між м'якими знаками;
10) Кількість кожної літери між «ь» та голосною;
11) Кількість кожної літери між «ь» та приголосною;
12) Кількість кожної літери між голосною та «ь»;
13) Кількість кожної літери між приголосною та «ь»;
14) Кількість кожного виду дифону в обраному тексті
15) Кількість кожної літери між конкретними літерами які утворюють с нею трифон.

Для створення програмного продукту було обрано середу програмування – *Delphi* 7 , яка базується на мові програмування – *Pascal*.

Усі документи, які було проаналізовано, спочатку було переведено у текстовий формат, а саме *.txt* для зручності аналізу. Блок-схема загального алгоритму для кожного модулю представлена на рис. 1

Першим на етапі розробки став модуль за допомогою якого ми змогли відкрити необхідний файл. Після чого були створенні масиви в які було розміщено необхідні літери українського та англійського алфавіт, а також масив з цифрами.

На рис. 2 представлено приклад роботи програми. Наведего приклад роботи модулю з визначенням кількості символів у заданому тексті.

Оформлення самої програми відповідає принципу «дерева», від букви та просто знаку в тексті блоки були розділені до дифонів та трифонів. На заключному етапі є можливість задавати ті чи інші дифони та трифони.

V. Висновки

Результати досліджень частоти повторюваності букв у текстах українською мовою за професійними спрямуваннями «Захист інформації», «Криміналістика» та «Економіка» показують наявність незначних відмінностей між окремими напрямками та результатами з відкритих джерел.

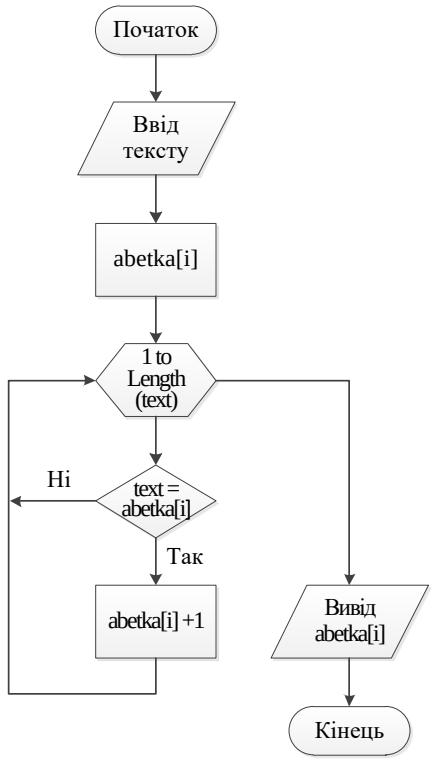


Рисунок 1 – Блок-схема загального алгоритму

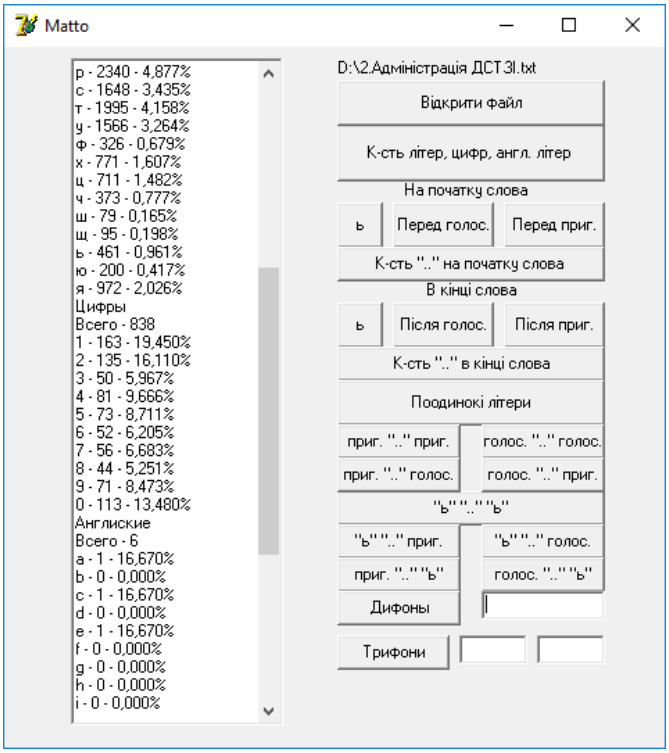


Рисунок 2 – Приклад роботи програми

Максимальні відхилення показали тексти з напрямку «Економіка» для буквам, які мають найвищу частоту вживання – «а», «д», «н» та «о». Так для букви «д» відносна розбіжність з даними літературних джерел перевищує 76 % та 61 %, а для букви «н», частота використання якої в проаналізованих текстах є найбільшою, відхилення склали 21% та 40 %.

Аналіз використання цифр в досліджених текстах показує , що найчастіше застосовують в текстах цифри «1», «2» та «0» – частота їх використання коливається в діапазоні від 13 % до 23 %, що зумовлюється використання в документах дат (день, місяць та рік), нумерованих переліків та інше

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[1] 019 Q3 IMB Piracy Report. By ICC International Maritime Bureau 16 Oct 2019. – url: https://www.sail-worldcruising.com/news/223153/2019-Q3-IMB-Piracy-Report

[2] Олег Лобанов. Тайна освобождения сухогруза «Фаина». url: https://yagazeta.com/stil-zhizni/sotsium/tajjna_osvobozhdeniya_sukhogruza_faina/

[3] ANSI/ASA S3.42-1992 PART 1 (R2017) American National Standard Testing Hearing Aids with a Broad-Band Noise Signal / STANDARD by American National Standards of the Acoustical Society of America, 01/01/1992

[4] ANSI/ASA S3.37-1987 (R2017) American National Standard Preferred Earhook Nozzle Thread for Postauricular Hearing Aids / STANDARD by American National Standards of the Acoustical Society of America, 01/01/1987

[5] ANSI/ASA S3.5-1997 (R2017) American National Standard Methods for Calculation of the Speech Intelligibility Index / STANDARD by American National Standards of the Acoustical Society of America, 01/01/1997

[6] BS EN 60268-16:2011 Sound system equipment. Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index

[7] Григорьев И.А., Казановский А.И. Методический подход к оценке эффективности защиты речевой информации // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2010, №5, с. 133-136.

[8] Соловьев, В. И., Рыбальский, О. В., Железняк, В. К. Мультифрактальная структура шепота и распознавание речевых структур / Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С, Фундаментальные науки. – 2014. – № 12. – С. 16-20. – Режим доступу: http://elib.psu.by:8080/handle/123456789/11215

[9] Вакуленко М. О. Акустичні інваріанти українських приголосних / М. О. Вакуленко // Науковий вісник кафедри ЮНЕСКО Київського національного лінгвістичного університету. Філологія, педагогіка, психологія. – 2010. – Вип. 20. – С. 4-16. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvkyu_2010_20_3

[10] Добрушкін Г. О., Данилов В. Я., Основні підходи до розпізнавання мовленнєвої інформації (Частина 1), Вісник Вінницького політехнічного інституту. – № 4, – С. 50-64, (Лис. 2010). Режим доступу: https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/1746.

[11] Хорев А. А. Оценка возможностей средств акустической (речевой) разведки//Специальная техника. – М.: 2009. – № 4 – С. 49-63.

Нужний С. М. Удосконалена технологія оцінки ступеня захисту мовної інформації. Сучасний захист інформації. 2018. № 1(33). С. 66–73. URL: http://journals.dut.edu.ua/index.php/dataprotect/article/view/1796

Лабораторний Генератор Акустичного Шуму з Типовими та Довільними Спектрами

Юрій Касьянов
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування
Миколаїв, Україна
yukas.nik.ua@gmail.com

Ігор Копитченко
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування
Миколаїв, Україна
irondestroyer777@gmail.com

Laboratory Acoustic Noise Generator with Typical and Arbitrary Spectra

Yurii Kasianov
Department of Computer Technology and Information Security
National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
yukas.nik.ua@gmail.com

Igor Kopytchenko
Department of Computer Technology and Information Security
National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
irondestroyer777@gmail.com

***Анотація*—Розглянуто задачу забезпечення лабораторної бази при підготовці спеціалістів в області захисту мовної інформації. Описано створений лабораторний генератор акустичного шуму з типовими та довільними спектрами.**

***Abstract*—The problem of laboratory base providing for training of speech information protection specialists is considered. The created laboratory acoustic noise generator with typical and arbitrary spectra is described**

Ключові слова—захист мовної інформації; оцінювання захищеності; генератор акустичного шуму; спектр шуму

Keywords—speech information protection; security assessment; acoustic noise generator; noise spectrum

I. Вступ

Захист мовної інформації є однією з основних складових інформаційної безпеки, що пояснюється її високою смисловою наповненістю та такими властивостями, як оперативність, конфіденційність, документальність, відображення емоційного стану людини та її власного відношення до предмета розмови.

Активний захист мовної інформації забезпечується генераторами акустичних завад, що створюють в точках можливого знімання інформації таке відношення сигнал/завада, яке знижує розбірливість мовного повідомлення і виключає його перехоплення відповідно до заданого (нормованого) ступеня захищеності.

Наразі найбільш ефективними є генератори реальних мовоподібних завад. Однак є певні проблеми з їх сертифікацією та впровадженням у практику, пов'язані з використанням для оцінювання та нормування захищеності мовної інформації критерію відношення сигнал/завада, в тому числі в Україні, та відсутністю єдиної методології оцінювання ефективності таких генераторів [1–4]. Зважаючи на це, а також враховуючи, що в методиках оцінювання захищеності мовної інформації за використовуваним у передових країнах світу критерієм розбірливості мови тестовий сигнал є шумовим сигналом зі спектром довготривалої мови [5, 6], розробка та створення традиційних генераторів акустичного шуму, особливо з можливістю регулювання спектру, є актуальною задачею.

Окрім вирішення задач безпосередньо захисту мовної інформації, важливою сферою використання генераторів акустичного шуму є процес підготовки спеціалістів з технічного захисту інформації, які разом з теоретичним матеріалом повинні засвоїти методики постановки завад та оцінювання захищеності мовної інформації і ефективності прийнятих заходів, а також отримати практичні навички роботи з апаратурою та проведення експериментів.

Існує цілий ряд сертифікованих ДССЗЗІ України ("PIAC – 2M", "МАРС-ТЗО-4-2", "Топаз ГША-4" і т.д.) та несертифікованих в Україні (ЛГШ-401, "Барон", "Шорох", ANG-2000 та ін.) генераторів акустичних шумових завад та апаратно-програмних комплексів для оцінювання захищеності мовної інформації ("Спрут", "Шепот", "Асистент", VNK-012GL тощо), які, однак, є досить дорогими і далеко не кожен вищий навчальний заклад в змозі їх придбати. Окрім того, вони не орієнтовані на навчальні цілі. Тому за мету було прийнято створення недорогого лабораторного генератора акустичного шуму з широкими можливостями, орієнтованого на навчальний процес.

II. Призначення, будова та технічні характеристики генератора

Генератор створювався як складова частина розробленого на кафедрі лабораторного комплексу для акустичних досліджень в області технічного захисту інформації і може бути використаний:

- для вивчення та дослідження характеристик і властивостей шумових сигналів та отримання практичних навичок постановки акустичних шумових завад у виділених приміщеннях;
- для практичного засвоєння методик оцінюванні захищеності мовної інформації та ефективності засобів її захисту;
- у дослідженнях методів шумоочищення інформативних сигналів;
- в акустичних дослідженнях приміщень, звукоізоляції та електроакустичних перетворювачів;
- при вивченні принипів побудови і функціонувння генераторів шуму, їх схемотехніки та характеристик основних вузлів;
- безпосередньо як несертифікований засіб активного захисту мовної інформації.

Виконання вказаних задач забезпечується наступними можливостями і параметрами генератора:

- робочий діапазон частот – 50…12000Гц;
- фіксовані налаштування на типові види шуму: білий, рожевий, червоний (brown), синій (blue), фіолетовий;
- налаштування шуму з довільним спектром за допомогою еквалайзера плавним регулюванням АЧХ в 7-ми октавних смугах мовного діапазону з середньогеометричними частотами 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 та 8000 Гц;
- глибина регулювання в кожній смузі – ± 12 дБ;
- вихідна напруга – 0,1…5 В;
- вихідна потужність – 10 Вт;
- можливість вимірювання сигналу в характерних точках схеми для зняття характеристик основних вузлів генератора.

Структура генератора представлена на рис.1.

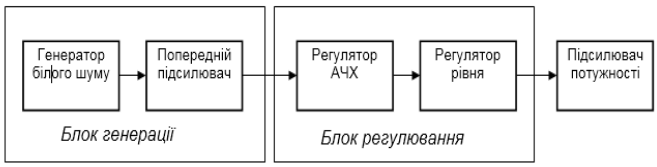


Рис.1 Структурна схема лабораторного генератора акустичного шуму

Джерелом сигналу є цифровий генератор білого шуму (ГБШ), побудований на мікроконтролері PIC12F629, що програмно генерує в часі М-послідовність псевдовипадкових чисел з рівномірним законом розподілу. Це забезпечує високу стабільність шумових характеристик (незмінність і відтворюваність характеристик шуму в часі і при зміні зовнішніх умов) та рівномірність розподілу спектральної щільності шуму за частотою. Для отримання двохполярного сигналу постійна складова фільтрується конденсатором. Щоб отримати більш згладжений сигнал використано RC - фільтр першого порядку. Зважаючи на модульну побудову генератора, як джерело сигналу може бути використано також аналоговий ГБШ, побудований на шумових властивостях p-n переходу транзистора.

Інші види шуму створюються в результаті перетворення сигналу білого шуму регулятором АЧХ, який разом з регулятором рівня входить до блоку регулювання.

Регулятор АЧХ (рис.2) побудовано виходячи з вимоги плавного регулювання спектру довільного шуму та фіксованих налаштувань на типові види "кольорових" шумів з урахуванням характеру їх спектрів і представляє собою набір активних фільтрів низької та високої частоти і семисмуговий еквалайзер, що комутуються певним чином.

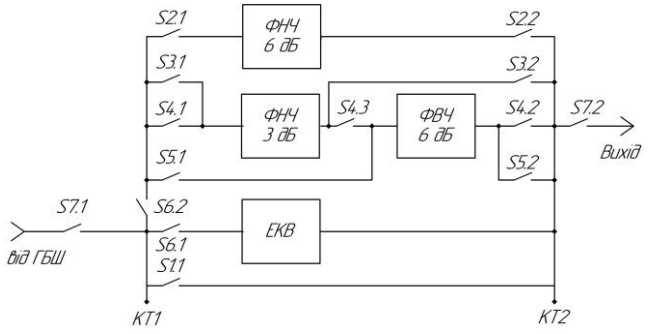


Рис.2 Функціональна схема регулятора АЧХ

Білий шум будемо мати при замиканні перемикача S1. Червоний шум отримаємо при замкнутому перемикачі S2 за допомогою фільтра низької частоти зі спадом 6 дБ/окт, рожевий шум - при проходженні сигналу білого шуму через низькочастотний фільтр зі спадом 3 дБ/окт (замкнуто перемикач S3), фіолетовий – за допомогою фільтра високої частоти зі спадом 6 дБ/окт (замкнуто перемикач S5), а синій – при послідовному включенні перемикачем S4 низькочастотного фільтра зі спадом 3 дБ/окт і високочастотного фільтра зі спадом 6 дБ/окт.

Фільтри фіксованої настройки, побудовані на базі 4-канального універсального підсилювача TL084CN. Для плавного регулювання спектру у 7-ми октавних смугах мовного діапазону використано 7-смуговий еквалайзер, виконаний на мікросхемі LA3607 з відповідно розрахованими смуговими фільтрами, який включається перемикачем S6.

Включення режиму контролю (розмикання S7) дозволяє, використовуючи гнізда контрольних точок КТ1, КТ2 та лінійного виходу, проводити окремі дослідження та налагодження вузлів генератора (фільтрів, квалайзера та підсилювача потужності), що дуже важливо для використання в навчальному процесі.

Зовнішні вигляд генератора наведено на рис.3. Габаритні розміри генератора: 350х220х100мм.

Рис.3 Зовнішній вигляд лабораторного генератора акустичного шуму

III. Дослідження генератора.

В процесі розробки, виготовлення та налагодження генератора було проведено дослідження частотних характеристик фільтрів моделюванням в Multisim та реальним експериментом.

Проведено дослідження глибини регулювання еквалайзера на середньогеометричних частотах октавних смуг мовного діапазону та АЧХ підсилювача потужності.

З використанням персонального комп'ютера та спектроаналізатора програми Sound Forge досліджувались спектри створюваних шумів на виході генератора. При цьому для швидкого перетворення Фур'є було вибрано алгоритм Блекмена-Харріса. Аналіз спектрів проводився в режимі запису звукової доріжки та в режимі реально часу.

Для виключення похибки, що вноситься звуковою картою комп'ютера, було проведено дослідження її амплітудно-частотної характеристики за допомогою програми RightMark Audio Analyzer. Нерівномірність АЧХ звукової карти в робочому діапазоні частот генератора шуму не перевищувала 0,3 дБ.

Отримані спектрограми білого та червоного шуму приведено на рис.4.

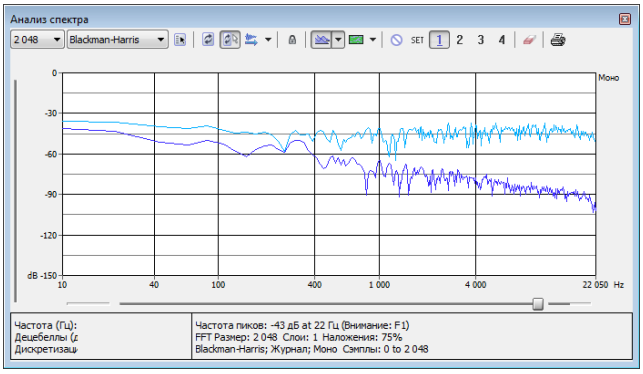


Рис.4 Спектрограми білого та червоного шуму на виході генератора

IV. Висновки

Створений лабораторний генератор акустичного шуму за своїми технічними характеристиками може бути використаний в навчальному процесі для вивчення методів та засобів технічного захисту акустичної (мовної) інформації, засвоєння методик і набуття практичних навичок експериментальної оцінки її захищеності та ефективності звукоізоляційних огороджувальних конструкцій і різних типів шумових завад, а також інших акустичних досліджень. Це дозволить підвищити рівень підготовки спеціалістів в області технічного захисту інформації за спеціальністю 125 "Кібербезпека".

Генератор також може бути використаний безпосередньо як несертифікований засіб активного захисту мовної інформації.

Література References

[1] Kasianov Yu.I., Nuzhniy S.M "Otsiniuvannia efektyvnosti generatora realnoi movopodibnoi zavady za kryteriiem rozbirlyvosti movy" [Assessment of real speech-like interference generator effectiveness by intelligibility criterion]. Visnyk natsionalnoho universytetu “Lvivska politekhnika” “Avtomatyka, vymiriuvannia ta keruvannia” [Bulletin of Lviv Polytechnic National University]. 2016, issue 852, pp.105–110.

[2] Касьянов Ю.І., Кисельова Ю.П. Методологія оцінювання генераторів реальних мовоподібних завад в захисті мовної інформації [Methodology for assessment of real speech-like interference generators in the speech information protection] // Інформаційні системи та технології ІСТ-2018: Матеріали 7-ї міжнародної науково-технічної конференції. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – С. 333–336.

[3] Blintsov, V., Nuzhniy, S., Parkhuts, L., Kasianov, Y. (2018). The objectified procedure and a technology for assessing the state of complex noise speech information protection. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 5 (9 (95)), 26–34. doi: http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2018.144146

[4] Blintsov, V., Nuzhniy, S., Kasianov, Yu., & Korytskyi, V. (2019). Development of a mathematical model of scrambler-type speech-like noise generator for system of prevent speech information from leaking via acoustic and vibration channels. Technology Audit And Production Reserves, 5(2(49)), 19-26. http://dx.doi.org/10.15587/2312-8372.2019.185133

[5] Khorev A.A., Makarov Yu.K. "Metody zashchity rechevoy informatsii i otsenki ikh effektivnosti" [Methods of speech information protection and assessment of their effectiveness]. Spetsialnaya tekhnika [Special equipment], 2001, no. 4, pp. 22–33.

[6] Didkovskiy V.S., Didkovskaya M.V., Prodeus A.N. "Akusticheskaya ekspertiza kanalov rechevoy kommunikatsii: monografiya". Kiev, Imeks-LTD, 2008. 420 P.

Кольорові Фрактали у Протоколах Автентифікації з Нульовим Розголошенням

Денис Самойленко
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
DenNikSam@gmail.com

Colored Fractals in Zero-knowledge Authentication Protocols

Denys Samoilenko
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
DenNikSam @gmail.com

***Анотація* — Одним з способів вирішення задачі забезпечення автентифікації є використання протоколів з нульовим розголошенням, у відповідності до яких парольні дані не передаються каналом ані у відкритому, ані у перетвореному вигляді. У попередніх роботах у якості основного об'єкту, що містить нескінченний потенціал деталізації, було запропоновано алгебраїчний фрактал. У даному дослідженні пропонується додати інформацію про колір фрактальної точки та проводиться порівняння кольорових фракталів по відношенню до монохромних з тією ж деталізацією. Показано, що якість авторизації покращується у 3-4 рази щонайменше. А в окремих випадках коефіцієнт переваги може сягати 100 і більше.**

***Abstract* — One way to solve the problem of authentication is to use zero-knowledge protocols, according to which password data is not transmitted by the channel either in the open or in the transformed form. In previous work, an algebraic fractal has been proposed as the main object containing infinite detail potential. This work proposes to add information about the color and compares colored fractals over monochrome with the same detail. It is shown that the quality of authorization improves at least 3-4 times. And in some cases, the coefficient of preference can reach 100 or more.**

Ключові слова — автентифікація, протокол з нульовим розголошенням, фрактал, інформаційна безпека

Keywords — authentication, zero-knowledge protocol, fractal, information security

I. Вступ

Наукове дослідження фракталів, як самостійних математичних об'єктів, розпочалось відносно нещодавно – з середини XX сторіччя [1]. В силу відносної складності математичного апарату їх опису, необхідності оперування з дробовою розмірністю фігур та потреби у багатокрокових обчисленнях, цікаві властивості фракталів є досягненням сучасності.

Однак, принципи самоподібної симетрії, використання зменшених копій великого об'єкту у складі цього ж об'єкту, відомі на сьогодні як фрактальні принципи, вживались людством у архітектурі та побутовому мистецтві з давніх часів [2]. Ідея дробової розмірності також відходить своїми коренями у часи складання географічних мап різного масштабу.

З розвитком обчислювальної потужності електронних пристроїв математична складність перестала бути перепоною для генерування фракталів, їх візуалізації та практичного аналізу чи дослідження. З іншого боку, ця складність грає на користь утруднення зворотного аналізу фракталів – пошуку вихідних даних, з яких фрактал побудовано. Останнє відкриває перспективи використання фракталів у задачах інформаційної безпеки, зокрема, для авторизації користувачів мережних електронних ресурсів розподіленого типу.

II. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Активний інтерес щодо фракталів та успіхи новітньої науки «фрактальна геометрія», розпочатої Бенуа Мандельбротом [1], призвели до того, що фрактали знайшли використання у фізиці [3], зокрема, радіофізиці [4], топології [5], комп'ютерній графіці [6], стисненні зображень [7-8] та багатьох інших галузях знань. Врешті решт, фрактали є красивими об'єктами і мають естетичну цінність [9-10], що й засвідчено згаданими вище історичними фактами.

Слід зауважити, що термін «фрактал» не має єдиного загальноприйнятого чіткого визначення. Як правило, фракталами називають фігуру, що має властивості самоподібності чи нетривіальності або має дробову розмірність [10]. З іншого боку фракталами можуть бути алгебраїчні множини, що мають властивості, подібні до перелічених. Типовими їх представниками є множина Мандельброта чи множини Жюліа.

Дробова розмірність фракталу, самоподібність частин та цілого, а також нетривіальність його структури є спорідненими властивостями. Слід згадати, що хаусдорфова розмірність, яка мається на увазі у даному контексті, є ступенем функції, що являє собою асимптоту відношення кількості комірок сітки, що їх перетинає (заповнює) об'єкт, у залежності від оберненого розміру цієї сітки – чим менша комірка сітки, тим більшу кількість комірок заповнює об'єкт і степінь цього зростання (у ліміті) є розмірністю об'єкту.

Властивість самоподібності фракталів, окрім перелічених вище випадків, може використовуватись у задачах убезпечення даних у комп'ютерних мережах. Зокрема, у роботі [11] показані підходи за яких подібність топології локальних мереж різного рівня дозволяє переносити (створювати проекцію) висновків та рішень локального рівня на більш високі рівні мережі. Провести дослідження та вимірювання інформаційного трафіку, зробити висновки значно простіше для локальної ділянки мережі, до якої є як фізичний, так і адміністративний доступ. При цьому одержані результати цілком логічно можна транслювати як на інші локальні ділянки, так і на ланки вищих рівнів, що є подібними до дослідженої.

Нетривіальність структури фракталів дозволяє використовувати їх у надзвичайно чутливих до найменших змін алгоритмах, зокрема, у задачах цифрових «водяних» знаків (ЦВЗ) – спеціальних мітках автентичності цифрового об'єкту. У роботі [13] показано механізм утворення «крихких» ЦВЗ для зображень за допомогою фракталів з додатковим наголосом на властивості самоподібності. Хоча робота спрямована на зображення, методика може бути адаптована для інших медіа-контентів.

Нескінченність форми фракталу може слугувати джерелом великої кількості числових (векторних, матричних та інш.) значень, що не повторюються. У разі, якщо координати точки фракталу задаються з високою точністю, питання належності (чи не належності) точки до фракталу вимагає встановлення його границі з негіршою точністю. При цьому дві дуже близькі за відстанню точки можуть мати різну належність до фракталу. У роботі [14] показано, як зазначена властивість може бути використана при побудові генератора довгих числових послідовностей для задач інформаційної безпеки.

Потенціал використання фрактальних множин у складі обмінних протоколів з метою покращення показників захищеності наведено у роботі [15]. Технологія базується на високій чутливості образу фрактальної множини до незначних змін числових параметрів функції ітеративного перетворення.

III. Мета та задачі дослідження

Метою даного дослідження є розвинення методики використання алгебраїчних фракталів у задачах фонової авторизації через додавання до фракталів інформації про «колір» його точок. Серед задач, що мають бути вирішені для досягнення мети, можна відзначити наступні:

- формулювання означення «кольору» фрактальної точки та способів його визначення;
- складання випробувальної інформаційної системи, що реалізує протоколи фонової авторизації з кольоровими та монохромними фрактальними множинами;
- проведення порівняльного аналізу показників якості авторизації за різними схемами, формулювання висновків та рекомендацій.

Кінцева мета даної роботи спрямована на вдосконалення теоретичних основ захисту інформаційних ресурсів у глобальних комп'ютерних мережах.

IV. Фрактали у протоколах без розголошення.

Одним з різновидів протоколів авторизації та автентифікації є протоколи без розголошення (протоколи з нульовим розголошенням, zero-knowledge protocol, ПНР) [16]. У відповідності до ПНР учасник, що авторизується, повинен довести наявність у нього певного знання (паролю), при цьому саме знання не розголошується – не передається у каналі зв'язку ані у відкритому, ані у перетвореному вигляді.

Процес автентифікації полягає у кількаразовому виконанні операції питання-відповідь, за результатами якої виноситься рішення щодо наявності знання у учасника протоколу, тобто його автентичності. За зовнішніми ознаками процес виконання протоколу нагадує процес оцінювання знань, який здійснюється автоматизованою дистанційною навчальною системою.

ПНР дозволяють збалансувати незручності, що виникатимуть при постійному перепитуванні паролю у користувача, та потенційну уразливість, яка виникає при наданні тривалого доступу при однократному введенні паролю. Це особливо актуальне для віддалених систем (веб-технологій), за яких відсутній альтернативний контроль зміни оператора через відео нагляд чи фізичний контроль доступу.

ПНР будуються на математичних задачах у ускладненим зворотним рішенням, тобто з відсутністю швидких алгоритмів встановлення початкових параметрів за відомим рішенням задачі. До таких задач відносяться, наприклад, задача факторизації [17] чи ізоморфізму графів [18].

Альтернативу поширеним задачам, що використовуються у ПНР, можуть скласти задачі фрактальної математики. Питання, що дозволяє переконатись у правильності знань (паролю) у об'єкта авторизації, звучатиме як «чи належить точка із заданими координатами до фракталу?». Очевидно, що без відомостей про параметри побудови фракталу дати гарантовану відповідь неможливо.

Математичних алгоритмів, що дозволяють однозначно відновити вихідні параметри фрактального перетворення за кількома відомими точками фрактального образу, на даний момент не існує. У той же час, складність математичного аналізу фракталів вимагає додаткових досліджень для оцінки надійності ПНР, побудованих на фрактальних перетвореннях.

Загальну схему взаємодії користувача з мережним інформаційним ресурсом (МІР) можна спрощено зобразити наступною схемою (рис. 1).

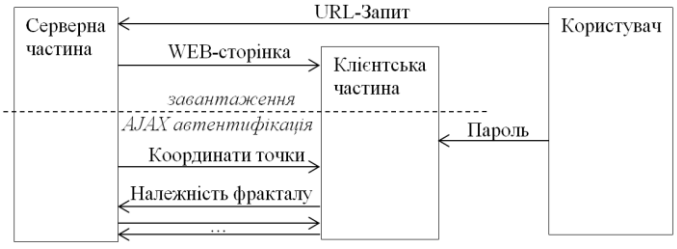


Рисунок 1 – Схема взаємодії користувача з МІР

Користувач вводить мережну адресу (URL) ресурсу, сервер формує відповідь у вигляді WEB-сторінки, яка утворює клієнтську частину МІР, що її відображає браузер. Користувач вводить парольну інформацію після чого запускається фонова автентифікація:

- сервер передає випадково створені координати точки певного простору, передає їх клієнту;
- активні коди клієнтської частини обчислюють належність точки до фрактальної множини з урахуванням введеної парольної інформації, передає на сервер відповідь;
- процес повторюється із необхідним часовим інтервалом до закриття комунікаційного каналу.

Процес автентифікації відбувається за асинхронною технологією AJAX, що не перериває основну роботу МІР, інтервал повторної автентифікації визначається у відповідності до потреб чи обмежень конкретної задачі.

V. Монохромні фрактали.

З практичної точки зору, монохромні фрактали передбачають перевірку належності точки комплексного простору (reX, imX) до власної множини за єдиним критерієм – відсутність розбіжності ітеративної послідовності протягом заданої кількості ітерацій. Класично, для множин Жюліа використовують послідовність

$$z_{k+1} = z_k^N + C, \qquad (1)$$

де C – певна комплексна константа, N – степінь перетворення. Конкретні значення C та N визначають вигляд конкретної множини і в задачах інформаційної безпеки відіграють роль числового паролю.

Узагальнене розуміння множин Жюліа передбачає у правій частині (1) довільну комплексну функцію у вигляді раціонального дробу поліноміальних виразів степені N [19]. Коефіцієнти у цих поліномах також можуть відноситися до складу парольної інформації.

У формалізмі JavaScript узагальнених код побудови образу фракталу з N=2 виглядатиме як:

```
n=0;
while(n<300 &&  Math.abs(reX)+ Math.abs(imX) < 3){
   x = reX*reX-imX*imX+reC;// Розкриття квадрату у комплексних числах
   y = 2*reX*imX+ imC; // reC та imC – складові константи C
   reX = x;
   imX = y;
   n++;
}
if(n==300){Точка (reX, imX) належить фракталу}
```

Монохромні фрактали зручні у випадках, коли слід мінімізувати дані, що беруть участь в обміні, оскільки результат є одним бітом. Наприклад, це актуально у разі використанні стеганографічних засобів з приховуванням даних автентифікації серед іншої інформації, що передається у протоколі.

VI. Кольорові фрактали.

Додаткові можливості щодо покращення показників безпеки надають так звані кольорові фрактали. Для їх одержання зберігають інформацію про кількість ітерацій після якої послідовність розбігається. Ця кількість ітерацій переводиться у кольорову гаму і наноситься на рисунок утворюючи кольоровий образ фракталу.

Відомості про колір ускладнює розуміння розмірності множини, оскільки фактично усі точки простору формально відносяться до фракталу. Як вже відзначалось, для оцінки розмірності, яка спряжена з показниками безпеки, слід побудувати монохромний образ множини.

Загальна симетрія, що спостерігається завдяки периферійним ділянкам образу, а також напрямок її «закручення» може надати відомості щодо парольних даних. Так наявність чотирьох симетричних відгалужень свідчить про степінь перетворення (N=4).

З метою ускладнення подібного аналізу фрактальних образів слід, по-перше, уникати залучення до області розгляду ділянок з явною симетрією та, по-друге, використовувати ітеративні перетворення з комбінованими степенями і, як наслідок, без чітко вираженої симетрії образів.

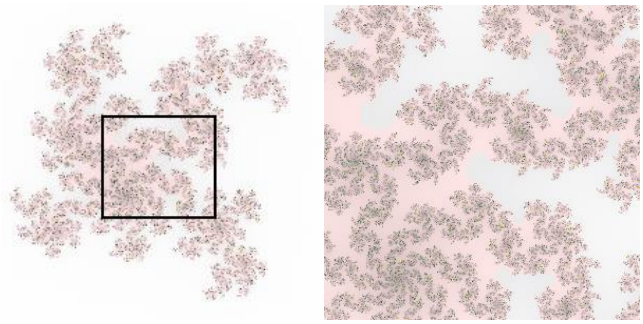


Рисунок 4 – Образ фракталу та його центральної частини для $z_{k+1} = z_k^4 + 0.3z_k + 0.532 + 0.419i$

Слід зауважити, що зменшення розміру простору не зменшує потенціал використання фракталу у протоколах автентифікації. З одного боку, деталізація фракталу є нескінченною для будь-якої ділянки. З іншого – представлення даних у комп'ютерній техніці передбачає розділення мантиси числа та його експоненти, тобто оперування з числами меншого діапазону не призводить до втрат точності чи дискретизації.

VII. Випробування.

Для практичного визначення потенціалу перманентної фонової автентифікації за протоколом з нульовим розголошенням і з використанням фрактальних множин було складено локальний інформаційний ресурс. Серверна частина реалізована мовою PHP, клієнтська – HTML/JavaScript.

Алгоритм взаємодії реалізує рис. 1. Програмні коди ітерації послідовності обох частин повністю ідентичні. Збоку сервера парольні дані введено як програмні константи, збоку клієнта передбачені поля для введення відповідних величин. Процес авторизації для кожного введення повторюється 10 000 разів. У підсумку визначається кількість правильних та неправильних відповідей клієнта щодо належності точки з координатами, переданими сервером, до заданого фракталу та частота помилок. Результати випробувань протоколу автентифікації зведено до табл. I.

Таблиця I – Дані випробування протоколу автентифікації для монохромних (М) та кольорових (К) фракталів

№	Сервер: *C*, *N*	Клієнт: *C*, *N*	Помилок, %	
			М	К
1	(0,1), 2	(0,1.001), 2	<0.01	2
		(0.001,1), 2	<0.01	2
2	(0.37,0.37), 2	(0.3701,0.37), 2	0.02	14
		(0.37,0.3701), 2	0.04	17
		(0.37001,0.37), 2	0.04	7
		(0.37,0.37001), 2	0.04	8
3	(0.25,0.25), 2	(0.2501,0.25), 2	0.02	0.2
		(0.25,0.2501), 2	0.02	0.2
4	(0.24493,0.69915), 5	(0.2449**4**,0.69915), 5	12	33
		(0.24493,0.6991**6**), 5	14	34
5	(0.532,0.419), 4+1	(0.53201,0.419), 4+1	0.01	15
		(0.532,0.41901), 4+1	0.01	14
6	(0.24493,0.69915), 5 діапазон в.ч. [0,1/3]	(0.2449**4**,0.69915), 5	27	75
		(0.24493,0.6991**6**), 5	27	76
7	(0.532,0.419), 4+1 діапазон в.ч. [0,1/3]	(0.53201,0.419), 4+1	0.03	22
		(0.532,0.41901), 4+1	0.03	24
8	(0.24493,0.69915), 5 діапазон в.ч. [0,1/4]	(0.2449**4**,0.69915), 5	26	84
		(0.24493,0.6991**6**), 5	32	84
9	(0.532,0.419), 4+1 діапазон в.ч. [0,1/4]	(0.53201,0.419), 4+1	0.03	28
		(0.532,0.41901), 4+1	0.03	28

VIII. Обговорення

Для усіх наведених варіантів парольних даних кращі показники надійності демонструють протоколи, побудовані на кольорових фракталах. Відношення кількості відхилених запитів змінюється від близько 3-х (при високих імовірностях помилок) до 1000 (при малих) на користь кольорових схем. Відповідно, впровадження протоколів на монохромних фракталах не є рекомендованим, якщо відсутні принципові обмеження для впровадження кольорових.

Як і очікувалось, фрактали з граничною розмірністю – близькою до 1 (№ 1 у табл. 1, рис. 2а) та близькою до 2 (№ 3 у табл. 1, рис. 2в) демонструють гірші показники надійності, ніж фрактали з проміжною розмірністю – близькою до 1,6 (інші варіанти). Це свідчить про доцільність попереднього аналізу парольних даних на предмет відповідної до них хаусдорфової розмірності фрактального образу. Використання випадково генерованих парольних даних без додаткової перевірки не рекомендується.

Фрактали з проміжною розмірністю відповідають граничним точкам множини Мандельброта. При віддаленні від його границі фрактали «розріджуються» та втрачають великі значення для кольорів (розбіжність послідовності (1) спостерігаєтья при невеликих k). Як наслідок, монохромний образ фракталу праткично втрачаєтья, оскільки усі кольори, менші за граничний, вважаються «білим». Це відповідає суттєвій втраті надійності протоколів при переході до монохромного режиму (№ 5 у табл. 1). Це додатково засвідчує переваги кольорових схем та необхідність попереднього аналізу парольних даних щодо показників надійності.

IX. Висновки

Алгебраїчні фрактали засвідчили цілковиту придатність до використання у складі протоколів автентифікації з нульовим розголошенням. Нескінченна деталізація структури фрактальної множини дозволяє використовувати парольні дані протягом тривалого часу без оновлення. Висока чутливість до змін парольних параметрів, а також їх змінна кількість забезпечують високі показники надійності до атак вторгнення.

Тим не менш, досягнення високих показників надійності протоколів вимагає попереднього випробування парольних параметрів. Випадковий їх вибір украй не рекомендується. Найбільшу надійність демонструють фрактали, що належать до пригранічних точок множини Мандельброта, з хаусдорфовою розмірністю близькою до 1,6.

Урахування кольорової інформації дозволяє покращувати надійність протоколів щонайменше у 3-4 рази. А в окремих випадках коефіцієнт переваги може сягати 100 і більше. Використання монохромних фракталів можна вважати доцільним лише при неможливості передавання у складі протоколу даних щодо кольору.

Література References

[1] Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. — М.: «Институт компьютерных исследований», 2002. – 656 с.

[2] Ron Eglash African Fractals: Modern Computing And Indigenous Design Rutgers University Press, 1999 - 258 с https://monoskop.org/images/f/fc/Eglash_Ron_African_Fractals_Modern_Computing_and_Indigenous_Design.pdf

[3] Фракталы в физике. "Труды 6-го международного симпозиума по фракталам в физике". — М.: «Мир», 1988.

[4] Слюсар, В. (2007). Фрактальные антенны. Принципиально новый тип «ломаных» антенн.. Электроника: наука, технология, бизнес. — 2007. — № 5. с. С. 78—83. http://www.electronics.ru/files/article_pdf/0/article_593_229.pdf

[5] Фоменко А.Т. Наглядная геометрия и топология: Математические образы в реальном мире. — М.: Изд-во Моск. ун-та, Изд-во «ЧеРо», 1998. – 416с.

[6] Дональд Роджерс. Алгоритмические основы машинной графики. - М.: Мир, 1989.-512 с..

[7] Yuval Fisher. Fractal Image Compression. - IEEE SIGGraph Course Notes, 1992. – 345 p.

[8] С. Уэлстид. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии. Учебное пособ.-М.: Издательство «Триумф»,2003-320с.

[9] Пайтген Х.О., Рихтер П.Х. Красота фракталов. — М.: «Мир», 1993. – 206 с.

[10] Федер Е. Фракталы. — М: «Мир», 1991.-254с.

[11] Локтев А.А., Залетдинов А.В. Использование фракталов в задачах обеспечения информационной безопасности. Вестник ТГУ, т.15, вып.2, 2010 с. 599-604 https://cyberleninka.ru/article/v/ispolzovanie-fraktalov-v-zadachah-obespecheniya-informatsionnoy-bezopasnosti

[12] В.Г. Никонов, А.И. Зобов, О возможности применения фрактальных моделей при построении систем защиты информации, Comp. nanotechnol., 2017, вы- пуск 1, 39–49 http://www.mathnet.ru/links/3fb36567221df2cbc84aa54fa57ce4b0/cn108.pdf

[13] Adeeb Hamdoon Sulaiman, Faiq Sabar Baji. Fractal Based Fragile Watermark Second International Conference on Computer and Electrical Engineering Volume 2 (28-30 Dec 2009), pp:139-143 2009 http://ieeexplore.ieee.org/document/5380203/

[14] Abraham Jun Jiang Lock, Chong Hooi Loh, Siti Hasanah Juhari, Azman Samsudin. Compression-Encryption Based on Fractal Geometric. 2010 Second International Conference on Computer Research and Development (7-10 May 2010) Kuala Lumpur, Malaysia. - pp:213-217 http://ieeexplore.ieee.org/document/5489512/

[15] Samoilenko D. Authentication scheme on fractal sets Ukrainian Information Security Research Journal, 2014. – v. 16, No 1. – pp. 29-33

[16] Шнайер Б. Прикладная криптография.– М.: Триумф, 2002. – 816 с.

[17] Annarita Giani Identification with Zero Knowledge Protocols. Security Essentials - SANS Institute, 2001. https://www.sans.org/reading-room/whitepapers/vpns/identification-zero-knowledge-protocols-719

[18] Gerardo I. Simari A Primer on Zero Knowledge Protocols. Universidad Nacional del Sur - June 27, 2002 http://www.cs.ox.ac.uk/people/gerardo.simari/personal/publications/zkp-simari2002.pdf

[19] Curtis T. McMullen Hausdorff dimension and conformal dynamics III: Computation of dimension http://abel.math.harvard.edu/~ctm/papers/home/text/papers/dimIII/dimIII.pdf

[20] Mitsuhiro Shishikura The hausdorff dimension of the boundary of the mandelbrot set and julia sets. Tokyo Institute of Technology and State University of New York at Stony Brook https://arxiv.org/pdf/math/9201282.pdf

[21] Самойленко Д.М. Вибір парольних параметрів фрактальної схеми автентифікації Материалы IV международной научно-технической конференции «ITSEC»; кафедра безопасности информационных технологий НАУ. - К.: НАУ, 2014 - 178 с.

Метод Порогового Розподілу Секретної Інформації

Микола Дехтяренко
кафедра захисту інформації
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
dekhtiarenko.mykola@gmail.com

Method of Threshold Secret Data Sharing

Mykola Dekhtiarenko
dept. of Information Protection
Vinnytsia National Technical University
Vinnytsia, Ukraine
dekhtiarenko.mykola@gmail.com

***Анотація*—Робота присвячена розробленню математичної моделі ефективного методу розподілу секретної інформації з використанням порогової криптографії.**

***Abstract*— The work is devoted to the development of a mathematical model of an effective method of sharing of sensitive information using threshold cryptography.**

Ключові слова—розподіл секрету; порогова схема

Keywords—sharing secret; threshold scheme

I. Вступ

Інформація має важливе значення в життєдіяльності людства. При цьому вона стає все більш вразливою через зростаючі обсяги збережених даних. Тому все більшу важливість набуває проблема захисту інформації від несанкціонованого доступу під час передавання та зберігання.

Для захисту секретної інформації від втрати і компрометації необхідно підвищити надійність зберігання секретної інформації. Для вирішення поставленої задачі доцільно використовувати системи розподілу секретної інформації, зокрема, системи з використанням порогової криптографії [1, 2].

Наприклад, при пороговій криптографії на стороні відправника конфіденційне повідомлення (секрет) розбивається на декілька частин, які в загальному випадку мають доставлятись отримувачу незалежно одна від одної. При цьому повідомлення може бути відновлено лише за наявності у отримувача порогової кількості його частин. Таким чином, при використанні порогової криптографії зловмисник має скомпрометувати не менше порогової кількості частин повідомлення [3-5].

Слід відзначити, що порогова криптографія вважається однією з найбезпечніших криптосистем і використовується в сучасних рішеннях. Концепція порогової криптографії широко використовується та має різні застосування при побудові сучасних інфокомунікаційних мереж і знаходить реалізацію в технологіях хмарних обчислень, механізмах автентифікації, управління ключами, технології Інтернету речей, мобільних самоорганізованих мережах, сенсорних мережах, електронних цифрових підписах, додатках електронного голосування, візуальній криптографії тощо [4].

Тому актуальною є задача розробки нових методів розподілу секретної інформації, які є більш ефективними, порівняно з відомими, і забезпечують більшу продуктивність, стійкість до зламу та функціональні можливості для різних застосувань.

II. Узагальнений опис методу

Метод розподілу секрету, що пропонується передбачає, що секрет можна представити у вигляді одновимірного масиву байтів:

$$M = \{m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, \ldots, m_s\}$$

де s – кількість елементів масиву.

Розподіл секрету відбуватиметься між *N* учасниками, таким чином, щоб довільні *K* учасників могли відтворити оригінальний масив об'єднавши свої унікальні частини. Таким чином буде реалізована порогова схема розподілу секрету (*k*, *n*), де *n* – кількість часток (рівна кількості учасників), на які буде поділений секрет, а *k* – кількість часток, які потрібні для відновлення секрету.

Для того, щоб після поділу секрет могли відновити тільки *K* учасників, секрет буде поділено на рівні частини за алгоритмом описаним нижче таким чином, щоб у кожного учасника був певний набір частин від загального секрету.

Метод розподілу секрету складається з таких етапів:

- зчитування секрету;
- формування одновимірного масиву *ME* на основі секрету;
- перемішування елементів масиву;
- поділ масиву на n однакових частин;
- формування розподілених частин;
- запис розподілених частин.

Етапи розподілу представлено на рис. 1.

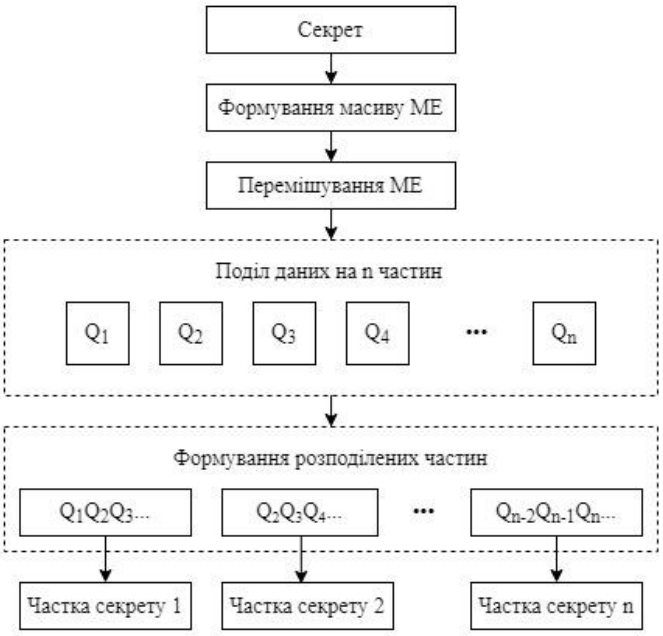


Рис. 1. Етапи розподілу секрету

Метод відновлення секрету зворотний до методу розподілу та складається з таких етапів:

- зчитування частин *k* учасників;
- відновлення;
- відновлення елементів масиву *ME*;
- відновлення порядку елементів масиву *ME*;
- формування секрету з масиву *ME*;
- запис секрету.

Етапи відновлення представлено на рис. 2

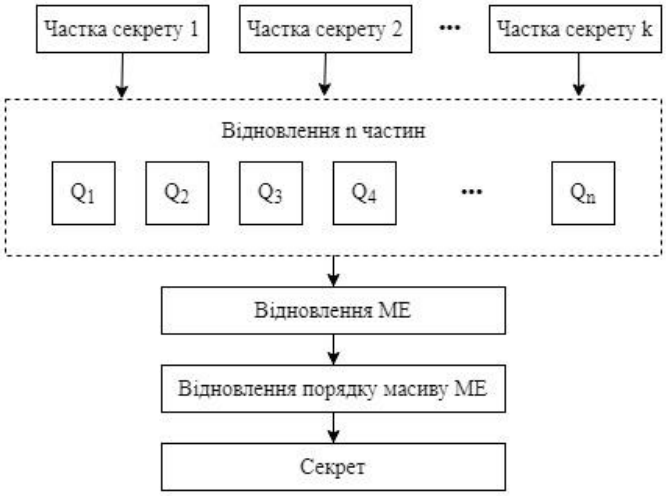


Рис. 2. Етапи відновлення секрету

III. Перемішування вмісту секрету

Першим кроком при розподілі секрету є перемішування вмісту за допомогою перестановок.

Для реалізації перестановки за певним правилом генеруються адреси. Після чого вибирається байт з масиву за вказаною адресою та послідовно записуються в проміжний масив.

Перед записом значення у проміжний масив до нього за модулем 256 додається згорнуте значення адреси. Згортання адреси відбувається додаванням за модулем 256 усіх значень адреси в по-байтному представленні (рис. 3).

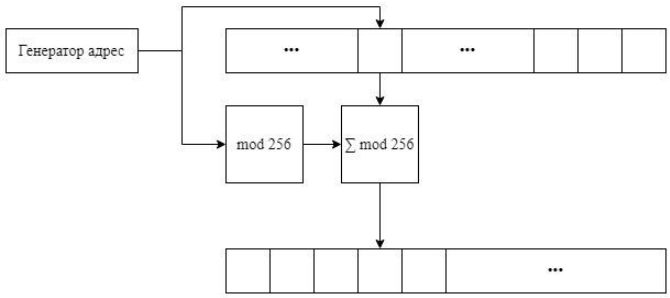


Рис. 3. Схема перестановок вмісту секрету

Для формування адрес використовується генератор псевдовипадкових чисел без повторень в заданому діапазоні з використанням лічильників, кількість лічильників може бути зміною і задається при розподілі секрету [6].

IV. Формування складових учасників

Для формування складових учасників використовуються частини отримані в результаті поділу масиву *ME* на *n* рівних частин $Q = (Q_1, Q_2, Q_3, \ldots, Q_n)$.

Процес формування складових частин передбачає реалізацію таких етапів.

A. *Формування двовимірного масиву*

Формується двовимірний масив $QD_{i \times j}$ де $i = n-(k-1)$, $j = n$.

$$QD = \begin{bmatrix} Q_1 & Q_2 & Q_3 & \cdots & Q_{i-1} & Q_i \\ Q_2 & Q_3 & Q_4 & \cdots & Q_i & Q_1 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Q_i & Q_1 & Q_2 & \cdots & Q_{i-2} & Q_{i-1} \end{bmatrix}$$

Кожний рядок містить частини записані в унікальному не повторюваному порядку.

B. *Додавання сусідніх елементів*

На наступному кроці над кожними двома сусідніми елементами в рядку крім першого, якщо i непарне, та крім першого та другого, якщо i парне здійснюється додавання. Також кожний перший доданок множиться на коефіцієнт $K_{j,m}=1,2,3,\ldots,k$.

Вигляд масиву коли i парне:

$$QE = \begin{bmatrix} Q_1 & Q_2 & K_{3,1} \cdot Q_3 + Q_4 & \cdots & K_{i-1,1} \cdot Q_{i-1} + Q_i \\ Q_2 & Q_3 & K_{4,1} \cdot Q_4 + Q_5 & \cdots & K_{i,1} \cdot Q_i + Q_1 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Q_i & Q_1 & K_{2,m} \cdot Q_2 + Q_3 & \cdots & K_{i-2,m} \cdot Q_{i-2} + Q_{i-1} \end{bmatrix}.$$

Вигляд масиву коли i непарне:

$$QE = \begin{bmatrix} Q_1 & K_{2,1} \cdot Q_2 + Q_3 & \cdots & K_{i-1,1} \cdot Q_{i-1} + Q_i \\ Q_2 & K_{3,1} \cdot Q_3 + Q_4 & \cdots & K_{i,1} \cdot Q_i + Q_1 \\ \cdots & \cdots & & \cdots \\ Q_i & K_{1,m} \cdot Q_1 + Q_2 & \cdots & K_{i-2,m} \cdot Q_{i-2} + Q_{i-1} \end{bmatrix}.$$

C. *Формування складових учасників*

На основі рядків масиву *QE* формуються складові учасників. В результаті буде отримано *n* унікальних частин.

Наприклад, при $n = 7$ та $k = 3$ складові учасників матимуть такий вигляд:

$$QE = \begin{bmatrix} Q_1 & 1 \cdot Q_2 + Q_3 & 1 \cdot Q_4 + Q_5 \\ Q_2 & 1 \cdot Q_3 + Q_4 & 1 \cdot Q_5 + Q_6 \\ Q_3 & 2 \cdot Q_4 + Q_5 & 1 \cdot Q_6 + Q_7 \\ Q_4 & 2 \cdot Q_5 + Q_6 & 1 \cdot Q_7 + Q_1 \\ Q_5 & 2 \cdot Q_6 + Q_7 & 1 \cdot Q_1 + Q_2 \\ Q_6 & 2 \cdot Q_7 + Q_1 & 2 \cdot Q_2 + Q_3 \\ Q_7 & 2 \cdot Q_1 + Q_2 & 2 \cdot Q_3 + Q_4 \end{bmatrix}$$

Для відновлення початкових частин

$$Q = (Q_1, Q_2, Q_3, \ldots, Q_n)$$

коли зберуться k учасників, необхідно розв'язати рівняння маючи відомі частини.

Наприклад, коли зберуться учасники 2, 4 та 7, будуть відомі такі частини:

$$\begin{bmatrix} Q_2 & 1 \cdot Q_3 + Q_4 & 1 \cdot Q_5 + Q_6 \\ Q_4 & 2 \cdot Q_5 + Q_6 & 1 \cdot Q_7 + Q_1 \\ Q_7 & 2 \cdot Q_1 + Q_2 & 2 \cdot Q_3 + Q_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{13} \\ Q_{21} & Q_{22} & Q_{23} \\ Q_{31} & Q_{32} & Q_{33} \end{bmatrix}$$

Відомо три частини Q_2, Q_4, та Q_7. Для того, щоб отримати невідомі частини необхідно виконати такі перетворення:

$$Q_{23} - Q_{31} = Q_1$$
$$Q_{12} - Q_{21} = Q_3$$
$$Q_{22} - Q_{13} = Q_5$$
$$Q_{13} - Q_5 = Q_6$$

V. Висновки

Для забезпечення надійного зберігання та передавання секретної інформації запропоновано метод розподілу секретної інформації, який на відміну від відомих не передбачає використання обчислень над складними математичними об'єктами. Тому він забезпечує високу швидкість розподілу та відновлення секрету за рахунок використання лише операцій додавання та віднімання. Крім того, кожен з учасників розподілу отримує частину секрету, обсяг якої менше за обсяг секретної інформації, що також відрізняє запропонований метод від відомих.

Література References

[1] Петров А. А. Компьютерная безопасность. Криптографические методы защиты. – М.: ДМК, 2000. – 448 с.

[2] Червяков Н. И. Алгебраические и практические аспекты реализации нейросетевой пороговой схемы раделения секрета / Н.И. Червяков [та ін..] // Наука. Инновации. Технологии. – 2014. - № 2(6) – С. 14-26.

[3] Kaur R., Kashmira P., Meena K., Mohapatra A. K. Survey on Different Techniques of Threshold Cryptography. Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE). 2017. P. 114-119.

[4] Venukumar V., Pathari V. A survey of applications of threshold cryptography – proposed and practiced. Information Security Journal: A Global Perspective. 2016. Vol. 25, No. 4-6. P.180-190. DOI: 10.1080/19393555.2016.1251996.

[5] Sarma K.S., Lamkuche H.S., Umamaheswari S. A Review of Secret Sharing Schemes. Research Journal of Information Technology. 2013. Vol. 5. P.67-72. DOI: 10.3923/rjit.2013.67.72.

[6] Горбенко І.С. Метод формування перестановок довільної кількості елементів / Лужецький В.А, Горбенко І.С // Захист інформації, том 15, липень-вересень 2013. – №3. – С. 262-265.

Вибір Джерел Безперебійного Живлення Автоматизованих Систем з Врахуванням Вимог Інформаційної Безпеки

Марина Турти
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
turtym@meta.ua

Selection of Uninterruptible Power Supply Automated Systems with Regard to Information Security Requirements

Marina Turty
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
turtym@meta.ua

***Анотація* — Визначені основні критерії вибору джерел безперебійного живлення (ДБЖ) автоматизованих систем (АС) з врахуванням вимог інформаційної безпеки на основі проведеного аналізу нормативно-правової бази захисту інформації в автоматизованих системах і принципів побудови сучасних ДБЖ. Розроблені алгоритм і структурна схема системи підтримки прийняття рішень (СППР) щодо вибору ДБЖ АС на основі визначених критеріїв.**

***Abstract* — The main criteria for the selection of uninterruptible power supplies (UPS) of automated systems (AS) are determined, taking into account the requirements of information security based on the analysis of the regulatory framework for information protection in automated systems and the principles of modern UPS. The algorithm and structural scheme of the decision support system (DSS) for the selection of UPS UPS based on certain criteria are developed.**

Ключові слова — автоматизована система, джерела безперебійного живлення, система підтримки прийняття рішень, критерії вибору, інформаційна безпека.

Keywords — automated system, uninterruptible power supplies, decision support system, selection criteria, information security.

I. Вступ

В сучасному інформаційному суспільстві неухильно зростає доля автоматизованих і автоматичних технологічних процесів в усіх галузях суспільного життя, і, відповідно, зростає роль захисту інформації в АС її обробки. Часто цілісність і/або доступність інформації порушуються внаслідок втрати електроживлення засобами автоматизації технологічних процесів. Втрата електроживлення, крім того, може спричинити збої в роботі апаратних засобів захисту інформації, внаслідок чого можливе також порушення конфіденційності інформації. Виходячи з цього, розробка надійних засобів підтримки параметрів електроживлення АС в технологічно обумовлених межах є актуальною задачею.

II. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Згідно ДСТУ 2226-93 «Автоматизовані системи. Терміни та визначення» автоматизована система – це організаційно-технічна система, що складається із засобів автоматизації певного виду (чи кількох видів) діяльності людей та персоналу, що здійснює цю діяльність. Для ефективного керівництва організацією і ефективного функціонування будь-якого виробництва необхідно, щоб основою прийняття управлінських рішень була якомога повніша і достовірніша інформація, що може бути досягнуто тільки за допомогою автоматизації захищених інформаційних потоків. Повсякчасно виникають нові методи, засоби та технологій обробки і передавання інформації, що зумовлює необхідність створення нових АС різного функціонального призначення і удосконалення систем захисту інформації (СЗІ).

Серед нормативних документів, які регламентують якість електроживлення АС, можна виокремити

нормативно-правові акти із захисту інформації [7, 8, 10, 15-19, 22-24, 27, 29, 30] і документи, що визначають порядок виробництва, розподілу і оцінювання якості електроенергії [4-6, 11, 25, 26].

ДБЖ призначені для тимчасової підтримки роботи обладнання при аварійному вимиканні електроживлення. Розробці таких пристроїв присвячені праці багатьох вітчизняних і зарубіжних науковців [1-3, 9, 12, 14, 31]. Новітні системи електроживлення керуються за складними законами на основі багатьох поточних і прогнозованих впливових факторів і здебільшого є нечіткими системами штучного інтелекту [1, 3, 31]. На даний час на ринку наявна велика кількість ДБЖ різних виробників, які різняться за схемо-технічними рішеннями та параметрами, тому вибір ДБЖ є складною задачею.

Сайти виробників ДБЖ у переважній більшості містять прості калькулятори визначення необхідної потужності ДБЖ і не дозволяють оцінити прогнозовані наслідки застосування обраних ДБЖ для конкретної АС.

III. Мета і задачі дослідження

Метою даної роботи є розробка структурної схеми СППР щодо вибору ДБЖ АС з врахуванням вимог інформаційної безпеки.

Для досягнення поставленої мети необхідно проаналізувати нормативно-правові основи захисту інформації в АС і визначити вимоги до ДБЖ АС з точки зору захисту інформації; проаналізувати принципи побудови сучасних ДБЖ, визначити основні критерії їх вибору; розробити структурну схему СППР щодо вибору ДБЖ АС на основі визначених критеріїв.

IV. Визначення вимог до ДБЖ АС з точки зору інформаційної безпеки

Класифікація АС може проводитися за різноманітними ознаками, частина яких походить [21] з теорії автоматизованих систем (критерії 1-8), а інша частина (критерії 9-16) – з галузі інформаційної безпеки:

1. За рівнем/сферою діяльності: державні, регіональні, галузеві, підприємств, технологічних процесів.

2. За рівнем автоматизації процесів управління: СППР, інформаційно-пошукові / керівні/довідкові, інтелектуальні, експериментальні тощо.

3. За призначенням або особливістю об’єктів управління: адміністративні, виробничо-технічні, соціальні, транспортні тощо. За класифікацією академіка В.М. Глушкова: АС керування технологічними процесами і АС організаційного управління.

4. За ступенем централізації обробки інформації: централізовані, децентралізовані, колективні.

5. За характером керованого виробничого процесу: для виробництва з дискретним, з неперервним чи з неперервно-дискретним процесом.

6. За ступенем інтеграції функцій: багаторівневі з інтеграцією за рівнями планування та за рівнями управління; комплексні (інтеграція з відмінними задачами).

7. За сферою застосування: АС керування підприємством чи технологічним процесом, АС наукових досліджень, АС проектування.

8. За характером об’єкта управління: АС технологічної підготовки виробництва, транспортно-складська АС, АС адміністративної діяльності, АС документообігу, АС контролю і випробувань, інформаційно-пошукова АС, АС керування службами життєзабезпечення, системи електронних комунікацій тощо.

9. За кількістю користувачів: одно користувацькі і багатокористувацькі.

10. За кількістю користувачів і політикою безпеки [17]: АС першого, другого і третього класу.

11. За ступенем захищеності («Помаранчева книга») - чотири групи, що відповідають різному ступеню захищеності: від мінімальної (група D) до формально доведеної (група А). Кожна група включає один чи кілька класів.

12. За грифом секретності інформації, що циркулює в АС: "особливої важливості", "цілком таємно", "таємно" (Закон України «Про державну таємницю»).

13. За режимом доступу до інформації, що циркулює в АС: інформація вільного доступу (публічна інформація) і інформація обмеженого доступу (конфіденційна, таємна, службова) (Закон України «Про доступ до публічної інформації»).

14. За видом таємниць, що містяться в інформації, яка циркулює в АС – державна таємниця, лікарська таємниця, нотаріальна таємниця тощо. Існує біля тридцяти видів таємниць, які в Україні охороняються законом, і за порушення яких особа несе відповідальність за Кримінальним кодексом України, Цивільним кодексом України, і які враховуються в Цивільному процесуальному кодексі України в тому числі при обробці справ у судових автоматизованих системах.

15. За типами суб’єктів, які безпосередньо здійснюють у межах своєї компетенції заходи із забезпечення кібербезпеки в АС і визначені у Законі України «При основні засади забезпечення кібербезпеки України» [7]: міністерства та інші центральні органи виконавчої влади; місцеві державні адміністрації; органи місцевого самоврядування; правоохоронні, розвідувальні і контррозвідувальні органи, суб’єкти оперативно-розшукової діяльності; Збройні Сили України; Національний банк України (НБУ); підприємства, установи та організації, віднесені до об’єктів критичної інфраструктури; суб’єкти господарювання, громадяни України та об’єднання громадян, інші особи, які провадять діяльність та/або надають послуги, пов’язані з національними інформаційними ресурсами, інформаційними електронними послугами, захистом інформації та кіберзахистом. Кожна особа має право на приватність особистого життя і право на захист персональних даних (крім права на захист таємниць, що захищаються державою), тобто в АС мають бути вжиті заходи щодо забезпечення конфіденційності такої інформації.

16. За критичністю середовища функціонування АС і критичністю наслідків збоїв у роботі АС: АС може функціонувати на об’єкті критичної інфраструктури і належати/не належати до критичної інформаційної інфраструктури [7].

В НД ТЗІ 2.5-005-99 [17] наведено деякі рекомендовані профілі захищеності в залежності від призначення АС: для комп’ютерних систем (КС), що входять до складу довідково-пошукових систем і АС, призначених для автоматизації діяльності органів державної влади, автоматизації банківської діяльності (враховано, що банківські АС, як правило, є розподіленими, тобто відносяться до класу 3), для керування технологічними процесами (враховано, що керування технологічними процесами здійснюється в рамках локальної мережі.

При оцінюванні спроможності КС забезпечувати захист оброблюваної інформації від несанкціонованого доступу розглядаються вимоги до функцій захисту (послуг безпеки) і вимоги до гарантій.

Функціональні критерії розбиті на чотири групи, кожна з яких описує вимоги до послуг, що забезпечують захист від загроз одного із чотирьох основних типів:

- критерії конфіденційності – комплекс засобів захисту (КЗЗ) повинен надавати послуги із захисту об'єктів від несанкціонованого ознайомлення з їх змістом (компрометації). В [16] ця група критеріїв не пов’язана безпосередньо із якістю електроживлення, хоча збої в системі живлення апаратно-програмних складових КЗЗ, що реалізують процедури розмежування доступу, можуть привести до помилок в роботі або до тимчасової втрати працездатності таких засобів, і, відповідно до порушення конфіденційності інформації;
- критерії цілісності - КЗЗ повинен надавати послуги із захисту оброблюваної інформації від несанкціонованої модифікації. В [16] ця група критеріїв розглядається в контексті розподілу прав на управління інформаційними потоками і також безпосередньо не пов’язана із якістю електроживлення. Однак, збої в системі живлення апаратно-програмних складових АС в процесі запису і видалення інформації можуть де-факто привести до порушення цілісності інформації;
- критерії доступності - КЗЗ оцінюваної повинен надавати послуги щодо забезпечення можливості використання системи в цілому, окремих функцій або оброблюваної інформації на певному проміжку часу і гарантувати спроможність комп’ютерної системи функціонувати у випадку відмови її компонентів. Доступність може забезпечуватися такими послугами як використання ресурсів, стійкість до відмов, гаряча заміна, відновлення після збоїв. Останні три послуги безпосередньо пов’язані із гарантованою якістю електроживлення;
- критерії спостереженості - КЗЗ повинен надавати послуги із забезпечення відповідальності користувача за свої дії і з підтримки спроможності КЗЗ виконувати свої функції. Спостереженість забезпечується наступними послугами: реєстрація (аудит), ідентифікація і автентифікація, достовірний канал, розподіл обов'язків, цілісність КЗЗ, самотестування, ідентифікація і автентифікація при обміні, автентифікація відправника, автентифікація отримувача. Самотестування КЗЗ може передбачати контроль якості електроживлення.

Критерії гарантій включають вимоги до архітектури КЗЗ, середовища розробки, послідовності розробки, середовища функціонування, документації і випробувань КЗЗ. Однією із вимог гарантій коректності середовища розробки є «Розробник повинен розробити, запровадити і підтримувати в робочому стані документально оформлені методики забезпечення фізичної, технічної, організаційної і кадрової безпеки». Ця вимога має задовольнятися для 4-7 рівнів гарантій. Крім того, для 6 і 7 рівнів гарантій «Повинна використовуватися система заходів технічної, фізичної, організаційної і кадрової безпеки, спрямованих на захист усіх засобів і матеріалів, використовуваних для генерації КЗЗ, від несанкціонованої модифікації або руйнування».

Згідно [18] однією з вимог щодо захисту службової інформації від несанкціонованого доступу під час оброблення в АС класу 2 є комплектація АС «необхідними засобами енергозабезпечення, сигналізації, зв’язку, допоміжними технічними засобами, іншими системами життєзабезпечення». При цьому повинні гарантуватися стійкість АС до відмов (відмова одного захищеного компонента не повинна призводити до недоступності всіх послуг і, в гіршому випадку, має виявлятися в погіршенні характеристик обслуговування користувачів) та можливість проведення заміни окремих її компонентів з одночасним збереженням доступності до окремих компонентів АС або до АС в цілому.

Політика відновлення після збоїв, що реалізується КЗЗ web-сторінок за [19] на рівні ДВ-1, стосується: системного та функціонального програмного забезпечення; засобів захисту інформації та засобів управління комплексною системою захисту інформації (КСЗІ); засобів адміністрування та управління обчислювальною системою АС – і гарантує повернення АС у відомий захищений стан після відмов або переривання обслуговування без порушення політики безпеки. Повернення АС з режиму, що визначається погіршеними характеристиками обслуговування, в нормальний режим повинно здійснюватися за допомогою ручних (не автоматизованих) процедур.

Положення про службу захисту інформації в АС [15] повинне враховувати можливість дезорганізації роботи АС (окремих компонентів) або виведення її з ладу, проникнення в систему і одержання можливості несанкціонованого доступу до її ресурсів внаслідок порушення фізичної цілісності АС (окремих компонентів,

пристроїв, обладнання, носіїв інформації); порушення режимів функціонування (виведення з ладу) систем життєзабезпечення АС (електроживлення, уземлення, охоронної сигналізації, вентиляції та ін.); порушення режимів функціонування АС (обладнання і програмного забезпечення). Під час розгляду різних варіантів реалізації КСЗІ рекомендується враховувати відновлення роботи АС після збоїв, відмов, особливо для систем із підвищеними вимогами до доступності інформації і забезпечення функціонування засобів контролю, у тому числі засобів виявлення технічних каналів витоку інформації. При плануванні відновлювальних робіт рекомендується виявити критичні з точки зору безпеки процеси у роботі АС, визначити можливі негативні наслідки надзвичайних ситуацій для роботи АС, підготувати персонал до відповідних дій щодо улагодження інцидента, щодо резервування і відновлення.

Стратегія кібербезпеки України [29] серед пріоритетів та напрямів забезпечення кібербезпеки України визначає, що розвиток безпечного, стабільного і надійного кіберпростору має полягати, зокрема, у забезпеченні апаратної, контентної безпеки, безпеки додатків та сервісів зв'язку.

У Переліку базових вимог із забезпечення кіберзахисту об’єктів критичної інфраструктури від 19 червня 2019 року [27], пунктом 7 для забезпечення «доступності та відмовостійкості компонентів та інформаційних ресурсів об’єкта критичної інформаційної інфраструктури» зазначено «використання джерел безперебійного живлення для критичних компонентів об’єкта».

Крім загальнодержавних вимог щодо безперервності електроживлення існують галузеві вимоги. Наприклад, згідно статті 38 Закону України «Про платіжні системи та переказ коштів в Україні» [8] СЗІ «повинна забезпечувати безперервний захист інформації щодо переказу коштів на усіх етапах її формування, обробки, передачі та зберігання».

Згідно «Положення про захист електронних банківських документів з використанням засобів захисту інформації Національного банку України» [22] технологічні засоби контролю конфіденційності та цілісності інформації, «вбудовані в програмно-технічні комплекси системи електронних платежів, не можуть бути відключені». Особливу важливість гарантованого електроживлення підкреслено у Листі №25-211/2428-17415 від 07.10.2010 Департаменту платіжних систем Національного Банку України (НБУ) «Щодо належного забезпечення системами електроживлення та кондиціонування серверних приміщень» [30]. Банк зобов'язаний забезпечити технічні засоби АС і телекомунікаційної системи банку «відповідними засобами безперебійного (UPS) та/або резервного (дизель-генератор тощо) живлення». Банки повинні самостійно, враховуючи власні потреби та можливості, забезпечити безперебійну роботу інформаційних систем, як банку, так і своїх філій. Зокрема, «рішення щодо наявності та потужності резервних джерел електроживлення мають визначатися з огляду на те, наскільки важливим банк вважає продовження роботи в даний банківський день у разі зникнення електроживлення».

V. Аналіз вимог до якості електроживлення АС

Електрична мережа, що є головним джерелом енергії для більшості АС, промислового устаткування і побутових приладів має певні особливості, зокрема: електроенергія виробляється електростанціями, об‘єднаними в єдину енергосистему; якість електроживлення повинна відповідати ДСТУ і ДБН України; споживачі використовують як трифазну напругу (потужне устаткування), так і однофазну (ЕОМ, побутові прилади, офісна техніка); підмикання/відключення споживачів спричиняють збільшення/ зменшення струму (навантаження) в мережі і, відповідно спадання/зростання напруги; регулювання частоти здійснюється на електростанціях, а регулювання напруги - на підстанціях; між регіональними енергосистемами існують відмінності у номінальних значеннях параметрів електроенергії і у відхиленнях від них.

Кодекс систем розподілу [11] визначає вимоги та правила, які регулюють взаємовідносини операторів систем розподілу (ОСР) електроенергії, оператора системи передачі, користувачів системи розподілу та замовників послуг. ОСР повинен дотримуватися затверджених показників якості електропостачання, які характеризують рівень надійності (безперервності) електропостачання, комерційної якості надання послуг з розподілу електричної енергії та якості електричної енергії.

Вимірювання параметрів якості електричної енергії здійснюється відповідно до ДСТУ IEC 61000-4-30:2010. Вимоги до параметрів якості електричної енергії визначені у розділі XI Кодексу систем розподілу [11].

Надійність електропостачання споживача оцінюється за індексом середньої тривалості довгих перерв в електропостачанні, індексами середньої частоти довгих і коротких перерв в електропостачанні, обсягом недовідпущеної електроенергії.

Якість електричної енергії характеризується фізичними параметрами поставленої споживачу електричної енергії та їх відповідністю встановленому стандарту [4]. Стандартна номінальна напруга U_n для мереж низької напруги загального призначення має значення 220 В між фазним і нульовим проводом або для трифазних трипровідних мереж між фазними проводами. Частота для мереж низької напруги має бути, наприклад для систем, які синхронно приєднані до об’єднаної енергосистеми України - 50 Гц ± 1% протягом 99,5% часу за рік та 50 Гц ± 4 % (6 %) протягом 100% часу. Для систем, які не приєднані до об’єднаної енергосистеми України, 99,5% часу припустимі коливання частоти 2%, а 100% часу – 15%. Показник довготривалого флікера (мерехтіння), спричиненого коливанням напруги, для мереж низької напруги має бути меншим або рівним 1 для 95% часу спостереження. Сумарний коефіцієнт гармонічних спотворень напруги електропостачання, ураховуючи всі гармоніки до 40-ї включно, для мереж низької напруги має бути не більшим за 8 %.

ДБЖ, що відповідає ДСТУ *IEC* 62040-3 [5], має бути розраховане на роботу за номінальних умов на висоті до 1000 м включно над рівнем моря. Виробник може

установити за запитом необхідні зменшення номінальних параметрів для застосування на висоті понад 1000 м.

Вимоги до електропостачання об'єктів цивільного призначення визначені в ДБН В.2.5-23:2010, Правилах улаштування електроустановок (ПУЕ) [26], НПАОП 40.1-1.32, ДСТУ-Н Б В.2.5-37:2008 [6], ДСТУ IEC 62040-3:2004 [5], Правилах технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС) [25] та вимогами інших чинних нормативних документів. Захисні заходи електробезпеки ДБЖ (в тому числі заземлення і захист від блискавок) слід передбачати згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.5-82:2016, ПУЕ [26], ДСТУ EN 62305:2012. Спеціальні вимоги для висотних будинків встановлені ДБН В.2.2-41:2019.

Вимоги до електропостачання визначаються характером споживачів електроенергії. До першої категорії відносять споживачів, переривання електропостачання яких пов'язане із загрозою життя людей, суттєвими економічними збитками, пошкодженням обладнання, масовим браком продукції, розладом складного технологічного процесу, порушенням роботи особливо важливих елементів міського господарства. До другої категорії відносять споживачів, перерва в електропостачанні яких пов'язана з масовим недовипуском продукції, простоями, порушенням нормальної діяльності значної кількості населення. Третя категорія містить всі інші невідповідальні навантаження.

Електропостачання приймачів I категорії надійності повинне здійснюватися за двома взаєморезервованими лініями, які підключені до різних незалежних джерел живлення. Першим джерелом живлення є електромережа, в другим можуть бути, наприклад, агрегати безперебійного живлення (АБЖ), акумуляторні батареї (АБ), дизельні електростанції (ДЕС). Обов'язковою є вимога автоматичне включення резерву на стороні 0,4 кВ.

Для електроприймачів особливої групи I категорії надійності необхідно передбачити додаткове живлення від третього незалежного взаєморезервованого джерела живлення, що забезпечує електропостачання визначеної тривалості. Таким джерелом живлення також можуть бути ДЕС, АБЖ, АБ.

Одержання необхідної надійності та якості живлення локальних обчислюваних систем, систем передачі інформації, електронної пошти тощо вирішується шляхом використанням АБЖ певної конфігурації, ДЕС і відповідної побудови силової розподільної мережі.

Електропостачання приймачів II категорії надійності також рекомендується здійснювати від двох незалежних взаєморезервованих джерел, але допускається перерва в електропостачанні на час, необхідний для вмикання резервного живлення черговим персоналом чи виїзною оперативною бригадою.

Електропостачання приймачів III категорії надійності може здійснюватись від одного джерела живлення за умови, що перерва в електропостачанні, яка необхідна для ремонту і заміни пошкодженого елемента системи електропостачання, не перевищує однієї доби.

Електроприймачі критичної групи (ЕКГ) – особливо чутливі до якості електроенергії електроприймачі будівлі чи споруди, які забезпечують інформаційний, обчислювальний чи технологічний процес, переривання якого неприпустимо, загрожує життєдіяльності людей, втраті важковідновлюваної інформації, які потребують захисту від будь-яких неполадок живлення тривалістю більше 20 мс. В залежності від умов роботи можуть застосуватися:

- ЕКГ з неперервним режимом роботи – електроприймачі, які функціонують безперервно чи протягом часу, більшого ніж інтервал між двома планово-попереджувальними роботами на джерелах живлення, а збій у роботі призводить до фінансових втрат, що перевищують 3000 оподатковуваних мінімумів;
- ЕКГ з обмеженим режимом роботи– електроприймачі, які функціонують не безперервно чи протягом часу, меншого ніж інтервал між двома планово-попереджувальними роботами на джерелах живлення, а збій у роботі призводить до фінансових втрат, що не перевищують 3000 оподатковуваних мінімумів.

Таким чином, для кожної АС існують окремі вимоги щодо безперебійності електроживлення, які можуть задовольнятися різними методами, однак всі АС мають відповідати загальним вимогам.

VI. Аналіз принципів побудови сучасних ДБЖ

Системи безперебійного електроживлення вирішують такі завдання [28]:

- незалежність обладнання від якості мережі електроживлення. Системи безперебійного електроживлення забезпечують безперервну роботу з гарантованими показниками якості;
- незалежність обладнання від короткочасних перерв у подачі електроенергії. Стрибки напруги, яка живить електромережу, призводять до короткочасного знеструмлення обладнання, його перезавантаження (а для устаткування з ручним запуском – відключення). Це не тільки може негативно позначитися на функціонуванні обладнання, але і вимагає тимчасових витрат на запуск/вихід на робочий режим;
- забезпечення достатнього часу для «м'якого» вимикання обладнання. Раптове відключення устаткування через відхилення напруги в електромережі призводить до втрати інформації, що оброблялася в цей момент, до помилок у масивах даних, некоректної роботи жорстких дисків. Для уникнення таких наслідків застосовують джерела безперебійного живлення з необхідним часом автономної роботи для штатного завершення робіт всього критичного обладнання. При цьому сигнал про необхідність «м'якого» вимикання подає саме ДБЖ;

- повідомлення про зміну параметрів електромережі або її відключення. Сучасні ДБЖ дозволяють контролювати параметри як вхідної, так і вихідної електромережі, а при порушенні норм, сповіщати за допомогою e-mail, SMS, SMTP. У такому випадку є можливість оперативно відреагувати і мінімізувати можливі витрати;
- розподіл електроживлення і управління ним до рівня розетки. Для підключення більшої кількості обладнання (ДБЖ має обмежену кількість вихідних роз'ємів/розеток), використовують блоки розподілу електроживлення (PDU – Power Distribution Unit). Це дозволяє застосовувати одне ДБЖ для двох-трьох стійок, а при системах високої потужності – всього машинного залу, вести спожитої енергії та дистанційно управляти окремими розетками або їх групами;
- забезпечення працездатності при довгостроковому відключенні зовнішнього електроживлення. Для ряду бізнес сервісів (наприклад, кол-центр, хостинг, базові станції, дата-центр та ін.) необхідна безперервна працездатність обладнання, а отже, і безперебійна подача електроживлення. У випадках відключення напруги в електромережі обладнання переводять на інші джерела електроенергії, такі як АБ великої ємності, генераторні установки.

Для забезпечення безперебійного електроживлення АС можуть застосовуватися [28]:

- мережеві фільтри (як окремі пристрої або складова ДБЖ);
- стабілізатори напруги;
- ДБЖ, що забезпечують перемикання з зовнішньої лінії на внутрішні запаси електроенергії (АБ) у разі зникнення напруги вхідної лінії або виходу за допустимі межі її параметрів протягом певного часу, що залежить від ємності АБ і споживаної потужності;
- АБЖ – поєднання перетворювачів, перемикачів і засобів накопичення енергії (наприклад, АБ), що входять до складу системи живлення, для забезпечення безперебійного електропостачання у випадку порушення електропостачання;
- блоки розподілу живлення - допоміжне обладнання, що дозволяє вести розподіл і облік електроенергії, дистанційно керувати розетками;
- генераторні установки, які виробляють електроенергію за допомогою спалювання палива (дизпаливо/бензин/газ). Застосовуються як резервне джерело електроенергії для забезпечення безперервної роботи тривалий час;
- система гарантованого електропостачання (СГЕ) – набір функціональних пристроїв і схемних рішень, призначених для забезпечення безперебійним і якісним електроживленням відповідальних струмоприймачів особливої групи 1 категорії.

VII. Критерії, алгоритм і структурну схему СППР вибору ДБЖ АС

Пропонується до реалізації СППР щодо вибору ДБЖ АС із структурною схемою рис.1, яка містить:

- блоки нормативних документів і бібліотеки обладнання: блок нормативних документів, блок нормованих параметрів мережі електроживлення, бібліотека ДБЖ, бібліотека типів і властивостей ДБЖ;
- блок зовнішніх динамічних даних: блок статистичних даних про параметри мережі електроживлення;
- функціональні блоки: блок обчислення показників якості електроживлення, блок обчислення показників якості постачання електроенергії, Блок аргументації необхідності ДБЖ, блок обчислення основних критеріїв вибору ДБЖ, блок визначення критеріїв вибору ДБЖ користувачем, блок вибору ДБЖ методом ієрархічних потоків [13], блок візуалізації висновків.

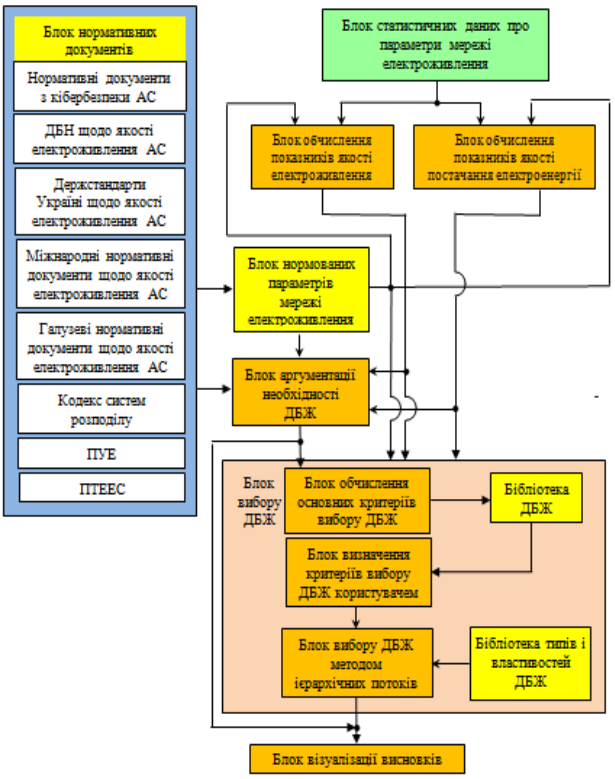


Рис.1 Узагальнена структурна схема СППР

Розроблювана СППР є настільною СППР, призначеною для розв'язку слабко структурованих задач згідно дескриптивної моделі.

Адміністратор СППР має повний доступ до всіх блоків, окрім блоку зовнішніх динамічних даних, який він не може модифікувати, а користувач має право переглядати блоки першого типу першого типу і в режимі діалогу вводити дані в блоки третього типу.

Необхідність застосування ДБЖ може бути наперед визначена, тоді вона не вимагає доведення. В іншому разі постає задача аргументації використання ДБЖ. На початку роботи потрібно отримати від користувача відповіді на ряд питань, за якими автоматично робиться висновок - аргументація необхідності ДБЖ за нормативними документами.

До переліку основних критеріїв вибору ДБЖ включаємо напругу, потужність і час резервування, від якого залежить ємність та розмір акумуляторних батарей. Крім того, з точки зору користувача можуть бути важливими:

- верхній і нижній пороги вхідної напруги, при яких ДБЖ переходить на живлення від АБ;
- стабільність вихідної напруги (визначається як припустиме значення статичної і динамічної нестабільності вихідної напруги ДБЖ);
- вихідний номінальний струм ДБЖ – середньоквадратичне значення струму, яке можуть забезпечити вихідні ланцюги ДБЖ за умови їх 100% -го завантаження в кВА з нормованим коефіцієнтом потужності і при номінальному значенні вихідної напруги;
- діапазон частот ДБЖ – допустиме відхилення вхідної або вихідної частоти ДБЖ від номінального значення в сталому стані;
- необхідність фільтрації і видалення викидів при живленні навантаження від мережі. Забезпечується режимом by-pass лише для ДБЖ on-line класу VFI і дозволяє підвищити надійність та уникнути застосування ДБЖ більшої, ніж це необхідно, потужності;
- вимоги до форми вихідної напруги ДБЖ;
- наявність «холодного» чи «м'якого» старту ДБЖ;
- швидкість спрацьовування під час перемикання на резервне живлення;
- хрест-фактор - показник, що характеризує здатність ДБЖ живити нелінійне навантаження, споживаюче імпульсний струм. Визначається як відношення максимальної амплітуди імпульсного струму в нелінійному навантаженні до амплітуди струму гармонійної форми при еквівалентній споживаній потужності;
- відсутність впливу ДБЖ мережу живлення та електромагнітна сумісність з іншим обладнанням;
- термокомпенсаційний заряд батареї ДБЖ;
- підвищені вимоги до ККД, надійності, впливу на довкілля;
- рівень шуму;
- наявність спеціальних мікропроцесорів для керування автоматичним збереженням інформації, звукової і світлової сигналізації, цифрової індикації;
- масогабаритні показники, кількість гнізд; зручність розташування кнопок на передній панелі; можливість мобільно переміщати ДБЖ на інше місце; розташування в стійці; гарний дизайн
- терміни гарантійного обслуговування і служби.

Вибір ДБЖ здійснюється за наступним алгоритмом.

Етап 1. Визначення необхідності застосування ДБЖ за нормативно-правовими документами.

Етап 2. Визначення необхідності застосування ДБЖ з міркувань забезпечення якості електроживлення.

Етап 3. Визначення критеріїв вибору ДБЖ: формування переліку критеріїв вибору ДБЖ у вигляді двох груп: обов'язкові критерії і критерії споживача; оцінювання пріоритетів критеріїв споживача за методом аналізу ієрархій і отримання вектору пріоритетів критеріїв користувача для вибору ДБЖ АС; коригування (в разі необхідності) складу групи критеріїв споживача – видалення критеріїв з малими пріоритетами.

Етап 4. Вибір ДБЖ.

Крок 4.1. Вибір ДБЖ, що задовольняють всім обов'язковим критеріям. В разі відсутності таких ДБЖ – визначення найближчих за обов'язковими критеріями ДБЖ, наявних в базі, у кількості L, узгодженій у діалозі з користувачем, за методом ієрархічних потоків і перехід до Етапу 6.

Крок 4.2. Вибір серед ДБЖ, обраних на кроці 4.1, ДБЖ, які задовольняють групі критеріїв користувача, сформованій на кроці 3.3 з врахуванням пріоритетів критеріїв.

Крок 4.3. Формування списку рекомендованих ДБЖ за спаданням їх пріоритетів відповідності критеріям вибору користувача. Довжина списку Q узгоджується у діалозі із користувачем. Перехід до Етапу 6.

Етап 5. Аналіз результатів і вибір (якщо це необхідно і можливо) засобів поліпшення якості електроживлення.

Етап 6. Візуалізація результатів вибору ДБЖ, гарантованих показників якості електроживлення та їх впливу на складові систем обробки та захисту інформації.

VIII. Висновки

В даній роботі проведено аналіз нормативно-правової бази захисту інформації в автоматизованих системах і принципів побудови сучасних ДБЖ, на основі чого визначені основні критерії вибору ДБЖ з врахуванням вимог інформаційної безпеки та розроблена структурна схема СППР щодо вибору ДБЖ АС на основі визначених критеріїв.

Література References

[1] M. Aragüés-Peñalba, T.L. Nguyen, R. Caire, A. Sumper, S. Galceran-Arellano, T. Tran-Quoc, "General form of consensus optimization for distributed OPF in HVAC-VSC-HVDC systems", International Journal of Electrical Power & Energy, vol.121, 2020 [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142061519337639.

[2] R. Villafáfila, A. Sumper, D. Montesinos-Miracle, A. Sudrià-Andreu, E. Jaureguialzo, D. Jerez “Selection criteria of high-power static Uninterruptible Power Supplies” in *Electrical Power Quality and Utilisation*: 9th International conference: EPQU 2007; Barcelona, Spain, pp. 1-5, 2007, doi: 10.1109/EPQU.2007.4424196. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/4424196.

[3] “De zberihaty “sertse” biznesu: plyusy i minusy rozmishchennya servernoho ustatkuvannya v komertsiynomu data-tsentri”. [Online]. Available: https://gigacenter.ua/ua/ news/ gde-xranit-serdce-biznesa-plyusy-i-minusy-razmeshheniya-servernogo-oborudovaniya - v-kommercheskom-data-centre/.

[4] DSTU EN 50160:2014 “Kharakterystyky napruhy elektropostachannya v elektrychnykh merezhakh zahal′noho pryznachennya”. [Online]. Available: http://online.budstandart. com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=55159.

[5] DSTU IES 62040-3:2004 “Ahrehaty bezperebiynoho zhyvlennya. Chastyna 3. Zahal′ni tekhnichni vymohy Metody vyprobovuvannya”. [Online]. Available: http://online. budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=30137.

[6] DSTU-N B V.2.5-37:2008 “Nastanova z proektuvannya, montuvannya ta ekspluatatsiyi avtomatyzovanykh system monitorynhu ta upravlinnya budivlyamy i sporudamy”. [Online]. Available: http://online. budstandart. com/ua/catalog/doc-page?id_doc =40028.

[7] Zakon Ukrayiny «Pro osnovni zasady zabezpechennya kiberbezpeky Ukrayiny». [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19.

[8] Zakon Ukrayiny «Pro platizhni systemy ta perekaz koshtiv v Ukrayini». [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2346-14.

[9] V.M. Zapal′s′kyy, “Avtomatyzatsiya pidvyshchennya yakosti elektroenerhiyi v avtonomnykh elektroenerhetychnykh systemakh z napivprovidnykovymy peretvoryuvachamy”, Dys…. kand. tekhn. nauk za spets. 05. 13. 07 – avtomatyzatsiya protsesiv upravlinnya, Kherson, Khersons′kyy Natsional′nyy tekhnichnyy universytet, 221 p., 2017. [Online]. Available: http://kntu.net.ua/ukr/content/download/ 51537/ 304070/file/%D0%94%D0%B8%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82 %D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F.pdf.

[10] Instruktsiya pro mizhbankivs′kyy perekaz koshtiv v Ukrayini v natsional′niy valyuti», zatverdzhena Postanovoyu Pravlinnya NBU 16.08.2006 № 320 (redaktsiya vid 13.01.2020). [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1035-06#n15.

[11] Kodeks system rozpodilu, zatverdzhenyy Postanovoyu Natsional′noyi Komisiyi, shcho zdiysnyuye derzhavne rehulyuvannya u sferakh enerhetyky ta komunal′nykh posluh № 310 14.03.2018 (iz zminamy, vnesenymy z·hidno z Postanovoyu № 2595 vid 03.12.2019). [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/ v0310874-18.

[12] V.G. Kostikov, Ye.M. Parfenov, V.A. Shakhnov, “Istochniki elektropitaniya elektronnykh sredstv. Skhemotekhnika i konstruirovaniye”, Moscow, Russia, Goryachaya liniya – Telekom, 344 p., 2001.

[13] V.YA. Kutkovets′kyy, “Metod iyerarkhichnykh potokiv”, *Naukovi pratsi. Tekhnolohiyi*, Mykolayiv, Ukraine, Vyd-vo CHDU im. Petra Mohyly, vol. 237, issue 225, pp.50-57, 2014.

[14] A.A. Lopukhin, “Dzherela bezperebiynoho zhyvlennya bez sekretiv”. [Online]. Available: https://www.twirpx.com/file/42131/.

[15] ND TZI 1.4-001-2000 “Typove polozhennya pro sluzhbu zakhystu informatsiyi v avtomatyzovaniy systemi”. [Online]. Available: http://www.dsszzi.gov.ua/dsszzi/control/uk/publish/article;jsessionid=9082A42798BC38188D392292242BFBA2?showHidden=1&art_id=102122&cat_id=46556&ctime=1344502595077.

[16] ND TZI 2.5-004-99 “Kryteriyi otsinky zakhyshchenosti informatsiyi v komp″yuternykh systemakh vid nesanktsionovanoho dostupu”. [Online]. Available: http://www.dsszzi. gov.ua/dsszzi/doccatalog/document?id=106342.

[17] ND TZI 2.5-005-99 “Klasyfikatsiya avtomatyzovanykh system i standartni funktsional′ni profili zakhyshchenosti obroblyuvanoyi informatsiyi vid nesanktsionovanoho dostupu”. [Online]. Available: http://dstszi.kmu.gov.ua/dstszi/control/uk/ publish/ article; jsessionid=afd6198c23cb1f96abafd7189bbdce03?showhidden=1&art_id=101870&cat_id=89734&ctime=1344501089407.

[18] ND TZI 2.5-008-02 “Vymohy iz zakhystu konfidentsiynoyi informatsiyi vid nesanktsionovanoho dostupu pid chas obroblennya v avtomatyzovanykh systemakh klasu 2”. [Online]. Available: http://info-stand.com/nb-ukraine/by-type/nd-tzi/22-ndtzi25-008-02.html.

[19] ND TZI 2.5-010-03 “Vymohy do zakhystu informatsiyi WEB – storinky vid nesanktsionovanoho dostupu”. [Online]. Available: http://dstszi. kmu.gov.ua/dstszi/doccatalog/ document?id=106344.

[20] “Osnovnyye elektricheskiye parametry IBP”. [Online]. Available: https://www.ups-info.ru/for_partners/library/istochniki_bespereboynogo_pitaniya_bez_sekretov/osnovnee_ilektricheskie_parametre_ibp/.

[21] I.A. Pil′kevych, K.V. Molodets′ka, I.I. Suhonyak, N.M. Lobanchykova, “Osnovy pobudovy avtomatyzovanykh system upravlinnya. Navch. posibnyk”. Zhytomyr, vyd-vo ZHDU im. I. Franka, 2014, 174 p.

[22] “Polozhennya pro zakhyst elektronnykh bankivs′kykh dokumentiv z vykorystannyam zasobiv zakhystu informatsiyi NBU”, zatverdzhene Postanovoyu Pravlinnya NBU № 829 vid 26.11.2015 «Pro zatverdzhennya normatyvno-pravovykh aktiv z pytan′ informatsiynoyi bezpeky». [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/ v0829500-15?find=1&text=%D0%B6%D0%B8%D0%B2%D0%BB#w11.

[23] “Polozhennya pro poryadok perevirky stanu informatsiynoyi bezpeky v bankivs′kykh ta inshykh ustanovakh, yaki vykorystovuyut′ zasoby zakhystu informatsiyi NBU”, zatverdzhene Postanovoyu Pravlinnya NBU № 829 vid 26.11.2015 «Pro zatverdzhennya normatyvno-pravovykh aktiv z pytan′ informatsiynoyi bezpeky». [Online]. Available: https://zakon. rada.gov.ua /laws/show/v0829500-15?find=1&text=%D0%B6%D0%B8%D0%B2%D0%BB#w11.

[24] “Pravyla orhanizatsiyi zakhystu elektronnykh bankivs′kykh dokumentiv z vykorystannyam zasobiv zakhystu informatsiyi NBU”, zatverdzheni Postanovoyu Pravlinnya NBU № 829 vid 26.11.2015 (u redaktsiyi postanovy №106 vid 05.10.2018). [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0829500-15?find=1&text=%D0%B6%D0%B8%D0%B2%D0%BB#w11.

[25] “Pravyla tekhnichnoyi ekspluatatsiyi elektroustanovok spozhyvachiv”. [Online]. Available: http://ohranatruda.in.ua/pages/5240/.

[26] “Pravyla ulashtuvannya elektroustanovok (PUE)” (stanom na 21.08.2017). [Online]. Available: http://online.budstandart.com/ua/ catalog/ doc- page. html?id_doc = 72758.

[27] «Pro zatverdzhennya Zahal′nykh vymoh do kiberzakhystu ob″yektiv krytychnoyi infrastruktury»: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrayiny №518 vid 19 chervnya 2019 r.. [Online]. Available: https://zakon. rada.gov.ua/laws/show/518-2019-%D0%BF.

[28] “Systemy bezperebiynoho elektrozhyvlennya”. [Online]. Available: https://netwave.ua/ rishennya /inzhenerna - infrastruktura/ sistema – bezperebijnogo - elektrozhivlennya/.

[29] “Stratehiya kiberbezpeky Ukrayiny”. [Online]. Available: http://zakon3. rada.gov.ua/ laws/ show/47/2017.

[30] “Shchodo nalezhnoho zabezpechennya systemamy elektrozhyvlennya ta kondytsionuvannya servernykh prymishchen′. Lyst №25-211/2428-17415 vid 07.10.2010 Departamentu platizhnykh system Natsional′noho Banku Ukrayiny”. [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/ laws/ show/v2428500-10.

[31] V.O. Yukhymets′, V.H. Terentyuk, V.A. Nauryns′kyy, V.V. Kuts, V.V. Yarovyy, A.S. Yer′omina, O.L. Mel′nyk, O.S. Lisnevych, “Avtomatyzovana medychna informatsiyna systema. Vprovadzhennya ta optymal′ni tekhnichni rishennya. Chastyna 5”. DU «Natsional′nyy instytut ftyziatriyi i pul′monolohiyi im. F.H. Yanovs′koho NAMN Ukrayiny», TOV «ALT Ukrayina Ltd.» [Online]. Available: http://www.ifp.kiev.ua/ftp1/original/2016/yukhymets2016-5.pdf.

Інформаційна Модель Системи Технічного Захисту Інформації на Основі Технології Honeypot

Максим Левченко
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
maxivelp@gmail.com

Марина Турти
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
turtym@meta.ua

Information Model of Technical Information Protection System Based on Honeypot Technology

Maksym Levchenko
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
maxivelp@gmail.com

Marina Turty
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
turtym@meta.ua

***Анотація* — Проведено огляд сучасних технологій і засобів Honeypot. Визначені казуальні зв'язки функцій, виконуваних Honeypot і інформаційних потоків в системі обробки та захисту інформації. Створена узагальнена інформаційна модель системи технічного захисту інформації на основі технології Honeypot, яка враховує особливості віртуальних приманок.**

***Abstract* — The modern technologies and tools Honeypot have been reviewed. The casual connections of the functions performed by Honeypot and information flows in the information processing and protection system have been determined. A generalized information model of the technical information protection system based on Honeypot technology has been created, which takes into account the features of virtual lures.**

Ключові слова — Honeypot, інформаційна безпека, віртуальна приманка, механізм виявлення атак, узагальнена інформаційна модель.

Keywords — Honeypot, information security, virtual lure, attack detection mechanism, generalized information mode.

I. Вступ

Протягом останніх років Україна, як і більшість інших країн світу, робить впевнені кроки в напрямку розбудови інформаційного суспільства, забезпечення кібербезпеки та боротьби з кіберзлочинністю. Одна з найважливіших задач, яку доводиться вирішувати фахівцям з кібербезпеки - це збір відомостей, що дозволяють виявити атаки, зрозуміти як вони спрацьовують і чому. Спершу сутність кіберзагроз намагалися з'ясувати, аналізуючи програми, використані для несанкціонованого доступу, згодом після того як трапився інцидент, єдині дані, на які могли розраховувати експерти – це інформація, що збереглася в зламаній системі. На жаль, вона надзвичайно небагата і недостатньо повно може сказати про небезпеку в цілому [1-3]. Виявлення атак на базі віртуальних приманок, зокрема Honeypot, дозволяє значимо розширити інформацію про напад і про атакуючого [4-8].

Honeypot може вирішувати в архітектурі системи безпеки різноманітні задачі, спектр яких залежить від побудови засобів Honeypot, їх налаштувань та способів

використання. Призначення Honeypot полягає в тому, щоб стати дослідженим або бути атакованим зловмисником.

II. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Протягом останніх двадцяти років основні дослідження Honeypot проводяться Honeynet Project. Honeynet Project - це міжнародна неприбуткова організація з досліджень безпеки, яка займається розслідуванням сучасних атак та розробкою інструментів безпеки з відкритим кодом для покращення Інтернет-безпеки [9]. Організація:

- має мережу волонтерів, які виявляють і вивчають нові атаки, оприлюднюють отримані результати досліджень та створюють на їх основі новітні інструменти безпеки;
- проводить щорічні конференції;
- щорічно формує перелік актуальних проектів, кожен з яких має власного куратора і низку вимог до бажаючих увійти в групу волонтерів-розробників проекту.

Так поточними проектами 2020 р. є наступні розробки.

- Thug – засіб взаємодії Python із низькою взаємодією, спрямований на імітацію поведінки web-браузера з метою виявлення та емуляції шкідливого вмісту;
- T-POT – засіб, який базується на демонах Honeypot, IDS та інструментах для подання атак і дозволяє створити систему, у якій весь діапазон мережі TCP, а також деякі важливі служби UDP виступають у ролі медоносної точки, тобто весь вхідний трафік атак спрямовується на спеціалізовані демони з метою обробки і реагування;
- Mitmproxy – засіб налагодження і тестування конфіденційності, що може бути використаний для перехоплення, перевірки, модифікації та відтворення web -трафіку, такого як HTTP/1, HTTP/2, WebSockets або будь-яких інших протоколів, захищених SSL/TLS. Він дозволяє впорядковувати та декодувати різні типи повідомлень, починаючи від HTML і закінчуючи Protobuf, перехоплювати конкретні повідомлення на льоту, модифікувати їх до того, як вони досягнуть місця призначення, і відтворювати їх на клієнт або сервер пізніше;
- Snare and Tanner – це двокомпонентний засіб. Snare - це датчик веб-додатків Honeypot, а Tanner реалізує послугу віддаленого аналізу та класифікації даних для оцінки запитів HTTP та складання відповіді, яку потім обслуговує Snare. Tanner використовує різні методи емуляції типу вразливості при наданні відповідей для Snare;
- Intel Owl – це рішення OSINT для отримання даних розвідки про загрози щодо конкретного файлу, IP-адреси або домену з одного API у масштабі. Він інтегрує ряд аналізаторів, доступних в Інтернеті, і призначений для випадків, коли потрібна одна точка для запиту інформації про конкретний файл або для спостереження;
- Glutton - загальний Honeypot із взаємодією низького рівня;
- Dockpot – Honeypot із взаємодією високого рівня. Це високоякісний SSH-пакет, заснований на Docker, який може діяти як проксі-сервер SSH між зловмисником та Honeypot (із Docker-контейнером) та реєструвати діяльність зловмисника.
- Conpot – Honeypot із взаємодією низького рівня на боці сервера ICS. Conpot орієнтований на використання у промислових системах і забезпечує легкість розгортання, модифікації та розширення системи. Conpot дозволяє користувачу побудувати власну систему на стеках протоколів, здатну наслідувати складну інфраструктуру, щоб переконати зловмисника в тому, що він щойно знайшов величезний промисловий комплекс. Для поліпшення оманливих можливостей використовується сервер спеціального людинно - машинного інтерфейсу. Зокрема, час відгуку служб може бути штучно відкладено, щоб зімітувати поведінку системи під постійним навантаженням;
- Droidbox – це платформа динамічного аналізу (пісочниця) для додатків Android. В результаті аналізу визначаються: хеші для аналізованого пакету; вхідні/вихідні дані мережі; операції зчитування та запису файлів; запущені служби та завантажені класи через DexClassLoader; витік інформації через мережу, файли та SMS; дозволи; криптографічні операції, що виконуються за допомогою Android API; перелік широкосповіщувальних приймачів; надіслані SMS та телефонні дзвінки. Крім того, генеруються два графіки, що візуалізують поведінку пакета: перший графік показує часовий порядок операцій, а другий - деревоподібну карту, яку можна використовувати для перевірки схожості між аналізованими пакетами;
- Dionaea – це Honeypot із взаємодією низького рівня, що призначений для виявлення атак на корисне навантаження, помилок та шкідливого програмного забезпечення. Dionaea вбудовує Python як мову скриптів, використовує бібліотеки для виявлення кодів оболонки, підтримує ipv6 та tls.

Проведений аналіз літературних джерел [1-9] дозволяє зробити висновок, що Honeypot може виконувати в системі захисту інформації унікальні функції і є корисним інструментом для виявлення, розслідування та попередження інцидентів інформаційної безпеки. Оцінювання ефективності такого інструменту повинне базуватися на детальному аналізі інформацій них потоків в системі «Зловмисник – Система захисту інформації (СЗІ) – Система обробки інформації».

III. Мета і задачі дослідження

Метою даної роботи є побудова інформаційної моделі системи технічного захисту інформації на основі технології Honeypot.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати ряд задач: провести аналіз існуючих систем Honeypot; визначити казуальний зв'язок функцій, виконуваних Honeypot і інформаційних потоків в системі обробки та захисту інформації; розробити інформаційну модель системи захисту інформації на основі технології Honeypot.

IV. Аналіз систем Honeypot

Залежно від завдань, поставлених перед засобами Honeypot, вони поділяються на виробничі і дослідницькі Honeypot.

Виробничі Honeypot допомагають знизити ризик в організації або середовищі шляхом попередження, виявлення і протоколювання деструктивних впливів.

Дослідницькі Honeypot в загальному випадку не зменшують поточний ризик для організації, але вони надають платформу для вивчення загроз і дозволяють отримати інформацію, яка надалі може бути застосована в реальних системах для поліпшення попередження, виявлення, можливостей протоколювання і необхідної реакції. Вони дозволяють не тільки знаходити використані зловмисником засоби, а й бачити (аж до натискання клавіш), як саме зловмисник досліджує систему і починає атаку. Дослідницькі Honeypot можуть бути застосовані:

- при збиранні інформації про автоматизовані загрози, таких як мережеві хробаки . Швидкий збір інформації позитивно впливає на швидкість реакції та подальшу нейтралізацію даних загроз;
- як предиктивний механізм. Дані, що збираються Honeypot, можуть бути використані для статистичного моделювання, передбачення нових варіантів атак, і відповідного вдосконалення СЗІ;
- для виявлення раніше невідомих засобів і технік для здійснення атак і формування образів нових атак;
- для поліпшення розуміння мотивацій і організації зловмисників. Завдяки збору інформації під час здійснення атаки, наприклад, варіантів переговорів зловмисників між собою, можна відповісти на питання, хто є загроза і навіщо проводиться атака;
- для збирання інформації про зловмисників високої кваліфікації.

За рівнем взаємодії із зловмисником розрізняють три основних види Honeypot: слабкої взаємодії; середньої взаємодії і сильної взаємодії.

Засоби Honeypot слабкої взаємодії зазвичай досить просто встановити, налаштувати, використовувати і підтримувати, тому що вони мають просту структуру і базові функції. Як правило, такі Honeypot імітують тільки частину сервісів, і зловмисник обмежений у взаємодії з цими сервісами. Засоби Honeypot цього типу надають тільки транзакційну інформацію про зловмисника, тобто інформацію про обставини атаки, але не про саму атаку: час і дата атаки; IP-адреса і порт джерела (зловмисника); IP-адреса і порт призначення (засоби Honeypot). Honeypot слабкої взаємодії показують поганий або навіть негативний результат при взаємодії з невідомими або непередбачуваними видами атак.

Засоби Honeypot сильної взаємодії надають зловмисникові доступ до реальної операційної системи, де нічого не імітується або не обмежується. В даному випадку є можливість досліджувати нові засоби, виявляти нові уразливості в операційних системах або додатках, а також дізнаватися, яким чином зловмисники зв'язуються між собою. Такі засоби надають найбільшу кількість інформації про зловмисників, але вимагають достатній час для побудови і підтримки, і є дуже чутливими до похибок налаштувань. У більшості випадків Honeypot сильної взаємодії розташовуються в контрольованому середовищі, наприклад, в мережі - після брандмауера. Міжмережевий екран надає зловмисникові можливість атакувати засіб Honeypot, але забороняє здійснювати зовнішні атаки. Системи виявлення вторгнень також, можуть бути також включені у Honeypot сильної взаємодії.

Засіб Honeypot середньої взаємодії надає зловмисникові більше можливостей, ніж Honeypot слабкої взаємодії, але має меншу функціональність у порівнянні з Honeypot сильної взаємодії. Дані засоби можуть очікувати різну активність зловмисника і давати кілька можливих відповідей на його дії. Наприклад, якщо імітується IIS Web Server, то Honeypot може бути налаштований з різною функціональністю і поведінкою, щоб виявляти певного мережного хробака. Даний рівень взаємодії вже вище, ніж у Honeypot слабкої взаємодії, де присутній тільки HTTP-банер. При цьому є можливість зібрати інформацію щодо поведінки хробака для подальшого аналізу. Йому не надається повноцінна операційна система, що знижує ризик. Існує тільки додаток що імітується.

Починаючи від Honeypot слабкої взаємодії, функціональні можливості Honeypot розширюються. Відповідно змінюються: процес установки і налаштування, процес використання і підтримки, обсяг і процес збирання даних, рівень протоколювання, рівень імітації і рівень ризику.

Структура і спектр виконуваних Honeypot функцій визначаються призначенням Honeypot:

- якщо необхідно вивчити мотивації поведінки зловмисників, методи їх атак і засобів - тоді потрібно побудувати складний Honeypot, який надає зловмисникові повноцінну операційну систему, з якою він буде взаємодіяти, і забезпечити високий рівень протоколювання.
- якщо необхідно виявити несанкціоновану активність, таку як сканування системи, то для цих цілей можна побудувати простий Honeypot, який

буде імітувати мінімальні можливості і операції сервісів, записуючи лише команди взаємодії зі зловмисником.

- якщо ставиться завдання виявити мережного хробака для аналізу, тоді буде потрібно побудувати гнучкий Honeypot, який буде взаємодіяти з хробаком, збираючи елементи його активності.

V. Розробка інформаційної моделі системи захисту інформації на основі технології Honeypot

При розробці інформаційної моделі були враховані наступні функціональні вимоги до засобів Honeypot:

- можливість вибору варіанту імітованого сервісу (наприклад, вибір різного FTP-сервера);
- максимальне наближення до імітованого сервісу: особливості роботи; реакція на стандартні / нестандартні команди або запити; підтримка реалізованих додаткових можливостей обраного сервісу;
- існування можливості (або умов) емуляції злому сервісу;
- відповідність поточному (сучасному) набору вразливостей. Під набором вразливостей розуміється сукупність відомих вразливостей для даного сервісу, а також набір варіантів аномального поведінки при взаємодії з імітованим сервісом. Таким чином, Honeypot повинен містити набори вразливостей для кожного імітованого сервісу та аналітичний модуль прийняття рішень для встановлення факту злому або наявності аномального поведінки при взаємодії з імітованого сервісом;
- існування бази даних (БД) для зберігання наборів вразливостей, з можливістю зміни і доповнення.
- захист БД наборів вразливостей від додаткових загроз (можливість реалізації атаки на інші, не імітовані сервіси, в результаті якої властивості цілісності і конфіденційності БД наборів вразливостей будуть порушені). Одним з головних вимог по даному пункту є вимога розміщення БД вразливостей на іншому хості;
- повне протоколювання взаємодії потенційного порушника з Honeypot. Протокол повинен містити як інформацію, яка була отримана від порушника, так і відповідь імітованого сервісу, який був відісланий порушнику.

Структурна схема розробленої узагальненої інформаційної моделі наведена на рис.1.

VI. Висновки

Таким чином, в даній роботі на основі проведеного аналізу сучасних систем Honeypot визначені основні функції віртуальних приманок, казуальні зв'язки цих функцій з інформаційними потоками, і розроблена інформаційна модель системи захисту інформації на основі технології Honeypot.

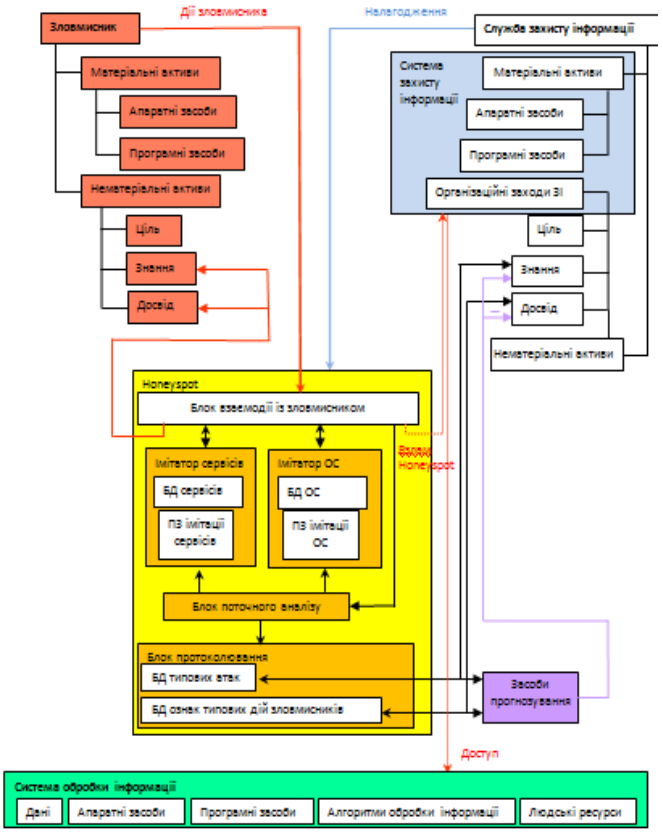


Рис.1 Структурна схема інформаційної моделі Honeyspot

Література References

[1] V.L. Buryachok, “Informatsiyna ta kiberbezpeka: sotsiotekhnichnyy aspekt”. K., DUT, 2015, 288 p.

[2] V.L. Buryachok, V.A. Kozachok, L.V. Buryachok, P.M. Skladannyy ”Pentestinh yak instrument kompleksnoyi otsinky efektyvnosti zakhystu informatsiyi v rozpodilenykh korporatyvnykh merezhakh”. *Suchasnyy zakhyst informatsiyi*, №3, pp. 4-12, 2015 . [Online]. Available: http://nbuv.gov.ua/UJRN/szi_2015_3_3.

[3] S.O. Hnatyuk, Yu.Ye. Khokhlachova, A.O. Okhrimenko, A.K Hreben′kova. ”Teoretychni osnovy pobudovy ta funktsionuvannya system upravlinnya intsydentamy informatsiynoyi bezpeky”. *Zakhyst informatsiyi*, vol.14, №54, pp.120-126, 2012.

[4] “Honeypots: Monitoring and Forensics” (2002). . [Online]. Available: http://honeypots.sourceforge.net/monitoring_vmware_honeypots.html.

[5] L. Spitzner, “Dynamic Honeypots” (2003). [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/271070241_Design_and_Implementation_of_a_Medium_Interaction_Honeypot..

[6] L. Spitzner, “Honeypots: TrackingHackers. AddisonWesley” (2002). . [Online]. Available: http://www.it-docs.net/ddata/792.pdf.

[7] R.A. Grimes, “Honeypots for Windows. Apress” (2004). [Online]. Available:: http://docplayer.net/5623194-Honeypots-for-windows-roger-a-grimes.html.

[8] “The Honeynet Project. Know Your Enemy: Learning about Security Threats” (2003). . [Online]. Available: http://old.honeynet.org/papers/honeynet.

[9] “Google Summer of Code 2020 Project Ideas” (2020). [Online]. Available: https://www.honeynet.org/gsoc/gsoc-2020/google-summer-of-code-2020-project-ideas/

Методика Вибору Спеціалізованого Програмного Забезпечення для Захисту Комп'ютерних мереж

Анна Гратій
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
anna.gratiy@ukr.net

Марина Турти
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
turtym@meta.ua

Methods of Choosing Specialized Software to Protect Computer Networks

Anna Gratiy
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
anna.gratiy@ukr.net

Marina Turty
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
turtym@meta.ua

***Анотація*—Проведено огляд сучасних програмних засобів захисту інформації, визначені критерії їх класифікації. Визначені критерії вибору, розроблена і апробована методика та узагальнена інформаційна модель вибору спеціалізованих програмних засобів для захисту комп'ютерних мереж.**

Abstract—The review of modern software means of information protection have been carried out, the criteria of their classification have been defined. Selection criteria have been defined, the technique have been developed and tested, and the generalized information model of a choice of specialized software for protection of computer networks have been developed.

Ключові слова—локальна мережа, спеціалізовані програмні засоби, критерії вибору, методика, узагальнена інформаційна модель.

Keywords—local network, specialized software, selection criteria, methodology, generalized information model.

I. Вступ

Розвиток інформаційних технологій супроводжується поширенням випадків незаконного збирання, зберігання, використання, знищення, поширення персональних даних, незаконних фінансових операцій, крадіжок та шахрайства у мережі Інтернет. Ці незаконні дії здатні завдати значної шкоди не тільки конкретним особам та організаціям, а і суспільству та державі в цілому.

Моніторинг мережі є необхідною умовою успішної протидії несанкціонованого доступу до інформації. Спеціалізоване програмне забезпечення (ПЗ) для захисту комп'ютерних мереж (КМ) допомагає виявляти підозрілу активність у певній локальній мережі, відслідковувати важливі мережеві процеси, автоматично активувати відповідні запобіжні засоби. Протидія зловмисникам у сучасному кіберпросторі здійснюється із застосуванням систем штучного інтелекту і нейронних мереж, і поступово переходить до сценарію «бот зловмисника проти бота системи захисту інформації». Відповідно підвищується значимість спеціалізованого ПЗ (СПЗ) в системі захисту інформації (СЗІ). Розробці СПЗ та технологій їх ефективного використання присвячені роботи багатьох науковців [1-15].

II. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Кібербезпека є складовою національної безпеки України згідно Закону України "Про національну безпеку України". Принципи, пріоритети та напрями забезпечення кібербезпеки України визначаються Стратегією кібербезпеки

України. У «Доктрині інформаційної безпеки України» деталізуються і систематизуються загрози інформаційній безпеці за сферами, в яких вони можуть реалізовуватись: зовнішньополітичній, воєнній, внутрішньополітичній, економічній, соціальній, гуманітарній, науково-технологічній та інших. У Законі України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України» визначені об'єкти кіберзахисту, зокрема об'єкти критичної інформаційної інфраструктури.

Окремі нормативно-правові акти стосуються галузевих вимог до захисту інформації в банківській сфері, водному транспорті, авіації, медицині тощо. Суттєва доля галузевих вимог зумовлена необхідністю збереження таємниць, що захищаються державою. Так, наприклад, питання захисту інформації розглядаються у Законі України «Про платіжні системи та переказ коштів в Україні», Положенні про захист електронних банківських документів з використанням засобів захисту інформації Національного банку України, «Правилах організації захисту електронних банківських документів з використанням засобів захисту інформації Національного банку України», «Інструкції про міжбанківський переказ коштів в Україні в національній валюті».

Вимоги до спектру функцій, які повинен виконувати комплекс засобів захисту (КЗЗ) визначаються за НД ТЗІ 2.5-004-99, 2.5-005-99, 2.5-008-02, 2.5-010-03, 2.6-002-2015, 2.6-003-2015, 2.7-009-09, 2.7-010-09. Необхідні функції можуть виконуватися різноманітними апаратними і програмними засобами, які створюються на різних теоретичних засадах різними розробниками і діють з різною ефективністю. Оцінювання надійності СЗІ може здійснюватися як за статистичними даними, так і на основі експертних оцінок [13].

На даний час існує величезна СПЗ [2-11, 15] для захисту КМ, але при їх використанні необхідно враховувати «сильні та слабкі місця» кожного СПЗ, їх відповідність цілям та вимогам користувача і узгодженість між собою. Саме тому, є необхідність у створенні певної бази СПЗ методики компоновки СПЗ.

III. Мета і задачі дослідження

Метою даної роботи є розробка методики вибору СПЗ для захисту КМ.

Для досягнення поставленої мети необхідно визначити критерії класифікації і вибору СПЗ для захисту КМ, розробити методику та інформаційну модель процесу вибору спеціалізованих ПЗ для захисту КМ.

IV. Аналіз програмного забезпечення захисту комп'ютерних мереж

Безпека мережі є сукупністю засобів і заходів, які захищають інформаційну мережу від несанкціонованого доступу, випадкового або навмисного втручання в роботу мережі або спроб руйнування її компонентів. Вона включає захист обладнання, програмного забезпечення, даних і персоналу. Мережева безпека базується на прийнятій в організації політиці безпеки.

Найбільшу увагу зазвичай приділяють захисту мережевого периметру, що може включати: маршрутизатори; брандмауери; проксі-сервери; систему виявлення вторгнень; пристрої віртуальних приватних мереж; засоби антивірусного захисту; демілітаризовану зону і екрановані підмережі.

СПЗ для захисту інформації можуть бути як системними так і прикладними програмами, які найчастіше застосовують для ідентифікації й автентифікації користувачів, розмежування доступу користувачів до інформаційної мережі, шифрування інформації, а також її захисту від несанкціонованих змін, зчитування, копіювання.

Захист інформації в КМ за допомогою СПЗ має деякі недоліки:

- вартість здійснення багатьох програмних системних рішень із захисту інформації суттєво перевищує за витратами апаратні, технологічні й організаційні рішення;
- використовуються ресурси системи, що призводить до зниження ефективності виконання системою її цільових функцій щодо обробки інформації;
- існує принципова можливість обходу СПЗ або його злочинної зміни в процесі експлуатації.

Прикладами СПЗ захисту інформації є [2]: система контролю і управління доступом; антивірусна програма; шифрувальне програмне забезпечення; мережевий екран; система виявлення вторгнень; система запобігання вторгненням; система керування записами; пісочниця; система управління інформаційною безпекою; SIEM; засоби тестування захищеності КМ і пошуку вразливостей.

Наприклад, PacketFence — вільна система управління доступом до мережі, яка може використовуватися для організації централізованого доступу та ефективного захисту мережі будь-якого розміру, підтримуючи засоби для інтеграції з обладнанням популярних виробників. PacketFence забезпечує: централізовану організацію входу користувачів до мережі з дротових і бездротових каналів; вхід в мережу через активацію у web-інтерфейсі; блокування небажаних пристроїв; перевірку трафіку на віруси; виявлення вторгнень (інтеграція зі Snort і Nessus); підтримку інтеграції з устаткуванням різних виробників, таких як Cisco, Nortel, Hewlett-Packard, 3Com, D-Link, Intel, Dell; аудит конфігурації і ПЗ комп'ютерів в мережі.

Системи виявлення вторгнень і кібератак - це програмні або апаратно-програмні рішення, які автоматизують процес контролю подій, що відбуваються в інформаційній системі або мережі, а також самостійно аналізують ці події в пошуках ознак проблем кібербезпеки [15].

Системи виявлення передумов виникнення загроз інформаційної безпеки (системи запобігання вторгненням)

здійснюють роздільну обробку інформації щодо ознак кібератак на різних етапах їх розвитку. Це дозволяє розпізнавати кіберзагрозу ще в процесі її підготовки і формування, а не на стадії її реалізації. При цьому, елементною базою для розпізнавання може бути як сигнатурний пошук, так і виявлення аномалій, використання експертних методів та інших мережевих і локальних примітивів оцінки стану і процесів в інформаційному середовищі.

Системи виявлення вторгнень і системи запобігання вторгненням використовують ознаки атак, визначені за допомогою СПЗ, яке здійснює моніторинг КМ і визначає корельованість даних. На основі цих даних можуть окремим ПЗ [9] будуватися прогнози атак, прогнози дій служби захисту і зловмисника, прогнози стану безпеки мережі і визначатися стани системи, в яких ці прогнози мають бути застосовані. Такі системи є системами штучного інтелекту, найчастіше використовують методи машинного навчання (machine learning) та інтелектуального аналізу даних (data mining) і реалізуються у вигляді нейронних мереж [13].

SIEM (англ. Security information and event management) – це програмні продукти, які об'єднують управління інформаційною безпекою SIM (англ. Security information management) та управління подіями безпеки SEM (англ. Security event management). Технологія SIEM забезпечує аналіз в реальному часі подій (тривог) безпеки, отриманих від мережевих пристроїв і додатків. SIEM представлене додатками, приладами або послугами, і використовується також для журналювання даних і генерації звітів в цілях сумісності з іншими даними.

Тест на проникнення - це метод оцінювання захищеності КМ шляхом часткового моделювання дій зовнішніх зловмисників з проникнення у неї (які не мають авторизованих засобів доступу до системи) і внутрішніх зловмисників (які мають певний рівень санкціонованого доступу). Цей процес включає активний аналіз системи з виявлення будь-якої потенційної вразливості, що може виникати внаслідок неправильної конфігурації системи, відомих і невідомих дефектів апаратних засобів та ПЗ, чи оперативне відставання в процедурних чи технічних контрзаходах. Цей аналіз проводиться з позиції потенційного нападника і може включати активне використання вразливостей [3].

Технологія Honeypot - ресурс безпеки, призначений для того, щоб стати дослідженим або бути атакованим зловмисником. В процесі цього збирається інформація про зловмисника і блокуються його можливості щодо наступних зловмисних дій. [5, 10, 11].

Утиліта – це сервісна програма, що допомагає керувати файлами, отримувати інформацію про комп'ютер, діагностувати й усувати проблеми, забезпечувати ефективну роботу і розширюють можливості операційних систем. Утиліти, які існують сьогодні, забезпечують, зокрема,реалізацію таких основних функцій:

- обслуговування магнітних дисків (форматування, забезпечення зберігання системної інформації на дисках, відновлення помилково знищеної інформації, дефрагментація файлів на магнітному диску тощо);
- обслуговування файлів та каталогів;
- створення та поновлення архівів;
- надання користувачеві інформації про ресурси комп’ютера;
- шифрування інформації;
- захист від комп’ютерних вірусів тощо.

Утіліти за виконуваними функціями можуть бути поділені на три групи:

1. Утиліти обслуговування системи: дефрагментатори; утиліти контролю помилок і пошкоджень структури розділів та SMART-ревізори; утиліти контролю цілісності системи.

2. Утиліти розширення функціональності: утиліти-конвертери; утиліти-редактори мета-інформації; утиліти резервного копіювання; утиліти системного менеджменту; утиліти тонкого налаштування.

3. Інформаційні утиліти.

Наприклад, утиліта Shadow Defender - засіб для захисту і підтримки працездатності як прикладних програм, так і операційної системи в цілому. Для вибраних об'єктів утиліта створює динамічні копії файлів, після чого всі об'єкти стають захищеними від небажаних або зловмисних змін. Також існує налаштування для створення винятків для цілих тек і окремих файлів, зміни яких відбуватимуться на оригіналі, на відміну від захищених, де зміни не зачіпають фізичного вмісту файлу, а вносяться до «тіньової» копії, яка лише емулює оригінальний файл.

Deep Freeze — утиліта для ОС Microsoft Windows, Mac OS X та Linux, яка відновлює збережений стан системи після перезавантаження комп'ютера і надає можливість системним адміністраторам і звичайним користувачам захищати ядро ОС і файли від небажаних змін або вилучення.

V. Розробка методики вибору спеціалізованого програмного забезпечення для захисту комп’ютерних мереж

При розробці інформаційної моделі прогнозування захищеності інформації були враховані особливості процесів отримання, обробки і аналізу даних, зокрема:

Вхідні дані поділяються на статичні дані, що зберігаються у відповідних базах даних і можуть коригуватися тільки їх адміністраторами, і динамічні дані, які вводяться користувачем для певної задачі.

В базах даних зберігається інформація щодо:

- нормативних вимог до послуг безпеки, які повинні забезпечуватися відповідно до визначеного функціонального профілю захищеності КС;

- наявних на ринку ПЗ, які можуть застосовуватися для побудови КЗЗ мережного периметру, із зазначенням функцій цих засобів, умов їх розповсюдження, даних про виробників, оцінок користувачів, вимог до апаратного забезпечення і програмного середовища функціонування;
- доступні користувачу для вибору профілі захищеності, способи формування КЗЗ мережного периметру, критерії оцінювання КЗЗ;
- галузеві обмеження на використовувані апаратні і програмні засоби;
- прогнози щодо розвитку технологічного апаратного і програмного забезпечення в галузі, апаратного і програмного забезпечення, призначеного для захисту інформації, апаратного і програмного забезпечення,використовуваного зловмисниками;
- якісні і кількісні прогнози щодо загроз інформаційній безпеці.

Динамічними вхідними даними є:

- обраний користувачем спосіб формування КЗЗ мережного периметру (формування комплексу окремих ПЗ або вибір окремого ПЗ, що є системою охорони мережного периметру);
- визначені користувачем критерії оцінювання КЗЗ (функціональної спроможності при мінімальній вартості; переваг певних ПЗ з точки зору наявного досвіду, зручності і перспектив їх експлуатації);
- функціональний профіль захищеності.

Вихідними даним є перелік рекомендованих ПЗ з оцінкою якості КЗЗ за обраними користувачем критеріями.

Будемо розглядати два можливі алгоритми дій користувачів, які відповідатимуть відомому і невідомому профілю захищеності.

Якщо профіль захищеності відомий, то в якості критеріїв вибору типу актуальних загроз інформації будуть використовуватися наявні в профілі вимоги щодо захищеності: К – конфіденційності інформації; Ц – цілісності інформації; Д – доступності інформації.

Оскільки критерій С – спостережуваність за вимогами НД ТЗІ висувається до всіх профілів захищеності, то ПЗ, що забезпечують спостережуваність будуть відбирати за замовчуванням.

Якщо профіль захищеності невідомий, то користувач повинен мати можливість обрати або потрібний профіль (в цьому випадку його наступні дії здійснюватимуться так саме, як при відомому функціональному профілі захищеності), або безпосередньо вказати тип актуальних загроз інформації з набору К, Ц, Д, КЦ, КД, ЦД, КЦД.

При визначенні критеріїв вибору актуальних загроз інформації будемо виходити з того, що загрози інформації можуть класифікуватися за багатьма ознаками [1, 2, 4, 6-8, 14] і, відповідно, визначення актуальних загроз інформації в КМ, яким має протидіяти спеціалізоване ПЗ, може бути здійснено за багатьма критеріями: за розташуванням джерела загроз відносно об’єкта захисту (внутрішні і зовнішні загрози); за ступенем ризику (загрози, пов’язані з великими, малими, піковими, середніми тощо ризиками); за ступенем секретності інформації; за рівнем моделі OSI, на якому реалізуються загрози тощо.

В даній роботі будемо враховувати, що загрози:

- можуть порушувати властивості захищеності інформації і, відповідно, можуть бути віднесені до одного з типів, визначених вище;
- реалізуються за рахунок наявності вразливостей в системі;
- ймовірність появи загрози P_z залежить від ймовірності атаки на галузь застосування об’єкта захисту [12] P_g і ймовірності атаки певного типу P_{at}: $P_z=P_g \cdot P_{at}$;
- ймовірність успішної реалізації загрози залежить від наявності у КЗЗ певних засобів протидії загрозі і ефективності їх роботи.

Для ефективної протидії атакам на СЗІ система захисту має бути багаторівневою і виконувати функції, що визначаються у профілі захищеності автоматизованої системи.

Добір СПЗ може бути здійснений відповідно до двох способів забезпечення виконання КЗЗ покладених на нього функцій: формування набору окремих вузькоспеціалізованих ПЗ або вибір СПЗ, що виконує широкий спектр функцій – систем захисту периметру, систем попередження вторгнень тощо. Для підвищення ефективності КЗЗ може бути передбачене функціональне резервування на одному рівні захисту або дублювання функцій різних засобів захисту на різних рівнях.

СПЗ для захисту КМ будемо обирати за наступними критеріями: середовище функціонування; виконувані функції; вартість; вимоги до апаратного забезпечення; ефективність.

Розробленій методиці відповідає узагальнена схема інформаційної моделі, наведена на рис.1.

При описі СПЗ для захисту КМ в базі даних СПЗ (БД ПЗ на рис.1) будемо враховувати критерії вибору СПЗ, визначені вище та умови розповсюдження, дані про виробників і можливі джерела отримання цих засобів:

- середовище функціонування: Windows, Linux, Unix, MacOS, універсальні, які обираються підстановкою із таблиці «Operation Systems»;
- виконувані функції: ідентифікація й автентифікація користувачів, шифрування інформації, контекстний аналіз трафіку, виявлення вторгнень тощо;
- вартість;
- вимоги до апаратного забезпечення (вимоги до обсягу пам’яті, швидкодії тощо);

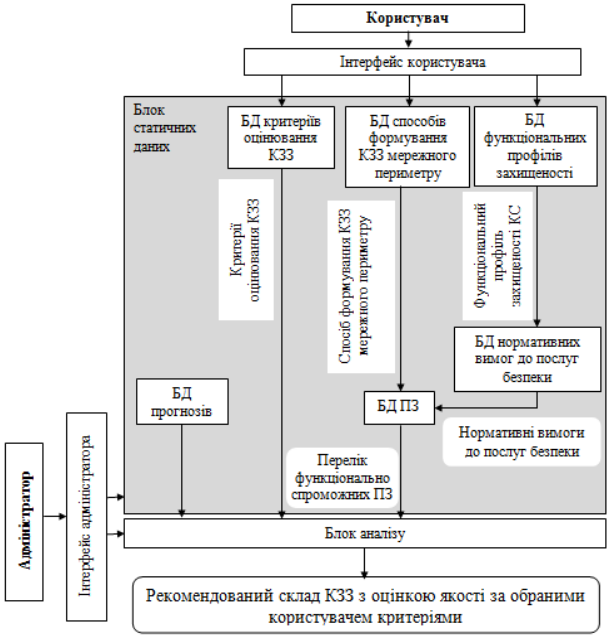


Рис.1 Узагальнена схема інформаційної моделі

- ефективність (за експертною оцінкою) за бальною оцінкою;
- умови розповсюдження: вільне, тріал-версія, платне;
- дані про виробників і розповсюджувачів (назва, контакти, в тому числі – країна і сайти).

Вибір СПЗ будемо здійснювати із врахуванням галузі застосування КМ. Опис галузі застосування КМ і доменів здійснюється із вказівкою статистично визначеної ймовірності атак на галузь [12] і домен.

VI. Висновки

Таким чином, в даній роботі на основі проведеного аналізу сучасних СПЗ захисту інформації визначені критерії їх класифікації і критерії вибору СПЗ для захисту КМ. Розроблена і апробована методика вибору СПЗ для захисту КМ на основі визначених критеріїв, а також розроблена узагальнена інформаційна модель процесу вибору. Результати роботи можуть бути використані при проектуванні захищених локальних мереж та в навчальному процесі зі спеціальності 125 «Кібербезпека».

Література References

[1] V.L. Buryachok, “Ínformatsíyna ta kíberbezpeka: sotsíotekhníchniy aspekt”. K., DUT, 2015, 288 p.

[2] V.L. Buryachok, A.O. Anosov, V.V. Semko, V.YU. Sokolov, P.M. Skladannyy, “Tekhnolohiyi zabezpechenenyya bezpeky merezhevoyi ynfrastruktury: Pidruchnyk”. K., KUBH, 2019, 218 p.

[3] V.L. Buryachok, V.A. Kozachok, L.V. Buryachok, P.M. Skladannyy ”Pentestinh yak instrument kompleksnoyi otsinky efektyvnosti zakhystu informatsiyi v rozpodilenykh korporatyvnykh merezhakh”. *Suchasnyy zakhyst informatsiyi*, №3, pp. 4-12, 2015. [Online]. Available: http://nbuv.gov.ua/UJRN/szi_2015_3_3.

[4] V.M. Furashev, D.V. Lande, “Informatsiyni operatsiyi kriz′ pryzmu systemy monitorynhu ta intehratsiyi internet-resursiv”, *Pravova informatyka*, no.*2*(*22*), pp.*49– 57*, 2009.

[5] Google Summer of Code 2020 Project Ideas” (2020). [Online]. Available: https://www.honeynet.org/gsoc/gsoc-2020/google-summer -of-code-2020-project-ideas

[6] S.O. Hnatyuk, YU.YE. Khokhlachova., A.O. Okhrimenko, A.K. Hreben′kova, “Teoretychni osnovy pobudovy ta funktsionuvannya system upravlinnya intsydentamy informatsiynoyi bezpeky”, *Zakhyst informatsiyi*, vol.*14*, no.*5*, pp.*120-126*, 2012.18

[7] V.P. Horbulin M.M. Bychenok, “Problemy zakhystu informatsiynoho prostoru Ukrayiny: monohrafiya”. K., Intertekhnolohiya, 2009, 136 p.

[8] M.V. Hrayvorons′kyy, O.M. Novikov, “Bezpeka informatsiyno-komunikatsiynykh system”. K., Vydavnycha hrupa BHV, 2009, 608 p. [Online]. Available: http://is.ipt.kpi.ua/navchalna-literatura/m-v-grajvoronskij-o-m-novikov-bezpeka-informatsijno-komunikatsijnih-sistem.

[9] M. HusákM., J. Komárková., E. Bou-Harb, P. Čeleda “Survey of Attack Projection, Prediction, and Forecasting in Cyber Security”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol.*21*, issue *1*, pp.*640– 660*, 2019. [Online]. Available: https://www. researchgate. net/ publication/327449459_Survey_of_Attack_Projection_Prediction_and_ Forecasting_in_Cyber_Security.

[10] A.R. Grimes. “Honeypotsfor Windows. Apress” (2004). [Online]. Available: http://docplayer.net/5623194-Honeypots-for-windows-roger -a-grimes.html.

[11] L. Spitzner, “Dynamic Honeypots” (2003). [Online]. Available:: https://www. researchgate.net/publication/271070241_Design_and_ Implementation_of_a_Medium_Interaction_Honeypot..

[12] “Statystyka uyazvymostey Web-prylozhenyy”. [Online]. Available: https://www.ptsecurity. com/upload/corporate/ru-ru/analytics/ Analitika -web-rus.pdf

[13] M. Turty, A. Ermakova, “Forecasting of information security” in *Information Systems and Technologies:* 8th International Scientific and Technical Conference IST-2019: KNURE, Kharkiv - Kobleve, 2019, pp.260-265.

[14] S.YA. Zhuk, V.O. Chmel′ov, T.M. Dzyuba, “Tendentsiyi ta perspektyvy rozvytku informatsiynoyi borot′by y informatsiynoyi zbroyi”, *Nauka i oborona*, no.*2*, pp.*35–41*, 2006.

[15] T.I. Zorina, “Systemy vyyavlennya i zapobihannya atak v komp″yuter-nykh merezhakh”, Visnyk Skhidnoukrayins′koho Natsional′noho universytetu im. Volodymyra Dalya, part 1, no. 15 (204), pp. 48-52, 2013.

Дослідження Спільного Використання Бінарних Шаблонів і Порівнянних Хешів для Виявлення Модифікацій Цифрових Зображень

Антон Іщенко
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
insteaddeath@gmail.com

Марина Турти
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
turtym@meta.ua

Research of Binary Patterns Combined with Comparative Hashes to Identify Modifications Digital Images

Anton Ischenko
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
insteaddeath@gmail.com

Marina Turty
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
turtym@meta.ua

***Анотація*—Проведено аналіз існуючих методів формування локальних бінарних шаблонів та перцептивних хешів. Розроблені алгоритми і програмне забезпечення для дослідження ефективності спільного використання бінарних шаблонів і порівнянних хешів для виявлення модифікацій цифрових зображень. Розроблене програмне забезпечення має гнучку структуру, придатне для розширення, і апробоване на прикладах з врахуванням зміни різкості і прозорості, розмиття зображення і шумів.**

***Abstract*—The analysis of existing methods of forming local binary templates and perceptual hashes have been carried out. Algorithms and software to study the effectiveness of sharing binary templates and comparable hashes to detect modifications of digital images have been developed. The developed software has a flexible structure, suitable for expansion, and tested on examples taking into account changes in sharpness and transparency, image blur and noise.**

Ключові слова—локальні бінарні шаблони, хеш, модифікації, фальсифікації, цифрове зображення.

Keywords—local binary templates, hash, modifications, falsifications, digital image.

I. Вступ

Разом з інформаційними технологіями розвивається і комп'ютерна злочинність, використовуючи для своїх протизаконних дій все більш витончені методи. Зокрема, такий вид комп'ютерної злочинності, як підробка інформації, може переслідувати різні цілі, але в будь-якому випадку споживачеві інформації будуть надані недостовірні дані. Наприклад, фальсифікація результатів виборів; розкрадання товарів шляхом введення в програму фальшивих даних; підробка, виготовлення або збут підроблених документів, штампів, печаток і бланків; виготовлення або збут підроблених кредитних або розрахункових карт та інших платіжних документів тощо.

Суттєва частина несанкціонованої модифікації інформації стосується цифрових зображень (ЦЗ), звідки

випливає, що вдосконалення наявних і розробка нових методів для виявлення результатів підробки цифрових зображень є актуальною задачею.

II. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Одним із методів підробки є клонування в цифрові зображення різноманітних форматів. Ефективність багатьох методів виявлення підробки ЦЗ шляхом клонування для різних форматів різниться. Відповідно виникає задача розробки нових методів для виявлення результатів клонування в ЦЗ, які б були позбавлені цього недоліку, тобто були б ефективними для зміненого ЦЗ із різними форматами збереження (з втратами, без втрат).

Одним з ефективних і універсальних методів є перцептивні хеш алгоритми. Однак найпростіші з них мають відносно невисоку точність, хоча й мають велику швидкість, а більш складні методи не мають переваги за швидкістю порівняно з іншими методами.

В [1] була розроблена загальна методологія аналізу властивостей, стану і технології функціонування довільної інформаційної системи, яка успішно адаптується для вирішення питань, пов'язаних з ідентифікацією фальсифікацій цифрових сигналів [2, 3].

У статті [4] пропонується метод виявлення підробки копіювання на основі методики SIFT для виявлення особливостей та техніки вейвлету для оцінки порогу відповідності. При цьому низькочастотні компоненти використовуються для обчислення динамічного порогу, а помилково виявлені позитивні зони видаляються.

Виявлення і локалізація переміщених фальсифікованих блоків зображення можуть бути здійснені також методами кластерного і кореляційного аналізу [5].

У даній роботі триває дослідження можливостей виявлення несанкціонованої зміни цифрового сигналу, зокрема, фотомонтажу ЦЗ, і розробка засобів вирішення цієї актуальної проблеми. Головною ідеєю даної роботи є поліпшення точності детектування клонування шляхом попередньої обробки зображення локальними бінарними шаблонами (ЛБШ) [6, 7].

III. Мета і задачі дослідження

Метою даної роботи є розробка програмного забезпечення для виявлення фальсифікації цифрового зображення, виконаної за допомогою копіювання (паралельний перенос) груп пікселів з однієї частини ЦЗ в іншу.

Для досягнення цієї мети необхідно розв’язати наступні задачі: провести аналітичний огляд існуючих методів локальних бінарних шаблонів та перцептивних хешів для виявлення модифікацій на цифрових зображеннях; розробити програмне забезпечення і дослідити за його допомогою ефективність спільного використання бінарних шаблонів і порівнянних хешів для виявлення модифікацій цифрових зображень.

IV. Аналітичний огляд методів побудови локальних шаблонів для виявлення модифікацій на цифрових зображеннях

Локальні шаблони можна охарактеризувати як спосіб опису для кожного пікселя зображення, у якому напрямку убуває яскравість. Оператор ЛБШ сполучає властивості статистичного й структурного текстурного аналізу, дозволяючи будувати дескриптори цифрових зображень.

1. Локальний бінарний шаблон. У базовій версії для побудови ЛБШ використовується вікно 3×3. Вісім сусідніх значень рівняються зі значенням центрального пікселя, і залежно від результату порівняння центральному пікселю ставиться у відповідність восьмибітове число – код ЛБШ. Якщо $f(x, y)$ - функція яскравості пікселя, то код ЛБШ обчислюється в кожному пікселі з використанням p значень пікселів, рівновіддалених від центрального на відстань R (розташованих по колу радіуса R):

$$LBP(N, R) = \sum_{i=0}^{N-1} I_1(f_1 - f_0) \times 2^t , \quad (1)$$

де I_1 – індикатор подій, який визначається наступним чином:

$$I_1(m) = \begin{cases} 0, m < 0; \\ 1, m \geq 0. \end{cases} \quad (2)$$

ЛБШ дуже ефективний завдяки своїй низькій обчислювальної складності, але він є чутливим до шумових спотворень.

2. Локальний диференційований шаблон (ЛДШ). Код ЛДШ представляє із себе результат порівняння похідних першого і/або вищих порядків в околиці центрального пікселя. Похідна n–го порядку з різних напрямків, наприклад, 0°,45°, 90° і 135°, обчислюється на основі функції бінарного кодування. Потім отримані коди об'єднуються в єдину послідовність з 32 біт. Порівняння похідних у напрямку виконуються за допомогою 16 примітивних шаблонів, що характеризують різні просторові відносини в локальній області і можуть бути трихпіксельними або чотирьохпіксельними. Трипіксельному шаблону привласнюється значення 1, якщо він не є монотонно зростаючим або спадним, а чотирьохпіксельному - якщо він являє собою «поворот градієнта». В інших випадках шаблонам присвоюється значення 0. На відміну від ЛБШ, ЛДШ другого порядку дозволяє кодувати зміну значення похідної за напрямком, який є характеристикою локальної області зображення.

ЛДШ високого порядку дозволяють більш детально описувати локальний окіл зображення, ніж ЛДШ першого порядку, який використовується в ЛБШ, однак вони більш чутливі до шуму в разі зростання порядку похідної.

3. Уніфіковані (стандартні) шаблони (УЛБШ). Такі шаблони несуть більшу частину значимої інформації і містять не більш 2 переходів 0-1 або 1-0. Уніфіковані ЛБШ дозволяють виявляти локальні примітиви, такі як: контури, плями, кути. При обробці зображення можна враховувати тільки уніфіковані шаблони, які несуть значиму інформацію й не враховувати іншу.

Кількість УЛБШ можна визначити як $P\times(P-1)+2$. Зокрема, якщо для ЛБШ із параметрами $(P, R)=(8,1)$ є 256 різних кодів, то для УЛБШ маємо тільки $8\times(8-1)+2=58$ кодів. Таке зменшення кількості кодів дозволяє знизити кількість помилок, що виникають внаслідок шумів.

Кількість кодових комбінацій також може бути зменшена шляхом введення однозначної відповідності одного шаблону множині шаблонів, що утворюються, наприклад, поворотами зображення навколо центрального пікселя (у цьому випадку досягається інваріантність дескриптора щодо обертання об'єкта), або відповідають шаблонам для випадків, коли об'єкт і фон міняються кольорами.

4. Центрально-симетричний локальний бінарний шаблон (ЦСЛБШ) [8]. Оператор ЦСЛБШ схожий на ЛБШ, але використовує іншу схему порівняння пікселів в околиці центрального пікселя. У той час як у ЛБШ центральний піксель відіграє ключову роль, метод ЦСЛБШ розглядає тільки центрально-симетричні пари значень пікселів. ЦСЛБШ може бути визначений як:

$$CS-LBP(N, R, T)=\sum_{i-1}^{\frac{N}{2}} I_2\left(f_i - f_{i+\frac{N}{2}} \right)\times 2^i , \qquad (3)$$

де T – деякий поріг, що дозволяє досягти стійкості на однорідних областях зображення, а I_2 – індикатор події, обумовлений у такий спосіб:

$$I_2(m)=\begin{cases} 1, m > T; \\ 0, m \le T. \end{cases} \qquad (4)$$

Дана модифікація базового оператора ЛБШ дозволяє скоротити кількість одержуваних кодів: для околу 3×3 оператор ЛБШ дозволяє сформувати 256 різних кодів, а оператор ЦСЛБШ – 16, що дозволяє зробити алгоритм більш обчислювально ефективним. Крім того, цей оператор має ряд переваг, таких як несприйнятливість до змін освітленості й стійкість на однорідних ділянках зображення. Основними недоліками оператора ЦСЛБШ є відсутність інваріантності до шумів і необхідність жорсткого завдання порога T.

5. Поліпшений локальний бінарний шаблон (ПЛБШ). Базова версія ЛБШ ураховує тільки значення сусідніх до центрального пікселів при формуванні бінарного коду, а інформація, укладена в самому центральному пікселі, втрачається. Для околу 3×3 оператор ЛБШ формує тільки 256 різних кодів з $2^9 = 512$, які могли б бути сформовані з урахуванням центрального пікселя.

При утворенні ПЛБШ виходять з того, що існує зв'язок з високою кореляцією між сусідніми пікселями, і центральний піксель містить у собі більше інформації, ніж його сусіди, тому він повинен одержати найбільшу вагу при формуванні коду. ПЛБШ інваріантний до змін освітленості за рахунок того, що дозволяє більш детально описувати артефакти на зображенні й інформацію про текстуру.

6. Медіанний бінарний шаблон (МБШ). МБШ формується наступним чином: якщо в окіл $M\times M$ потрапило N пікселів, то їх впорядковують за зростанням f і будують шаблон аналогічно ПЛБШ, але використовують не середнє значення, а медіану отриманого варіаційного ряду.

7. Локальний тернарний шаблон (ЛТШ). Метод ЛТШ був запропонований для розв'язку проблеми чутливості до шуму в близьких до однорідних областях зображення. Даний метод дозволяє задавати три різні значення при побудові коду, враховуючи знак різниці центрального пікселя із сусідніми. Потрійне кодування досягається шляхом уведення граничного значення у формулу індикатора подій базового ЛБШ (2). Тоді $I_4 \in \{-1, 0, 1\}$.

Кількість можливих кодів ЛТШ становить $3^8 = 6561$. Така кількість кодів приведе до підвищення обчислювальної складності якщо буде потреба підрахунку частоти їх появи (наприклад, за допомогою гістограми). Для усунення цього недоліку ЛТШ може бути представлено у вигляді двох ЛБШ: позитивного й негативного.

8. Поліпшений локальний тернарний шаблон (ПЛТШ). ПЛШ був введений як розширення базового ЛТШ і, подібно ПЛБШ, використовує значення центрального пікселя при формуванні коду, а кожний піксель із його околу береться до уваги з урахуванням усіх інших у даному околі. Як і в базовій версії ЛТШ, ПЛТШ може бути представлено у вигляді двох частин - позитивної й негативної – об'єднанням котрих формується підсумкове значення коду.

V. Аналітичний огляд простих перцептивних хеш-алгоритмів

Ефективними у рішенні пошуку клонованих зображень завдання є алгоритми перцептивного хешування. Перцептивний хеш – це згортка якихось ознак, що описують зображення. Ці алгоритми об'єднує те, що спершу відбувається перетворення зображень (зміна в розмірі, переклад в градації сірого тощо – все це залежить від конкретного алгоритму), будуються хеші зображень, а потім хеші двох зображень порівнюються між собою. Розмір хеша дорівнює кількості пікселів перетвореного зображення.

Основні відмінності алгоритмів зумовлені хеш-функціями.

1. Хеш на основі середнього значення блоку (aHash). Суть даного алгоритму полягає у відображенні середнього значення низьких частот. У зображеннях високі частоти забезпечують деталізацію, а низькі – показують структуру. Тому для побудови такої хеш-функції, яка для

схожих зображень буде видавати близький хеш, потрібно позбутися високих частот. Для цього:

- зменшують розмір ЦЗ, що дозволяє позбутися високих частот;
- мале зображення переводять в градації сірого, що зменшує хеш втричі;
- обчислюють середнє значення кольору для всіх пікселів зображення;
- будують ланцюжок бітів: колір кожного пікселя замінюється на 1 або 0 залежно від того, більше він або менше середнього.
- будують хеш, перекладаючи всі отримані біти в одне значення, записуючи їх, зазвичай, по рядках зверху вниз.

Отриманий хеш розміром має малий розмір, стійкий до масштабування, стискування або розтягування зображення, зміни яскравості, контрасту, маніпуляцій із кольорами і забезпечує високу швидкість роботи. Для порівняння хешів цього типу використовується функція нормованої відстані Хеммінга.

2. Хэш по градієнту (різницевий хеш, dHash). По реалізації, dHash майже ідентичний з aHash, але він відслідковує різницю градієнтів між сусідніми пікселями, визначає відносний напрямок градієнта і працює набагато краще. У цьому випадку 9 пікселів на рядок дають 8 відмінностей між сусідніми пікселями. Вісім рядків з восьми різниць стають 64 бітами. Кожен біт просто встановлюється залежно від того, чи яскравіший лівий піксель за правий. Порівняння двох хэшів здійснюється за відстанню Хеммінга: значення 0 вказує на той самий хеш (на схоже ЦЗ), 10 – на скоріш за все інше ЦЗ, а значення між 1 і 10 потенційно є варіацією.

3. Хеш на основі дискретно–косинусного перетворення (pHash). Дискретне косинусне перетворення (ДКП) виражає функцію або сигнал у вигляді суми косинусоїд з різними частотами й амплітудами. Існує 8 типів ДКП, з яких найпоширенішим є другий тип, що для послідовності сигналу $x[m]$ довжиною N ($m = \overline{0, N-1}$) має вигляд

$$X[n] = \sum_{m=0}^{N-1} c[n, m] \times x[m]. \quad (5)$$

де $c[n, m]$ – елемент матриці ДКП на перетині рядка з номером n $\left(n = \overline{0, N-1}\right)$ і стовпця з номером m $\left(m = \overline{0, N-1}\right)$.

$$c[n, m] = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{m=0}^{N-1} \cos\left(\frac{n\pi(2m-1)}{2N}\right). \quad (6)$$

ДКП–матриця (6) може бути обчислена заздалегідь для будь–якої необхідної довжини. Таким чином, ДКП може бути презентовано у вигляді:

$$\text{ДКП}(I) = C \times I \times C', \quad (7)$$

де C – ДКП-матриця; I – зображення квадратного розміру, що збігається з розміром C; C' - зворотна матриця.

Перелічимо кроки побудови хеша за допомогою даного алгоритму:

- усунути колір для придушення непотрібних високих частот;
- застосувати фільтр усереднення для зменшення рівня шуму;
- зменшити зображення до розміру 32x32;
- застосувати ДКП до зображення;
- з отриманої матриці 32×32 виділити підматрицю 8×8 зі зрушенням 1×1 від верхнього лівого кута і обчислити для неї середнє значення;
- скласти з 64 величин матриці 64-бітовий масив, у якому біт рівний 1, якщо значення величини більше середнього, і 0 якщо менше.

Головні переваги такого хешу: стійкість до малих поворотів, розмиття й стискування зображення, а також швидкість порівняння хешів, завдяки їх малому розміру і простоті обчислення відстані Хеммінга.

VI. Розробка програмного забезпечення і проведення досліджень

У якості середовища розробки було обрано мову C++ в Code::Blocks 17.12. з компілятором GCCMinGW. Оскільки задачею програми є робота з зображеннями, то також використовувався WinAPI. Основна програма була побудована на базі діалог-орієнтованого вікна.

За допомогою локальних бінарних шаблонів проводиться попередня обробка зображення. Вона ведеться в режимі ковзного вікна по рядках зі зрушенням на 1 піксель. Алгоритм підпрограми наведено на рис.1.

Безпосередньо для пошуку можливої модифікації клонуванням використовується перцептивне хешування блоків зображення також у режимі ковзного вікна.

Для того щоб знайти клоновані області на зображені потрібно реалізувати алгоритм порівняного перцептивного хешу. Ідея алгоритму отримання хеша зображення полягає у наступному:

1. Обираємо блок розміром CxR.

2. Початкове значення хешу встановлюється рівним 0.

3. Порівнюється яскравість двох пікселів з координатами (0,1) та (0,0).

Якщо перший піксель має більшу яскравість, то у нульовий біт хешу встановлюється 1.

4. Повторюємо крок 3 для рядку (C – 1) біт. Останній біт рядка порівнюється з початковим, формуючи "C" біт хешу.

5. Повторюємо пункти 3–4 для наступних рядків.

6. Останній біт хешу формується через порівняння найпершого пікселя з останнім пікселем блоку.

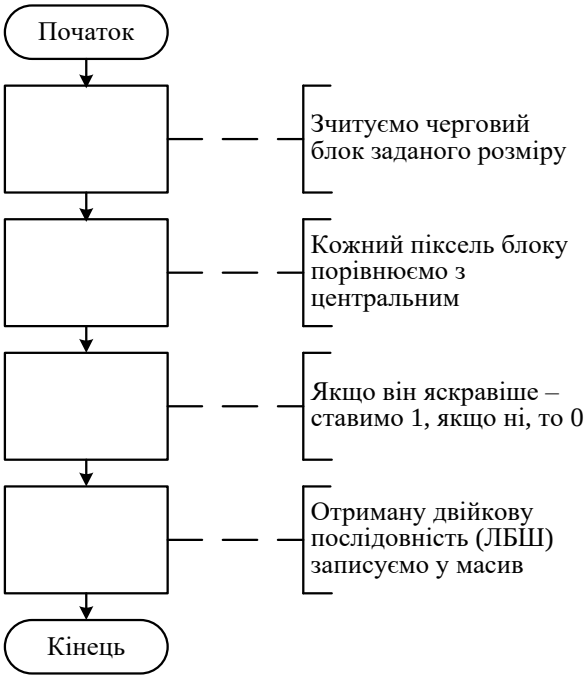


Рис.1 Алгоритм ЦСЛБШ

Останнім етапом обробки є пошук збігів по всім хешам та показ клонованих місць на самому зображені у вигляді білих блоків.

У процесі виконання експериментального дослідження до клонованої області за допомогою програми PhotoshopCS6 були додані такі модифікації як:

- зміна різкості;
- зміна прозорості;
- розмиття;
- додавання шуму (по Гауссу).

Проведені дослідження довели працездатність розробленого програмного забезпечення. Наприклад, при порівнянні базового і центрально-симетричного шаблонів були отримані наступні результати:

- при зміні різкості клонованої області з 1% до 18% можна зробити висновок, що базовий ЛБШ працює краще ніж ЦСЛБШ. Суттєва різниця між алгоритмами починається на 15% зміни різкості, а при такій модифікації клонований об'єкт можна побачити на око;
- при зміні прозорості клонованої області з 1% до 17% алгоритми виконують пошук клонованих областей однаково з однаковою ефективністю. При зміні прозорості на 17% алгоритми не можуть знайти клоновані області, але при такій модифікації об'єкт можна побачити на око;
- при розмитті клонованої області ЦСЛБШ справляється з задачею пошуку модифікацій краще ніж базовий ЛБШ.
- обидва алгоритми показали свою нестійкість до шумів (по Гаусу). Вже при додаванні 0.1% шуму методи пропускають більшу частину пікселів.

VII. Висновки

Таким чином, в даній роботі на основі проведеного аналізу існуючих методів формування локальних бінарних шаблонів та перцептивних хешів розроблені алгоритми і програмне забезпечення для дослідження ефективності спільного використання бінарних шаблонів і порівнянних хешів для виявлення модифікацій цифрових зображень.

Апробація розробленого програмного забезпечення, яке має гнучку структуру і придатне для розширення, довела його працездатність.

Результати роботи можуть бути корисним при проектуванні повнофункціональних систем виявлення модифікацій ЦЗ, а також у навчальному процесі.

Література References

[1] A.A. Kobozeva, "Osnovy obshcheho podkhoda k reshenyyu problemy obnaruzhenyya fal′syfykatsyy tsyfrovoho syhnala", *Elektromashyno-buduvannya ta elektroobladnannya*, Issue 72, pp.35–41, 2009.

[2] A.A. Kobozeva, V.V. Zorilo, "Metod vyyavlennya fal′syfikatsiyi tsyfrovoho zobrazhennya v umovakh zburnykh diy", *Zbirnyk naukovykh prats' Viys'kovoho instytutu Kyyivs'koho natsional'noho universytetu im.T.Shevchenka*, Issue 20, pp.147–154, 2009.

[3] J. Fridrich, D. Soukal, J. Lukas, "Detection of copy-move forgery in digital images", *Digital Forensic Research Workshop*, no.3, pp.90-105, 2003. [Online]. Available: https://www.researchgate. net/ publication /313010856_Detection_of_Copy-Move_Forgery_in_Digital_Images

[4] M.S. Mahdi, S.N. Alsaad "Detection of Copy-Move Forgery in Digital Image Based on SIFT Features and Automatic Matching Thresholds" in *Applied Computing to Support Industry: Innovation and Technology*: First International Conference ACRIT 2019. Iraq, Ramadi, Springer Nature Switzerland AG, 2019, pp. 17-31. [Online]. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-38752-5_2.

[5] N.T. Pham, J.W. Lee, C.S. Park "Structural Correlation Based Method for Image Forgery Classification and Localization" (2020). [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2076-3417/10/13/4458/pdf

[6] T. Ojala, M. Pietikinen, D. Harwood, "A comparative study of texture measures with classification based on featured distribution", *Pattern Recognition*, no. 29(1), pp. 51-59, 1996. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1016/0031-3203(95)00067-4.

[7] G.L. Friedman, "Trustworthy digital camera: restoring credibility to the photographic image", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol.39, no.4, pp. 905–910, 1993. [Online]. Available: https://ieeexplore. ieee.org/document/267415.

[8] M. Heikkilä, M. Pietikäinen, C. Schmid, "Description of interest regions with local binary patterns", Pattern Recognition, vol. 42(3), pp. 435-436, 2009. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/222541140_Description_of_Interest_Regions_with_Local_Binary_Patterns.

Гібридні Загрози Об’єктам Критичної Інфраструктури

Олександр Галущенко
кафедра захисту інформації
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
ha@ncscc.gov.ua

Hybrid Threats to Critical Infrastructure Facilities

Oleksandr Halushchenko
dept. of Information Protection
Vinnytsia National Technical University
Vinnytsia, Ukraine
ha@ncscc.gov.ua

***Анотація*—Розглядаються та аналізуються сучасні види уразливостей та загроз об’єктам критичної інфраструктури.**

***Abstract*—Modern types of vulnerabilities and threats to critical infrastructure are considered and analyzed.**

Ключові слова—уразливості; загрози; атаки; захист об’єктів

Keywords—vulnerabilities; threats; attacks; object protection

I. Вступ

Велика кількість об’єктів критичної інфраструктури та обсягів інформації, що використовується ними і потребує надійного захисту, вимагає постійного моніторингу стану захищеності інформаційних ресурсів та засобів їх зберігання від несанкціонованого доступу з боку свого персоналу, сторонніх осіб або організацій. Безперервну увагу необхідно приділяти аналізу можливих уразливостей об’єктів та їх ресурсів від різних видів загроз і цілеспрямованих атак.

II. Стандартний вектор атаки в лоб

Більшість атак мають стандартні механізми впливу, вже описані і відомі. Зазвичай застосовується методологія, побудована на досвіді успішного застосування і не вимагає витрат для вивчення. Фактично, всі дані можна знайти у вільному доступі.

Відомо, що 90% зловмисників використовують уже відомі уразливості і методи атак, нічого нового в них немає. В таких випадках допомагає своєчасне оновлення і відстеження новин.

Групи захисту об'єктів, іменовані «блакитною командою», так само вивчають всі наявні дані і готові протистояти нападам конкретного виду. Головне питання полягає у своєчасному отриманні інформації та наявності затверджених методик реагування. Саме це і є основним критерієм рівня компетенції «блакитної команди».

Будь-які нестандартні і раніше не використовувані методи проникнення вимагають часу, витрат на дослідження, тестування і знаходження раніше ще не описаних уразливостей, про які ще не відомо виробникам обладнання та широкому колу фахівців. Такі уразливості носять назви «експлойтів нульового дня (Zero-day)». Подібні вразливості, залежно від способу впливу, наслідків, операційної системи, що атакується, і ширини охоплення однотипних пристроїв можуть коштувати від 10 000 до кількох мільйонів доларів. Існує чорний ринок, на якому можна продати або купити подібні продукти, або замовити дослідження з метою пошуку вразливості в певних системах.

Будь-яка атака - це складний захід, до якого залучаються фахівці високого рівня з високою оплато праці. Відповідно, витрати потрібно покрити. Тому атака на будь-які об'єкти завжди зводиться до отримання прибутку: або шантаж за допомогою витягнутих документів, або виконання замовлення, або крадіжка грошових коштів, зокрема, у вигляді криптовалют.

Окремо варто відзначити атаки, спонсоровані державою. Це довгострокові проекти, у яких основним завданням є не отримання грошових коштів, а отримання, зміна або знищення певної інформації.

Бувають рідкісні моменти (хоча в деяких країнах це дуже поширене явище), коли відповідальні особи абсолютно не розуміють поставлених перед ними завдань. В результаті таких дій взагалі відсутній будь-який захист інформаційних ресурсів, або він настільки слабкий, що для подолання таких систем захисту досить рівня просунутого користувача ПК. Варто вказати, що іноді бувають приклади повного безпарольного доступу до всіх ресурсів організації (розшарені папки, відкриті для запису, відкриті FTP сервери з бекапа організацій, бухгалтерською документацією та паролями доступу до всіх систем і т.п.). Як показує практика, це пов'язано з нерозумінням можливої загрози, низькою компетенцією керівника організації і думкою, що «кому ми потрібні і хто нас захоче зламувати: у нас нічого немає».

III. Репутаційні і промислові ризики

Розглянемо приклад, що страшніше: злам сайту організації або сервера, керуючого виробничим процесом, або системи зі сховищем даних. Тут ми стикаємося з повним нерозумінням рівнів можливого збитку від різних дій зловмисників.

За дивним збігом обставин, чомусь більшість населення вважає що сайт є однією з основних систем будь-якого підприємства. Насправді це не так: сайт - це просто візитна картка, яка містить інформацію про підприємство, новини, контакти. У разі зламу журналісти можуть зробити дуже багато шуму і розповісти всім, що організація зламана. Але насправді ризики тут мінімальні - вони тільки репутаційні. Зміна тексту на першій сторінці не зупинить роботу реактора. Основні системи, що забезпечують виробничий процес, залишаються непорушними.

Зазвичай зламом або спотворенням сайту займаються люди або групи, які хочуть заявити про себе, або якась організація, що прагнитьдо необхідного резонансу в соціальних мережах і в пресі, щоб зробити певний рівень обурення. Наприклад, молода хакерська група вибирає собі гучну назву, і для того щоб привернути увагу до себе робить дії, що несуть сильний інформаційний ґвалт і повторюваність новин з метою поширити інформацію про себе в надії на можливі подальші замовлення.

Однією з основних проблем є нерозуміння керівництва підприємств і організацій ситуації з відділами IT та інформаційної безпеки. Зовсім не ясна відмінність функцій і завдань. Існує думка, що хлопчик-студент впорається із завданням підтримки системи за 200 доларів на місяць. Немає чіткого контролю діяльності таких підрозділів, немає моделі загроз, немає ясності, що і як можна автоматизувати, як спростити роботу. Зазвичай в таких організаціях людина, відповідальна за цей напрямок, не є фахівцем, вона запускає систему один раз і підтримує її в ледь робочому стані. У разі її звільнення, смерті або іншого випадку в організації залишається ризик втратити доступ до всієї інформації. За традицією така людина майже завжди є родичем або директора, або власника компанії.

Важливий підхід до оцінки ризиків. Він повинен враховувати всі можливі варіанти розвитку подій і не будуватися на однобічній думці. В останні 5-7 років сильно змінилася градація оцінки в бік кібер- (страхування / захисту / гігієни / фахівців / відділів / бюджетів). Багато іменитих аудиторів з великої трійки продовжують робити аудит інформаційної безпеки на основі документів, що надаються клієнтом. Не враховується справжній стан речей, не проводиться тест на проникнення, що імітує атаку хакерів. Освоюються величезні бюджети на застарілі і абсолютно непотрібні системи, вимоги до яких закладені в застарілому і не актуальному на сьогодні законодавстві. Для зміни ситуації необхідно прийняття нових правил, вимог, законів. Ситуація затьмарюється відсутністю фахівців у даній сфері. Всі, хто розбирається в ситуації і компетентний, працюють у приватних компаніях, а працівники держсектору не мають потрібного рівня досвіду, кваліфікації, або просто не хочуть змінювати існуючий порядок справ. Саме нерозуміння градацій ризиків зараз є однією з основних проблем в галузі.

IV. Що повинні охоплювати правила і політики безпеки

Не існує двох абсолютно однакових систем. Завжди є відмінності в умовах експлуатації. Головне зрозуміти принципи і знати правила побудови, а не повторювати методом копіювання. Потрібно враховувати всі змінні. Вони завжди різні. Потрібно навчити думати, а не списувати. Існує практика, коли проектуванням і навчанням займається одна компанія, а експлуатацією - інша, але постійно відбуваються тренінги та підтримка системи в актуальному стані. Це ідеальний варіант, і так роблять компетентні фахівці / компанії / керівники. Інший варіант - це коли проектуванням і підтримкою системи займається команда на об'єкті всередині організації, але в цьому випадку необхідно мотивування фахівців і створення можливості постійно проводити навчання персоналу і тримати в актуальному стані безпосередніх виконавців і керівників різних рівнів, які відповідать за напрям «кібербезпека».

Кібербезпека - це процес, а не стан. Сьогодні система ідеальна, а через місяць, після появи нової уразливості - вона вже не захищає від ризиків. Так саме, один пристрій без оновлень правил роботи та версії програмного засобів не забезпечить належний рівень захисту.

У деяких рамках необхідно жорстке регулювання сфери державою. Але не до рівня, яке обладнання потрібно встановлювати (модель, виробник), а до визначення завдання щодо належного рівня захисту об'єкту і жорсткого контролю за виконанням вимог. Це важливий момент, без якого неможливо створювати гнучкі і швидко адаптовані системи протидії загрозам. Варто відзначити, що це загрози не тільки технічного плану, але і організаційного. Наприклад, завжди потрібно враховувати людський фактор.

Кожна система унікальна. Застосування неадаптованих шаблонів може завдати більше шкоди, ніж користі. Завжди потрібно визначати завдання і принципи побудови, виходячи з усіх можливих факторів: розташування, особовий склад, особливості внутрішніх процесів, висота над рівнем моря, резерви енергоживлення і т.п. Навіть зовні два однакових об'єкта, розташовані територіально в різних місцях, ніколи не повторюватимуть політики один одного. Тим більше це актуально, якщо об'єкти з різних сфер виробництва, обслуговування і т.п. Не варто вірити продавцям продуктів «з коробки»: це або неробочий продукт, або не адаптований, і для його адаптації буде витрачено в рази більше коштів, ніж на його придбання.

V. Слабка ланка

Проблема компетентності була завжди, в усіх сферах. Але особливо гостро вона проявляється в кіберпросторі. Одне неправильне управлінське рішення може розорити компанію, або призвести до витоку даних, або до аварії з глобальними наслідками.

Гостро стоїть питання навчання керівництва для можливості правильно ставити завдання і навчити контролювати роботу відділів IT. На сьогодні почалися такі програми на державному рівні для керівників об'єктів критичної інфраструктури.

Має місце високий рівень корупції при продовженні ліцензій на продукти, виборі необхідного програмного забезпечення, парку обладнання. Набагато гірше, коли керівництво в курсі справ і дозволяє красти гроші. У державному та приватному секторі витрачаються величезні суми на непотрібні елементи, далеко не завжди необхідні в роботі організації.

Бажання зручності використання проти безпеки. Існують об'єкти, за специфікою яких заборонено використання бездротових мереж WI-FI. Але керівництво все одно вимагає встановити їм точку доступу для підключення модних гаджетів і підключення планшетів або ноутбуків до робочих мереж, в яких циркулює дуже важлива і критична інформація. Часто обґрунтуванням є приклад суміжних відомств / виробництв / міністерств, в яких подібні рішення вже впроваджені. Це дуже критична уразливість, і такі бажання потрібно припиняти на будь-якому рівні.

Бажання заощадити, закупити дешеве обладнання і послуги завжди призводить до проблем. Разом з фразою «так кому ми потрібні» виходить серйозний вектор атаки і зменшення захисту систем майже до нуля. Наприклад, кілька років тому одна державна організація замовила проект системи з дуже жорсткими вимогами. Проект був створений, і для вирішення питання необхідно було конкретне обладнання конкретного виробника з чітко описаними характеристиками. Однак, організація відмовилася від створеного проекту і закупила в іншої компанії обладнання декількома класами нижче і дешевше. В результаті поставлена задача не вирішена, гроші витрачені і вкрадені, відповідальних немає.

Не завжди можна відразу профінансувати всі системи безпеки. У цьому можуть допомогти:

- страховка кібер ризиків,
- оренда обладнання, або лізинг,
- аутсорс певної частини інфраструктури,
- залучення сторонніх фахівців,
- повільне навчання власного персоналу з жорсткими договорами про час відпрацювання в компанії, наприклад, 10 років.

Розглянута лише частка загроз. Пошук у фейсбуці за тегом #FRD принесе сотні конкретних прикладів за останні 3 роки.

VI. Висновок

Наявність та чітке дотримання актуальної політики інформаційної безпеки, постійний моніторинг стану безпеки інформаційних ресурсів від уразливостей та сучасних видів загроз дозволяють забезпечити надійний захист об’єктів критичної інфраструктури.

Визначення Рівня Впливу Кіберзагроз на Розвиток Морської Галузі

Олена Баронова
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
baronovaelena52@gmail.com

Марина Турти
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
turtym@meta.ua

Сергій Ганчо
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
original.smokee@gmail.com

Determining the level of impact of cyber threats on the development of the maritime industry

Olena Baronova
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
baronovaelena52@gmail.com

Marina Turty
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
turtym@meta.ua

Sergiy Gancho
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
original.smokee@gmail.com

***Анотація*—Проведено огляд сучасних методів дослідження загроз інформаційної безпеки об'єктів морської інфраструктури. Визначені пріоритетні напрями розвитку та загрози корпоративній безпеці морської галузі. Створена модель ієрархії впливу інформаційних загроз на розвиток водно-транспортного комплексу (ВТК).**

***Abstract*—The review of modern researching methods of information security threats to marine infrastructure have been carried out. Priority directions of development and threats to corporate security of the maritime industry have been identified. A model of the hierarchy of the impact of information threats on the development of the water transport complex (WTC) has been created.**

Ключові слова—кібербезпека, інформаційна безпека, аналіз загроз, метод аналізу ієрархій, попарні порівняння, воднотранспортний комплекс.

Keywords—cybersecurity, information security, threat analysis, hierarchical analysis method, pairwise comparisons, water transport complex.

I. Вступ

Транспортна галузь є важливою стратегічною складовою національного господарства, яка впливає на національну безпеку, економічний розвиток країни та на її міжнародну інтеграцію.

Розвиток будь-якої галузі залежить від множини різноманітних факторів, що з різною силою впливають на загальний результат. Дослідження розвитку ВТК не є виключенням. Проблеми і завдання розвитку морської галузі розглянуті в Морській доктрині України на період до 2035 року, яка затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 7 жовтня 2009 р. №1307 [1]. Кожна з цих проблем має інформаційну складову. Крім того, в сучасній морській індустрії ІТ-технології відіграють дуже важливу роль, причому їх роль і значення постійно зростає, але впровадження цих технологій породжує відповідні проблеми в галузі кібербезпеки.

В наш час воднотранспортний комплекс необхідно розглядати як об'єкт інформаційної атаки. А оскільки до ВТК відносяться і морські виробничі галузі, і берегові, і портові підприємства, і невиробничі сфери, то можна припустити, що обмін інформацією між усіма підрозділами є важливою складовою загального розвитку.

Згідно доповіді IBM в 2016 році морська інформаційна інфраструктура зайняла п'яте місце в рейтингу об'єктів атаки хакерів.

Серед недавніх інцидентів інформаційних атак можна згадати шкідливе програмне забезпечення (ПЗ) NotPetya, що паралізувало роботу одного з найбільших перевізників контейнерів A.P. Moller-Maersk та завдало збитків по різним оцінкам до 300 млн USD [6]. Початок інциденту поклала відповідь одного з співробітників на електронний лист із шкідливим ПЗ. Постраждала система компанії, і операції довелося відкласти до відновлення системи.

II. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

В результаті опитування людей з усього морського сектора, проведеного Морським порталом «FairPlay» у 2018 році, було встановлено що більш ніж 20% стали жертвами інформаційного інциденту, 72% заявили, що їх компанія стала жертвою кіберінциденту за останні 12 місяців.

Дослідженням інформаційної безпеки транспорту займалися: В.П. Бабак, Д.С. Бірюков, В.С. Блінцов, О.В. Блінцов, С.О. Гнатюк, О.О. Корнієнко, О.Г. Корченко, В.А. Лахно, О.І. Стасюк, В.П. Харченко та інші [2, 3, 4, 5]. Однак в Україні дослідження в галузі морського транспорту носять фрагментарний характер.

Серед іноземних авторів, дослідженням займались Young-Chan Lee, Sang-Kyun Park, Woo-Kun Lee, Jun Kang («Improving cyber security awareness in maritime transport: A way forward»), дослідження North of England P&I Association «Ship Security» [6] та багато інших.

Дослідження проблем розвитку окремих галузей транспорту проводили А.М. Штангрет (галузь авіабудування) [3] та Якименко-Терещенко Н.В і Пронкіна Л.І. (залізничний транспорт) [5], але в цих роботах не враховані питання кібербезпеки. Для забезпечення сталого розвитку галузі вирішення проблем необхідно проводити на основі системного підходу з врахуванням усіх факторів, включаючи кібербезпеку. Базою для вивчення складних організаційно-адміністративних систем до яких можуть бути віднесені і системи керування та інформаційно-комунікаційні системи ВТК став системний аналіз – сукупність методів і засобів дослідження складних, багаторівневих і багатокомпонентних систем, об'єктів, процесів, що спираються на комплексний підхід, облік взаємозв'язків і взаємодій між елементами системи. Для такої складної системи, як морська галузь немає єдиного методу дослідження, який би в повній мірі дав картину всіх моментів розробки та аналізу системи.

Для дослідження в даній роботі використані методи експертних оцінок, аналізу ієрархій, попарних порівнянь.

III. Мета і задачі дослідження

Метою роботи є визначення впливу загроз інформаційної безпеки на основні проблеми розвитку морської галузі.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- провести аналіз існуючих рішень в галузі дослідження загроз інформаційної безпеки об'єктів морської інфраструктури;
- провести аналіз пріоритетних напрямів розвитку та проблем морської галузі;
- визначити структуру та основні інформаційні потоки ВТК;
- провести аналіз загроз корпоративній безпеці ВТК;
- визначити і проаналізувати загрози інформації та їх вплив на проблеми розвитку ВТК.

IV. Моделювання ієрархії загроз корпоративній безпеці морської галузі

Ефективна експлуатація ВТК України суттєво залежить від захищеності його інформаційної компоненти, а порушення цілісності, доступності й конфіденційності інформації, що циркулює в комплексі, часто створює загрози загальнодержавного масштабу. Крім того, міжнародна нестабільність породжує додаткові загрози для ВТК України - тероризм (у тому числі, кібертероризм), піратство, захоплення заручників, викрадення суден та ін.

Загрози розвитку ВТК України мають різноманітний характер й можуть привести до катастрофічних наслідків - виключення України із транзитних вантажопотоків і втрати частини транзитного потенціалу.

Аналіз загроз розвитку морської галузі виконано за методикою моделювання ієрархії загроз корпоративній безпеці транспорту [3]. Перелік загроз формуємо експертним методом на основі даних з Морської доктрини України та інших джерел:

- відсутність єдиної державної стратегії розвитку морської галузі (ВДС);
- дефіцит фінансових ресурсів (ДФР) ;

- моральний й фізичний знос технологій й обладнання (МФЗ) ;
- неефективність інноваційного процесу (НІП);
- відсутність системної кадрової політики та брак кваліфікованого персоналу (БКП);
- відсутність чіткого розподілу відповідальності та неврегульованість взаємовідносин ланок ВТК (ВЧР);
- зниження попиту на продукцію вітчизняного виробництва на світовому ринку (ЗНП);
- низький рівень впровадження сучасних технологій у т.ч інформаційних, які здатні вивести галузь на новий рівень та забезпечити інформаційний захист (НРСТ).

Можливі взаємозв'язки між цими загрозами визначимо у вигляді орієнтованого графу (рис.1.), вершинами якого є елементи підмножин. Залежність однієї загрози від іншої відображається дугою, яка спрямовується від загрози, на яку здійснюється вплив до залежної від неї загрози (кінець стрілки вказує на загрозу, на яку впливають).

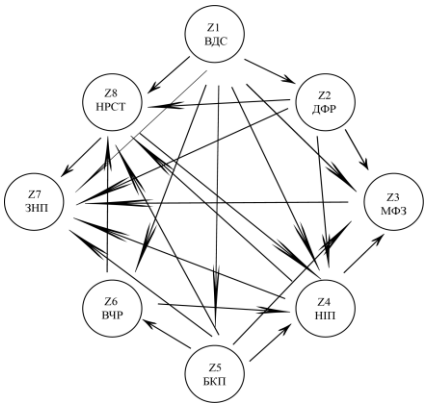


Рис. 1 Граф зв'язків між факторами впливу на ВТК

На основі даного графу будуємо бінарну матрицю залежності для множини вершин *Z* та матрицю досяжності. Перетин підмножин вершин досяжних и вершин-попередниць, тобто підмножина вершини якої не досягаються з будь-якої з вершин множини *Z*, що залишилися, визначає певний ієрархічний рівень пріоритетності впливу факторів, віднесених до цих вершин. В декілька ітерацій визначаємо рівні ієрархії загроз розвитку ВТК. Після виконання п'ятої ітерації можна зробити висновок, що головною загрозою розвитку воднотранспортного комплексу в Україні на даний момент часу є відсутність єдиної державної стратегії розвитку морської галузі (ВДС), що стало кінцевим результатом дослідження у вигляді структурованої моделі (рис. 2), що імітує пріоритетність їх впливу на розвиток галузі.

Рейтинг свідчить про те, що всі проблеми морської галузі необхідно вирішувати комплексно на основі системного підходу, приймаючи до уваги взаємний вплив різноманітних аспектів.

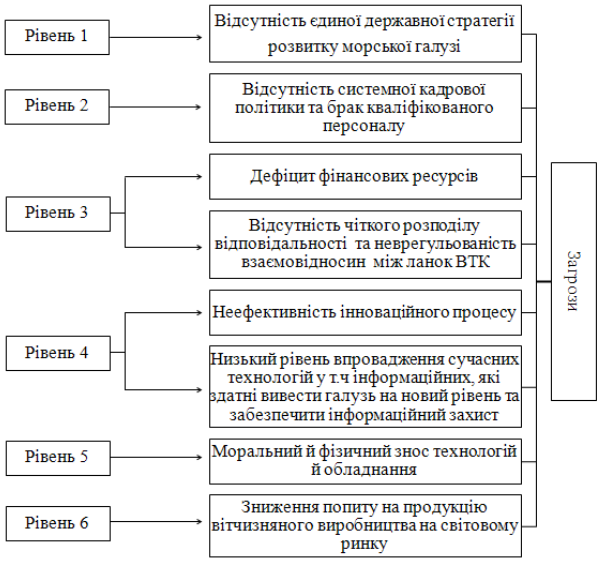


Рис.2 Модель рейтингу ключових загроз у сфері розвитку воднотранспортного комплексу України

V. Аналіз інформаційних загроз та їх впливу на проблеми розвитку воднотранспортного комплексу

Для аналізу інформаційних загроз та їх впливу на проблеми розвитку ВТК застосовуємо методику аналізу ієрархій на основі методу попарних порівнянь [7].

Експертним методом формуємо перелік загроз інформаційній безпеці ВТК (табл. 1).

ТАБЛИЦЯ І. ОПИС ЗАГРОЗ ІНФОРМАЦІЙНІЙ БЕЗПЕЦІ ВТК

№	Сутність загрози	Загрози
1	Пошук, збір та аналіз конфіденційної інформації стосовно морської галузі	M01
2	Несанкціонований доступ (НСД) до компонентів ІКС ВТК	M02
3	Блокування доступу до ресурсів ІКС ВТК	M03
4	Перехоплення та аналіз трафіку у ІКС ВТК	M04
5	НСД до навігаційних систем	M05
6	Декодування інформації з джерел ВТК	M06
7	Отримання інформації про користувачів	M07
8	Застосування вірусів у ПЗ ВТК	M08
9	Програмно-апаратні закладки в ПЗ	M09
10	Витік інформації про об'єкти водного транспорту й морської інфраструктури по технічним каналам	M10

Обираємо основні фактори, що можуть зашкодити розвитку ВТК першого, другого та четвертого рівнів.

Враховуючи вплив загроз інформаційній безпеці на фактори захищеності інформації та вплив ключових критеріїв на фактори розвитку ВТК будуємо загальну структура зв'язків впливу інформаційних загроз на корпоративну безпеку ВТУ (граф зв'язків).

Структура зв'язків впливу інформаційних загроз на корпоративну безпеку наведена на рис.3.

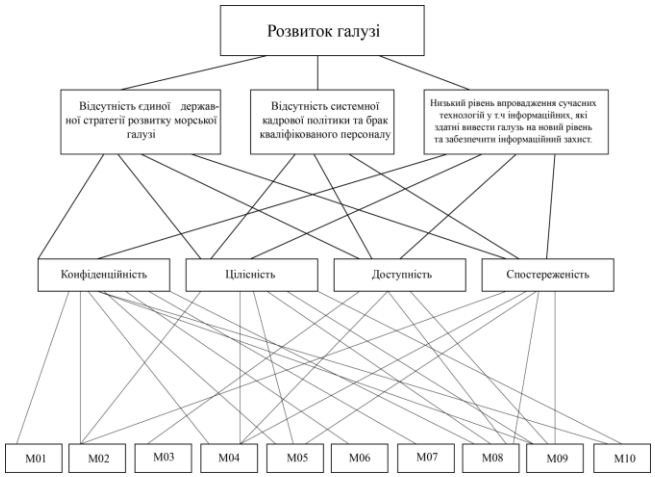


Рис.3 Структура зв'язків впливу інформаційних загроз на корпоративну безпеку

На першому кроці порівнюємо загрози інформаційної безпеки за важливістю. Для цього заповнюємо матрицю попарних порівнянь інформаційних загроз за шкалою Сааті. Експертними оцінками заповнюється лише перший рядок матриці, а інші елементи її над- і піддіагональної частини обчислюються [7]. Використовувана бальна шкала може мати різну кількість градацій, в залежності від специфіки системи. Вплив інформаційних загроз на проблеми морської галузі досліджуємо через ключові критерії, в якості яких обираємо критерії захищеності інформації: конфіденційність (К), цілісність (Ц), доступність (Д) та спостереженість (С). Заповнюємо матриці попарних порівнянь для кожного із критеріїв (К, Ц, Д, С) і обчислюємо вектори пріоритетів.

За матрицею попарних порівнянь інформаційних загроз обчислюються вектори пріоритетів. На наступному кроці виконуємо порівняння проблем з точки зору їх впливу на розвиток галузі. Обчислюємо вектор пріоритетів впливу проблем на розвиток ВТК.

На четвертому кроці порівнюємо фактори захищеності з точки зору їх впливу на кожну із проблем. Обчислюємо вектори пріоритетів.

Обчислюємо пріоритети впливу факторів захищеності інформації на розвиток морської галузі та вектор глобальних пріоритетів впливу факторів на розвиток галузі (добуток матриці вектора пріоритетів загроз на вектор пріоритетів К, Ц, Д, С).

Результатом проведеного дослідження стала ієрархія впливу інформаційних загроз на розвиток ВТК на основі якої була побудована модель ієрархії рис. 4.

VI. Висновки

Таким чином, в даній роботі на основі проведеного аналізу сучасних методів дослідження загроз інформаційної безпеки морської галузі, аналізу пріоритетних напрямів розвитку та проблем морської галузі визначені пріоритети загроз корпоративній безпеці розвитку морської галузі. Побудовані моделі рейтингу ключових загроз для розвитку морської галузі та ієрархії впливу інформаційних загроз на розвиток ВТК. Отримані результати можуть бути основою для подальших більш детальних досліджень впливу загроз інформаційної безпеки для окремих підприємств, або підгалузей ВТК (наприклад суднобудування, суден торговельного флоту або інших).

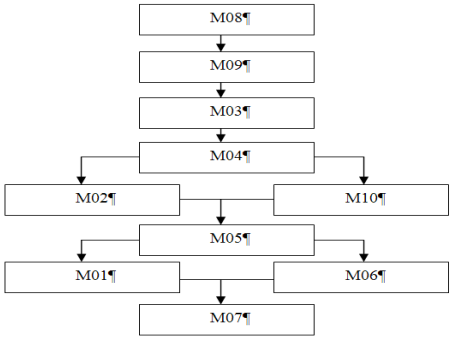


Рис.4 Модель ієрархії впливу інформаційних загроз на розвиток ВТК

Література References

[1] "Mors′ka doktryna Ukrayiny na period do 2035 roku, yaka zatverdzhena postanovoyu Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 7 zhovtnya 2009 r. №1307." [Online]. Available: https://zakon.rada. gov.ua/laws/show/1307-2009-%D0%BF.

[2] V.A. Lakhno, "Pidvyshchennya kiberbezpeky transportu v umovakh destruktyvnoho vplyvu na informatsiyno-komunikatsiyni systemy", *Vostochno-Evropeyskyy zhurnal peredovykh tekhnolohyy*. Kharkiv, Ukraine, no.1(3), pp.4-11, 2016. [Online]. Available: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2016_1%283%29__2.

[3] A.M. Shtanhret, "Modelyuvannya zahroz dlya vitchyznyanoyi aviabudivnoyi promyslovosti", *Naukovyy visnyk L'vivs'kyy derzhavnyy un-t vnutrishnikh sprav*, Lviv, Ukraine, LDUVS, Seriya ekonomichna, issue 1, pp. 93–103, 2011. [Online]. Available: https://www.lvduvs.edu.ua/documents_pdf/visnyky/nvse/01_2011/11shamvap.pdf

[4] V.S. Blintsov, P.V. Maydanyuk, "Kontseptsiya systemy zakhystu informatsiyi, shcho tsyrkulyuye na ob`yektakh mors′koyi infrastruktury", *Zbirnyk naukovykh prats' Natsional'noho ueiversytetu korablebuduvannya.* Mykolayiv, Ukraine, NUK, no.1, pp.57-64, 2016. [Online]. Available: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN& Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=znpnuk_2016_1_11.

[5] N.V. Yakymenko-Tereshchenko, L.I. Pronkina, "Modelyuvannya iyerarkhiyi zahroz korporatyvniy bezpetsi transportu", *Ekonomichna kibernetyka: modelyuvannya sotsial'no-ekonomichnykh system*: kol. monohrafiya. red.: L.M. Savchuk, K.F. Koval′chuk. Dnipro, Ukraine, pp. 280-290, 2017.

[6] Y.C. Lee, S.K. Park, W.-K. Lee, J. Kang, "Improving cyber security awareness in maritime transport: A way forward", 9 p. (2017). [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Young_Chan_Lee/publication/321390418_Improving_cyber_security_awareness_in_maritime_transport_A_way_forward/links/5cdb4b81a6fdccc9ddae3d60/Improving-cyber-security-awareness-in-maritime-transport-A-way-forward.pdf.

[7] M.V. Turty, "Protsedura formuvannya nechitkykh etaloniv na osnovi poparnykh porivnyan′", *Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu im.V.Dalya*. Luhans′k, Ukraine, Vyd-vo SNU im.V.Dalya, no.15(204), part1, pp.204-209, 2013. [Online]. Available: http:// www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?

Аналіз Впливу Загроз Інформаційній Безпеці на Проблеми Портової Галузі

Олена Баронова
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
baronovaelena52@gmail.com

Марина Турти
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
turtym@meta.ua

Владислав Мавроді
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
nice.lol212retard@gmail.com

Analysis of the Impact of Information Security Threats on the Problems of the Port Industry

Olena Baronova
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
baronovaelena52@gmail.com

Marina Turty
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
turtym@meta.ua

Vladislav Mavrodi
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
nice.lol212retard@gmail.com

***Анотація*—Проведено огляд сучасних методів дослідження загроз інформаційної і кібербезпеки об'єктів портовової галузі. Визначені пріоритетні напрями розвитку та загрози корпоративній безпеці галузі. Створена модель ієрархії впливу інформаційних загроз на розвиток портової галузі.**

***Abstract* —The review of modern methods of researching information and cybersecurity threats in the port industry have been carried out. Priority areas of development and threats to corporate security of the industry have been identified. A model of the hierarchy of the impact of information threats on the development of the port industry has been created.**

Ключові слова—кібербезпека, інформаційна безпека, аналіз загроз, метод аналізу ієрархій, попарні порівняння, морський торговельний порт.

Keywords—cybersecurity, information security, threat analysis, method of analysis of hierarchies, pairwise comparisons, sea trade port.

I. Вступ

Морські торговельні порти є стратегічно важливими складовими, чинниками та базою розвитку транспортно-логістичної інфраструктури національної економіки.

Морський торговельний порт (МТП) є суб'єктом господарювання основної та допоміжної діяльності у сфері транспорту, що поєднує функції морського вантажного порту та комплексного обслуговування і супроводу вантажів. При цьому МТП реалізує функції підтримки безпеки морського транспорту та принципи відповідної державної політики. Морський торговельний порт є важливим об'єктом у створенні інноваційного державно-приватного партнерства разом з комерційним сектором[1, 2, 3].

Україна має вигідне транзитне положення, володіє найпотужнішим портовим потенціалом серед усіх держав Чорного моря. На узбережжі Чорного та Азовського морів функціонує 13 морських торговельних портів. але портова галузь України перебуває у скрутному становищі й дедалі більше втрачає конкурентні позиції на ринку портових послуг Чорноморсько-Азовського басейну, що, насамперед, позначається на скороченні вантажопотоку через українські порти [2].

Сталий розвиток морських портів, що з'єднують транспортно-дорожній комплекс України із світовою транспортно-логістичною системою, є необхідною умовою становлення нашої країни як морської держави і потребує детального аналізу проблем портової галузі та причин їх виникнення.

Особливу увагу під час модернізації процесів управління відіграють інструменти автоматизації та впровадження сучасних інформаційних технологій, яким присвячена значна кількість прикладних та теоретичних досліджень.

II. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Питання розвитку портової галузі як одного з потужних сегментів української економіки, що відіграє важливу роль у забезпеченні економічної безпеки держави та утвердженні її національних економічних інтересів широко висвітлені в українській науковій літературі[4].

На даний час існує багато методів і методик аналізу сучасного стану і проблем розвитку портової галузі. В даний час в портової галузі широко використовуються автоматичні і автоматизовані системи управління, які акумулюють і зберігають в собі дані необхідні для життєздатності та правильного функціонування об'єкта управління при використанні на критично важливих об'єктах інфраструктури, таких як морські транспортні системи, морські порти. Ці системи схильні до небезпеки порушення своєї цілісності, доступності та конфіденційності, тобто порушення стану інформаційної безпеки.

Проблеми забезпечення інформаційної безпеки на об'єктах транспортної галузі відображені в працях В.П. Бабака, Д.С. Бірюкова, В.С. Блінцова, О.В. Блінцова, С.О. Гнатюка, О.О. Корнієнко, О.Г. Корченка, В.А. Лахно, О.І. Стасюка, В.П. Харченка, H. Boyes, R. Isbell, A. Luck [7, 8] та інших вітчизняних і зарубіжних науковців..

В той же час, питання особливостей розробки та оцінки пріоритетних стратегій розвитку морських торговельних портів, ранжування та вплив загроз інформаційної безпеки та кібербезпеки на розвиток портів розглянуті в неповному обсязі. Цьому присвячені окремі статті в періодичній літературі, але системних наукових досліджень ще недостатньо. Це не сприяє адаптації портів України до ринкових умов господарювання і негативно впливає на рівень їх конкурентоспроможності та ефективність розвитку.

Динаміка впровадження нових інформаційних технологій обумовлює періодичну появу вразливостей, які кардинально впливають на стан інформаційної безпеки.

III. Мета і задачі дослідження

Метою цієї роботи є визначення рівня впливу загроз інформаційної безпеки та кібербезпеки на проблеми розвитку портової галузі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз нормативно-правової бази та існуючих рішень в галузі моделювання загроз безпеки порту;
- визначити пріоритетні напрями розвитку та проблеми портової галузі;
- провести аналіз загроз корпоративній безпеці порту;
- визначити і проаналізувати вплив загроз інформації на проблеми розвиту портової галузі з точки зору цілісності, доступності, конфіденційності та спостережуваності.

IV. Аналіз проблем портової галузі

Основні проблеми, які нині існують у розвитку портової галузі України, прописані у «Стратегії розвитку морських портів України на період до 2038 року» [1].

Майже всі проблеми занадто загальні і їх характер декларативний, в одній роботі всі проблеми охопити неможливо. Всі ці проблеми мають свою інформаційну складову, оскільки для розвитку галузі необхідно мати великий обсяг інформаційного ресурсу, то в напрямку цілей нашої роботи вибираємо ті проблеми вирішення яких неможливо без рішення питань пов'язаних з інформаційною складовою.

Для аналізу ми обрали наступні проблеми:

- нестача коштів для фінансування усіх видів робіт, обмеженість залучення інвестицій;
- необхідність вдосконалення законодавчих актів України;

- втрата вітчизняними портами транзитних вантажопотоків, їх переорієнтація на порти країн Балтики, Польщі, Румунії, Німеччини;
- недостатній рівень кібербезпеки в морських портах;
- повільне оновлення основних фондів та невідповідність їх технічного рівня сучасним вимогам;
- низький рівень впровадження новітніх інформаційних технологій;
- низький рівень участі місцевої влади у розвитку морських портів регіону;
- – недостатній рівень якості послуг [1, 2, 3].

Моделювання ієрархії загроз проблем розвитку портової галузі виконано за методикою аналізу загроз корпоративній безпеці транспорту [6].

Визначена ієрархія факторів стала підґрунтям для побудови моделі ключових загроз для портової галузі. Як і очікувалось найвищий рівень важливості посів фактор – нестача коштів для фінансування усіх видів робіт, обмеженість залучення інвестицій.

Друге місце посіла проблема – необхідність вдосконалення законодавчих актів України.

Третє місце поділили між собою наступні фактори: повільне оновлення основних фондів та невідповідність їх технічного рівня сучасним вимогам та низький рівень впровадження новітніх інформаційних технологій, і це призводить до загрози, яка посіла четверте місце – недостатній рівень кібербезпеки в морських портах.

V. АНАЛІЗ ЗАГРОЗ ІНФОРМАЦІЇ ТА ЇХ ВПЛИВУ НА ПРОБЛЕМИ РОЗВИТУ ПОРТОВОЇ ГАЛУЗІ

Розвиток інформаційних технологій та переваги сучасного цифрового світу обумовили виникнення нових загроз безпеці. Поряд із інцидентами природного (ненавмисного) походження зростає кількість та потужність кібератак, вмотивованих інтересами окремих держав, груп та осіб. Останнє десятиріччя характерно значним зростанням кількості інцидентів з кібербезпеки в різних портах світу. Ці інциденти іноді носять тривалий характер, та призводять до значного збитку[5].

Крім основних систем автоматизації управління у портах можливе зараження наступних систем:

- TOS (Terminal Operating System) – IT–інфраструктура, що служить цілям автоматизації процесів, які відбуваються з вантажами в порту. На практиці може бути як цілісним продуктом конкретного продавця, так і сукупністю систем (в тому числі широкого призначення), що виконують різні завдання;
- CTS (Container Tracking System) – система, що дозволяє відстежувати рух контейнерів за допомогою GPS та інших (не так часто) каналів передачі даних.

Раніше у світовій практиці не було статистики впливів кіберзагроз на аварійність у морській галузі.

На даний час статистика з кіберінцидентів поступово збільшується, на основі її аналізу приймаються нові законодавчі документи.

У Великобританії департамент транспорту (UK Department of Transport (DfT) у серпні 2016 році опублікував Кодекс практики «Кібербезпека портів і портових систем» (Cyber security for ports and port systems code of practice).

У травні 2017 року в США з'явився Указ Президента США «Про зміцнення кібербезпеки федеральних мереж і критичної інфраструктури». Після атаки вірусу Petya на інфраструктуру американських портів Сенат США в 2017 році ввів декрет HR 3101, який примушує збільшувати зусилля із захисту кіберінфраструктури портів.

У квітні 2018 року Національний інститут США за стандартами і технологіям опублікував «Керівництво для підвищення кібербезпеки критичної інфраструктури» (Framework for Improving Critical Infrastructure Cybersecurity).

Аналіз сучасного стану, нормативно-правової бази та інцидентів інформаційної безпеки в портової галузі (ПГ) підтверджує необхідність проведення досліджень впливу загроз інформаційної та кібербезпеки на розвиток портової галузі з метою врахування цього впливу при плануванні стратегічних рішень із розвитку галузі.

Для аналізу інформаційних загроз та їх впливу на проблеми розвитку портової галузі використовуємо методику аналізу ієрархій на основі методу попарних порівнянь [9].

На основі аналізу зовнішніх та внутрішніх інформаційних потоків порту експертним методом формуємо перелік загроз інформаційній безпеці порту:

- видалення, несанкціонована зміна або пошкодження даних порту;
- несанкціонований доступ до конфіденційних портових даних (комерційних, особистих або пов'язаних з безпекою);
- зараження шкідливим програмним забезпеченням (ПЗ);
- блокування доступу до інформаційної системи;
- втрата інформації у результаті стихійного лиха
- зашумлення комунікаційних каналів обміну інформацією;
- використання неліцензійного ПЗ;
- зміна правил розмежування доступу;

- витік інформації технічними каналами;
- DDoS атака на сервери інформаційної системи.

Будуємо граф зв'язків впливу інформаційних загроз на корпоративну безпеку портової галузі і виконуємо наступні етапи методу аналізу ієрархій:

1. Структурування проблем у вигляді ієрархії або мережі.
2. Побудова матриці попарних порівнянь.
3. Визначення локальних пріоритетів альтернатив.
4. Оцінювання послідовності тверджень експерта.
5. Синтез глобальних пріоритетів альтернатив.

Дослідження впливу інформаційних загроз проведено над факторами, що можуть зашкодити розвитку ПГ України першого, другого та третього рівнів, а саме:

- нестача коштів для фінансування усіх видів робіт, обмеженість залучення інвестицій;
- необхідність вдосконалення законодавчих актів України;
- низький рівень впровадження новітніх інформаційних технологій.

Ключовими критеріями було обрано критерії захищеності інформації: цілісність, доступність, конфіденційність та спостережуваність.

На рис. 1 зображено розрахунок впливу інформаційних загроз на розвиток портової галузі у цілому, розрахунки зроблені у програмі Mathcad15. З розрахунку можна побачити, що найбільш пріоритетною є 1, 10 та 4 інформаційні загрози відповідно.

Вектор пріоритетів		Вектор пріоритетів		Вектор пріоритетів		Вектор пріоритетів	
0,296564	1	0,058634	4	0,234104	1	0,163599	2
0,059313	5	0,029317	6	0,234104	1	0,018178	8
0,098855	3	0,019545	7	0,058526	3	0,027266	6
0,032952	8	0,293168	2	0,026012	7	0,327197	1
0,281796	2	0,06106	3	0,029879	6	0,157098	3
0,041049	7	0,031421	5	0,032403	5	0,046981	5
0,074141	4	0,011727	8	0,046821	4	0,023371	7
0,032952	8	0,019545	7	0,078035	2	0,054533	4
0,032952	8	0,006515	9	0,234104	1	0,018178	8
0,049427	6	0,469069	1	0,026012	7	0,163599	2

$$B := \begin{pmatrix} 0.296564 & 0.058634 & 0.234104 & 0.163599 \\ 0.059313 & 0.029317 & 0.234104 & 0.018178 \\ 0.098855 & 0.019545 & 0.058526 & 0.027266 \\ 0.032952 & 0.293168 & 0.026012 & 0.327197 \\ 0.281796 & 0.06106 & 0.029879 & 0.157098 \\ 0.041049 & 0.031421 & 0.032403 & 0.046981 \\ 0.074141 & 0.011727 & 0.046821 & 0.023371 \\ 0.032952 & 0.019545 & 0.078035 & 0.054533 \\ 0.032952 & 0.006515 & 0.234104 & 0.018178 \\ 0.049427 & 0.469069 & 0.026012 & 0.163599 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0.228 \\ 0.233 \\ 0.306 \\ 0.233 \end{pmatrix} =$$

	1
1	0.191
2	0.096
3	0.051
4	0.16
5	0.124
6	0.038
7	0.039
8	0.049
9	0.085
10	0.167

Рис.1 Розрахунок впливу інформаційних загроз на розвиток портової галузі.

Розрахунки рангу загроз підтверджують, що найбільший вплив на розвиток портової галузі має загроза видалення, несанкціонованої зміни або пошкодження даних порту та DDoS атака на сервери ІКС порту.

Результатами проведеного дослідження стала ієрархія впливу інформаційних загроз на розвиток портової галузі України, на основі якої була побудована модель ієрархії.

VI. Висновки

Таким чином, в даній роботі на основі проведеного аналізу сучасного стану, нормативно-правової бази, інцидентів інформаційної безпеки та досліджень впливу загроз інформаційної та кібербезпеки на розвиток портової галузі визначені інформаційні загрози, що суттєво впливають на розвиток галузі і повинні бути враховані при плануванні стратегічних рішень щодо її розвитку.

Література References

[1] "Mors'ka doktryna Ukrayiny na period do 2035 roku, yaka zatverdzhena postanovoyu Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 7 zhovtnya 2009 r. №1307." [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1307-2009-%D0%BF

[2] K.V. Belous, A.I. Drahunova, "Osoblyvosti rozrobky ta otsinky priorytetnykh stratehiy rozvytku mors'kykh torhivel'nykh portiv Ukrayiny", *Rozvytok metodiv upravlinnya ta hospodaryuvannya na transporti*. Odessa, Ukraine, Nats. mors. un-t., no.4(49), pp.33-52, 2014.

[3] "Khakery popytalis' atakovat' «Administratsiyu morskikh portov Azovskogo morya»". [Online]. Available: https://www.securitylab.ru/news/493329.php.

[4] N.V. Yakymenko-Tereshchenko, L.I. Pronkina, "Modelyuvannya iyerarkhiyi zahroz korporatyvniy bezpetsi transportu", *Ekonomichna kibernetyka: modelyuvannya sotsial'no-ekonomichnykh system*: kol. monohrafiya. red.: L.M. Savchuk, K.F. Koval'chuk. Dnipro, Ukraine, pp. 280-290, 2017.

[5] H. Boyes, R. Isbell, A. Luck, "Cyber Security for Ports and Port Systems. Institution of Engineering and Technology", London, Great Britain, 71 p., 2020. [Online]. Available: https://s3-eu-west-1.amazonaws. com/stm-stmvalidation/uploads/20200225090052/STMVal_D5.23.pdf

[6] V.S. Blintsov, P.V. Maydanyuk, "Kontseptsiya systemy zakhystu informatsiyi, shcho tsyrkulyuye na ob`yektakh mors'koyi infrastruktury", *Zbirnyk naukovykh prats' Natsional'noho ueiversytetu korablebuduvannya*. Mykolayiv, Ukraine, NUK, no.1, pp.57-64, 2016. [Online]. Available: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=znpnuk_2016_1_11.

[7] M.V. Turty, "Protsedura formuvannya nechitkykh etaloniv na osnovi poparnykh porivnyan'", *Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu im.V.Dalya*. Luhans'k, Ukraine, Vyd-vo SNU im.V.Dalya, no.15(204), part1, pp.204-209, 2013. [Online]. Available: http:// www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=VSUNU_2013_15%281%29__35.

Секція 9.

Інтелектуальний аналіз даних, Data Mining та Big Data–технології.

Section 9.

Intellectual data analyses, Data Mining and Big Data technologies.

Проблеми Створення Глибоких Мереж Довіри

Віктор Синєглазов
Кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів
Національний авіаційний університет
Київ, Україна
svm@nau.edu.ua

Олена Чумаченко
Кафедра технічної кібернетики
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут"
імені Ігоря Сікорського
Київ, Україна
chumachecko@tk.kpi.ua

Problems of Deep Belief Networks Creation

Victor Sineglazov
Aviation Computer-Integrated Complexes Department
National Aviation University
Kyiv, Ukraine
svm@nau.edu.ua

Chumachenko Olena
Technical Cybernetic Department, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
Kyiv, Ukraine
chumachecko@tk.kpi.ua

***Анотація*—Запропоновано підхід до структурного синтезу нейронних мереж глибокої довіри. Розроблено стратегію структурно-параметричного синтезу глибоких мереж довіри, суттєвою складової якої є налаштування обмеженої машини Больцмана. Для валідації результатів навчання обмеженої машини Больцмана використовується подвійна перевірка генеративної (за величиною похибки відтворення тестового зразка) та класифікаційної (за точністю класифікації на тестовому наборі розмічених даних) здатності моделі. У випадку використання глибоких мереж довіри для навчання на нерозміченому наборі даних виконується лише валідація на генеративну здатність мережі. Для розв'язання проблеми автоматизації пошуку оптимального алгоритма та гіперпараметрів навчання використано алгоритм пошуку у просторі варіантів.**

***Abstract*—An approach to the structural synthesis of deep belief networks is proposed. It is developed a strategy of structural-parametric synthesis of deep belief networks, an essential component of which is the learning of a restricted Boltzmann machine. To validate the learning results of restricted Boltzmann machine, it is used a double check of the generative (by the value of the test sample reproduction error) and classification (by the accuracy of classification on the test set of marked data) ability of the model. When deep belief networks are used, for learning on an unmarked data set, only validation for the generative ability of the network is performed. To solve the problem of automated search of optimal algorithm and hyperparameters of training it is used the search algorithm in space of variants.**

Ключові слова—структурно-параметричний синтез; глибокі мережі довіри; обмежена машина Больцмана; валідація; алгоритм

Keywords—structural-parametric synthesis; deep belief network; restricted Boltzmann machine; validation; algorithm

I. Вступ

У широкому розумінні глибоке навчання це метод побудови і налагодження нейронних мереж із використанням багатошарової топології.

Отримання або екстракція значущих прихованих ознак із великої кількості вхідних даних полягає у розв'язанні завдань, що постають для більшості моделей штучного інтелекту, включно із розпізнаванням зображень та звуку, керування тощо. Методи глибокого навчання мають на меті вивчення ієрархії ознак або характистик найвищого рівня ієрархії побудованого із ознак нижчих рівнів. Інакше кажучи, піднімаючись від нижчого рівня до найвищого ознаки набувають все більшого рівня абстракції, узагальнюючись знизу вгору [6] – [8].

Велика кількість алгоритмів машинного навчання використовує неглибокі архітектури: нейронні мережі з одним прихованим шаром, ядерна регресія, машина опорних векторів тощо. Такі алгоритми здобувають дуже прості характеристики, та не здатні отримати більш складні структури із широкого обсягу вхідних даних. Також такі системи потребують значної кількості якісно розмічених тренувальних даних для налагодження. З іншого боку, наприклад, для розпізнавання об'єктів на зображенні глибока нейронна мережа використовує багато шарів нелінійних перетворень та потребує значно меншої кількості розмічених даних [8].

Взагалі моделі з глибокою архітектурою, включно із глибокими нейронними мережами, складаються із багатьох шарів параметричних нелінійних функціональних модулів, а отже вартісна функція майже завжди неопукла. Існування багатьох локальних оптимумів або плато у фукнції вартості призводить до високої складності оптимізації порівняно із неглибокими моделями. Локальні градієнтні алгоритми оптимізації, наприклад алгоритм зворотнього розповсюдження помилки, потребують обережної ініціалізації параметрів, а також дуже часто потрапляють до незручного локального оптимума. Така явище спостерігається у мережах вже навіть з двома-трьома шарами [7].

Напроти, моделі із неглибокою архітектурою мають опуклу функцію втрат, і найчастіше дозволяють ефективно отримати оптимальні параметри. Умова опуклості функції втрат зумовила більшість досліджень у машинному навчанні при розробці навчальних алгоритмів, які можуть бути перетворені у термінах розв'язання опуклої задачі оптимізації.

Окрім вище описаних проблем потрапляння у локальні оптимуми при навчанні класичним методом зворотнього розповсюдження сигналу є ще й такі як, затухання градієнту з глибиною, а також насичення нейронів [9].

II. Класифікація нейронних мереж глибокого навчання

Основні класи нейронних мереж глибокого навчання.

1) Глибокі нейронні мережі прямого розповсюження сигналу.

До цих мереж відносяться:

- Багатошаровий перцептрон, попередньо навчений за допомогою автоенкодерів, обмежених машин Больцмана;
- мережа глибокої довіри;
- глибока машина Больцмана;
- генеративно-змагальні мережі,

та деякі інші.

2) Згорткові нейронні мережі.
3) Рекурентні глибокі нейронні мережі.
4) Рекурсивні глибокі нейронні мережі.
5) Гібридні архітектури.

III. Нейронна глибока мережа довіри, структура та використання

Глибока мережа довіри (ГМД, англ. deep belief network, DBN) – глибока генеративна нейронна мережа, що призначена для знаходження або відтворення розподілу ймовірності у даних, містить множину шарів латентних змінних, які мають зазвичай бінарну форму; вхідний шар може бути як бінарним, так і неперервним. Вони були винайдені Хінтоном у 2006 році після розробки ефективного алгоритму навчання обмеженої машини Больцмана [1], [2].

IV. Глибока мережа довіри та напівкероване навчання

Напівкероване навчання (semi-supervised learning) – метод машинного навчання, що є гібридом методів навчання без вчителя (unsupervised learning) та навчання із вчителем (supervised learning), та використовується для покращення методу навчання із вчителем із використанням нерозмічених тренувальних даних.

Задача, що вирішує цей метод, полягає у наступному: нехай існує множина зразків даних $x = \{x_1, ..., x_n | x_i \in X\}$ та множина відповідних міток $y = \{y_1, ..., y_n | y_i \in Y\}$. До того ж існує додактово множина зразків даних $x = \{x_{n+1}, ..., x_{n+m} | x_i \in X\}$, які не мають відповідних ним міток *y*. Використовуючи комбінацію розмічених та нерозмічених даних, потрібно досягти найкращого результату класифікації, порівняно із використанням лише розмічених даних.

Для застосування цього методу повинні виконуватись наступні припущення [6]:

- точки, що лежать близько одна до іншої, розмічені однаково із більшою ймовірністю;
- дані переважно утворюють дискретні кластери, точки із одного кластера розмічені однаково із більшою ймовірністю;
- дані надлишкові, тобто утворюють багатоманітність значно меншої розмірності, ніж вхідний простір.

Для напівкерованого навчання із застосуванням великих обсягів даних застосовують генеративні нейромережеві моделі, представником яких є глибока мережа довіри.

Напівкероване навчання має два варіанти використання:

1) для тренування моделі доступний великий обсяг розмічених даних;
2) для створення та тренування моделі доступний великий обсяг нерозмічених даних та значно менший обсяг розмічених [7].

Процедура напівкерованого навчання містить наступні кроки:

1) побудова та навчання ГМД навчанням без вчителя із використанням повного обсягу тренувальних даних;
2) додавання до ГМД шару класифікатора;
3) дискримінативне донавчання мережі із використанням розміченої частини тренувального набору із контролем якості моделі.

Практикують два підходи до побудови ГМД:

1) апріорне задання структури мережі;
2) пошук оптимальної структури ГМД.

Перший підхід застосовують, коли є відомою бажана структура цільової моделі, наприклад багатошаровий персептрон, що може бути зумовлено, наприклад її

специфікою застосування, обмеженням обчислювальних ресурсів, тощо. При цьому підході відбувається створення каскаду обмежених машин Больцмана (ОМБ) із заданими параметрами глибини та ширини та пошарове жадібне навчання. Метою навчання моделі при такому підході є досягнення максимально можливої якості моделі із заданими обмеженнями на структуру.

У другому підході, коли бажана структура цільової моделі невідома, виконується пошук оптимальної структури ГМД, шляхом ітеративного нарощування каскаду ОМБ. Мета навчання у такому підході полягає у досягненні заданого порогового рівня якості моделі.

Проведені дослідження доводять, що при цьому ширину шарів можна обмежити зверху значенням:

$$w = n + 4,$$

де n – розмір вхідного шару мережі, чи, іншими словами, розмір вектора зразка даних із тренувального набору [4].

Після досягнення глибини мережі, що дає достатню якість її здатності узагальнення, додатково іноді проводять «полегшення» мережі, шляхом видалення надлишкових зв'язків чи нейронів [5].

Задача структурного синтезу глибокої мережі довіри зводиться до ітеративної побудови каскаду ОМБ, із покроковим навчанням їх та валідацією моделі наприкінці кожної ітерації.

V. Проблеми створення глибоких мереж довіри

У випадку, коли структура ГМД не була задана апріорно, постає проблема відшукання оптимальної структури та налаштування оптимальних параметрів за такої структури. Оскільки нейронні мережі все ще не мають універсального аналітичного опису із точки зору оптимальної структури для різних задач, застосовуються емпірично обумовлені евристики. Хоча таких прийомів досить багато, їх вибір та застосування найчастіше залежить від користувача, експерта. Проте очевидна необхідність автоматизації пошуку оптимальної структури ГМД, оскільки ручний її підбір та налаштувань навчання є дуже витратним та часто рутинним.

Метою роботи є створення програмного модуля, що виконує структурно-параметричний синтез глибокої мережі довіри, тобто реалізує наступні алгоритми:

- пошуку оптимальної структури ГМД;
- пошуку оптимальних гіперпараметрів навчання ГМД та виконання навчання;
- остаточного дискримінантного донавчання ГМД;
- перетворення ГМД у цільову модель.

Для досягнення мети мають бути виконані наступні кроки:

- пошук та аналіз доступних та ефективних інструментів створення та тренування ГМД та ОМБ;
- розробка програмного забезпечення для реалізації процесів побудови та налаштування необхідних нейромережевих моделей; засобів моніторингу процесів під час роботи модуля;
- реалізація кроків прийому, підготовки та збереження наборів даних; а також збереження результатів роботи модуля у вигляді програмної моделі, придатної для цільового використання у виробничому середовищі.

Створений продукт повинен відповідати наступним вимогам:

- реалізувати кроки та алгоритми, що реалізують мету даної роботи;
- мати зручний та документований інтерфейс користувача;
- надавати користувачеві можливість отримати поточні результати роботи модуля;
- реалізувати можливість повної зупинки роботи модуля, та відновлення роботи від точки зупинки із збереженням попередніх результатів, або повного рестарту процесу із видаленням попередніх результатів;
- має бути достатньо простим у налагодженні та розгортанні у виробничому середовищі.

VI. Стратегія структурно-параметричного синтезу глибоких мереж довіри

Глибока мережа довіри структурно є каскадом обмежених машин Больцмана. А отже задача побудови ГМД полягає у поступовому додаванні ОМБ, починаючи із першої, що приймає вхідні дані.

Стратегія синтезу ГМД має наступні кроки:

1) ініціалізація ГМД;

2) додавання ОМБ до існуючої структури. Якщо це перша ланка каскаду, то вхідні дані формуються безпосередньо із тренувального датасета, інакше, вхідні дані формуються проходженням даних тренувального датасета крізь попередні ОМБ у каскаді;

3) тренування поточної ОМБ;

4) додавання шару класифікатора та дискримінантне донавчання ГМД;

5) перевірка усієї ГМД на якість за критерієм мінімізації похибки узагальнення (точність класифікації) на тестовому наборі даних;

6) якщо похибка узагальнення перевищує цільову, шар класифікатора видаляється, існуючі параметри мережі фіксуються та повторюються кроки 2 – 6;

Після досягнення необхідної якості ГМД процес структурно-параметричного синтезу вважається закінченим, а модель – побудованою та навченою.

Для валідації результатів навчання ОМБ використовується подвійна перевірка генеративної (за величиною похибки відтворення тестового зразка) та класифікаційної (за точністю класифікації на тестовому наборі розмічених даних) здатності моделі. У випадку використання ГМД для навчання на нерозміченому наборі

даних виконується лише валідація на генеративну здатність мережі.

Параметри ГМД таким чином пошарово повторюють параметри відповідної ОМБ, а отже головна задача налаштування параметрів ГМД перетворюється у покрокове навчання кожної ОМБ у каскаді.

VII. Навчання обмеженої машини Больцмана

Обмежена машина Больцмана використовує навчання без вчителя (unsupervised learning). Головною метою навчання є знаходження невідомих прихованих (латентних) характеристик у вхідних даних, шляхом двонапрямленого проходження сигналу, і отримання виходу мережі максимально близького до вхідного образу. Цей аспект робить ОМБ східну за призначенням до автоенкодера.

Результатом навчання ОМБ є налагоджені параметри синаптичних зв'язків між шарами, а також зміщення прихованого шару, які і є відображенням шуканих прихованих характеристик, розподілених у тренувальних даних.

Стандартний шлях для оцінки параметрів статистичних моделей є оцінка максимуму правдоподібності.

VIII. Вплив вибору базового алгоритма на навчання обмеженої машини Больцмана

Зазвичай різні об'єкти та різні набори даних потребують індивідуальних моделей, як за структурою так і за методами їх навчання та параметрами. Цей підхід також стосується й обмеженої машини Больцмана, для якого були розроблені різні алгоритми навчання, що задовольняють різним умовам моделювання. Отже для зменшення навантаження на експерта, що створює модель, постає задача автоматизації пошуку оптимального алгоритма та гіперпараметрів навчання, що найбільш відповідає тренувальним даним та критеріям ефективності цієї моделі.

Для розв'язання цієї проблеми можна використати алгоритм пошуку у просторі варіантів, що зазвичай застосовують для визначення нейромережевої моделі, структурного її синтезу та алгоритму навчання. Доречно застосувати той же підхід й до ОМБ. Оскільки сьогодні поширені три алгоритми її навчання, то доречно застосувати алгоритм пошуку по решітці (grid search) (через невелику потужність простору варіантів), що реалізує наступні кроки:

1) Формування множини алгоритмів $\mathrm{alg} = \{\mathrm{CD}_k, \mathrm{PCD}_k, \mathrm{PT}\}$;

2) Формування множини варіантів гіперпараметрів для кожного алгоритму, наприклад, для CD_k та PCD_k це глибина Марківського ланцюга $k = \{x | 1 \le x \le 100\}$. Для алгоритму PT це кількість кроків вибірки *k*, що відповідають різним температурам. Оптимальна продуктивність алгоритму PT досягається при *k* близькому до розміру тренувального пакету зразків вхідних даних [1].

3) Формування решітки пошуку комбінуванням множин alg та *k*. Для поточного прикладу розмір решітки дорівнюватиме $|\mathrm{alg}| \cdot |k|$.

4) Запуск процесу тренування моделі для кожного варіанта із решітки пошуку.

5) Валідація навчених моделей та вибір найкращого варіанту за критеріями оптимальності на тестовому наборі даних.

За умови наявності достатніх обчислювальних ресурсів пошук по решітці можна провести паралельно, а отже значно скоротити процес знаходження та побудови оптимальної моделі.

Для оцінки впливу того чи іншого алгоритма навчання на сходимість обмеженої машини Больцмана було проведено низку експериментів із застосуванням пошуку по решітці, що утворюється комбінацією параметрів, наведених у табл. I. Валідація кожного варіанту відбувалась на тестовому наборі даних, у двох режимах: генерація та класифікація.

У режимі генерації валідація вібдувалась із застосуванням критерія похибки відтворення зразків тестового набору на чистій ОМБ.

Для валідації ОМБ у режимі класифікації додатково було виконано наступні кроки:

1) параметри ОМБ фіксувались;

2) до ОМБ було додано лінійний класифікатор із випадковою ініціалізацією вагів;

3) ваги лінійного класифікатора додатково навчались.

Валідація ОМБ у режимі класифікації вібдувалась із застосуванням критерія точності класифікації зразків тестового набору.

ТАБЛИЦЯ I. Варіанти гіперпараметрів навчання ОМБ для визначення решітки пошуку для проведення експериментів

Алгоритм	***k***
CD	[1,2,3,5,15,100]
PCD	[1,2,3,5,15,100]
PT	[10,100]

Інші налаштування навчання ОМБ із використанням еталонного датасета MNIST залишаються спільними для усіх варіантів (табл. II).

ТАБЛИЦЯ II. Параметри експериментальної моделі ОМБ та гіперпараметри навчання для визначення впливу виду алгортма навчання на результати навчання

Параметр	**Значення**
Розмір видимого шару	784
Розмір прихованого шару	500
Розмір шару класифікатора	10
Розмір тренувального пакету (batch size)	100
Кількість навчальних епох	50
Крок навчання	0.001
Кількість навчальних епох контрольного класифікатора	30
Алгоритм оптимізації ОМБ	SGD
Розмір тренувального набору даних	50000
Розмір тестового набору даних	10000

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[1] G. E. Hinton, S. Osindero, and Y. W. Teh, “A fast learning algorithm for deep belief nets,” *Neural Computation*, 2006, 18:1527–1554.

[2] G. E. Hinton and R. R. Salakhutdinov, “Reducing the dimensionality of data with neural networks,” *Science*, 2006, 313:504–507.

[3] I. Sutskever and G. E. Hinton, Learning multilevel distributed representations for high-dimensional sequences. AI and Statistics, 2007, Puerto Rico.

[4] Z. Lu, H. Pu, F. Wang, Z. Hu, & L. Wang, “The Expressive Power of Neural Networks: A View from the Width,” *Neural Information Processing Systems*, 2017, 6231–6239.

[5] C. Liu & Z. Zhang & D. Wang, “Pruning deep neural networks by optimal brain damage,” *Proceedings of the Annual Conference of the International Speech Communication Association*, INTERSPEECH. 2014, 1092–1095.

[6] O. Chapelle, B. Scholkopf, and A. Zien, *Semi-supervised learning*, Cambridge, Mass.: MIT Press (2006). — ISBN 978-0-262-03358-9.

[7] X. Zhu, “Semi-supervised Learning,” in: *Sammut C., Webb G.I. (eds) Encyclopedia of Machine Learning and Data Mining*. Springer, Boston, MA, 2017.

[8] G. Hinton, “A Practical Guide to Training Restricted Boltzmann Machines,” *Department of Computer Science*, University of Toronto, 2010.

[9] M. Carreira-Perpinan, & G. Hinton, On contrastive divergence learning. Artificial Intelligence and Statistics, 2005.

Інтелектуальна Система Визначення Стадій Фіброзу Печінки

Віктор Синєглазов
Кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів
Національний авіаційний університет
Київ, Україна
svm@nau.edu.ua

Олена Чумаченко, Анатолій Кот
Кафедра технічної кібернетики
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут" імені Ігоря Сікорського
Київ, Україна
chumachecko@tk.kpi.ua, anatoly.kot@gmail. com

Intelligence Liver Fibrosis Stages Determination System

Victor Sineglazov
Aviation Computer-Integrated Complexes Department
National Aviation University
Kyiv, Ukraine
svm@nau.edu.ua

Olena Chumachenko, Anatoliy Kot
Technical Cybernetic Department, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
Kyiv, Ukraine
chumachecko@tk.kpi.ua, anatoly.kot@gmail.com

***Анотація*—Обґрунтовано необхідність створення діагностиної медичної системи визначення стадії фіброзу печінки для визначення оптимальної стратегії лікування на ранніх стадіях захворювання. Показано, що біопсія печінки є інвазивною процедурою з можливими побічними ефектами. Доведено доцільність використання результатів досліджень магнітно-резонансної (МРТ) та комп'ютерної (КТ) томографії для визначення стадій фіброзу. Показано, що структури текстур фіброзу печінки є одним з важливих біомаркерів для діагностики та класифікації хронічних захворювань печінки. Розроблено алгоритм обробки МРТ- та КТ-зображень з використанням штучних нейронних мереж глибокого навчання, а саме згорткових нейронних мереж, серед яких найбільш ефективною є мережа ResNet. З метою зниження вимог до навчальної вибірки використовується трансферне навчання.**

***Abstract*—The necessity of creating a diagnostic medical system for determining the stage of liver fibrosis to determine the optimal treatment strategy in the early stages of the disease is substantiated. Liver biopsy has been shown to be an invasive procedure with possible side effects. The expediency of using the results of magnetic resonance imaging (MRI) and computed tomography (CT) studies to determine the stages of fibrosis has been proved. It is shown that the texture structure of liver fibrosis is one of the important biomarkers for the diagnosis and classification of chronic liver disease. An algorithm for processing MRI and CT images using artificial neural networks of deep learning, namely convolutional neural networks, among which the most effective is the ResNet network. In order to reduce the requirements for the training sample, transfer training is used.**

Ключові слова—магнітно-резонансна томографія; комп'ютерна томографія; фіброз печінки; згорткова нейронна мережа ResNet; трансферне навчання

Keywords—magnetic resonance imaging; computed tomography; liver fibrosis; convolutional neural networks ResNet; transfer training

I. Вступ

В даний час активно розвиваються системи інформаційного забезпечення охорони здоров'я. Одним з перспективних напрямків сучасного етапу інформатизації охорони здоров'я є розробка інтелектуальних медичних діагностичних систем (ІМДС), які забезпечують підтримку прийняття рішень лікарем. Збільшення кількості методів і технологій дослідження діагностики захворювань висувають вимоги до створення ІМДС, що підвищують ефективність медичних послуг практикуючим лікарям при прийнятті лікувально-діагностичних рішень. Процес прийняття цих рішень при постановці діагнозу захворювання в сучасних умовах неможливий без залучення експертних систем. Застосування такої системи надання інформаційної підтримки для надання допомоги лікарям в процесі діагностики з використанням нових знань і технологій,

сприяє підвищенню ефективності лікування, якості терапевтичних та хірургічних наслідків, зниження числа лікарських помилок і оптимізації витрат на лікування та подальшу реабілітацію хворих, що в кінцевому підсумку призведе до зниження захворюваності і смертності.

II. Особливості та причини захворювання печінки

Печінка – це найбільша залоза організму, що має життєво важливе значення. Через печінку проходить кров від майже всього шлунково-кишкового тракту, тут відбувається знешкодження токсичних речовин, що потрапили з їжею, депонування ряду поживних речовин, синтез деяких вітамінів. Печінка синтезує багато білків крові, в тому числі ті, що відповідають за її згортання, виділяє жовч, необхідну для успішного перетравлення продуктів, що містять жири, і виконує ще безліч завдань і функцій.

Повною мірою, печінку можна назвати основною «біохімічною лабораторією» організму: такої безлічі різноманітних реакцій не відбувається одночасно в жодному органі тіла.

Роль «фільтра» для речовин, що надходять в кров із їжі, робить печінку вразливою перед ними, а точніше, перед їх надлишком.

Фіброз печінки – це локальне або дифузне збільшення кількості сполучної тканини, позаклітинного матриксу (колагенової волокнистої тканини у перісінусоїдному просторі) і основний шлях прогресування хронічних дифузних захворювань печінки. На ранніх стадіях фіброзу немає клінічних проявів, і лише при гістологічному дослідженні біоптату виявляється надмірне накопичення сполучної тканини. Надалі фіброз веде до утворення вузлів регенератів, судинних анастомозів – формуванню цирозу печінки.

Початкова стадія ураження печінки при фіброзі характеризується збільшенням розмірів печінки. Надалі відбувається зниження рівня лейкоцитів, тромбоцитів і еритроцитів. Як наслідок, у пацієнта спостерігаються анемія і тромбоцитопенія. Ознакою того, що захворювання переходить на стадію цирозу, є збільшення селезінки, варикозне розширення вен в стравоході і крововиливи з них.

Ступінь вираженості фіброзу при хронічному захворюванні печінки відображає віддалений прогноз і, отже, необхідність і терміновість лікування. Фіброз печінки має 5 ступенів (стадій): F0, F1, F2, F3, F4 (цироз).

Біопсія печінки, яка використовується для гістологічного оцінювання і досі використовується як еталонний тест для постановки фіброзу, вважається золотим стандартним методом оцінки ступеня фіброзу. Однак біопсія печінки є інвазивною процедурою з можливими побічними ефектами, такими як біль у 30–40% випадків, пневмоторакс (3%) або навіть смерть (2/10 000) [1], [2]. Для зменшення потреби у хворобливих біопсіях для отримання зображень печінки були запропоновані неінвазивні методи з використанням МРТ- або КТ-зображень.

Структури текстур фіброзу печінки є одним з важливих біомаркерів для діагностики та класифікації хронічних захворювань печінки від початкової до кінцевої стадії на основі МРТ- або КТ-зображень. Автоматизована діагностика цирозу печінки з використанням текстурних особливостей стала найбільш відомим досягненням останніх досліджень. На сьогоднішній день, правильний вибір значимих особливостей текстури та параметрів зображення все ще залишається переважно невизначеним або недостатньо чітко визначеним.

III. Розв’язання поставленної задачі

Алгоритми глибокого навчання забезпечують потужну основу для автоматичної генерації ознак та класифікації зображень. Такі алгоритми усувають необхідність ручної сегментації та виділення особливостей на зображеннях. Однак вони вимагають використання великого набору навчальних даних, і зображення зразків біопсії зазвичай не відповідають цій потребі. В основі трансферного навчання лежить варіант типових алгоритмів глибокого навчання [5], [6].

Однак кількісна оцінка та класифікація фіброзу печінки з урахуванням лише структури текстури печінки є надзвичайно складним завданням як для рентгенолога, так і для комп'ютера, що призводить до низького рівня точності діагностики.

Однак кількісна оцінка та класифікація фіброзу печінки з урахуванням лише структури текстури печінки є надзвичайно складним завданням як для рентгенолога, так і для комп'ютера, що призводить до низького рівня точності діагностики.

Розроблено підхід з використанням інтелектуальних алгоритмів для класифікації стадій фіброзу шляхом подачі характеристик, розрахованих на основі текстурних матриць 1-го та 2-го порядку, в класифікатор та отримання перспективних результатів на різних типах наборів даних. Гоберт та ін. у роботі [3] повідомив про використання шести ознак, виділених із текстурних ознак, та двох статистичних показників як вхідних даних до класифікатора ANN з генетичним алгоритмом, що призвело до 73% правильної швидкості класифікації для характеристики циротичних та нециротичних на МРТ-зображеннях. Лі та ін. у роботі [4] виявив, що інтеграція особливостей текстури в особливості форми з класифікацією циркуляції ANN може поліпшити загальну ефективність виявлення цирозу.

Оптимальну кількість та значимість вхідних векторів не було розглянуто або визначено. Це може бути пов’язано з обмеженням кількості елементів навчальної вибірки та великою витратою часу необхідного для оптимізації кожної комбінації ознак хвороби. Незважаючи на те, що пропонувалися деякі ефективні методи навчання, з метою скорочення часу на навчання та тренування, їх наслідки важко порівняти та оцінити, оскільки до цього часу не було оцінки щодо золотого стандарту.

У роботі [4] розглядається ефективний вибір ознак текстури для класифікацій стадій фіброзу.

Згорткова нейронна мережа (ЗНМ) – це особлива архітектура штучної нейронної мережі, що імітує особливості зорової зони кори головного мозку. У разі МРТ-зображення фіброзу печінки необхідно обробити текстуру зображення.

Існує кілька основних типів ЗНМ, що використовуються для класифікації зображень: AlexNet, VGG16, ResNet, CycleGAN, UNet, Mask RCNN.

ResNet – це абревіатура залишкової мережі. Модель ResNet має менше фільтрів і меншу складність, ніж мережі VGG. ResNet збігається швидше, ніж його простий аналог, тоді як більш глибокий ResNet досягає кращих результатів навчання, ніж неглибока мережа.

Кращі результати дає ResNet, який базується на так званому залишковому блоці (рис. 1 і 2), із швидким з'єднанням, через яке дані проходять без змін. Блок Res – це серія згорткових шарів з активаціями, які перетворюють вхідний сигнал x у $F(x)$. З'єднання прискореного доступу – це перетворення ідентичності $x \rightarrow x$.

Використовуючи архітектуру ResNet, вдалося навчити нейронну мережу глибиною 18 шарів (проти тришарової мережі, що застосовувалася на початкових етапах роботи) з одночасним досягненням прийнятних результатів розпізнавання для 10 класів (п'яти достатньо для розпізнавання стадій фіброзу печінки) з невеликою кількістю зображень у навчальному наборі.

Для остаточного рішення щодо класу аналізованого зображення було використано шар SoftMax з кількістю виходів, що відповідає п’яти класам (п’яти стадіям фіброзу). Результуючим класом є той, який відповідав виходу ЗНМ з максимальною реакцією. Одним із способів врахування можливих невідомих класів та порожніх фонових зображень є введення порогу відповіді на вихідний рівень ЗНМ і розгляд випадку «максимальна відповідь (поріг) як «не розпізнаний».

Особливістю архітектури ResNet є те, що згорткові шари мають 3x3 фільтри, а також те, що до мережі додається з'єднання прискореного доступу, яке перетворює мережу на залишкову версію.

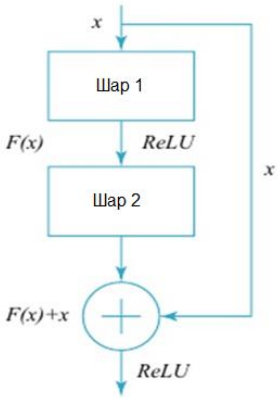


Рис. 1. Залишковий блок архітектури ResNet

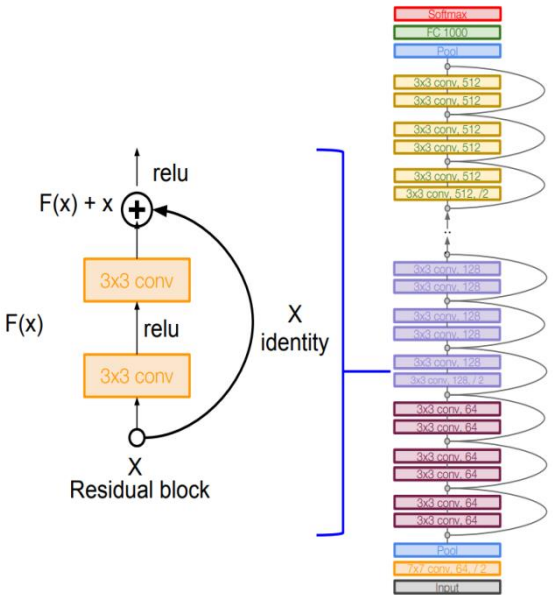


Рис. 2. Залишковий блок архітектури ResNet

Основним пунктом цього підходу є додавання шляхів для обходу груп шарів нейронної мережі, утворюючи залишковий блок.

Алгоритми, що базуються на глибокому навчанні, забезпечують потужну основу для автоматичного формування ознак та класифікації МРТ- та КТ-зображень при фіброзі печінки. Такі алгоритми усувають необхідність ручної сегментації та виділення ознак на зображеннях. Однак вони вимагають використання великого набору навчальних даних.

Ґрунтуючись на трансферному навчанні, яке є варіантом типових алгоритмів глибокого навчання – в тому, що нейронна мережа попередньо навчена на основі великої кількості навчальних наборів даних з використанням слабо релевантних або навіть нерелевантних джерел зображень [5], [6] – можна використати гіпотезу, що попередньо навчена нейронна мережа глибокого навчання на основі застосування трансферного підходу може точно стадіювати фіброз печінки в автоматичному режимі.

IV. Приклад

В навчальній вибірці було 305 зображень результатів МРТ для аналізу стадій фіброзу печінки.

Кількість зображень результатів МРТ для кожної стадії фіброзу: F0 – 78; F1 – 38; F2 – 67; F3 – 47; F4 – 85.

Стадії фіброзу для кожного зображення встановили за допомогою біопсії. У контрольній вибірці було 76 зображень.

Результат роботи мережі показано на рис. 3 – 6.

Під час навчання було навчено дві нейронній мережі. У першій використовувалась архітектура Resnet50 у другій – Resnet101. Архітектуру мереж представлено у табл. I. Графік втрат при навчанні обох мереж показано на рис. 7.

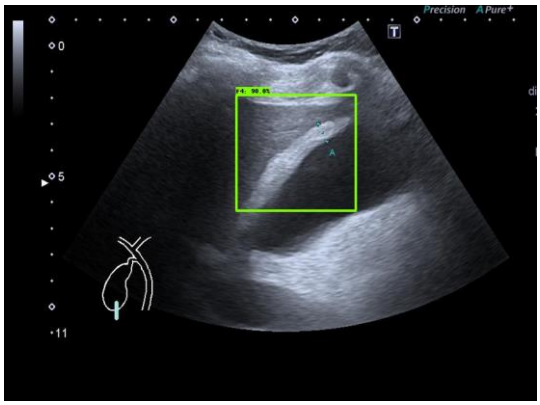


Рис. 3. Стадія F4 з ймовірністю 90%

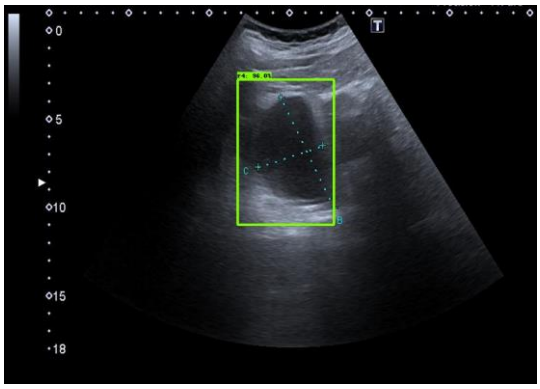


Рис. 4. Стадія F4 з ймовірністю 96%

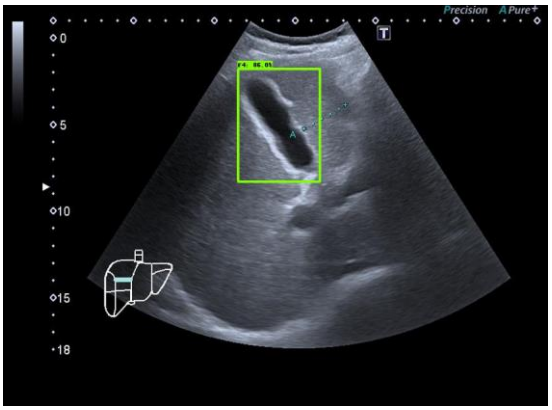


Рис. 5. Стадія F4 з ймовірністю 86%

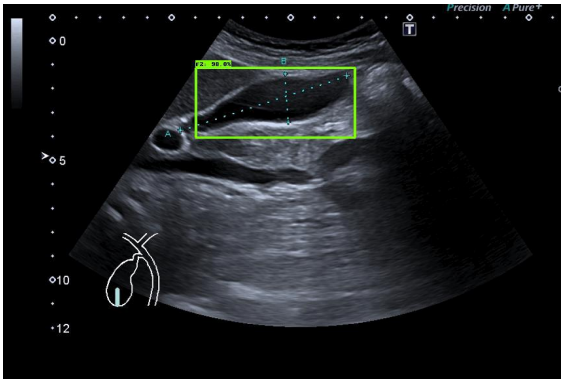


Рис. 6. Стадія F2 з ймовірністю 98%

ТАБЛИЦЯ I. АРХІТЕКТУРА МЕРЕЖ

layer name	output size	50-layer	101-layer
conv1	112×112	7×7, 64, stride 2	
conv2_x	56×56	3×3 max pool, stride 2	
		$\begin{bmatrix} 1\times1, 64 \\ 3\times3, 64 \\ 1\times1, 256 \end{bmatrix}\times3$	$\begin{bmatrix} 1\times1, 64 \\ 3\times3, 64 \\ 1\times1, 256 \end{bmatrix}\times3$
conv3_x	28×28	$\begin{bmatrix} 1\times1, 128 \\ 3\times3, 128 \\ 1\times1, 512 \end{bmatrix}\times4$	$\begin{bmatrix} 1\times1, 128 \\ 3\times3, 128 \\ 1\times1, 512 \end{bmatrix}\times4$
conv4_x	14×14	$\begin{bmatrix} 1\times1, 256 \\ 3\times3, 256 \\ 1\times1, 1024 \end{bmatrix}\times6$	$\begin{bmatrix} 1\times1, 256 \\ 3\times3, 256 \\ 1\times1, 1024 \end{bmatrix}\times23$
conv5_x	7×7	$\begin{bmatrix} 1\times1, 512 \\ 3\times3, 512 \\ 1\times1, 2048 \end{bmatrix}\times3$	$\begin{bmatrix} 1\times1, 512 \\ 3\times3, 512 \\ 1\times1, 2048 \end{bmatrix}\times3$
	1×1	average pool, 1000-d fc, softmax	
FLOPs		3.8×10^9	7.6×10^9

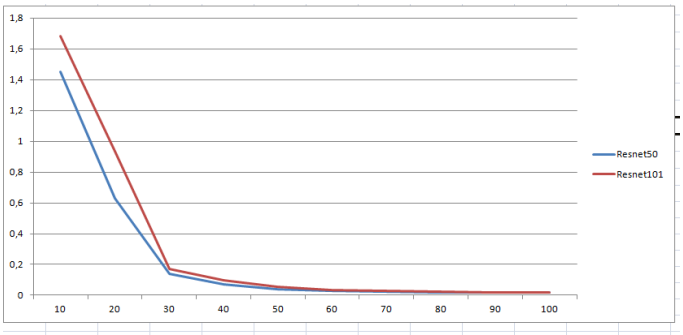


Рис. 7. Графік втрат при навчанні обож мереж

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[1] S. Saadeh, G. Cammell, W. D. Carey, Z. Younossi, D. Barnes K., Easley, "The role of liver biopsy in chronic hepatitis C," *Hepatology* 2001; 33(1): 196–200.

[2] T. Poynard, V. Ratziu, P. Bedossa, "Appropriateness of liver biopsy," *Can J Gastroenterol* 2000; 14(6): 543–8.

[3] G. N. Lee, X. Zhang, M. Kanematsu, et al., "Classification of cirrhotic liver on MR images using texture analysis," *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2006;1(Suppl. 1): 379–81.

[4] W. Li, X. Zhang, M. Kanematsu, T. Hara, X. Zhou, H. Fujita, et al., "Development of an automated method for differentiation of cirrhotic liver in abdominal MR images," *Med Img Inf Sci (MII)* 2004, 21(2): 137–43.

[5] Jie Lu, Vahid Behbood, Peng Hao, Hua Zuo, and Shan Xue, and Guangquan Zhang, "Transfer Learning using Computational Intelligence: A Survey." Electronic resource: https://www.uts.edu.au/sites/default/files/desi-publication-transfer%20learning%20using%20computational%20intelligence%20a%20survey-accepted%20menuscript.pdf

[6] Sinno Jialin Pan and Qiang Yang Fellow, "A Survey on Transfer Learning," Content may change prior to final publication. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. Electronic resource: https://www.cse.ust.hk/~qyang/Docs/2009/tkde_transfer_learning.pdf

Багатошарова Модель Системи Ройового Інтелекту для Фварійно-рятувальних Робіт та Пошукових Завдань

Євгеній Малахов
кафедра математичного забезпечення
комп'ютерних систем
Одеський національний університет
імені І. І. Мечникова
Одеса, Україна
eugene.malakhov@onu.edu.ua

Андрій Царюк
кафедра математичного забезпечення
комп'ютерних систем
Одеський національний університет
імені І. І. Мечникова
Одеса, Україна
tsariukandreyjs@gmail.com

The Multilayer Swarm Intelligence System Model in the Rescue and Relief Emergency Activity Search Task

Eugene Malakhov
dept. of Mathematical Support of Computer Systems
Odessa I.I. Mechnikov National University
Odessa, Ukraine
eugene.malakhov@onu.edu.ua

Andrey Tsariuk
dept. of Mathematical Support of Computer Systems
Odessa I.I. Mechnikov National University
Odessa, Ukraine
tsariukandreyjs@gmail.com

***Анотація*—Дана робота пропонує багатошарову модель системи ройового інтелекту спрямовану на зменшення людських ресурсів під час усунення наслідків надзвичайних ситуацій та під час пошукових робіт.**

***Abstract*—This article proposes a multilayer swarm intelligence system model for decreasing human resources in eliminating the consequences of emergency situations and rescue and relief emergency search activities.**

Ключові слова— надзвичайні ситуації; ройовий інтелект; системне моделювання; багатошарові моделі

Keywords—emergency situations; swarm intelligence; system modelling; multilayers models

I. INTRODUCTION

During the time and industrial growth humanity gets more complex and life-threatening tasks. That can be humanity or natural disasters and their results. In our research work we focused on search-decision approaches that should help people to become more protected in work with hazardous environments.

Thus, the problem of this work is a decreasing human resource in eliminating the consequences of emergency situations by introducing robots worked under swarm intelligence.

Humanity already developed a lot of instruments that can help people with unsafe work. One of them is drones. A lot of companies and governments are working on this already because of stability and good processing power. We already can delegate some tasks to drones but a drone is just a machine and it can't do work without a programmer.

So, from one side there is a good instrument for task delegation but from another should figure out a way of their independent effective work.

Swarm intelligence isn't something new and already used in different spheres such as medicine, automotive and forth. Many algorithms are already implemented in swarm robotics. This is mostly a basic swarm behavior - aggregation and formation [1, 2]. For example, drones used for aero shows. But these algorithms good for splitting goal by distributed swarm elements [1, 3].

Thus, to reach this goal already developed algorithms should be combined with effectively distributed elements in the swarm. By describing each level should be proposed a responsibility model of the system.

II. NATURE OF DATA

In rescue and relief emergency activity is a highly important search task. Coordination, strong communication channels, fast update is required for this procedure.

In general, the emergency operations have a hierarchical model with different layers of responsibilities [4]. Basically, the most common is the next structure:

1. Country government.
2. Federal government.
3. Town/County Agencies.
4. Citizen/agencies employee.

Next this hierarchy would be used inside a specific agency. In this case the coordinator of operation should see the big picture and can skip some team related data. The team leader should know important information about each team member, such as availability, position, runtime information. Each team member works together with others and has shared information such as position, environment details, task details and possible tools

Thus, next data types can be highlighted:

- global data;
- team data;
- team member runtime data;

One other thing that should be highlighted is data channels. Because of hierarchical structure only important information should go through the layers. This approach can help distribute resources and to avoid overloaded data channels.

III. MODEL REQUIREMENTS AND SYSTEM RESTRICTIONS

Take into account this information hierarchical model should be used to describe these processes. Each layer should have specific data which can be shared with others only by request or information priority. Also, each level should take care only about their responsibilities.

Thus, we can highlight the next requirements:

- hierarchical;
- separated levels of decision making;
- separated levels of responsibilities.

The latest Nvidia Jetson has 256 GPU cores [5] allows to make image processing in the high resolution, but this is resource-intensive computation. Based on this to reduce costs for the system only one task should be delegated to one drone. This approach supports a single responsibility principle which is good for distributed systems [6].

The next is runtime data. For example, destination point, or some pictures should be stored directly on the drone. This data must be accessible at any time and swarm nodes should have a possibility to process it.

Based on this, next restrictions can be highlight:

- one task per swarm node;
- runtime data stores directly on the swarm node.

As a summary some data can be processed directly on swarm nodes, but more complex operations should be processed on other layers.

IV. MODEL STRUCTURE

Based on restrictions and requirements the model should have several layers with separated responsibilities and relativity.

The model should cover three main directions:

- distributed data transferring;
- distributed responsibilities;
- distributed relation.

By this input can't be used the flat relations structure. On this stage multilayers model structure is proposed. On this stage was identified next layers:

- Womb.
- Pack Leader.
- Concrete swarm.

The table below represents each level responsibilities and relations.

TABLE I. MODEL ELEMENTS

Component name	***Responsibilities***
Womb	The global resources manager. Womb maintain all swarm nodes and can allocate or withdraw
Pack Leader	Pack leader is the main decision maker. He is a part of swarm but with expanded possibilities. He can create a tasks for swarm nodes and reorganize a it based on concrete goals
Concrete swarm	Specific swarm node that is responsible for its own role in swarm. Differentiate information by importance level and can send this data to the Pack leader by request.

To rich separated decision making was singled out the bunch of data transfer channels fig. 1. Each layer of the model has its own channel and can communicate with other layers by a separated channel. This structure can help to differentiate data by importance and decrease traffic in the network [7].

Also, as we can see on the Fig. 1 the Womb isn't a part of swarm. It's a coordination instrument and source of historical data.

Pack leader is a part of swarm and has the same task as each Swarm node, but it also is a control element of the system. He also can define task goals, tune swarm behavior and change prioritization of actions.

Each Swarm node has information about position and health statuses of any other. They can make decisions on their level of responsibilities, can request resources and share results with the Pack leader.

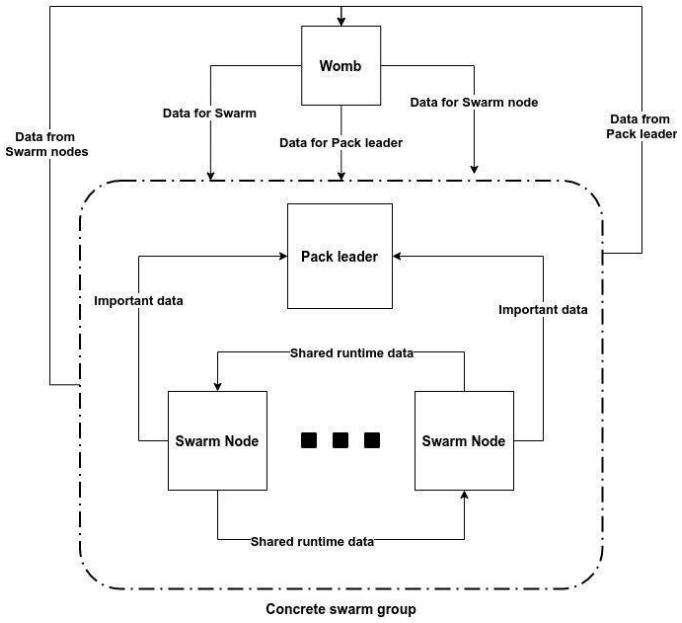


Fig.1 Swarm components diagram with data transfer channels.

Thus, three main responsibility layers of the model are provided Fig. 2. Each of them has its own task, goals and possibilities as mentioned above. This structure can help to make a system more stable and fault tolerant by separated decision making logical groups.

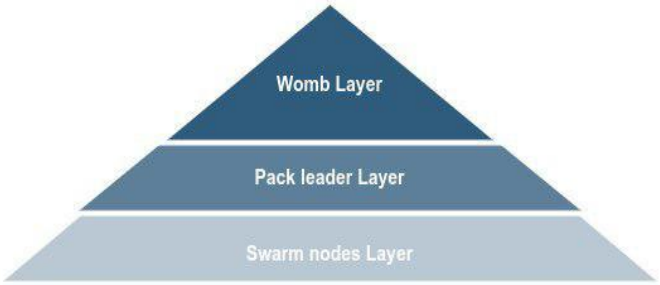


Fig.2 Model responsibility layers.

V. Conclusions

By provided model three main directions of the system modeling have been processed:

- data transferring;
- responsibilities;
- elements relations.

Introduced separated data transfer layers can reduce load on each system layer. Transparent responsibilities help fast identify the destination layer for income data.

References

[1] V. Gazi and K. M. Passino, “Swarm Coordination and Control Problems,” Swarm Stability and Optimization, Chapter 2, pp. 15-25, Springer, 2011.

[2] Argel A. Bandala, Elmer P. Dadios, Ryan Rhay P. Vicerra, and Laurence A. “Swarming Algorithm for Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Quadrotors – Swarm Behavior for Aggregation, Foraging, Formation,and Tracking” Gan LimDe La Salle University, Manila2401 Taft Avenue, Manila 1004, Philippines. Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics. September 2014

[3] D. Miner. “Swarm Robotics Algorithms: A Survey.” [Online]. Available: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.99.4450

[4] “Emergency Operation Plan” [Online]. Available: http://www.tetonwyo.org/DocumentCenter/View/471/Emergency-Operations-Plan-PDF?bidId=

[5] ”Jetson Nano” [Online]. Available: https://www.nvidia.com/ru-ru/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-nano/

[6] Robert C. Martin. "Principles Of OOD". *butunclebob.com*. Retrieved 2014-07-17

[7] G. Hohpe and B. Woolf. “Enterprise Integration Patterns”. Addison-Wesley. 2003.

Проблема Прийняття Рішень в Умовах Нечіткої Інформації

Людмила Колесник
кафедра системотехніки
Харківський національній університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
liudmyla.kolesnyk@nure.ua

Роман Меркулов
кафедра системотехніки
Харківський національній університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
roman.merkulov@nure.ua

The Problem of Decision-making in Conditions of Fuzzy Information

Liudmyla Kolesnyk
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
liudmyla.kolesnyk@nure.ua

Roman Merkulov
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
roman.merkulov@nure.ua

***Анотація*—Запропоновано підхід прийняття рішень в умовах нечіткої інформації, який дозволяє порівнювати альтернативи у випадку завдання значущості критеріїв у вигляді точкового, інтервального або нечіткого числа.**

***Abstract*—An approach to decision-making in the conditions of fuzzy information is proposed, which allows to compare alternatives in case of establishing the significance of criteria in the form of a point, interval or fuzzy number.**

Ключові слова—прийняття рішень, альтернатива, критерій, точкове значення, інтервальне значення, нечітка множина.

Keywords—decision making, alternative, criterion, point value, interval value, fuzzy set.

I. Вступ

У сучасному світі діяльність різних фірм, підприємств, компаній, заводів і їх співробітників тісно пов'язана з прийняттям рішень. Рішення приймаються щодня, прикладом можуть служити вибір напрямку розвитку підприємства, способу автоматизації, типу продукції, що випускається, обладнання, розподіл завдань в команді, вибір співвиконавця або кредитора та інше. Від того, наскільки правильно і професійно відбувався вибір рішення, залежить подальший розвиток фірми, її діяльність і ефективність [1].

Під прийняттям рішень розуміється особливий процес людської діяльності, спрямований на обґрунтований вибір найкращої альтернативи з безлічі варіантів можливих дій. Як у житті окремої людини, так і в повсякденній діяльності підприємств і організацій у всіх сферах діяльності (виробничої, економічної, соціальної та ін.) Прийняття рішень є найважливішим етапом, який визначає їхнє майбутнє. Тому пошук оптимальних рішень є виключно важливим для практики і цікавим для науки об'єктом дослідження.

Сучасним керівникам підприємств часто доводиться приймати рішення в умовах невизначеності, що впливає на ефективність результату діяльності організації. Досить важко прогнозувати всі можливі ризики і складнощі, що виникають в процесі робіт. Пошук оптимальних варіантів управлінських рішень часто здійснюється керівником на підставі власного досвіду, інтуїції або досвіду інших осіб в аналогічних ситуаціях. Такий суб'єктивний підхід може виявитися неефективним і спричинити за собою ущербні наслідки, особливо в тих випадках, коли прийняте рішення зачіпає інтереси великої кількості людей. Набір сукупностей реалізації станів середовища при цьому часто статистично не стійкий, вони можуть не належати до категорії випадкових величин або функцій, однак, прийняті управлінські рішення повинні бути аргументовані і при можливості кількісно обґрунтовані.

Тому актуальною є задача розробки компонентів системи прийняття рішень в умовах нечіткої невизначеності, яка виключає ризики та складності при прийнятті рішень.

II. Результати дослідження

Будь-яка математична модель з формальної точки зору є системою. Тому її структура є впорядкованою відносинами множиною елементів. Отже, для ідентифікації структури математичної моделі необхідно визначити:

- множину елементів, які впливають на всі цільові властивості;
- відносини між виділеними елементами.

Для побудови математичної моделі прийняття рішення необхідно, по-перше, поставити такі три множини: X – множина допустимих альтернатив, Y – множина можливих станів середовища, A – множина можливих результатів.

Так як стан керованої підсистеми повністю визначається вибором керуючого впливу і станом середовища, то кожній парі (x, y), де $x \in X$ и $y \in Y$, відповідає певний результат $a \in A$. Іншими словами, існує функція $F{:}X{\times}Y{\to}A$, яка називається функцією реалізації. Функція реалізації кожної пари (альтернатива, стан середовища) ставить у відповідність та визначає нею результат.

Набір об'єктів $< X, Y, A, F >$ становить реалізаційну структуру завдання прийняття рішення. Реалізаційна структура відображає зв'язок між обраними альтернативами і наслідками; в загальному випадку цей зв'язок не є детермінованим (однозначним): поява того чи іншого конкретного результату залежить не тільки від обраної альтернативи, але і від наявного стану середовища. Таким чином, тут є, як прийнято говорити, невизначеність стратегічного типу. Ця невизначеність створюється за рахунок впливу середовища на об'єкт управління.

Основний метод, що дозволяє знайти оптимальну альтернативу в умовах невизначеності, полягає в такому: формулюється певна гіпотеза про поведінку середовища, що дозволяє дати кожній альтернативі єдину числову оцінку.

Отже, математична модель в умовах невизначеності може бути задана у вигляді такої трійки об'єктів $\langle X, Y, f \rangle$, де X – множина допустимих альтернатив, Y – множина можливих станів середовища, $f : X \times Y \to$ R – цільова функція

Фактично побудова такої математичної моделі прийняття рішення зводиться до завдання цільової функції, визначеної на множині $X \times Y$ і приймаючої числові значення [2].

Завдання числової оцінки для кожної альтернативи дає критерій для порівняння альтернатив за бажанням: з двох альтернатив кращою вважається та, яка має більшу числову оцінку (альтернативи, що мають однакові оцінки, вважаються еквівалентними). Тоді оптимальною буде та альтернатива, яка є найкращою, тобто має найбільшу числову оцінку (для випадку функції витрат – найменшу числову оцінку).

У якості цільової властивості моделі багатофакторного оцінювання виступає «корисність» рішень, а «елементами» є часткові критерії. Завдання полягає у визначенні відносин між частковими критеріями.

Найбільш поширеною моделлю є адитивна функція корисності виду:

$$P(x) = \sum_{p=1}^{(1+B)^2} a_j k_j^{\mu}(x) . \qquad (1)$$

Значущість кожного критерію, що характеризує альтернативу a_j може бути наведена у такий спосіб [3, 4]:

- у вигляді точкових значень;
- у вигляді інтервальних значень;
- у вигляді нечітких множин.

Для розв’язанні задачі прийняття рішень у випадках представлення a_j у вигляді точкових та інтервальних значень можна використані підходи [5] та [6], відповідно.

При виборі найкращої альтернативи з множини альтернатив особа, яка приймає рішення, має потребу в математичному апараті, який дозволяє порівнювати між собою нечіткі числа. Завдання порівняння нечітких чисел фундаментальне, і в даний час існує безліч різних методів порівняння, які, однак, не завжди працюють задовільно.

Слід зазначити інтегральні методи – нечіткі множини, які упорядковуються на підставі своїх «середніх» чітких значень та які можуть бути отримані різними способами. До таких методів відноситься центроїдний метод.

Цей метод дозволяє дати однозначну відповідь щодо впорядкованості / невпорядкованості нечітких чисел і може бути ефективно алгоритмічно реалізований для використання в програмних пакетах [7].

Узагальнене трапецієподібне число $A = \langle a, b, c, d, w \rangle$, де a, b, c, d – абсциси точок A, B, C, D відповідно (рис. 1), w – ваговій параметр, розбивається на три фігури, після чого знаходяться координати точок

$$\begin{cases} G_1 = \left(\dfrac{a+2b}{3}; \dfrac{w}{3} \right) \\ G_2 = \left(\dfrac{c+d}{3}; \dfrac{w}{2} \right) \\ G_3 = \left(\dfrac{2c+d}{3}; \dfrac{w}{3} \right) \end{cases}. \quad (2)$$

які є центрами тяжкості отриманих фігур. Далі знаходиться центр ваги $G_A\left(\overline{x_0}, \overline{y_0}\right)$ трикутника $G_1G_2G_3$.

Центр ваги $G_A\left(\overline{x_0}, \overline{y_0}\right)$ трикутника $G_1G_2G_3$ з дорівнює:

$$\begin{aligned} \overline{x_0} &= \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3} \\ \overline{y_0} &= \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3} \end{aligned}, \quad (3)$$

де x_1, x_2, x_3 та y_1, y_2, y_3 – координати точок G_1, G_2, G_3, відповідно.

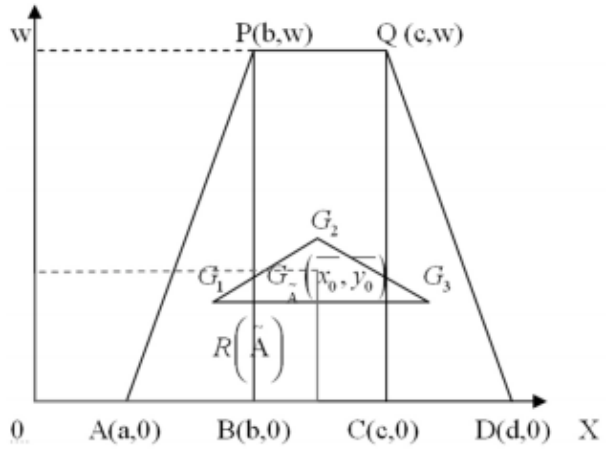


Рис. 1. Знаходження центроїда G_A трапецієподібного числа

Координати цієї точки використовуються для обчислення оціночної функції (функції корисності):

$$P\left(\tilde{A}\right) = \frac{7w\left(2a+7b+7c+2d\right)}{324}, \quad (4)$$

де $\tilde{A}$ – трикутне (або трапецієподібне) нечітке число.

На підставі оцінок $P\left(\tilde{A}\right)$ та $P\left(\tilde{B}\right)$ проводиться початкове порівняння чисел:

$$\begin{cases} P\left(\tilde{A}\right) < P\left(\tilde{B}\right) \Rightarrow \tilde{A} \prec \tilde{B} \\ P\left(\tilde{A}\right) > P\left(\tilde{B}\right) \Rightarrow \tilde{A} \succ \tilde{B} \end{cases}. \quad (5)$$

У разі, коли оцінки експертів встановлюються у вигляді інтервального або точкового значення, метод параметризованного порівняння дещо змінюється. Тобто принцип полягає в тому, що ці інтервальні та точкові значення розглядаються теж як нечіткі числа.

Нечітке інтервальне число $B = \langle a, b, c, d, w \rangle$, де a, b, c, d – абсциси точок A, B, C, D відповідного прямокутника в інтервалі $[a; d]$, w – ваговій параметр, розбивається на три фігури, як показано на рис. 2, після чого знаходяться координати точок:

$$\begin{cases} G_1 = \left(a + \dfrac{b-a}{2}; \dfrac{w}{2} \right) \\ G_2 = \left(b + \dfrac{c-b}{2}; \dfrac{w}{2} \right) \\ G_3 = \left(c + \dfrac{d-c}{2}; \dfrac{w}{2} \right) \end{cases}, \quad (6)$$

які є центрами тяжкості отриманих фігур.

Щоб знайти координати цих точок, для цього ми повинні знати координати точок B і C на діаграмі. Для знаходження цих координат використаємо такі формули:

$$\begin{aligned} B &= \left(a + \frac{d-a}{3}; 0 \right) \\ C &= \left(d - \frac{d-a}{3}; 0 \right) \end{aligned}. \quad (7)$$

Далі знаходиться центр ваги $G_B\left(x_0, y_0\right)$ лінії $G_1G_2G_3$ Якщо подивитися на рис. 2, то неможливо не помітити, що центр ваги $G_B\left(x_0, y_0\right)$ дуже близький до точки G_2 з відповідними координатами.

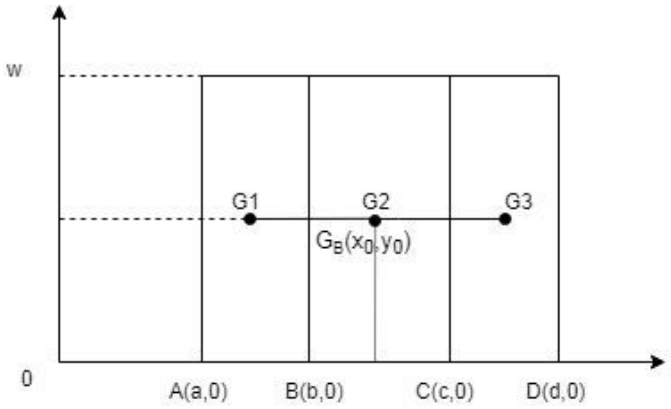


Рис. 2. Знаходження центроїда G_B нечіткого інтервального числа

Далі координати цієї точки використовуються для обчислення оціночної функції:

$$P(\tilde{B}) = \frac{7w(2a+7b+7c+2d)}{324}, \quad (8)$$

.

де $\tilde{B}$ – інтервальне нечітке число.

На підставі оцінок $P(\tilde{A})$ та $P(\tilde{B})$ проводиться початкове порівняння чисел.

III. Висновки

Виходячи с перерахованого вище та рис. 3, точкове значення оцінок є аналог інтервальному значенню. Тому, усе, що враховано до інтервальних нечітких чисел може бути використано до точкових нечітких чисел.

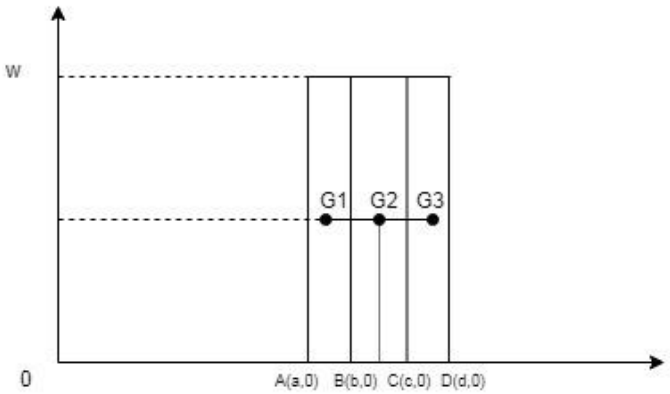


Рис. 3. Знаходження центроїда нечіткого точкового числа

Проаналізувавши метод параметризованого порівняння нечітких чисел було виявлено, що він також може бути використаний і для порівняння точкових та інтервальних чисел. Для цього було модифіковано модель розрахунку центів тяжкості отриманих фігур та координат B і C на діаграмі. Таким чином, можна зазначити, що запропонований підхід є більш універсальним.

Література References

[1] Петров Е.Г., Новожилова М.В., Гребеннік І.В. Методи і засоби прийняття рішень в соціально-економічних системах / за ред. Е.Г. Петрова. К.: Техніка, 2004. 256 с.

[2] Моисеев Н.Н., Иванилов Ю.П., Столярова Е.М. Методи оптимізації. М.: Наука, 1978. 352 с.

[3] Петров Е.Г., Бринза Н.А., Колесник Л.В., Писклакова О.А. Методи і моделі прийняття рішень в умовах многокритериальности і невизначеності / За ред. Е.Г.Петрова. Херсон:Гринь Д.С, 2014. 192 с.

[4] Федорченко А.О. Аналіз методів прийняття рішень в умовах невизначеності // Інформаційні технології в соціокультурній сфері, освіті та економіці: матеріали наук.–практ. конф. з міжнар. участю (м.Київ, 17–18 квітня 2019 р.). Київ : Видавничий центр КНУКіМ, 2019. С. 126–128.

[5] Петров Е.Г., Колесник Л.В. Модель нахождения точных значений предпочтений ЛПР // Вестник Херсонского государственного технического университета. 2006. №1(24). С. 28–31.

[6] Колесник Л.В., Вивденко С.А. Принятие многокритериальных решений в условиях равновозможной интервальной неопределенности // Проблемы информационных технологий. 2011. №2(010).С. 12–16.

[7] Воронцов Я.О., Матвєєв М.Г. Методи параметризованого порівняння нечітких трикутних та трапецієподібних чисел // Системний аналіз та інформаційні технології. 2014. Т. 15, № 2. С.90–97.

Оптимізація Процесу Навчання Штучних Нейронних Мереж

Олександр Безсонов, Олег Руденко
кафедра комп'ютерних інтелектуальних технологій та систем
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
oleksandr.bezsonov@nure.ua, oleh.rudenko@nure.ua

Кирило Олійник, Олександр Романюк
кафедра інформатики
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
kirill.oleynik.olegovich@gmail.com, romanyk@gmail.com

Training Process Optimization in Artificial Neural Networks

Oleksandr Bezsonov, Oleg Rudenko
Department of Computer Intelligent Technologies and Systems,
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
oleksandr.bezsonov@nure.ua, oleh.rudenko@nure.ua

Kiril Oliinyk, Oleksandr Romanyk
Department of Informatics,
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
kirill.oleynik.olegovich@gmail.com, romanyk@gmail.com

***Анотація*—В роботі розглядається питання оптимізації навчання штучних нейронних мереж шляхом вибору оптимальних параметрів, що використаються в функціоналах (параметр масштабу), та параметрів в алгоритмах оцінювання Качмажа та Нагумо-Ноди (параметри релаксації та регуляризації).**

***Abstract*—In this paper we consider the issue of optimizing the learning of artificial neural networks by selecting the optimal parameters used in the functionalities (scale parameter) and parameters in the Kachmazh and Nagumo-Noda evaluation algorithms (relaxation and regularization parameters).**

Ключові слова—штучна нейронна мережа, алгоритм навчання,регуляризація, робастність

Keywords—artificial neural network, learning algorithm, regularization, robustness

I. Вступ

Задача побудови нейромережевої моделі нелінійного об'єкта

$$y_{n+1} = f\left(c^{*T} x_{n+1}\right) + \xi_{n+1}, \qquad (1)$$

де y_{n+1} – вихідний сигнал, що спостерігається; $x_{n+1} = (x_{1,n+1}, x_{2,n+1}, .. x_{N,n+1})^T$ – вектор вхідних сигналів $N \times 1$; $c^* = (c_1^*, c_2^*, .. c_N^*)^T$ – вектор параметрів $N \times 1$; $f(\bullet)$ – деяка нелінійна функція; ξ_{n+1} - завада; n -дискретний час, и зводиться до мінімізації наперед обраного функціонала якості

$$F[e_n] = \sum_{i=1}^{n} \rho(e_i), \qquad (2)$$

де $e_i = y_i - \hat{y}_i$; $\hat{y}_i = \hat{\theta}_{i-1}^T x_i$ – вихідний сигнал моделі; $\hat{\theta}$ – оцінка вектора c^*; $\rho(e_i)$ - деяка диференцюєма функція.

Вибір $\rho(e_i)$ суттєво впливає на властивості рішення. При виборі $\rho(e_i) = 0{,}5e_i^2$ отримуємо оцінку МНК, яка є нестійкою до викидів і до завад, розподіли яких мають великі хвости. Вибір функції $\rho(e_i)$, відмінної від квадратичної, забезпечує робастність рішення.

Існує досить велика кількість функціоналів, що забезпечують отримання робастних М-оцінок, однак найбільш поширеними є комбіновані функціонали, запропоновані Хьюбером [1] та Хемпелем [2], які складаються з квадратичного, що забезпечує оптимальність оцінок для гауссівського розподілу, і модульного, що дозволяє отримати більш робастний до

розподілів з важкими «хвостами» (викидами) оцінку. Однак ефективність одержуваних робастних оцінок істотно залежить від численних параметрів, використовуваних в цих функціоналах і які обираються зазвичай на основі досвіду дослідника.

II. Вибір оптимальних параметрів критеріїв навчання

При М-оцінюванні, внаслідок неоднорідності функції ρ, одержувані оцінки не зберігають властивості інваріантності. Для того щоб властивість інваріантності масштабу виконувалося, в функціоналах замість помилки $e(i,\theta)$ слід брати $\tilde{e}(i,\theta)=(e(i,\theta)-m)/S$, де S - завадостійка оцінка параметра масштабу або міра розсіювання залишкових різниць (в разі нормального розподілу S є оцінкою σ_ξ); m - математичне сподівання завади $q(x)$, яке в загальному випадку відмінно від нуля.

При нульовому математичному сподіванні завади оцінка параметра масштабу використовуються в якості константи, що входить в розглянуті вище функціонали і функції впливу.

Якщо навчання мережі відбувається в режимі off-line, то в якості оцінки параметра масштабу слід взяти будь-яку MAD-оцінку (Median of Absolute Deviations, медіана абсолютних відхилень) [3].

У ранніх роботах по робастному оцінюванню в якості стійких оцінок параметра масштабу розглядалися медіанні. Так в [4] відзначається, що в якості оцінки S можна використовувати медіану модуля

$$S = med\{|e|\}.$$

Більш точна MAD-оцінка

$$S = \frac{med\{|e|\}}{0.6745}$$

розглядалася в роботах [4-5].

В [6] використовувалася медіанна оцінка виду

$$S = \frac{med\{|e - med(e)|\}}{0.6745}$$

Дещо інший підхід оцінювання S вивчався в [6]. Тут розглядався запропонований Хьюбером підхід отримання оцінки параметра S шляхом рішення S рівнянь

$$\frac{1}{n-2p-1}\sum_{i=p+1}^{n}\psi^2\left[\frac{e_i}{S_i}\right]=\beta,$$

де константа β обирається так, що S є достовірною оцінкою σ_ε в разі $\xi \in N(0,\sigma_\varepsilon^2)$, тобто $\beta = E_\Phi\{\psi^2(e)\}$,

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int\left[\Phi(x)\right]^2 e^{-\frac{x^2}{2}}dx,$$

де Φ - стандартний нормальний розподіл Значення константи β для різних функцій впливу $\psi'(e)$ наведені в [7].

При вирішенні практичних завдань для оцінювання S зазвичай використовують протягом якогось певного числа вимірювань. Наприклад, в роботі [8] розглядається послідовність помилок $e(i)$, $i=1,2,...,n$, з яких k останніх ($p<k<n$) використовуються для отримання оцінки параметра масштабу.

Запропонована в цій роботі оцінка має вигляд

$$S_k = \frac{d_k}{\Phi^{-1}[0.5(1+k/n)]},$$

де d_k - половина ширини вікна, що включає k останніх помилок; $\Phi^{-1}[\bullet]$ - аргумент загальної (інтегральної) функції розподілу.

Оптимальне значення k відповідає мінімуму дисперсії нормалізованої помилки ε_k^2, для визначення якої використовуються тільки різниці q_k точок:

$$\varepsilon_k^2 = \frac{1}{q_k - p}\sum_{i=1}^{q_k}\left(\frac{e_k(i)}{S_k}\right)^2 = \frac{\hat{\sigma}_k^2}{S_k^2}$$

При вирішенні задач в режимі on-line природним є рекуррентне оцінювання параметрів перешкоди.

Завадостійке оцінювання параметра положення на основі алгоритму стохастичної апроксимації Роббінса-Монро для випадку, коли безліч розподілів перешкоди належить класу асиметричних ε -засмічених нормальних розподілів, розглядалося в [8], а для розподілів довільного виду - в роботі [9]. Такий підхід є досить привабливим в обчислювальному аспекті, тому що оцінки визначаються за допомогою простих рекурентних формул і не використовують в явному вигляді даних минулих спостережень.

III. Вибір оптимальних параметрів процедур навчання

Слід зазначити, що зазвичай в якості алгоритмів навчання, що мінімізують (2), обирають градієнтні, серед яких найбільш простими та досить ефективними є алгоритми, зокрема регуляризовані, Качмажа

$$\hat{\theta}_{n+1} = \hat{\theta}_n + \gamma\frac{e_{n+1}x_{n+1}}{\|x_{n+1}\|^2+\delta},$$

та Нагумо-Ноди

$$\hat{\theta}_{n+1} = \hat{\theta}_n + \gamma \frac{e_{n+1} sign x_{n+1}}{|x_{n+1}| + \delta},$$

де γ - деякий параметр (параметр релаксації), що впливає на швидкість збіжності алгоритму; де δ> 0 - параметр регуляризації (метою використання параметра регуляризації δ є підвищення обчислювальної стійкості алгоритмів).

Як і для будь-якого параметра, який штучно вводиться в критерій або оцінку, для параметра регулярзації δ не існує загальних рекомендацій по його вибору. Вибір оптимального значення δ залежить від наявності апріорної інформації щодо властивостей досліджуваного об'єкта, статистичних властивостей корисних сигналів і завад тощо. Неважко бачити, що з метою збільшення швидкості збіжності даний параметр повинен прагнути до нуля, а з метою підвищення стійкості оцінки повинен бути відмінним від нуля.

Однак практично всім відомим класичним процедурам вибору параметра регуляризації притаманний спільний недолік - вони не враховують статистичних властивостей одержуваних оцінок. Тому на практиці слід, швидше за все, виходити з конкретної ситуації і задавати параметр δ досить малим, але в той же час дозволяє отримувати оцінки в умовах мультиколінеарності.

Спроба непрямого обліку цих властивостей була зроблена в роботі [10], в якій в якості критерію запропоновано розглядати відношення сигнал-шум (ENR - echo-to-noise ratio), тобто нормалізовану величину

$$ENR = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_\xi^2} = \frac{\theta^T R_x \theta}{\sigma_\xi^2},$$

де $\sigma_y^2 = M\{y_n^2\}$; - $\sigma_\xi^2 = M\{\xi_n^2\}$; $R_x = M\{x_n x_n^T\}$,

Мінімізація $M\{\tilde{e}_{n+1}^2\} = \sigma_\xi^2$, де $\tilde{e}_{n+1} = y_{n+1}^* - w_n^T x_{n+1}$, в припущенні, що $\|x_n\|^2 \approx N\sigma_x^2$ і

$$M\{|x_n|\} = \alpha_x = \sqrt{2(\pi\sigma_x^2)^{-1}}\,\sigma_x^2 = \alpha_x \sigma_x^2,$$

$$\text{де } \alpha_x = \sqrt{2(\pi\sigma_x^2)^{-1}},$$

дозволяє отримати наступний вираз для нормалізованого параметра регуляризації

$$\delta = \frac{N\left(1 + \sqrt{1 + ENR}\right)}{ENR}\sigma_x^2;$$

Інші рекомендації пропонуються в роботах [11, 12]

Важливим параметром, який визначає швидкість навчання, є параметр γ. Існує досить багато рекомендацій щодо його вибору, наприклад [13] для алгоритму Качмажа пропонується

$$\gamma^{opt} = 1 - \frac{N\sigma_\xi^2}{(N-2)\sigma_x^2 M\{\|\theta_n\|^2\}},$$

а для алгоритму Нагумо-Ноди

$$\gamma_n^{opt} = \frac{2NM\{|\tilde{\theta}_n|^2\}}{\pi NM\{|\tilde{\theta}_n|^2\} + 2\omega\sigma_\xi^2},$$

$$\text{де } \omega = \left(2\sigma_x^2\right)^{-1}.$$

IV.Висновки

В роботі було розглянуто питання оптимізації навчання ШНМ шляхом вибору оптимальних параметрів, використовуваних в функціоналах (параметр масштабу), та параметрів в алгоритмах оцінювання Качмажа та Нагумо-Ноди (параметри релаксації та регуляризації) .

Література

[1] Hampel F.R. The influence curve and its role in robust estimation / F.R. Hampel // J. Amer. Statist. Assoc. – 1974. – June. – 69. – P. 383-393.

[2] Hampel F.R. Robust Statistics. The Approach Based on Influence Functions / F.R. Hampel, E.M. Ronchetti, P.J.Rousseeuw, W.A. Stahel– N.Y.: John Wiley and Sons, 1986. – 526 p.

[3] Andrews D.F. A robust method for multiple linear regression / D.F. Andrews // Technometries. – 1974. – 16. – P.523-531.

[4] Mosteller F. Data analysis and regression: a second course in statistics / F. Mosteller, J.W. Tukey– Addison Wesley, 1977. – 588 p.

[5] Deng G. Sequential and adaptive learning algorithms for M-estimation / G. Deng // EURASIP J. Adv. in Signal Proc., 2008, ID 459586.

[6] Хогг Р.В. Введение в помехоустойчивое оценивание / Р.В. Хогг // В кн. «Устойчивые стохастические методы оценки данных» – М.: Машиностроение, 1984. – С.12-25.

[7] Хьюбер П.Дж. Помехоустойчивое сглаживание / П.Дж. Хьюбер // В кн. «Устойчивые стохастические методы оценки данных» – М.: Машиностроение, 1984. – С. 36-46.

[8] Martin R.D. Robust estimation via stochastic approximation / R.D. Martin, C.J. Masreliez // IEEE Tr. Inf. Theory. – 1975. –21. – P. 263-271.

[9] Ванде-Линде В.Д. Метод помехоустойчивого оценивания в задачах передачи сообщений / В.Д. Ванде-Линде // В кн. «Устойчивые стохастические методы оценки данных» - М.: Машиностроение, 1984. – С. 147-164.

[10] Benesty J. On regularization in adaptive filtering / J. Benesty, C. Palelogy, S. Ciochina // IEEE Trans. on Audio, Speech, and Language Proc. – 2011. – V.19. - №6. – P.1734-1742.

[11] Руденко О.Г., Романюк, О.С. Analysis of influence on the statistical properties of estimates of nonstationary parameters / В кн. Інформаційні системи і технології. (под ред. Пономаренка В.С.)- Харків: ФОП Бровін О.В., 2019.-С. 97-107.

[12] Руденко О.Г., Безсонов О.О., Сердюк, Н.М., Олійник, К.О., Романюк О.С. Робастна ідентифікація об'єктів на основі мінімізації комбінованого функціоналу. Системи обробки інформації, №1 (160), 2020.- С.80-88

[13] Rudenko O.,Bezsonov O., Lebediev O., Lebediev V., Oliinyk K. Studying the properties of a robust algorithm for identifying linear objects, which minimizes a combined functional Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2020. – № 4/4 (106). – P.37–46.

Реалізація Генетичного Алгоритму для Оптимізації Нейронної Мережі при Прогнозуванні Напружено-деформованого Стану Прямолутної Пластини з Круглим Вирізом

Оксана Чопорова, Андрій Лісняк, Сергій Чопоров
кафедра програмної інженерії
Запорізький національний університет
Запоріжжя, Україна
o.choporova@gmail.com, andrey.lisnyak@gmail.com, s.choporoff@znu.edu.ua

Implementation of Genetic Algorithm for Neural Network Optimization for Making Predictions of the Stress-strain State of a Rectangular Plate with a Circular Cut Out

Oksana Choporova, Andrey Lisnyak, Serhii Choporov
dept. of Software Engineering
Zaporizhzhja National University
Zaporizhzhia, Ukraine
o.choporova@gmail.com, andrey.lisnyak@gmail.com, s.choporoff@znu.edu.ua

***Анотація*—Метою роботи є реалізація та особливості використання генетичного алгоритму для оптимізації параметрів нейронної мережі для прогнозування напружено-деформованого стану квадратної пластинки з круглим вирізом. Тестову вибірку, яка містить можливі стани пластинки у залежності від геометричних і фізико-механічних параметрів, побудовано з використанням аналітичних формул і методу скінченних елементів. Використано генетичний алгоритм для оптимізації параметрів нейронної мережі при прогнозуванні напружено-деформованого стану квадратної пластини з круглим вирізом. Побудовано моделі навчання на базі штучних нейронних мереж. Побудовані моделі дозволяють прогнозувати прогин у центрі пластинки, а також максимальне значення інтенсивності напружень за Мізесом.**

***Abstract*—The aim of the work is the implementation and features of using a genetic algorithm to optimize the parameters of the neural network to predict the stress-strain state of a square plate with a circle cut-out. The test sample, which contains the possible states of the plate depending on the geometric and physico-mechanical parameters, was constructed using analytical formulas and the finite element method. A genetic algorithm is used to optimize the parameters of the neural network when predicting the stress-strain state of a square plate with a circle cut-out. Learning models based on artificial neural networks are built. The constructed models allow predicting the deflection in the center of the plate, as well as the maximum value of the stress intensity according to Mises.**

Ключові слова—машинне навчання, штучна нейронна мережа, генетичний алгоритм, популяція, мутація, схрещування, фітнес-функція, напружено-деформований стан, пластинка, прогнозування.

Keywords—machine learning, artificial neural network, genetic algorithm, population, mutation, crossover, stress-strain state, plate, prediction.

I. Вступ

Розробка методів і моделей машинного навчання дозволяє робити швидкі оцінки необхідних параметрів стану об’єкту. З практичної точки зору моделі машинного навчання для прогнозування значень параметрів стану

конструкції можуть слугувати як інтерактивні асистенти у процесі проектування. Одним із актуальних питань застосувань нейронних мереж є їхня структурна оптимізація, тобто, вибір оптимальної кількості шарів, нейронів, функцій активації тощо. Така оптимізація може проводитися як вручну, за умови відносно невеликої кількості параметрів, так і в автоматичному режимі. Суттєвим етапом генетичних алгоритмів є визначення генетичних операторів: селекції, кросоверу, мутації та відбору. Вибір цих операторів впливає на збіжність та ефективність методу в цілому. Генетичний алгоритм є прикладом метаевристичних методів. Збіжність таких методів у загальному випадку досить важко довести формально. Однак, застосування генетичного алгоритму під час налаштування нейронних мереж дозволяє знизити втручання користувача до мінімуму. Основною перевагою штучної нейронної мережі є швидкість прогнозування. Обчислення необхідних характеристик у порівнянні з методом скінченних елементів відбувається майже миттєво. Отже, «натреновані» штучні нейронні мережі можуть слугувати як інтерактивні помічники у процесі проектування.

II. Аналіз стану проблеми

У сучасному виробництві широке поширення одержали системи автоматизованого проектування, які дозволяють проектувати технологічні процеси з меншими витратами часу та засобів, зі збільшенням точності спроектованих процесів і програм обробки, що скорочує витрати матеріалів та час обробки, завдяки тому, що режими обробки також розраховуються та оптимізуються за допомогою ЕОМ.

Одним із актуальних питань застосувань нейронних мереж є їхня структурна оптимізація, тобто, вибір оптимальної кількості шарів, нейронів, функцій активації тощо. Така оптимізація може проводитися як вручну, за умови відносно невеликої кількості параметрів, так і в автоматичному режимі. Генетичні алгоритми досить давно використовуються для задач структурної оптимізації нейронних мереж [3], однак, вони менше застосовувались для підбору параметрів ансамблів мереж.

У роботі [4] розроблено покроковий алгоритм донавчання нейронної моделі, який дозволяє розв'язувати задачі динаміки будівельних конструкцій. Алгоритм дозволяє прогнозувати напружено-деформований стан конструкції, яка знаходиться під дією тривалого або короткочасного навантаження.

У роботі [5] для оптимального проектування будівельних конструкцій використовують генетичні алгоритми. У роботі [6] запропоновано метод розв'язання нелінійних крайових задач для звичайних диференціальних рівнянь другого порядку, який застосовує генетичні алгоритми для знаходження оптимальних значень параметрів наближених розв'язань. Проте його практичне застосування пов'язане з необхідністю емпіричного підбору деяких параметрів та великою кількістю ітерацій для отримання прийнятного результату.

Роботи [7, 8] присвячено особливостям використання генетичних алгоритмів при створенні ансамблів. Автори пропонують підхід, в якому нейронні мережі та структура ансамблю поєднуються в одну популяцію. По-перше, створюється набір нейронних мереж з високим ступенем різноманітності. Для цього використовуються різні набори навчальних даних для кожної моделі, а також варіюється архітектура шляхом зміни кількості прихованих нейронів, функцій активації та ініціалізації ваг. По-друге, генетичний алгоритм використовується для вибору як найбільш ефективної підмножини синтезованих нейронних мереж, так і оптимальної комбінаційної стратегії для забезпечення точності та надійності ансамблю. Така схема застосування генетичних алгоритмів до нейронних мереж та їх ансамблів є типовою.

III. Мета дослідження

Мета дослідження – реалізація генетичного алгоритму для оптимізації параметрів нейронної мережі при прогнозувані напружено-деформованого стану прямокутної ізотропної пластини з круглим вирізом. Пластина має такі параметри: ширину *width*, висоту *height*, радіус круглого вирізу r, з центром кола (x_0, y_0), рівномірною товщиною h, модулем Юнга E, відношенням Пуассона v. Пластина навантажена поперечно розподіленим навантаженням q на одиницю площі. На краях пластини можлива довільна комбінація таких крайових умов: затиснення (заборонені переміщення та обертання), шарнірне закріплення (заборонені переміщення, обертання дозволені) або вільні. Можлива будь-яка комбінація граничних умов, виключаючи ситуації, які можуть обумовлювати відсутність розв'язку: з чотирма вільними ребрами або одним шарнірно закріпленим ребром та трьома вільними ребрами.

IV. Модель прогнозування напружено-деформованого стану пластинки з круглим вирізом

В практичних задачах саме структурна та параметрична оптимізація вимагає суттєвих часових затрат та експертних знань предметної області. Одним з методів, що дозволяє уникнути такого ручного налаштування роботи системи є генетичні алгоритми. Загальна схема застосування генетичних алгоритмів до нейронних мереж полягає у наступному. На першому етапі слід обрати спосіб кодування суттєвих параметрів нейронної мережі у вигляді бінарного або числового вектору. Такі вектори формують деяку базову множину розв'язків, в якій здійснюється пошук оптимального розв'язку. Після цього, обирається цільової функція, яка буде визначати найбільш вдалу архітектуру окремих нейронних мереж та структуру. Така функція повинна бути близькою за значенням до функції втрат, що використовуються при навчанні нейромереж. Суттєвим етапом генетичних є визначення генетичних операторів:

селекції, кросоверу, мутації та відбору. Вибір цих операторів впливає на збіжність та ефективність методу в цілому.

Для реалізації генетичного алгоритму для оптимізації параметрів нейронної мережі для прогнозування прогину квадратної пластини з круглим вирізом вхідні данні були розділені на дві частини – числові дані та дані категорій. До числових даних відноситься 9 параметрів пластини, що генеруються випадковим чином з наступними обмеженнями:

- *width*∈[0.1; 10] (м);
- *height*∈[0.1; 10] (м);
- *r*∈[3s; 12a−3s] (м), де *s* – розмір фонової комірки у сітці (для рівномірної сітки можна вважати *s* = max(width, height) / n, де n^2 кількість комірок), *a* = min(width, height);
- x_0∈[0; 1/2a−r−3s] (м);
- y_0∈[0; 1/2a−r−3s] (м);
- *h*∈[1/80a;1/5a] (meters);
- *E*∈[50000; 300000] (МПа);
- ν∈[0; 0,45]
- *q*∈[0.01; 0.1] (МПа).

Дані категорій – всі можливі поєднання граничних умов, що також генеруються випадковим чином. Можлива будь-яка комбінація граничних умов, виключаючи ситуації з чотирма вільними ребрами або одним підтримуваним ребром та трьома вільними. Позначимо граничні умови на краю *x=−width/2* як c_0, на краю *y=−height/2* як c_1, на краю *x=width/2* як c_2 та на краю *y=height/2* як c_3. Якщо ми також позначимо вільний край на 0, підтримуваний край на 1, затиснутий край на 2, то отримаємо таке обмеження: $c1+c2+c3+c4\geq 2$.

Для прогнозування поведінки пластинки розроблено модель, яка має декілька шарів нейронів. По-перше, шари вхідних нейронів (окремо для числових параметрів і умов закріплення). Нейрони вхідних шарів поєднується з прихованим шаром нейронів. Далі зовнішній шар нейронів з лінійною функцією активації формує регресійну оцінку вектору, що описує напружено-деформований стан пластинки. Внутрішні шари мають певну кількість нейронів, кожен з яких зв'язаний з внутрішньою функцією активації .Останній шар (також зовнішній) має кількість нейронів, яка дорівнює кількості вихідних значень. Для вирішення задачі дискретної оптимізації на початку випадковим чином була створена деяка початкова популяція (Population Size (10)), що складається з векторів, які містять задані параметри, що описують архітектуру нейронної мережі. Згенерована популяція векторів визначає структуру нейромережі. Для кожного вектора знаходиться фітнес-функція, яка є середньоквадратичним відхиленням нейромережі від рішення. Наступним кроком є сортування отриманих значень функції у порядку убування, таким чином, що на першому місці буде знаходитись найкращий отриманий результат, а на останньому – найгірший.

Далі відбувається операція схрещування (crossover) членів популяції, основна задача якої – створити нову популяцію з вже існуючої, тобто особини популяції у кількості $[\frac{n}{2}]$, де n – кількість членів популяції, схрещуються з першим членом та відбувається процес мутації. Останні члени популяції генеруються випадково.

Під час реалізації генетичного алгоритму для оптмізації параметрів нейронної мережі при прогнозуванні напружено-деформованого стану квадратної пластини з круглим вирізом було використано вибірку, що містить результати 200 обчислювальних експериментів. Було порівняно значення прогину та інтенсивності напружень, отримані за допомогою методу скінченних елементів, зі значеннями, отриманими за допомогою нейронної мережі, у залежності від товщини пластинки. Виявлено, що алгоритм дозволяє прогнозувати значення прогину з похибкою приблизно 10% відносно аналітичного рішення.

V. Висновки

У відповідності до мети роботи було використано генетичний алгоритм для оптимізації нейронної мережі для прогнозування напружено-деформованого стану квадратної пластинки із ізотропного матеріалу з круглим вирізом, яка знаходиться під дією рівномірно розподіленого по поверхні поперечного тиску. Розроблено алгоритм формування вибірки для навчання та тестування моделей. Досліджено можливості генетичного алгоритму для регресійного аналізу і прогнозування максимального прогину пластинки. Виявлено, що алгоритм дозволяє прогнозувати значення прогину з похибкою приблизно 10% відносно аналітичного рішення.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з визначенням оптимального розміру навчальної вибірки, а також параметрів моделі.

Література References

[1] Abambres M., Marcy M., Doz G. Potential of Neural Networks for Structural Damage Localization // engrXiv. 2018. [Online] Available: https://engrxiv.org/rghpf. DOI: 10.31224/osf.io/rghpf.

[2] Damage detection of a highway bridge under severe temperature changes using extended Kalman filter trained neural network / C. Jin, S. Jang, X. Sun [et. al] // Journal of Civil Structural Health Monitoring. 2016. Vol. 6, Iss. 3, P. 545–560.

[3] Damage detection of a highway bridge under severe temperature changes using extended Kalman filter trained neural network / C. Jin, S. Jang, X. Sun [et. al] // Journal of Civil Structural Health Monitoring. 2016. Vol. 6, Iss. 3, P. 545–560.

[4] R. Lesovik, Optimalnoe proektirovanie stroitelnyih konstruktsiy na osnove geneticheskogo algoritma in Stroitelnaya mehanika inzhenernyih konstruktsiy i sooruzheniy. 2010. C. 20–24.

[5] O. Maksimova, Razvitie i primenenie neyrosetevyih tehnologiy dlya zadach mehaniki i stroitelnyih konstruktsiy in Vestnik IrGTU. 2013. № 8 (79). C. 81–88.

[6] R. Lesovik, Optimalnoe proektirovanie stroitelnyih konstruktsiy na osnove geneticheskogo algoritma in Stroitelnaya mehanika inzhenernyih konstruktsiy i sooruzheniy. 2010. C. 20–24.

[7] Hany Sallam, Carlo S. Regazzoni, Ihab Talkhan, and Amir Atiya. Evolving neural networks ensembles nnes. IAPR Workshop on Cognitive Information Processing, P. 142-147

[8] Symone G. Soares, Carlos H. Antunes, Rui Arajo. A Genetic Algorithm for Designing Neural Network Ensembles. Proceedings of the 14th annual conference on Genetic and evolutionary computation. P. 681-688.

[9] Neural Network-based formula for the buckling load prediction of I-section cellular steel beams / M. Abambres, K. Rajana, K. Tsavdaridis, T. Ribeiro // engrXiv. 2018. [Online] Available: https://engrxiv.org/wg7hd. DOI: 10.31224/osf.io/wg7hd

[10] D. Zelentsov, Neyronnyie seti kak sredstvo povyisheniya tochnosti i effektivnosti resheniya zadach optimizatsii, in *Kompiuterne modeliuvannia: analiz, upravlinnia optymizatsiia*. 2018. № 2. С. 18–26.

[11] L. Vakal, Henetychni alhorytmy yak instrument rozviazannia neliniinykh kraiovykh zadach in *Kompiuterni zasoby, merezhi ta systemy*. 2015. № 14. С. 16–23.

[12] D. Kingma, J. Ba, Adam: A Method for Stochastic Optimization in *arXiv*. 2014. [Online] Available: https://arxiv.org/abs/1412.6980

[13] K. Du, M. Swamy Neural Networks and Statistical Learning. London: Springer, 2014. DOI: 10.1007/978-1-4471-5571-3

[14] Potential of neural networks for maximum displacement predictions in railway beams on frictionally damped foundations / M. Abambres, R. Corrêa, A. P. da Costa, F. Simões // engrXiv. 2019.[Online] Available: https://engrxiv.org/m3b7j. DOI: 10.31224/osf.io/m3b7j

З М І С Т

Секція 4. Розпізнавання образів, цифрова обробка зображень і сигналів

Секція 8. Захист інформації. Інформаційна безпека

Секція 9. Інтелектуальний аналіз даних, Data Mining та Big Data-технології

Section 8. Intellectual data analysis, Data Mining and Big Data technologies 283

Наукове видання

«Інформаційні системи та технології» ІСТ-2020

М А Т Е Р І А Л И
9-ї Міжнародної науково-технічної конференції

17-20 листопада 2020

Харків, Україна

«INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES» IST-2020

Proceedings
of the 9-th International Scientific and Technical Conference

November 17-20, 2020

Kharkiv, Ukraine

Наукові редактори: А. Д. Тевяшев, Л. Б. Петришин, В. Г. Кобзєв
Коректор – Н. Р. Сухина
Комп'ютерна верстка – Ю. В. Міщеряков, Т. Є. Сергієнко

Харківський національний університет радіоелектроніки
61166, Харків, пр. Науки, 14,
ХНУРЕ

Підписано до друку 20.11.2020.
Папір 80 г/м^2.
Умов.-друк. арк. – 36,38. Обл.-вид. арк. – 26,16.
Наклад 150. Зам. № 007.

Видавець і виготовлювач ТОВ «ДРУКАРНЯ МАДРИД»
через ФОП Дудінова О. Б.
61024, м. Харків, вул. Гуданова, 18
Тел.: (057) 756-53-25
www.madrid.in.ua info@madrid.in.ua