

МАТЕРІАЛИ XXVII
МІЖНАРОДНОГО
МОЛОДІЖНОГО ФОРУМУ

МІНІСТЕРСТВО
ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

РАДІОЕЛЕКТРОНІКА
ТА МОЛОДЬ У XXI
СТОЛІТТІ



2023

ТОМ 7

ХАРКІВ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

МАТЕРІАЛИ 27-го МІЖНАРОДНОГО
МОЛОДІЖНОГО ФОРУМУ

«РАДІОЕЛЕКТРОНІКА І МОЛОДЬ У ХХІ СТОЛІТТІ»

10-12 травня 2023 р.
том 7

КОНФЕРЕНЦІЯ
«КОМП'ЮТЕРНИЙ ЗІР, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ
ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ»

Харків 2023

УДК 004.932+330.46+005.934](06)

27-й Міжнародний молодіжний форум «Радіoeлектроніка і молодь у XXI столітті». Зб. матеріалів форуму. Т. 7. Харків: ХНУРЕ. 2023. 243 с.

У збірник включені матеріали 27-го Міжнародного молодіжного форуму «Радіoeлектроніка і молодь у XXI столітті».

Видання підготовлено
факультетом інформаційно-аналітичних технологій та менеджменту
Харківського національного університету радіoeлектроніки

61166 Україна, Харків, просп. Науки, 14
тел./факс: (057) 7021397

Email: mref21@nure.ua

© Харківський національний університет
радіoeлектроніки (ХНУРЕ), 2023

УДК 004.932

**КОНФЕРЕНЦІЯ
«КОМП'ЮТЕРНИЙ ЗІР, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ
ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ»**

Програмний комітет конференції

Дорошенко В.О.	доктор фізико-математичних наук, професор, ХНУРЕ, Україна.
Машталір С.В.	доктор технічних наук, професор, ХНУРЕ, Україна.
Нерух О.Г.	доктор фізико-математичних наук, професор, ХНУРЕ, Україна.
Сидоров М.В.	доктор фізико-математичних наук, професор, ХНУРЕ, Україна.
Гусарова І.Г.	кандидат технічних наук, доцент, ХНУРЕ, Україна.
Кобилін О.А.	кандидат технічних наук, доцент, ХНУРЕ, Україна.
Матвієнко О.І.	кандидат технічних наук, доцент, ХНУРЕ, Україна.
Тітова О.В.	кандидат технічних наук, доцент, ХНУРЕ, Україна.

УДК 004.932:004.032.6

**КОМП'ЮТЕРНИЙ ЗІР ТА
МУЛЬТИМЕДІЙНІ СИСТЕМИ**

ЗАСТОСУВАННЯ МАТРИЦІ ВІДСТАНЕЙ ДЛЯ МНОЖИНИ ОЗНАК У КЛАСИФІКАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

Марков Т.Є.

Науковий керівник – д.т.н., проф. Гороховатський В.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,
м. Харків, Україна

тел. (057) 702-14-19, email: taras.markov@nure.ua

The publication contains research materials on the implementation of a data structure in the form of a distance matrix for a set of image features into the classification process. The obtained experimental results confirm the effectiveness of using the distance matrix for object recognition in computer vision.

Дескриптори ключових точок (КТ) є унікальними для зображення, тому можна вважати, що така унікальність може зберегтись і у значеннях матриці відстаней в межах опису [1-4].

Розглянемо формалізм матриці відстаней M розміром $s \times s$ для складу елементів двох рівних за потужністю множин A, B векторів:

$$M[A, B] = \{ \{ m_{i,j} \}_{i=1}^s \}_{j=1}^s, \quad m_{i,j} = \rho(a_i, b_j),$$

де $\rho(a_i, b_j)$ – відстань у векторному просторі R^n , $a_i \in A$, $b_j \in B$. Для бінарних векторів із врахуванням обсягів обчислень може бути застосована відстань Хемінга. На підставі матриці M відстаней із введенням граничних значень для метрики щодо еквівалентності двох довільних векторів можуть бути визначені такі експериментальні результати дій над множинами, як перетин, об'єднання, різниця, симетрична різниця та ін. [3, 4].

Для здійснення моделювання вибрано детектор КТ Kaze у покращеному варіанті AKAZE, що формує дескриптори, розміром 488 бітів. Оброблення даних здійснювалося побітово. Приклад роботи дескриптора – на рис. 1.

Об'єм даних у матриці відстаней залежить від числа сформованих КТ, для моделювання взято число КТ $s = 40$ в кожному з еталонів. Вивчено статистику відстаней у 40 КТ для трьох зображень, що продемонструвало наявну різницю між розподілами, що досягає 30%. Розподіли значень матриці, розбиті на 10 діапазонів, зображено на рис. 2.

У квантовому просторі можна візуально побачити суттєву різницю між аналізованими розподілами в межах діапазону 100...300 і приблизно однакові значення для класів у решті діапазонів, що дає можливість зосередитися на аналізі саме цього проміжку.

Подальше розширення меж квантування до 5 діапазонів продемонструвало збереження відмінностей, але вони дещо зменшились.

Класифікацію за даними матриць відстаней можна здійснити як окремо за дескрипторами, так і шляхом обчислення відстані між розподілами об'єкту та еталонів.



Рисунок 1 – Приклад зображення і координати сформованих КТ

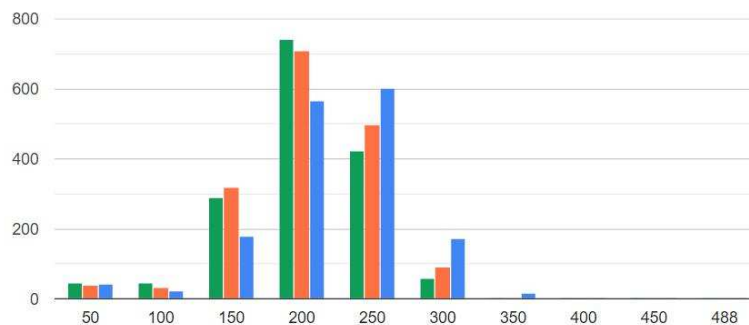


Рисунок 2 – Розподіли значень матриць відстаней у діапазонах

Проведені експерименти на навчальній множині описів еталонів показали, що усі дескриптори і зображення в цілому класифіковані вірно.

За проведеним дослідженням можна вважати, що для розпізнавання зображень матриця відстаней може бути успішно використана задля формування ефективної системи класифікаційних ознак.

Список використаних джерел:

1. Гороховатський, В.О., Гадецька, С.В., Стяглик, Н.І., Власенко, Н.В. (2020). Класифікація зображень на підставі ансамблю статистичних розподілів за класами еталонів для компонентів структурного опису. Радіоелектроніка, інформатика, управління, №4, (с. 85-94).
2. Daradkeh, Y.I., Gorokhovatskyi, V., Tvoroshenko, I., Zeghid, M. (2022). Tools for Fast Metric Data Search in Structural Methods for Image Classification, IEEE Access, 10, pp. 124738-124746.
3. Путятін, Є.П., Гороховатський, В.О., Матат, О.О. (2006). Методи та алгоритми комп'ютерного зору: навч. пос., Харків, «Компанія СМІТ».
4. Gorokhovatskyi, V., Gadetska, S., Ponomarenko, R. (2020) Recognition of Visual Objects Based on Statistical Distributions for Blocks of Structural Description of Image. Proc. of the XV Int. Scientific Conference «Intellectual Systems of Decision Making and Problems of Computational Intelligence» (ISDMCI'2019), Ukraine, (pp. 501-512). May 21-25, 2019.

КЛАСИФІКАЦІЯ ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ЧАСТКОВИМ ПОДАННЯМ

Рибалка М. О.

Науковий керівник – д.т.н., проф. Гороховатський В.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,

м. Харків, Україна

+38 (057) 702-14-19, email mykhailo.rybalka@nure.ua

A method of image classification based on a set of key point descriptors is discussed. Modeling was carried out for the situation of analysis of an incomplete description. A comparison of data search results with hashing and without hashing was made.

Важливою задачею систем комп'ютерного зору є класифікація об'єктів за частковим поданням, коли аналіз здійснюється лише за частиною зображення. Такі задачі можна вирішити за описом образу у вигляді множини дескрипторів ключових точок [1-3]. Одним із популярних методів є голосування, що полягає у підрахунку кількості дескрипторів вхідного зображення, віднесених до кожного класу [2].

Для пошуку дескрипторів ключових точок використовуємо метод ORB. Класифікація K складається з етапів K_1 і K_2 . На етапі K_1 класифікація дескрипторів здійснюється методом лінійного пошуку

$$d_w = \arg \min_{i, v} \rho(z_w, e_v(i)), \quad (1)$$

де d_w – номер еталону E_i до якого буде віднесено дескриптор z_w об'єкту $d_w \in \{1, \dots, N\}$; $\rho(z_w, e_v(i))$ – метрика у векторному просторі.

Впровадження хешування дає можливість у сотні разів пришвидшити реалізацію моделі (1) [1-3]. Розподіляємо дескриптори еталонних зображень за хеш-функцією $u_w = u(z_w)$. Для дескриптора z_w вхідного зображення обчислюємо величину хеш-ключа, $u_w \in U_0$ як значення хеш-функції для аргументу z_w , u_w – кількість одиничних біт у бінарному дескрипторі. У процесі класифікації переходимо до хеш-кошика зі значенням u_w і використовуємо лінійний пошук за формулою (1).

В рамках даної роботи проведено експерименти з програмного моделювання методу класифікації за урізаними даними про половини зображення (верхня, нижня, права, ліва). Аналізований метод дає можливість за неповним числом дескрипторів доволі точно визначити клас зображення завдяки приблизно рівномірному розподілу ключових точок у полі зору.

Для оцінки створеної моделі класифікації за частинами зображень нами проведено експерименти для кожного із трьох класів (рис.1). У ході експериментів здійснено класифікацію частини зображення із використанням хешування і без нього. Відповіді класифікатора у кожному випадку було збережено і використано при підрахунку критеріїв якості Precision та

Recall стосовно множини дескрипторів [1, 4]. Середні значення критеріїв для трьох класів навчальної вибірки без хешування дорівнюють 1, а з хешуванням 0,93 (Precision) і 0,92 (Recall).

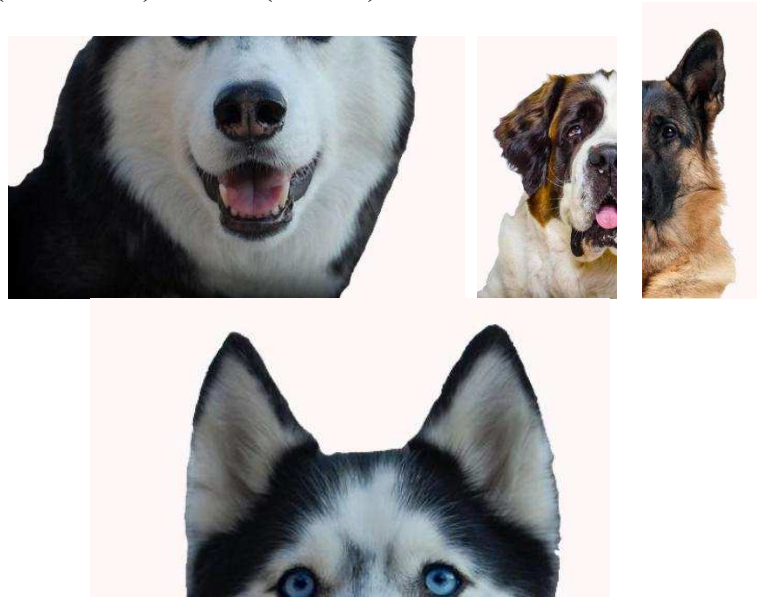


Рисунок 1 – Приклади вхідних зображень

Таким чином, проведені імітаційні експерименти з класифікації зображень за їх частинами підтвердили високу ефективність запропонованого підходу за описом дескрипторів, включаючи застосування апарату хешування для пришвидшення роботи класифікатора.

Список використаних джерел:

1. Гороховатський, В.О., Власенко, Н.В., Рибалка, М.О. (2021). Застосування засобів хешування даних для прискорення класифікаційних рішень у структурних методах розпізнавання зображень. Сучасні інформаційні системи. Т. 5, №2, с. 13-20.
2. Daradkeh, Y.I., Gorokhovatskyi, V., Tvoroshenko, I., Zeghid, M. (2022). Tools for Fast Metric Data Search in Structural Methods for Image Classification, IEEE Access, (10), pp. 124738-124746.
3. Гороховатський, В.О., Гадецька, С.В., Стяглик, Н.І., Власенко, Н.В. (2020) Класифікація зображень на підставі ансамблю статистичних розподілів за класами еталонів для компонентів структурного опису. Радіoeлектроніка, інформатика, управління, (№4).
4. Gorokhovatskyi, V., Gadetska, S., Ponomarenko, R. (2020) Recognition of Visual Objects Based on Statistical Distributions for Blocks of Structural Description of Image. Proc. of the XV Int. Scientific Conference Intellectual Systems of Decision Making and Problems of Computational Intelligence (ISDMCI'2019), Ukraine, (pp. 501-512). May 21-25, 2019.

УДК 004.932.2:656

АЛГОРИТМ YOLO ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ВІЙСЬКОВОГО ТА ЦИВІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ У НЕПРЕРИВНОМУ ПОТОЦІ ДАНИХ

Скударнов М.Д.

Науковий керівник – д.т.н., проф. Машталір С.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,
м. Харків, Україна

тел. +38(050) 570-78-79, email: mykhailo.skudarnov@nure.ua

This work is devoted to the recognition of military and civilian vehicles. Namely, a lot of attention is paid to reducing the false recognition of a civilian car as a military one. To reduce the danger to uninvolved people. Was considered neural networks algorithms to provide real-time object detection. The choice fell on the YOLO algorithm with a fast performance.

В даній темі підіймається декілька проблем, а саме: розпізнавання змінної кількості об'єктів різних класів; різний масштаб транспорту (авто може займати як більшу частину екрану так і не значну кількість пікселів); пошук області на зображенні, яку займає об'єкт; швидкість розпізнавання.

Алгоритм YOLO зможе вирішити усі вище вказані задачі та показати значно кращі результати в порівнянні з іншими алгоритмами, такими як Fast R-CNN, Single Shot MultiBox Detector (SSD), Retina-Net.

В основі YOLO лежить регресія, а не пошук областей інтересу на зображенні. На виході ми маємо отримати рамку з об'єктом на зображенні, тобто результат передбачення представлено векторами зі значеннями: центр рамки (координати x та y), ширина та висота рамки, значення класу та ймовірність належності об'єкта цьому класу.

Першим кроком алгоритмом буде розбиття зображення на сітку (наприклад 19×19), потім по цій сітці йде передбачення полів (рис. 1) та передбачення ймовірності для кожної комірки (рис. 2): вважається, що об'єкт знаходиться у певному осередку тільки в тому випадку, якщо координати центру поля прив'язки лежать у цьому осередку. Завдяки цій властивості координати центру завжди розраховуються щодо комірки, тоді як висота та ширина розраховуються щодо всього розміру зображення.

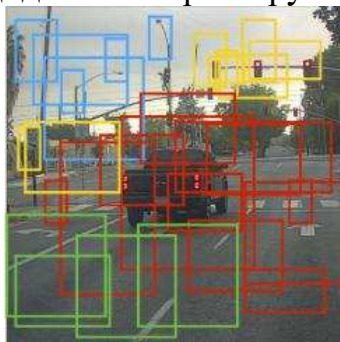


Рисунок 1 – Знайдені поля на яких ймовірно присутні об'єкти

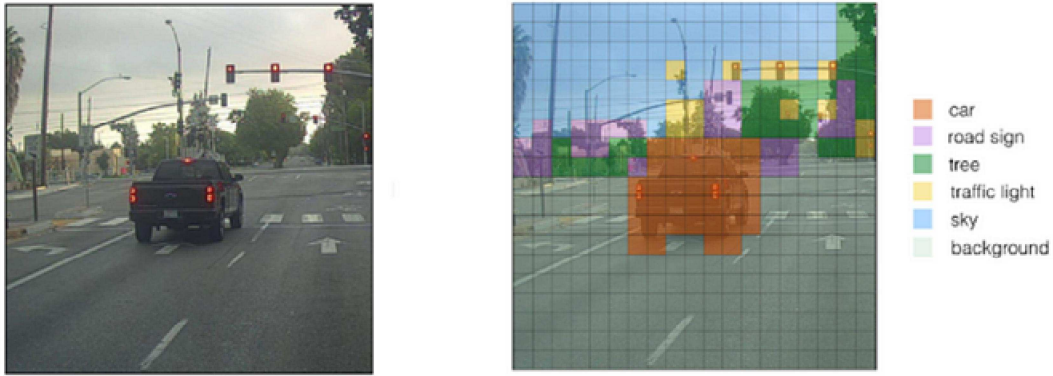


Рисунок 2 – Розбите зображення на сітку 19×19 з передбаченням який об'єкт знаходиться у кожній комірці

Після першого передбачення отримуємо дуже багато полів. Для вирішення цієї проблеми алгоритм використовує немаксимальне подавлення, яке попередньо формує метрику перетин над об'єднанням (IoU) полів з тим яке має найбільшу ймовірність належності класу. Поля які мають значення IoU вище деякого порога будуть викинуті. Потім береться наступне поле з найвищою ймовірністю. Процес повторюється доки не зашиться лише одне поле для кожного класу. На рисунку 3 наведено приклад останньої ітерації з класом автомобіль.

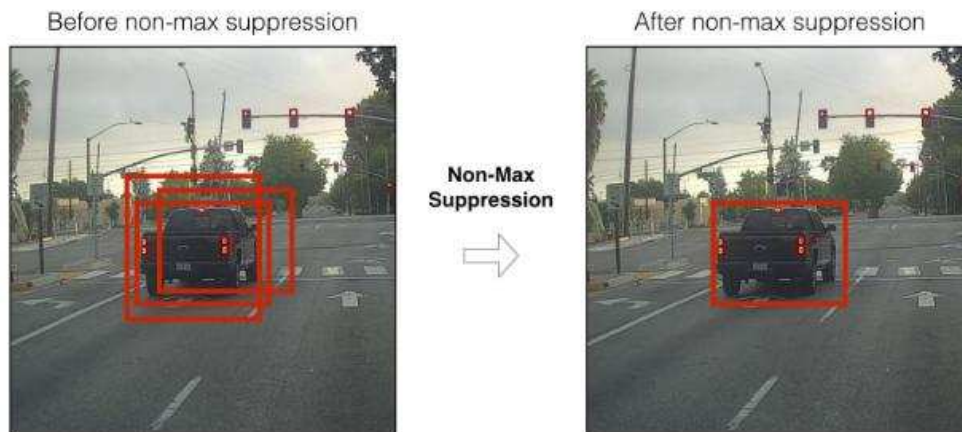


Рисунок 3 – Остання ітерація немаксимального подавлення

Список використаних джерел:

1. Jiang, P., Ergu, D., Liu, F., Cai, Y., & Ma, B. (2022). A Review of Yolo algorithm developments. *Procedia Computer Science*, 199, 1066-1073.
2. Wang, C. Y., Bochkovskiy, A., & Liao, H. Y. M. (2022). YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors. arXiv preprint arXiv:2207.02696.

INNOVATIVE TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR SMART PARKING SYSTEMS

Chupryna S.O.

Supervisor - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Golian N.V.

Kharkiv National University of Radio Electronics

Kharkiv, Ukraine

tel. +38(066) 373-94-59, email: serhii.chupryna.cpe@nure.ua

This paper investigates intelligent parking systems and the detection methods on which they are based. These systems are an integral part of the modern smart city and can make a significant contribution to normalizing traffic in a large city, improving the quality and efficiency of parking services. On the end-user side, software applications for quick parking searches can reduce stress and help organize travel routes more efficiently. The growing demand for parking services therefore makes it a pressing issue to modernize existing and create new detection methods in intelligent parking systems.

The level of motorization in developed European countries is between 500 and 600 cars per 1000 inhabitants [1]. Almost one in four Ukrainians owns a car. Given the population density in modern cities, the problem of organizing parking for this mass of cars is quite acute. Intelligent parking systems are one of the solutions.

Many such systems are currently in operation around the world. They all have one goal – to organize and manage the parking process. However, intelligent parking systems differ significantly in the way they detect cars.

Counter-based detection is the simplest method, but it does not meet the modern needs of businesses and end users. It is only able to display the number of spaces that are available.

Sensor-based detection is the most widely used method today. Unlike its predecessor, it can not only inform drivers of the number of available seats, but also guide them to them. Integrated systems control lighting and heating, payment for services and security in the car park. If desired, it can be integrated into the systems of a modern smart city.

The most promising method is computer vision detection. In a modern city, video surveillance cameras cover a large area of streets and car parks and are actively used for security purposes.

So, at this stage, computer vision is only an auxiliary tool for complex intelligent parking systems. Its main role is to automate payment and inspection. Based on the existing research and development in this area, and taking into account that video surveillance infrastructure is available in most congested areas, we can conclude that the computer vision-based detection method will become a new technological link.

The three main tasks in machine vision are classification, object detection and image segmentation [2]. When it comes to detecting a car in a parking space, object detection is the most appropriate approach. The popularization of various methods based on artificial intelligence and machine learning has led to the emergence of many methods for working with video and images. Processing a large amount of data requires significant resources, so it is necessary to re-search and compare the available detection methods in order to select the most effective one. Conceptually, detection methods can be divided into one-stage (YOLO, SSD) and two-stage (RCNN, Faster RCNN) detectors [3]. The vast majority of them use a convolutional neural network.

Two-stage algorithms, as the name suggests, use two steps: "selective search" to identify the area of interest, and a neural network to generate the output features. They are more accurate. One-step algorithms skip the first step and directly classify and regress potential reference blocks. They are more efficient. At this stage of technology development, the resource intensity of the algorithms is of secondary importance and their accuracy is a higher priority. The parameter that determines the average accuracy is the Mean Average Precision (mAP). Algorithms are trained and tested using appropriate datasets. The most common are Microsoft Common Objects in Context (MS COCO) and PASCAL Visual Object Classes (VOC).

When testing the object detection algorithms, training was performed using COCO trainval35k data, with fine-tuning using the combined VOC2007 trainval and VOC2012 trainval data. The actual test data was PASCAL VOC2012 [4]. According to the results of the research, the SSD512 algorithm proved to be the most accurate for the detection task, with a mAP of 85.5 for cars.

Therefore, machine learning algorithms cannot provide 100% efficiency at this stage. However, specialized detection algorithms for intelligent parking systems will emerge in the future due to the specificity of the problem and market requirements.

References:

1. Department of Economic and Social Affairs. Population Division. World Urbanization Prospects. The 2018 Revision (2019).
2. Qualcomm Developer Network. Classification, Object Detection and Image Segmentation. (w. d.). URL: <https://developer.qualcomm.com/software/qualcomm-neural-processing-sdk/learning-resources/image-segmentation-deeplab-neural-processing-sdk/classification-object-detection-segmentation>.
3. Rizzoli, A. (2023, 3 February). The Ultimate Guide to Object Detection. <https://www.v7labs.com/blog/object-detection-guide>.
4. Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C-Y., Berg, A., C. (2016). SSD: Single Shot MultiBox Detector. URL: <https://arxiv.org/pdf/1512.02325v5.pdf>.

УДК 004.422.6:004.62

ПРОГРАМНИЙ ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ГЕНЕРАЦІЇ ДАТАСЕТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕСТОВИХ ДАНИХ

Шемаєв Д.І.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Любченко В.А.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,
м. Харків, Україна

тел. +38(066) 257-50-66, email: denys.shemaiev@nure.ua

The purpose of my work is to create a system that can generate datasets. Such datasets should be created from test data and include the following criteria: contain a sufficient amount of data for further processing, be reliable for further processing in other systems, generated with noise, include a specific structure for more effective learning. Some generated images should be shown to the user as the example of final result. Such data should be saved in separate files or transferred to other users. The user must have ways to customize the generated images. I will use GAN (Generative Adversarial Networks) neural networks to generate images.

В сучасному світі дедалі частіше зустрічаються нейронні мережі та також їх використовують все частіше в повсякденному житті. Тому для навчання треба використовувати дані, яких завжди не вистачає для збільшення точності навчених нейронних мереж.

Для створення таких зображень в роботі використовується GAN нейромережа яка генерує такі дані.

GAN – це тип нейронної мережі, яка може генерувати нові дані з нуля. З введенням випадкового шуму він може генерувати реалістичні зображення спалень, птахів тощо, як система була запрограмована.

GAN можна використовувати для створення нових даних у ситуаціях, коли дані обмежені, і це може виявитися дійсно корисним. Інколи створення даних може бути складним, дорогим і трудомістким. Але щоб нові дані були корисними. Зображення отримані на основі згенерованих даних, мають бути достатньо реалістичними, щоб їх можна було застосувати до реальних даних. Наприклад, якщо ви використовуєте підроблену мишу, щоб змусити кота полювати на мишей, вам потрібно переконатися, що підроблена миша дійсно виглядає як миша.

Іншими словами, GAN дозволяють нам створювати реалістичні дані, відкриваючи структуру даних. Це корисно, коли ми самі не можемо побачити цю структуру або не можемо витягнути її за допомогою інших методів. Таким чином, генератор створює зображення. Наприклад, зображення, схоже на обличчя, і дискримінатор намагається вирішити, обличчя це чи ні.

І з часом мережа навчається настільки, що генератор створює цілком реалістичні обличчя. Важливо, щоб обидві мережі навчалися з однаковою

швидкістю і збігалися під час навчання. Часто трапляється так, що мережа дискримінаторів починає розпізнавати помилкові зображення занадто швидко, а мережа генераторів зупиняється.

При навчанні дискримінаторів слід ігнорувати втрати генераторів і використовувати лише функцію втрат дискримінаторів. Ця функція втрат карає дискримінатор за помилкову класифікацію згенерованого зображення як істинного і за помилкову класифікацію істинного як хибного. Ваги дискримінатора оновлюються шляхом зворотного розповсюдження. Ваги генераторів не оновлюються.

При навчанні генераторів використовується функція втрат генератора. Це карає дискримінатор, якщо генератор не може успішно обдурити дискримінатор, тобто якщо він створює зображення, яке дискримінатор сприймає як фальшиве. Під час навчання генератора дискримінатор заморожується, і лише ваги генератора оновлюються шляхом зворотного розповсюдження.

Все це використовувалося для створення зображень які надалі можемо використати у різних сферах.

Мабуть, найпривабливішим застосуванням GAN є умовні GAN для задач, де потрібно створювати нові приклади. Є три основні приклади:

1. Надвисока роздільна здатність зображень. Можливість генерувати версії вхідних зображень з високою роздільною здатністю.

2. Художнє створення. Можливість створювати нові красиві художні зображення, ескізи, картини тощо.

3. Переклад між зображеннями. Можливість перекладати зображення з різних областей, наприклад, день і ніч, літо і зима.

Мабуть, найвагомішою причиною широкого дослідження, розробки та використання GAN є їхній успіх: вони можуть створювати настільки реалістичні фотографії, що неможливо сказати, що на них зображені об'єкти, пейзажі або люди, яких не існує в реальності.

Підсумовуючи все можемо сказати що GAN дуже корисний інструмент для створення зображень з шуму та тестових даних. Створюється багато даних які важко навіть людині відрізнити від справжніх фотографій, а саме це і потрібно іншим розробникам для тестування та навчання нейромереж які можна буде використовувати в різних сферах що буде можливо за допомогою створеного застосунку.

Список використаних джерел:

1. Create Data From Random Noise With Generative Adversarial Networks. URL: <https://www.toptal.com/machine-learning/generative-adversarial-networks>.

2. Що таке GAN - генеративно-змагальні нейронні мережі і як їх застосовувати для генерації зображень URL: <https://evergreens.com.ua/ua/articles/gan.html>.

**СТВОРЕННЯ ОФЛАЙН-ДОДАТКУ ДЛЯ ШВИДКОЇ
ТРАНСКРИПЦІЇ ДРУКОВАНОГО ТЕКСТУ
ТА ФОРМУЛЬНИХ ВИРАЗІВ**

Горгуль Д. О.

Науковий керівник – ст. викладач Гриньова О. Є.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІІІ,
м. Харків, Україна

тел. +38(050) 804-26-55, email: daniel.horhul@nure.ua

This paper proposes a solution that involves the use of optical character recognition (OCR) technology to convert printed text and certain kinds of formulas into digital text [1], which can then be edited and saved by the user. The application would be designed to work offline, without the need for an internet connection, and would prioritize speed and accuracy in the transcription process.

The proposed program would use a combination of machine learning algorithms, document writing rules, and natural language processing techniques to improve its accuracy and efficiency. Limiting the program to recognizing only printed text will increase the accuracy of printed text recognition.

В сучасному світі, де кількість друкованої інформації зростає з кожним днем, виникає потреба у швидкій транскрипції цієї інформації в електронний вигляд. Інформаційні технології розвиваються настільки швидко, що на сьогоднішній день можливо створити ефективний інструмент для автоматичної транскрипції друкованого тексту. Однак велика кількість існуючих додатків залежить від доступу до Інтернету, що ускладнює роботу з ними в офлайн-режимі, а також вимагають додаткової інформації про користувача та мають інші обмеження на їх використання.

Вирішення задачі з транскрипції в цілому поділяється на декілька етапів:

1. Класифікація символів.
2. Ідентифікація символьних регіонів.
3. Розширення символьних регіонів.
4. Послідовний збір текстових рядів.

Додаток пропонується використати як частину основного інструментарію операційних систем, на рівні з таким додатком як Microsoft Snipping Tool.

Розглянемо основні переваги запропонованого додатку:

– Програма працює без доступу до Інтернету, тому користувач може використовувати його навіть в умовах, коли немає Інтернету або при його низькій кості.

– Програма забезпечує швидку транскрипцію друкованого тексту за допомогою технології OCR, яка працює локально. Нема необхідності робити API виклики, надсилаючи дані та чекаючи, поки модель надає резуль-

тат для відповіді. Це може бути критичною точкою для програм, які працюють у реальному часі.

- Для використання додатку потрібно лише настроїти комбінацію клавіш та виділити потрібну область для транскрипції.

- Технологія OCR дозволяє отримувати високу точність транскрипції друкованого тексту, що дозволяє значно зменшити кількість помилок.

Ця система також має декілька недоліків:

- Для підвищення точності та швидкості програми довелося урізати його функціонал до розпізнавання виключно друкованого тексту.

- При введенні правок до додатку потрібно проводити оновлення всіх екземплярів програми.

- Перші версії програми натреновані на невеликій збірці мов.

- Оскільки додаток працює не на дистанційному сервері, то він буде займати більше місця в порівнянні з онлайн рішеннями.

- Швидкість роботи додатку залежить від пристрою.

Останні два недоліки можна поліпшити за допомогою розвинутих алгоритмів оптимізації, та з використанням більш до апаратного рівня набору інструментів розробки.

Також треба розглянути конкурентні рішення:

- Mathpix Snipping Tool – найбільш схожий до нашого рішення інструмент. Він потребує реєстрації користувача, та дає всього десять спроб на добу. Перевагами додатку є те, ще він може читати друкований та рукописний текст, а також розрізняє різноманітні формульні вирази та, за потреби, пропонує їх рішення.

- ABBYY FineReader – дозволяє робити розпізнавання друкованого тексту з високою точністю, але може працювати лише на деяких форматах документів (частіше всього PDF).

- Google Cloud Vision API – є онлайн рішенням для транскрипції друкованого та рукописного тексту. Цей сервіс підтримує велику кількість мов, та гарантує точність транскрипції. Недоліком цього рішення є велика ціна використання, та питання конфіденційності інформації, що зберігається на серверах Google.

Список використаних джерел:

1. A Simple Equation Region Detector for Printed Document Images in Tesseract. Zongyi Liu, Ray Smith. 12th International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), 2013.

УДК 004.93:004.032.6

АНАЛІЗ ТА ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ НА ОСНОВІ 3D ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ПОДІЙ У ВІДЕОПОТОКАХ

Ковтуненко А.Р.

Науковий керівник – д.т.н., проф. Машталір В.П.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,
Харків, Україна

тел. (057) 702-14-19, email: andrii.kovtunenکو@nure.ua

The work is devoted to the analysis and comparison of methods for video action recognition using 3D convolutional networks but with different approaches to processing spatio-temporal relations

Глибокі нейронні мережі широко використовуються для вирішення задач комп'ютерного зору і за допомогою них за останні роки були досягнуті суттєві успіхи у задачах класифікації, детектування та сегментації.

З розвитком методів розвивалася й інфраструктура для виконання обчислень та збільшувалася кількість пристроїв, з яких можливо зчитувати дані та обробляти їх у реальному часі. Аналіз відео, у порівнянні з аналізом зображень, повинен додатково враховувати і часову складову, бо дія – це не дискретний процес.

Спочатку, намагалися використовувати існуючі моделі, які на той час були SOTA у задачах обробки статичних зображень але з додаванням окремого модулю (Optical Flow), який обчислює вектори руху кожного пікселя зображення, вказуючи напрямок і величину руху від одного кадру до іншого.

Потім було запропоновано використовувати LSTM мережі для вирішення цієї задачі. Проте, попередні підходи потребували навчання нових моделей і був запропонований підхід 3D CNN. Цей підхід полягав у тому, що у існуючих SOTA CNN методів до ядер згортки додавали ще один вимір шляхом дублювання значень ваг. Це дало змогу аналізувати просторово-часові зв'язки відеокадрів з перенесенням знань з попередньо навчених мереж.

При використанні 3D згорткових мереж формується батч кадрів і вони подаються на вхід. Існують різні методи створення батчів, наприклад, передача неперекриваючих частин відео і метод ковзаючого вікна.

У першому накопичуються буфер кадрів і подається на вхід до мережі, результат розпізнавання дій буде базуватися саме на цьому проміжку відео.

У другому підході, також накопичується буфер із кадрів, на якому виконується розпізнавання, проте при надходженні нового кадру, він додається у кінець буферу, а перший кадр з буферу видаляється – FIFO.

Такі підходи можуть застосовуватися до offline обробки даних але не підходять для online, коли модель повинна працювати у реальному часі. Був запропонований метод continual convolution [1]. У ньому автори залишають архітектури мереж незмінними, лише змінюють операцію згортки, яка враховує дані попереднього кадру при обробці наступного.

У такого підходу також є недоліки. Для отримання результату мережа повинна послідовно передавати дані у наступні свої шари для отримання остаточного результату. Автори назвали це затримкою (delay).

Однією із архітектур 3D CNN є S3D [2]. Вона була адаптована для continual convolution підходу і протестована на підмножині із 100 відео із Kinetics-400 [3] test датасету. Звичайна архітектура отримала результат top 1 accuracy 49.2%; S3D-Continual з очищенням пам'яті пережі при зміні відео – 48.48%; S3D-Continual без очищення пам'яті – 38.84%. Час обробки батчу із 64 кадрів для S3D на процесорі Intel i5-6200U склав приблизно 4.6 секунди. Обробка одного кадру для S3D-Continual склала 300 мс.

Отже, були порівняні два підходи за якістю і швидкодією на підмножині датасету Kinetics-400. Continual підхід набагато швидший, у порівнянні з підходом ковзаючого вікна на батчі кадрів. Проте, continual підхід через акумуляцію попередньої інформації страждає від лагу у часі при розпізнаванні події.

При зміні контексту інформації, що надходить до мережі, мережа ще деякий час пам'ятає попередній контекст, коли він вже не актуальний. Доцільно додатково дослідити цей недолік і зменшити його у майбутньому.

Список використаних джерел:

1. Hedegaard, L., & Iosifidis, A. (2022, October). Continual 3d convolutional neural networks for real-time processing of videos. In Computer Vision–ECCV 2022: 17th European Conference, Tel Aviv, Israel, October 23–27, 2022, Proceedings, Part IV (pp. 369-385). Cham: Springer Nature Switzerland.
2. Xie, S., Sun, C., Huang, J., Tu, Z., & Murphy, K. (2018). Rethinking spatiotemporal feature learning: Speed-accuracy trade-offs in video classification. In Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV) (pp. 305-321).
3. Kay, W., Carreira, J., Simonyan, K., Zhang, B., Hillier, C., Vijayanarasimhan, S., ... & Zisserman, A. (2017). The kinetics human action video dataset. arXiv preprint arXiv:1705.06950.

МОДЕЛЮВАННЯ КЛАСИФІКАТОРА ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ КРИТЕРІЮ УНІКАЛЬНОСТІ ОЗНАК

Шевляков А.С.

Науковий керівник – д.т.н., проф. Гороховатський В.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,
Харків, Україна

тел. (057) 702-14-19, email: artem.shevliakov@nure.ua

Methods of image recognition with the introduction of a reduced feature system are studied. The criterion for reduction is the uniqueness of the feature within the benchmark base. The results of the experiments are given.

Перспективні методи структурного розпізнавання зображень передбачають використання гранулювання та селекції даних, що сприяє створенню результативного інструментарію для розпізнавання об'єктів [1-5]. Застосування процедур відбору даних сприяє підвищенню швидкодії оброблення при збереженні достойного рівня ефективності.

Стиснення обсягу ознак ефективно трансформує простір шляхом формування підмножин найбільш інформативних ознак для зниження обчислювальних витрат. Для оцінювання еквівалентності елементів опису використовують евклідову чи хемінгову метрики [2, 4]. Застосування відношення близькості вдосконалюють процес розпізнавання шляхом урахування індивідуальних властивостей ознак [1, 5].

Дескриптори видаляються з аналізу, якщо для них значення критерію менше встановленого порогу. Критерієм є число повторень для елементів опису та індекси унікальності всередині еталону та в межах бази.

Фільтрування відбувається шляхом побудови предикату "важливості" елемента, на основі якого виділяються групи рідко або часто повторюваних дескрипторів. Запропоновано два способи редукції ознак: обробка еталонів незалежно та формування кортежів унікальних ознак для описів інших еталонів.

Для вирішення практичної задачі редукції використано метод BRISK, вибрано по 500 дескрипторів з еталонних наборів зображень, визначено для них індекси унікальності α_{ij}, β_{ij} для кожного із еталонів:

$$\alpha_{ij} = c_{ij} / s_i, \beta_{ij} = c_{ij}^s / (s - s_i), \alpha_{ij} \in [0, 1], \beta_{ij} \in [0, 1], \quad (1)$$

де c_{ij} – число подібних елементів в i -му еталоні, s_i – число ознак i -го еталону, c_{ij}^s – значення c_{ij} в базі еталонів, крім еталону з номером i , $s = \sum_i s_i$ – загальна кількість елементів для описів бази.

Після чого відібрано кортежі по 100 дескрипторів для всіх еталонів з мінімальним значенням індексу унікальності. Далі проведена класифікація та порівняно результати класифікації з використанням класичного методу

голосування на вихідній вибірці та на стиснених кортежах даних. Оцінки точності мали майже однакове значення, але виграш в часі становив більше ніж в 3,5 рази.

Для оброблення використано NFT зображення (рис. 1).



Рисунок 1 – Приклад зображення і координати сформованих КТ

Проведені експерименти на навчальній вибірці довели доцільність використання методу оцінювання інформативності даних. Застосування критерію сукупної інформативності дає можливість оцінювати і порівнювати результативність впровадження різних варіантів стисненої системи ознак. Таким чином, метод оцінювання та використання інформативності є важливим і універсальним інструментом у наукових та технічних дослідженнях, який дозволяє підвищити ефективність та швидкодію аналізу даних.

Список використаних джерел:

1. Gorokhovatskyi, V., Vlasenko, N. (2021). Редукція опису зображення у складі множини дескрипторів на основі метричного критерію інформативності. *Advanced Information Systems*, 5(4), pp. 10-16.
2. Daradkeh, Y.I., Gorokhovatskyi, V., Tvoroshenko, I., Zeghid, M. Tools for Fast Metric Data Search in Structural Methods for Image Classification, *IEEE Access*, 2022, 10, pp. 124738-124746.
3. Gorokhovatskyi, V.A., Zamula, A.A. (2016) Employment of Intelligent Technologies in Multiparametric Control Systems. *Telecommunications and Radio Engineering*. Vol. 75, No 19, p. 1775-1785.
4. Гороховатський, В.О., Гадецька, С.В., Стяглик, Н.І., Власенко, Н.В. (2020) Класифікація зображень на підставі ансамблю статистичних розподілів за класами еталонів для компонентів структурного опису. *Радіoeлектроніка, інформатика, управління*, №4, с. 85-94.
5. Gorokhovatskyi, V., Stiahlyk, N., Tsarevska, V. (2021). Combination method of accelerated metric data search in image classification problems. *Advanced Information Systems*, 5 (3), pp. 5-12.

СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ТЕСТІВ API НА ОСНОВІ БІБЛІОТЕК JEST ТА AXIOS

Попов О.С.

Науковий керівник – д.т.н., проф. Гороховатський В.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,
м. Харків, Україна

тел. (057) 702-14-19, email: oleksand.popov3@nure.ua

This work is devoted to creating automated tests by using jest and axios libraries in JavaScript and TypeScript programming languages. Jest is a library called to run Integration and Unit tests during the development of an application. But in combination with the axios library which is supposed to work with http calls it could be a good tool to automate API tests.

Робота присвячена створенню автоматизованих тестів за допомогою бібліотек jest і axios мовами JavaScript і TypeScript. Jest – це бібліотека, призначена для запуску інтеграційних і модульних тестів під час розробки програми. У поєднанні з бібліотекою axios, яка має працювати з http-викликами, це є хорошим інструментом для автоматизації тестів API [1-3].

Нам потрібне середовище розробки на базі node.js і встановлені для нього пакети: @types/jest, axios, jest, ts-jest, ts-node, typescript.

Далі ініціюємо середовище командами у командному рядку:

```
npx tsc -init
```

```
npx jest -itit
```

Тепер створюємо файл з самими тестами:

```
import axios, {AxiosRequestConfig, AxiosResponse} from "axios";
interface GeopositionData {
  name: string;
  lat: number;
  lon: number;
  country: string;
  local_names: Record<string, string>;
}
describe('Get coordinates of Kyiv', () => {
  it('Should return coordinates and country code of Kyiv city', async () => {
    const whetherGet: AxiosRequestConfig = {
      method: 'GET',
      url: 'http://api.openweathermap.org/geo/1.0/direct?q=Kyiv&appid=fc98
d0c8da497ce5677ab7a29c025734'}
    const response: AxiosResponse<GeopositionData[]> = await
    axios(whetherGet);
    expect(response.status).toEqual(200);
    expect(response.statusText).toEqual("OK");
    expect(response.data.length).toBeGreaterThanOrEqual(1);
```

```
expect(response.data[0].lat).toEqual(50.4500336);
expect(response.data[0].lon).toEqual(30.52413612);
expect(response.data[0].country).toEqual("UA");
expect(response.data[0].local_names).not.toBeNull();}}));
```

Спочатку створюємо інтерфейс, за допомогою якого ми можемо обробити отримані у відповіді на запит параметри для їх перевірки. Далі описуємо тіло тесту. Вказуємо адресу, куди будемо робити http-запит зі вказаними параметрами. Після додаємо перевірки результатів, а саме відповідь на запит до API. Ми можемо перевірити статус коду відповіді, чи правильні координати повернулися у відповіді, та інші параметри.

Запускаємо наш тест за допомогою команди `npm test`. Якщо всі параметри задовольняють наші очікування, то отримуємо короткий звіт:

```
PASS specs/test.spec.ts
  Get coordinates of Kyiv
    ✓ Should return coordinates and country code of Kyiv city (267 ms)

Test Suites: 1 passed, 1 total
Tests:       1 passed, 1 total
Snapshots:  0 total
Time:        2.004 s
Ran all test suites.
```

Якщо результат не співпадає з очікуванням, маємо невдалий результат:

```
FAIL specs/test.spec.ts
  Get coordinates of Kyiv
    ✗ Should return coordinates and country code of Kyiv city (183 ms)

  ● Get coordinates of Kyiv > Should return coordinates and country code of Kyiv city

    expect(received).toEqual(expected) // deep equality

    Expected: 30.52413613
    Received: 30.5241361

    21 |         expect(response.data.length).toBeGreaterThanOrEqual(1);
    22 |         expect(response.data[0].lat).toEqual(50.4500336);
    > 23 |         expect(response.data[0].lon).toEqual(30.52413613);
       |                                         ^
    24 |         expect(response.data[0].country).toEqual("UA");
    25 |         expect(response.data[0].local_names).not.toBeNull();
    26 |     })
```

Таким чином за допомогою Jest та axios можна створювати цілі набори автоматизованих тестів для API, що допоможе зекономити зусилля у тестуванні функціональностей у будь-якому застосунку де є API.

Список використаних джерел:

1. URL: <https://jestjs.io/docs/getting-started>
2. URL: <https://axios-http.com/docs/intro>
3. Certified Tester Advanced Level Syllabus, Test Automation Engineer Version (2016).

УДК 004.33

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ОПЕРАТИВНОЇ ПАМ'ЯТІ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМП'ЮТЕРА НА ПРОДУКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ

Орлов Д. І.

Науковий керівник – асистент Желавський Д. Ю.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МІРЕС,
м. Харків, Україна

тел. +38(098) 553-27-91, email: danylo.orlov@nure.ua

This work is devoted to assessing the effectiveness of overclocking the RAM (Random Access Memory) of a personal computer. The main nuances and methods for overclocking RAM are considered. A lot of step-by-step experiments were carried out, in which the performance of RAM was compared with different parameters and modes. It has been established that the overclocking of RAM does not have an unambiguous effect on the stability and performance of the system in various situations, although on average, the trend leads to improvement, and the single-channel mode is inferior to the dual-channel one.

У ХХІ столітті дуже актуальною є мультимедійна галузь, оскільки створюється все більше контенту, наприклад: фільми, ігри, реклама та інше. Для роботи в цій галузі більшою мірою використовуються ПК (персональні комп'ютери), і тут чим потужніше, тим краще.

На потужність ПК, певною мірою, впливає оперативна пам'ять, іншою мовою ОЗП (Оперативний Запам'ятовуючий Пристрій). Вона має ряд параметрів, таких як: обсяг, тактова частота, латентність (таймінги та затримки), напруга та ранговість [1].

Для того, щоб дослідити, як впливає розгін (підвищення продуктивності) на роботу програм та системи (приклад – рисунок 1), у роботі були використані такі методи як: підвищення тактової частоти, напруги та змінювання таймінгів [1].

Також порівняв двоканальний режим із одноканальним (рисунок 2), щоб дослідити, як положення ОЗП у слотах материнської плати впливає на продуктивність [2].

У роботі було використано оперативну пам'ять AMD DDR4-2400 16384MB PC4-19200 (Kit of 2x8192) й застосовано 3 види розгону:

1. Покрокове ручне регулювання частоти, з автоматичним зміненням інших параметрів – система сама підстроює напругу та таймінги, але найчастіше вона це робить із великим запасом.

2. Покрокове ручне регулювання частоти при увімкненому DOCP режимі – використання вбудованих у ОЗП статичних параметрів таймінгів від виробника, що обмежило максимальну тактову частоту, але допомогло з'ясувати продуктивність і доречність цього профілю.

3. Покрокове повне ручне регулювання всіх параметрів – за допомогою програми Ryzen Dram Calculator, отримуються найоптимальніші значення таймінгів для кожного кроку частоти.

Список застосунків, які були використані для тестів: CinebenchR23, Aida64, Ryzen Dram Calculator, WOT EnCore, The Witcher3, GTA5.

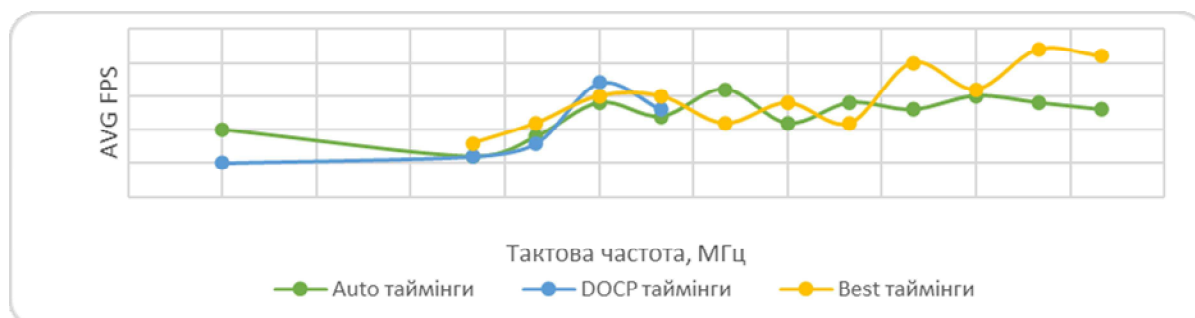


Рисунок 1 – Графік співвідношення fps (кількість кадрів в секунду), у грі GTA5, до тактової частоти ОЗП

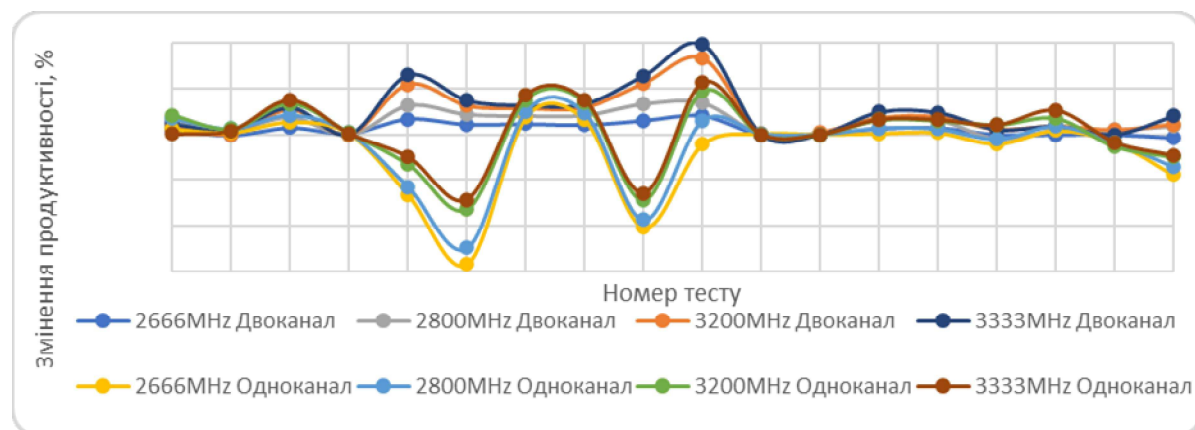


Рисунок 2 – Графік співвідношення продуктивності системи при підвищенні значення тактової частоти, з ручним регулюванням параметрів

Як результат, видно, що більша тактова частота веде до підвищення продуктивності у багатьох застосунках, оптимальні таймінги добре впливають на стабільність системи, а одноканальний режим негативно впливає на: швидкість обробки зображень, час обробки набору даних, швидкість читання.

Список використаних джерел:

1. ItBox. (2022, 17 грудня). Розгін оперативної пам'яті ddr3, ddr4, ddr5. Як це зробити? Плюси та мінуси розгону. URL: <https://www.itbox.ua/ua/blog/Rozgin-operativnoyi-pamyati-DDR3-DDR4-DDR5-Yak-ce-zrobiti-Plyusi-ta-minusi-rozgonu/>.

2. MOYO. (2021, 26 лютого). Що таке двоканальний режим (Dual mode) оперативної пам'яті: гайд в 3 розділах. URL: <https://www.moyo.ua/ua/news/chto-takoe-dvukhkanalnyy-rezhim-dual-mode-operativnoy-pamyati-gayd-v-3-razdelakh.html>.

ЛІЧИЛЬНИК МАШИН В СИСТЕМІ РОЗПІЗНАВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ НОМЕРІВ ЗА ДОПОМОГОЮ YOLO

Пронюк О.Д.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Творошенко І.С.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,
м. Харків, Україна

тел. +38 (067) 934-08-19, e-mail: olena.proniuk@nure.ua

This paper considers the design of a car counter in recognition systems. It is proposed to implement the counter using the Yolo detector. The main components of the car counter are described. The advantages of using Yolo for the given purposes are analyzed.

У сучасному світі автомобільний транспорт є невід'ємною частиною нашого життя, щоденно мільйони людей використовують автомобіль як засіб постійного переміщення. Автоматизація розпізнавання автомобільних номерів може значно полегшити роботу правоохоронних органів та допомогти владі з контролювання дорожнього руху.

Одним з ключових елементів системи розпізнавання є лічильник машин, який дозволяє рахувати кількість автомобілів, які проїжджають певний відрізок дороги. Існують різні підходи до проектування такого лічильника. У роботі пропонується для цього використовувати архітектуру YOLO (You Only Look Once). YOLO – це нейронна мережа, яка за один прохід прогнозує для зображення положення обмежуючих прямокутників і ймовірності класифікації. Моделі YOLO здатні обробляти більше 60 кадрів на секунду, а, отже, цей детектор відмінно підходить для розпізнавання об'єктів на відео у режимі реального часу з високою точністю. Даний алгоритм дозволяє визначати розмір та координати автомобілю на відео, що допомагає підрахувати їх кількість у зоні розпізнавання.

Щоб розробити ефективний лічильник машин, необхідно врахувати деякі особливості роботи системи. По-перше, важливо правильно визначати, коли автомобіль проїхав певний відрізок дороги. Для цього можна використовувати різні методи, такі як аналіз зміни розміру об'єкта на відео, або визначення часу, який автомобіль проводить на відео в зоні розпізнавання.

Крім того, важливо враховувати, що один і той же автомобіль може проїжджати по відрітку дороги декілька разів. Це може статися, наприклад, якщо автомобіль повернув на зворотній шлях. Для того, щоб уникнути подвійного рахунку, лічильник має зберігати інформацію про кожен автомобіль, який проїхав через зону розпізнавання, і перевіряти, чи був він врахований раніше [1, 2].

Елемент лічильника машини в системі розпізнавання автомобільних номерів складається з декількох частин.

Першою є детектор автомобілів, який використовує YOLO для виявлення автомобілів на відео. Другою частиною є модуль відстеження, який використовується для розпізнавання автомобілів та визначення їх швидкості. Третьою частиною є саме лічильник, який рахує кількість автомобілів, які проїжджають певний відрізок дороги (рис. 1).

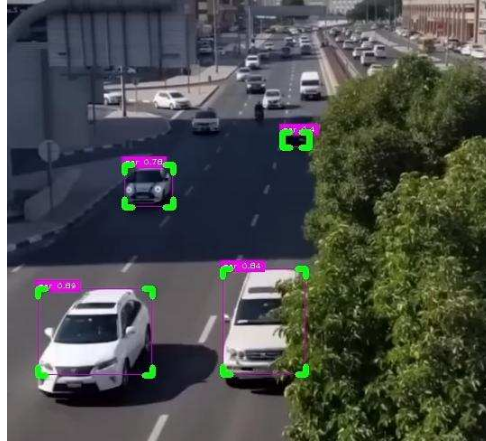


Рисунок 1 – Робота лічильника машин за допомогою YOLO

Однією з особливостей YOLO є використання мережі глибокого навчання для визначення критеріїв детектування об'єктів. Мережа навчається на великій кількості зображень автомобілів, що дозволяє отримати високу точність визначення об'єктів на відео [2].

Застосування YOLO для лічильника машин дозволяє знизити кількість помилкових детектувань та збільшити швидкість обробки відео, а також зменшити витрати на обладнання. Крім того, використання YOLO спрощує розробку лічильника машин, оскільки алгоритм дозволяє автоматично визначати параметри детектування автомобілів на відео, які можуть зацікавити користувача.

Розробка ефективного лічильника машин у системі розпізнавання автомобільних номерів є важливим завданням для покращення безпеки на дорогах та оптимізації руху транспорту. Застосування YOLO для визначення об'єктів на відео дозволяє отримати точний та швидкий підрахунок автомобілів, що покращує ефективність системи розпізнавання номерних знаків. У подальшому, можна розглядати можливість оптимізації параметрів лічильника машин та використання інших алгоритмів детектування об'єктів для покращення роботи системи.

Список використаних джерел:

1. Mao, Q.C., Sun, H.M., Zuo, L.Q. and Jia, R.S. (2020). «Finding every car: a traffic surveillance multi-scale vehicle object detection method». *Applied Intelligence*, p. 12.
2. Swiderska-Chadaj, Z. *et al.* (2018). Convolutional neural networks for lymphocyte detection in immunohistochemically stained whole-slide images.

УДК 004.932.2:004.7

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ КОНСТРУКТОРІВ БОТІВ ДЛЯ МЕСЕНДЖЕРІВ

Єсін К.В.

Науковий керівник – д. фіз.-мат. н., проф. Руткас А.Г.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПІ,
м. Харків, Україна

тел. +38(098) 440-80-04, email: kyrylo.yesin@nure.ua

This work is devoted to exploring the role of chatbots and bot builders for messengers in the modern world. A chatbot is a special application that allows interaction with third-party services through a chat interface. Messenger bot builders allow creating and configuring chatbots without programming. This tool enables creating bots with various functions, including answering questions, conducting surveys, processing orders, and more. By 2023, over 70% of businesses had already used chatbots or planned to implement them in the coming months. ManyChat and Chatfuel are leaders in the bot builder market, occupying over 60% of the market share, but there are also several other popular bot builders, such as Tars, Landbot, Botsify, and many others.

У сучасних умовах інтернет є універсальним середовищем для спілкування, роботи та навчання. Існує безліч засобів спілкування, пов'язаних з технічними можливостями глобальної комп'ютерної мережі. Інтернет також є основною формою віртуального спілкування, яке включає в себе зв'язок з друзями, родичами, партнерами і новими знайомствами. З технологічним розвитком з'являються нові ідеї, які впливають на ІТ-галузь, і чат-боти стають лідерами серед інших додатків.

Чат-бот – це спеціалізований додаток, який дозволяє взаємодіяти зі сторонніми сервісами через інтерфейс чату. Останнім часом дедалі більше компаній та підприємств використовують чат-ботів для покращення комунікації з клієнтами та автоматизації бізнес-процесів. Це призвело до зростання популярності конструкторів ботів для месенджерів.

Конструктори ботів для месенджерів - це інструменти, які дозволяють створювати та налаштовувати чат-ботів без необхідності програмування. Вони надають можливість створювати ботів з різними функціями, включаючи відповіді на запитання, опитування, обробку замовлень та багато іншого.

Згідно зі статистикою Chatbots Magazine, на початку 2023 року більше 70% бізнесів вже використовували чат-ботів або планували їх реалізувати протягом наступних місяців [1]. Зокрема, чат-боти використовуються в таких сферах, як ресторани, банки, туризм, медицина, технічна підтримка та інші.

Щодо популярності конструкторів ботів, згідно зі статистикою Topbots, відомих на початок 2021 року, відзначається, що конструктори

Chatfuel та ManyChat є лідерами у своїй ніші, або ринку, займаючи більше 60% частки ринку. Крім того, існує також ряд інших популярних конструкторів ботів, таких як Tars, Landbot, Botsify та багато інших, які також мають своїх прихильників та користувачів.

Одним із найпопулярнішим месенджером є Telegram. Telegram – це потужний месенджер, що дозволяє з легкістю обмінюватися повідомленнями та файлами різних форматів. Він був розроблений на мові програмування C++ і має кросплатформову підтримку, що дозволяє користуватися ним на будь-якому пристрої. Однією з особливостей Telegram є його спеціально розроблена серверна частина з закритим кодом, що забезпечує безпеку і конфіденційність даних користувачів. Ці сервери розміщені в Німеччині та США, що забезпечує стабільну роботу месенджера по всьому світу. Особливостями даного месенджера є секретні чати та спеціально розроблений протокол шифрування MTProto.

Основні конструктори ботів для Telegram включають в себе наступні:

- ManyChat – допомагає наочно проектувати сценарії спілкування з клієнтами, сегментувати аудиторію, проводити A/B-тестування, вибудовувати воронки продажів, аналізувати дані – і зрештою залучати нових клієнтів. ManyChat однією з перших вивела на ринок інструмент для маркетингу в месенджерах;

- Manybot – це конструктор ботів, який дозволяє користувачам створювати ботів з безліччю функцій, включаючи автоматичне створення відповідей, маркетингові розсилки, інтеграцію з соціальними мережами та іншими сервісами;

- Chatfuel – цей конструктор дозволяє користувачам створювати ботів без будь-яких знань в програмуванні. Chatfuel має безліччю функцій, включаючи інтеграцію з різними сервісами, настройку повідомлень, налаштування відповідей та іншого;

- BotFather – це спеціальний бот, який дозволяє користувачам створювати та керувати своїми власними ботами в Telegram. Для створення бота за допомогою BotFather користувачі повинні спочатку відкрити чат з BotFather та слідувати інструкціям. Вони можуть вказати ім'я бота, його ім'я користувача, опис, профільне зображення та інші налаштування. Після створення бота користувачі можуть програмувати його для виконання різних завдань, таких як надсилання автоматичних повідомлень, відповідь на вхід користувача або отримання даних з зовнішніх джерел. BotFather також надає набір методів API, які розробники можуть використовувати для взаємодії зі своїми ботами.

Список використаних джерел:

1. ChatBot - Official Site - Automate Your Customer Service. (2023, 12 квітня). Key Chatbot Statistics You Should Follow in 2023 <https://www.chatbot.com/blog/chatbot-statistics/>.

GENERAL OVERVIEW OF DATA STREAM CLUSTERING

Помазан В.В.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Творошенко І.С.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,

м. Харків, Україна

тел. +38(068) 367-04-82, e-mail: viktor.pomazan@nure.ua

Data stream clustering is a widely researched problem in data mining and machine learning. This involves grouping data points that arrive sequentially and continuously over time, making it difficult to work with because of the large amounts of data that need to be processed in real-time. This work reviews recent advances in data stream clustering algorithms and techniques, including traditional and online clustering methods, ensemble methods, and stream-based outlier detection, discusses the evaluation metrics for data stream clustering, and highlights some open research challenges in this area.

The task of clustering data flows occupies an important place in modern Data mining, and for its solution today there are many approaches, methods, and algorithms [1–3]. Clustering is related to statistical data processing, as well as to learning tasks without a teacher. Groups of elements are placed in clusters, which are formed based on the distance between them. Clustering can be formulated as a multi-criteria optimization problem. The result of clustering depends on a number of factors: the selected method, data values, the number of formed clusters, and the type of metric used to compare individual elements and clusters with each other [4].

Data stream clustering is the process of grouping incoming data instances, which arrive continuously and potentially in an infinite stream, into clusters in an online and incremental manner.

The main goal of data stream clustering is to extract meaningful patterns and insights from data streams that are too large to be stored in memory or processed offline [2, 3].

During the study of the data stream clustering problem, many researchers and teams have made significant contributions to the development of data stream clustering, including researchers such as S. Guha, R. Rastogi, K. Shim (BIRCH algorithm), M. Garofalakis, J. Gerke, and R. Rastogi (STREAM algorithm), H. Karypis and E.-Kh. Khan (DENSWARE algorithm), M. Halkidi, Y. Batistakis, M. Vazirgianis (C-Stream algorithm), and many others.

The examination of the most recent investigation and literature concerning this subject revealed that the concerns addressed are not adequately expounded upon, and the primary scientific outcomes have not been put into practical practice and necessitate further investigation.

Data stream clustering algorithms can be classified into two main categories: centroid-based and density-based.

Centroid-based algorithms, such as k -means and k -medoids, represent each cluster by a central point or prototype and iteratively update these centroids as new data arrives. Density-based algorithms, such as DBSCAN and OPTICS, partition the data space based on the density of data points and identify clusters as regions of high density.

In addition to these traditional clustering algorithms, recent research in data stream clustering has focused on developing novel algorithms that can handle specific challenges of data streams, such as concept drift, noise, and outliers. These include incremental clustering algorithms (CluStream, DenStream), and ensemble clustering algorithms (STREAM, CluELM).

Data stream clustering is a critical research area with numerous applications in various fields. One of the most prominent applications of data stream clustering is in the area of network intrusion detection, where it is used to detect and prevent cyber-attacks. Financial fraud detection is also an important application, where data stream clustering is used to identify patterns of fraudulent behavior in financial transactions [5].

One of the main problems of data stream clustering is concept drift, which occurs when the statistical properties of the data change over time. This can be caused by changes in user behavior, shifts in trends, or changes in the environment. Data stream clustering can also face problems with selecting the optimal window size, cluster size, and a number of clusters. Another issue is accounting for uncertainty and errors that may arise due to incomplete information and inaccuracies in the data stream [3]. Finally, managing the data stream and collecting feedback is necessary to adjust and update clustering models based on the results obtained.

Overall, data stream clustering is an important field of research with a wide range of applications in various domains, including network intrusion detection, sensor data analysis, social media monitoring, and financial fraud detection.

References:

1. Гороховатський, В.О., Гадецька, С.В., Стяглик, Н.І., Власенко, Н.В. (2020). Класифікація зображень на підставі ансамблю статистичних розподілів за класами еталонів для компонентів структурного опису.
2. Гороховатський, В.О., Творошенко, І.С. (2021). Методи інтелектуального аналізу та оброблення даних: навч. посібник.
3. Silva, J.A., Faria, E.R., Barros, R.C., Hruschka, E.R., Carvalho, A.C.D., Gama, J. (2013). Data stream clustering: A survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 46(1), 1-31.
4. Yu, S.S., Chu, S.W., Wang, C.M., Chan, Y.K., Chang, T.C. (2018). Two improved k-means algorithms. *Applied Soft Computing*, 68, 747-755.
5. Borlea, I.D., Precup, R.E., Borlea, A.B., Iercan, D. (2021). A unified form of fuzzy C-means and K-means algorithms and its partitional implementation. *Knowledge-Based Systems*, 214, 106731.

ПЕРЕВАГИ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ЯК ТЕХНОЛОГІЇ РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

Соловей І.В.

Науковий керівник – к.т.н., доцент Золотухін О.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ШІ,
м. Харків, Україна

тел. +38 (057) 702-13-37, e-mail: illia.solovei@nure.ua

Image recognition is a crucial area of study in computer vision and machine learning, with numerous applications in various fields such as medical imaging, self-driving cars, security, and entertainment. Convolutional Neural Networks (CNNs) have revolutionized image recognition technology, enabling machines to identify and classify images with high accuracy. This thesis provides an in-depth look at the advantages and challenges of CNNs, as well as their applications in different industries.

Згорткові нейронні мережі (CNN) виявилися потужною технологією для завдань розпізнавання зображень завдяки їхній унікальній здатності вивчати особливості з необроблених даних зображення. CNN – це тип глибоких нейронних мереж, які використовують згорткові шари для вилучення ознак з вхідного зображення, за якими слідує пулінг, який зменшує розмірність карти ознак. Цей процес повторюється кілька разів, створюючи ієрархію функцій, які можна використовувати для класифікації зображень, виявлення об'єктів [2] та інших завдань.

Однією з істотних переваг CNN є їх здатність автоматично вивчати ознаки [3]. Традиційні алгоритми розпізнавання зображень покладаються на створені вручну ознаки, які можуть займати багато часу та не підходити для всіх типів зображень. CNN, з іншого боку, можуть вивчати особливості з необроблених даних зображення, що робить їх більш адаптованими до широкого діапазону. Крім того, ознаки, які вивчаються CNN, ієрархічні, з нижніми шарами, які вивчають прості ознаки, такі як ребра і кути, а верхні шари вивчають більш складні - форми та текстури.

Ще однією перевагою CNN є їх здатність обробляти зміни масштабу та орієнтації зображення. Традиційні алгоритми розпізнавання вимагають, щоб вхідні зображення мали фіксований розмір та орієнтацію, що може бути складним у реальних сценаріях, де знімки можуть бути зроблені з різних кутів або мати різну роздільну здатність. CNN розроблені для інваріантності до трансляцій, що означає, що вони можуть обробляти зображення різних розмірів та орієнтацій. Це робить їх більш стійкими до реальних умов.

CNN показали надзвичайну адаптивність і можуть використовуватися для широкого спектру завдань розпізнавання зображень. Серед інших програм вони використовувалися для виявлення об'єктів, сегментації та розпізнавання обличчя.

CNN можна навчати на великих наборах даних за допомогою сучасних графічних процесорів, що робить їх масштабованою технологією. Це дозволило дослідникам навчати CNN на великих наборах даних, таких як ImageNet, який містить понад 14 мільйонів зображень і 20 000 категорій, що призвело до значного прогресу у розпізнаванні зображень. Можливість навчання на великих наборах даних дозволила розробити високоточні моделі, які можуть розпізнавати зображення з надзвичайною точністю.

CNN мають потенціал розвинути різні сфери, від охорони здоров'я до транспорту. В охороні здоров'я CNN є корисною для аналізу медичних зображень [4], таких як рентгенівські знімки та магнітно-резонансна томографія, що сприяє точності діагностики та лікування. Технологію можна зустріти в безпілотних автомобілях для виявлення та класифікації об'єктів на дорозі [1]. Крім того, CNN можна використовувати в сільському господарстві для виявлення шкідників у культурах, що призводить до підвищення врожайності та зменшення використання пестицидів. Незважаючи на вражаючу продуктивність CNN у задачах розпізнавання зображень, вони не позбавлені своїх обмежень. Однією з головних проблем є потреба у великих обсягах позначених даних для ефективного навчання моделей. Це може бути особливо складно в таких програмах, як аналіз медичних зображень, де отримання мічених даних може бути важким і трудомістким.

Підсумовуючи, CNN – це потужна технологія для розпізнавання зображень, яка пропонує кілька переваг перед традиційними алгоритмами розпізнавання зображень. Вони можуть вивчати особливості з необроблених даних зображення, обробляти варіації в масштабі та орієнтації, є адаптованими і масштабованими та мають потенціал для революції в різних сферах. Зі збільшенням наборів даних і потужних процесорів використання CNN стане більш поширеним у найближчі роки.

Список використаних джерел:

1. Bojarski, M., Del Testa, D., Dworakowski, D., Firner, B., Flepp, B., Goyal, P., ... & Zhang, X. (2016). End to end learning for self-driving cars. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1604.07316>.
2. Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T., & Malik, J. (2014). Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 580-587).
3. Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Salakhutdinov, R. (2014). Dropout: A simple way to prevent neural networks from overfitting. *The Journal of Machine Learning Research*, 15(1), 1929-1958.
4. Wang, S., Wang, R., Xu, X., Yang, S., Zhang, B., & Shao, L. (2021). Medical image analysis with convolutional neural networks. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 40(4), 998-1014.

УДК 004.932.2:004.3

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ ТЕСТУВАННЯ ЗНАНЬ МОВИ SQL
З ВИКОРИСТАННЯМ ВЕБКАМЕРИ
ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОСОБИ СТУДЕНТА**

Шелест В. А.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Яковлева О. В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,
м. Харків, Україна

тел. (057) 702-14-19, email: volodymyr.shelest@nure.ua

This paper is devoted to the development of a service for testing students' knowledge of SQL using a webcam for student identification. This system consists of a testing module and a student identification module, and has four types of users: administrator, lecturer, student, and ordinary user. The student identification task includes the following steps: face detection, face alignment, face embedding, and vector comparison. The DeepFace library was used to solve the identification task, gRPC and Angular were used to develop the testing module.

Наразі існує велика кількість сервісів онлайн навчання. Однією з найбільших таких платформ є Prometheus, але доступ до цієї системи не є безкоштовним [1]. Зазвичай на цьому ресурсі великі компанії розміщують свої курси. Prometheus дуже сильно облегшує збір та перевірку домашнього завдання, тому що система може сама перевіряти правильність багатьох завдань. Із безкоштовних ресурсів для перевірки знань з будь-якої мови програмування чи алгоритмів можна виділити CodeWars [2] та LeetCode. Обидва сервіси надають завдання будь-якого рівня складності. Після успішного розв'язання задачі користувачеві надається можливість побачити розв'язання тієї самої задачі іншими користувачами. Але ці сервіси не дозволяють організувати навчальний процес. І найголовнішою проблемою є відсутність ідентифікації студента.

Робота присвячена створенню системи для тестування знань студентів з мови SQL, яка є одним з найбільш затребуваних інструментів під час створення інформаційних сервісів різного типу та вирішення задач аналізу даних. До того ж особлива увага приділяється питанню використання під час тестування веб камери для ідентифікації особи студента. Перевагами цієї системи є можливість викладача контролювати усі теми, тести, питання, до яких у студента є доступ і після закінчення курсу. Також викладачеві полегшується процес перевірки багатьох завдань, тому що система сама проставляє оцінки по багатьох завданнях автоматично. До того ж система на основі аналізу відеопотоку з вебкамери ідентифікує особу студента. Тобто розроблена система складається із двох модулів: модуля тестування знань та модуля верифікації особи студента. Система розрахована на чотири типи користувачів: викладач, студент, адміністратор, звичайний користувач.

Адміністратор – це користувач, який має доступ до будь-якої інформації стосовно ресурсу, може редагувати, додавати та видаляти дані, зокрема дані для ідентифікації студента (email, фото, група). Користувач з роллю Викладач може додавати, редагувати та видаляти інформацію стосовно курсів, тестів, питань для тестів; також може переглядати відповіді студентів на тести та рейтинг студентів. Студент же в свою чергу має доступ до матеріалів курсу, до тестів, зроблених викладачем, а також може бачити свій рейтинг по якомусь конкретному тесту, загальний рейтинг за тему та за увесь семестр. Звичайний користувач має доступ лише до деяких тестів, які виклав у загальний доступ викладач (без ідентифікації).

Для реалізації модулю тестування знань була використана технологія Grpc.AspNetCore (gRPC) на мові C# для комунікації сервісів серверу між собою, клієнт же в свою чергу написаний на фреймворку Angular.

Задача розпізнавання складається із етапів детектування обличчя, його вирівнювання, отримання вектору ознак, порівняння вектору з векторами бази даних (БД). На цей час існують бібліотеки для роботи на кожному етапі, а також для комплексного вирішення задачі розпізнавання, наприклад, DeepFace [3]. Під час входу в застосунок студент повинен вказати свій email, далі для ідентифікації особи вектор ознак обличчя з веб камери порівнюється з вектором ознак для даного email з БД. Ця задача належить до задач верифікації, яку можна вирішити за допомогою бібліотеки DeepFace. Розроблено критерії щодо прийняття рішень під час тестування в залежності від результату ідентифікації: почати, продовжити чи перервати процес виконання тесту.

Бібліотека DeepFace показала свою доцільність використання в системі тестування для вирішення задачі ідентифікації особи студента. В подальшому для кількісного оцінювання якості модулю розпізнавання необхідно провести його тестування на великих обсягах даних. В цілому система тестування буде корисна під час вивчення дисциплін, що пов'язані з базами даних. Як подальший розвиток в систему варто додати підтримку великої кількості різних систем управління баз даних, або підтримку мов програмування. Також наявність чату в додатку може полегшити взаємодію між викладачем та студентами, як під час тесту, так і поза ним.

Список використаних джерел:

1. Найбільша платформа онлайн-курсів в Україні. Prometheus. (2023, February 28). Retrieved April 7, 2023, URL: <https://prometheus.org.ua/>.
2. Achieve mastery through coding practice and developer mentorship. Codewars. (n.d.). Retrieved April 11, 2023, URL: <https://www.codewars.com/>.
3. Serengil. (n.d.). Serengil/deepface: A lightweight face recognition and facial attribute analysis (age, gender, emotion and race) library for python. GitHub. Retrieved April 7, 2023, URL: <https://github.com/serengil/deepface>.

УДК 004.932

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРУ НОГИ ЛЮДИНИ ТА ПРИМІРКА ВЗУТТЯ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МОЖЛИВОСТЕЙ КАМЕРИ IOS ПРИСТРОЮ

Дрозд О.Ю.

Науковий керівник – к.т.н., ст. викладач Рожнова Т.Г.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. АПОТ,
м. Харків, Україна

тел. +38(095) 432-02-23, email: oleh.drozd@nure.ua

This work is devoted to studying and analyzing existing methods for determining the size of a person's foot from a photo and algorithms for applying a 3D model to a real object using an iOS device camera. The paper considers the main methods for recognizing objects from a photo using artificial intelligence and determining the size of an object from a photo using machine learning and methods for imposing a 3D model on an object. Based on the results of the analysis, a program was developed that can recognize the size of a person's foot and impose a 3D model of shoes on it using the capabilities of an iOS device.

Вступ. Кожна людина хоч раз замовляла взуття в інтернеті. Це дає змогу зберегти дуже багато особистого часу, але підбір правильного розміру та моделі завжди викликає багато труднощів та проблем, які призводять до великої кількості повернень товарів та незадоволених клієнтів. Із появою технологій штучного інтелекту та сучасних мобільних пристроїв з'являється можливість розробки програмного забезпечення, що здатне розпізнавати нижню кінцівку людини, розраховувати розмір стопи та робити віртуальну примірku взуття просто за допомогою камери смартфона, що сфокусована на кінцівці людини. Такий додаток буде відрізнятися від аналогів швидкістю роботи та реалістичністю накладання 3D моделі на кінцівку людини, неймовірною легкістю у використанні, оскільки не буде потрібно самому ставити точки на координатній осі персонального девайсу для вимірів. Джерело: теоретичні та програмні розробки аналогічних моделей; методи розпізнавання об'єктів на координатній площині із допомогою штучного інтелекту, методи побудови 3D моделей, методи накладання 3D моделей на об'єкт та методи розрахунку розмірів об'єкту по фото або life сесії, використовуючи можливості штучного інтелекту. Мета дослідження – зменшення похибки виміру стопи кінцівки людини перед покупкою взуття для забезпечення підбору правильного розміру взуття. Реалізації онлайн примірки взуття для полегшення вибору взуття онлайн покупцем та імітації приміри в реальному магазині. Завдання – розробка мобільного додатку, що взаємодіє із обчислювальною потужністю та камерою iOS девайсу користувача, який здатний в режимі реального часу розпізнати кінцівку користувача, розрахувати розмір стопи, та імітувати процес примірки взуття, за рахунок накладання 3D моделі взуття, на кінцівку користувача.

Зміст дослідження. Аналіз методів розпізнавання об'єкту в реально-

му часі та розрахунку розмірів за допомогою штучного інтелекту [1] використовуючи можливості камери iOS девайсу. Визначення основних переваг та недоліків даних методів, можливості їх використання на мобільному пристрої. Визначення необхідних умов до зображення, з якого буде розпізнано об'єкт штучним інтелектом. Загальний алгоритм отримання розміру стопи кінцівки виглядає так (рис.1):



Рисунок 1 – Загальний алгоритм отримання розміру стопи

Аналіз методів накладання 3D моделі на об'єкт у режимі реального часу та способів побудови 3D моделі та алгоритму накладання 3D моделі на об'єкт [2]. Базовий алгоритм накладання 3D моделі на об'єкт (рис.2):



Рисунок 2 – Базовий алгоритм накладання 3D моделі на об'єкт

Побудова тестової 3D моделі взуття. Написання програмної реалізації накладання, побудованої 3D моделі на кінцівку користувача, використовуючи можливості камери iOS девайсу.

Висновки. Запропонований мобільний додаток дозволяє вирішити проблеми неправильно вимірювання стопи кінцівки людини та надасть можливість імітації онлайн примірки обраного взуття. Додаток може бути легко інтегрований до онлайн додатків із продажу взуття.

Список використаних джерел:

1. Davies E.R. (2017). Computer Vision Principles, Algorithms, Applications, Learning.
2. Alexander Sosnovshchenko. (2018). Machine Learning with Swift: Artificial Intelligence for iOS.

УДК 004.93'1

РОЗРОБКА ЗАСТОСУНКУ ТРЕКІНГА ТА ПІДРАХУНКУ ЛЮДЕЙ У ВІДЕОПОТОЦІ

Кашкін О.Д.

Научний керівник – к.т.н. доц. Любченко В.А.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,
м. Харків, Україна

Тел. (+380) 992831886, email oleh.kashkin@nure.ua

This article explores the benefits and challenges of developing a tracking and counting app. This application can improve public safety, crowd management, traffic flow, business efficiency and workplace safety. This requires the right equipment and software, as well as the application of machine learning and computer vision methods. The development process must respect ethical and legal principles, especially by ensuring the confidentiality and safety of individuals. This application can improve the safety, efficiency and security of individuals and businesses.

У сучасному світі, де відеоспостереження стає все більш поширеним, розробка застосунку для трекінгу та підрахунку людей у відеопотоці може мати значний вплив на безпеку, ефективність та комфортність в громадських місцях та на робочих майданчиках. Переваги розробки такого застосунку включають покращення громадської безпеки, керування товарами та людськими потоками, покращення ефективності бізнесу та безпеки на робочому місці. Однією з найбільших переваг є покращення громадської безпеки. Застосунок може виявляти небезпечні ситуації, такі як переповнені місця, затори на дорогах або випадки насильства, та оперативно повідомляти відповідні органи влади. Це може допомогти забезпечити швидку реакцію та зменшити ризики для громади. Крім того, програма може допомогти покращити трафік, відстежуючи рух на вулицях і дорогах, забезпечуючи оптимальний потік транспорту та зменшуючи затори. Це може допомогти підвищити комфорт і безпеку для водіїв і пішоходів. Додаток також може бути корисним для підприємств із великою клієнтською базою, таких як торгові центри, стадіони чи аеропорти. Це може допомогти визначити які області отримують найбільший трафік, та області де потрібно покращити обслуговування і коли з найбільшою кількістю клієнтів. Це може підвищити ефективність бізнесу та покращити взаємодію з користувачем. Для компаній з великою кількістю співробітників, таких як фабрики або будівельні майданчики, програма відстеження та підрахунку людей може допомогти відстежувати рух співробітників та виявляти потенційні небезпеки на робочому місці, покращуючи безпеку. Проте, розробка застосунку трекінгу та підрахунку людей у відеопотоці також може зіткнутися з деякими викликами. Одним з таких викликів є проблема з безпекою даних. Дані, зібрані за допомогою додатку, можуть містити особисту інформацію

про користувачів, тому необхідно забезпечити їх безпеку та конфіденційність. Крім того, розробка такої програми може зіткнутися з проблемами відповідності законодавству. Ще розробка програми може бути складним технічним завданням. Точне відстеження та підрахунок людей вимагає використання високоякісних камер і алгоритмів комп'ютерного зору. Це може вимагати значних витрат на обладнання та програмне забезпечення. Узагалі, розробка застосунку трекінгу та підрахунку людей у відеопотоці може мати як безліч переваг для різних галузей, так і може стикатись з деякими викликами та обмеженнями. Ще одним викликом може стати технічна складність розробки та використання застосунку. Розробка програмного забезпечення для відстеження та підрахунку людей у відеопотоці вимагає спеціалізованого обладнання та програмних бібліотек, а також високої експертизи в галузі комп'ютерного зору та машинного навчання.

В цілому, розробка застосунку трекінгу та підрахунку людей у відеопотоці потребує великої уваги до питань захисту приватності, технічної складності, етики також повинна бути розроблена з урахуванням потенційних ризиків та відповідних заходів безпеки. Для того, щоб забезпечити успішну розробку та впровадження такого застосунку, потрібно враховувати цілу низку факторів, зокрема:

- 1) Захист приватності.
- 2) Етика.
- 3) Технічна складність.
- 4) Безпека.
- 5) Законодавство.

Загалом, розробка застосунку трекінгу та підрахунку людей у відеопотоці може бути корисною для самих різних галузей, як от бізнес, безпека, охорона здоров'я, туризм та інше. Програмне забезпечення, яке може визначати кількість людей у відеопотоці та їх рух, може допомогти збільшити продуктивність, ефективність та прибутковість підприємств, зменшити витрати на безпеку та забезпечити більш точне вивчення ринку.

Список використаних джерел:

1. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6619068>.
2. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-33712-3_4.

КОМП'ЮТЕРНИЙ ЗІР У СИСТЕМАХ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ

Філатов О.Є.

Науковий керівник – д.т.н., проф. Гороховатський В.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,
м. Харків, Україна

тел. +38(057) 702-14-19, email: oleksandr.filatov@nure.ua

The work examines remote control tools using neural networks for image recognition. Machine learning is implemented on the basis of the MediaPipe Hands library, which contains human palm recognition models.

Сучасні методи розпізнавання зображень здатні виконувати виділення об'єктів з достатньою швидкістю і з відносно малими потребами в обладнанні [1-4]. У даній роботі була досліджена та розроблена технологія інтеграції системи розпізнавання зображень для визначення жестів людини у систему дистанційного керування комп'ютером. Для розпізнавання зображень використана бібліотека комп'ютерного зору MediaPipe.

Бібліотека MediaPipe створена Google і дає можливість швидко розпізнавати різноманітні об'єкти на зображеннях. Бібліотека включає в себе моделі нейронних мереж для розпізнавання обличчя, пози, та положення долоні людини [5]. У нашій роботі використана модель для розпізнавання долоні людини, яка, отримавши окремий кадр із відеокамери, визначає позицію долоні та виділяє її ключові точки (рис.1).

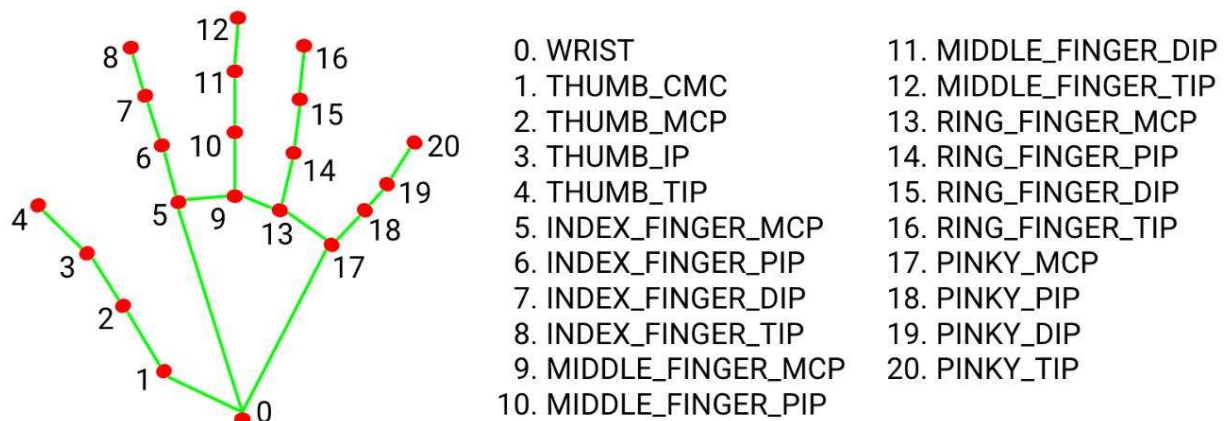


Рис. 1 – Ключові точки долоні за бібліотекою MediaPipe

Отримані ключові точки визначають положення долоні у просторі. В розробленій моделі для визначення жестів використовуються ключові точки 0, 4, 8, 12, 16 та 20, тобто зап'ястя та кінчики пальців.

Використовуючи простий аналіз жестів, де враховується, зігнуті чи розігнуті пальці користувача, а також нахил долоні, розподілений на 8 сек-

торів по 45 градусів, отримуємо 256 можливих комбінацій, що можна передати 1 байтом інформації. Отриманий код жесту разом з координатами вказівного пальця, що мають використовуватись при керуванні курсором, передаються по протоколу TCP до модуля керування.

Так як сучасні моделі ще не здатні розпізнавати зображення зі стопроцентною точністю, для уникнення надсилення помилкових кодів використовується буфер жестів розміром в три коди, що відкидає невірно розпізнані жести з відносно невеликою втратою швидкості.

Модуль керування використовує схему команд, що зберігається в окремому файлі. Файл схеми модифікує команди, що виконуються при окремих жестах, створює нові команди, будує власну ієрархію команд. Залежно від отриманого коду жесту модуль керування може виконати відповідну команду, перейти до вкладеного меню чи повернутися до минулого меню. Нинішня реалізація створює команди для взаємодії з мишею, клавіатурою, та виклику UNIX-команд, проте програмна реалізація дає можливість розширення можливого функціоналу.

Розпізнавання ключових точок долоні реалізовано мовою програмування Python з використанням бібліотек OpenCV та MediaPipe, модуль керування реалізовано мовою Golang з використанням бібліотеки Robotgo.

Розроблена програмна модель здатна виконувати розпізнавання зі швидкістю приблизно 60 кадрів на секунду, що може варіюватися залежно від обладнання. Основною перевагою створеної моделі є здатність розширювати та модифікувати функціонал модуля керування для виконання встановлених функцій.

Список використаних джерел:

1. Daradkeh, Y.I., Gorokhovatskyi, V., Tvoroshenko, I., Zeghid, M. Tools for Fast Metric Data Search in Structural Methods for Image Classification, IEEE Access, 2022, 10, pp. 124738-124746.
2. Gorokhovatskyi, V.A., Zamula, A.A. (2016) Employment of Intelligent Technologies in Multiparametric Control Systems. Telecommunications and Radio Engineering. Vol. 75, No 19, p. 1775-1785.
3. Гороховатський В.О., Гадецька С.В., Стяглик Н.І., Власенко Н.В. (2020) Класифікація зображень на підставі ансамблю статистичних розподілів за класами еталонів для компонентів структурного опису. Радіоелектроніка, інформатика, управління, №4, с. 85-94.
4. Gorokhovatskyi, V., Stiahlyk, N., Tsarevskaya, V. (2021). Combination method of accelerated metric data search in image classification problems. Advanced Information Systems, 5 (3), pp. 5-12.
5. Zhang, Fan & Bazarevsky, Valentin & Vakunov, Andrey & Tkachenka, Andrei & Sung, George & Chang, Chuo-Ling & Grundmann, Matthias. (2020). MediaPipe Hands: On-device Real-time Hand Tracking.

УДК 004.932.2

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДОЛОГІЙ МОДЕЛЮВАННЯ ДАНИХ У МУЛЬТИМЕДІЙНИХ СИСТЕМАХ

Полозова О.О.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Творошенко І.С.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,
м. Харків, Україна

тел. +38(093) 320-02-15, e-mail: olena.polozova@nure.ua

A comparative analysis of computer system modeling methodologies of IDEF0 and DFD standards was conducted. The terms «simulation» and «model» are defined. The main differences in modeling computer systems of the IDEF0 and DFD standards are noted.

Щоб побудувати моделі мультимедійних систем застосовуються різні схеми. Щоб можна було зрозуміти логіку та структуру сформованої моделі, розробляються спеціальні методології. У них закладено певний набір правил та підходів до створення схеми. Їх застосування потрібне, коли схема реалізується не тільки для внутрішнього вживання, тому що в іншому випадку буде необхідно пояснити всю методику всім зацікавленим сторонам.

Теоретико-практичні аспекти цього питання досліджували багато вчених, зокрема, Кравченко І.В., Микитенко В.І., Тимчик, Г.С [1], Данченко О.Б., Литвинова С.Г. [2], Параниця Н.В., Параниця С.П., Буличов О.С. [3] та інші.

Метою дослідження є порівняльний аналіз методологій моделювання мультимедійних систем стандартів IDEF0 та DFD.

Моделювання можна визначити як метод опосередкованого пізнання, при якому досліджуваний об'єкт-оригінал знаходиться в деякій відповідності з іншим об'єктом-моделлю, причому модель здатна в тому чи іншому відношенні заміщати оригінал на деяких стадіях пізнавального процесу.

Модель є умовним відображенням реальної системи. Умовність пов'язана з можливістю формалізації опису процесу і взаємозв'язків його показників. У моделях відображаються процеси у вигляді взаємозв'язків показників процесу, на цій основі здійснюються оцінки характеристик (залежностей) та/або параметрів процесів досліджуваних систем [1].

Для аналізу існує багато різних методологій, серед яких є базові стандарти – це IDEF0 та DFD.

Стандарт IDEF0 відповідає за функціональне моделювання системи. Процеси в даному стандарті протікають послідовно.

Важлива роль стандарту IDEF0 відводиться декомпозиції. Так, на верхньому рівні відображається основний процес, який піддається декомпозиції, як результат, отримують дочірні діаграми.

Стандарт IDEF0 передбачає використання лише двох графічних елементів – прямокутника та стрілки. Щоб схема була побудована максимально точно, після кожного сеансу декомпозиції проводять експертну оцінку моделі щодо відповідності реальній ситуації.

Взаємодії між функціями та зовнішнім середовищем відображаються у вигляді стрілок, яких існує 5 типів: вхід, вихід, управління, механізми та вихід-вхід [2].

У свою чергу, стандарт DFD відповідає за опис потоків даних. Він включає чотири головні елементи [3]:

- зовнішні системи (посилання або сутності) – будь-який об’єкт, не включений до основної системи. При цьому дана система або передає, або отримує інформацію з системи, що описується;

- потоки даних: зовнішні (зображуються на контекстній діаграмі) або внутрішні (зображуються на діаграмах декомпозиції);

- процес, іншими словами, функція чи послідовність дій, які здійснюються для обробки даних;

- бази даних (сховища даних) – таблиці для зберігання документів, якими можна користуватися або наповнювати.

Таким чином, головною відмінністю між розглянутими стандартами є те, що методологія IDEF0 є структурною. У ній відображені компонентний склад об’єкта, що вивчається, взаємозв’язки та взаємодії між його елементами.

Стандарт DFD відноситься до динамічних. Він відображає потік даних та логіку оброблення даних у мультимедійних системах. DFD містить більше графічних елементів, тоді як IDEF0 – лише два. У зв’язку з цим нотація IDEF0 більш регламентована. Розташування та напрямок стрілок чітко говорять про існуючі характеристики.

Отже, методології DFD та IDEF0 – прості інструменти побудови моделей мультимедійних систем. Їх використання дасть змогу покращити роботу, підвищити ефективність усіх процесів та розпочати автоматизацію. Чітка та логічна методика дозволяє точно виявити вузькі та проблемні процеси, звернути на них увагу розробників програмних застосунків.

Список використаних джерел:

1. Кравченко, І.В., Микитенко, В.І., & Тимчик, Г.С. (2022). Комп’ютерне моделювання: системи і процеси. Підручник.

2. Литвинова, С.Г. (2018). Система комп’ютерного моделювання об’єктів і процесів та особливості її використання в навчальному процесі закладів загальної середньої освіти. Інформаційні технології і засоби навчання. Т. 64. №2. 48-65.

3. Параниця, Н.В., Параниця, С.П., & Буличов, О.С. (2022). Методологія моделювання бізнес-процесів. Економічна наука. Економіка та держава. Вип. 3. 59-62.

ВПРОВАДЖЕННЯ ОЦІНОК ВІДСТАНЕЙ У КЛАСИФІКАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

Дебре В.С.

Науковий керівник – д.т.н., проф. Гороховатський В.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,
м. Харків, Україна

тел. (057) 702-14-19, email: viktor.debre@nure.ua

The presented research materials concern the application of distance assessment to the reference class in image classification. Experimental results confirm a significant performance gain for the developed classification methods.

Системи комп'ютерного зору потребують ефективних методів аналізу та оброблення багатовимірних даних [1-5]. Щоб забезпечити швидкодію реального часу, обмежують обчислювальні витрати на основі хешування, кластеризації та оцінок належності до класу. Ці підходи спрощують аналіз, забезпечуючи єдину концепцію керування даними [2, 3].

Ключовим підходом у класифікації зображень є визначення ступеня релевантності між множинами багатовимірних векторів та оптимізація цього критерію. Практичний спосіб класифікації ґрунтується на відповідності класу для дескрипторів ключових точок з мінімізацією отриманої відстані. Замість лінійного пошуку тут може бути ефективним оцінювання відстані до еталонного опису за правилом трикутника.

Суть правила трикутника полягає в тому, щоб використати властивості сторін трикутника на площині. Нехай a , b , c – довжини сторін, тоді виконується $c - b \leq a \leq c + b$. Для багатовимірних векторів – дескрипторів КТ відстані від дескрипторів до еталону можна оцінювати за мінімальними або максимальними значеннями від центру множини, які можна попередньо визначити для еталонів.

Клас об'єкту визначимо як аргумент від максимуму числа голосів

$$k = \arg \max_{i=1, \dots, N} h_i \parallel h_k \geq \delta_h \quad (1)$$

де δ_h - деякий поріг для граничного мінімального числа голосів, що встановлюється експериментально для заданої бази. Якщо нерівність у (1) не виконується, клас об'єкту вважається не встановленим.

Розглядаючи формальне подання правила з використанням властивостей сторін трикутника на площині, можна визначити дійсні умови для кожної сторони на основі нерівності трикутника.

За теоретичними даними приріст часу пропорційно залежить від кількості дескрипторів, для класичного методу це значення $O(m * n)$, де m – кількість еталонів, а n – кількість дескрипторів у еталоні. В той же час для методу трикутника цей час оцінюється як $O(m)$, що особливо для великої кількості дескрипторів значно прискорить час класифікації.

Для здійснення моделювання вибрано детектор КТ Brisk, що формує дескриптори, розміром 512 бітів. Для обробки даних та знаходження хемі-

нгових відстаней між дескрипторами використовувалось побітове порівняння. Робота дескриптора продемонстрована на рис. 1.

Для кожного із трьох еталонів вибрано 500 дескрипторів в випадковому порядку для класифікації. За результатами порівняння традиційного методу голосування для класифікації із методом із використанням правила трикутника на практиці швидкодія зросла в середньому у 400 разів, в порівнянні з часом витраченим без використання цього правила.

При цьому результати класифікації дали однакові результати щодо точності віднесення зображення до еталону на навчальній вибірці.

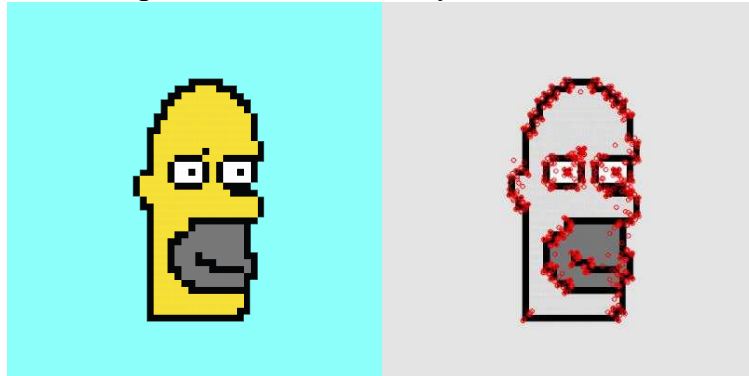


Рисунок 1 - Приклад зображення і координати сформованих КТ

Проведені експерименти на навчальній вибірці з використанням різних зображень для класифікації вказують на доцільність методу оцінки за правилом трикутника, адже отримано значне покращення швидкодії та не суттєве зменшення точності в порівнянні з традиційним методом.

Список використаних джерел:

1. Гороховатський В.О., Гадецька С.В., Стяглик Н.І., Власенко Н.В. (2020) Класифікація зображень на підставі ансамблю статистичних розподілів за класами еталонів для компонентів структурного опису. Радіоелектроніка, інформатика, управління, №4, с. 85-94.
2. Daradkeh, Y.I., Gorokhovatskyi, V., Tvoroshenko, I., Zeghid, M. Tools for Fast Metric Data Search in Structural Methods for Image Classification, IEEE Access, 2022, 10, pp. 124738-124746.
3. Gorokhovatskyi V.A., Zamula A.A. (2016) Employment of Intelligent Technologies in Multiparametric Control Systems. Telecommunications and Radio Engineering. Vol. 75, No 19, p. 1775-1785.
4. Gorokhovatskyi V., Gadetska S., Ponomarenko R. (2020) Recognition of Visual Objects Based on Statistical Distributions for Blocks of Structural Description of Image. Proc. of the XV Int. Scientific Conference "Intellectual Systems of Decision Making and Problems of Computational Intelligence" (ISDMCI'2019), Ukraine, May 21–25, 2019, pp. 501-512.
5. Gorokhovatskyi, V., Stiahlyk, N., Tsarevska, V. (2021). Combination method of accelerated metric data search in image classification problems. Advanced Information Systems, 5 (3), pp. 5-12.

ЗАГАЛЬНИЙ ОГЛЯД ФРЕЙМВОРКУ YOLOV8

Тарасов Д.К.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Творошенко І.С.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,

м. Харків, Україна

тел. +38(099) 510-13-91, e-mail: danylo.tarasov@nure.ua

Real-time object detection has become a critical component in many applications spanning diverse fields such as autonomous vehicles, robotics, video surveillance, and augmented reality [1, 2]. Among the various objects of detection algorithms, the YOLO (You Only Look Once) framework stood out for its excellent balance of speed and accuracy, allowing you to quickly and reliably identify objects in images. Since its inception, the YOLO family has evolved through several iterations, each building on previous versions to address limitations and improve performance.

YOLO стала центральною системою виявлення об'єктів у режимі реального часу для робототехніки, безпілотних автомобілів і відео програми моніторингу. Виробник фреймворку Ultralytics випустив абсолютно новий репозиторій для моделей YOLO. Він побудований як єдина платформа для навчання моделям виявлених об'єктів, сегментації екземплярів і класифікації зображень.

Серія моделей YOLO стала відомою для задач комп'ютерного зору. Популярність YOLO пояснюється його високою точністю при збереженні невеликого розміру моделі. Моделі YOLO можна навчати на одному GPU, що робить їх доступними для широкого кола розробників. Спеціалісти з машинного навчання можуть розгорнути його із низькими витратами на периферійному обладнанні або в хмарі.

Ключовими особливостями нової версії є те, що вона зручна для користувача API, швидка та надзвичайно точна, підтримує виявлення об'єктів, сегментацію екземплярів, класифікацію зображень, вбудовано нову backbone мережу, нову anchor free detection head, нову функцію втрат.

YOLOv8 також має високу ефективність і гнучкість, підтримує багато форматів експорту, модель може працювати на CPU та GPU [3].

У кожній категорії моделей YOLOv8 є п'ять моделей для виявлення, сегментації та класифікації: YOLOv8 Nano, YOLOv8 Small, YOLOv8 Medium, YOLOv8 Large, YOLOv8 Extra Large.

Чим YOLOv8 кращий за попередні популярні версії YOLO?

YOLOv8 представляє нову магістральну мережу Darknet-53, яка є значно швидшою та точнішою, ніж попередня магістраль, що використовується в YOLOv7. DarkNet-53 – це згорток нейронна мережа, що містить 53 шари та може класифікувати зображення за 1000 категоріями об'єктів, наприклад, клавіатура, миша, олівець і багато тварин.

YOLOv8 робить передбачення обмежувальної рамки подібними до сегментації зображення, тобто попиксельно. Щоб досягти цього, було впроваджено «anchor free detection head».

Крім того, YOLOv8 є більш ефективним, ніж попередні версії, оскільки він використовує більшу карту функцій і ефективнішу згорткову мережу. Даний факт дозволяє моделі виявляти об'єкти точніше та швидше. З більшою картою об'єктів модель може фіксувати складніші зв'язки між різними об'єктами та краще розпізнавати шаблони та об'єкти в даних. Більша карта функцій також допомагає скоротити час, необхідний для навчання моделі, може допомогти зменшити переобладнання [4].

YOLOv8 використовує функціональні пірамідні мережі, які допомагають краще розпізнавати об'єкти різних розмірів, що покращує його загальну точність.

Мережі Feature Pyramid – це концепція, яка використовує різні масштаби карт функцій (подібно до створення прогнозів для різних розмірів зображень) у поєднанні з пропуском з'єднань для більш точного прогнозування менших і більших об'єктів.

YOLOv8 представляє зручний API, що дозволяє користувачам швидко та легко впроваджувати модель у своїх програмах [5].

Загалом, у міру розвитку структури YOLO, очікуємо збільшення кількості моделей YOLO, що випускаються щороку, разом із відповідними розширеннями та застосунками, так структура стане більш універсальною та потужною, ймовірно, її використовуватимуть у ще більш різноманітних сферах, від пристроїв побутової техніки до автономних автомобілів. Шляхом адаптації моделей до різного обладнання специфікацій, YOLO можна зробити доступним і ефективним для більшої кількості користувачів і галузей.

Список використаних джерел:

1. Daradkeh, Y. I., Gorokhovatskyi, V., Tvoroshenko, I., Al-Dhaifallah, M. (2022). Classification of images based on a system of hierarchical features. *Computers, Materials & Continua*, 72(1), 1785-1797.
2. Гороховатський, В.О., Творошенко, І.С. (2021). Методи інтелектуального аналізу та оброблення даних: навч. посібник.
3. Wibowo, S., & Sugiarto, I. (2023). Hand Symbol Classification for Human-Computer Interaction Using the Fifth Version of YOLO Object Detection. *CommIT (Communication and Information Technology) Journal*, 17(1), 43-50.
4. Solawetz J., Francesco. What is YOLOv8? The Ultimate Guide. URL: <https://blog.roboflow.com/whats-new-in-yolov8/> (дата звернення: 05.04.2023).
5. Jamtsho, Y., Riyamongkol, P., & Waranusast, R. (2021). Real-time license plate detection for non-helmeted motorcyclist using YOLO. *Ict Express*, 7(1), 104-109.

УДК 004.932.2

АНАЛІЗ У ПОРІВНЯЛЬНОМУ АСПЕКТІ МОДЕЛЕЙ MCNN ТА CSRNET ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ПІДРАХУНКУ ЛЮДЕЙ У НАТОВПІ

Гречишкін Д.С.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Яковлева О. В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,
м. Харків, Україна

тел. (057) 702-14-19, email: danylo.hrechyshkin@nure.ua

This work is devoted to the development of a mobile application for quick counting people in a crowd. This system is based on convolutional neural networks, which provides quick and efficient way for counting approximate number of people in a crowd. The system consists of two modules. The client is a mobile application, which is implemented in Java using Android Studio. The server part is designed for image processing, it is developed using Python with PyTorch and Tensorflow.

Підрахунок людей у натовпі є актуальним соціально-політичним завданням. Великий натовп – це звичайне явище, яке виникає по всьому світу за різних причин та подій. Тож підрахунок учасників натовпу часто є важливим і принциповим для організаторів масових заходів та державних структур, зокрема правоохоронних органів. Важливість задач такого напрямку зросла після появи пандемії COVID-19, впродовж якої з'явилась гостра необхідність обмежувати кількість людей, що збираються разом.

Робота присвячена створенню системи для швидкого підрахунку кількості людей в натовпі. Особлива увага відводиться вибору певної згорткової нейронної мережі, яка найбільше відповідатиме заданим умовам, та підбору датасету, тобто вибірки для навчання цієї нейронної мережі. Не менш важливе місце займає архітектура застосунку. Було обрано клієнт-серверну архітектуру, де клієнтом виступає мобільний додаток, який буде надсилати данні на обробку, а сервер, відповідно, буде обробляти надану клієнтом інформацію та повертати результат.

Проаналізував сучасні інформаційні джерела щодо успіхів в вирішенні задачі підрахунку людей було вирішено більш детально розглянути мережі Multi-scale Convolutional Neural Networks (MCNN) [1] та Cascaded Selective Resolution Network (CSRNet) [2] з метою обрання найкращої для використання у застосунку. Обидва підходи демонструють задовільні результати в задачах підрахунку людей, але з деякими відмінностями:

– MCNN – мультиколонна згорткова нейронна мережа, покликана добре обробляти зображення з різною перспективою, де голови можуть бути суттєво спотворені в різних ділянках зображення. Мережа добре обробляє ділянки різної щільності.

– CSRNet – згорткова нейронна мережа для розпізнавання переванта-

жених сцен, яка реалізує бекенд-структуру, що дуже добре піддається навчанню.

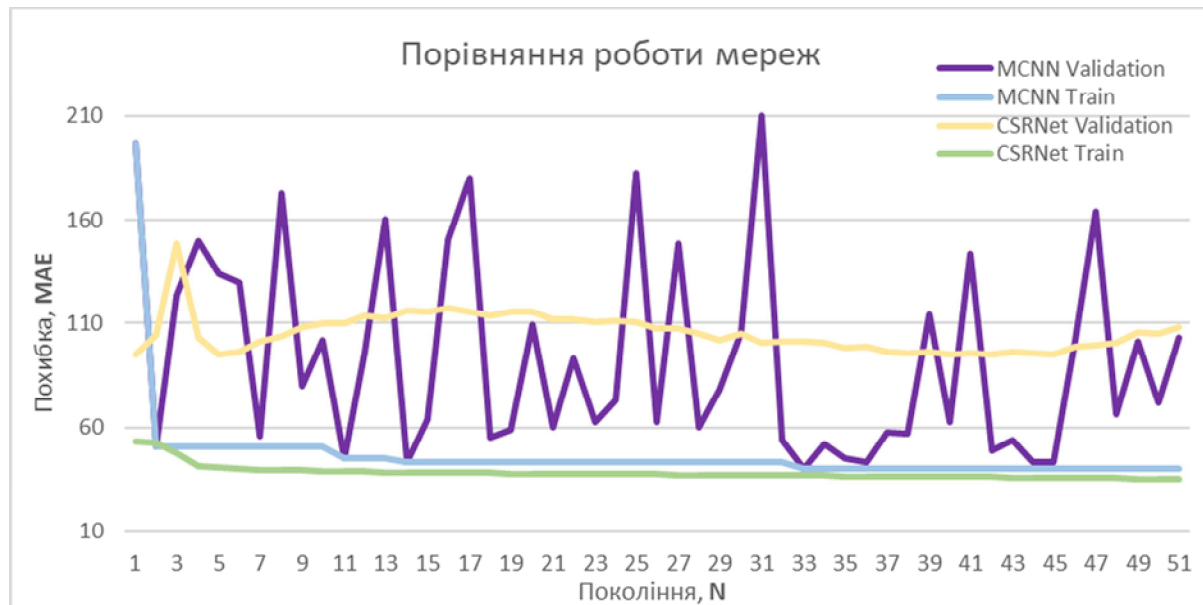


Рисунок 1 – Порівняння навчання мереж CSRNet та MCNN

На рисунку 1 відображено навчання мереж на частині В датасету ShanghaiTech, де наведено графіки значень похибки MAE на тренувальній та валідаційній вибірці. Відповідно, CSRNet поводить себе більш стабільно і показує дещо кращі результати в тренуванні та валідації: обробляє 316 зображень за 46.99 секунд з середньою похибкою MAE 38,52. MCNN з тією ж вибіркою відпрацьовує значно швидше 19.24 секунд, але з більшою похибкою: 46,63. Не дивлячись на те, що CSRNet є більш вимогливою до ресурсів у порівнянні з MCNN, цю недосконалість можна нівелювати завдяки використанню клієнт серверної архітектури.

Щоб створити клієнтську частину, обрано відкрите середовище Android Studio та мову Java. Такий підхід дозволить адаптувати додаток під будь-яку актуальну версію сучасних android-смартфонів.

Таким чином, застосунок-клієнт буде відсилати закодоване зображення до серверу, який в свою чергу буде повертати відповідь. Такий підхід дозволить майже не використовувати потужності мобільного пристрою, але забезпечить задовільну швидкодію та точність.

Список використаних джерел:

1. CommissarMa. (n.d.). CommissarMa/MCNN-pytorch. GitHub. Retrieved May 30, 2019, URL: <https://github.com/CommissarMa/MCNN-pytorch>.
2. CommissarMa. (n.d.). CommissarMa/CSRNet-Simple-Pytorch. GitHub. Retrieved December 12, 2019, URL: <https://github.com/CommissarMa/CSRNet-pytorch>.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ У РЕАЛЬНОМУ МАСШТАБІ ЧАСУ

Перець О.В.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Работягов А.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПІ

м. Харків, Україна

тел. +38(095) 412-62-58, email: oleksandr.perets@nure.ua

This work focuses on optimizing image recognition methods in real-time. Methods from the OpenCV library, such as Haar cascades, as well as the popular YOLO object recognition algorithm, are used in the study. The main emphasis of the research is on comparing the effectiveness and application of these methods in the context of real-time object recognition.

Розпізнавання зображень є важливою задачею комп'ютерного зору з широким спектром застосувань, таких як автономні автомобілі, медична діагностика, відеоспостереження та багато інших. Оптимізація процесу розпізнавання зображень є одним з актуальних напрямків досліджень у галузі комп'ютерного зору.

Один з підходів до оптимізації розпізнавання зображень є використання методів на основі правил які вважаються простим підходом, де використовуються наперед задані правила або шаблони для виявлення об'єктів на зображеннях[1]. Наприклад, такі правила можуть бути певні значення пікселів або комбінації пікселів, що вказують на наявність об'єкту. Цей метод може бути ефективним для виявлення об'єктів зі сталими характеристиками, такими як розмір, форма або колір, оскільки такі характеристики можуть бути визначені заздалегідь.

Однак, метод на основі правил має свої обмеження, особливо при спробі виявити складні об'єкти зі змінними або непередбачуваними характеристиками. Наприклад, якщо об'єкт має змінну форму, розташування або варіює в залежності від освітлення, то правила, запрограмовані заздалегідь, можуть бути неефективними.

Метод Наар каскадів - один із методів виявлення об'єктів на зображеннях, що використовується в бібліотеці комп'ютерного зору OpenCV. Він базується на використанні класифікаторів зі статистичними функціями Наар, які використовуються для виявлення об'єктів на зображеннях зі структурованими характеристиками, такими як розташування контурів та текстурні ознаки [2].

Принцип роботи методу Наар каскадів полягає в послідовному використанні набору класифікаторів в каскаді. Кожен класифікатор використовує статистичні функції Наар для визначення присутності об'єкта на зображенні. Якщо перший класифікатор не виявляє об'єкта, то зображення відкидається і не переходить до наступного класифікатора. Якщо перший класифікатор виявляє об'єкт, то зображення передається до наступного класифікатора, і так далі.

Однак, метод Наар каскадів має свої обмеження. Він може бути менш ефективним для виявлення складних об'єктів зі змінними або непередбачуваними характеристиками, такими як об'єкти з нечіткими контурами, змінними розмірами або змінним освітленням. Також, метод Наар каскадів може бути вимогливим до обчислювальних ресурсів, оскільки використовує

багато класифікаторів в каскаді, що може забирати багато часу на обробку зображень.

Для досягнення кращих результатів використання методу Нааг каскадів важливо правильно налаштувати його параметри, такі як мінімальний розмір об'єкта, порогові значення класифікації, кількість класифікаторів у каскаді та інші. Також, може бути необхідно провести налагодження класифікаторів на відповідному наборі даних, щоб забезпечити кращу точність виявлення об'єктів. Зокрема, налаштування порогових значень може допомогти зменшити кількість ложних спрацювань або пропусків при виявленні об'єктів.

У загальному, метод Нааг каскадів є потужним інструментом для виявлення об'єктів на зображеннях, але вимагає налагодження параметрів та врахування обмежень, щоб досягнути найкращих результатів в конкретному використанні.

YOLO (You Only Look Once) - це метод глибокого навчання для реального виявлення об'єктів в режимі реального часу. Він використовує одну нейронну мережу для виявлення об'єктів та класифікації на всьому зображенні одночасно, відмінно від інших методів, які використовують регіони та класифікацію на кожному регіоні окремо[3]. Це дозволяє досягти високої швидкодії виявлення об'єктів, роблячи його підходом відповідним для застосувань, де важлива висока швидкодія, такі як відеоспостереження, автономні автомобілі, взаємодія між людьми та машинами, тощо.

Дослідження виявило, що метод на основі правил може бути швидким, але має обмеження в детекції складних об'єктів. Наприклад, OpenCV Нааг каскади можуть бути ефективними для виявлення об'єктів зі структурованими характеристиками. З іншого боку, метод YOLO може досягти високої швидкодії розпізнавання за рахунок використання одного класифікатора для всього зображення.

Відповідно до результатів дослідження, вибір методу залежить від вимог до швидкодії та точності розпізнавання в конкретному застосуванні. Наприклад, якщо вимагається висока швидкодія детекції, така як у відеоспостереженні або автономних автомобілях, то YOLO може бути більш підходящим варіантом. У той же час, якщо важлива висока точність детекції, особливо для складних об'єктів зі структурованими характеристиками, то OpenCV Нааг каскади можуть бути кращим вибором.

Отже, вибір методу для виявлення об'єктів залежить від балансу між швидкістю та точністю, а також від особливостей конкретного застосування. Дослідження різних методів та порівняння їх результатів може допомогти визначити найбільш ефективний метод для конкретної задачі.

Список використаних джерел:

1. Прінц, В., & Ньютон, Е. (2015). Комп'ютерний зір: модерні підходи.
2. Viola, P., & Jones, M. (2001). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. Proceedings of the Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
3. Redmon, J. (2016) You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection.

УДК 004.932.4

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОПТИМАЛЬНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ШУМІВ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

Лавров О.Є.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Работягов А.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПП
м. Харків, Україна

тел. +38(067) 385-14-32, email: oleksandr.lavrov@nure.ua

This work is devoted to the evaluation of image filtering methods and their application to increase the accuracy of object recognition in photos. Additionally, this study seeks to evaluate the strengths and weaknesses of each noise-filtering method and identify the optimal filtering parameters for each method. By exploring these factors, this work aims to provide a comprehensive understanding of the advantages and limitations of each filtering method and to identify the most effective approach for increasing the accuracy of object recognition in photos.

Шуми на зображеннях можуть впливати на якість розпізнавання об'єктів на них. Шуми можуть спотворювати деталі зображення, зміщувати контраст та яскравість, створювати хибні контури та інші артефакти. Це може призвести до неправильної інтерпретації зображення, помилок у розпізнаванні об'єктів та погіршення точності роботи алгоритмів обробки зображень. Для підвищення точності розпізнавання об'єктів на зображеннях необхідно використовувати методи оптимальної фільтрації шумів, які дозволяють зменшити вплив шумів на якість зображення. Вибір найбільш ефективного методу оптимальної фільтрації шумів може залежати від конкретної задачі та властивостей зображення, тому потрібно проведення досліджень та аналізу різних методів з метою вибору найбільш придатного для конкретного завдання.

Вплив шумів на розпізнавання образів може бути критичним, особливо у завданнях комп'ютерного зору, де точність визначення об'єктів зображення є ключовим чинником для успішного виконання завдання.

Одним із методів оптимальної фільтрації шумів є усереднювальний фільтр. Цей метод полягає у тому, що кожен вихідний сигнал замінюється середнім значенням вхідних сигналів за деякий період часу. Це дозволяє зменшити вплив шумів та інших випадкових помилок на вихідний сигнал. Існують різні типи усереднювальних фільтрів, які відрізняються за способом обробки даних. Наприклад, фільтр простого ковзаючого середнього усереднює значення сигналу за останніх n часових точок, де n - це довжина вікна фільтра. Фільтр Експоненційного згладжування також використовує попередні значення сигналу, але при цьому враховує їх ваговий коефіцієнт, що зменшує вплив старих значень на поточне.

Іншим методом є використання впорядковуючих фільтрів. Вони засновані на порядкових статистиках, являють собою просторові фільтри, обчислення відгуку яких вимагає попереднього ранжування, тобто упорядкування значень пікселів, укладених усередині оброблюваної фільтром області S_{xy} зображення. Відгук фільтра визначається за результатами упорядкування і не може бути представлений у вигляді згортки. Найбільш відомим з фільтрів, заснованих на порядкових статистиках, є медіанний фільтр. Дія цього фільтра, як випливає з його назви, полягає в призначенні пікселю відновленого зображення з координатами (x, y) значення медіани впорядкованої множини значень яскравості з околиці S_{xy} оброблюваного зображення [1].

Розглянуті попередні методи застосовуються до зображення без урахування того, як властивості зображення змінюються від пікселя до пікселя. Результат роботи адаптивних фільтрів залежить від статистичних властивостей зображення всередині області дії фільтра, яка визначається прямокутною $(m \times n)$ околицею S_{xy} з центром в пікселі з координатами (x, y) . З роботи [2] відомо, що можливості адаптивних фільтрів перевершують можливості фільтрів, розглянутих раніше. Платою за удосконалення алгоритмів фільтрації є збільшення складності фільтрів, часу обробки зображення і числа параметрів, що задаються. Найпростішими характеристиками випадкової величини є її середнє значення і дисперсія. Середнє значення визначає міру середньої яскравості тієї області, по якій воно обчислюється, а дисперсія дозволяє оцінити міру відхилення яскравості в цій області. Ці параметри і беруться за основу при створенні адаптивного усереднюючого фільтра, оскільки їх величини тісно пов'язані із зовнішнім виглядом зображення.

Оптимальна фільтрація шумів є важливим етапом у багатьох застосуваннях обробки сигналів. Вибір підходящого методу залежить від вимог до точності та чутливості фільтрації, а також від характеристик вхідних даних та шуму.

Список використаних джерел:

1. Прэтт, У. (1982). Цифровая обработка изображений. Мир.
2. Гонсалес, Р., Вудс, Р. (2005). Цифровая обработка изображений. Техносфера.

УДК 004.93:004.032.6

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ У ВІДЕОПОТОЦІ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЛИБИННИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Лавошник І. О.

Науковий керівник – к.т.н., доц., Кобилін О.А.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,
м. Харків, Україна

тел. (057) 702-14-19, email: illia.lavoshnyk@nure.ua

This essay describes a study of the YOLOv3 architecture to train a deep neural network for object detection in video streams. It's accuracy is evaluated using precision, recall, and F1-score metrics, providing valuable information for optimizing the model for future use.

У сучасному світі зростає кількість відео, що генеруються, і вимагається автоматична обробка цих даних з метою підвищення ефективності та зниження витрат. Застосування глибоких нейронних мереж для розпізнавання об'єктів є однією з найбільш перспективних технологій в цій галузі.

Точність розпізнавання об'єктів у відеопотоці є критичним показником для різноманітних застосувань, таких як безпека, медицина, транспорт, реклама та інше.

Для дослідження було використано глибоку нейронну мережу, засновану на архітектурі YOLOv3 [1]. Для навчання мережі було використано датасет із 1000 зображень, де були вручну вказані об'єкти. Навчання та подальша робота з нейронною мережею YOLOv3 виконувались за допомогою бібліотеки Pytorch та мови програмування Python.

Для визначення точності нейронної мережі використовуємо наступні метрики: precision (точність), recall (запам'ятовування) та F1-оцінка, які обчислюємо за наступними формулами [2]:

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (1)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (2)$$

$$F1\ score = 2 * \frac{precision*recall}{precision+recall}, \quad (3)$$

де TP – кількість вірнопозитивних передбачень, FP – кількість хибнопозитивних передбачень, FN – кількість хибнонегативних передбачень.

Оцінка моделі за допомогою цих метрик може дати цінну інформацію про те, як модель працює при різних значеннях confidence threshold (порогу впевненості). (Рис. 1). Так само F1-оцінка є особливо корисною для визначення оптимальної впевненості, яка балансує значення точності та запам'ятовування для даної моделі. [3] (Рис. 2)

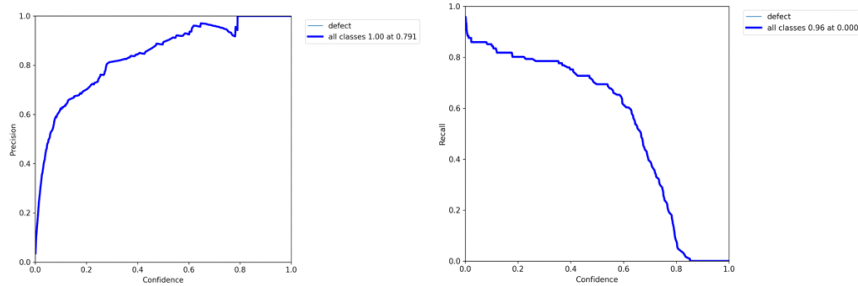


Рисунок 1 – метрики Precision та Recall моделі при різних рівнях Confidence

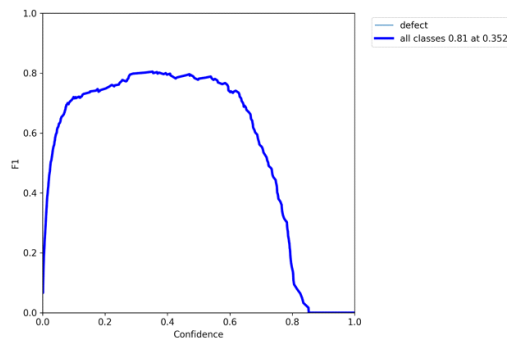


Рисунок 2 – F1-оцінка моделі при різних рівнях Confidence

На основі дослідження можна зробити висновок, що обрана модель надає результати задовільної точності для вирішення задачі розпізнавання об'єктів у відео потоці. Більш того, метрики, використані у дослідженні надають змогу оптимізувати модель для подальшого використання.

Список використаних джерел:

1. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R. and Farhadi, A. (2016) «You only look once: Unified, real-time object detection» in Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition.
2. Oguine, O. C., Oguine, K. J., Bisallah, H. I. and Ofuani, D. (2022). «Hybrid Facial Expression Recognition (FER2013) Model for Real-Time Emotion Classification and Prediction», arXiv.org. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2206.09509>.
3. Girshick, R. B., Donahue, J., Darrell, T. and Malik, J. (2013). «Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation» CoRR, vol. abs/1311.2524. URL: <http://arxiv.org/abs/1311.2524>.

УДК 004.932.2

РОЗРОБКА МЕТОДУ АНАЛІЗУ ГРАФІЧНОГО КОНТЕНТУ В ЕЛЕКТРОННІЙ КОЛЕКЦІЇ ТЕКСТОВИХ ДОКУМЕНТІВ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ПОШУКУ ПЛАГІАТНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Іщенко О.І.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Яковлева О. В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,
м. Харків, Україна

тел. (057) 702-14-19, email: oleksii.ishchenko@nure.ua

The work is devoted to developing a method of image analysis from collection of text documents. This system contains methods for getting images from a document and searching for similar images in the database. The method consists of the following steps: classification of input image type (picture or scheme), image conversion to vector, comparison of input image vector with vectors from database. The platform uses methods from AI and Computer Vision libraries and is based on Spring Framework. This system is a web application, so it shouldn't be downloaded to a device, and it can be used without special system requirement for users' devices.

В останні роки був здійснений великий прогрес у розвитку технологій у багатьох галузях. У даний список входять також наука та освіта. Це дало змогу зберігати різні джерела (книги, статті, атестаційні роботи тощо) в електронному вигляді та швидко отримати до них доступ шляхом пошуку цих матеріалів у різних ресурсах через мережу інтернет. Даний прогрес вирішив проблему оперативності пошуку потрібних матеріалів для вивчення, але створив нову – легкість отримання матеріалу за заданою темою може привести до збільшення кількості плагіату. Плагіат – це привласнення чужої роботи або її частини, а також використання чужої роботи у своїй без посилання на автора. Не вирішення проблеми плагіату зменшить швидкість розвитку технологій та приведе до створення наукових робіт з однаковим змістом.

Для вирішення цієї проблеми були створені сервіси, які аналізують роботу на наявність плагіату. За допомогою алгоритмів, дані сервіси перевіряють текст роботи та порівнюють її із прикладами. У якості прикладів представлені роботи, які були опубліковані раніше та могли використовуватися в якості зразку для написання поточної роботи. В результаті сервіс відповідає, на скільки унікальна дана робота (який відсоток тексту скоріш за все написала людина сама без вставки тексту з чужої роботи). Дані сервіси вносять великий внесок у якість освіти та науки, змушуючи не зловживати використанням чужих думок у власних роботах, але вони мають проблему. Такі популярні сервіси, як Duplichecker [1], Plagiarisma, Grammarly та Paperrater [2] аналізують тільки текстову частину документу, ігноруючи графічну. Тому актуальним питання є розробка методів щодо пере-

вірки графічної частини на плагіат.

Метод аналізу графічного контенту документів з електронної колекції дозволяє виявити особливості зображень певної колекції та розробити підхід для виявлення зображень, що є підозрілими на плагіат.

На початку роботи над аналізом графічного контенту необхідно із текстових документів зібрати всі графічні дані. Далі визначити тип зображень, тобто зображення відноситься до фотозображень, або до схем. Для реалізації такої класифікації був створений датасет із схем та фотозображень, та натренована нейронна мережа. Далі з зображень отримуються певні ознаки, щоб провести кластеризацію та згрупувати схожі зображення. На цьому етапі використовувалися гістограми, які було отримано із різних частин зображень. Також для кожного зображення збираються більш детальні ознаки – дескриптори ключових точок, які запропоновано використовувати для пошуку схожих зображень в межах кластеру. Запропонований метод аналізу графічного контенту дозволяє зібрати наступну інформацію:

- статистику за кількістю зображень в документах: максимальна/мінімальна кількість, середня кількість;
- відсоткове співвідношення кількості зображень за приналежністю до типу (схема/зображення);
- вектори ознак на основі гістограм та формування кластерів схожих зображень, статистику розподілу по кластерах;
- опис ключових точок зображень.

У якості тестової колекції текстових документів було вирішено використати наукові звіти та атестаційні роботи бакалаврів та магістрів.

Розроблений сервіс представляє собою веб-додаток, який був створений з використанням Spring Framework.

Таким чином, запропоновуваний метод щодо дослідження графічного контенту в електронних колекціях текстових документів дозволяє виявити зображення, що є підозрілі на плагіат у вже існуючих в електронних колекціях та розробити метод для перевірки на плагіат графічного контенту у нових документах, що тільки завантажуються до колекції. Додаток з реалізованим методом може існувати як самостійний сервіс, так і може бути інтегрований до інших сервісів аналізу документу на плагіат, видаючи в результаті рівень унікальності як і тексту, так і графічної частини документу.

Список використаних джерел:

1. Plagiarism checker: 100% free and accurate - duplichecker. (n.d.). (Retrieved April 14, 2023). URL: <https://www.duplichecker.com/>.
2. Proofread your writing with PaperRater's free online grammar and plagiarism checkers. (n.d.). (Retrieved April 14, 2023). URL: <https://www.paperrater.com/>.

**МАТРИЧНИЙ МЕТОД ОПОРНИХ ВЕКТОРІВ З АДАПТИВНИМ
КОМБІНОВАНИМ НАВЧАННЯМ АКТИВАЦІЙНОЇ ФУНКЦІЇ
В РАМКАХ ЗАДАЧІ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ**

Ревека К.І.

Науковий керівник – асистент Чала О.С.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІІІ,
м. Харків, Україна

тел. +38(050)22-86-192, email: katernyna.reveka@nure.ua.

In the article, we introduce an image recognition system that is based on least squares support vector machines with matrix inputs. Its distinctive features include not just the ability to process images in their initial matrix form without vectorization, but also that centers of activation functions are formed with the observations from the training set. The tuning procedure of the system is characterized by the combination of the supervised learning paradigm, «lazy» learning using the «neurons at data points» concept, T. Kohonen's self-learning, and learning vector quantization. Experimental results confirm the presented theoretical analysis.

На сьогоднішній день, серед існуючих проблем в сфері Інтелектуальної обробки даних, а також обчислювального інтелекту одною з найбільш актуальних на поточний момент є проблема розпізнавання образів, зображень.

Три найпопулярніші моделі машинного навчання розпізнавання зображень. SVM (Support Vector Machines), моделі набору функцій, як Scale Invariant Feature Transformation (SIFT) і Maximally stable extremal regions (MSER). Серед існуючих підходів, найбільш популярними є CNN, проте в них є суттєві недоліки, одним з яких є необхідність у великій кількості навчальних даних і потужності.

Для розглянутої задачі використання опорного вектора ефективною може бути машина (SVM) [1], яка оптимізує емпіричний критерій навчання ризику та коригує його параметри базується як на традиційному керованому навчанні, так і на концепція «нейронів у точках даних» [2]. Навчання SVM можна значно прискорити і звести до рішення систем лінійних рівнянь за допомогою так званих найменших квадратів Машини опорних векторів (LS-SVM) [3]. Ці нейронні мережі, які мають лише два шари обробки інформації: прихований рівень функцій активації ядра та вихідний рівень регульованих синаптичних ваг - дуже швидкі порівняно з класичними CNN, але зі збільшенням навчання обсяги даних, вони стикаються з обчислювальними проблемами, особливо в режимі онлайн.

В якості вхідних даних розглядаються розмічені вибірки, а функції активації – Гауссіани, які часто використовуються як функції активації в традиційних SVM і LSSVM.

Метод невизначених множників Лагранжа [4] використовується для вирішення проблеми оптимізації з урахуванням обмежень.

Цей підхід до навчання LS-SVM за умов коли дані надходять в онлайн-режимі, як дозволяє потік істотно спростити і прискорити налаштування зображення. Система розпізнавання SVM працює відносно добре, коли між класами є чітка межа поділу, є більш ефективним у великих просторах. ефективний у випадках, коли кількість вимірів перевищує кількість вибірок. SVM також відносно ефективно використовує пам'ять

Результати

Алгоритм	Точність	Функція ядра
CNN	83.46	-
SVM	95.03	RBF
LSSVM	96.81	Gaussian
LSSVM	99.44	Polynomial
LSSVM	97.93	Linear

Результати комп'ютерного моделювання свідчать про ефективність запропонованої системи при вирішенні задач розпізнавання образів з хорошою точністю і швидкістю в умовах обмежених навчальний набір даних, обробка зображень в онлайн-режимі. Ефективність системи доведена саме на малому набори даних. Однак зі збільшенням кількості навчальні спостереження, глибокі нейронні мережі мають незаперечна перевага.

Список використаних джерел:

1. Steinwart and A. Christmann, Support Vector Machines. New York: Springer. (2008).
2. Vandewalle, J., Moor, B. D., Gestel, T. V., Brabanter, J. D. and Suykens, J. A. K. (2003). Least Squares Support Vector Machines. World Scientific Publishing Company.
3. Poliak, B. T. (1987). Introduction to optimization. New York: Optimization Software, Publications Division.
4. Arrow, K. J., Hurwicz, L. and Uzawa, H. (1958). «Studies in Linear and Nonlinear Programming», Stanford University Press.

РОЗРОБКА ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДГОТОВКИ СПОРТСМЕНІВ

Гончарова О. В.

Науковий керівник – к.н.т., доц. Кобилін О. А.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф ІНФ
м. Харків, Україна

тел. (057) 702-14-19, email: oksana.honcharova@nure.ua

This work is devoted to the development of an application for analyzing effectiveness of training athletes. The developed system consists of a user module, a parameter calculation module and a training analysis module. The task of the system is building a formula for each workout. The user can fill in their own parameters, such as height, weight, etc., select a sport activity and their training goal. The system, in turn, will develop an ideal plan and analyze it. To implement the system were used Java programming language and the JavaFX framework.

У сучасному світі, де спортивні змагання та події з кожним роком набувають популярності та повсякчасної можливості доступу до записів змагань та ігор, фізична підготовка стає надзвичайно важливою для досягнення успіху та визнання в спортивній галузі. Ефективність підготовки спортсменів залежить від багатьох факторів, таких як вікова категорія, тривалість та інтенсивність тренувань, раціональність харчування, медичні показники і тощо. Один з ключових аспектів успішної підготовки атлетів – це моніторинг їхньої ефективності та результативності. Цей процес необхідно проводити на постійній основі, щоб мати змогу адаптувати тренувальні програми та стратегії до потреб та можливостей кожного спортсмена.

Наразі існують різноманітні застосунки та програми задля аналізу факторів для планування тренувань, які базуються на зборі та аналізі даних про тренування, змагання, результатів фізичних вимірювань та інших параметрів. Найпопулярнішими подібними платформами є Sportlyzer, TrainingPeaks, AthleteMonitoring і Strava.

У ході аналізу застосунків було виявлено декілька проблем: усі вони платні та мають високу вартість підписки, а безкоштовні версії мають дуже обмежений функціонал. У платформах TrainingPeaks, AthleteMonitoring є проблеми з розумінням інтерфейсу, а саме вони складні для новачків та спрямовані на професійних користувачів. Також можна відмітити, що статистика за більшістю аналогів для аналізу спортивних досягнень вираховується за одним певним параметром, але мало де можна зустріти загальну оцінку тренувального прогресу. Саме тому актуальним є розробка застосунку, який буде мати широкий спектр функціоналу для різних видів спорту та оцінку тренувального прогресу, як для користувача, так і для команди. Робота присвячена створенню системи для аналізу тре-

нувань, особлива увага приділяється розширенню функціоналу вже існуючих систем, та спростуванні інтерфейсу, щоб він був інтуїтивно зрозумілим. Тобто, система складається з трьох модулів, а саме: модулю користувача, розрахунків параметрів та аналізу тренувань.

Розроблений застосунок є прототипом, саме тому він має п'ять видів спорту для підготовки до змагань. Для кожного користувача необхідно визначити метрики, що будуть використані для оцінки прогресу:

- кількість повторень, вага, час або дистанція.
- виставлення коефіцієнтів для параметрів. Коефіцієнти можуть використовуватись для корекції обчислень залежно від виду спорту, бути позитивними і негативними, використовуватись як для збільшення, так і для зменшення прогресу підготовки.

- розрахунок формули для кожного тренування, яка буде відрізнятись залежно від мети, тобто якщо мета підготуватись до змагань, то формула буде орієнтована на показники швидкості, витривалості спортсмена, тощо.

Застосунок розроблений за допомогою мови програмування Java та фреймворку JavaFX. Його перевагою є мультиплатформенність, тобто додатки, створені з використанням фреймворку JavaFX будуть однаково працювати на різних операційних системах, таких як Windows, macOS, Linux та мобільні пристрої.

Таким чином, запропонована система аналізу ефективності підготовки спортсменів дозволяє користувачу та/або команді відстежувати власний прогрес для створення системи тренувань та розуміння пробілів у тренуванні. Для подальшого розвитку системи можна додати варто додати підтримку іноземних мов, інших видів спорту та ввести розрахунок норм калорій для кожного з видів спорту, виходячи з параметрів користувача та його побажань у фігурі. Також можна додати відстеження кількості кроків, та витрачених калорій.

Список використаних джерел:

1. Sportlyzer. URL: <https://www.sportlyzer.com/en/>
2. TrainingPeaks. URL: <https://www.trainingpeaks.com/>
3. AthleteMonitoring. URL: <https://www.athletemonitoring.com/>
4. Strava. URL: <https://labs.strava.com/>

КВАНТОВА ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ

асп. Гальченко К.Р.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Кобилін О.А.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,

м. Харків, Україна

тел. +38(095)5973381, email: kyrylo.halchenko@nure.ua

Quantum image processing (QIP) is a research branch of quantum information and quantum computing. It studies how to take advantage of quantum mechanics' properties to represent images in a quantum computer and then, based on that image format, implement various image operations. Due to the quantum parallel computing derived from quantum state superposition and entanglement, QIP has natural advantages over classical image processing. But some related works misuse the notion of quantum superiority and mislead the research of QIP. In this work, represented the reasons for this judgment and dwell on the challenges for this opportunity in the era of NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum).

Відтоді, як концепція квантових обчислень була запропонована Фейнманом у 1982 році [1], досягнення багатьох геніїв показали, що квантові обчислення різко підвищили ефективність обчислень. Теорія для реалізації квантових обчислень майже готова; проблема реалізації універсальних квантових обчислень в основному пов'язана з технічними питаннями, такими як маніпулювання великомасштабними кубітами [2]. В останні роки, з послідовними проривами у квантових технологіях, квантові обчислення вступили в еру NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum - зашумлений квант середнього масштабу), коли вважається, що вони готові продемонструвати "квантову перевагу" в деяких практичних сферах застосування [3].

Серед цих додатків квантова обробка зображень (тут в основному мається на увазі класифікація і розпізнавання зображень), швидше за все, стане "вбивчим застосунком" в найближчому майбутньому і, з комерційних міркувань, улюбленим для великих компаній. Деякі нові роботи вже досягли значного прогресу – у 2021 р. описали метод навчання карти від класичних даних до квантових станів (максимізація розриву між відображеними класами у гільбертовому просторі), який здатен розрізняти зображення комах. Чи перевершує цей метод класичне розпізнавання зображень, невідомо, але він показує великий потенціал квантового розпізнавання зображень.

Окрім класифікації та розпізнавання зображень, квантова обробка зображень (QIP) передбачає використання квантових властивостей для представлення, маніпулювання, стиснення та вирішення інших питань, пов'язаних із зображеннями у квантовому комп'ютері. Квантові властивості призводять до вищої ефективності представлення та маніпулювання зобра-

женнями у квантовому контексті, але також спричиняють проблеми, які не існують у класичному середовищі. Наприклад, представляючи зображення за допомогою квантових станів, не можна реплікувати зображення, оскільки квантові стани підкоряються принципу неклонування.

Відсутність або неправильний спосіб вирішення цих питань у деяких опублікованих роботах призводить до великих суперечок. Деякі вчені навіть вважають QIP "квантовою містифікацією". Не всі класичні операції з зображеннями придатні для реалізації у квантовій сфері. Тим не менш, відзначаються галузеві дослідження QIP, які можуть максимізувати квантову перевагу і послабити або навіть усунути ці неприємності, що впливають з квантових властивостей. Порівняно з класичною обробкою зображень, квантова обробка зображень далека від достатньої як за глибиною, так і за шириною. «Квантова перевага», про яку стверджується в деяких відповідних опублікованих роботах, також піддається сумніву багатьма вченими; суть цих сумнівів полягає в тому, "як отримати результати квантової обробки зображень ефективно і точно". Ці дослідження намагаються отримати результати роботи з квантовими зображеннями шляхом відновлення класичних зображень за допомогою вимірювань, які не мають практичного значення.

Навпаки, дослідження, які використовують лише статистичні характеристики квантових зображень, можуть бути цінними. За допомогою квантового машинного навчання квантова класифікація і розпізнавання зображень стає рішенням у реальній комерційній сфері в епоху NISQ.

Не всі класичні маніпуляції із зображеннями необхідно реалізовувати на квантовому комп'ютері. Чи гідні геометричні перетворення зображень, перетворення кольорів та інші подібні операції бути реалізованими у квантовій сфері – залежить від сценарію застосування. Тобто, ці види операцій з квантовими зображеннями мають сенс, лише доводячи, що вони є проміжними кроками до кінця, а не кінцевою метою.

Список використаних джерел:

1. Feynman, R. P. (1982). Simulating physics with computers. International Journal of Theoretical Physics. URL: <https://doi.org/10.1007/bf02650179>
2. Jaeger, L. (2018). Quantum revolution 2.0: When nanobots and quantum computers become part of our everyday lives. У The second quantum revolution. Springer International Publishing. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-98824-5_27
3. Preskill, J. (2018). Quantum Computing in the NISQ era and beyond. Quantum, 2, 79. URL: <https://doi.org/10.22331/q-2018-08-06-79>

РОЗРОБКА СЕРВІСУ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ДІЙ УЧАСНИКІВ КОНФЕРЕНЦІЇ ZOOM

Єременко І. О.

Науковий керівник – к. т. н., доц. Яковлева О. В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ
м. Харків, Україна

тел. (057) 702-14-19), email: ivan.ierehenko@nure.ua

The work is devoted to the development of students' actions and status monitoring service in a Zoom conference. This system uses C++ Zoom SDK module, which provides frames from the conference. Python module with OpenCV library is responsible for face detection task, also OpenCV is used for converting YUV420 format of Zoom frames into more common RGB format. The task of person verification and emotion analysis is solved using DeepFace library. C# is used to display results and record statistics.

Наразі Zoom є одним з лідируючих сервісів відеоконференцій, але для зручного використання у навчальному процесі не вистачає багатьох речей, які викладачу бажано мати під час онлайн навчання: верифікація учасників, контроль їх часу під'єднання та від'єднання від конференції, фіксування кількості разів піднятої руки, емоційного стану студентів. Тому метою роботи є впровадження перелічених вище функцій.

Найпростішими з перелічених функцій в реалізації є контроль часу під'єднання, від'єднання від конференції та фіксація кількості разів піднятої руки: Zoom Video SDK надає відповідні події.

Верифікація студентів на основі їх зображень, заздалегідь збережених в базу даних і аналіз емоцій проводиться протягом усієї відеоконференції з певними інтервалами. При невдалій верифікації викладач повідомляється для того, щоб він перевінив чи той студент присутній на відеоконференції.

Для верифікації та оцінки емоційного стану учасника конференції першим ділом виконується детектування обличчя, присутнього на зображенні. Детектування реалізовано за допомогою бібліотеки OpenCV. OpenCV налічує декілька детекторів облич: Haar Cascade Classifier, Deep Neural Network (DNN), Histogram of Oriented Gradients (HOG), Single Shot MultiBox Detector (SSD). Haar є доволі швидким, але не дуже точним, особливо, коли обличчя розташоване в профіль, або відхилене під іншим кутом, що не підходить для довгих відеоконференцій. DNN є більш точним, але буває повільнішим у виконанні через велику кількість обчислень. HOG базується на аналізі градієнтів зображення та побудові орієнтованих гістограм з цих градієнтів, що дозволяє йому бути швидшим за DNN, але менш точним. Для нашої системи був обраний один з найточніших та найшвидших: SSD, що використовує глибинну нейронну мережу. Навчання моделі SSD з нуля вимагає багато даних, тому була використана попередньо навчена модель від OpenCV, а саме: Caffe Face Detector Model. Після вияв-

лення обличчя на зображенні воно передається на перевірку, яка в свою чергу відбувається за допомогою бібліотеки DeerpFace. Спочатку завантажується передбачувальна модель розпізнавання облич ArcFace, яка була навчена на датасеті VGGFace2. VGGFace2 складається з більше ніж 3.3 мільйонів зображень облич з більш ніж 9000 осіб, цей датасет був створений для задачі розпізнавання облич. Модель використовується для вилучання характеристик з облич та представляє їх у вигляді векторів. Перед перетворенням облич у вектори вони вирівнюються. Також DeerpFace зазвичай перш за все проводить детектування, але ми не використовуємо цю функцію, так як заздалегідь виявляємо обличчя самі. Результатом є обчислення косинусної подібності між отриманими векторами характеристик – міра того, наскільки схожі ці два вектори. По цьому значенню визначається наскільки схожі два вхідні обличчя.

Аналіз емоцій відбувається по схожому принципу: будуються числові вектори, що відображають ознаки обличчя, потім вони порівнюються з зваженими середніми значеннями оцінок емоцій, які були отримані за допомогою Convolutional Neural Network (CNN). Ця нейронна мережа була навчена на датасеті AffectNet [1] зображень облич з такими емоціями: здивування, злість, огида, страх, смуток, щастя, погіршення настрою так нейтральність. AffectNet містить більше 1 мільйона зображень.

Побудована система складається з модуля C++ Zoom SDK, який надає кадри з конференції. Модуль Python з бібліотекою OpenCV відповідає за задачу детектування облич, також OpenCV використовується для перетворення кадрів YUV420, які надає Zoom, у більш поширений формат RGB. Задача верифікації особи та аналізу емоцій вирішується за допомогою бібліотеки DeerpFace. Для відображення результатів та запису статистики застосовано C#.

Використання розробленої системи в навчальному процесі допоможе викладачу як під час проведення заняття, так й надасть змогу зібрати статистику щодо проведених занять на протязі семестру, наприклад, присутність, активність, емоційна складова. Зібрана моніторингова інформація може бути корисною для подальших досліджень взаємодії поведінки студентів під час навчання та їх кінцевим рівнем знань.

Список використаних джерел:

1. Mollahosseini, A. (2017). FfectNet: A Database for Facial Expression, Valence, and Arousal Computing in the Wil. Retrieved April 12, 2023, from <https://doi.org/https://arxiv.org/pdf/1708.03985.pdf>.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОЇ ВІДЕОФІКСАЦІЇ ЗА ОЗНАКАМИ РУХУ

Шевченко С. О.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Бовчалюк С. Я.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ЕОМ
м. Харків, Україна

(098)8928902, email: stanislav.shevchenko@nure.ua

The system of automatic video recording based on signs of movement is a video surveillance system that records video only if motion is detected in the frame. Comparison of the automatic video recording system based on movement signs with the standard video recording system. Strengths and weaknesses of such a system compared to a standard video recording system. Possible ways to optimize the disadvantages of the automatic video recording system based on traffic signs. Which of the video recording systems is better and why, which system should be chosen.

Класичним підходом до побудов систем відеоспостереження є побудова системи, що записує відео цілодобово, незалежно від наявності руху в кадрі. Це дозволяє зберігати записи на всі часові інтервали, що може бути корисним у випадку, якщо потрібно повернутися до певної події. Але таким системам притаманні як переваги, так і низка недоліків. Згадаємо лише основні з них. Основною перевагою є простота побудови, основним недоліком – необхідність значного об'єму пам'яті для збереження відеозапису.

Система відеоспостереження, що записує відео тільки при виявленні руху в кадрі, починає процес запису тільки при наявності руху в кадрі. Це дозволяє економити місце на жорсткому диску і спрощує пошук цікавих користувачеві моментів у записі. Однак, в таких системах може бути пропущено деяку кількість подій, які не були зафіксовані детектором руху. Така система може бути використана в різних місцях, таких як будинки, офіси, магазини тощо. Основною перевагою такої системи є її економічність і ефективність. Замість того щоб записувати відео цілодобово, система починає записувати тільки в тому випадку, якщо в кадрі є рух, що дозволяє скоротити використання сховища і економити витрати на енергоспоживання. Також, це дозволяє швидко виявляти можливі інциденти або незвичайні події, що підвищує ефективність системи. Однак, є і деякі мінуси у використанні такої системи. Система може пропустити важливі деталі або інформацію, якщо рух не зафіксовано у кадрі. Це може статися, якщо рух відбувається занадто швидко або знаходиться поза кадром. Крім того, система може зафіксувати помилкові спрацьовування, такі як рух дерев або тварин, що може призвести до втрати ресурсів і часу на їх аналіз.

Для оптимізації та зменшення кількості помилкових спрацьовувань системи відеоспостереження, що записує відео тільки в разі виявлення руху в кадрі, можна використовувати різноманітні методи і підходи, серед яких згадаємо наступні:

1) Налаштування чутливості детектора руху. Система відеоспостереження може мати налаштування чутливості детектора руху, що можуть бути змінені, щоб зменшити кількість помилкових спрацьовувань. Це можна зробити, налаштувавши чутливість на нижчий рівень або налаштувавши ділянки оглядового простору, на яких детектор повинен шукати рух;

2) Використання аналізу зображень. Система відеоспостереження може використовувати аналіз зображень, щоб визначити, чи є рух у кадрі реальним чи хибним. Це можна зробити, перевіривши розмір об'єкта, швидкість руху та інші характеристики руху;

3) Використання додаткових датчиків. Для зменшення кількості помилкових спрацьовувань системи відеоспостереження можна використовувати додаткові датчики, такі як датчики звуку або тепла. Це допоможе системі відрізнити реальні події від помилкових спрацьовувань;

4) Використання штучного інтелекту. Деякі сучасні системи відеоспостереження використовують штучний інтелект для аналізу та визначення реальних подій. Це дозволяє системі швидко і точно виявляти і реагувати на можливі проблеми.

В цілому, система відеоспостереження, що записує відео тільки в разі виявлення руху в кадрі, є ефективним і економічним рішенням для забезпечення безпеки і моніторингу різних місць. Однак, при її використанні необхідно враховувати можливі обмеження і обмеження в детектуванні руху.

Таким чином, обидві системи мають свої переваги і недоліки, але саме побудова системи автоматичної відеофіксації за ознаками руху, на погляд автора, є найбільш перспективною.

Список використаних джерел:

1. Голосовкер Я. Э. Будущее систем видеонаблюдения: многокамерное сопровождение. URL: <http://synesis.ru/blog/article/budushheesistem-videonablyudeniya:-mnogokamernoe-soprovozhdenie>.

2. Пескин А. Е. (2016). Системы видеонаблюдения. Основы построения, проектирования и эксплуатации / А. Е. Пескин. М: Горячая линия, Телеком, 256 с.

3. SECUR, СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ. Інтерв'ю з експертом відеоспостереження в Україні та світі. Взято 12 квітня 2023 року. URL: https://secur.ua/articles/ua_interv-39-ju-z-ekspertom-videosposterezhennja-v-ukraini-ta-sviti.html

РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕДУРИ АУТЕНТИФІКАЦІЇ ЛЮДИНИ НА БАЗІ FACE ID

Писаренко С. В.

Науковий керівник – к.т.н., доцент Бовчалюк С. Я.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ЕОМ
м. Харків, Україна

+38(066) 616-49-28, email: stanislav.pysarenko@nure.ua

This work is devoted to the implementation of face id for the platform implemented on fastapi. Face id is implemented using a library based on 2 neural networks. The first recognizes the face in the photo, the second generates a 128-dimensional vector for each face. The vectors are stored in the database, and with the help of the FAISS library, the vector with the closest value to the input vector is found.

Для розв'язання задачі Face ID ключовими моментами є розпізнавання обличчя та аутентифікація. Для розпізнавання обличчя використовується алгоритм HOG – гістограма орієнтованих градієнтів (рисунок 1). Ідея полягає у наступному – визначити, наскільки темним є поточний піксель у порівнянні з пікселями, які безпосередньо його оточують, потім зобразити стрілку, що показує, в якому напрямку зображення стає темнішим. [1, 3].

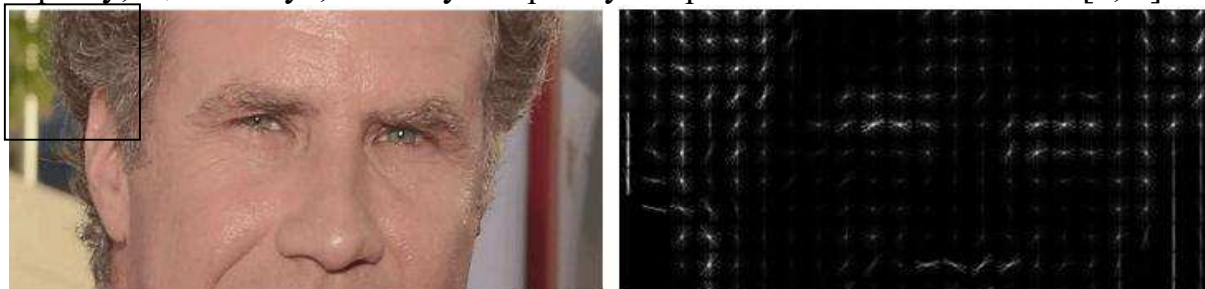


Рисунок 1 – Оригінальне зображення та його представлення НОГ

Розглянемо процедуру визначення градієнту яскравості. Векторна величина, що вказує напрямок і інтенсивність зміни яскравості на зображенні визначається наступним чином:

$$G_x = I(x+1, y) - I(x-1, y) \quad G_y = I(x, y+1) - I(x, y-1), \quad (1)$$

де G_x та G_y – горизонтальний та вертикальний градієнти яскравості в точці (x, y) , а I – яскравість зображення у точці (x, y) .

Обчислення магнітуди градієнта та орієнтації кожного пікселя на зображенні:

$$Mag(x, y) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad Ori(\theta) = \left| \tan^{-1}(G_y / G_x) \right|$$

$$Angle(\theta) = \left| \tan^{-1} \sqrt{G_y^2 - G_x^2} \right|$$

У подальшому, щоб знайти обличчя на зображенні HOG, потрібно знайти частину нашого зображення, яка виглядає найбільше схожою на шаблон HOG, що було побудовано з багатьох інших зображень обличч з навчального датасету. Використовуючи цю техніку, тепер є можливість знаходити обличчя на будь-якому зображенні.

Процедуру аутентифікації можна реалізувати наступним чином: попередньо навчена нейронна мережа ResNet слугує як feature extractor, тобто знявши останній шар – отримуємо ембедінг зображення, потім додається ще повнозв'язний шар та функція втрат. Ембедінг – по суті вкладення, тобто нейромережу можна розглянути, як функцію, що вкладає один простір в інший. Наша мета – натренувати нейромережу, що вихідний простір зображення переведе в n -вимірний простір, у якого є властивості, такі що семантично схожі об'єкти будуть знаходитися локально близько один до одного.

Для реалізації нашої мети використаємо інструмент metric learning з набором так званих лосс-функцій. Однією з найпопулярніших лосс-функцій, є Triplet loss. Розглянемо саму процедуру її роботи.

На кожній ітерації беруться 3 зображення (anchor, positive, negative). Triplet loss мінімізує відстань між двома зображеннями однієї людини (anchor, positive) та максимізує відстань між фотографіями різних людей (anchor, negative). Для зберігання ембедінгів використовується база даних. Із зображення яке прийшло для аутентифікації «виділяється» ембедінг та за допомогою бібліотеки FAISS йде пошук найближчого сусіда по базі на основі метрики cosine similarity. Тобто скалярний добуток векторів, поділений на добуток їх довжин.

Таким чином ми можемо побудувати працездатну систему для аутентифікації людини. Вона може бути використана для невеликої кооперації людей, наприклад в якійсь локальній мережі, де помилка не буде критичною, оскільки точність будь якої нейромережі не є стовідсотковою.

Список використаних джерел:

1. Yaniv Taigman, Ming Yang, Marc'Aurelio Ranzato, Lior Wolf DeepFace: Closing the Gap to Human-Level Performance in Face Verification,. URL: https://www.cs.toronto.edu/~ranzato/publications/taigman_cvpr14.pdf.
2. Florian Schroff, Dmitry Kalenichenko, James Philbin FaceNet: A Unified Embedding for Face Recognition and Clustering. URL: <https://arxiv.org/abs/1503.03832>.
3. Navneet Dalal and Bill Triggs Histograms of Oriented Gradients for Human Detection. URL: <https://hal.inria.fr/inria-00548512v1/document>
4. Mrinal Tyagi HOG (Histogram of Oriented Gradients): An Overview. URL: <https://towardsdatascience.com/hog-histogram-of-oriented-gradients-67ecd887675f>

УДК 004.932.4:004.032.6

ПРО ОСОБЛИВОСТІ КЛАСИФІКАЦІЙ ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Бордюг Д.Є.

Науковий керівник – д.т.н., проф. Смеяков К. С.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ШІ,
м. Харків, Україна

тел. (096) 482-21-50 email: dmytro.bordiuh@nure.ua

Nowadays, technologies are developing and do not stand in one place. Consider the methods by which you can recognize a particular object in a photo. For this, piece intelligence will be used.

Зараз в наш час набуває дуже великої популярності використання штучних нейронних мереж та і взагалі штучного інтелекту в багатьох сферах суспільства. Особливої актуальності потребує уваги задача класифікації різних видів інформації. Зокрема, це такі як класифікація зображень за допомогою згорткових нейронних мереж.

Згорткова нейронна мережа (CNN) - це клас глибинних мереж прямого поширення, складених з одного чи більше згорткових шарів, із повно з'єднаними шарами (що відповідають шарам звичайних ШНМ) на верхівці. Він використовує зв'язані ваги та шари агрегування. Зокрема, за згортковою архітектурою часто організовують максимізаційне агрегування. Ця архітектура дозволяє ЗНМ отримувати користь від двовимірної структури вхідних даних [1].

Згорткова нейронна мережа за рахунок застосування спеціальної операції – згортки, дозволяє водночас зменшити кількість інформації, що зберігається в пам'яті інформації, за рахунок чого краще справляється з картинками більш високої роздільної здатності, і виділити опорні ознаки зображення, такі як ребра, контури або грані. На наступному рівні обробки з цих ребер і граней можна розпізнати повторювані фрагменти текстур, які далі можуть скластися в фрагменти зображення [2].

Кожен шар згорткової нейронної мережі може використовувати власне перетворення. Наприклад, якщо на перших шарах межа панує такими поняттями як «ребра», «грані» та т.п, то далі йде наступним поняттям «текстура» та «частини об'єктів». Після цього в результаті такого опрацювання можемо зручно та правильно класифікувати зображення або виділити потрібний об'єкт на кінцевому етапі.

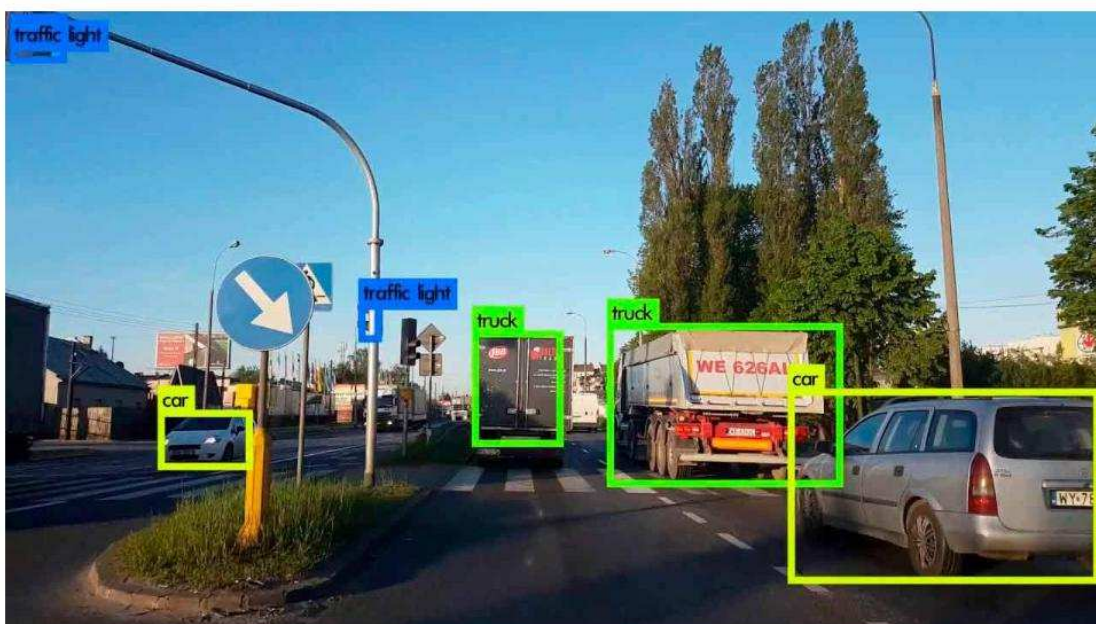


Рисунок 1 – Приклад роботи згорткової нейронної мережі

Класифікація зображень може складатися з наступних етапів:

- Підготовка даних;
- Первинна обробка зображення (видалення шуму, корекція а саме технології які використовуються в них);
- Виявлення важливих характеристик;

Отже, особливістю згорткової нейронної мережі полягає в тому, що нейрони перших рівнів впорядковані в структуру, де нейрони перших шарів розбиті на зображення певного розміру, які в середині одного шару відповідають нейронам іншого типу тим самим реагуючи на різні особливості зображень.

Список використаних джерел:

1. Штучні та згорткові нейронні мережі. URL: https://www.wiki-data.uk-ua.nina.az/Штучна_нейронна_мережа.html#Згорткові_нейронні_мережі (дата звернення 12. 04. 2023).
2. Convolutional Neural Networks. URL: <https://codeguida.com/post/1400> (дата звернення 13. 04. 2023).

ЗАСОБИ САМОНАВЧАННЯ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

Клінов В. О.

Науковий керівник – д.т.н, професор Гороховатський В. О.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,
м. Харків, Україна

тел. +38(057) 702-14-19, email: viacheslav.klinov@nure.ua

The paper researches methods of structural image classification based on self-learning in the feature space represented by a set of keypoint descriptors. Experiments have been conducted by using the Kohonen network for training and classification in a database of four images, and the effectiveness of self-learning implementation has been confirmed.

Штучні нейронні мережі (ШНМ) набули прикладної популярності у сфері комп'ютерного зору [1-3]. Актуальним є напрям навчання ШНМ на основі самонавчання, перевагою якого є відсутність потреби в інформації про бажаний вихідний сигнал. Рішення про клас об'єкту приймається з огляду на виявлені закономірності у множині ознак описів еталонів. У результаті навчання опис еталону може бути представлено одним або кількома центрами даних, що значно пришвидшує класифікацію [1, 4].

Опис зображення подається у вигляді множини дескрипторів ключових точок (КТ) $Z = \{Z^i\}_{i=1}^I$. Детектором КТ нами обрано метод ORB (Oriented FAST and rotated BRIEF), спираючись на аналіз у [2, 4].



Рисунок 1 – Приклад зображення та його координати КТ

Для навчання обрано мережу Кохонена за правилом «Winner Takes All» [1], згідно з яким корегується тільки нейрон-переможець з індексом c , який має мінімальну відстань d до вхідного сигналу x :

$$c = \underset{i}{\operatorname{argmin}} \{d(x, m_i)\}, \quad (1)$$

$$m_c(t+1) = m_c(t) + \alpha(t)(x - m_c(t)), \quad (2)$$

де $d(x, m_i)$ – метрика у просторі векторів, $\alpha(t)$ – коефіцієнт навчання, m_c – вектор ваг нейрону, t – крок навчання.

Застосовано обернено пропорційний закон для визначення коефіцієнта швидкості навчання за формулою:

$$\alpha(t) = \left(1 - \frac{t}{T}\right) * \alpha_0, \quad (3)$$

де T – кількість ітерацій, α_0 – початкове значення коефіцієнту.

Критерієм зупинки навчання обрано фіксовану кількість ітерацій. Для оцінювання результативності класифікації дескрипторів застосовано критерій Accuracy – частка правильно класифікованих дескрипторів еталону. Рішення про клас зображення приймається за максимумом голосів, розподілених між дескрипторами за кожен клас.

У результаті експерименту для бази із чотирьох зображень було встановлено, що за кількістю правильно класифікованих дескрипторів коефіцієнт Accuracy становить у середньому 0,406, що пояснюється близькістю центроїдів описів, проте за максимумом голосів на клас кожне еталонне зображення класифіковано правильно.

При ініціалізації нейронів квантованим середнім значеннями бітів еталону час навчання скоротився з 50 до 38 секунд [1]. Модель квантування:

$$m_j(b) = \begin{cases} 1, & \sum_{d=1}^{s(j)} x_d(b) \geq s(j)/2 \\ 0, & \sum_{d=1}^{s(j)} x_d(b) < s(j)/2 \end{cases}, \quad x_d \in Z^j, b = 1, \dots, 256, \quad (4)$$

де $m_j(b)$ – біт із номером b вектору ваг нейрона із номером j ; $s(j)$ – кількість дескрипторів j -го зразка; $x_d(b)$ – біт із номером b дескриптора та центру.

У ході дослідження встановлено, що для 4-х еталонів оптимальна конфігурація мережі досягається при 100 ітераціях та при початковому значенні $\alpha_0 = 0.3$. При даних значеннях всі зображення було віднесено до свого класу. Для покращення якості можна застосувати системи центрів для кожного класу та фільтрацію множини дескрипторів [4].

Список використаних джерел:

1. Gorokhovatskyi V., Tvoroshenko I. (2020) Image Classification Based on the Kohonen Network and the Data Space Modification. In CEUR Workshop Proceedings: Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2020). 2608. pp. 1013-1026.
2. Daradkeh, Y.I., Gorokhovatskyi, V., Tvoroshenko, I., Zeghid, M. Tools for Fast Metric Data Search in Structural Methods for Image Classification, IEEE Access, 2022, 10, pp. 124738-124746.
3. Gorokhovatskyi V.A., Zamula A.A. (2016) Employment of Intelligent Technologies in Multiparametric Control Systems. Telecommunications and Radio Engineering. Vol. 75, No 19, p. 1775-1785.
4. Сучасні підходи до розв'язання задач комп'ютерного зору / Р.М. Тимчишин, О.Є. Волков, О.Ю. Господарчук, Ю.П. Богачук // Управляючі системи і машини. 2018. № 6. С. 46-73.
5. Гороховатський В.О., Гадецька С.В., Стяглик Н.І., Власенко Н.В. (2020) Класифікація зображень на підставі ансамблю статистичних розподілів за класами еталонів для компонентів структурного опису. Радіoeлектроніка, інформатика, управління, №4, с. 85-94.

NORMALIZATION AND IMAGE RECOGNITION MODELS USING PYTORCH

Novikov R. K.

Supervisor – Doctor of technical sciences, Professor of the Department of Informatics Mashtalir V. P.

Kharkiv National University of Radio Electronics, Department of Software Engineering

Kharkiv, Ukraine

tel. +38(057) 702-10-13, email: ruslan.novikov@nure.ua

Image recognition models have become an integral part of computer vision applications. The performance of these models largely depends on the quality of input data. Normalization is a crucial preprocessing step that ensures consistency and improves the performance of image recognition models. In this paper, we explore the use of normalization techniques in conjunction with PyTorch, a popular deep learning framework, to enhance the accuracy of image recognition models [1].

Image recognition has been a subject of research for several years, with deep learning models being used to achieve state-of-the-art results. However, the accuracy of these models is dependent on various factors such as input data quality, model architecture, and preprocessing techniques [2]. One such preprocessing technique is normalization, which standardizes the input data and reduces the impact of feature scaling. In this paper, we focus on the role of normalization in improving the accuracy of image recognition models using PyTorch.

PyTorch is a popular deep learning framework that provides an efficient implementation of normalization techniques. We provide a step-by-step guide to implementing mean subtraction, standardization, and min-max scaling in PyTorch. We also discuss the use of PyTorch's transforms module for data augmentation and normalization [3]. We first describe the dataset used for our experiments, which is the CIFAR-10 dataset consisting of 60,000 32x32 RGB images in 10 classes. We then explore the role of different normalization techniques such as Batch Normalization, Instance Normalization, and Layer Normalization in improving the accuracy of image recognition models. We implement these techniques using PyTorch and compare their performance on the CIFAR-10 dataset. Standardization is another normalization technique that involves scaling the pixel values to have zero mean and unit variance. This technique is particularly useful when the pixel values in the input data have different ranges. Standardization can also help to reduce the impact of outliers in the input data. In PyTorch, standardization can be implemented using the transforms module by calculating the mean and standard deviation of the pixel intensities across all the images in the dataset [4].

Our experiments demonstrate that normalization techniques significantly improve the accuracy of image recognition models. Among the three normalization techniques, Batch Normalization outperformed the other two in terms of accuracy. Our results also show that the use of PyTorch makes it easy to implement and compare different normalization techniques, providing a convenient platform for experimentation in image recognition tasks. We trained three different models using the same architecture: a basic model with no normalization layers, a model with batch normalization layers, and a model with instance normalization layers. We trained each model using the same hyperparameters for 100 epochs and recorded the training and validation accuracies at each epoch.

Our experimental results showed that both the batch normalization and instance normalization models achieved significantly higher validation accuracies than the basic model with no normalization. Furthermore, the batch normalization model outperformed the instance normalization model with a validation accuracy of 92.5%, compared to 91.2% for the instance normalization model and 87.6% for the basic model.

Our results demonstrate that normalization techniques are essential for improving the accuracy of image recognition models. We also observed that PyTorch is an excellent deep learning framework for implementing and comparing different normalization techniques. Further research can explore the use of normalization techniques in combination with other preprocessing techniques to improve the performance of image recognition models.

Normalization techniques are a critical preprocessing step that can significantly enhance the accuracy of image recognition models. In this paper, we explored the use of different normalization techniques in conjunction with PyTorch, demonstrating their effectiveness in improving the accuracy of image recognition models. Our results suggest that PyTorch is an excellent platform for experimentation in image recognition tasks and can be used to implement and compare various normalization techniques.

References:

1. Gupta, A. (2023). Normalization and Image Recognition Models Using PyTorch. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 10(1), 20-35.
2. PyTorch. (n.d.). Transforms. (Retrieved April 9, 2023), from <https://pytorch.org/docs/stable/torchvision/transforms.html>.
3. Simonyan, K., & Zisserman, A. (2015). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. arXiv preprint arXiv:1409.1556.
4. Wang, L., Li, W., & Li, J. (2020). Batch Normalization: Accelerating Deep Network Training by Reducing Internal Covariate Shift. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 31(8), 3074-3086.

**НЕЧІТКА ПРАВДОПОДІБНА КЛАСТЕРИЗАЦІЯ
БАГАТОВИМІРНИХ ДАНИХ
З ГІПЕРЕЛІПСОЇДАЛЬНИМИ КЛАСАМИ**

Суліма В.С.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Шафроненко А. Ю.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,
м. Харків, Україна

тел. +38(098) 411-67-10, email: volodymyr.sulima@nure.ua

This work is devoted to fuzzy data clustering, a crucial issue in intelligent data analysis. Fuzzy clustering methods are better suited for situations where observation vectors can belong to more than one cluster or class. Probabilistic methods are the most common algorithms used for fuzzy clustering, but they have drawbacks. An alternative method, a credibilistic fuzzy clustering with recurrent modification based on the likelihood approach and the Gustafson-Kessel algorithm, has been proposed.

Задача кластеризації масивів багатовимірних даних - частина проблеми інтелектуального аналізу даних (Data Mining). Запропоновано багато методів, від простих К-середніх до складних алгоритмів аналізу щільностей розподілу даних високої розмірності. Нечіткі методи кластеризації з урахуванням перетину класів є особливо важливими.

Дослідження та публікації демонструють, що методи нечіткої кластеризації на основі ймовірностей мають обмеження та чутливість до аномальних викидів. Однак, метод можливої нечіткої кластеризації є стійкішим до шумів та збурень у даних, хоча стикається з проблемою співпадіння кластерів. Довірчий підхід було запропоновано як альтернативу, що враховує рівні довіри до результатів. Робота присвячена розробці методу правдоподібною нечіткої кластеризації з рекурентною модифікацією на основі підходу достовірності та алгоритму Густафсона-Кесселя.

Для кластеризації необхідний масив векторів - спостережень. Якщо дані обробляються в online режимі, вони повинні бути розбиті на класи з рівнем належності до кожного кластеру. Для рекурентних алгоритмів необхідні методи нечіткої кластеризації, щоб аналізувати дані послідовно вектор за вектором. Нові методи можуть мати більші функціональні можливості порівняно з існуючими алгоритмами.

Метод ймовірної нечіткої кластеризації пов'язаний з мінімізацією цільової функції має такий вигляд (1)

$$E(U_q(k), w_q) = \sum_{k=1}^N \sum_{q=1}^m U_q^{\beta}(q) D^2(x(k), w_q) \quad (1)$$

де $U_q(k)$ - рівень нечіткої належності спостереження до q-го кластера $Cl_q (1 \leq q \leq m)$, w_q - прототип центроїд q-го кластеру, що має уточнюватися в процесі послідовної рекурентної кластеризації, $\beta > 1$ - параметр фазифікації, що задає “розмитість” границь кластерів, $D(x(k), w_q)$ - відстань між вектором-спостереженням та центром кластера прийнятій метриці, найчастіше метриці Ф. Ітакури - С.Сайто.

Нескладно бачити, що з обчислювальної точки зору рекурентний алгоритм довірчої нечіткої кластеризації не є складнішим у порівнянні з online версіями ймовірнісних, можливісних та робастних процедур.

Деякі алгоритми кластеризації формують гіперсфери як класи, що не завжди відображає реальні умови, де кластери можуть мати довільну форму. Кращим варіантом є кластери гіпереліпсоїдальної форми з довільною орієнтацією осей у просторі ознак. Алгоритм Густафсона-Кесселя та його модифікації забезпечують формування таких кластерів, використовуючи ймовірнісний підхід та метрику відстані.

Проведені дослідження показують, що кластери гіпереліпсоїдальної форми з довільною орієнтацією осей є більш адекватними і зручними для формування ніж гіперсфери. Запропонована модифікація алгоритму Густафсона-Кесселя забезпечує рекурентну онлайн процедуру для формування таких кластерів. Також можна модифікувати метод Густафсона-Кесселя для нечіткої кластеризації.

Хоча алгоритм дещо громіздкий, його реалізація не складніша порівняно з рекурентною процедурою кластеризації. У довірчому варіанті алгоритму Густафсона-Кесселя замість цільової функції використовується модифікована версія.

Нескладно бачити, що процедура є узагальненням процедури довірчої кластеризації та рекурентної модифікації алгоритму Густафсона-Кесселя.

В роботі вводиться модифікація алгоритму Густафсона-Кесселя для нечіткої кластеризації, що дозволяє формувати перетинні кластери гіпереліпсоїдальної форми з довільною орієнтацією осей. Метод має рекурентну форму та використовується для онлайн обробки даних. Процедура проста у чисельній реалізації та призначена для вирішення задач кластеризації в Data Stream Mining та Big Data Mining.

Список використаних джерел:

1. Кришнапурам Р., Келлер Дж.М. (1993). Підхід до кластеризації на основі можливості. IEEE Транзакції на нечітких системах, Травень 1993: матеріали. IEEE. (Том 1). 98-110. DOI: 10.1109/91.227387.
2. Лью Б. (2006). Огляд теорії довіри. Нечітка оптимізація та прийняття рішень. (4). 387-408. DOI: 10.1007/s10700-006-0016-x.
3. Кришнапурам Р., Чжонву К. (1999). Примітка про алгоритми кластеризації Густафсона-Кесселя і адаптивної нечіткої кластеризації: IEEE Транзакції на нечітких системах. 7. (4). 453-461.

НЕЧІТКА КЛАСТЕРИЗАЦІЯ ДАНИХ З РІЗНОЮ ЩІЛЬНІСТЮ РОЗПОДІЛУ

Авлякулов Т.Е.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Шафроненко А.Ю.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,
м. Харків, Україна

тел. +38(066) 895-18-51, email: tymur.avliakulov@nure.ua

The task of clustering - classification without a teacher of data arrays occupies a rather important place in Data Mining. To solve this problem, many approaches have been proposed at the moment, differing from each other in a priori assumptions in the studied and analyzed arrays, in the mathematical apparatus that is the basis of certain methods. The solution of clustering problems is complicated by the large dimension of the vectors of the analyzed observations, their distortion of various types.

Задача кластеризації - класифікації без вчителя масивів даних займає важливе місце у інтелектуальному аналізі даних (Data Mining, Data Stream Mining, Big Data Mining), а для її вирішення на цей час запропоновано безліч підходів, що відрізняються між собою як апіорними припущеннями що до характеру даних у масивах, що досліджуються та аналізуються, так і математичним апаратом, що полягає в основі тих або інших методів [1-3].

Для вирішення цієї задачі одними з найбільш ефективних є алгоритми, що базуються на аналізі щільностей розподілу даних у вихідних масивах, серед яких можна відзначити DENCLUE та його модифікації, призначені для вирішення задач кластеризації великих масивів медіа даних, спотворених збуреннями різної природи, та класів складної форми. В той же час DENCLUE характеризується досить низькою швидкістю, оскільки його використання пов'язане з необхідністю багатократного вирішення задачі оптимізації за допомогою градієнтних процедур. Більш швидкими є алгоритми, засновані на аналізі піків щільностей, однак тут в якості центроїдів-прототипів кластерів виступають спостереження вихідного масиву даних. Крім того, як DENCLUE, так і піковий алгоритм є чіткими процедурами, тобто призначені для роботи за умов коли кластери не перетинаються, а кожна точка - векторне спостереження може належати лише одному класу.

Базовими поняттями, що використовуються у подальшому, є функція впливу, функція щільності даних у вибірці, аттрактори щільності, що відповідають екстремумам - максимумам функції щільності, що досягаються у точках вибірки в околі аттракторів щільності. Для будь якої точки $\tilde{x}$ з масиву X її базова функція впливу $f_B^{\tilde{x}}(x) = f(x, \tilde{x})$ є деякою ядерною дзвонуватою функцією

$$f_s^{\tilde{x}}(x) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } d(x, \tilde{x}) > \sigma, \\ 1 & \text{інакше} \end{cases}$$

(тут d - відстань у прийнятій метриці, зазвичай евклідовій, σ - параметр ширини - відстань зрізу в прийнятій метриці функції впливу) та гаусівську функцію впливу

$$f_G^{\tilde{x}}(x) = \exp\left(-\frac{d^2(x, \tilde{x})}{2\sigma^2}\right) = \exp\left(-\frac{\|x - \tilde{x}\|^2}{2\sigma^2}\right),$$

що є найбільш популярною, завдяки зручності обчислення її градієнта.

Функція щільності розподілу даних у масиві X , що містить N спостережень, формується на основі N функцій впливу у вигляді

$$f^x(x) = \sum_{k=1}^N f(x, x(k)) \quad (1)$$

і є близькою за суттю до Парзенівських вікон та оцінок Надарая-Ватсона. Власне процедура кластеризації полягає у відшуванні максимумів функції $f^x(x)$, що задовольняють умові

$$f^x(x, x^*) > \xi. \quad (2)$$

Процес оптимізації починається з кожної точки $x(k)$ масиву даних X і закінчується відшукуванням всіх екстремумів - максимумів функції щільності (1), що задовольняють нерівності (2). Чим більше обсяг вибірки x , тим більше разів N повинна запускатися процедура оптимізації - пошуку аттракторів. Пришвидшити процес кластеризації можна, скоротивши кількість запусків цієї процедури. Тому пропонується починати процес пошуку аттракторів не з кожної точки масиву даних X , а з, так званих, піків щільності цього масиву.

Перевагою запропонованого підходу є скорочення часу вирішення оптимізаційних задач, пов'язаних з відшукуванням аттракторів функцій щільностей, оскільки кількість звернень до блоку оптимізації визначається не обсягом аналізованого масиву, а кількістю піків щільностей цього ж масиву.

Список використаних джерел:

1. Gan G., Ma Ch., Wu J. Data Clustering: Theory, Algorithms and Applications. Philadelphia, Pennsylvania: SIAM: 2007. - 455p.
2. Abonyi J., Feil D. Cluster Analysis for Data Mining and System Identification. Basel: Birdhouse, 2007 - 303p.
3. Xu R. Clustering / Xu R., Wunsch D.C. - Hoboken N.J.: John Wiley & Sons, Inc., 2009. - 398p.

УДК 004.932

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ API BLENDER ТА OPENGL ПРИ 3D МОДЕЛЮВАННІ

Козуб Д.П.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Руденко Д.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, пр. Науки, 14, каф. Інформатики, тел. (057) 702-14-19
email: dmytro.kozub@nure.ua

The presented work deals with the capabilities of Blender - a free program for creating 3D graphics, which includes tools for modeling, animation, rendering, video post-processing, as well as creating video games.

Тривимірна графіка (3D) – це розділ комп'ютерної графіки, сукупність прийомів та інструментів (як програмних, так і апаратних), що призначені для зображення об'ємних об'єктів. Найбільше застосовується для створення зображень, які в подальшому будуть використовуватися на площині екрану. Сферою застосування є багато областей: вони використовуються в архітектурній візуалізації, кінематографії, телебаченні, відеоіграх, друкованій продукції, а також у медицині, науці та промисловості.

Тривимірне зображення на площині відрізняється від двовимірного тим, що включає побудову геометричної проекції тривимірної моделі (сцени) на площину (наприклад, екран комп'ютера) за допомогою спеціалізованих програм. При цьому модель може як відповідати об'єктам з реального світу (автомобілі, будівлі, внутрішні органи людини), так і бути повністю абстрактними (наприклад, проекція чотиривимірного фрактала).

Для одержання тривимірного зображення на площині потрібні такі кроки: моделювання – створення тривимірної математичної моделі сцени і об'єктів в ній; рендеринг (візуалізація) — побудова проекції відповідно до обраної фізичної моделі; виведення отриманого зображення на пристрій виведення – дисплей або принтер.

На сьогоднішній день існує багато потужного програмного забезпечення для моделювання 3D, яке дозволяє створювати 3D-активи, спецефекти та візуалізацію зображень. Найпопулярнішими платними програмами є Autodesk Maya, Autodesk 3ds Max і Cinema 4D. Також доступно багато безкоштовних програм, найпопулярнішою з них є Blender.

Blender – це безкоштовний набір інструментів для створення тривимірної комп'ютерної графіки, що включає засоби моделювання, анімації, вимальовування, післяобробки відео, а також створення відеоігор. Особливостями пакету є малий розмір, висока швидкість вимальовування, наявність версій для багатьох операційних систем FreeBSD, GNU/Linux, Mac OS X, SGI Irix 6.5, Sun Solaris 2.8 (sparc), Microsoft Windows, SkyOS, MorphOS та

Pocket PC. Пакет має такі функції, як динаміка твердих тіл, рідин та м'яких тіл, систему гарячих клавіш, велику кількість легко доступних розширень, написаних мовою Python.

Додатковою перевагою є відкритий код – ознака того, що програма постійно вдосконалюється, а доступні додатки для нових функціональних можливостей не тільки поширені, а й завжди безкоштовні.

Однак, як і будь-яке програмне забезпечення, Blender може мати проблеми з продуктивністю під час роботи з великими проєктами або на повільних комп'ютерах.

Одним з налаштувань продуктивності, яке можна налаштувати у Blender, є налаштування OpenGL. Налаштування OpenGL впливає на якість візуалізації сцени Blender і може вплинути на загальну продуктивність програми. Наприклад, включення використання проміжного буфера може прискорити процес візуалізації сцени Blender, тоді як включення візуалізації локальної освітленості може збільшити час візуалізації.

OpenGL – це мультиплатформний API для створення програм 2D та 3D-графіки. Він надає програмістам набір функцій для рендерингу графічних об'єктів на екрані.

API Blender (інтерфейс прикладного програмування) – це набір функцій і методів, наданих Blender для взаємодії з його функціями через програмний код.

Blender API доступний на мовах програмування Python і C++. Використовуючи API Python, користувачі можуть створювати сценарії та плагіни для розширення функціональності Blender, автоматизації процесів і спрощення завдань. C++ API часто використовується для розробки плагінів і більш складних інструментів.

Використання API Blender та OpenGL разом може бути корисним для створення більш складних програм, які потребують потужних графічних можливостей. Наприклад, можна використовувати API Blender для роботи з даними сцени та передавати їх до OpenGL для відображення на екрані. Таким чином, можна створювати красиві та реалістичні 3D-сцени з більш точним керуванням параметрами рендерингу.

Іншим налаштуванням продуктивності, яке можна налаштувати в Blender, є налаштування циклу рендерингу - впливає на якість та швидкість рендерингу зображень у Blender.

Оптимізація налаштувань продуктивності Blender може значно підвищити продуктивність програми та прискорити процес створення проєктів.

Список використаних джерел:

1. Baechler O., Greer X. (2020) Blender 3D By Example.
2. Moiola G. (2022) Introduction to Blender 3.0.

ОГЛЯД ЗАСТОСУНКУ ULTRA ДЛЯ ОБЛІКУ ТА СПИСАННЯ ТОВАРІВ У РЕСТОРАННОМУ БІЗНЕСІ

Артьомов Д.О.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Руденко Д.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, пр. Науки, 14, каф. Інформатики, тел. (057) 702-14-19
email: danylo.artomov@nure.ua

The Ultra program for automating accounting, calculations and business management in the restaurant business and trade sectors is being considered. It allows you to effectively conduct business processes, optimize costs, increase work efficiency and provide a better level of customer service. The advantages and disadvantages of the existing application are revealed.

Заклади харчування являються невід'ємною частиною сучасного суспільства. Успішний заклад харчування можна впізнати за декількома ознаками: основні бізнес-процеси підприємства є формалізованими та налагодженими; управління підприємством є активним, постійно націленим на інновації, ґрунтується на вибраній стратегії; управління закладом є автоматизованим; кваліфікований та клієнтоорієнтований персонал; наявна стратегія підприємства, операційне та фінансове планування відбувається за стратегічним планом.

Ultra - це програма для автоматизації обліку, розрахунків і управління бізнесом в галузях ресторанного бізнесу, торгівлі, готельного господарства та фітнес-центрів. Вона дозволяє ефективно вести бізнес-процеси, оптимізувати витрати, підвищувати ефективність роботи та забезпечувати кращий рівень обслуговування клієнтів.

Основні функції Ultra включають:

1. Облік продажів і розрахунків: Ultra дозволяє вести детальний облік продажів, розрахунків та виручки. Можна налаштувати різні види оплати, включаючи готівку, кредитні карти, купони, сертифікати та інші способи оплати.

2. Управління складським обліком: програма дозволяє вести облік товарів на складі, керувати постачанням товарів, контролювати рівень запасів та оптимізувати процеси замовлення.

3. Управління персоналом: Ultra допомагає контролювати робочий час співробітників, розраховувати заробітну плату, налаштовувати рівні доступу для різних категорій персоналу та відстежувати виконання робочих завдань.

4. Аналітика та звітність: програма надає можливість генерувати різноманітні звіти та аналітичні дані про продажі, рентабельність, оборотність товарів, а також роботу персоналу. Це дозволяє керівникам приймати обґрунтовані рішення для розвитку бізнесу.

5. Інтеграція з іншими системами: Ultra може бути інтегрована з різними системами, такими як системи електронного оформлення замовлень, програми лояльності клієнтів, системи обліку фінансів, системи керування готельними номерами та інші системи, що використовуються в ресторанному бізнесі, торгівлі, готельному господарстві та фітнес-центрах.

6. Управління замовленнями: Ultra дозволяє зручно приймати та обробляти замовлення в режимі реального часу, включаючи можливість додавання знижок, опцій та додаткових послуг. Замовлення можуть бути прийняті з різних джерел, таких як внутрішній сайт, мобільний додаток, залізничні станції та інші зовнішні джерела.

7. Керування клієнтами: Ultra дозволяє зберігати інформацію про клієнтів, керувати програмами лояльності, створювати спеціальні пропозиції та знижки для постійних клієнтів, а також відстежувати історію замовлень клієнтів.

8. Мобільний доступ: Ultra надає можливість віддаленого доступу до системи з використанням мобільних пристроїв, що дозволяє керувати бізнесом з будь-якого місця та в будь-який час.

9. Підтримка різних мов та валют: програма підтримує різні мови та валюти, що дозволяє використовувати її в різних країнах та регіонах.

10. Безпека та захист даних: Ultra забезпечує високий рівень захисту даних клієнтів, включаючи захист від несанкціонованого доступу та резервне копіювання даних.

Також були виявлені такі переваги як велика різноманітність звітів і клієнтоорієнтована підтримка, що за умови сплаченої підписки виконує персональне налаштування, створення окремого шаблону звіту, тощо.

За допомогою проведеного дослідження вдалося встановити, що програма автоматизації Ultra має низку недоліків, а саме:

1. Відсутня класифікація причини списання товару, що унеможливорює створення окремих звітів.

2. Звіти зберігають неповну інформацію стосовно позицій.

3. Формування звітів відбувається задовго.

4. Процедура збереження недостатньо автоматизована (після зміни даних, що були введені в минулому – усі майбутні дані мають бути збережені в ручному режимі).

Ці недоліки можна вважати суттєвими, оскільки у сучасному глобалізованому світі ресторанна галузь постійно зростає та розвивається. Однак, в умовах жорсткої конкуренції та швидкого темпу життя, ефективне управління ресторанним бізнесом стає складним завданням. Одним із важливих аспектів ефективного управління рестораном є точний та оперативний облік руху товарів, таких як продукти харчування, напої та інші матеріали, які використовуються в ресторанному бізнесі. Відсутність або недостатня ефективність такого обліку може призвести до фінансових втрат, збитків та незадоволення з боку клієнтів.

ОГЛЯД МОЖЛИВИХ ПІДХОДІВ ДО ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ НЕЧІТКОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ

Фалько М.К.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Руденко Д.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Харків, пр. Науки, 14, каф. Інформатики, тел. (057) 702-14-19

email: mykhailo.falko@nure.ua

The problem of fuzzy data clustering is an important problem that is often encountered in a variety of data mining tasks. To solve these problems, well known methods require that the vectors - observation arrive from the data that belong to only one cluster, but a more natural situation when the observation vector can belong to more than one cluster or class.

Завдання кластеризації, або класифікації без урахування, є складовою загальної проблеми Data Mining, на вирішення якої сьогодні розроблено безліч підходів, методів, алгоритмів. У межах цієї задачі особливе місце посідає задача нечіткої кластеризації, яка розглядає ситуацію, коли формовані класи взаємно перекриваються, тобто кожне спостереження може одночасно належати до кількох або всіх класів - кластерів. В рамках цієї підзадачі на сьогодні сформувався два основні підходи: ймовірнісний, коли для кожного спостереження оцінюється ймовірність його приналежності до кожного з можливих класів, і можливісний, де оцінюється можливість (не ймовірнісна) приналежності до деяких класів. Обидва ці підходи пов'язані з вирішенням задачі оптимізації (нелінійного програмування) з адоптованою цільовою функцією і в загальному випадку можуть призводити до різних кінцевих результатів. Незважаючи на досить серйозну математичну основу цих підходів, вони страждають від ряду суттєвих недоліків: такий ймовірнісний підхід дуже чутливий до “аномальних” спостережень, які практично “розмазуються” з однаковими рівнями належності всім кластерам.

Можливісний підхід, в свою чергу, пов'язаний із так званою “проблемою збіжності”, коли деякі кластери зливаються разом, що взагалі не дозволяє розбити оброблювану вибірку на однорідні групи - кластери.

Обидва розглянуті підходи обробляють дані в пакетному режимі, тобто мається на увазі, що весь масив спостережень заданий заздалегідь, апріорі та не змінюється у процесі аналізу. Якщо ж дані надходять в режимі онлайн (задачі Data Stream Mining), класичні ймовірнісні та можливі алгоритми нечіткої кластеризації стають непрацездатними. У цій ситуації на перший план виходять послідовні алгоритми, засновані на градієнтній оптимізації прийнятих цільових функцій. Також онлайн процедури були розроблені як у рамках ймовірнісного, так і можливісного підходів та підтвердили свою працездатність.

У більшості завдань кластеризації, пов'язаних з обробкою реальних даних, вихідна інформація, як правило, спотворена аномальними викидами (перешкодами) та пропусками, причому кількість цих викидів і "дір" може бути порівнянна з обсягом "чистих" даних, при цьому можлива ситуація, коли усі дані є "брудними". Зрозуміло, що "класичні" методи у цій ситуації неефективні.

Більш складні методи кластеризації шукають кластери як гіпер еліпсоїди різного розміру. Такі методи називають частковими, вони не можуть вірно опрацьовувати шуми та викиди та знаходити кластери з неопуклими поверхнями. Для проведення кластерного аналізу за допомогою часткового методу необхідно задати його параметри: діапазон значень змінних, кількість кластерів для кожної із змінних (або їх ширину), функцію приналежності, що описує кластери та інші параметри в залежності від обраного методу кластеризації.

За допомогою ієрархічних методів можна віднайти кластери, об'єднуючи менші кластери та розподіляючи більші. Таким чином знаходиться дерево кластерів, на різних рівнях якого можна отримати різне розподілення на кластери.

Щільнісні методи та сіткові методи дозволяють розподіляти на кластери різного розміру довільно розподілені екземпляри. Вони також добре впізнають шуми та викиди, але потребують ретельного вибору параметрів, необхідних для реалізації методу.

Множину ознак у об'єктів кластеризації слід вибирати так, щоб всі значення ознак були виміряні в шкалі відношень або шкалі інтервалів. У цьому випадку результати нечіткої кластеризації мають змістовну інтерпретацію, адекватну проблемі знаходження нечітких кластерів.

Список використаних джерел:

1. Gan, G., Ma, C., & Wu, J. (2020). Data clustering: theory, algorithms, and applications. Society for Industrial and Applied Mathematics.
2. Aggarwal, C. C. (2015). Data mining: the textbook (Vol. 1). New York: springer.
3. Bodyanskiy, Y.V., Pliss, I. P., Shafronenko, A. Y., & Kalynychenko, O. V. (2022). нечітка довірча кластеризація даних на основі аналізу щільності розподілу даних та їх піків. Radio Electronics, Computer Science, Control, (3), 58-58.
4. Shafronenko, A.Y., & Rudenko, D. A. (2020). Online recurrent method of credibilistic fuzzy clustering. BBK 91, 37.
5. Bodyanskiy, Y.V., Shafronenko, A.Y., Rudenko, D.A., & Klymova, I.N. (2020). Online Recurrent Method Of Credibilistic Fuzzy Clustering.

ЗАСТОСУВАННЯ ТА НАВЧАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Суліма В.С.

Науковий керівник – к.т.н., ст. викладач Путятіна О.Є.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,

м. Харків, Україна

тел. +38(098) 411-67-10, email: volodymyr.sulima@nure.ua

This work is devoted to exploring the capability of neural networks, a powerful tool for machine learning and data analysis. It provides an overview of the structure and functioning of neural networks, as well as their applications in various fields such as image recognition, speech recognition, and natural language processing. The study also discusses recent advances and challenges in the field, and provides insights into the future directions of neural network research.

Нейронні мережі - це моделі та методи навчання, які мають широкий спектр застосувань. Далі описується найбільш поширена у використанні традиційна нейронна мережа, яку іноді називають мережею зворотного поширення з прихованим шаром або одношаровим персептроном. Нейронні мережі є нелінійними статистичними моделями, які застосовуються як для регресії, так і для класифікації. У цій роботі наведено загальний випадок розгляду, коли мережі можуть обробляти багато кількісних відгуків. Термін "Нейронні мережі" походить від того факту, що вони були розроблені як моделі людського мозку. Кожен елемент представляє нейрон, а з'єднання представляють синапси. В ранніх моделях нейрони спрацьовували, коли загальний сигнал, який передавали елементу, перевищував певний поріг. У класичній моделі це відповідає використанню крокоподібної функції. Пізніше "нейронна мережа" була визнана корисним інструментом нелінійного статистичного моделювання, і з цієї точки зору крокоподібна функція виявилася недостатньо гладкою для оптимізації. З цієї причини крокоподібна функція була замінена більш гладкою пороговою функцією - сигмоїдою.

Нейронні мережі мають невідомі параметри, відомі як ваги, і наша мета полягає у знаходженні таких значень ваг, щоб модель добре відповідала навчальним даним. Зазвичай ми не потребуємо точки глобального максимуму, оскільки це призведе до перенавчання. Натомість потрібна деяка регуляризація. Загальний підхід до мінімізації помилки полягає у використанні алгоритму градієнтного спуску, який називається зворотнім поширенням. Його можна легко обчислити, використовуючи правило диференціювання складної функції. Цей алгоритм можна ефективно реалізувати на комп'ютері з паралельною архітектурою. Швидкість навчання зазвичай вважається сталою для пакетного навчання. Його також можна оптимізувати за допомогою лінійного пошуку. Для інтерактивного навчання параметр швидкості навчання можна підлаштовувати під кожне оновлення гра-

дієнту. Інтерактивне навчання дозволяє мережі обробляти дуже великі навчальні множини, а також уточнювати ваги по мірі надходження нових спостережень.

Одна з головних проблем нейромереж - це перенавчання. Правило ранньої зупинки дозволяє уникнути цієї проблеми шляхом зупинки навчання задовго до досягнення глобального мінімуму функції R. Метод зниження вагів (1.1), аналогічний гребневій регресії, є більш явним методом регуляризації для лінійних моделей. Тестовий набір даних є корисним для вибору моменту зупинки, оскільки помилка тестування з цього моменту почне зростати. Ваги починаються з регуляризованого (лінійного) рішення, що сприяє стисненню кінцевої моделі в напрямку лінійної моделі.

(1.1)

$$J(\theta) = \sum_{k,m} \beta_{km}^2 + \sum_{m,l} \alpha_{ml}^2$$

Масштабування вхідних даних має великий вплив на якість кінцевого рішення, оскільки воно визначає ефективне масштабування ваг в нижньому шарі. Найкраще спочатку стандартизувати всі вхідні дані, щоб їх математичне очікування дорівнювало нулю, а стандартне відхилення - одиниці. Це забезпечує однакову обробку всіх вхідних даних в процесі регуляризації та дозволяє вибрати розумний діапазон для випадкових початкових ваг. Для стандартизованих входів традиційно вибираються випадкові рівномірні ваги в діапазоні.

Таким чином, нейронні мережі - це складні математичні моделі, які підходять для розв'язання завдань машинного навчання. Вони складаються зі штучних нейронів, які мають ваги та виконують математичні операції для обробки вхідних даних. Кожен нейрон з'єднаний з іншими нейронами, що утворює мережу. Нейронні мережі здатні виконувати складні завдання, такі як розпізнавання образів та мовлення. Для навчання мережі потрібно використовувати велику кількість даних та використовувати алгоритми оптимізації, такі як градієнтний спуск. Останні роки бачимо значний прогрес у розвитку нейронних мереж, що відкриває нові можливості в галузі машинного навчання та штучного інтелекту.

Список використаних джерел:

1. Македонський В.І., Мітяєва О.Ю. Основи нейронних мереж: навч. посібник. - К.: НАУ, 2006. - 224 с.
2. Латанський Ю. М. Нейромережеве проектування. - К.: ВПЦ "Київський університет", 2002. - 472 с.
3. Бродський В.М., Вітлінський В.В. Нейронні мережі: теорія та практика: навчальний посібник. - К.: Техніка, 2004. - 408 с.

ОЦІНКА МЕТОДА ПРИХОВАНИХ МАРКОВСЬКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ

Слободенюк І.Ф.

Науковий керівник – к.т.н., ст. викладач Путятіна О. Є.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,
м. Харків, Україна

тел. +38(066) 776-98-45, email: ivan.slobodeniuk@nure.ua

This work is devoted to assessing the efficiency of pattern recognition methods, specifically, the method of hidden Markov models. The main methods for processing and recognition are considered. The most popular algorithms based on hidden Markov models are discussed. Comparisons are made between the method of hidden Markov models and the other methods.

Суть даної роботи полягає в тому, щоб оцінити метод прихованих марковських моделей для завдань розпізнавання образів та порівняти його ефективність згідно з іншими варіантами обробки. Метод прихованих Марковських моделей (ПММ) зазвичай використовуються для стохастичного моделювання нестационарних векторних часових рядів. Таким чином, вони мають негайне й очевидне застосування в обробці мови, зокрема розпізнаванні, де цікавий сигнал природним чином представлений у вигляді змінної в часі послідовності спектральних оцінок[1, с.27].

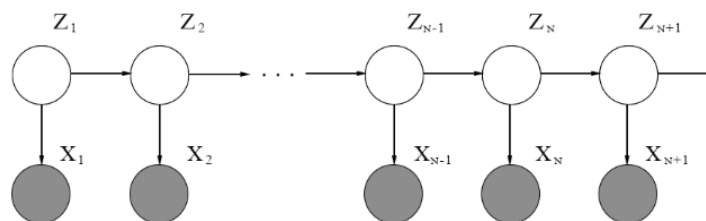


Рисунок 1 - Ланцюг латентних змінних Маркова

Приховану марківську модель (ПММ) можна розглядати як конкретний приклад моделі простору станів, показаний на рисунку 1, у якій латентні змінні є дискретними. У розгляді одного часового відрізка моделі стан відповідає суміші розподілів із густиною компонентів, заданими як $p(x \vee z)$.

Основні методи розпізнавання образів включають також глибокі нейронні мережі, метод динамічного програмування, метод байесівських мереж, метод опорних векторів та інші. У роботі розглянуто результати дослідження порівняння методу прихованих марковських моделей та глибоких нейронних мереж. Модель ПММ широко використовується для розпізнавання мови, моделювання природної мови, розпізнавання рукописного введення в режимі реального часу та для аналізу біологічних послідовностей, таких як білки та ДНК [2, с.802].

Багато програм прихованих марківських моделей, наприклад розпізнавання мови або розпізнавання символів в режимі реального часу, використовують архітектури, орієнтовані зліва направо. Використання ПММ у розпізнаванні голосу включає екстракцію спектральних ознак з аудіозаписів, які потім використовуються для визначення найбільш ймовірної послідовності станів. Найбільш відомі та ефективні алгоритми на основі ПММ для різних задач включають Baum-Welch алгоритм для навчання моделі, Viterbi алгоритм для декодування послідовностей та Forward-Backward алгоритм для оцінки параметрів моделі.

Параметри ПММ визначаються шляхом тренування моделі з використанням навчальних даних, за допомогою алгоритму Baum-Welch, який знаходить найбільш ймовірні значення параметрів моделі, використовуючи ітераційний процес[3]. У дослідженні, опублікованому у журналі "IEEE Transactions on Speech and Audio Processing"[4], порівняно результати точності розпізнавання мови за допомогою прихованих Марковських моделей (ПММ) та глибоких нейронних мереж (ГНМ) на даних з різними мовами. В результаті було показано, що ГНМ виконує краще за ПММ, з точністю розпізнавання на рівні 86,4% для ГНМ порівняно з 81,5% для ПММ. Отже, результати точності, швидкості та якості роботи систем розпізнавання мови на основі ПММ можуть значно варіюватись в залежності від умов експерименту та задачі розпізнавання. Загалом метод ПММ зазвичай показує найбільшу точність в розпізнаванні мови[5], особливо якщо використовується в поєднанні з іншими алгоритмами, наприклад, з методами глибокого навчання.

Список використаних джерел:

1. Samaria, F. S. (1995). *Face recognition using Hidden Markov Models* [Thesis, University of Cambridge]. <https://www.repository.cam.ac.uk/handle/1810/244871>
2. Бишоп, К. М. (2020). *Распознавание образов и машинное обучение*. Диалектика. (Оригінал опубліковано 2006 р.)
3. Jurafsky, D. (2008). *Speech and language processing: An introduction to natural language processing, computational linguistics, and speech recognition* (2-ге вид.). Pearson Prentice Hall.
4. IEEE Transactions on Speech and Audio Processing Edics. (2004). *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 12(2), 186. <https://doi.org/10.1109/tsa.2004.828085>
5. Bharali, S. S., & Kalita, S. K. (2015). A comparative study of different features for isolated spoken word recognition using HMM with reference to Assamese language. *International Journal of Speech Technology*, 18(4), 683.

УДК 004.45

РОЗРОБКА ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ТАРИФНИМИ ПАКЕТАМИ КОМПАНІЇ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Личагіна С. М.

Науковий керівник – к.н.т., доц. Тітова О. В.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Харків, просп. Науки, 14, каф. Інформатики, тел. (057) 702-14-19

email: svitlana.lychahina@nure.ua

This work is devoted to the development of an application for managing tariff pacts of a mobile communications company. The developed system consists of a tariff plan change module and a data verification module. The task of the system is working with the user is autonomous work. The user can independently switch to a new tariff plan, top up the account and spend the accumulated bonuses. To implement the system were used Java programming language and the Oracle database management system.

В останні роки спостерігається великий прогрес у розвитку мобільного зв'язку. Сьогодні майже кожен має телефон для спілкування з близькими та друзями на відстані. Також великим проривом стало появлення швидкісної передачі даних, 4G та 5G стали поштовхом для появи багатьох месенджерів, які дозволяють обмінюватися фотографіями, відео, аудіо, а також здійснювати відео дзвінки. Саме завдяки цьому люди навіть знаходячись в різних кутках планети можуть побачити один одного та постійно підтримувати зв'язок. Мобільний інтернет зараз становить величезну частину нашого життя: соціальні мережі, месенджери, перекладачі та багато іншого. Зараз у людини є доступ до обширної кількості інформації, яку можна знати в Інтернеті знаходячись будь-де. Таким чином, мобільний зв'язок становить невід'ємну частину життя сучасної людини.

В Україні вже існують застосунки мобільного зв'язку, такі як Vodafone, Kyivstar та інші. Їх проблемою є недостатня автономність, тобто людина не має можливості без додаткових пошуків або консультації з'ясувати для себе переваги тарифів, змінити тарифи, проконсультуватись з приводу тарифу у чат-боті, тощо. Робота присвячена створенню системи для управління тарифними пакетами для компанії мобільного зв'язку. Особлива увага приділяється автономності застосунку. Перевагами цієї системи є можливість для користувача у будь-який час та у будь-якому місці змінити тарифний пакет, на такий, що більше задовольняє потреби у даний момент. Також для абонента полегшується процес вибору пакету через детальний опис переваг. Тобто розроблена система складається з модулю зміни тарифного плану та з модулю перевірки даних щодо поповнення рахунку та отриманих бонусів.

Дана система розрахована на користувача, який має sim-картку або хоче створити онлайн. Через чат-бот з найпопулярнішими питаннями мо-

жна зв'язатися з працівником, що дистанційно допоможе з вирішенням проблем та відповіддю на поставлені питання. Увесь зв'язок буде здійснено без телефонних дзвінків, лише через чат у будь-який момент. Користувач у свою чергу може самостійно змінити свій тарифний план на новий, та отримати за це бонуси, які згодом можна буде обміняти на додаткові гігабайти мобільного інтернету, або на додаткові хвилини для розмов. Для реалізації цих модулів було використано мову програмування Java, та СУБД Oracle.

Для початку роботи системи слід зазначити початкові дані, на яких буде проведено аналіз тарифного плану та користувача. Початковий Data Set було вирішено створити на основі популярних тарифних планів по Україні. Після чого проведення проектування Data Set у колекцію тарифів, яка має свій клас та ознаки. В результаті було отримано наступні дані:

- Статистика тарифних планів: від найпопулярніших до найменш використаних.

- Співвідношення кількості запропонованих хвилин та гігабайтів у відсотках.

Таким чином, запропонована система управління тарифними планами дозволяє компанії мобільного зв'язку виявити недоліки у вже існуючих тарифах за допомогою статистики, а також дозволяє користувачу швидко обрати найвигідніший для нього тарифний план, а також отримати за нього бонуси. Для подальшого розвитку системи можна варто додати підтримку інших операторів мобільного зв'язку тієї ж компанії (якщо вони існують), а також додати підтримку іноземних карток для оплати, якщо людина знаходиться в роумінгу.

Список використаних джерел:

1. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%B1%D1%96%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B7%D0%B2%27%D1%8F%D0%B7%D0%BE%D0%BA
2. <https://www.vodafone.ua/>
3. <https://kyivstar.ua/>

УДК 004.93

РОЗРОБЛЕННЯ ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ СЕРВІСІВ ВІДТВОРЕННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ АУДІОФАЙЛІВ

Босенко А. М.

Науковий керівник – к.н.т., доц. Тітова О. В.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Харків, просп. Науки, 14, каф. Інформатики, тел. (057) 702-14-19

тел. +38(099) 108-82-85, email: artem.bosenko@nure.ua

This application allows users to migrate different playlists or songs from different music applications to another one for free. Because exists difficulties with quickly moving songs when users change music applications. And users need to manually re-create playlists with music songs in new music applications from existing applications. Modern music applications don't support this feature with migrating playlists. So, the self-developed application can resolve this inconvenience and simplify the migration process.

Загалом, міграція плейлистів з одного сервісу до іншого може бути трохи складним процесом, але в сучасному світі існують кілька ефективних і простих методів для його здійснення. Незалежно від того, чи необхідно перейти від Spotify до YouTube Music, або з іншого сервісу на Spotify, не доведеться втрачати всі свої улюблені плейлисти та треки.

Найпростіший спосіб перенесення плейлистів з одного сервісу на інший полягає в тому, щоб створити нові плейлисти на новому сервісі та додати до них всі необхідні треки. Хоча цей метод може зайняти багато часу, він дозволяє зберегти плейлисти та треки без необхідності користуватися додатковими інструментами.

Іншим способом є використання сторонніх сервісів для міграції плейлистів, таких як SongShift, TuneMyMusic, Soundiiz та інші. Ці сервіси дозволяють переносити плейлисти між різними сервісами за допомогою API інтеграції. Для цього необхідно зареєструватися на цих сервісах, підключити облікові записи Spotify та YouTube Music, вибрати плейлисти, які необхідно перенести, та запустити процес міграції. Єдиною перепорою на шляху використання цих сервісів є плата за окремий обсяг транспортування музичного контенту. Додаток над яким ведеться робота буде надавати таку послугу безкоштовно.

Крім того, деякі платформи, такі як Spotify, мають вбудовані інструменти для міграції плейлистів. Наприклад, в Spotify є можливість експортувати плейлисти у форматі CSV та імпортувати їх в YouTube Music за допомогою Google Play Музики. Щоб скористатися цією функцією, ви можете перейти до вкладки "Файли" у своєму профілі Spotify, натиснути на "Експортувати", вибрати плейлисти, які ви хочете перенести, та

зберегти файл CSV. Потім можна імпортувати цей файл в Google Play Музики та додати плейлисти до YouTube Music. Але це задовільняє потреби зручності для користувача, який не має навичок роботи з файловою системою.

Незалежно від того, який метод міграції обрано, важливо знати, що деякі метадані, такі як опис плейлиста та картинка обкладинки, можуть не бути перенесені разом з плейлистом. Тому, якщо необхідно зберегти всю інформацію про плейлисти, треба переносити їх за допомогою сторонніх сервісів, які дозволяють зберігати всю метадану.

Окрім збереження вашого музичного вмісту, перенесення плейлистів з одного сервісу на інший може також знайти певні переваги. Наприклад, якщо відбувається перехід від Spotify до YouTube Music, є можливість скористатися деякими функціями, які не були доступні раніше, такими як відеокліпи та живі виступи. Крім того, перенесення плейлистів з одного сервісу на інший може допомогти знайти нові треки та виконавців, які можуть бути доступні на новому сервісі.

Передбачається, що застосунок, який розроблюється у роботі буде дозволяти переносити аудіофайли та плейлисти безкоштовно. У застосунку буде використано найбільш актуальний підхід до розробки інтерфейсу користувача, наприклад процес супроводу при міграції плейлистів буде покроковий з урахуванням аби інтерфейс був інтуїтивно зрозумілий. Такий підхід можна втілити за допомогою фреймворку React та мови програмування Typescript. В майбутньому у додатку буде можливість відтворювати аудіофайли прямо на сайті. Для YouTube Music буде можливість відтворювати відеокліпи.

Список використаних джерел:

1. Документація по міграції аудіофайлів із Spotify на Apple Music [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.soundguys.com/how-to-transfer-spotify-playlists-to-apple-music-65726/>
2. How to Make Your Music Streaming Experience More Social [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.wired.com/story/how-to-share-songs-on-spotify-apple-music-google-play-music/>

РЕДУКЦІЯ ОПИСУ ЗОБРАЖЕННЯ ЗА КРИТЕРІЄМ ІНФОРМАТИВНОСТІ

Гончаров Д.М.

Науковий керівник – д.т.н., проф. Гороховатський В.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ,
Харків, Україна

тел. (057) 702-14-19), e-mail: danylo.honcharov@nure.ua

A method for reducing computational costs in image classification by compressing the description volume is considered. Feature set reduction is based on evaluating their informativeness. A gain proportional to the quantitative indicators of the descriptions is achieved.

Стиснення обсягу даних шляхом відбору найбільш інформативних ознак є важливим завданням розробників сучасних інтелектуальних систем. Відбір цих ознак допомагає підвищити ефективність систем розпізнавання даних шляхом зменшення обчислювальних та апаратних затрат [1-5]. Одним із методів для визначення близькості фрагментів зображення є використання метричних співвідношень у просторі дескрипторів. Ці співвідношення враховують допустимі геометричні перетворення об'єктів, які виникають у процесі візуального спостереження.

У сучасних методах data science для прийняття рішень використовуються критерії, які базуються на оцінках інформативності даних [3, 4]. Наприклад, при побудові дерев рішень у класифікаторах зображень враховуються ці критерії. Проведено дослідження задля застосування метричного критерію інформативності для множини дескрипторів у просторі зображень. Застосовано базу еталонних зображень як навчальну вибірку із скінченною множиною 500 дескрипторів ключових точок. Для визначення відстаней між векторами дескрипторів використано метрику Хемінга. Використана формула для визначення інформативності дескрипторів, яка ґрунтується на припущенні, що інформативність ознаки є тим вищою, чим більше вона розділяє екземпляри навчальної вибірки на класи. Для визначення інформативності окремих дескрипторів була використана формула з мінімальною відстанню від елемента до еталону, який не належить класу, та відстанню до найближчого елемента з класу.

З цією формулою (1) визначається інформативність для дескрипторів

$$V(z, E) = \rho_m(z, \bar{E}_k) - \rho_m(z, E_k), \quad (1)$$

де $\rho_m(z, \bar{E}_k) = \min_{v, i \neq k} \rho(z, e_v(i))$ – мінімальна відстань від z до елемента бази,

що не належить класу E_k , $\rho_m(z, E_k) = \min_{v, i=k} \rho(z, e_v(i))$ – відстань від z до най-

ближчого елемента із класу E_k .

Використано 500 дескрипторів з вхідного зображення та відібрано

тільки 100 з найвищим показником інформативності. Після чого проведено класифікацію. Результати на навчальній множині показали майже таку ж точність як і для традиційного методу голосування, зате отримано виграш за обсягом часу у 4 рази. Для прикладу наведено одне із зображень (рис. 1).

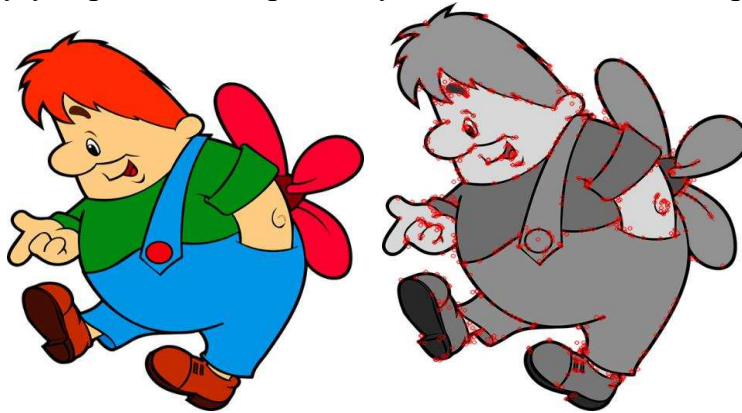


Рис. 1. Приклад зображення і координати сформованих КТ

Проведені експерименти на навчальній вибірці довели доцільність використання методу класифікації з використанням оцінювання інформативності. Застосування критерію сукупної інформативності дає можливість оцінювати і порівнювати результативність впровадження різних варіантів стисненої системи ознак. Таким чином, метод оцінювання інформативності є важливим інструментом, який дає можливість суттєво підвищити ефективність та швидкодію оброблення даних.

Список використаних джерел:

1. Gorokhovatskyi, V., Stiahlyk, N., Tsarevska, V. (2021). Combination method of accelerated metric data search in image classification problems. *Advanced Information Systems*, 5 (3), pp. 5–12.
2. Gorokhovatskyi V., Gadetska S., Ponomarenko R. (2020). Recognition of Visual Objects Based on Statistical Distributions for Blocks of Structural Description of Image. *Proc. of the XV Int. Scientific Conference “Intellectual Systems of Decision Making and Problems of Computational Intelligence” (ISDMCI'2019), Ukraine, May 21–25, 2019*, pp. 501-512.
3. Гороховатський В.О., Гадецька С.В., Стяглик Н.І., Власенко Н.В. (2020) Класифікація зображень на підставі ансамблю статистичних розподілів за класами еталонів для компонентів структурного опису. *Радіoeлектроніка, інформатика, управління*, №4 , с. 85-94.
4. Daradkeh, Y.I., Gorokhovatskyi, V., Tvoroshenko, I., Zeghid, M. Tools for Fast Metric Data Search in Structural Methods for Image Classification, *IEEE Access*, 2022, 10, pp. 124738-124746.
5. Gorokhovatskyi V.A., Zamula A.A. (2016) Employment of Intelligent Technologies in Multiparametric Control Systems. *Telecommunications and Radio Engineering*. Vol. 75, No 19, p. 1775-1785.

УДК 004.94

**СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ, МАТЕМАТИЧНЕ ТА
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ**

THE MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELING OF A STOCHASTIC HARMONIC PROCESSES WITH DATA DEPENDENCE

Khorikova A.

Supervisor – Associate Professor, Ph. D. Tech. Sc. Sydorenko G.
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», dep. of SAIT
Kharkiv, Ukraine

phone +380 (57) 70-76-103, email: an.khoriako.va@gmail.com

У роботі розглянуто питання математичного та комп'ютерного моделювання випадкових гармонійних процесів в умовах залежності даних.

Stochastic harmonic processes are defined as stochastic processes that oscillate around some mean point [1].

Random processes of various types are considered in many problems of computer modeling and mathematical statistics [2]. These processes have a wide range of applications in various fields and are a powerful tool for modeling random phenomena that have a periodic structure and strongly pronounced periodic characteristics. The corresponding first-order processes are usually called Ornstein-Uhlenbeck processes [3, 4].

To obtain a stochastic harmonic process, it is necessary to increase the order of the differential equation of motion. There is to get the result:

$$\left(\frac{d^2}{dx^2} + 2\beta \frac{d}{dx} + \Omega^2 \right) h(x) = u(x), \quad (1)$$

$$h(0) = h_0, \quad h'(0) = h'_0, \quad (2)$$

where $u(x)$ – white noise with zero mathematical expectation and unity intensity;

β – attenuation decrement;

Ω – natural frequency of the oscillating circuit.

The initial condition (2) to the equation (2) are values $h(0)$ and $h'(0)$.

It is possible to write down the solution of the equation (2) as it is convenient for making the algorithm to analyze the stochastic harmonic process: $h(x)$

and $g(x) = \frac{dh(x)}{dx}$:

$$h(x) = -\frac{1}{2\sqrt{\beta^2 - \Omega^2}} [(h_0\gamma_2 - g_0)\exp(\gamma_1 x) - (h_0\gamma_1 - g_0)\exp(\gamma_2 x)] + \sqrt{\frac{\beta}{\Omega^2}} u(x),$$

$$g(x) = -\frac{1}{2\sqrt{\beta^2 - \Omega^2}} [\gamma_1 g_0 \exp(\gamma_1 x) + \gamma_2 g_0 \exp(\gamma_2 x)] + \sqrt{\beta} u(x). \quad (3)$$

The work uses a numerical algorithm that makes it possible to generate se-

quences of random realizations of stochastic harmonic processes. Examples of using the constructed algorithm are demonstrated in the software environment. Due to this, the considered processes were visualized.

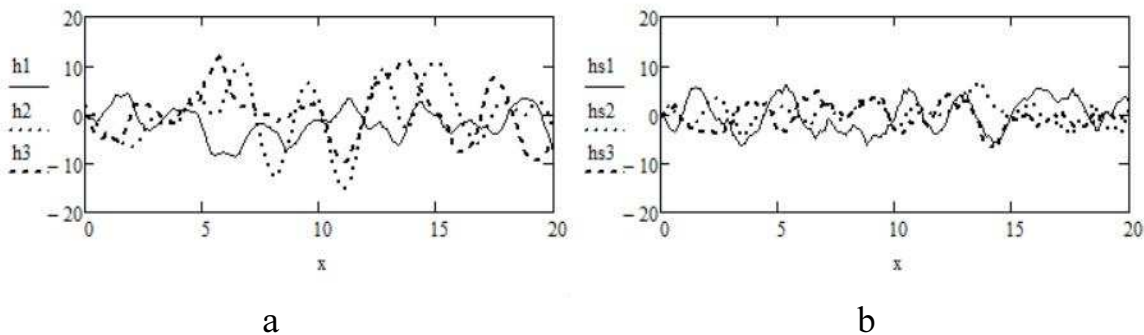


Fig. 1. Stochastic harmonic processes (a) and derivative stochastic harmonic processes (b) on the interval $0 \leq x \leq 20$, $\sigma = 1,0$, $\beta = 0,5$, $\Omega = 2,0$

Fig. 1 shows an example of the generation of a stochastic harmonic process of the second order. Calculation parameters: step $\Delta x = 0,1$, number of steps $N = 200$, root mean square deviation $\sigma = 1,0$, decrement $\beta = 0,5$, frequency of the oscillating circuit $\Omega = 2,0$.

So, the problem of statistics was solved and a numerical algorithm was given, with the help of which a stochastic harmonic process of the second order was constructed.

References:

1. Л.В. Цап, В.В. Русланова, & В.М. Корнієнко (2007). *Теорія випадкових процесів та математична статистика*. КНЕУ.
2. Тихонов В.И., & Миронов М.А. (1977). *Марковские процессы*. Советское радио.
3. Uhlenbeck G.E., Ornstein L.S. (1930). On the theory of Brownian Motion. *Physical Review*, 36, 823-841.
4. Гнеденко Б.В. (1961). *Курс теории вероятностей*. Наука.

УДК 009.912

STUDY OF THE EFFICIENCY OF PARALLELIZATION FOR THE MOST FREQUENT PATTERN SEARCH ALGORITHMS USING THE EXAMPLE OF APRIORI

Khovrat A.V.

Scientific Supervisor – Cand. of Tech. Sc., Sen. Res. Off. Kobziev V.H.
Kharkiv National University of Radio Electronics, dept. of AM
Kharkiv, Ukraine

phone: +38 (096) 424 48 36, email: artem.khovrat@nure.ua

Робота присвячена визначенню ефективності застосування принципів розпаралелювання, зокрема технології MapReduce задля прискорення обробки текстової інформації за допомогою алгоритму Apriori для виявлення частотних шаблонів. Визначено, що при реалізації зазначеного алгоритму з використанням фреймворку Hadoop прискорення досягає 3.1, що дозволяє стверджувати про доцільність використання паралелізованої версії обраної моделі у Big Data.

Every day, the amount of data related to Big Data is increasing, and one of the tasks that arises during their analysis is to identify the most frequent patterns in order to create a set of associative rules. Classical sequential algorithms, according to numerous studies (Subhani et al., 2018), work rather slowly on large volumes of information. In order to overcome this problem, it was decided to consider the effectiveness of using the MapReduce (Dancik, 2020) parallelization technology to speed up the work of the most popular (given the queries on Google) algorithm for finding regularities in data – Apriori (Subhani et al., 2018).

The selected algorithm has only four steps. First: finding support for each element. Support is the frequency of occurrence of an element in a certain data set. After finding this parameter, it is enough to choose those elements that satisfy a certain pre-set restriction. As a result, all the most frequent patterns will be found, on the basis of which a set of associative rules can be built. The final step is to sort the received values in descending order of elevator (ascent). Below is a fragment of pseudocode for the implementation of the algorithm.

```
while Lk-1 is not empty
  Ck ← Apriori_gen(Lk-1, k)
  for transactions t in T
    Dt ← {c in Ck : c ⊆ t}
    for candidates c in Dt
      count[c] ← count[c] + 1
  Lk ← {c in Ck : count[c] ≥ ε}
  k ← k + 1
return Union(Lk)
```

Having clarified the essence of Apriori, let's move on to the possibilities of

its parallelization. First of all, the process of determining support for each set from a given set can be performed in parallel. Although it is worth noting here that there may be a problem of having shared data for different streams.

On the other hand, this problem does not occur in the check for passing the threshold value. Provided that a copy of the threshold is stored in separate processes. The above parallelization mechanisms are combined in MapReduce technology. Its essence lies in the distribution of processing of a common set of data to individual nodes. This procedure is performed using the mapping function, with subsequent application of the necessary algorithms, and a reducer that collects data from all nodes and unifies them.

In the current case, we distribute the information read from the database in different blocks. Each of these blocks executes a sequential form of the Apriori algorithm. Next, the combiner combines the values on each block and passes them to the reducer, which in turn filters the data.

It is worth noting that the ordering process necessary for the correct operation of the algorithm is performed automatically by the available mapper.

The current study examines MapReduce with the Hadoop framework.

We will increase the number of nodes from 1 to 4. Similarly, we will increase the volume of data, for which we will consider 4 options: 10, 20, 40, 80 lines. We will set the memory on each node to 4 GB, and the clock frequency to 2.4 GHz.

The maximum speedup that was obtained for four nodes with 80,000 rows of data was 3.1. The minimum is 1.5. The relatively small acceleration is explained by the general simplicity of the basic algorithm. For one core, the set acceleration is equal to 1, because the difference between the sequential version and the application of MapReduce technology in this case is insignificant. Thus, after analyzing the existing algorithms for searching for the most frequent patterns, choosing Apriori as a basic method and finding out the possibilities for its implementation, building a solution based on MapReduce technology, it can be stated that this technology is definitely effective. Even with insignificant, by Big Data standards, volumes of data, it provides a significant acceleration, which allows you to search for patterns in the shortest possible time.

References:

1. Subhani, S., Devarakonda, N., & Nagamani, C. (2018). Parallel Computing Algorithms for Big data frequent pattern mining. *International Conference on Intelligence & Data Engineering ICCIDE-2017*. Springer Nature Singapore.
2. Dancik, G. (2020). The MapReduce framework. <https://gdancik.github.io/CSC-343/data/notes/MapReduce.pdf>
3. Anastasiu, D., Iverson, J., Smith, S., & Karypis, G. (2014). Big Data Frequent Pattern Mining. In *Frequent Pattern Mining* (pp. 225–259). Springer.

OPTIMIZATION OF PHYSICAL LAYOUT OF PROCESSORS USING DEEP LEARNING

Lukashov D.S.

Scientific Supervisor – Cand. of Tech. Sc., Assoc. Prof. Naumeyko I.V.

Kharkiv National University of Radio Electronics, dept. of AM

Kharkiv, Ukraine

phone: +38(096) 841-31-36, email: dmytro.lukashov@nure.ua

У роботі вивчається потенціал глибокого навчання для розв'язання проблеми оптимізації дизайну процесорів, покладаючись на доведені можливості глибокого навчання у розв'язанні складних задач. Нещодавні інновації в open source інструментах для дизайну процесорів знизили ціновий бар'єр та дозволили зробити дослідження у сфері оптимізації процесорів доступними для невеликих дослідницьких груп та для індивідуальних дослідників. Однак незрілість цих інструментів у поєднанні і загальною складністю сфери розробки мікропроцесорів залишає процес оптимізації дуже складним. Не дивлячись на все це, потенційні переваги глибокого навчання у значному покращенні архітектур мікропроцесорів дуже значні, що робить цей підхід багатообіцяючим для майбутніх досліджень.

The microprocessor is the fundamental building block of modern computing technology, and its performance directly impacts the speed and efficiency of all digital devices, from smartphones to data centers. Modern processors contain so many transistors that are so small that it makes it extremely difficult to follow Moore's law. Because of that industry leaders such as AMD, Intel and TSMC start devoting more attention towards the optimization of the architecture and specialization of the processors for some specific set of computations. The latter is extremely important for the application of new artificial intelligence models. Microprocessors tailored specifically for the inference of large AI models or specifically for the inference of a single model could drastically decrease time and energy cost of the model execution and make such models available in laptops and smartphones. Another trend that has been started by Apple is moving towards SoC (system on the chip). Apple has shown that such systems have great computational capabilities along with high efficiency. However, such systems are even more difficult to build and optimize than CPUs or GPUs because of extremely large number of components that have to be placed on the die and interconnected together. These two facts mean that the optimization of processor architectures will be very important for the foreseeable future but considering the maturity of this field it is obvious that the problem is very difficult to tackle. This is where another rapidly advancing field might become helpful, namely deep learning.

It has been shown that the neural networks are highly capable when it comes to solving the most complicated problems that humans know of, such as

protein folding [1]. Deep learning can also be used to optimize physical systems using various methods, for example algorithm developed in this work [2]. Optimization of processor architectures is very difficult task and it makes sense to try applying deep learning techniques to solve it. Some attempts have already been made [3, 4] but in general this direction of research is very novel and unexplored.

One of the biggest obstacles in the field of designing microprocessors have been extremely high cost of software and hardware tools required to create simulations and prototypes. Luckily it is no longer the issue as there are open-source tools that allow creation of microprocessor designs and their simulation without paying high entry fees. What makes it even better that the core tools such as OpenRoad are supported not only by community but also by the institutions such as DARPA [5]. Even though cost barrier has been mitigated, other problems remain, namely, open-source tools are relatively new, have complex APIs and, in general, lack the documentation. This makes the task of optimization of processor architectures quite difficult from the software development point of view as well.

Summing up, the task of optimization of microprocessor's architectures is very important now and will remain important for the foreseeable future. The field is extremely mature and the optimization task is extremely difficult. It makes sense to try applying deep learning to this problem, however, it has been difficult because of high cost of entry to the industry. Even though, cost barrier has been eliminated the task remains difficult due to the lack of proper documentation of existing open-source tools and general complexity from the point of software engineering. In spite of the difficulties and problems, the approach is worth trying because deep learning shows extreme capability when it comes to solving highly complicated problems and it might significantly improve microprocessor's architectures.

Sources:

1. Jumper, J., Evans, R., Pritzel, A., Green, T., Figurnov, M., Ronneberger, O., & Hassabis, D. (2021). Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold. *Nature*, 596, 583–589. doi:10.1038/s41586-021-03819-2.
2. Лукашов, Д.С. (2022). *Застосування нейронних мереж для оптимізації комплексних електромеханічних систем* (поясн. записка магістра ПМ). Харківський національний університет радіоелектроніки.
3. Mirhoseini, A., Goldie, A., & Dean, J. (2017). Device placement optimization with reinforcement learning. *Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning*, 70, 2432-2441.
4. Lin, Y., Krachmalnicoff, N., & Aziz, M. (2019). *Placer: Simultaneous placement and routing with deep reinforcement learning*. arXiv preprint arXiv:1907.07328.
5. About Us – The OpenROAD Project. (n.d.). *About Us – The OpenROAD Project*. Retrieved March 26, 2023, from <https://theopenroadproject.org/about-us/>

MACHINE LEARNING ALGORITHMS APPLIED TO THE PHASE CONTROL OF AN ARRAY OF LASER BEAMS

Shpakovych M.

Scientific Supervisor – Prof. Armand P., Dr. of Research Kermene V.

University of Limoges, XLIM Laboratory

Limoges, France

тел. +38(050) 835-75-91, email: maksym.shpakovych@inria.fr

Робота присвячена розробці нейромережевої моделі для стабілізації системи лазерів. Ідея полягає в тому, щоб встановити фази всіх лазерів у системі на однакове значення для максимізації вихідної енергії. Нейронна мережа навчається обчислювати вектор фазової корекції, використовуючи вектор безфазових вимірювань величини інтенсивності лазерів. Ключовими вимогами є створення алгоритму, стійкого до зовнішніх шумів і здатного обчислювати корекції менш ніж за одну мілісекунду.

This work studies algorithms for the dynamic phase control of an array of laser beams [1]. The main interest from the physical point of view is to obtain a synthetic beam of high brightness (high power and high beam quality). This problem can be formulated in terms of a mathematical model. Each j -th beam is a light wave with its own amplitude and phase. This information can be encoded into a complex number $x_j \in \mathbb{C}$, $x_j = \alpha_j \cdot e^{i\varphi_j}$, where $\alpha_j \geq 0$ equals to a square root of beam intensity, and $\varphi_j \in [-\pi, \pi]$ represents its phase. Then, the problem of maximization of brightness for an array of n laser beams can be formulated as

$$\left| \sum_{j=1}^n \alpha_j \cdot e^{i\varphi_j} \right| \rightarrow \max_{\{\varphi_1, \dots, \varphi_n\}}.$$

It reaches maximum when $\varphi_1 = \dots = \varphi_n$, which coincides with physical interpretation. However, there are several difficulties, which increase the complexity of the problem. The first difficulty is that direct phase measurements $\varphi_1, \dots, \varphi_n$ are not possible, which means that these values are not observable directly. The only available possibility is phase modulations by given values $\delta\varphi_1, \dots, \delta\varphi_n$. The second difficulty is that we have a need to correct unknown phases $\varphi_1, \dots, \varphi_n$ not just to a constant value to obtain a co-phased far field pattern, but to an arbitrary vector of targets $\varphi'_1, \dots, \varphi'_n$. This vector describes the atmospheric perturbations. The third difficulty is a presence of a high level of noise in the experimental process. There are at least two possible sources which are the noise during measurements and phase corrections.

In this work we develop a neural network [2] that can be applied in a phase correction algorithm [3, Algorithm 14] to compute the phase correction with high frequency, which is robust to noise in the data and is scalable. Two kinds of results were obtained in this domain. The first is the way to train a neural network by the quasi-reinforcement learning algorithm [2, Algorithm 2] and use it

in a phase correction loop where target $\phi'_1, \dots, \phi'_n$ are fixed. However, the practical application requires the possibility to dynamically change $\phi'_1, \dots, \phi'_n$ which is impossible in this context. To overcome this difficulty, the second result is presented [4] where it is revealed how to build and train a target adaptive neural network.

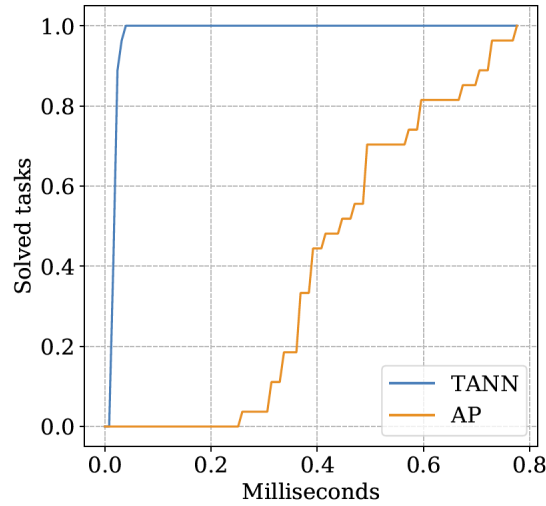


Figure 1 – Profiles computed for 16 lasers, and 100 random starting lasers state

On the Figure 2, one can see the time profiles for a baseline algorithm (Alternating Projections – AP) and a proposed one (Target adaptive neural network – TANN). This figure means that for example for 0,4 milliseconds AP can solve approximately 50% of all problems, where, at the same time, TANN solves all problems. These data were obtained on the experimental stand, which confirms that the developed algorithm can work with the presence of the experimental noise.

References:

1. J. Saucourt, P. Armand, V. Kermeene, A. Desfarges-Berthelemot, & A. Barthelemy. (2019). Random scattering and alternating projection optimization for active phase control of a laser beam array. *IEEE Photonics Journal*, 11(4).
2. Shpakovych M., Maulion G., Kermene V., Boju A., Armand P., Desfarges-Berthelemot A., and Barthelemy A. (2021). Experimental phase control of a 100 laser beam array with quasi-reinforcement learning of a neural network in an error reduction loop. *Opt. Express* 29, 12307-12318
3. Shpakovych, M. (2022) *Optimization and machine learning algorithms applied to the phase control of an array of laser beams*. Thèse de doctorat. Université de Limoges.
4. Shpakovych, M.; Maulion, G.; Boju, A.; Armand, P.; Barthélémy, A.; Desfarges-Berthelemot, A.; Kermene, V. (2022) On-Demand Phase Control of a 7-Fiber Amplifiers Array with Neural Network and Quasi-Reinforcement Learning. *Photonics*, 9, 243.

УДК 004.942

МОДЕЛЮВАННЯ МАРКОВСЬКИХ ПРОЦЕСІВ ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СИСТЕМ

Антонець О.М.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Наумейко І.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38(099) 965-25-62, email: oleh.antonets@nure.ua

Purpose of the work is to optimize a "Human-Machine-Environment" (HME) system structure in the part that corresponds to disaster situations in order to reduce the response time. Several models of the HME systems, which have Markov property, are offered. With the help of queuing systems theory, a number of problems for the research and solution of HME have been identified. The model of the queuing system is the best suited for rescue sub-systems, for which the elimination of an accident is a "stationary condition." Transition and state probabilities of the appropriate Markov chain are determined using the so-called "Second Law of Synergetics."

В кожній підсистемі «робоче місце» та в цілому в системі «людина-машина-середовище» (ЛМС) безпека праці визначається наявністю зв'язків, які обумовлені наявністю небезпек, що можуть зустрітися в навколишньому середовищі, а також, зокрема, на робочому місці. Ці зв'язки можна назвати небезпечними та шкідливими. Вони породжують шкідливі та небезпечні виробничі фактори [1].

Розглядається ситуація, коли «людина» може знаходитися в одному із станів, наприклад, «здорова та дієздатна», «хвора, але дієздатна», «недієздатна». Вона переходить з деякими ймовірностями з одного стану в інший в залежності від підсистем «машина» та «система» та її стану на попередньому кроці. Тобто така система є марковською [2]. Предметом праці може бути будь-який об'єкт: від програмного продукту до аварійної ситуації на виробництві.

Загальною задачею роботи є визначення величин стаціонарних ймовірностей кожного зі станів системи в надзвичайних ситуаціях. Із всіх систем «людина-машина-середовище» виділимо системи з підвищеною активністю першої підсистеми – «людина», а із іншої підсистеми – «машина» виділимо підсистему другого рівня – захист людини та середовища від небезпечних та шкідливих факторів.

Вважаємо, що потік подій зі сторони підсистем «машина» та «середовище» є найпростішим з інтенсивністю λ , а час реакції на них зі сторони «людини» розподілено показниково з параметром μ . Ці типи подій можуть привести з заданою ймовірністю до зміни станів системи. Величина $P_i(t)$ є ймовірністю стану S_i системи в момент часу t .

У цій роботі, яка є початковою частиною кваліфікаційної роботи магі-

стра, поставлено та частково розв'язано наступні задачі з моделювання ЛМС-систем.

Модель 1. Розглядається ситуація, яка є типовою для одноканальних систем масового обслуговування без черги: людина відповідає на взаємодію (аварію) детермінованою послідовністю з n операцій, тривалість яких розподілена з параметром μ_i . Простором станів прийнято вважати самі операції з ліквідації аварій, S_0 – стан очікування, тобто робота системи без аварій.

Модель 2. Час та якість операцій з ліквідації аварій залежить від стану людини, яка в свою чергу залежить від стану системи. Вважатимемо, що оператор може знаходитися в двох станах: «цілком дієздатний» та «обмежено дієздатний». Ймовірність відновлення дієздатності в процесі ліквідації аварії дорівнює нулю, а ймовірність настання недієздатного стану при виконванні i -ї операції дорівнює b_i . Після закінчення всієї роботи дієздатність оператора відновлюється або проводять заміну оператора. Тоді перехідні ймовірності для кожної пари станів $i+1$ та $(i+1)_b$, сусідніх з i -м, при повній дієздатності є $b_i\mu_i$ та $(1-b_i)\mu_i$. Стани системи, інтенсивності відновлюваних робіт та ймовірності при неповній дієздатності оператора, відповідно, дорівнюють i_b , μ^b та P_{ib} .

Необхідно отримати розрахункові формули для ймовірності всіх станів в обох моделях, розглядаючи об'єкти як системи масового обслуговування з марковською властивістю. Перехідні ймовірності визначити за макрочарактеристиками об'єкту, які мають характер математичних очікувань

$$\sum_j p_{ij} q_{ij} = M_i,$$

використовуючи метод максимізації інформаційної ентропії [3]

$$S = - \sum_i p_i \ln p_i.$$

Список використаних джерел:

1. *Небезпечні та шкідливі виробничі фактори* / перелік. URL: <https://www.sop.com.ua/article/206-qqq-16-m6-13-06-2016-nebezpechn-ta-shkdliiv-virobnich-faktori> (дата звернення 28.03.2023).
2. *Компьютеры, модели, вычислительный эксперимент. Введение в информатику с позиций математического моделирования.* (1988). Наука.
3. Хакен, Г. (1991). *Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам.* Мир.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ МОДЕЛЮВАННІ НЕСТАЦІОНАРНИХ РЕЖИМІВ ТЕЧІЇ ГАЗУ ПО ДІЛЯНЦІ ТРУБОПРОВОДУ ВЕЛИКОГО ДІАМЕТРУ

Бурячук А.В.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Гусарова І.Г.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38(057) 702-14-36, email: alina.buriachuk@nure.ua

This work is devoted to the application of the method of characteristics in the mathematical modeling of non-stationary modes on a large-diameter pipeline section. It is proposed to use the Joule-Thomson effect, which manifests itself for pipes of large diameter. Equations for the direction of the characteristics and differential relations on the characteristics are obtained. The results obtained can be used to calculate non-stationary regimes depending on the initial conditions.

На даний момент спосіб транспортування газу саме трубопроводом є найефективнішим. Але в реальних умовах режими течії газу є нестационарними, тобто змінюються з часом, особливо в аварійних ситуаціях. Тому важливо вміти розраховувати саме нестационарні режими та аналізувати зміни в процесі, зв'язані з початковими умовами, з плином часу. Математичні моделі (ММ) нестационарних неізотермічних режимів течії газу (ННРТГ) в основному представляються у вигляді систем диференціальних рівнянь в частинних похідних (ДРЧП). Для розв'язання даної системи будемо використовувати метод характеристик, щоб прослідкувати ці зміни.

Дана робота присвячена знаходженню рівнянь напрямку характеристик та диференціальних співвідношень на характеристиках (ДСНХ) для ММ ННРТГ на ділянці трубопроводу великого діаметру, яка враховує ефект Джоуля-Томсона.

ММ ННРТГ по ділянці трубопроводу великого діаметру з ефектом Джоуля-Томсона описується системою (ДРЧП), яка має вигляд: [1]

$$\begin{aligned} \frac{\partial W}{\partial t} + \left(1 - a^2 \frac{W^2}{P^2}\right) \frac{\partial P}{\partial x} + 2a^2 \frac{W}{P} \frac{\partial W}{\partial x} + \beta ST \frac{W|W|}{P} + \frac{gP}{a^2} \frac{dh}{dx} &= 0, \\ \frac{\partial P}{\partial t} + a^2 \frac{\partial W}{\partial x} &= 0, \\ \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{a^2 \gamma}{b} \frac{TW}{P} \frac{\partial T}{\partial x} + \left(\frac{T\gamma}{b} - 1\right) \frac{a^2 T}{P} \frac{\partial W}{\partial x} - \frac{a^2 \gamma D_j}{b} \frac{TW}{P} \frac{\partial P}{\partial x} + \\ + \frac{4K(\gamma - 1)T^2(T - T_{cp})}{D Pb} + \frac{g(\gamma - 1)T^2 W}{b P} \frac{dh}{dx} &= 0, \end{aligned}$$

де $a^2 = \alpha ST$, $b = T - \gamma D_j P$, $W(x, t)$, $T(x, t)$, $P(x, t)$, D_j – питома масова витрата, температура, тиск газу, коефіцієнт Джоуля-Томсона.

Знайдемо корені системи та отримуємо рівняння напрямку характеристик

$$dt = \bar{\lambda}_i dx, i = \overline{1, 3},$$

$$\text{де } \bar{\lambda}_1 = \frac{Pb}{a^2WT\gamma}, \bar{\lambda}_2 = \frac{1}{a + a^2 \frac{W}{P}}, \bar{\lambda}_3 = \frac{1}{-a + a^2 \frac{W}{P}}.$$

Далі знаходимо ДСНХ для 1-ї та 2-ї сімей характеристик:

$$\begin{aligned} & \left(a^2 D_j - \frac{(T\gamma - b)a^2 T}{bP} \right) dW + \left(-\frac{(P^2 - a^2 W^2)(T\gamma - b)}{P^2 \gamma W} + \frac{a^2 \gamma D_j TW}{bP} - \frac{2a^2 W D_j}{P} \right) dP + \\ & + \left(-\frac{a^2 \gamma WT}{bP} + \frac{2Wa^2}{P} + \frac{b(P^2 - a^2 W^2)}{T\gamma WP} \right) dT + \left(\frac{b\beta S|W|D_j}{\gamma} - \frac{\beta S|W|(T\gamma - b)T}{\gamma P} - \right. \\ & \quad \left. - \frac{4K(\gamma - 1)T^2(T - T_{cp})}{DPb} + \frac{8K(\gamma - 1)T(T - T_{cp})}{DP\gamma} + \right. \\ & \quad \left. + \frac{4bK(\gamma - 1)(T - T_{cp})(P^2 - a^2 W^2)}{a^2 \gamma^2 W^2 DP} \right) dx = 0. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \left(\frac{a^3 \gamma D_j TW}{(P + aW)b} - \frac{(T\gamma - b)a^2 T}{bP} \right) dW + \\ & + \left(\frac{-(P - aW)aT(T\gamma - b)}{P^2 b} + \frac{a^2 \gamma D_j TW}{bP} - \frac{2\gamma D_j TW^2 a^3}{(P + aW)bP} \right) dP + \\ & + \left(\frac{\beta T^2 S W^2 |W| a^2 \gamma D_j}{(P + aW)^2 b} - \frac{\beta T^2 S W |W| (T\gamma - b)a}{(P + aW)bP} \right) dx = 0. \end{aligned}$$

ДСНХ для 3-ї сім'ї характеристик знаходяться аналогічно попереднім.

Отримані результати можна застосовувати для розрахунку нестационарних режимів, тобто перехідних режимів під час аварійних та нештатних ситуацій в газотранспортній системі, в залежності, наприклад, від початкових умов.

Список використаних джерел:

1. Husarova, I.H., Tevyashev, A.D., & Tevyasheva, O.A. (2022). Mathematical modeling of non-stationary gas flow modes along a linear section of a gas transmission system. *Mathematical Modeling and Computing*, 9(2), 416–430. <https://doi.org/10.23939/mmc2022.02.416>

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАХВОРЮВАНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Василенко О.О.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Ревенчук І.А.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПІ
м. Харків, Україна

тел. +38(096) 283-65-34, email: oleksandr.vasylenko@nure.ua

This work is devoted to the assessment of the effectiveness of disease forecasting methods using machine learning algorithms. The main algorithms for forecasting diseases are considered. Comparative calculations of efficiency in various diseases were carried out. It has been established that the KNN algorithm is the most efficient algorithm for working with a large amount of data and is most suitable for working with medical data for further analysis.

У машинному навчанні існує кілька методів, які в різних галузях можуть виконувати прогностичну аналітику великих обсягів даних. Прогностична аналітика в охороні здоров'я є складним заходом, але зрештою вона може допомогти практикуючим лікарям приймати своєчасні рішення щодо здоров'я та лікування пацієнтів на основі масивних даних. Такі захворювання, як рак молочної залози, діабет і серцево-судинні захворювання, є причиною багатьох смертей у всьому світі, але більшість із цих смертей відбувається через відсутність своєчасних оглядів. Зазначена проблема виникає через відсутність медичної інфраструктури та низьку кількість лікарів у чисельності населення. Статистика чітко показує те саме, рекомендоване ВООЗ, співвідношення лікарів до пацієнтів становить 1:1000, тоді як співвідношення лікарів до населення в Україні становить 1:1456, це свідчить про нестачу лікарів.

Ми будемо розглядати три алгоритми:

– алгоритм логістичної регресії використовує логістичну функцію, тому цей алгоритм називається логістичної регресії. Логістична функція — це S-подібна крива, розроблена для статистичних функціональних можливостей, і крива зображена між 0 і 1. Для цілей представлення логістична регресія використовує рівняння, такі як лінійна регресія [2]:

$$y = \exp(u_0 + u_1x) / (1 + \exp(u_0 + u_1x)),$$

– KNN — це техніка машинного навчання, яка використовується як для регресії, так і для класифікації. Алгоритм вважається дорогим з обчислювальної точки зору, оскільки він передбачає кілька ітерацій для отримання найкращої можливої точності. Ця техніка є технікою керованого машинного навчання, яка означає, що дані позначаються, а алгоритм вчиться передбачати результат на основі вхідних даних. Алгоритм також добре працює, навіть якщо навчальні дані великі та містять зашумлені значення;

– SVM — це методика під наглядом. Цей алгоритм використовується як для класифікаційних, так і для регресійних досліджень. У цьому алгоритмі дані відображаються в n-вимірному просторі (використовуються координати). SVM можна класифікувати на лінійні та нелінійні типи.

Для прогнозування виникнення захворювань ми використовували «Набір даних про захворювання» UCI. Цей набір даних складається з 13 медичних прогностичних ознак і однієї цільової функції. Набір даних містить 1303 екземпляри та 75 атрибутів.[3]

У цій роботі використовуються алгоритми логістичної регресії, KNN, SVM, а точність обчислюється за допомогою перехресної перевірки з коефіцієнтом cv 10.

Таблиця 1 – Графік точності алгоритмів при різних захворюваннях

Захворювання	Логістична регресія	SVM	KNN	Найкраща точність
Хвороба серця	82.50	78.87	83.84	83.84
Діабет	77.60	75.64	75.52	77.60
Рак	90.55	91.38	92.55	94.55

На закінчення ми дослідили використання різних алгоритмів машинного навчання, включаючи логістичну регресію, машину опорних векторів (SVM) і K-Nearest-Neighbors (KNN), для прогнозування захворювань. Після оцінки продуктивності кожного алгоритму ми виявили, що KNN є найбільш підходящим алгоритмом. KNN продемонстрував вищу точність і нижчий рівень помилок порівняно з іншими алгоритмами в нашому експерименті

Список використаних джерел:

1. Sneha Grampurohit (2023 March 25). *Disease Prediction using Machine Learning Algorithms*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9154130/metrics#metrics>
2. Rameez Bhajjee (2023, 25 березня). *Medical Disease Prediction using Machine Learning Algorithms*. <https://www.ijraset.com/research-paper/medical-disease-prediction-using-ml-algorithms>
3. Jonathan G. Richens (2023, 25 березня). *Improving the accuracy of medical diagnosis with causal machine learning*. <https://www.nature.com/articles/s41467-020-17419-7>

УДК 519.87:004.9

МАРКОВСЬКІ МОДЕЛІ СИСТЕМ З ПОЕТАПНИМ ВІДНОВЛЕННЯМ

Воробйов М.К.

Наукові керівники: канд. техн. наук, доц. Наумейко І.В.,
канд. фіз.-мат. наук, доц. Сова Г.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ, каф. ВМ
м. Харків, Україна

тел. +38 (057) 70-21-436, email: mykyta.vorobiov1@nure.ua

The model of Human-Machine-Environment (HME) system which reduces the price of detrimental factor recovering is worked out. Subject of research: The Markov model of HME with protective subsystem. It changes discrete states continuously at random time. The considered model of a discrete dynamical system describes a situation, where the main subsystem "produces" harmful factor, and the second subsystem, the defense, is trying to reduce it.

Об'єкт дослідження: процес динаміки системи типу "Людина-Машина-Середовище" (ЛМС) при зовнішньому потоці природних або техногенних аварій.

Предмет дослідження: Марківська модель системи ЛМС із захисною підсистемою за неперервного випадкового часу зміни дискретних станів.

Актуальність теми: за останні роки системи ЛМС виділилися в особливий клас, що включає деякі важливі системи економіки, екології, військової справи та безпечної життєдіяльності. Ці елементи завжди входили до більшості кібернетичних систем, але розглядалися лише з погляду автоматизованого управління, із застосуванням обмеженого кола методів дослідження, наприклад, СМО та теорія надійності. На даний час найбільш актуальними з ЛМС є системи захисту.

Розглядається ЛМС з кінцевим простором станів S , що має Марківську властивість, тобто ймовірності переходу до нового стану цілком визначаються поточним станом і моментом часу. Такі системи виникають, зокрема, при відновленні об'єктів після катастроф силами особливих підрозділів. На сьогодні в Україні знос потенційно небезпечних технічних систем (заводи, електростанції та ін.) у середньому перевищує 70%, що робить особливо актуальним моделювання роботи систем безпеки цього типу. У розвитку роботи [1] тут розглядаємо модель динамічної системи, що описує ситуацію, коли основна підсистема «виробляє» шкідливий фактор, а друга підсистема – захист – намагається зменшити його абсолютно, або за прийнятну ціну. Замкнена стаціонарна модель ЛМС є ланцюгом Маркова і має вигляд

Розглянемо команду фахівців, які ліквідують певне пошкодження у підсистемі «Машина» за n етапів (не порушуючи загальності, нехай $n = 3$).

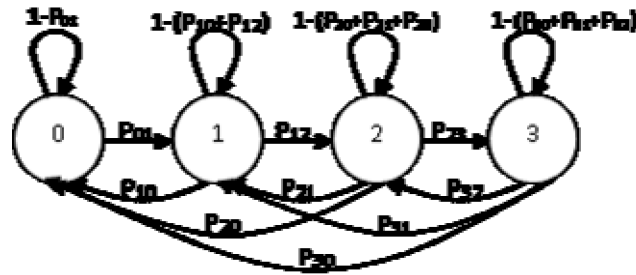


Рисунок 1

Завдання знаходження ймовірностей станів у цій постановці описано ланцюгом Маркова, дискретним, як за станами, так і за часом.

Матриця ймовірностей переходів системи з рис.1 має вигляд:

$$P = \begin{bmatrix} 1-p_{01} & p_{01} & 0 & 0 \\ p_{10} & 1-(p_{01}+p_{12}) & p_{12} & 0 \\ p_{20} & p_{21} & 1-(p_{20}+p_{21}+p_{23}) & p_{23} \\ p_{30} & p_{31} & p_{32} & 1-(p_{30}+p_{31}+p_{32}) \end{bmatrix}.$$

Наслідок із теорії марковських ергодичних ланцюгів такий, що матриця переходів для такої ЛМС за k кроків – P_k збігається до стохастичної матриці з однаковими рядками. Прийнятна точність (до 3-го знаку) досягається реальних P при $k < 10$.

Ймовірності p_{01} та ймовірності всіх «зворотних» переходів, крім p_{10} , (див. рис.1) є змінними, що спостерігаються, а всі інші – керованими.

Граничні ймовірності станів визначають середній нормований час перебування в цьому стані, отже, і вартість (збитки) від аварії та її ліквідації загалом, є математичне очікування. Якщо для керованих параметрів ймовірності переходів задані як функції витрат на захист, то природно постає завдання оптимізації загальних середніх втрат у результаті аварії при заданих C_i – значеннях цін станів: $E = \sum_i C_i P_i \rightarrow \min$.

Залежності P_i від керованих змінних p_{ij} – перехідних ймовірностей матриці P є поліноми k -го степеня. Функція не опукла, обмеження – n -вимірний поліедр, якщо немає інших обмежень, крім $\sum_j p_{i,j} = 1$. Чисельними методами вдається знайти кілька локальних мінімумів функції $E(P)$.

Список використаних джерел:

1. Наумейко, І.В., & Сова, Г.В. (2012). До розрахунку марківської моделі ергатичної системи. *Зб. наук.праць. 5-ї Ювілейної Міжнародної Наукової конференції "ФУНКЦІОНАЛЬНА БАЗА НАНОЕЛЕКТРОНІКИ" Харків-Крим*.

УДК 519.816:336.7

СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ У ПРОЦЕСАХ СПОЖИВЧОГО КРЕДИТУВАННЯ

Вороненко М.Д.

Науковий керівник – д-р фіз.-мат. наук, проф. Сидоров М.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38(096) 404-13-61, email: mykyta.voronenko@nure.ua

This work is describing automation of decision process in consumer lending. Consumer lending is provision of funds by a creditor to a private person for his personal needs. For each lender it is important to analyze and minimize credit risk. This is done via decision support systems.

Споживчий кредит – це надання грошових коштів кредитодавцем (банком або іншою фінансовою установою) приватній особі на її особисті потреби (не пов'язані з комерційною діяльністю). Споживчі кредити слід відрізняти від мікрокредитування, що призначене для фінансування підприємницької діяльності фізичних осіб [1].

Споживчі кредити діляться на два типи:

а) гроші до зарплати – короткострокові (до одного місяця) на покриття поточних витрат;

б) купівля в кредит – на придбання товару, наприклад, побутової техніки.

Будь-який кредит сполучений із деяким кредитним ризиком. Кредитний ризик – це наявний або потенційний ризик для надходжень і капіталу, який виникає через неспроможність сторони, що взяла на себе зобов'язання, виконати умови будь-якої фінансової угоди із банком або в інший спосіб виконати взяті на себе зобов'язання.

Перед кредитодавцем стоїть задача максимізації прибутку, а отже, і мінімізації кредитного ризику. Для виконання цієї задачі кредитодавець збирає весь доступний обсяг інформації про особу потенційного кредитора, аналізує ризики та приймає рішення чи підтвердити заявку на кредит. В сучасному світі розв'язання цієї задачі неможливо без автоматизації управління із використанням інформаційних систем.

Існує два взаємно доповнюючих один одного видів оцінки ризиків – якісний і кількісний.

Якісний аналіз включає в себе також методологічний підхід до кількісної оцінки прийнятного рівня ризику.

Кількісну оцінку ризику, тобто чисельне визначення розмірів окремих ризиків і ризику портфеля в цілому зазвичай виробляють на основі методів математичної статистики. Складність їх застосування полягає в недостатності і недоступності накопиченої статистичної інформації.

Якісна оцінка ризиків проводиться в кілька етапів:

- виявляються фактори, які впливають на зростання і / або зменшення конкретних видів ризику (ці чинники є базою для подальшого аналізу ризиків);

- визначається система показників оцінки ризику, яка має відповідати вимогам адекватності, комплексності, динамічності, об'єктивності, а також допускати поповнення і розвиток;

- встановлюються потенційні області ризику: заходи, операції, види робіт, при виконанні яких може виникнути невизначеність в отриманні позитивного результату;

- ідентифікуються всі можливі ризики, тобто визначення можливих ризиків в результаті даної дії або бездіяльності.

Для цього використовують системи підтримки та автоматизації прийняття рішень. Система підтримки прийняття рішень (СППР) – комп'ютеризована система, яка через збирання та аналіз великого обсягу інформації може впливати на процес ухвалення керівничих рішень в бізнесі та підприємстві.

Такі системи дають змогу особам, які приймають рішення, відшукувати релевантні дані, а також надають доступ до зовнішньої (по відношенню до організації) інформації. Інформаційна система підтримки прийняття рішень дає змогу користувачам моделювати й аналізувати інформацію у такий спосіб, який буде найефективнішим для мінімізації кредитного ризику і буде забезпечувати підтримку в інтерактивному режимі [2].

Найчастіше автоматизовані комп'ютерні системи для підтримки рішень впроваджуються у процесну область вимірювання і аналізу (Measurement and Analysis), яка забезпечує зберігання і надання можливостей вимірювання ключових показників, які використовуються для задоволення потреб інформаційного менеджменту [3].

Наявність сучасних технологій отримання і обробки інформації дає змогу реалізувати автоматизацію інформаційної системи управління такого рівня, що вона виходить за рамки визначення системи підтримки рішень і стає автоматизованою системою прийняття рішень, що самостійно приймає оптимальні рішення, залишаючи особам, які приймають рішення лише граничні і нетипові випадки.

Список використаних джерел:

1. Арбузов, С.Г., Колобов, Ю.В., Міщенко, В.І., & Науменкова, С.В. (2011). *Споживчий кредит*. У Банківська енциклопедія. Центр наукових досліджень Національного банку України.

2. Братушка, С.М., Новак, С.М., & Хайлук, С.О. (2010). *Системи підтримки прийняття рішень*. ДВНЗ “УАБС НБУ”.

3. Довгань, Л.Є., Мохонько, Г.А., & Малик, І.П. (2017). *Управління проектами*. КПІ ім. Ігоря Сікорського.

ЧИСЕЛЬНИЙ АНАЛІЗ СТРУКТУРНИМ МЕТОДОМ R-ФУНКЦІЙ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИХ ПОЛІВ В ПЛОСКИХ ОБЛАСТЯХ З ГЕОМЕТРИЧНИМИ СИНГУЛЯРНОСТЯМИ

Галін П.К.

Науковий керівник – д-р фіз.-мат. наук, проф. Сидоров М.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38(067) 955-64-40, email: pavlo.halin@nure.ua

This paper considers the application of the structural method of R-functions to the solution of the problem of mathematical modeling of electrostatic fields in planar regions with geometrical singularities. Classical solution structures in this case lose the property of completeness. We describe an approach to transform such a structure into an exact one and obtain numerical results for calculating the electrostatic field in a region with an insulator.

Основою математичного моделювання різноманітних електромагнітних процесів є система рівнянь електродинаміки, або система рівнянь Максвелла. Система рівнянь, що описує поведінку електромагнітного поля, пов'язаного з постійним струмом, впливає з системи рівнянь Максвелла у результаті нехтування доданками, залежними від часу. За відсутності струму провідності остання система розпадається на дві незалежні системи рівнянь – рівняння електростатики і рівняння магнітостатики. І нарешті за умови відсутності у розглядуваній області Ω зарядів електростатичний потенціал u задовольнятиме рівнянню Лапласа $\Delta u = 0$, а якщо ж ρ – об'ємна густина зарядів, то електростатичний потенціал u задовольнятиме рівнянню Пуассона $-\Delta u = 4\pi\rho$. На межі $\partial\Omega$ області Ω для потенціалу u потрібно задати крайові умови. Наприклад, умова $u|_{\partial\Omega} = \varphi$ означатиме, що на $\partial\Omega$

задано значення потенціалу, а умова $\frac{\partial u}{\partial \mathbf{n}}|_{\partial\Omega} = 0$ означатиме, що межу $\partial\Omega$

електроізолювано. Отже, задача математичного моделювання електростатичного поля зводиться до розв'язання крайової задачі математичної фізики. Точні методи розв'язання таких задач (метод Фур'є, метод інтегральних перетворень, метод функцій Гріна тощо) застосовні лише у випадку досить простої геометрії області Ω , а багато чисельних методів (метод скінченних різниць, метод скінченних елементів тощо) не завжди точно враховують на аналітичному рівні геометричну інформацію, що міститься у постановці задачі. Вільним від цього недоліку є структурний метод (метод R-функцій), запропонований академіком НАН України В.Л. Рвачовим [1]. Для задачі розрахунку фізико-механічних полів цей метод полягає у наступному:

– точний опис геометрії області, тобто побудова такої функції $\omega(\mathbf{x})$, яка

є додатною у Ω і дорівнює нулю на $\partial\Omega$ (також ця функція може мати певні диференціальні властивості, зокрема, нормалізованість: $|\nabla\omega(\mathbf{x})|=1$ на $\partial\Omega$);

– продовження, користуючись функцією $\omega(\mathbf{x})$, межових значень та межових диференціальних операторів в область Ω ;

– побудова структури розв'язку крайової задачі, тобто жмутка функцій, що точно задовольняє крайові умови задачі;

– апроксимація невизначених компонент структури якимось чисельним методом (зазвичай варіаційним чи проєкційним) з метою задовольнити рівняння задачі.

Описаний підхід довів свою ефективність при розв'язанні у областях складної геометрії найрізноманітніших задач теплопровідності, гідродинаміки, теорії пружності, теорії пластичності, електродинаміки тощо. Але його реалізація натикається на певні труднощі, якщо область Ω містить так звані геометричні сингулярності – розрізи, щілини, тонкі включення тощо. Тоді зазвичай класичні структури розв'язку втрачають свою повноту і ми не матимемо можливість наблизити шукану функцію як завгодно точно. Для того, щоб трансформувати структуру у повну, можна скористатися наступним підходом [1]. Нехай область Ω містить розріз і рівняння $\omega_0(x, y) = 0$ – це нормалізоване рівняння зовнішнього контуру Ω , $\omega_1(x, y) = 0$ – нормалізоване рівняння розрізу, причому $l = 0$ – нормалізоване рівняння лінії, що містить розріз (зі зміною знака при переході через цю лінію), а $\omega \equiv \omega_0 \wedge_{\alpha} \omega_1 = 0$ – рівняння межі області з розрізом. Тоді повнота структури буде відновлена, якщо невизначену компоненту Φ подати у вигляді $\Phi = q_1 \cdot \Phi_1 + q_2 \cdot \Phi_2$, де

$$q_i = \frac{1}{2} (1 - (-1)^i D_1^{(l)} \omega_1) \Big|_{\omega_1=0} = \begin{cases} \frac{1}{2} (1 + (-1)^i), & l = -0, \\ \frac{1}{2} (1 - (-1)^i), & l = +0, \end{cases} \quad i = 1, 2,$$

$$D_1^{(l)} = \frac{\partial l}{\partial x} \cdot \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial l}{\partial y} \cdot \frac{\partial}{\partial y}.$$

Обчислювальний експеримент було проведено для задачі розрахунку електростатичного поля у круговій області

$$\Omega = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 : x^2 + y^2 < 4, x \notin [-1; 1]\},$$

якщо на межі круга підтримується одиничний потенціал, а відрізок $[-1; 1]$ осі Ox займає вставка-ізолятор.

Список використаних джерел:

1. Кравченко, В.Ф., & Рвачев, В.Л. (2006). *Алгебра логики, атомарные функции и вейвлеты в физических приложениях*. ФИЗМАТЛИТ.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДОМ ДВОБІЧНИХ НАБЛИЖЕНЬ ОДНОВИМІРНИХ КРАЙОВИХ ЗАДАЧ ДЛЯ РІВНЯНЬ ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКУ, ЯКІ Є МАТЕМАТИЧНИМИ МОДЕЛЯМИ МІКРОЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

Гвоздев М.І.

Науковий керівник – д-р фіз.-мат. наук, проф. Сидоров М.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38(095) 812-85-92, email: mykyta.hvozdev@nure.ua

The paper considers a one-dimensional microelectromechanical system, the mathematical model of which is the Navier problem for a fourth-order semilinear equation. To find its numerical solution, a method of two-sided approximations based on the use of the Green's function is proposed.

Мікроелектромеханічні системи з електростатичним керуванням (МЕМС) – це мікроскопічні пристрої, у яких поєднуються механічні та електростатичні ефекти. Типовою МЕМС є пристрій, який складається з жорсткої провідної заземленої пластинки, над якою підвішена затиснута де формівна мембрана, яку покрито тонкою провідною плівкою. Прикладення різниці напруг викликає кулонівську силу, яка, у свою чергу, приводить до зміщення мембрани. Особливістю цих пристроїв є те, що коли прикладена напруга перевищує певне порогове значення, мембрана може зіпсуватися або торкнутися пластини заземлення. Управління появою цього явища має надзвичайно практичне значення при розробці МЕМС або для встановлення оптимальних умов роботи та для уникнення пошкодження пристрою. Дослідження описаних процесів можна виконувати за допомогою математичного моделювання. Якщо не нехтувати згином і краї мембрани вільно закріплені, то для визначення прогину ми приходимо (у одновимірному випадку) до наступної крайової задачі (задача Нав'є) для напівлінійного рівняння [1]

$$Bu^{IV} - Tu'' = \frac{\lambda}{(1-u)^2}, \quad x \in (-l, l), \quad (1)$$

$$0 < u(x) < 1, \quad x \in (-l, l), \quad (2)$$

$$u(-l) = u''(-l) = 0, \quad u(l) = u''(l) = 0. \quad (3)$$

У моделі (1) – (3) члени Bu^{IV} і $-Tu''$ обумовлені згином та розтягом мембрани, а член $\frac{\lambda}{(1-u)^2}$ відображає дію електростатичних сил; параметр λ пропорційний квадрату прикладеної напруги.

Зведемо задачу (1) – (3) до системи звичайних диференціальних рівнянь. Покладемо $u_1 = u$, $u_2 = -u''$. Тоді задача (1) – (3) набуде вигляду

$$-u_1'' = u_2, \quad -Bu_2'' + Tu_2 = \frac{\lambda}{(1-u_1)^2}, \quad x \in (-l, l), \quad (4)$$

$$u_1(-l) = u_2(-l) = 0, \quad u_1(l) = u_2(l) = 0. \quad (5)$$

Для побудови двобічних наближень до додатного розв'язку задачі (4), (5) скористаємося методами нелінійного аналізу у банахових просторах [2] та одновимірним варіантом метода, викладеного у [3].

Задача (4), (5) еквівалентна системі інтегральних рівнянь Гаммерштейна

$$u_1(x) = \int_{-l}^l G_1(x,s)u_2(s)ds, \quad u_2(x) = \frac{\lambda}{B} \int_{-l}^l \frac{G_2(x,s)}{(1-u_1(s))^2} ds, \quad (6)$$

де $G_1(x,s) = \frac{1}{l} \begin{cases} (l+x)(l-s), & -l \leq x \leq s, \\ (l+s)(l-x), & s \leq x \leq l, \end{cases}$ – функція Гріна першої крайової за-

дачі для оператора $-u''$, а $G_2(x,s) = \frac{1}{\kappa \operatorname{sh} \kappa} \begin{cases} \operatorname{sh} \kappa(l+x) \operatorname{sh} \kappa(l-s), & -l \leq x \leq s, \\ \operatorname{sh} \kappa(l+s) \operatorname{sh} \kappa(l-x), & s \leq x \leq l. \end{cases}$

– функція Гріна першої крайової задачі для оператора $-u'' + \kappa u$, $\kappa = \frac{T}{B}$.

Систему рівнянь (6) розглядатимемо у банаховому просторі $C[-l, l] \times C[-l, l]$, який напівупорядковано конусом K_+ . Якщо ізотонний оператор, який визначається правою частиною системи рівнянь (6), має інваріантний конусний відрізок $\langle (v_{1,0}, v_{2,0}), (w_{1,0}, w_{2,0}) \rangle$, то можна утворити ітераційний процес

$$v_1^{(k)}(x) = \int_{-l}^l G_1(x,s)v_2^{(k-1)}(s)ds, \quad v_2^{(k)}(x) = \frac{\lambda}{B} \int_{-l}^l \frac{G_2(x,s)}{(1-v_1^{(k-1)}(s))^2} ds, \quad k=1, 2, \dots,$$

$$w_1^{(k)}(x) = \int_{-l}^l G_1(x,s)w_2^{(k-1)}(s)ds, \quad w_2^{(k)}(x) = \frac{\lambda}{B} \int_{-l}^l \frac{G_2(x,s)}{(1-w_1^{(k-1)}(s))^2} ds, \quad k=1, 2, \dots,$$

$$v_1^0(x) = v_{1,0}(x), \quad v_2^0(x) = v_{2,0}(x), \quad w_1^0(x) = w_{1,0}(x), \quad w_2^0(x) = w_{2,0}(x),$$

який у разі збіжності як раз двобічно і збігатиметься до розв'язку крайової задачі (4) – (6) (буква w позначає послідовність верхніх функцій, а v – нижніх).

Список використаних джерел:

1. Laurençot, P., & Walker, C. (2014). A fourth-order model for MEMS with clamped boundary conditions. *Proceedings of the London Mathematical Society*, 109 (6), 1435-1464. <https://doi.org/10.1112/plms/pdu037>

2. Опойцев, В. И., & Хуродзе, Т. А. (1984). *Нелинейные операторы в пространствах с конусом*. Изд-во Тбилис. ун-та.

2. Сидоров, М. В. (2017). Побудова двобічних наближень до додатного розв'язку нелінійної задачі Нав'є. *Вісник ХНУ ім. В.Н. Каразіна. Сер. Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління*, 34, 58-66.

УДК 519.87:532.5

ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ І МЕТОДІВ ОБЧИСЛЕННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ РІДИНИ ПРИ ОБТІКАННІ ПЕРЕШКОД

Гета Д.В.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Єсілевський В.С.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38(097) 438-11-37, email: dmytro.heta@nure.ua

This article presents a review of mathematical models and methods for numerical simulation of fluid dynamics when flowing around an obstacle, focusing on the study of various aspects of the problem, including the mathematical description of fluid motion, the choice of numerical methods for solving the equations, and the specifics of modeling the flow around obstacles. Approaches used in numerical models to account for the complexities of obstacle flowing are described, and applications of such modeling in various fields are discussed. In general, the article presents a review of modern mathematical models and methods used for modeling fluid dynamics when flowing around an obstacle and points out possible directions for further research in this area.

В останні десятиліття вивчення динаміки рідини під час обтікання перешкод стало активною галуззю досліджень у різних наукових і технічних додатках, таких як аеродинаміка, океанографія, гідродинаміка, біомедична інженерія та інші. Ця проблема залишається складною і багатогранною через складність взаємодії між рідиною і перешкодою, а також безлічі факторів, що впливають на динаміку потоку. Взаємодія потоку та перешкоди може призвести до виникнення турбулентності, яка визначає локальну динаміку потоку та навіть великомасштабні циркуляції. Для чисельного моделювання таких процесів широко використовують математичні моделі та чисельні методи, такі як рівняння Нав'є-Стокса, що являє собою одну з найпоширеніших і найефективніших методик розв'язання рівнянь гідродинаміки.

Рівняння Нав'є-Стокса є одним з найпоширеніших математичних рівнянь, що використовуються для опису динаміки рідини під час обтікання перешкоди. У роботі він застосовуватиметься для моделювання та аналізу руху рідини навколо обтічного об'єкта.

Рівняння Нав'є-Стокса засновано на рівняннях збереження маси, імпульсу та енергії для ньютонівської рідини. Воно враховує в'язкість рідини і взаємодію між молекулами, що дає змогу точніше описувати її рух у складних умовах, таких як обтікання перешкод.

При використанні чисельного моделювання для аналізу динаміки рідини під час обтікання перешкоди необхідно враховувати ряд факторів,

таких як турбулентність потоку, нелінійність рівняння Нав'є-Стокса, а також взаємодія тіла та рідини. Однією з труднощів, пов'язаних з чисельним моделюванням, є необхідність точної апроксимації граничних умов, таких як граничні умови на поверхні тіла та граничні умови на вільній поверхні рідини. Останнім часом були розроблені нові методи апроксимації граничних умов, такі як метод граничних елементів та метод зануреного кордону.

Загалом застосування рівняння Нав'є-Стокса для обчислення динаміки рідини при обтіканні перешкоди має велике значення для багатьох наукових і технічних областей. Цей підхід дозволяє отримати точні дані про швидкість та тиск рідини при впливі на неї різних факторів, що може бути використане для проектування нових пристроїв та систем, оптимізації вже існуючих та передбачення їх роботи в різних умовах.

Однак, необхідно враховувати, що чисельне моделювання - це лише математичне наближення, яке не завжди відповідає реальним умовам. Тому результати, отримані за допомогою чисельного моделювання, мають бути перевірені на експериментальні дані. Крім того, для точного вирішення рівняння Нав'є-Стокса можуть знадобитися значні обчислювальні ресурси, що може бути обмеженням при вирішенні завдань великої розмірності.

Тим не менш, розвиток методів чисельного моделювання та вдосконалення існуючих підходів дозволяє покращувати точність розрахунків та розширювати сфери застосування рівняння Нав'є-Стокса, що робить його одним з найбільш важливих інструментів у дослідженні динаміки рідини та газу.

Очікувані результати дослідження динаміки рідини при обтіканні перешкоди за допомогою рівняння Нав'є-Стокса можуть включати:

Визначення поля швидкостей та тисків навколо тіла під час обтікання рідини, що може бути використане для проектування нових пристроїв та систем або оптимізації вже існуючих.

Прогнозування сил, що діють на тіло в процесі обтікання, що може бути корисним для оцінки його міцності та довговічності.

Оцінка впливу різних факторів на динаміку рідини, таких як зміна форми тіла, зміна швидкості потоку та наявність інших перешкод у потоці.

Список використаних джерел:

1. Landau, R., Paez, M., & Bordeianu, C. (2007). *Computational Physics Problem Solving with Computers*. WILEY-VCH.

УДК 004.9:519.23

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ МАКСИМАЛЬНОЇ ЕНТРОПІЇ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ МАРКОВСЬКИХ СИСТЕМ

Гирка К.Г.

Науковий керівник: канд. техн. наук, доц. Наумейко І.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38(066) 49-12-956, email: kostiantyn.hyrka@nure.ua

The object of research is modeling of human-machine systems with protection and recovery in the case of disasters. Purpose of the work is to find the optimal probabilities of states for such a system. Methods of research – modeling with the most general approach – maximizing information entropy. This problem belongs to the class of optimization and control problems of ergatic systems that have Markov properties.

Метод максимальної ентропії – це загальний метод статистичного висновку, який використовується для оцінки розподілу ймовірностей на основі неповних або обмежених даних. Він базується на принципі максимальної ентропії, який стверджує, що розподіл ймовірностей, який найкраще представляє наявну інформацію, є таким, що максимізує ентропію за умови дотримання обмежень, накладених наявними даними.

У контексті марковських систем метод максимальної ентропії може бути використаний для оцінки розподілу ймовірностей системи, який описує ймовірність перебування системи в кожному можливому стані в будь-який момент часу. Цей розподіл ймовірностей можна використовувати для аналізу поведінки системи, прогнозування та оптимізації її роботи. Одним з важливих застосувань методу максимальної ентропії в Марківських системах є оптимізація процесів прийняття рішень [1]. Наприклад, у виробничому процесі необхідно приймати рішення на різних етапах, наприклад, коли починати нову серію виробництва або коли зупинити виробництво через проблеми з якістю [2]. Моделюючи виробничий процес як Марківську систему і використовуючи метод максимальної ентропії для оцінки розподілу ймовірностей, можна оптимізувати процес прийняття рішень, щоб максимізувати ефективність і мінімізувати відходи.

Іншим застосуванням методу максимальної ентропії є прогнозування майбутніх подій на основі минулих спостережень. Наприклад, у фінансовому прогнозуванні метод максимальної ентропії може бути використаний для оцінки розподілу ймовірностей цін на акції, і ця інформація може бути використана для прогнозування майбутніх цін і прийняття інвестиційних рішень [1].

Крім того, метод максимальної ентропії можна використовувати для аналізу чутливості марковських систем до зміни параметрів системи. Наприклад, якщо ефективність виробничого процесу залежить від швидкості

виробничої лінії, метод максимальної ентропії може бути використаний для аналізу чутливості розподілу ймовірностей до зміни швидкості виробничої лінії, і ця інформація може бути використана для оптимізації швидкості лінії. Процедура максимальної ентропії складається з пошуку розподілу ймовірностей що максимізує інформаційна ентропія, з урахуванням обмежень інформації. Ця обмежена задача оптимізації зазвичай вирішується методом множників Лагранжа.

Обмеження – природні для ймовірностей, задачі з обмеженнями у вигляді математичних сподівань [1].

Таким чином, якщо обмеження задають середні значення певних функцій $\{f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)\}$, таких що

$$\sum_{i=1}^n p_i f_k(x_i) = F_k, 1 \leq k \leq m, \quad (1)$$

де $\{F_k\}$ – значення, задані у постановці задачі, то при $m < n$ завдання максимізації ентропії є варіаційною задачею, яка розв'язується методом множників Лагранжа. Воно має спільний розв'язок

$$p_i = \frac{1}{Z(\lambda_1, \dots, \lambda_m)} \exp[-\lambda_1 f_1(x_i) - \dots - \lambda_m f_m(x_i)],$$

де $Z(\lambda_1, \dots, \lambda_m) = \sum_{i=1}^n \exp[-\lambda_1 f_1(x_i) - \dots - \lambda_m f_m(x_i)]$ є функцією розподілу;

$\{\lambda_k\}$ – множники Лагранжа, які обрані так, щоб задовольняти обмеження (1).

Це випадок, коли

$$F_k = -\frac{\partial}{\partial \lambda_k} \ln Z, 1 \leq k \leq m$$

є системою з m рівнянь для m невідомих. Таким чином, отримане значення максимуму ентропії залежить лише від заданої інформації:

$$S(F_1, \dots, F_m) = \ln Z + \sum_k \lambda_k F_k.$$

Загалом, метод максимальної ентропії є потужним інструментом для моделювання, аналізу та оптимізації марковських систем, корисний у ситуаціях, коли наявні дані обмежені або неповні.

Список використаних джерел:

1. Savas, Y. (2020) Entropy maximization for markov decision processes under temporal logic constraints. *IEEE transactions on automatic control*, 65, (4), 1552–1567.
2. Maron, A. (2016) Assessment of service quality for complex technical devices based on the Jaynes' information principle. *Business informatics*, (4), 47–51.

МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДУ ПАРАМЕТРИЗАЦІЇ ЦІЛЬОВОЇ ФУНКЦІЇ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ УМОВНОЇ МІНІМІЗАЦІЇ

Голубощенко Р.В.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Наумейко І.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ,
м. Харків, Україна

тел. +38(097) 677-12-26, email: ruslan.holuboshchenko@nure.ua

This work is written in order to show a reader one quite easy but helpful mathematical improvement of objective function parametrization method. The biggest attention is paid to proof of modified method viability. Also, the geometrical representation is given.

Метод параметризації цільової функції використовується для максимізації функції з обмеженнями-нерівностями:

$$f(x) \rightarrow \max, \quad g_i(x) \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (1)$$

Точним розв'язком задачі (1) є $f^* = \inf f(x)$.

Сам метод полягає у тому, щоб замість задачі (1) розглядати задачу

$$M(x; \beta_k) = (f(x) - \beta_k)^2 + \varphi(x) \rightarrow \min, \quad x \in X, \quad (2)$$

де $\varphi(x) = \sum_{i=1}^m [\max(0; g_i(x))]^2$ – квадратична функція штрафу при $C=1$ [1, §5],

а $\beta_k \leq f^*$ є послідовністю параметрів, яка збігається до f^* .

Геометричну інтерпретацію задачі (2) наведено на рис. 1. Приймавши $g(x) = \sqrt{\varphi(x)}$, можна побачити, що її зміст – відшукування кола найменшого радіуса, що має перетин із образом W множини X при відображенні $x \rightarrow (g(x); f(x))$. На цій ілюстрації точки $a^i(0; \beta_i)$ мають параметр β_i як ординату, тому задача (1) зводиться до знаходження послідовності $\{a^i\}$ центрів кіл, яка збігається до розв'язку $a^*(0; f^*)$.

Класичний метод параметризації цільової функції пропонує таку формулу для параметра β_{k+1} :

$$\beta_{k+1} = \beta_k + \sqrt{M(x^k; \beta_k)}, \quad (3)$$

де x^k – розв'язок задачі (2).

Ідея модифікованого методу полягає в тому, щоб замінити формулу (3) на таку:

$$\beta_{k+1} = \beta_k + \frac{M(x^k; \beta_k)}{f(x^k) - \beta_k}. \quad (4)$$

Рівняння (4) нескладно отримати за допомогою простих фактів аналітичної геометрії та з урахуванням того факту, що $c^k(g(x^k); f(x^k))$. Воно виводиться з міркувань того, що центр наступного кола лежить в точці пе-

ретину перпендикуляра до відрізка $[a^k; c^k]$ в точці c^k з віссю ординат.

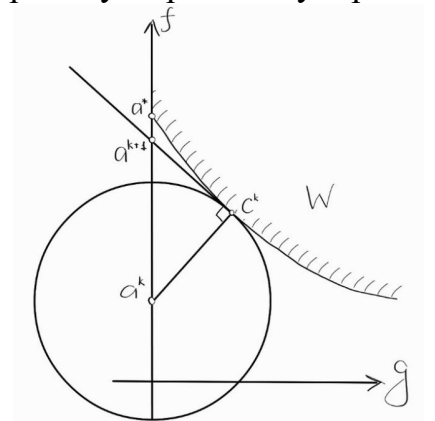


Рис. 1

Необхідно довести збіжність послідовності $\{\beta_k\}$. Якщо припустимо, що область W є випуклою, то з (4) стає достатньо очевидно, що вона не спадає.

Покажемо, що послідовність обмежена зверху величиною f^* і, як наслідок, має границю. Це можна зробити, довівши, що справджується наступна нерівність:

$$\frac{M(x^k; \beta_k)}{f(x^k) - \beta_k} \leq f^* - \beta_k.$$

Знову звернемося до ілюстрації. Геометричний зміст нерівності такий: довжина відрізка, на який збільшується попередній параметр, не перевищує дистанцію між цим параметром та розв'язком.

З умови $f^k \leq f^*$ видно, що виконується нерівність:

$$f^k - \beta_k \leq f^* - \beta_k, \quad (5)$$

яка явно показує, що

$$M(x^k; \beta_k) = (f^k - \beta_k)^2 + \varphi(x^k) \leq (f^k - \beta_k)(f^* - \beta_k).$$

Звідси отримуємо шукану нерівність:

$$\frac{M(x^k; \beta_k)}{f(x^k) - \beta_k} \leq \frac{(f^k - \beta_k)(f^* - \beta_k)}{f(x^k) - \beta_k} = f^* - \beta_k.$$

Таким чином, послідовність $\{\beta_k\}$ збігається до деякого числа $\beta \leq f^*$. Тоді з (2) робимо висновок, що $\lim_{k \rightarrow \infty} M(x^k; \beta_k) = 0$, а з цього випливає рівність:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} f(x^k) = \lim_{k \rightarrow \infty} \beta_k = \beta, \quad (6)$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \varphi(x^k) = 0. \quad (7)$$

З рівностей (6), (7) можна зробити висновок, що x^* – гранична точка послідовності $\{x^k\}$, за умови, що допустима множина X задачі (1) є компактом, а тому (6) означає рівність $\beta = f^*$.

Таким чином ми довели збіжність розглянутої модифікації методу параметризації цільової функції. Також з його геометричної інтерпретації стає очевидно, що модифікований метод (4) збігатиметься до розв'язку f^* швидше за класичний метод (3). Доведення цього факту, однак, залишимо поза межами цієї доповіді.

Список використаних джерел:

1. Сухар'єв А.Г., Тимохов А.В., & Фёдоров В.В. (2005)/ *Курс методов оптимизации*. ФИЗМАТЛИТ.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛІЗУ В ЗАДАЧАХ ГІДРОДИНАМІКИ

Дудар М.А.

Науковий керівник – д-р фіз.-мат. наук, проф. Сидоров М.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38(063) 724-02-11, email: mykyta.dudar@nure.ua

The paper considers the application of complex analysis methods to the solving of the problem of flowing (non-circulating and circulating) of a circular cylinder by a flow of ideal (inviscous) fluid. The corresponding complex potential is obtained and stream lines are constructed for different values of circulation.

Ще з робіт Леонардо Ейлера методи комплексного аналізу знаходять широке застосування при розв'язанні задач математичного моделювання різних фізико-механічних полів, зокрема, при розв'язанні задач обтікання тіл ідеальною рідиною. Стаціонарна безвихорева плоска течія нестисливої рідини повністю характеризується так званим комплексним потенціалом – аналітичною функцією $f(z) = \phi(x, y) + i\psi(x, y)$ комплексної змінної $z = x + iy$, дійсна $\phi(x, y)$ та уявна $\psi(x, y)$ частини якої є відповідно потенціалом та функцією течії [1]. Лінії рівня $\phi(x, y) = \text{const}$ називаються екіпотенціальними лініями, а лінії рівня $\psi(x, y) = \text{const}$ – лініями течії. Як раз лінії течії і є лініями, вздовж яких рухаються частинки рідини, а екіпотенціальні лінії їм ортогональні. Тоді можна знайти поле швидкості $\mathbf{v} = (v_x, v_y)$ рідини за формулою $\mathbf{v} = v_x + iv_y = \overline{f'(z)} = \frac{\partial \phi}{\partial x} + i \frac{\partial \phi}{\partial y} = \frac{\partial \psi}{\partial y} - i \frac{\partial \psi}{\partial x}$, тобто $v_x = \frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{\partial \psi}{\partial y}, v_y = \frac{\partial \phi}{\partial y} = -\frac{\partial \psi}{\partial x}$.

Одним з найбільш цікавим та корисним з точки зору застосувань є задача обтікання циліндричного тіла потоком рідини. Нехай область D комплексної площини (z), яка є зовнішністю простого замкненого контуру L , займає ідеальна (нев'язка) рідина. Якщо контур L співпадає з деякою лінією течії, то швидкість рідини спрямована в точках $z \in L$ за дотичною до L . У цьому випадку і кажуть, що рідина обтікає нерухоме циліндричне тіло з напрямною L та твірною, яка є перпендикулярною до площини (z). Векторне поле швидкостей течії має комплексний потенціал $f(z)$, для однозначного визначення якого треба задати ще додаткову умову. Такою умовою є задання швидкості в нескінченно віддаленій точці: $|f'(\infty)| = v_\infty$. Якщо $\Gamma = \oint_\gamma f'(z)dz$, де γ – довільний простий замкнений контур, що охоплює контур L , то при $\Gamma = 0$ обтікання циліндричного тіла є безциркуляційним, а

при $\Gamma \neq 0$ – циркуляційним.

Розглянемо випадок, коли L – коло радіуса a : $|z| = a$ і незбурений потік рідини направлений вздовж дійсної осі [1]. Якщо $\Gamma = 0$, то відповідна область D : $|z| > a$ конформно відобразиться на зовнішність відрізка $[-1; 1]$ дійсної осі за допомогою відображення $w = \frac{1}{2} \left(\frac{z}{a} + \frac{a}{z} \right)$. З урахуванням умови

$f'(\infty) = v_\infty$ отримаємо, що $f(z) = v_\infty \left(z + \frac{a^2}{z} \right)$. Якщо ж $\Gamma > 0$, то розташуємо у

точці $z = 0$ вихор інтенсивності Γ . Тоді комплексний потенціал циркуляційної течії отримаємо, додавши до попереднього виразу потенціал цього вихору: $f(z) = v_\infty \left(z + \frac{a^2}{z} \right) + \frac{\Gamma}{2\pi i} \ln z$. Розділяючи тепер дійсну та уявну час-

тини ($z = re^{i\theta}$) знаходимо функцію течії $\psi(r, \theta) = v_\infty \left(r - \frac{a^2}{r} \right) \sin \theta - \frac{\Gamma}{2\pi} \ln r$.

На рис. 1 наведено відповідні картини течії, побудовані у пакеті Mathematica 10.3 © ($a = 1, v_\infty = 1$).

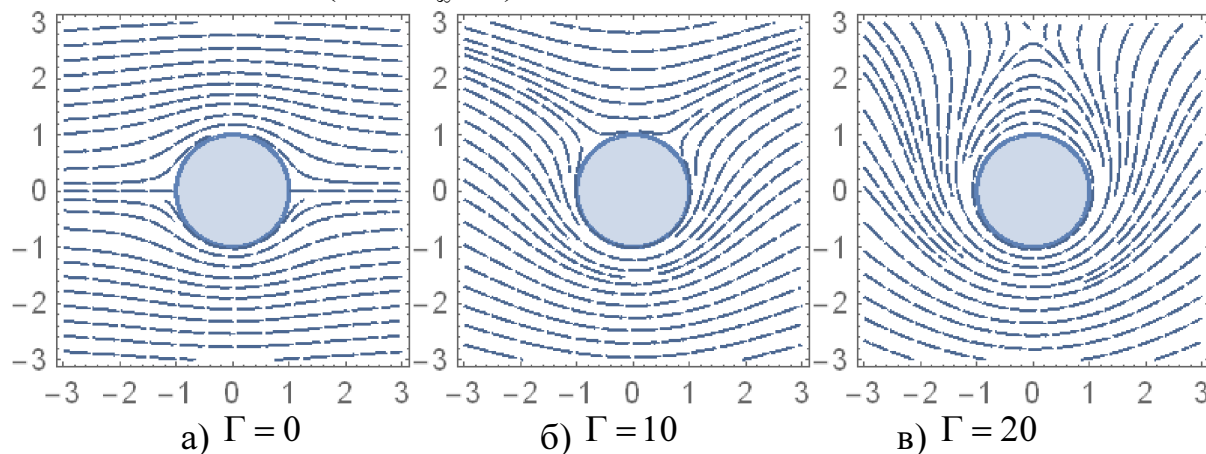


Рисунок 1 – Картина течії

Наявність циркуляції, яка виникає через обертання циліндра, приводить до появи підйимальної сили (ефект Магнуса) [2]. Цей ефект має чисельні застосування при проєктуванні вітрогенераторів, турбопарусів на кораблях, пневматиці тощо.

Список використаних джерел:

1. Лаврентьев, М.А., & Шабат, Б.В. (1973). *Проблемы гидродинамики и их математические модели*. Наука.
2. Faber, T.E. (1995). *Fluid dynamics for physicists*. Cambridge University Press.

МАКСИМІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЕНТРОПІЇ В СИСТЕМАХ З МАРКОВСЬКОЮ ВЛАСТИВІСТЮ

Журавель І.О.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Наумейко І.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38(099) 953-33-37, email: ihor.zhuravel@nure.ua

Object of research is to model a human-machine systems with protection and recovery in the case of disasters. Purpose of the work is to find the optimal probabilities of states for such a system. Methods of research is modeling by the most general approach – maximizing information entropy. This problem belongs to the class of optimization and control problems of ergatic systems that have Markov properties. The tool for achievement of this aim is the statement of an appropriate optimization problem, its analysis and numerical solution using an adequate method and the «Mathematica» mathematical package. Along with the obvious – the maximum entropy is achieved with the least restrictions on the protection system, obtained and paradoxical – the optimal intensity of work to restore the system in a non-stationary case is less than the intensity of failures.

Максимальна ентропія стала популярною статистичною моделлю в неврології та інших галузях медицини, мережних, фізичних та економічних системах, може бути інструментом для отримання оцінок взаємної інформації в біологічних системах, лежить в основі багатьох методів машинного навчання. Її використовують для класифікації текстів, таких задач як моделювання тегів, чи сегментація текстів. Доволі часто системи, які досліджуються, представляють за допомогою марковських процесів, та використовують метод максимальної ентропії у випадку недостачі статистичної інформації, або її некоректності для того, щоб знайти такий розподіл ймовірностей, обчислений за певних обмежень, який з найбільшою вірогідністю спостерігатиметься в реальній системі [1, 2].

У цій роботі, яка є початковою частиною кваліфікаційної роботи магістра, поставлено та частково розв'язано такі задачі з моделювання людино-машинних систем (ЛМС).

Метою роботи є математичне моделювання та оптимізація стану технічної системи та її оператора. Для досягнення поставленої мети було виконано наступні завдання:

- провести огляд і аналіз сучасного стану задачі «Застосування методу максимальної інформаційної ентропії для оптимізації марковських систем»;
- проаналізувати структуру та ефективність систем, які самоорганізуються.

На подальше планується змоделювати систему у вигляді марковського

процесу та оптимізувати її за допомогою методу максимальної інформаційної ентропії.

Об'єктом дослідження є система «людина-машина-середовище» та її ефективність.

Предметом дослідження є оптимізація марковських моделей системи за допомогою методу максимальної інформаційної ентропії.

У роботі використовується метод максимізації ентропії, який був строго доведений для замкнутих систем, є адекватним та ефективним для розрахунку широкого класу моделей в різноманітних галузях науки. Спираючись на це, в цій роботі для розрахунку перехідних ймовірностей та ймовірностей станів людино-машинної системи було застосовано саме метод максимізації ентропії [3].

Відомий класичний підхід Гіббса винятково складний. Е. Т. Джейнс запропонував інший підхід, заснований на максимізації ентропії за Шеноном. Ідея Е. Т. Джейнса складається в тім, що система, стан якої неможливо обчислити або виміряти в результаті експерименту, однак кожен стан має певний прояв, значення якого в середньому відомо (може бути визначено), а середній результат цих проявів відомий зі статистичних даних. Тоді найбільш об'єктивними є ймовірності станів, при яких досягається максимум ентропії Шенона при обмеженнях, що накладаються даними про середні прояви станів.

Відповідно, проблема знаходження ймовірностей станів зводиться до проблеми знаходження екстремуму нелінійної функції при заданих обмеженнях.

Відомо, що ентропія це опукла (угнута) догори функція розподілу ймовірностей елементів системи. Тож, постає класична задача опуклої оптимізації, яка буде вирішена у подальшій частині роботи.

Список використаних джерел:

1. Наумейко И. В., & Сердюк Н. Н. (2005). *Марковские модели систем «человек-машина-среда»*. Электроника и информатика, 4, 36–43.
2. Аль-Азави Р. Дж., Наумейко И. В., & Алрефаи В. А. (2013). *Марковская модель ликвидации нестационарного потока аварий при ограничениях на работоспособность оператора*. Восточно-Европейского журнала передовых технологий, 3, 4(63), 20–23.
3. Maron A. (2016). Assessment of service quality for complex technical devices based on the Jaynes' information principle. *Business informatics*, 4, 47–51.

**РОЗРОБКА НЕЧІТКОЇ СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИТРАТ
ПАЛИВА АВТОМОБІЛЯ НА ОСНОВІ ДАНИХ ПРО СТИЛЬ
ВОДІННЯ ТА ПАРАМЕТРИ ДОРОГИ**

Задрикін А.О.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Матвієнко О.І.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ,
м. Харків, Україна

тел. +38(050) 956-18-24, email: anatolii.zadrykin@nure.ua

This paper proposes the development of a fuzzy system for predicting fuel consumption of a vehicle based on driver's driving style and road parameters. The proposed system uses fuzzy logic to analyze input variables such as vehicle speed, acceleration, road gradient, and road surface condition to obtain an accurate estimate of fuel consumption. To develop the system, a dataset on driving styles and corresponding fuel consumption values was collected from the fleet of vehicles. The dataset was processed and analyzed to extract relevant features, which were then used to develop and train a fuzzy system. Overall, this paper demonstrates the potential of using fuzzy logic in developing predictive models for complex systems such as vehicle fuel consumption.

В даний час автомобіль є невід'ємною частиною життя людини. При цьому, особливо в умовах зростання цін на паливо, дуже важливе економне використання палива в автомобілі. Один із способів зниження витрати палива полягає в оптимізації стилю водіння та виборі найбільш ефективних маршрутів. Однак, вибір правильного стилю водіння та маршруту може бути складним та залежить від багатьох факторів, таких як умови дороги, швидкість руху, поведінка інших водіїв тощо. Для вирішення цієї проблеми можна використовувати нечіткі системи передбачення витрати палива автомобіля на основі даних про стиль водіння та параметри дороги. Необхідність розробки такої системи ґрунтується на тому, що спостерігається різний рівень споживання палива на однакових відстанях та за однакових умов дороги залежно від стилю водіння водія. Це дозволяє зробити висновок про те, що стиль водіння та параметри дороги відіграють ключову роль у визначенні витрат палива автомобіля. Нечітка система передбачення витрати палива автомобіля на основі даних про стиль водіння та параметри дороги може допомогти водієві визначити оптимальний стиль водіння та маршрут, що зрештою призведе до зниження витрати палива.

Нечітка система передбачення витрати палива автомобіля на основі даних про стиль водіння та параметри дороги може бути розроблена наступним чином. Спочатку, необхідно зібрати дані про стиль водіння водія та параметри дороги. Для цього можна використовувати різні датчики та девайси, такі як GPS, інерційні датчики, датчики швидкості, тиск у шинах, температури двигуна і т.д. Далі, отримані дані необхідно обробити та згру-

пувати відповідно до різних параметрів, таких як швидкість руху, кут нахилу дороги, тип дорожнього покриття тощо.

На основі отриманих даних необхідно розробити нечітку систему передбачення витрати палива. Нечітка логіка дозволяє використовувати нечіткі правила для опису взаємодії між різними параметрами, такими як швидкість руху, кут нахилу дороги, тип дорожнього покриття тощо. Внаслідок цього можна визначити, як ці параметри впливають на витрату палива автомобіля.

Модель передбачення витрати палива на основі даних про стиль водіння та параметри дороги можна представити у вигляді нечіткої логіки:

$$V = \frac{\sum (\mu(i) * v_i)}{\sum \mu(i)},$$

де V – витрати палива, $\mu(i)$ – ступінь приналежності до кожного стилю водіння та типу параметрів дороги, v_i – витрати палива для кожного стилю водіння та типу параметрів дороги.

$$\mu(i) = \min(\mu_A(a_i), \mu_B(b_i), \dots, \mu_N(n_i)),$$

де $\mu_A(a_i), \mu_B(b_i), \dots, \mu_N(n_i)$ – ступені приналежності до кожного класу водіння та параметрів дороги, які визначаються за допомогою нечітких множин.

$$\begin{aligned} \mu_A(a_i) &= 0, \text{ якщо } x < a_i, \\ \mu_A(a_i) &= \frac{x - a_i}{b_i - a_i}, \text{ якщо } a_i < x < b_i, \\ \mu_A(a_i) &= 0, \text{ якщо } x > b_i, \end{aligned}$$

де a_i, b_i – межі для кожного стилю водіння та параметрів дороги, x – значення параметру (наприклад, швидкість або стан дороги).

Після визначення ступенів приналежності для кожного стилю водіння та параметрів дороги, можна визначити витрати палива за допомогою дефазифікації. Результат можна записати у програму для подальшого використання. Розробка нечіткої системи передбачення витрат палива автомобіля є важливим кроком у розвитку технологій керування автомобілем. Такі системи можуть знизити витрати палива, покращити економічну ефективність автомобіля та знизити шкідливі викиди у навколишнє середовище.

Список використаних джерел:

1. Сохацький, А. В., Трофімов, О. В., Фірсов, О. Д. (2018). *Динаміка автомобільних та інших транспортних засобів: Ч. 1. Тягово-швидкісні властивості автотранспортних засобів. Паливна економічність*. Університет митної справи та фінансів.

2. Флегонтов, А. В., Вилков, В. Б., Черных, А. К. (2020). *Моделирование задач принятия решений при нечетких исходных данных*. Лань.

УДК 519.863:004.942

РОЗРОБКА НЕЧІТКОЇ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА АВТОМОБІЛЯ НА ОСНОВІ ЙОГО ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Задрикін С.О.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Матвієнко О.І.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ,
м. Харків, Україна

тел. +38(066) 844-88-55, email: serhii.zadrykin@nure.ua

This article discusses the development of a fuzzy model for predicting the fuel consumption of vehicles based on their technical specifications and operating conditions. The use of fuzzy sets can improve the accuracy of fuel consumption forecasts, leading to reduced fuel costs and improved economic efficiency. Furthermore, fuzzy models can be more adaptable to changing operating conditions, making them more suitable for real-world use. Overall, the article concludes that developing fuzzy models for predicting vehicle fuel consumption has great potential for improving economic efficiency and reducing fuel costs in practical applications.

Однією з найбільш важливих задач при експлуатації автомобілів є прогнозування витрати палива, особливо у залежності від різних умов їх експлуатації. У зв'язку з цим, розробка нечіткої моделі прогнозування може бути дуже корисною, оскільки вона дозволяє враховувати не тільки точні значення технічних характеристик автомобіля, а й випадковість умов експлуатації.

Нечіткі множини та числа є потужним інструментом для розв'язання задач, які мають велику кількість невизначеності або нечіткості. Вони використовуються в багатьох галузях, включаючи прогнозування витрат палива. Зокрема, моделі на основі нечітких множин та чисел дозволяють враховувати випадковість умов експлуатації, а також певну ступінь нечіткості в технічних характеристиках автомобіля.

Одним з популярних методів для моделювання нечітких множин є теорія нечітких множин Лотфі Заде [1]. Вона дозволяє визначити за допомогою функцій приналежності, які описують ступінь приналежності елементів до множини. Наприклад, функція приналежності може описувати технічні характеристики автомобіля, такі як максимальна швидкість, потужність двигуна, вага та інші параметри та врахувати їх при побудові моделі.

Зважаючи на ці параметри, можна розробити нечітку модель прогнозування витрати палива автомобіля, яка враховуватиме невизначеність та неоднорідність даних. Для цього можна використовувати методи нечіткої логіки та інші інструменти, які дозволяють оптимізувати роботу системи та зменшувати ризики помилок [2].

Основна формула для розрахунку нечіткої множини Заде виглядає на-

ступним чином:

$$\mu_A(x) = (\mu_{A_1}(x), \mu_{A_2}(x), \dots, \mu_{A_n}(x)),$$

де A – нечітка множина, x – вхідний параметр, n – кількість елементів у множині, а μ – функція приналежності, яка визначає ступінь приналежності елементів до множини.

Для розрахунку прогнозування витрат палива на основі технічних характеристик автомобіля та умов експлуатації можна використовувати наступну формулу:

$$F = (\mu_{A_1}(H), \mu_{A_2}(V), \mu_{A_3}(G), \mu_{A_4}(T), \mu_{A_5}(S), \mu_{A_6}(P), \mu_{A_7}(M), \mu_{A_8}(B)),$$

де F – витрата палива, H – потужність двигуна, V – об'єм двигуна, G – коефіцієнт аеродинамічного опору, T – температура повітря, S – швидкість руху, P – тип дороги, M – маса автомобіля, B – стан автомобіля (новий або бувший у використанні).

Кожний з цих факторів описує певний аспект експлуатації автомобіля, який впливає на споживання палива. Таким чином, формула дозволяє прогнозувати витрати палива на основі відомих технічних характеристик автомобіля та умов його експлуатації, що може бути корисним для визначення оптимальної швидкості руху, режиму експлуатації та інших аспектів планування поїздки.

Отже, розробка нечіткої моделі прогнозування витрат палива автомобіля може допомогти покращити точність прогнозування витрат палива, що в свою чергу може привести до зниження витрат на паливо та покращення економічної ефективності експлуатації автомобілів. Крім того, з використанням нечітких множин можна зробити модель більш гнучкою та адаптивною до змінних умов експлуатації автомобіля, що робить її більш корисною для реальних умов використання.

Отже, розробка нечіткої моделі прогнозування витрат палива автомобіля на основі його технічних характеристик та умов експлуатації є актуальною задачею. Використання нечітких множин та чисел дозволяє враховувати випадковість умов експлуатації та ступінь нечіткості в технічних характеристиках автомобіля. Результатом розробки такої моделі може стати більш точне прогнозування витрат палива, що дозволить підвищити ефективність експлуатації автомобілів.

Список використаних джерел:

1. Флегонтов, А. В., Вилков, В. Б., Черных, А. К. (2020). *Моделирование задач принятия решений при нечетких исходных данных*. Лань.
2. Мармут, И. А. (2014). Контроль расхода топлива автомобилей на линии. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 9(10523). <http://archive.kpi.kharkov.ua/View/39554/>

УДК 519.816:005.8

**ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИКОНАННЯ
ПРОЄКТІВ, ПРЕДСТАВЛЕНИХ МЕРЕЖЕЮ
ВЗАЄМОПОВ'ЯЗАНИХ РОБІТ**

Закутній С.В.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Матвієнко О.І.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ,
м. Харків, Україна
тел. +38(095) 259-20-72, email: serhii.zakutnii@nure.ua

The work is dedicated to researching the economic parameters of a project represented by a set of interconnected tasks using graph theory and fuzzy set theory. The work will consider an algorithm that will allow solving the problem of project task planning and evaluating its execution progress, as well as attempting to predict the possible time of completion of this project in the presence of fuzzy estimates of task execution. As a result, it will be necessary to obtain an optimal plan for project development, as well as determine the time of completion of this plan.

У сучасному світі оптимізація грає одну з провідних ролей для подальшого розвитку будь-якої організації чи проєкту, тому правильне і доцільне використання ресурсів може призвести до стрімкого покращення процесів та підвищення прибутку, а також значно посилити конкурентоспроможність. Задля того, щоб мати можливість оцінки стану проєкту та приблизно визначити параметри його виконання, необхідно побудувати систему, яка б могла розрахувати як саме потрібно розподілити ресурси для найбільш оптимального плану розробки.

В основі сучасних методів управління проєктами лежать методики мережевого планування, що дають можливість розв'язувати широкий діапазон задач, основними з яких є розробка розкладу виконання усіх робіт, визначення критичного шляху та резервів виконання проєкту, аналіз можливих ризиків та відхилень від початкового плану. Такі задачі можливо вирішити за допомогою мережевого керування, при цьому для візуального зображення послідовності робіт використовується мережевий граф. Кожне ребро такого графу представляє собою окрему роботу і має певну вагу, яка задає, наприклад, час виконання цієї роботи.

Однією з ключових задач у визначенні основних економічних параметрів проєкту відіграє пошук критичного шляху у графі, тобто шляху з найбільшою тривалістю. Будь-яка затримка виконання робіт, що лежать на такому шляху має безпосередній вплив на терміни виконання в цілому, тому саме таким роботам слід приділяти першочергову увагу при плануванні. Постановка задачі: знайти оптимальний план створення сайту електронної комерції. Вхідними даними є пов'язані між собою роботи, за допомогою яких буде побудовано мережевий граф. Також важливо визначити мініма-

льний та максимальний час виконання кожної роботи для того, щоб розуміти приблизні терміни та на основі цих даних розрахувати тривалість критичного шляху.

Звичайно, ми не можемо заздалегідь точно сказати, коли буде виконана робота, але ми можемо представити цей час у вигляді нечітких чисел, які можуть бути визначені як трійка дійсних чисел $d=(a, b, c)$, де a – мінімальний час виконання роботи, b час, коли робота точно буде виконана, $b=c$. Функцію приналежності нечіткого числа d позначимо $\mu(u)$, де u – елемент універсальної множини $U=[0;\infty)$. Далі задача зводиться до задачі математичного програмування з нечіткою множиною допустимих планів $\hat{X}$ та нечітко визначеною ціллю.

За універсальну множину X , на якій визначена нечітка множина допустимих планів будемо вважати множину усіх можливих шляхів на мережевому графі. Функцію приналежності нечіткої множини $\hat{X}$ позначимо $\mu_{\hat{X}}(x)$, де $x \in X$. Нечітко визначена ціль характеризується деякою нечіткою множиною $\hat{X}_C$ з функцією приналежності $\mu_C(x)$.

Щоб знайти розв'язок такої задачі, необхідно досягти цілі з певною мірою впевненості, а також слід врахувати обмеження, що характеризуються множиною допустимих планів. Нечітким розв'язком такої задачі будемо вважати перетин нечіткої множини допустимих планів та нечіткої цілі, тобто нечітку множину $\hat{D}$ з функцією приналежності $\mu_{\hat{D}}(x) = \min \{ \mu_{\hat{X}}(x), \mu_C(x) \}$.

Алгоритм пошуку значень функції нечіткої цілі полягає в тому, щоб знайти критичний шлях у мережевому графі, визначити час робіт на цьому шляху, визначити резерв роботи, що дорівнює різниці між максимальним та мінімальним значенням часу та поділити цей резерв на певну кількість кроків для знаходження функції нечіткої цілі. Правильне планування проєктів допоможе ефективно використати наявні ресурси, покращити якість кінцевого продукту та зменшити можливі ризики. Воно відіграє важливу роль у IT-галузі та загалом може бути ключовим параметром для клієнта при виборі розробника свого продукту. Саме тому розглянуте дослідження може бути використане у реальному проєкті при визначенні оптимального плану з певним ступенем надійності.

Список використаних джерел:

1. Флегонтов, О. В., Вілков В. Б., & Черних А. К. (2020). *Моделювання задач прийняття рішень при нечітких вихідних даних*. Лань.
2. Зак, Ю. О. (2013). *Прийняття рішень в умовах нечітких та розмитих даних: Fuzzy-технології*. Ліброком.
3. Zadeh, L. A. (1970). *Decision-making in a fuzzy environment*. Management. Sci.

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ КЛАСИФІКАЦІЇ
ФРАКТАЛЬНИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ
РЕКУРЕНТНИХ ДІАГРАМ, ЩО ПОБУДОВАНІ
РІЗНИМИ МЕТОДАМИ**

Зінченко П.П.

Науковий керівник – д-р техн. наук, проф. Кіріченко Л.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки

м. Харків, Україна,

тел. +38(099) 632-16-34), email: petro.zinchenko@nure.ua

This article describes the recurrence plot analysis of fBm signals that have fractal properties. In this research, we compared the accuracy of classification of fBm time series using classic black and white recurrence plots and colorful recurrence plots.

Фрактальний броунівський рух є розширенням класичного броунівського руху, який характеризується випадковими блуканнями частинок в просторі. fBm має властивості самоподібності та масштабної інваріантності, що означає, що його структура та характеристики залишаються незмінними при зміні масштабу спостереження. Фрактальний броунівський рух (fBm) – це тип самоподібних стохастичних процесів, характеризованих його показником Херста H ($0 < H < 1$), який визначає ступінь довгострокової залежності та самоподібності процесу.

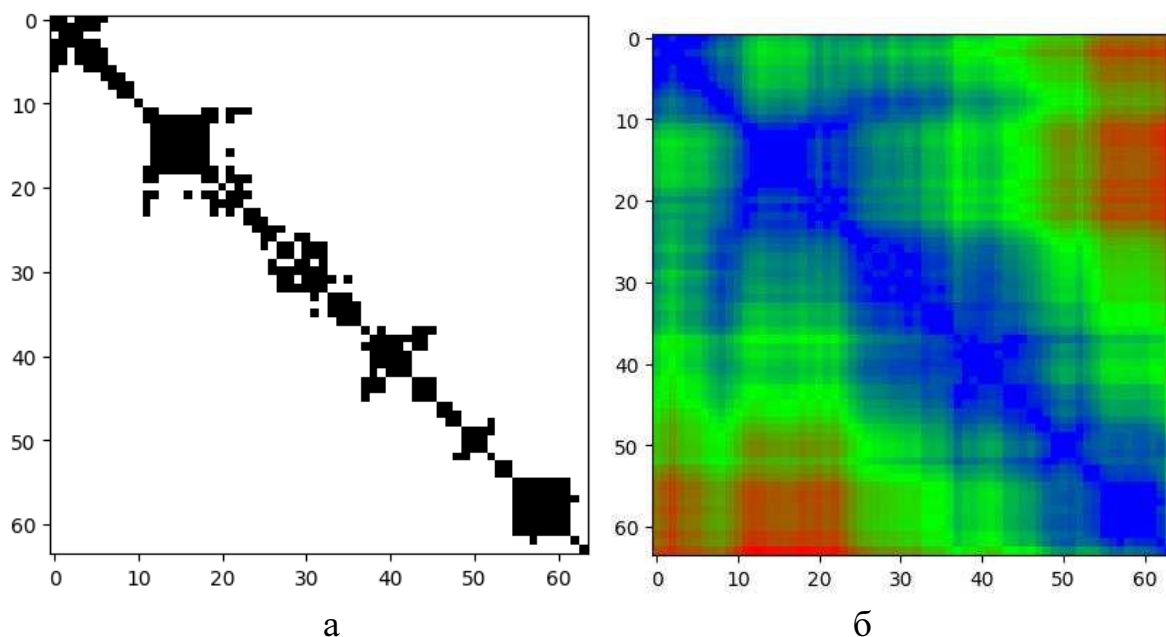
Рекурентні діаграми – це графічний метод для візуалізації послідовних даних, який дозволяє виявляти закономірності та структури у даних. Вони широко використовуються в аналізі часових рядів.

Рекурентна діаграма представляється у вигляді квадратної матриці, де кожен елемент позначає відстань між двома точками в послідовності даних. Якщо відстань між точками менше заданого порогу, то відповідний елемент матриці заповнюється чорним кольором, що вказує на наявність зв'язку між точками. Якщо відстань більше порогу, елемент матриці залишається білим. Таким чином, рекурентна діаграма відображає структуру зв'язків між точками в послідовності даних.

Рекурентні діаграми зручно використовувати для виявлення різноманітних структур в послідовності даних, таких як цикли, тренди, періодичність та інші. Вони також можуть допомогти виявити відхилення від нормальної динаміки даних, такі як аномалії та викиди.

В роботі було використано рекурентні діаграми для класифікації часових рядів fBm з різним показником Херста. При цьому окрім класичного підходу до побудови рекурентних діаграм. Було використано модифікований метод побудови рекурентних діаграм, який будує кольорові діаграми.

Рис. 1 показує типові реалізації рекурентних діаграм для різних методів побудови.



а б
Рисунок 1 – Рекурентні діаграми:
чорно-біла (а);
кольорова(б)

На основі часових рядів fBm було створено рекурентні діаграми, які використовувалися для тренування нейронної мережі.

Проведений порівняльний аналіз виявив покращення точності класифікації fBm з різними показниками Херста при використанні кольорових діаграм. Таким чином, для класифікації краще застосовувати кольорові діаграми.

Список використаних джерел:

1. Kirichenko, L., & Zinchenko, P. (2021). Time Series Classification Based on Visualization of Recurrence Plots. *Communications in Computer and Information Science*, 1288 CCIS, 101–108).
2. Kirichenko, L., Zinchenko, P., & Radivilova, T. (2021) Classification of Time Realizations Using Machine Learning Recognition of Recurrence Plots. In: Babichev S., Lytvynenko V., Wójcik W., Vyshemyrskaya S. (eds) *Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making*. ISDMCI 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2021, vol. 1246. Springer.

РОЗПІЗНАВАННЯ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ЇХ КОНТУРАМИ

Зошук М.М.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Єсілевський В.С.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38(050) 550-60-35, email: mykola.zoshchuk@nure.ua

Applying the discrete Fourier transform to this sequence generates a unique one-dimensional identification sequence of standard-sized values, called Fourier descriptors, which has a number of interesting properties.

Швидке і якісне розв'язання задач виявлення і розпізнавання повітряних об'єктів має велике значення для цивільних додатків в управлінні повітряним рухом, моніторингу повітряної обстановки в аеропортах, а також у військових діях. Нині перелік типів авіаційних об'єктів значно розширено завдяки використанню безпілотних літальних апаратів (БПЛА), квадрокоптерів, крилатих ракет і вертольотів. Оптичні системи відеоспостереження все частіше використовуються для виявлення повітряних об'єктів. Відеомоніторинг дає змогу зменшити габарити систем виявлення, а також дає змогу уникнути проблем, пов'язаних із маскуванням характеристик повітряних об'єктів у зоні виявлення РЛС (технологія малопомітності, малогабаритність тощо).

У дослідженні [1] подано докладний огляд значних досягнень у використанні глибоких згорткових нейронних мереж для розпізнавання довільних зображень. Однак, як показано в роботах [2], методи глибокого навчання вимагають великої кількості навчальних наборів і значного комп'ютерного часу для навчання мережі.

У [3] показано, що використання трансферного навчання може стати варіантом подолання тяжкості навчання глибокої мережі з нуля. Цей метод передбачає, що попередньо навчена універсальна мережа додатково навчається на конкретних зображеннях повітряних об'єктів. Застосування трансферного навчання дає змогу обійти обмеження, пов'язані з часом навчання.

Проведено обчислювальний експеримент з модельними зображеннями для дослідження залежності зміни дескрипторів Фур'є та нормованих контурних дескрипторів зображень 4-х типів повітряних об'єктів від кута повороту об'єкта відносно 3-х осей. Показано, що використання нормалізованих дескрипторів має низку переваг перед дескрипторами Фур'є. Встановлено, що для спрощення задачі розпізнавання необхідно розбити навчальну вибірку для кожного типу об'єктів на 3 класи, що відповідають 3 ортогональним проекціям. Це спрощує розв'язання задачі класифікації за рахунок більш компактного розташування

багатовимірних векторів ознак для фігур зі схожими зображеннями. Це наведено на рисунку нижче.

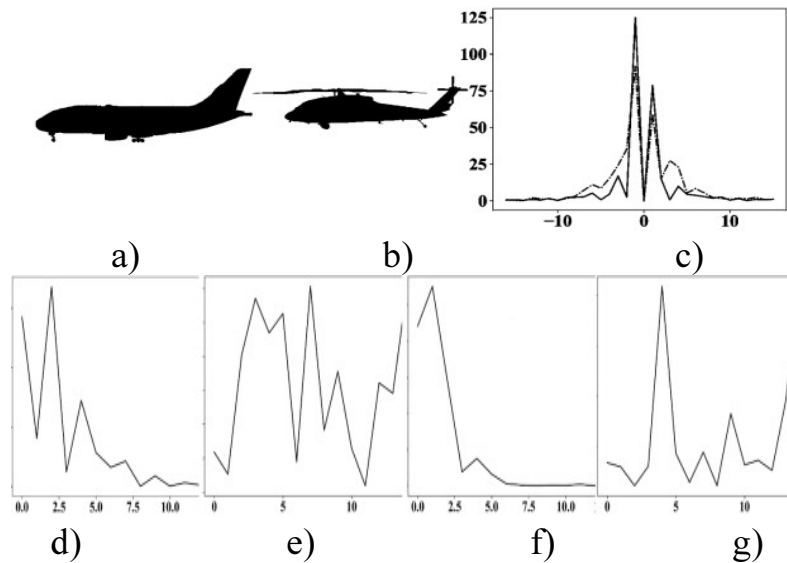


Рисунок 1 – Різниця у формі об'єктів, представлених їх дескрипторами Фур'є та нормалізовані дескриптори:

- a) бінарне зображення літака A380; b) – те саме для гелікоптера Апач;
- c) амплітудні характеристики дескрипторів Фур'є (суцільна лінія – для A380, пунктирна лінія – для Apache);
- d), e) амплітудна і фазова характеристики нормованого дескриптори для A380;
- f), g) те саме для нормалізованих дескрипторів для Apache

В роботі досліджувалися залежність дескрипторів Фур'є та нормованих дескрипторів від кутів просторового положення для чотирьох різних типів повітряних об'єктів: літака, безпілотного літального апарата, вертольота, квадрокоптера. Відповідно до властивостей фільтрації перетворення Фур'є, показаного на рисунку 1, було визначено, що перших 32 дескрипторів буде достатньо для представлення форми досліджуваних повітряних об'єктів для розв'язання задачі класифікації.

Список використаних джерел:

1. Sharma, N., Jain V., & Mishra A. (2018). An Analysis Of Convolutional Neural Networks For Image Classification. *Procedia Computer Science*, Vol. 132, 377–384.
2. Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G.E. (2017). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Commun. ACM*, 60, 84–90.
3. Yesilevskyi, V., Teviashev, A., & Koliadin, A. (2019). Transfer learning in aircraft classification. IST-2019. *The 8-th International Scientific and Technical Conference*, September 9 – 14, 2019, Kobleve-Kharkiv, Ukraine, 132–135.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ НА ГРАФАХ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ КОМІВОЯЖЕРА

Ільницький В.Б.

Науковий керівник – д-р фіз.-мат. наук, проф. Сидоров М.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38(050) 167-50-48, email: vladyslav.ilnytskyi@nure.ua

Integer programming problem is NP-complete which leads to difficulties in obtaining exact solution at large scales. The Travelling Salesman Problem (TSP) is a famous example, asking for the shortest possible route that visits each city and returns to the origin city. This problem can be represented as sequential decision making tasks on graphs, making them a good fit for machine learning approaches, such as graph neural networks, and potentially give a possibility to avoids expensive or specialized handcrafted solutions.

Задача комівояжера (комівояжер – бродячий торговець, англ. Travelling Salesman Problem, TSP) полягає у знаходженні найвигіднішого маршруту, що проходить через вказані міста хоча б по одному разу. В умовах завдання вказуються критерій вигідності маршруту (найкоротший, найдешевший, сукупний критерій тощо) і відповідні матриці відстаней, вартості тощо. За умовою задано, що маршрут має проходити через кожне місто тільки один раз. В такому випадку розв'язок знаходиться серед гамільтонових циклів.

Розглянемо згорткову нейронну мережу, яка має вигляд:

$$x_i^{l+1} = x_i^l + \text{ReLU} \left(\text{BN} \left(W_1^l x_i^l + \sum_{j \sim i} \eta_{ij}^l \odot W_2^l x_j^l \right) \right), \quad (1)$$

$$\eta_{ij}^l = \frac{\sigma(e_{ij}^l)}{\sum_{j' \sim i} \sigma(e_{ij'}^l) + \varepsilon}, \quad (2)$$

$$e_{ij}^{l+1} = e_{ij}^l + \text{ReLU} \left(\text{BN} \left(W_3^l e_{ij}^l + W_4^l x_i^l + W_5^l x_j^l \right) \right), \quad (3)$$

де $W \in \mathbb{R}^{h \times h}$, σ – сигмоїдна функція, ε – мале число, ReLU – кусково-лінійна функція активації, BN – пакетна нормалізація.

На вхідному шарі маємо $x_i^{l=0} = \alpha_i$ і $e_{ij}^{l=0} = \beta_{ij}$, $\alpha_i = A_1 x_1 + b_1$, $\beta_{ij} = A_2 d_{ij} + b_2 \parallel A_3 \delta_{ij}^{\text{kNN}}$, де $A_1 \in \mathbb{R}^{h \times 2}$, $A_2 \in \mathbb{R}^{\frac{h}{2} \times 1}$, $A_3 \in \mathbb{R}^{\frac{h}{2} \times 3}$, $\cdot \parallel \cdot$ – оператор конкатенації.

Ми також визначаємо індикаторну функцію ребра TSP δ_{ij}^{kNN} , яка дорівнює одиниці, якщо вузли i та j є k -найближчими сусідами. Вхідний граф k -найближчих сусідів прискорює процес навчання, оскільки вершина в розв'язку TSP, як правило, з'єднана з вершинами, що знаходяться в безпосередній близькості від нього.

Вектор значень ребра e_{ij}^l останнього шару використовується для обчислення ймовірності того, що це ребро буде з'єднане в TSP-маршруті графа. Цю ймовірність можна розглядати як обчислення ймовірнісної теплової карти над матрицею суміжності з'єднань маршрутів. Для кожного $p_{ij}^{\text{TSP}} \in [0, 1]^2$ задається багатошаровим перцептроном:

$$p_{ij}^{\text{TSP}} = \text{MLP}(e_{ij}^L).$$

Отримавши перестановку TSP-маршруту, ми перетворюємо маршрут у матрицю суміжності, де кожен елемент $\hat{p}_{ij}^{\text{TSP}}$ позначає наявність або відсутність ребра між вершинами i та j у TSP-маршруті. Ми мінімізуємо зважену бінарну функцію втрат за допомогою перехресної ентропії, усереднену за міні-партіях. Результатом моделювання є ймовірнісна теплова карта над матрицею суміжності маршрутичних з'єднань. Кожен $p_{ij}^{\text{TSP}} \in [0, 1]^2$ позначає ймовірність появи ребра в маршруті між вершинами i та j . На основі ланцюгового правила ймовірності, ймовірність часткового TSP-маршруту може бути сформульована як

$$p(\pi') = \prod_{j' \sim i' \in \pi'} p_{i'j'}^{\text{TSP}},$$

де кожна вершина j' слідує за вершиною i' в частковому маршруті π' .

Наведемо короткий опис алгоритму знаходження найкращого шляху.

1. Кодування проблеми комівояжера у графічне представлення.
2. Застосування графічних загорткових шарів для оновлення подання вузлів на основі їх сусідньої інформації.
3. Обчислення механізму уваги для визначення важливості кожного вузла для маршруту комівояжера.
4. Обчислення маршруту, обираючи місто з найвищою ймовірністю до тих пір, доки всі міста не будуть відвідані.

Описаний алгоритм було протестовано на модельних даних. Результати дослідження показали, що він може дати точність розв'язку на рівні з традиційними методами, але зменшити час розв'язання проблеми комівояжера. Наприклад, на задачах з 1000 містами він зменшив час розв'язання на 15-20% порівняно з традиційними методами.

Список використаних джерел:

1. Joshi, C. K., Laurent, T., Bresson X. (2019). *An Efficient Graph Convolutional Network Technique for the Travelling Salesman Problem*. arXiv:1906.01227.
2. Bresson X. (2021). *Learning to Solve the Traveling Salesman Problem with Transformers*. arXiv:2103.03012v1.

УДК 622.691.4:519.86

МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ РЕЖИМІВ ПО ДІЛЯНЦІ ТРУБОПРОВОДУ ВЕЛИКОГО ДІАМЕТРУ ЗІ ЗМІННИМ ПЕРЕРІЗОМ

Калина О.В.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Гусарова І.Г.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ,
м. Харків, Україна
тел. +38(057) 702-14-36, email: olha.kalyna@nure.ua

This work is devoted to a problem statement of a mathematical modelling of non-stationary regimes on large diameter pipeline section with variable cross-section. The pipeline segment viewed as a combination of two pipes, connected through an adapter. To improve the accuracy of thermal process description during gas expansion in large diameter pipes, the Joule-Thomson effect is proposed to be incorporated into the mathematical model. This approach can be applied to model non-stationary regimes in challenging areas and enhance the efficiency and safety of gas pipeline operations.

В даній роботі розглядається формальна постановка задачі моделювання нестационарних неізотермічних режимів по ділянці трубопроводу (ДТ) великого діаметру змінного перерізу. Під ділянкою трубопроводу зі змінним перерізом розуміється дві труби різного діаметру, які з'єднані між собою за допомогою перехідника. Для поліпшення точності опису теплового процесу під час розширення газу в трубах з великим діаметром, запропоновано враховувати ефект Джоуля-Томсона у математичній моделі. Цей підхід може бути застосований для моделювання нестационарних режимів у складних місцях трубопроводу та підвищення ефективності та безпеки роботи газопроводу.

Нестационарний неізотермічний режим транспорту газу (ННРТГ) по ділянці трубопроводу в загальному випадку, описується квазілінійною системою диференціальних рівнянь в частинних похідних (ДРЧП) гіперболічного типу, отриманої із загальних рівнянь газової динаміки з урахуванням відсутності масообміну з навколишнім середовищем, стаціонарності режимів теплообміну з навколишнім середовищем та нехтуванням теплофізичними властивостями середовища [1].

Для досягнення більш високої точності моделювання процесів транспорту газу по ділянці газопроводу великого діаметру, необхідно враховувати ефект Джоуля-Томсона. Тому початкова система буде змінена з урахуванням рівняння енергії виду:

$$E = U_{\text{внутр}} = I - \frac{P}{\rho} = C_p T - C_p D_j P - \frac{P}{\rho}.$$

Враховуючи, що розглядається ділянка трубопроводу зі змінним пе-

перізом, діаметр $D = D(x)$, та обираючи в якості визначних параметрів $G(x, t)$, $P(x, t)$, $T(x, t)$, система ДРЧП, яка описує ННРТГ, приймає вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{\partial G}{\partial t} + \left(S - \frac{\alpha_1 T G^2}{SP^2} \right) \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{2\alpha_1 T G}{SP} \frac{\partial G}{\partial x} + \frac{\lambda \alpha_1}{2D(x)} \frac{TG|G|}{PS} + \frac{gSP}{\alpha_1 T} \frac{dh}{dx} &= 0, \\ \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\alpha_1 T}{S} \frac{\partial G}{\partial x} &= 0, \\ \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\alpha_1 \gamma}{T - \gamma D_j P} \frac{T^2 G}{SP} \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\alpha_1 T^2}{SP} \left(\frac{T\gamma}{T - \gamma D_j P} - 1 \right) \frac{\partial G}{\partial x} - \frac{\alpha_1 \gamma D_j}{T - \gamma D_j P} \times \\ \times \frac{T^2 G}{SP} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{4K(\gamma - 1)}{D} \frac{T^2 (T - T_{ep})}{P(T - PD_j \gamma)} + \frac{g(\gamma - 1)}{T - \gamma D_j P} \frac{T^2 G}{SP} \frac{dh}{dx} &= 0, \end{aligned}$$

де $\alpha_1 = zgR$;

$$\gamma = \frac{C_p}{C_p - zgR};$$

$S(x)$ – площа поперечного перерізу трубопроводу;

$G(x, t)$ – функція масової витрати;

$D(x)$ – функція діаметру труби змінного перерізу;

$P(x, t)$ – функція тиску;

$T(x, t)$ – функція температури;

C_p – питома теплоємність газу;

D_j – коефіцієнт Джоуля-Томсона;

K – коефіцієнт теплопередачі від труби до ґрунту;

h – глибина залягання труби;

g – прискорення вільного падіння.

Запропонована математична модель, створена для опису нестационарних неізотермічних режимів течії газу через трубопровід великого діаметру зі змінним перерізом, може бути використана для моделювання нестационарних режимів в складних областях, таких як проходження трубопроводу через гірські масиви або водойми, а також в аварійних та нештатних ситуаціях.

Список використаних джерел:

1. Васильев, О.Ф., Бондарев Э.А., Воеводин, А.Ф., & Каниболотский, М.А. (1978). *Неизотермическое течение газа в трубах*. Наука.

УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ

Калініченко А.В.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Матвієнко О.І.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ,
м. Харків, Україна

тел. +38(099) 125-26-91, email: alina.kalinichenko@nure.ua

This work is devoted to the study of the method of controlling a mobile robot. We will use the method of fuzzy logic. Consider a robot moving at a constant speed. It is necessary to improve the control system, which will allow the work to bypass the obstacles encountered on the way. The system should clearly reflect the task set before the robot and allow adequate decisions to be made in various non-standard situations. For this, we will use the Mamdani algorithm. As a result, we expect the autonomous operation of a robot that independently makes decisions that allow it to move freely to a given point.

У сучасному світі все частіше піднімається питання роботизованих і робототехнічних систем в різних галузях. Але для продуктивної роботи таких систем потрібно точне таємне описання системи управління. Система управління повинна чітко відображати у собі поставлену перед роботом задачу і дозволяти приймати адекватні рішення в різних нестандартних ситуаціях. В роботі пропонується розглянути ідею побудови системи управління рухом мобільного робота на основі нечіткої логіки, яка має дозволити роботу, що рухається з постійною швидкістю, обійти перешкоду, що зустрічається на шляху.

На сьогодні ця тема є актуальною і знаходиться в активній стадії дослідження. Можна виділити декілька авторів, що зробили суттєвий вклад по цій темі: В. Г. Фокін та С. В. Шанигін, М. А. Подалов та М. М. Поліщук. Наразі запропоновано кілька алгоритмів нечіткого виведення. Деякі із них застосовуються найчастіше, зокрема алгоритм Мамдані, алгоритм Цукамото, алгоритм Ларсена, алгоритм Сугено та інші.

Постановка задачі: роботу, що рухається з постійною швидкістю, необхідно обійти перешкоду, що зустрічається на шляху. Для розв'язання цієї задачі в роботі буде використовуватись алгоритм Мамдані. Цей алгоритм є одним із перших, який був застосований в системах нечіткого виведення. Алгоритм цікавий тим, що він працює за принципом «чорного ящика». Формально алгоритм Мамдані може бути визначений так:

- за заданими значеннями факторів визначити їх ступінь приналежності різним термам відповідних лінгвістичних змінних, тобто здійснити фазифікацію вихідних значень факторів;

- використовуючи базу знань та визначення операцій над нечіткими множинами, побудувати нечітку множину значень вихідного показника за умови, що вхідні фактори мають задані значення;

– використовуючи отриману нечітку множину, здійснити її дефазифікацію.

Введемо дві вхідні лінгвістичні змінні:

– «дистанція» (відстань d до перешкоди) з термами «далеко», «середньо», «близько», «дуже близько» з відповідною функцією приналежності;

– «напрямок» (кут φ між поздовжньою віссю робота і напрямом на перешкоду) з термами «ліворуч», «прямо», «праворуч» з відповідною функцією приналежності.

Вихідна змінна – «кермовий кут» (кут повороту керма) ψ з термами «різко вліво», «вліво», «прямо», «вправо», «різко вправо» з відповідною функцією приналежності.

Задамо нечітку базу знань для задачі за допомогою таблиці 1. Кожен запис у цій таблиці відповідає своєму нечіткому правилу, наприклад:

ЯКІЩО «дистанція»=«близько» І «напрямок»=«праворуч», ТО «кермовий кут» = «вліво».

Таблиця 1 – Таблиця нечітких правил (база знань)

Напрямок	Дистанція			
	Дуже близько	Близько	Середньо	Далеко
Праворуч	Вліво	Вліво	Прямо	Прямо
Прямо	Різко вліво (різко вправо)	Вліво (вправо)	Вліво (вправо)	Прямо
Ліворуч	Вправо	Вправо	Прямо	Прямо

Таким чином, мобільний робот з нечіткою логікою буде працювати за наступним принципом: дані з сенсорів про відстань до перешкоди та напрям на неї будуть фазифіковані, оброблені згідно з табличними правилами, дефазифіковані та отримані дані у вигляді керуючих сигналів надійдуть на привід робота.

Список використаних джерел:

1. Костигов, А. М., Даденков, Д. А., Каверін, А. А. (2013). Нечітка система управління рухом мобільного робота. *Сучасні проблеми науки та освіти*, 5, 7.

2. Флегонтов, А. В. Вилков, В. Б., Черных, А. К. (2020). *Моделирование задач принятия решений при нечетких исходных данных*. Лань.

3. Поліщук, М. М., Писаренко, С. Г. (2019). Система управління мобільним роботом з підвищеним ступенем інтелектуальності. *Технічні науки та інформаційні технології*, 3, 101–103.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ РОТЕ ТА ДВОБІЧНИХ НАБЛИЖЕНЬ ДО АНАЛІЗУ ПРОЦЕСІВ САМОЗАЙМАННЯ У КРУЗІ

Калініченко А. С.

Науковий керівник – д-р фіз.-мат. наук, проф. Сидоров М. В.

Харківський національний університет радіоелектроніки

61166, Харків, просп. Науки, 14, каф. прикладної математики,

тел. (068) 155-63-80, email: anatolii.kalinichenko@nure.ua

This work is devoted to the use of the Rothe's method in combination with the method of two-sided approximations based on the use of the Green's function to solve the 2D initial-boundary value problem for the semilinear equation of thermal conductivity in circular domain. The power of the internal heat source is approximated by exponential dependence.

Розглянемо початково-крайову задачу:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = A \Delta \theta + B e^{\theta}, \mathbf{x} \in \Omega, t \in (0, t_0], \quad (1)$$

$$\theta(\mathbf{x}, t) > 0, \mathbf{x} \in \Omega, t \in (0, t_0], \quad (2)$$

$$\theta(\mathbf{x}, 0) = 0, \mathbf{x} \in \bar{\Omega}, \quad (3)$$

$$\theta(\mathbf{x}, t) = 0 \text{ на } \partial\Omega, t \in [0, t_0], \quad (4)$$

де Δ – оператор Лапласа, $A > 0$, $B > 0$ – параметри, $\mathbf{x} = (x_1, x_2)$, Ω – круг радіуса 1 з центром у початку координат, t_0 – час моделювання. Задача (1)–(4) виникає при дослідженні процесів самозаймання для функції зміни температури, і тоді параметри A та B задають фізико-хімічні властивості процесу з припущенням про їх сталість. Останній доданок в правій частині (1) позначає тепло, що виділяється при окисненні насипу (вугілля або зерна), перерізом якого є Ω , та отриманий апроксимацією з закону Арреніуса [2].

Для функції температури $T(\mathbf{x}, t)$ він матиме вигляд $B_1 e^{-\frac{E_a}{R(T+273)}}$, де $B_1 > 0$, E_a – енергія активації, R – універсальна газова стала.

Введемо на $[0, t_0]$ сітку з кроком τ $t_j = j\tau$, $j = 0, 1, 2, \dots, m$, $m\tau = t_0$ та позначимо $\Theta_j = \Theta_j(\mathbf{x}) = \theta(\mathbf{x}, t_j)$. Згідно з методом Роте розв'язок задачі (1) – (4) шукатимемо вздовж прямих $t = \text{const}$. Для цього на кожній прямій $t = t_j$ апроксимуємо похідну за часом відношенням скінченних різниць, що дозволяє перейти до послідовності крайових задач: $\Theta_0(\mathbf{x}) = 0$,

$$-\Delta \Theta_j + \frac{1}{A\tau} \Theta_j = \frac{1}{A\tau} \Theta_{j-1} + \frac{B}{A} e^{\Theta_j}, \mathbf{x} \in \Omega, \quad (5)$$

$$\Theta_j(\mathbf{x}) > 0, \mathbf{x} \in \Omega, \quad (6)$$

$$\Theta_j(\mathbf{x}) = 0 \text{ на } \partial\Omega, j = 1, 2, \dots, m. \quad (7)$$

Застосуємо послідовно до кожної задачі метод двобічних наближень. Для круга радіуса 1 функція Гріна крайової задачі (5) – (7) має вигляд:

$$G(r, \varphi, \rho, \psi) = \frac{2}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{J_n(r\mu_{nm})J_n(\rho\mu_{nm})\cos(n(\varphi - \psi))}{(1 + \delta_{n0})[J'_n(\mu_{nm})]^2(\mu_{nm}^2 + \kappa^2)},$$

де $J_n(\mu)$ – функція Бесселя, μ_{nm} – m -й додатний корінь $J_n(\mu) = 0$,
 $\delta_{n0} = \begin{cases} 1, & n = 0, \\ 0, & n = 1, 2, \dots, \end{cases}$, $\kappa = \frac{1}{\sqrt{A\tau}}$, декартові координати точок $\mathbf{x}$ і $\mathbf{s}$ пов'язані з

полярними як $x_1 = r \cos \varphi$, $x_2 = r \sin \varphi$, $s_1 = \rho \cos \psi$, $s_2 = \rho \sin \psi$.

Вважатимемо надалі j фіксованим. Оскільки при знаходженні функції Θ_j функція Θ_{j-1} уже відома то крайова задача (5) – (7) еквівалентна інтегральному рівнянню Гаммерштейна:

$$\Theta_j(\mathbf{x}) = \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \mathbf{s}) \left(\frac{1}{A\tau} \Theta_{j-1}(\mathbf{s}) + \frac{B}{A} e^{\Theta_j(\mathbf{s})} \right) d\mathbf{s},$$

яке далі розглянемо у банаховому просторі $C(\bar{\Omega})$ функцій, неперервних у $\bar{\Omega}$, з конусом невід'ємних функцій $\mathcal{K}_+ = \{\theta \in C(\bar{\Omega}) : \theta(\mathbf{x}) \geq 0, \mathbf{x} \in \bar{\Omega}\}$.

На j -му часовому шарі інваріантний конусний відрізок шукатимемо у вигляді $< 0, \beta_j >$, де число $\beta_j > 0$ визначається з нерівності:

$$\frac{1}{A\tau} \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \mathbf{s}) G(\mathbf{x}, \mathbf{s}) \Theta_{j-1}(\mathbf{s}) d\mathbf{s} + \frac{B}{A} e^{\beta} \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \mathbf{s}) d\mathbf{s} \leq \beta \text{ для всіх } \mathbf{x} \in \bar{\Omega}.$$

Отже, ітераційний процес методу двобічних наближень матиме вигляд:

$$v^{(k)}(\mathbf{x}) = \frac{1}{A\tau} \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \mathbf{s}) \Theta_{j-1}(\mathbf{s}) d\mathbf{s} + \frac{B}{A} \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \mathbf{s}) e^{v^{(k-1)}(\mathbf{s})} d\mathbf{s}, \quad k = 1, 2, \dots,$$

$$w^{(k)}(\mathbf{x}) = \frac{1}{A\tau} \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \mathbf{s}) \Theta_{j-1}(\mathbf{s}) d\mathbf{s} + \frac{B}{A} \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \mathbf{s}) e^{w^{(k-1)}(\mathbf{s})} d\mathbf{s}, \quad k = 1, 2, \dots,$$

$$v^{(0)}(\mathbf{x}) = 0, \quad w^{(0)}(\mathbf{x}) = \beta_j.$$

За наближений розв'язок вихідної задачі (1) – (4) на j -му часовому шарі на k -й ітерації з заданою точністю $\varepsilon > 0$ приймаємо функцію

$$\Theta_j^{(k)}(\mathbf{x}) = \frac{w^{(k)}(\mathbf{x}) + v^{(k)}(\mathbf{x})}{2}$$

при виконанні умови $\max_{\mathbf{x} \in \Omega} \left(w^{(k)}(\mathbf{x}) - v^{(k)}(\mathbf{x}) \right) < 2\varepsilon$.

Список використаних джерел:

1. Сидоров М. В. (2018). Метод Роте у комбінації з методом двобічних наближень розв'язання початково-крайових задач для напівлінійного рівняння теплопровідності. *Вісник Запорізького національного університету. Фізико-математичні науки*, 1, 108–127.

2. Франк-Каменецкий, Д. А. (2008). *Основы макрокинетики. Диффузия и теплопередача в химической кинетике*. Издательский Дом «Интеллект».

УДК 004.92

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ТРАСУВАННЯ ПРОМЕНІВ ДЛЯ РЕНДЕРІНГУ РЕАЛІСТИЧНОГО ЗОБРАЖЕННЯ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Капленко Н.В.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Єсілевський В.С.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ,
м. Харків, Україна

тел. +38 (099) 609-66-50, email: neslenko@gmail.com

This paper investigates and compares different denoising methods for real-time ray tracing. Ray tracing, a rendering technique that simulates the physics of light, presents challenges due to its computational complexity and the noise introduced in the rendered images. Denoising methods are essential for achieving real-time performance and high-quality visuals.

У дослідженні розглядаються три методи усунення шуму, а саме усунення шуму на основі штучного інтелекту (OptiX Denoiser), усунення шуму нелокальними засобами (Non-local means) та підхід комбінованого просторового та часового усунення шумів (рис. 1, 2, 3). Ці методи оцінюються та порівнюються щодо їх ефективності, обчислювальної складності та придатності в програмах трасування променів у реальному часі. Дослідження також розглядає математичні основи цих алгоритмів.



Рисунок 1 – Усунення шуму з використанням штучного інтелекту (OptiX) [2]

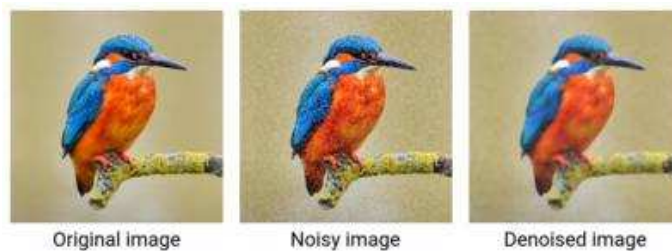


Рисунок 2 – Усунення шуму нелокальними засобами (Non-local means) [1]



Рисунок 3 – Усунення шуму комбінованими методами [5]

Рушій OpenGL розроблено з упором на реалізацію обчислювальних шейдерів для трасування променів на відеокарті NVIDIA RTX 3060. Вибраний алгоритм усунення шумів інтегрується в рушій, а якість алгоритму аналізується за такими показниками, як час на кадр і якість зображення.

Порівняння методів усунення шумів сприяє розумінню їхніх сильних і слабких сторін у сценаріях трасування променів у реальному часі. Крім того, інтеграція вибраного методу в рушій на OpenGL демонструє його практичне застосування та потенціал для майбутніх удосконалень.

Відповідна література таких дослідників, як Galvan A., Kalantari N. K. та Lehtinen J., серед інших, забезпечує міцну основу для дослідження. Результати цього дослідження можуть допомогти розробити більш ефективні та візуально привабливі програми трасування променів у реальному часі.

Список використаних джерел:

1. Buades, A. (2005). A non-local algorithm for image denoising". *2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05)*.
2. Nichols, C. (2017). *Experiments with the NVIDIA Optix Denoiser*, <https://www.chaos.com/blog/experiments-with-v-ray-next-using-the-nvidia-optix-denoiser>
3. Kalantari, N. K., & Sen, P. (2013). Denoising Monte Carlo Renderings with Non-Local Means and Feature-Adaptive Filtering. *ACM Transactions on Graphics*, 32(6), 205.
4. Karras, T., Aila, T., Laine, S., & Lehtinen, J. (2014). Progressive Growing of GANs for Improved Quality, Stability, and Variation. *Proceedings of the 2017 Conference on Learning Representations*.
5. Mara, M., McGuire, M., Bitterli, B., Jarosz, W. (2017). An Efficient Denoising Algorithm for Global Illumination. *Proceedings of HPG '17, Los Angeles, CA, USA, July 28-30, 2017*, 7. <https://doi.org/10.1145/3105762.3105774>

УДК 004.45:004.942

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ АВАРІЙ У СИСТЕМІ ОБ'ЄКТ-ЗАХИСТ

Колісник О.В.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Наумейко І.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38(093) 043-85-56, email: oleksandr.kolisnyk1@nure.ua

The aim of the work is to increase the safety of ergatic (man-machine) systems with dynamic protection due to the rational selection of their parameters, obtained as a result of the development of mathematical models and the improvement of computational methods for their analysis. The object of research is the process of interaction of harmful factors and protection in ergatic systems with dynamic protection and restoration in case of accidents and disasters.

На поточний момент актуальність теми дослідження обґрунтовується широким інтересом науковців до визначеної теми та практичною необхідністю вирішення даної проблеми. В багатьох країнах світу, зокрема, в Україні, зношеність потенційно небезпечних технічних систем (заводи, електростанції та ін.) в середньому перевищує 70%, що робить особливо актуальним математичне моделювання роботи систем безпеки і відновлення працездатності таких систем при техногенних та природних аваріях і катастрофах. Протиріччя між ефективністю (продуктивністю) і безпекою таких систем породжує науково-технічну проблему, яка може бути вирішена тільки в рамках більш загальної – надсистеми, що включає економічні та соціальні критерії [2].

Можливість наукового вивчення криз і катастроф піддавалася сумніву через неповторність і унікальність таких явищ. Проте, при їх детальному вивченні було відкрито багато спільного і, зокрема, доведено, що будь-яка подія – результат самоорганізації відкритої системи [1, 3]. Таким чином, побудова нових і вдосконалення існуючих математичних моделей, які описують системи з захистом і процеси, що в них відбуваються, була завжди і є на цей час є актуальною науковою задачею, яка вимагає для свого вирішення застосування системного підходу.

Метою роботи є підвищення безпеки ергатичних (людино-машинних) систем з динамічним захистом за рахунок раціонального вибору їх параметрів, отриманих у результаті розробки математичних моделей та удосконалення обчислювальних методів їх аналізу.

Об'єктом дослідження є процеси взаємодії шкідливих факторів та захисту в ергатичних системах з динамічним захистом та відновленням наразі аварій та катастроф. Предмет дослідження – це нелінійні математичні моделі ергатичних систем з динамічним захистом.

Вирішення поставлених задач дослідження мають ціллю:

- удосконалити математичну модель ергатичних систем з динамічним захистом та її локалізовані варіанти у вигляді взаємопов'язаних диференціальних рівнянь з малим параметром, яка відрізняється від відомих наявністю регулярних та сингулярних збурень у широкому діапазоні співвідношень швидкостей взаємодії джерел шкідливих чинників та захисту від них;
- розвинути метод аналізу ступеня стійкості ергатичних систем з урахуванням параметричної оцінки стійкості в околі точок катастроф при пошуку раціональних значень її параметрів.

Застосування саме методів системного аналізу до вирішення поставлених задач дозволяє провести всебічний аналіз усіх чинників, що діють на систему, та обрати якомога кращі шляхи для покращення параметрів функціонування.

Практичне значення очікуваних наукових результатів полягає у тому, що розроблені методи дозволяють оцінити стан і параметри технічних систем із захистом, які призводять до стійкого і швидкого подавлення виділення шкідливих факторів за прийнятною ціною. Результати роботи можуть знайти широке застосування при розробці підсистем захисту від шкідливих техногенних чинників, зокрема, в екологічно небезпечних виробництвах та інших системах «Людина-Машина-Середовище».

У процесі вирішення поставлених задач на першому етапі було обґрунтовано вибір класу математичних моделей технічних об'єктів із захистом різних типів, у рамках якого розроблені або модифіковані та досліджені моделі замкнутих нелінійних сингулярних систем, що реалізують принцип негативного зворотного зв'язку. Розроблено методи їх аналізу з метою підвищення якості та ефективності систем захисту від впливу шкідливих і небезпечних факторів. Розроблено математичну модель ергатичних систем з динамічним захистом та її локалізовані варіанти у вигляді взаємозв'язаних диференціальних рівнянь з малим параметром, яка відрізняється від відомих присутністю регулярних та сингулярних збурень, та використання якої дозволило описати всі можливі співвідношення швидкостей взаємодії джерел шкідливих чинників та системи захисту від них.

Список використаних джерел:

1. Гилмор, Р. (1984). *Прикладная теория катастроф*. Т. 1. Мир.
2. Goodwin, R. M. (1951). The non-linear accelerator and the persistence of business cycles. *Economists*. 19. 1-17.
3. Poston, T. & Stewart, I. (1978). *Catastrophe theory and its applications*. Pitman.

УДК 517.927.4: 517.988.8

МЕТОД ДВОБІЧНИХ НАБЛИЖЕНЬ У ЧИСЕЛЬНОМУ АНАЛІЗІ ОДНОВИМІРНОЇ МІКРОЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ПІД ДІЄЮ ЗОВНІШНЬОГО ТИСКУ

Кончаковська О.С.

Науковий керівник – д-р фіз.-мат. наук, проф. Сидоров М.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38(093) 253-05-86, email: oksana.konchakovska@nure.ua

The paper considers the numerical analysis of an electrostatic microelectromechanical system under the influence of external pressure. The first boundary value problem for a nonlinear one-dimensional elliptic equation represents the mathematical model of this process. To solve this problem, we have constructed an algorithm that obtains two-sided approximations to the unique positive solution of the problem using the method of successive approximations. The method of successive approximations is used to solve nonlinear equations by iteratively computing a sequence of approximations until a desired level of accuracy is achieved. To demonstrate the effectiveness of our proposed method, we conducted a series of computational experiments.

Розглянемо математичну модель одновимірної електростатичної МЕМС під дією зовнішнього тиску [1]:

$$-\frac{d^2u}{dx^2} = \frac{\lambda f(x)}{(1-u)^2} + P(x), \quad x \in (-l, l), \quad (1)$$

$$u(x) > 0, \quad x \in (-l, l), \quad (2)$$

$$u(-l) = 0, \quad u(l) = 0, \quad (3)$$

де u – величина прогину, $f(x)$ – функція, що описує діелектричні властивості, $0 \leq f(x) \leq 1$, $P(x)$ – зовнішній тиск, $P(x) \geq 0$, λ – параметр, що характеризує сили Кулона.

Задача (1) – (3) еквівалентна нелінійному операторному рівнянню $u = Tu$, де

$$Tu(x) = \int_{-l}^l G(x,s) \left[\frac{\lambda f(s)}{(1-u(s))^2} + P(s) \right] ds, \quad (4)$$

$G(x,s)$ – функція Гріна оператора $-\frac{d^2u}{dx^2}$ за крайових умов (3).

Розглянемо банахів простір $C[-l, l]$ неперервних на відріжку $[-l, l]$ функцій, де $\|u\| = \max_{x \in [-l, l]} |u(x)|$. Визначимо конус невід’ємних функцій $\mathcal{K}_+ = \{u \in C[-l, l] : u(x) \geq 0, x \in [-l, l]\}$ і введемо напівупорядкованість у $C[-l, l]$ за правилом: $u \leq v$, якщо $u(x) \leq v(x)$ для всіх $x \in [-l, l]$. Оператор T вигляду (4) є ізотонним.

Побудуємо метод двобічних наближень знаходження додатного розв'язку інтегрального рівняння (4).

Сформуємо ітераційний процес за схемою

$$v^{(k+1)}(x) = T v^{(k)}(x), \quad w^{(k+1)}(x) = T w^{(k)}(x), \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (5)$$

$$v^{(0)}(x) = 0, \quad w^{(0)}(x) = \beta. \quad (6)$$

Нерівність $v^{(0)} \leq v^{(1)}$ завжди виконується, а $w^{(1)} \leq w^{(0)}$ виконуватиметься, якщо $\beta \in (0, 1)$ задовольняє нерівність $\lambda M_f \leq (\beta - M_p)(1 - \beta)^2$, де

$$M_f = \max_{x \in [-l, l]} \int_{-l}^l G(x, s) f(s) ds, \quad M_p = \max_{x \in [-l, l]} \int_{-l}^l G(x, s) P(s) ds. \quad \text{Тоді з огляду на ізо-}$$

тонність оператора T ітераційний процес (5), (6) двобічно [2, 3] збігається до єдиного додатного розв'язку задачі (1) – (3):

$$0 = v_0 \leq v_1 \leq \dots \leq v_n \leq \dots \leq u^* \leq \dots \leq w_n \leq \dots \leq w_1 \leq w_0 = \beta.$$

Для обчислювального експерименту обрано функції для опису діелектричних властивостей та впливу зовнішнього тиску у вигляді $f(x) = |2x|^\alpha$

та $P(x) = \text{const}$ відповідно. Тоді $M_f = \frac{2^\alpha l^{\alpha+2}}{(\alpha+1)(\alpha+2)}$, $M_p = \frac{l^2 P}{2}$. Двобічний

характер збіжності послідовних наближень проілюстровано рис. 1, де представлені графіки верхніх (суцільна лінія) та нижніх (пунктирна лінія) наближень до розв'язку задачі ($\alpha = 3$, $l = 1$, $P = 1$).

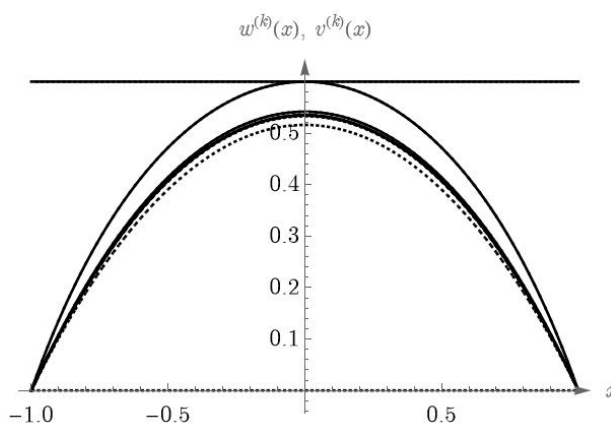


Рисунок 1 – Графіки верхніх та нижніх наближень до розв'язку задачі

Список використаних джерел:

1. Beckham, J. R., & Pelesko, J. A. (2011). An electrostatic-elastic membrane system with an external pressure. *Mathematical and computer modelling*, 54 (11–12), 2686–2708.
2. Красносельский, М. А. (1962). *Положительные решения операторных уравнений. Главы нелинейного анализа*. Физматгиз.
3. Опойцев, В. И., & Хуродзе, Т. А. (1984). *Нелинейные операторы в пространствах с конусом*. Изд-во Тбилис. ун-та.

РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ РЕЖИМІВ ТЕЧІЇ ГАЗУ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ ХАРАКТЕРИСТИК

Костенко М.Ю.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Гусарова І.Г.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38 (057) 702-14-36, email: marharyta.kostenko@nure.ua

This work is devoted to the numerical solution of the problem of modeling the non-stationary mode of gas flow in the pipeline section, taking into account the kinetic energy and given the initial conditions, using the method of characteristics. The parameters of the gas flow and the time of the transition process were obtained. The obtained results can be used to prevent emergency situations in pipeline systems.

Моделювання є найбільш ефективним способом дослідження складних систем як на етапі їх проектування, так і в процесі експлуатації. Можливості моделювання систем не стоять на місці, постійно з'являються найновіші методи та технології моделювання. Сучасні технології моделювання не тільки полегшили і прискорили процес побудови та дослідження моделі, але й допомогли прогнозувати поведінку системи у нештатних ситуаціях.

Розглянемо ділянку трубопроводу (ДТ) [1], що функціонує в нестационарному режимі, тобто течія газу змінюється за часом, та на кінці ДТ відбувається різка зміна витрати газу. Нестационарні режими течії газу можна описати за допомогою математичної моделі, яка враховує кінетичну енергію і представляє систему диференціальних рівнянь в частинних похідних гіперболічного типу [2] з заданими початковими умовами:

$$\begin{cases} W(x, 0) = W_0(x), \\ P(x, 0) = P_0(x), \\ T(x, 0) = T_0(x), \end{cases} \quad x \in (0, L),$$

де $W_0(x)$, $P_0(x)$, $T_0(x)$ – задані функції.

Головна задача моделювання такого режиму – оцінка часу поширення хвилі збурення перехідного процесу. Обираємо явний метод характеристик [1] та за допомогою системи рівнянь математичної моделі відповідно до методу отримуємо рівняння напрямку характеристик та диференціальні рівняння на характеристиках. Ці співвідношення та процес їх отримання викладений в роботі [3].

Була складена програма, що базується на методі характеристик і що дозволяє моделювати нестационарний режим течії газу по ДТ, який залежить від початкових умов. За допомогою цієї програми був проведений

експеримент та проведені розрахунки необхідних параметрів газового потоку (питомої масової витрати, тиску, температури) нестационарного режиму течії газу по ділянці трубопроводу на кожному часовому шарі, які залежать від початкового розподілу, а також знайдений час поширення перехідного процесу. У ході експерименту перевірялася робота алгоритму методу характеристик у випадку, коли відбувається зміна значення комерційної витрати наприкінці ділянки трубопроводу, а також досліджувалася залежність комерційної витрати q , тиску P і температури T від кількості точок розбиття N . Нижче наведена таблиця отриманих значень параметрів на останньому часовому шарі для різних N , де N – кількість точок розбиття ділянки.

Таблиця 1

N	Довжина ділянки x (км)	Час t (с)	Витрата газу q (млн м ³ /добу)	Тиск P (атм)	Температура T (°C)
$N_1 = 28$	27,952	0,1392	103,9580	78,0433	30,7803
$N_2 = 56$	27,9521	0,1390	103,5260	78,035	30,9941
$N_3 = 112$	27,9521	0,1390	102,7800	78,0205	31,3576

Як бачимо із таблиці, час поширення розглянутого перехідного процесу, залежного від початкових умов, складає 0,139 с.

Отримані дані можна використовувати на ділянках трубопроводу, де є витоки в кінці ділянки або при інших непередбачуваних ситуаціях для прогнозу поведінки системи та запобіганню аварійних ситуацій.

Список використаних джерел:

1. Гусарова, И.Г., & Ягупова, Ю.В. (2014). Использование метода характеристик при моделировании нестационарных режимов течения газа по участку трубопровода. *VI Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы развития ИТ-индустрии»: тезисы докладов, 17-18 апреля 2014 г., г.Харьков*, 225 .
2. Husarova, I.H., Tevyashev, A.D., & Tevyasheva, O.A. (2022). Mathematical modeling of non-stationary gas flow modes along a linear section of a gas transmission system. *Mathematical Modeling and Computing*, 9, 2, 416–430. DOI: 10.23939/mmc2022.02.416.
3. Костенко М.Ю. (2022). Застосування методу характеристик при моделюванні нестационарних режимів течії газу по ділянці трубопроводу. *26-ий Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті» (м. Харків, 2022 р.)*, 87.

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ОБЧИСЛЕННЯ 3D КОЕФІЦІЄНТІВ ФУР'Є З ВИКОРИСТАННЯМ ТОМОГРАМ

Кошеленко В.В.

Науковий керівник – д-р фіз.-мат. наук, проф. Литвин О.М.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38 (050) 044-10-92, email: vladyslav.koshelenko@nure.ua

This work is devoted to the development of an algorithm for calculating the Fourier coefficients of functions of three variables using tomograms received from a computer tomograph. The problem is reduced to the calculation of triple integrals over the regions belonging to the unit cube and the form of which is determined by the presence of indices present in the Fourier coefficients. There are sets of indices for which these formulas are of the same type. In particular, we consider the case when all indices are positive and growing, or all indices are negative, etc. In this work, control calculations of Fourier coefficients are performed for some classes of indices and various test functions. A comparison of the obtained results with the exact results was carried out.

У роботі [1] введено метод скінченних сум Фур'є для відновлення функцій двох змінних на основі проєкційних даних, які надходять з комп'ютерного томографа. У цьому методі завдяки введенню відповідної заміни змінних отримані точні формули для обчислення коефіцієнтів Фур'є, які залежать від індексів в подвійній сумі Фур'є. У роботах [2,3] розглядається метод обчислення коефіцієнтів Фур'є для функцій трьох змінних з використанням томограм, які надходять з комп'ютерного томографа. Тут також шляхом введення заміни змінних обчислюються коефіцієнти Фур'є, які залежать від індексів у потрійній сумі Фур'є.

Потрійна сума Фур'є для функції трьох змінних:

$$A_N f(x, y, z) = \sum_{k=-N}^N \sum_{l=-N}^N \sum_{m=-N}^N C_{k,l,m} e^{i2\pi(kx+ly+mz)}.$$

Коефіцієнти Фур'є визначаються так:

$$C_{k,l,m}(f) = \iiint_D f(x, y, z) e^{-i2\pi(kx+ly+mz)} dx dy dz.$$

Задача полягає у обчисленні коефіцієнтів Фур'є, якщо відомі томограми об'єкта дослідження на системі площин, які повністю перетинають цей об'єкт. Кожна з таких систем визначається індексами k, l, m . В роботах [2, 3] наведена відповідна теорія.

У формулі для коефіцієнтів Фур'є робиться заміна змінних

$$\begin{cases} kx + ly + mz = t; \\ lx - ky = u; \\ m(kx + ly) - (k^2 + l^2)z = v. \end{cases}$$

Нова система координат $Otuv$ є декартовою.

В результаті вказаної заміни координат формула для $C_{k,l,m}(f)$ записується у виглядах:

$$C_{k,l,m}(f) = \iiint_{D^1} F(t,u,v,k,l,m) e^{-2\pi i t} J(t,u,v,k,l,m) du dv dt,$$

$$C_{k,l,m}(f) = \int_0^{k+l+m} \left[\int_{v_1(t,k,l,m)}^{v_2(t,k,l,m)} \left[\int_{u_1(t,v,k,l,m)}^{u_2(t,v,k,l,m)} F(t,u,v,k,l,m) du \right] dv \right] e^{-i2\pi t} J(t,u,v,k,l,m) dt.$$

Тут внутрішній інтеграл є інтегралом від томограми.

Таблиця 1 – Порівняння результатів

Задана функція $f(x, y, z)$	Значення k, l, m	Точне значення $C_{k,l,m}$	Наближене значення $C_{k,l,m}$
$\sin(6\pi x) \cdot \sin(8\pi y) \cdot \sin(10\pi z)$	3,4,5	$0.125 \cdot i$	$-3.955 \cdot 10^{-8} + 0.125 \cdot i$
$\sin(6\pi x) \cdot \sin(8\pi y) \cdot \sin(10\pi z)$	-3,-4,-5	$-0.125 \cdot i$	$-3.955 \cdot 10^{-8} - 0.125 \cdot i$
xyz	3,5,6	$-4.479 \cdot i \cdot 10^{-5}$	$-2.73 \cdot 10^{-8} - 4.479 \cdot i \cdot 10^{-5}$
$-xyz(x-1)(y-1)(z-1)$	2,3,5	$-1.445 \cdot 10^{-7}$	$-1.419 \cdot 10^{-7} - 6.808 \cdot i \cdot 10^{-9}$
$-xyz(x-1)(y-1)(z-1)$	-2,-3,-5	$-1.445 \cdot 10^{-7}$	$-1.419 \cdot 10^{-7} + 6.808 \cdot i \cdot 10^{-9}$

У табл. 1 наведено порівняння результатів обчислення коефіцієнтів Фур'є з точними їх значеннями. Спостерігається незначне відхилення.

Список використаних джерел:

1. Литвин, О.М. (2000). Періодичні сплайни і новий метод розв'язання плоскої задачі рентгенівської комп'ютерної томографії. *Системний аналіз, управління і інформаційні технології: Вісник Харк. держ. політех. ун-ту*, 125, 27–35.
2. Lytvyn, O.M., Lytvyn, O.G., & Lytvyn O.O. (2019). Method of Calculating Fourier Coefficients of Three Variable Functions Using Tomogram. *Advanced Computer Information Technologies, Ceske Budejovice, Czech Republic, 5-7 June 2019*, 125-128.
3. Lytvyn, O.M., Lytvyn, O.G., & Lytvyn O.O. (2020). Explicit Formulas for Calculating Fourier Coefficients of Three Variables Using Tomograms. *10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies ACIT'2020, 16–18 of September 2020, Deggendorf, Germany*, 148-151.

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЗАДАЧІ СЕГМЕНТАЦІЇ ГРАВЦІВ КОМП'ЮТЕРНИХ ІГОР

Ломія С.Г.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Гибкіна Н.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ,
м. Харків, Україна

тел. +38(057) 702-14-36, email: serhii.lomiia@nure.ua

Customer segmentation is important for increasing monetization and increasing profits in free-to-play mobile and browser games. Based on the results of segmentation, developers can create personalized offers that better meet the interests of each group of players. The work carried out a system analysis and considered the use of A/B testing to solve the problem of segmentation of mobile game players.

Комп'ютерні ігри в сучасному світі займають значну частку на ринку розваг. Статистика показує, що щорічно зростає кількість гравців, а також їхня активність та витрати на ігри. Також спостерігається збільшення кількості доступних платформ для гри, зокрема, мобільних пристроїв. У зв'язку з цим розробники ігор активно використовують різні стратегії монетизації та сегментації гравців для збільшення свого прибутку.

Сегментація гравців є важливим елементом у монетизації та збільшенні прибутку в безкоштовних мобільних та браузерних іграх. Правильно проведена сегментація дозволяє розробникам ігор краще розуміти своїх гравців та їхні потреби. На основі цих даних розробники можуть створювати персоналізовані пропозиції, які краще відповідають інтересам кожної групи гравців. Такі пропозиції можуть включати, наприклад, спеціальні пропозиції на покупку грошової валюти, ексклюзивні предмети та бонуси, які відповідають потребам індивідуальних груп гравців.

Крім того, проведення сегментації гравців допомагає збільшити рівень задоволення гравців. Гравці більш схильні витратити гроші на ігри, якщо вони отримують більш персоналізовані та індивідуальні пропозиції, які відповідають їхнім потребам.

Метою системного аналізу зазначеної проблеми є аналіз поведінки платежів гравців в мобільних іграх та покращення пропозиції для покупки у грі для кожного з сегментів. Наразі сегментація гравців відбувається наступним чином: кожного дня гравці отримують нові внутрішньо ігрові пропозиції. Система аналізує як давно платив гравець та який його максимальний платіж за цей період. Виділяється 3 основні сегменти зі своїми підгрупами: активні – ті, хто платив протягом останніх 30 днів, неактивні – ті, хто платив більше ніж 30, але не раніше ніж 60 днів тому, та ті, хто або взагалі не платив в грі або не платив вже більше 60 днів (їх об'єднуємо в одну групу). Далі, виходячи з аналізу максимальної суми платежу, у цих

групах виділяються підгрупи, наприклад, в активній групі ті, хто платив до 10 доларів, – це один сегмент, ті, хто платив від 10 до 20 доларів, – інший сегмент й так далі.

На основі наявних даних необхідно порівняти сегментацію гравців, враховуючи більше параметрів та провести А/Б тестування двох підходів. Загальна ідея А/Б тестування для аналізу певного процесу передбачає порівняння результатів контрольної групи (варіант А) з результатами тестової групи, у якій деякі показники були змінені (варіант Б). Метою порівняння є відповідь на питання, чи покращили внесені зміни показник, який визначає якість цього процесу [1].

У розглядуваній задачі для аналізу будуть взяті гравці, які досягли зазначеного рівня у грі (на даному етапі це буде 40-й рівень). Гравці будуть випадково розподілені на дві однакові групи А та Б відповідно. Група А буде контрольною, для якої нічого не зміниться, група Б буде тестовою з новою сегментацією. Групи будуть такі, що в них кожного дня будуть добавлятися гравці, які досягли 40-го рівня, але якщо гравець потрапив в групу А, то вже він ніколи не потрапить в групу Б.

Для нового підходу сегментації можна використовувати декілька параметрів для аналізу (метод RFM аналізу), а саме: частота платежів гравця, давність платежів (різниця між останнім днем платежу та днем аналізу), сума платежів за розглядуваний період. Додатковим етапом буде аналіз середнього платежу для кожного сегменту. Він необхідний для того, щоб зрозуміти, яка ціна буде більш підходящою для гравців. Тестовий період складатиме 1 місяць.

По закінченню 30 днів необхідно порівняти отримані результати, а саме проаналізувати такі монетезаційні показники як ARPU (average revenue per user), Conversion Rate та ARPPU (average revenue per paying user). Додатково, за необхідності, можна подивитись Retention Rate чи інші ігрові метрики, щоб бути впевненим, що не задано негативного впливу на ігрові показники.

Під час періоду А/Б тесту сегментації необхідно відмовитись від інших тестів, мінімізувати ігрові зміни, щоб бути впевненим, що результат А/Б тестування не зазнав впливу сторонніх факторів.

Для більшої впевненості в виборі кращого підходу сегментації доречно провести аналіз показників додатково ще й після 30 днів після завершення А/Б тестування.

Список використаних джерел:

1. Kohavi, R., Tang, D., & Xu, Ya. (2020). *Trustworthy Online Controlled Experiments: A Practical Guide to A/B Testing*. Cambridge University Press.

**ВИКОРИСТАННЯ КОЕФІЦІЄНТУ СТИСЛИВОСТІ ГАЗУ ПРИ
КОМП'ЮТЕРНОМУ МОДЕЛЮВАННІ НЕСТАЦІОНАРНИХ
РЕЖИМІВ ТЕЧІЇ ГАЗУ**

Любченко Д.С.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Гусарова І.Г.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ,
м. Харків, Україна
тел. (057) 702-14-36, email: davyd.liubchenko@nure.ua

This work is devoted the issue of the impact of choosing an approximation formula for the gas compressibility factor on the distribution of gas flow parameters: mass consumption, pressure and temperature in the non-stationary regime of gas flow along a pipeline has been considered. The obtained results can be applied to calculate the transient regimes of gas flow during emergency and abnormal situations.

В даній роботі розглядається питання про вплив вибору апроксимаційної формули для коефіцієнту стисливості газу на розподіл параметрів газового потоку (питому масову витрату, тиск та температуру) при нестационарному режиму течії газу (НРТГ) по ділянці трубопроводу. Такі режими виникають, наприклад, при розриві трубопроводу, його руйнуванні, відключенні або підключенні великих споживачів, та в інших подібних ситуаціях.

Розвиток обчислювальної техніки і методів математичного моделювання дає можливість досліджувати параметри, які описують властивості газового потоку на більш складних моделях.

В якості математичної моделі (ММ) неізотермічних нестационарних режимів течії газу по ділянці трубопроводу (ДТ) береться ММ без урахування кінетичної енергії та ефекту Джоуля-Томсона [1]. Ця модель доповнюється рівнянням стану

$$P = ZRT\rho g ,$$

де Z – коефіцієнт стисливості газу;

$\partial\Omega$ – питома газова стала;

T – температура газу;

ρ – щільність газу.

Для опису коефіцієнта стиснення газу використовують різні формули, у книзі [2] запропоновано апроксимувати коефіцієнт $\varphi = ES\varphi_0$ виразом:

$$Z(\bar{p}, \bar{T}) = 1 - 0,4273 \bar{p} \bar{T}^{-3,668} ,$$

де $\bar{p} = \frac{p}{p_{кр}}$ – приведений тиск;

Ω – приведена температура $p_{кр}$;

$T_{кр}$ – критичний тиск і критична температура.

Наступна формула забезпечує задовільні наближення в діапазонах тисків (до 7.5 МПа) і температур, які характерні для діючих газопроводів:

$$Z(\bar{p}, \bar{T}) = 1 - \frac{0,0241\bar{p}}{1 - 1,68\bar{T} + 0,78\bar{T}^2 + 0,0107\bar{T}^3}.$$

Також використовують формулу:

$$Z(P, T) = 1 + 0,07 \frac{P}{P_{кр}} \frac{T_{кр}}{T} \left(1 - 6 \frac{T_{кр}^2}{T^2} \right),$$

або

$$Z(P, T) = 1 - \left[(P - 6) (0,345 \cdot 10^{-2} \Delta - 0,446 \cdot 10^{-3}) + 0,015 \right] \cdot [1,3 - 0,0144(T - 283,2)],$$

де

$$\begin{aligned} u &= \varphi + \omega \Phi, \\ T_{кр} &= -20\sigma^2 + 179.6\sigma + 79.68, \\ \sigma &= 1.206 \cdot \Delta, \end{aligned}$$

P , Φ – значення тиску і температури газу, Δ – відносна щільність газу по повітрю.

Отримані результати можна застосовувати для розрахунку перехідних режимів течії газу під час аварійних та нештатних ситуацій в газотранспортній системі. Вибір апроксимаційної формули для коефіцієнту стисливості газу дозволить більш точно описувати параметри газового потоку при Н РТГ по ДТ, коли стан газу може змінюватися дуже швидко.

Список використаних джерел:

1. Husarova, I.H., Tevyashev A.D., & Tevyasheva O.A. (2022). Mathematical modeling of non-stationary gas flow modes along a linear section of a gas transmission system. *Mathematical Modeling and Computing*. 9, 2, 416–430. DOI: 10.23939/mmc2022.02.416.

2. Лурье, М.Ф. (2003). *Математическое моделирование процессов трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа*. Из-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина.

УДК 519.237.5:004.852

ЛІНІЙНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Ляшенко Є.С.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Гибкіна Н.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ,
м. Харків, Україна

тел. +38(066) 231-38-21, email: yevhenii.liashenko@nure.ua

This work will focus on the use of machine learning methods for planning the stability of power grids. We will consider autoregression for predicting future voltage values based on historical data alone, and more general linear regression for finding the relationship between various weather indicators and transformer voltages. The data to be used for forecasting includes observations from meteorological stations located in the service area of the hydropower plant: temperature, wind speed, cloud cover and precipitation, as well as voltage values at the transformers of the power plant.

Протягом останніх років методи машинного навчання стали одним із головних інструментів для розв’язання прикладних задач у різних галузях. У нашій роботі ми зосередимся на використанні лінійної регресійної моделі для прогнозування значень напруги на трансформаторах, спираючись на історичні дані та показники погоди.

Актуальність досліджуваної задачі пояснюється тим, що планування показників стабільної роботи електричних мереж на будь-якому рівні має ключове значення для належного функціонування енергосистеми. Приділення недостатньої уваги цьому аспекту може призвести до краху мережі, що в свою чергу матиме вплив не тільки на побутових користувачів, а і на промислових гігантів, які є рушіями економіки країни. Методи машинного навчання для аналізу та прогнозування даних, зокрема, лінійна регресія, можуть забезпечити досить точні прогнози, отже, їх застосування для розв’язання поставленої задачі є обґрунтованим.

Постановка проблеми. Набір даних, який пропонується використовувати для прогнозування, містить спостереження з метеорологічних станцій, розташованих у зоні обслуговування гідроелектростанції: температуру, швидкість вітру, хмарність та кількість опадів, а також значення напруги на трансформаторах електростанції. Завданням є розробка лінійної регресійної моделі для прогнозування майбутніх значень напруги на трансформаторах електричної станції за цими даними. Основна проблема полягає в тому, щоб встановити зв’язок між історичними даними, погодними змінами і значеннями напруги та побудувати модель, яка зможе найточніше прогнозувати значення напруги.

В нашій роботі для розв’язання цієї задачі ми будемо застосовувати два методи машинного навчання – авторегресію для прогнозування майбу-

тнього значення напруги, спираючись лише на історичні дані, та більш загальну лінійну регресію для знаходження зв'язку між різними показниками погоди та напругами на трансформаторах [1].

Основна ідея методу лінійної регресії полягає у встановленні зв'язку між двома або більше показниками, один з яких є результуючою змінною, а решта – незалежні змінні, що спричиняють вплив на результат [2]. У нашому випадку значення напруги на трансформаторах є залежною змінною, а погодні умови – незалежними. Лінійна регресійна модель будується на основі цих даних, а коефіцієнти моделі отримують за допомогою методу найменших квадратів. Після побудови моделі можна оцінити її точність за допомогою різних метрик та зробити висновок про доцільність використання такої моделі для досягнення поставленої мети. В загальному випадку модель множинної лінійної регресії має вигляд

$$\begin{pmatrix} y^{(1)} \\ \vdots \\ y^{(n)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & x_1^{(1)} & \dots & x_m^{(1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_1^{(n)} & \dots & x_m^{(n)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_0 \\ \vdots \\ \omega_m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon^{(1)} \\ \vdots \\ \varepsilon^{(n)} \end{pmatrix},$$

де m – кількість ознак кожного спостереження;

n – обсяг тренувальної вибірки;

$y^{(i)}$ – значення відгуку для i -го спостереження, $i = \overline{1, n}$;

x_j^i – значення j -ї ознаки i -го спостереження, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$;

$\omega_0, \dots, \omega_m$ – параметри моделі, що підлягають визначенню у ході навчання;

ε_i – похибка оцінювання.

В авторегресії основна ідея полягає у використанні історичних значень залежної змінної для прогнозування її майбутніх значень. Дана модель машинного навчання припускає, що поточна змінна залежить від її минулих значень, і, таким чином, для прогнозування будується модель часового ряду. Залежна змінна регресується на її ж попередні значення як незалежні змінні, потім коефіцієнти моделі визначаються за допомогою методу найменших квадратів.

Після оцінки якості моделі робиться висновок про її подальше використання. Побудована модель може бути використана для прогнозу невідомого цільового значення для нових спостережень.

Список використаних джерел:

1. Raschka, S., & Mirjalili, V. (2017). *Python Machine Learning: Machine Learning and Deep Learning with Python, scikit-learn, and TensorFlow*. Packt Publishing.
2. Жлуктенко, В.І., Наконечний, С.І., & Савіна С.С. (2001). *Теорія ймовірностей і математична статистика. Ч. II. Математична статистика*. КНЕУ.

**ПОРІВНЯННЯ СИСТЕМ РОЗПІЗНАВАННЯ ГОЛОСУ
ОСНОВАНИХ НА СТАТИСТИЧНІЙ МОДЕЛІ І
ГЛИБОКІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ**

Мазепа А.С.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Єсілевський В.С.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ,
м. Харків, Україна
тел. +38(050) 580-11-89, email: andrii.mazepa@nure.ua

This work provides an overview of different approaches to voice recognition as statistical models like Hidden Markov Models and deep neural networks like CNNs, RNNs, and LSTMs with the challenges of noise in voice recognition, and the benefits of DNN-based models in handling noisy environments.

Традиційні статистичні моделі: приховані марківські моделі (НММ) і моделі n -грам, важко справляються з високим рівнем шуму.

Розглянемо ці підходи і порівняємо їх ефективність у завдання розпізнавання голосу текст. Також на практиці порівняємо одні з найпопулярніших програмних пакетів (моделі n -грам і DNN).

НММ представляють мову як послідовність прихованих станів [1]:

$$P(O | S) = \sum_{p, q} P(O | q) P(q | S),$$

де O – аудіосигнал, що спостерігається, S – послідовність прихованих станів, q – конкретний стан у послідовності, $P(O | q)$ – ймовірність аудіосигналу при заданому стані q , а $P(q | S)$ є ймовірність стану q при заданій послідовності S .

Моделі n -грам оцінюють ймовірність наступного слова у послідовності з урахуванням попередніх слів [2]:

$$P(O | W) = \prod_t P(w_t | w_{t-n+1}, \dots, w_{t-1}),$$

де O – звуковий сигнал, що спостерігається, W – послідовність попередніх слів, w_t – поточне слово, а $P(w_t | w_{t-n+1}, \dots, w_{t-1})$ – ймовірність поточного слова з урахуванням попередніх $n-1$ слів.

Традиційні статистичні моделі, такі як НММ та моделі n -грам, мають обмеження в роботі з шумним середовищем та акцентами.

Системи розпізнавання мовлення на основі DNN використовують різні архітектури нейронних мереж для отримання ознак з аудіосигналу та моделювання часових залежностей у мовленні. Один з підходів полягає у використанні CNN для вилучення акустичних характеристик з необробленого аудіосигналу, потім передати RNN, наприклад LSTM. Потім вихідні дані LSTM передаються через повністю підключену нейронну мережу виконання завдання класифікації [3], [4].

CNN (Convolutional Neural Network), тип нейронної мережі, який за-

звичай використовується для завдань обробки зображень і сигналів.

RNN – рекурентна нейронна мережа.

LSTM (Long Short-Term Memory), тип RNN, призначений для вирішення проблеми градієнтів, що зникають, у традиційних RNN.

Порівняння статистичних моделей та DNN:

Результати тестових прогонів HTK та Kaldi на тестових наборах Verbmobil 1 corpus та Wall Street Journal 1 corpus показані в таблиці 1 [5].

У порівнянні з іншими розпізнавальниками визначну продуктивність Kaldi можна розглядати як революцію в технології розпізнавання мовлення з відкритим кодом.

HTK – це складний набір інструментів для роботи. Конвеєр навчання забирає багато часу і схильний до помилок.

Таблиця 1 – Частота помилок у словах на тестовому наборі VM1 та тестовому наборі WSJ1 за листопад 1993 р.

recognizer	VM1	WSJ1
HDecode v3.4.1	22.9	19.8
Julius v4.3	27.2	23.1
Kaldi	12.7	6.5

HDecode, Julius та Kaldi – це три набори інструментів з відкритим вихідним кодом, які використовуються для створення та навчання систем розпізнавання мовлення. Kaldi вважається найпопулярнішим і зручним для користувача набором інструментів із набором попередньо навчених моделей та прикладів сценаріїв.

Список використаних джерел:

1. Jurafsky, D., & Martin J.H. (2020). *Speech and Language. Processing* Pearson Education.

2. Manning, C.D., & Schütze H. (2019). *Foundations of Statistical. Natural Language Processing* MIT.

3. Kim, C., Lee, T., & Kim. H. (2016). Comparison of traditional and deep learning acoustic models for speech recognition in noisy environments. *Electronics Letters*, 52, 10, 822-824.

4. Lee, K., Lee, A., Lee, H., & Kim, S. (2015). Speaker recognition in noisy environments using deep neural networks. *IEEE Signal Processing Letters*, 22, 12, 2339-2343.

5. Gaida, C., & Patrick Lange (2014) Comparing Open-Source Speech Recognition Toolkits. Open Source for Information Systems (OASIS), <http://antikenschlacht.de/su/pdf/oasis2014.pdf>

УДК 530.192:517.938

АНАЛІЗ ФРАКТАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СУМАРНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ТРАФІКА

Макляков В. Д.

Науковий керівник – д-р техн. наук, проф. Кіріченко Л. О.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38 (057) 702-14-36, email: volodymyr.makliakov@nure.ua

In the work the numerical investigation of the properties of the additive modeling self-similar traffic, which have varying degrees of burstability is carried out. It is shown that the value of Hurst exponent of total stream is determined by the maximum value of Hurst exponent and the variation coefficients of streams.

Численні дослідження процесів у мережі показали, що статистичні характеристики мають властивості самоподібності. Такі властивості були виявлені в локальних та глобальних мережах, зокрема, у трафіках Ethernet, АТМ, додатків ТСП, ІР, VoIP та відеопотоків. Причина цього ефекту полягає в особливостях розподілу файлів на серверах, їх розміри та типова поведінка користувачів. Було встановлено, що потоки даних, які спочатку не володіють властивістю самоподібності, проходячи через вузлові сервери обробки та активні елементи мережі, ставали самоподібними [1].

Самоподібний трафік має особливу структуру, яка зберігається під час масштабування. Завжди є кілька великих сплесків при порівняно невеликому середньому рівні трафіку. Ці сплески спричиняють значні затримки та втрати пакетів, навіть тоді, коли загальне навантаження від усіх потоків менше, ніж максимальні значення. У класичному випадку для потоку Пуассона буферів середнього розміру буде достатньо. Черга може бути сформована на короткий період часу, але протягом тривалого буфер буде очищений. Однак у разі самоподібного трафіку черги мають більшу довжину.

Для більшості мереж актуально, що без обмеження трафіку черги на найбільш завантажені лінії будуть зростати необмежено, і в кінцевому підсумку перевищать розміри буферів. Це може призвести до ситуації, коли вхідні пакети будуть ігноруватися, і, таким чином, будуть передані знову, що призводить до нераціональної витрати мережевих ресурсів.

Метою даної роботи є моделювання та чисельне дослідження властивостей адитивного самоподібного трафіку, що має різний ступінь неоднорідності.

Випадковий процес $X(t)$ є статистично самоподібним з параметром самоподібності H , якщо процес $a^{-H}X$ має ті ж статистичні властивості другого порядку, як і $X(t)$. Параметр H , $0 < H < 1$, називається показником Херста, і є мірою самоподібності та довгострокової залежності випад-

кового процесу. Значення $H = 0,5$ означає відсутність довгострокової залежності.

Однією з найважливіших властивостей трафіку випадкового процесу є наявність важких хвостів його функції розподілу. Тяжкість цих хвостів відповідає ступеню неоднорідності значень трафіку.

Основним інструментом для вивчення та прогнозування поведінки самоподібних потоків даних є моделювання. Існує багато моделей самоподібних трафіків. У роботі розглядається модель агрегованого самоподібного потоку, в якій враховуються ступінь самоподібності та "важкі хвости" функції розподілу. Параметрами моделі є інтенсивність потоку, показник Херста та коефіцієнт варіації, який відповідає неоднорідності (сплескам) у реалізації.

Моделювання реалізації трафіку проводиться відповідно до формули:

$$Y(t) = b \cdot e^{k \cdot X(t)}$$

де $X(t)$ – це ряд фрактального гаусівського шуму з показником Херста H ; b та k – це параметри, які регулюють частоту та величину сплесків. Фрактальний Гаусівський шум $X(t)$ має нормальний розподіл, у цьому випадку $Y(t)$ має логарифмічно нормальний розподіл [2].

У роботі було проведено дослідження сумарних самоподібних потоків різного типу. Кожна з модельних реалізацій побудована на основі вищепри описаного перетворення. Наведено результати чисельного дослідження самоподібних властивостей адитивних інформаційних трафіків. Дослідження показали, що, якщо хоча б один із потоків є самоподібним, то сумарний потік набуває властивостей самоподібності. Якщо підсумовується кілька самоподібних потоків з різними значеннями показника Херста, то результуючий потік має максимальний показник. Чисельно показано, що значення показника Херста сумарного потоку визначається максимальним значенням показника в потоках, що підсумовуються, і співвідношенням коефіцієнтів варіацій потоку з максимальним показником Херста та інших.

Список використаних джерел:

1. Shelukhin, O.I., Smolskiy, S.M., & Osin, A.V. (2007). *Self-Similar Processes in Telecommunications*. John Wiley & Sons.
2. Kirichenko, L., Radivilova, T., & Saif A. (2013). Mathematical simulation of self-similar network traffic with aimed parameters. *Anale. Seria Informatică*, XI, 1, 17-22.

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ПРОГНОЗУВАННЯ РИНКУ КРИПТОВАЛЮТ

Максименко А.С.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Гибкіна Н.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ,
м. Харків, Україна

тел. +38(050) 756-45-18, email: andrii.maksymenko@nure.ua

The analysis of forecasting methods for the cryptocurrency market includes the exploration of various approaches to forecasting, their advantages and disadvantages. The main forecasting methods for the cryptocurrency market that will be discussed in this article include technical analysis, fundamental analysis, and social media analysis. Technical analysis focuses on analyzing historical price data and other technical indicators such as trading volume, market indicators, and more. This method is used to identify trends and patterns in the price dynamics of cryptocurrencies and to forecast future price dynamics based on these patterns.

Останніми роками криптовалюти привернули до себе багато уваги і стали однією із найважливіших та швидкозростаючих галузей фінансової індустрії. У зв'язку з високою волатильністю і низьким порогом для входу ринок криптовалют стає все більш привабливим для інвесторів. Однак, макроекономічні та мікроекономічні фактори, які можуть впливати на ринок, роблять його складним для аналізу та прогнозування. Для того, щоб робити правильні висновки відносно майбутньої ціни на актив, є гостра необхідність у використанні аналітичних середовищ прийняття рішень.

З точки зору прогнозування, криптоактиви мають багато цікавих особливостей для дослідження. В першу чергу, це висока волатильність: ціни активів криптовалют дуже нестабільні порівнянї з активами традиційних бірж, що дає змогу отримати більшу дохідність, але з більшими ризиками. По-друге, спекуляції з боку великих інвесторів стимулюють різкі зміни цін, тому своєчасне виявлення цих факторів є важливим.

У зв'язку з великою кількістю макроекономічних та мікроекономічних факторів, які впливають на формування ціни активу, для задачі прогнозування цього ринку класичні методи прогнозування, такі як регресійні, авторегресійні моделі, методи експоненціального згладжування, не є вдалими, оскільки вони виявляють лише лінійну залежність і не враховують такі специфічні чинники як вплив медіа простору та спекуляції. Тому виникає необхідність використання інших підходів, зокрема тих, які базуються на методах штучного інтелекту та глибинного навчання.

Одним з таких методів є застосування рекурентних нейронних мереж (RNN). Цей тип мереж придатний для аналізу та отримання висновків щодо послідовних даних, таких як ціни, що змінюються з часом. RNN доб-

ре підходить для прогнозування цін на криптовалюти на основі попередніх даних, до яких належать ціна, об'єм торгів, новини та спекуляції. Існує безліч підходів використання RNN для прогнозування криптовалют, і найбільш популярними з них є застосування Long Short-Term Memory (LSTM) та Gated Recurrent Unit (GRU) [1].

LSTM є одним з найбільш розповсюджених підходів. Головною особливістю цієї мережі є здатність зберігати попередній стан та попередню інформацію у клітині пам'яті, що може бути використано у майбутньому, і можливість обробляти великі обсяги даних. При цьому кожен модуль має здатність видаляти інформацію, що з часом стає непотрібною, та додавати нову – актуальну. Ця ідея є центральною в LSTM [2]. Порівняно з традиційними RNN, які мають проблему «зникаючого градієнту», LSTM-мережі мають таку структуру, що дозволяє їм зберігати та використовувати інформацію протягом тривалого часу та більш ефективно опрацьовувати довгі послідовності. Завдяки цьому, цей метод може виявляти складні залежності між різними факторами та добре підходить для довгострокового прогнозування.

GRU – це менш складна альтернатива LSTM, яка може бути ефективною для короткострокового прогнозування. Основна різниця між GRU і LSTM полягає в тому, що GRU має менше параметрів, і тому навчається та працює швидше [3]. З іншого боку, LSTM має більш складні механізми, що дозволяють краще зберігати та використовувати довгострокову пам'ять.

Вибір між LSTM та GRU залежить від конкретної задачі моделювання та характеру даних. Якщо дані мають складні залежності та потребують довгострокового прогнозування, то LSTM може бути більш ефективним. Якщо ж дані не дуже складні та використовуються для короткострокового прогнозування, то GRU може бути кращим вибором.

Список використаних джерел:

1. Charu C. Aggarwal. (2018). *Neural Networks and Deep Learning*. Springer
2. *Understanding LSTM Networks* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs>.
3. Dey, R., & Salem, F. M. (2017). *Gate-Variants of Gated Recurrent Unit (GRU) Neural Networks*. arXiv:1701.05923.

УДК 519.8:004.9]:613.2

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ НЕЧІТКОЇ ВЕКТОРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ СКЛАДАННЯ ДІЄТИ

Мірошниченко О.О.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Матвієнко О.І.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38 (096) 165-84-70, email: oleksandr.miroshnichenko@nure.ua

The work is devoted to the compilation of a human diet that would provide a person's daily need for essential nutrients, correspond to the financial capabilities of a person and have adequate weight and volume. The initial data for the task is the composition of the products used, the content of useful substances in them, calorie content and cost. To solve the problem, fuzzy vector optimization methods are used. The goal in this problem is not clearly defined. To solve this problem, we use the idea of Zade – Bellman, according to which the fuzzy solution of the problem under consideration is the intersection of a fuzzy goal and a fuzzy set of alternatives.

Багато людей у своєму харчуванні дотримуються певної дієти. Для одних дієти призначаються з медичною метою, інші намагаються схуднути чи, навпаки, набрати вагу, або просто підтримувати свій організм в хорошій формі. Також є спеціальні дієти для спортсменів. Раціон харчування повинен бути складений таким чином, щоб забезпечувати людину усіма поживними речовинами, відповідати її фінансовим можливостям, мати адекватну вагу та об'єм. Задача актуальна.

При складанні раціону треба враховувати кілька чинників, наприклад, вартість продуктів та вагу. Крім того, багато параметрів, що впливають на результат, визначено неточно. Тому для розв'язання цієї задачі будемо використовувати методи нечіткої векторної оптимізації.

Постановка задачі: Потрібно розробити умовний денний пайок, що забезпечує потреби людини в корисних речовинах та енергетиці і є найкращим за витратами та вагою.

Вихідними даними для задачі є: продукти, що використовуються для харчування, вміст корисних речовин у 100 г продукту, калорійність 100 г продукту (у кілокалоріях) та їхня вартість, потреба в корисних речовинах (у грамах) і кілокалоріях для людини.

Розглянемо задачу вибору найкращої альтернативи із заданої нечіткої множини альтернатив $\hat{C}$ з функцією приналежності $\mu_{\hat{C}}(x)$, що визначена на універсальній множині X . Будемо вважати, що якість альтернативи оцінюється за допомогою n частинних критеріїв ефективності: $f_1, f_2, \dots, f_n$. Ціль в цій задачі є визначеною нечітко. Для розв'язання цієї задачі скористаємося ідеєю Заде – Беллмана [1–3], згідно з якою нечітким розв'язком розглянутої задачі є перетин нечіткої цілі та нечіткої множини альтернатив $\hat{C}$.

У випадку задачі з n критеріями ефективності як нечітку ціль $\hat{G}$ пропонується розглядати перетин нечітких множин $\hat{G}_i, i = 1, 2, \dots, n$ – нечітких частинних цілей, визначених частинними критеріями ефективності $f_1, f_2, \dots, f_n$, тобто виходити з того, що ціль досягається з потрібною надійністю, якщо з цією надійністю досягається кожна з частинних цілей. Позначимо функцію приналежності нечіткої множини $\hat{G}_i$ через μ_i , тоді отримаємо, що:

$$\mu_{\hat{G}}(x) = \min\{\mu_1(x), \mu_2(x), \dots, \mu_n(x)\}.$$

Під нечітким розв'язком розглянутої задачі будемо розуміти перетин нечіткої цілі та нечіткої множини альтернатив. Тоді функція приналежності $\mu_{\hat{D}}(x)$ нечіткого розв'язку $\hat{D}$ задачі матиме вид:

$$\mu_{\hat{D}}(x) = \min\{\mu_{\hat{G}}(x), \mu_{\hat{C}}(x)\}.$$

Розв'язком задачі буде альтернатива x , для якої значення функції $\mu_{\hat{D}}(x)$ є максимальним.

Для нашої задачі невідомі x_m – це кількість відповідного продукту, що використовується в пайці, $m = 1, \dots, M$, M – кількість видів продуктів. Щоб гарантувати обмеженість множини допустимих планів, введемо вимогу про те, що сумарна вага продуктів не повинна перевищувати деяку величину. Зауважимо, що в цій моделі дві цільові функції – $f_1(x_m)$ – вартість пайка і $f_2(x_m)$ – його вага.

Нечітка система складання раціону може бути вбудована у програмний додаток, який стане у нагоді дієтологам, спортсменам, лікарям, звичайним людям, які переймаються питаннями правильного харчування.

Список використаних джерел:

1. Ус, С.А., & Коряшкіна, Л.С. (2014). *Моделі й методи прийняття рішень*. НГУ.
2. Флегонтов, А. В., Вилков, В. Б., & Черных, А. К. (2020). *Моделирование задач принятия решений при нечетких исходных данных*. Лань.
3. Колечкіна, Л. М., & Родіонова, О. А. (2007). Підхід до розв'язування задач комбінаторної багатокритеріальної оптимізації на множині полірозміщень. *Радиоелектроника и информатика*, 1, 84–88.

СИСТЕМА ЛОРЕНЦЯ ЯК МОДЕЛЬ ДИНАМІКИ МІСТ

Навроцький Д.О.

Наукові керівники: канд. техн. наук, доц. Наумейко І.В.,

канд. фіз.-мат. наук, доц. Сова Г.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ, каф. ВМ
м. Харків, Україна

тел. +38(057) 70-21-436, email: danylo.navrotskyi@nure.ua

The evolution of an urban system can be mathematically described by a vector field in the phase space. An interpretation of the Lorenz equations in the context of problems of urban production and population migration, showing the possibility of their application to explain the phenomenon of urban development is given.

Еволюція міської системи математично можна описати векторним полем у фазовому просторі – абстрактному просторі динамічних змінних систем.

Хаотичні, дивні атрактори відповідають непередбачуваному поведінці систем, які не мають строго періодичної динаміки, – це математичний образ детермінованих неперіодичних процесів. Дивні атрактори структуровані і можуть мати дуже складні та незвичайні конфігурації у тривимірному просторі. Лоренц (Lorenz, 1963) виявив, що навіть проста система із трьох нелінійних диференціальних рівнянь може призвести до хаотичних траєкторій.

Розглянемо у просторі метрополії таку міську систему, яка щодо економічної діяльності дуже «мала», порівняно з метрополією. Це означає, що будь-які зміни економічних умов у міській системі не впливають на весь простір метрополії, що залишається структурно стійким протягом часу спостереження.

Передбачається, що фірми та постійне населення вільні у виборі місцезнаходження і в міському просторі, і у зовнішньому світі.

Оскільки міського простору замало, вибір становища і розподіл фірм і домогосподарів у місті неспроможна проводити без розташування інших складових частин метрополії.

Передбачається, що локаційні характеристики міського простору описуються такими трьома змінними:

X – продукція, вироблена міською системою;

Y – чисельність корінного населення;

Z – земельна рента.

Продукція міської промисловості може йти на споживання населення чи експортуватися зовні. Передбачається, що можлива наступна динаміка міста, описана рівняннями з позитивними параметрами:

$$\begin{aligned}\frac{dX}{dt} &= a_1(a_2Y - a_3X), \\ \frac{dY}{dt} &= c_1(c_2X - c_3Y) - c_4XZ, \\ \frac{dZ}{dt} &= d_1XY - d_2Z.\end{aligned}$$

Параметр a_2 визначимо як попит на міську продукцію, нормований душу населення. Параметр аз інтерпретується як рівень пропозиції продукції всередині міста. Можна вважати a_2 та a_3 постійними, оскільки ми розглядатимемо лише невеликі відрізки часу. Тоді a_2Y – це загальний попит мешканців міської продукції, а a_3X – загальний потік міської продукції міський ринок. Таким чином, рівняння означає, що темп зміни міської продукції пропорційний надлишку попиту. Якщо попит більший за пропозицію, виробництво має тенденцію до розширення, і навпаки. Параметр a_1 – коефіцієнт, що має сенс швидкості встановлення. Для простоти припустимо, що земельна рента впливає виробництво, тобто. темп зміни залежить лише від надлишку попиту на міську продукцію.

Припускаємо, що зміна чисельності міського населення визначається двома членами $c_1(c_2X - c_3Y)$ і c_4XZ . Величину c_2 ми інтерпретуємо як попит на працю з боку фірм виробництва одиниці виробленої продукції. Отже, c_2X – це загальний попит на працю на міському ринку праці. Параметр c_3 визначається як відношення чисельності міських жителів, які обирають роботу у місті, до загальної чисельності міського населення. Величина c_3Y задає загальну величину пропозиції праці міському ринку праці. Член $(c_2X - c_3Y)$ – надлишок попиту працю у місті. Він впливає напрямок міграції. На міграцію впливає також величина земельної ренти, оскільки люди обирають для проживання місцевості з низькою ціною землею. Член c_4XZ враховує цей чинник. Ми припускали, що зміна величини земельної ренти негативно впливає її поточний рівень. Член d_1XY означає, що зміни земельної ренти позитивно впливають X та Y .

Щоб показати, що побудована система ідентична системі Лоренца, проведемо таке перетворення:

$$t = \frac{t^*}{c_1c_3}, \quad \sigma = \frac{a_{1,3}}{c_1c_3}, \quad r = \frac{a_2c_2}{a_3c_3}, \quad b = \frac{d_2}{c_1c_3}, \quad x = \left(\frac{c_4}{d_1}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{d_1X}{c_1c_3}, \quad y = \left(\frac{c_4}{d_1}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{d_1a_2Y}{a_3c_1c_3},$$

Таким чином, ми дали інтерпретацію рівнянь Лоренца в контексті проблем міського виробництва та міграції населення, показавши можливість їх застосування для пояснення феномену розвитку міст.

УДК 537.86:[004.45:004.942]

ОПТИМІЗАЦІЯ УЗГОДЖЕННЯ СИГНАЛІВ З БАГАТОКАНАЛЬНИМИ СИСТЕМАМИ

Незнанов М.Ю.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Наумейко І.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38 (095) 810-36-20, email: maksym.neznanov@nure.ua

Object of research is multichannel data transmission system with crosstalks. Purpose is to create the tools and implementation for the linear multiple channels to minimize mutual influences of the circuits and also minimize the reflection back from the receiver. The criteria and optimization program for constructing the best operating channels were developed.

Останнім часом засоби зв'язку розвивалися особливо швидкими темпами у всьому світі, і в усіх сферах життя – від побуту громадян до сучасних військових комплексів. Не втратила своє значення і провідний зв'язок, що має більш високий ступінь скритності та захисту від перешкод. Збільшилася ефективність використання напрямних систем шляхом ущільнення каналів.

Використання нових типів напрямних систем підвищило інформаційну ємність, швидкість передачі, захищеність таких каналів, і, зрештою, зросла їх конкурентоспроможність. Ця робота присвячена оптимізації провідних, хвилеводних та інших каналів зв'язку. Надалі під «каналом» маєтись на увазі лінійна напрямна система – «лінія» будь-якої фізичної природи, разом з безліччю сигналів, що по ній передаються, і кінцевими пристроями.

У роботі, яка є початковою частиною кваліфікаційної роботи магістра, поставлено та частково вирішено такі завдання:

- оптимального узгодження множини з n вхідних сигналів з n провідною лінією шляхом вибору призначення «сигнал-канал»;
- оптимального узгодження електромагнітних параметрів багатоканального приймача з направляючою системою.

Задача оптимізації для одномодової лінії давно розв'язана у курсі теоретичної радіотехніки, а для багатомодового каналу розв'язання у такій постановці у літературі не описані.

Таким чином, задачі, що вирішуються в роботі, актуальні і представляють практичний інтерес.

Як основна математична модель неоднорідного багатопровідного каналу в даній роботі використовується узагальнена система телеграфних рівнянь (СТУ) зі змінними коефіцієнтами [1]:

$$\begin{cases} -\frac{d\vec{U}}{dx} = (R + i\omega L)\vec{I}, \\ -\frac{d\vec{I}}{dx} = (G + i\omega C)\vec{U}, \end{cases}$$

де $R(x)$, $G(x)$, $L(x)$, $C(x)$ – матриці-функції розмірності $n \times n$, що складаються з власних параметрів ланцюгів та параметрів їхнього взаємного впливу, а вектори-стовпці $\vec{U}$ і $\vec{I}$ – електромагнітні носії сигналу.

Під перешкодами в рамках даної роботи розуміють сторонні сигнали, частотний спектр яких частково або повністю збігається зі спектром сигналів, що передаються. Перешкоди від лінійних переходів обумовлені електромагнітним зв'язком паралельних кіл. Також перешкоди при передачі імпульсів по ланцюгах можуть виникати в результаті відбиття частини сигналу кінцевим пристроєм, що приймає. І оскільки ми, з конструктивних міркувань (у приймачі неприпустимі додаткові паразитні зв'язки), не можемо вибирати матрицю навантаження, яка дорівнює недиагональній матриці хвильових опорів, необхідно враховувати можливі відбиття.

Управління можливо здійснити двома способами [2, 3]:

– при передачі імпульсів виникають взаємні впливи між каналами, отже, нам необхідно подати на вхід імпульси таким чином, щоб перешкоди між каналами були мінімальними, тобто по суті вирішити завдання про призначення «канал-сигнал»;

– при з'єднанні з кінцевими пристроями частина сигналів відображається, таким чином, керування можна здійснити, вибираючи діагональну матрицю опорів навантаження за критерієм мінімізації відображеного вектору сигналів.

Для цієї роботи було поставлено складніша задача першого типу та запропоновано три критерії оптимізації для задач другого типу.

Надалі необхідно провести оптимізацію за кожним з них, запропонувати критерій переваги і за допомогою машинного експерименту вибрати найкращий для даного класу напрямних систем.

Список використаних джерел:

1. Перельман, Я. С. (1971). Распространение волн по неоднородным линиям электропередачи с периодическими неоднородностями. Электричество, № 7, 44–48.
2. Ладієва, Л. Р. (2014). Оптимальне керування. НТУУ «КП».
3. Крак, Ю. В., & Лєвошич, О. Л. (2003). Оптимальне керування. Київ. ун-т.

ОЦІНКА ПОКАЗНИКА ХЕРСТА НА ОСНОВІ ВЕЙВЛЕТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Павленко К.О.

Науковий керівник – д-р техн. наук, проф. Кіріченко Л. О.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ,
м. Харків, Україна
тел. +38 (097) 180-70-40, email: kyrylo.pavlenko@nure.ua

This work is devoted to an approach to estimating the Hurst exponent for fractal time realizations, based on the application of machine learning, namely a regression neural network. The construction of the regression model is based on the estimation of the Hurst index using a discrete wavelet transformation. The input data are the values of the wavelet energies obtained from realizations of the fractal Brownian motion. Comparative analysis showed that when using a neural network, the accuracy of the assessment increased several times.

Часовий ряд – це сукупність значень якогось показника за кілька послідовних моментів чи періодів часу. Такі дані легко зібрати, і вони мають високу значущість у визначенні стану системи, тому що можуть бути отримані у реальному часі.

Однією з основних властивостей біологічних, фізичних, технічних та інформаційних систем є властивість самоподібності (фрактальності). Ця властивість притаманна не тільки самим об'єктам і системам, а й сигналам, які вони генерують, і траєкторіям їх руху, які описуються фрактальними часовими реалізаціями [1]. Основною характеристикою фрактальної реалізації є її ступінь самоподібності, яка називається показником Херста. Різним станам досліджуваної системи відповідають різні значення показника Херста, тому кількісна характеристика самоподібності часто приносить важливу додаткову інформацію [2].

Метою представленої роботи є оцінка показника Херста часових рядів на основі вейвлет-енергій дискретного вейвлет-перетворення, що подаються на вхід регресійної нейронної мережі.

Вейвлет-перетворення часової реалізації – це її представлення у вигляді узагальненого ряду або інтеграла на основі базисних функцій:

$$\psi_{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right),$$

отриманих з материнської вейвлет-функції $\psi(t)$, через операції зсуву часу b і масштабування a .

Дискретне вейвлет-перетворення (ДВП) будується за допомогою багатомасштабного аналізу, який полягає в розбитті реалізації $X(t)$ на дві складові: наближення (низькі частоти) і деталізацію (високі частоти). Далі процедура рекурсивно повторюється шляхом розщеплення компонент наближення до заданого рівня розкладання N . У результаті реалізація $X(t)$ пред-

ставляється як сума компонент апроксимації та набору компонент деталей на різних рівнях. На кожному рівні декомпозиції компонент деталі $X(t)$ має відповідний набір деталізуючих вейвлет-коефіцієнтів:

$$\det \det(j, k) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) \psi_{jk}(t) dt, \quad k = 1, N_j.$$

Значення вейвлет-енергії на заданому рівні вейвлет-розкладання j з кількістю деталізуючих вейвлет-коефіцієнтів N_j визначається як:

$$E_j = \frac{1}{N_j} \sum_{k=1}^{N_j} (j, k).$$

Далі ми пропонуємо використовувати регресійну нейронну мережу [3], вхідними даними для яких будуть значення вейвлет-енергій.

На рисунку 1 показано оцінки показника Херста H , отримані для 500 реалізацій з показником $H = 0,7$. Ліворуч показані гістограми оцінок, отриманих статистичним розрахунком [2], а праворуч – за допомогою нейронної мережі. Гістограми, показані вгорі, отримані з реалізацій довжиною 200 значень, унизу – 2000 значень.

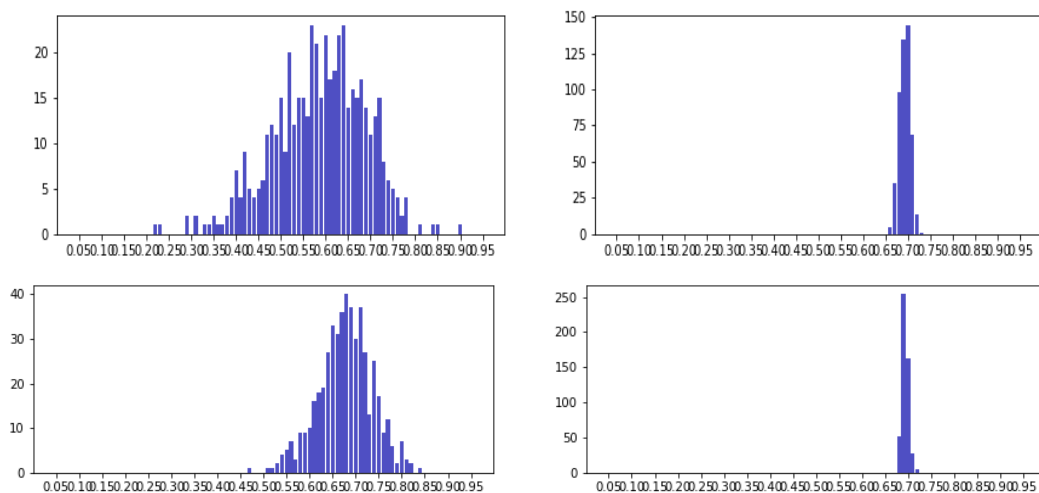


Рисунок 1 – Гістограми для оцінок $H = 0,7$, статистичний розрахунок (ліворуч), нейронна мережа (праворуч); довжина реалізації 200 значень угорі, 2000 унизу

Список використаних джерел:

1. Abry, P., Goncalves, P., Vehl, J. L. (2009). *Scaling, Fractals and Wavelets*. John Wiley & Sons, London.
2. Balcerek, M., Burnecki, K., Thapa, S., Wyloma'nska, A., & Chechkin, A.V. (2022). *Fractional Brownian motion with random Hurst exponent: accelerating diffusion and persistence transitions*.
3. Géron, A. (2020). *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems* (2nd ed.). O'Reilly Media.

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ РОЗПІЗНАВАННЯ ПРИРОДНОГО МОВЛЕННЯ НА ОСНОВІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Петришин А.Ю.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Єсілевський В.С.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ,
м. Харків, Україна

тел. +380938025430, email: andrii.petryshyn@nure.ua

This thesis centers around the comparison of neural network-based models for speech recognition in the presence of noise. The study reviews denoising autoencoders, CNNs, RNNs, and transformer-based architectures, and evaluates their suitability for different noise types and levels. Comparison is conducted by collecting and preprocessing dataset of noisy speech recordings and experimenting to compare the performance of these models in terms of recognition accuracy, robustness to different noise types and levels, and computational efficiency.

В сучасному суспільстві розпізнавання живого мовлення є актуальною темою наприклад для збереження телефонних розмов у текстовій формі, загального транскрибування аудіозаписів з подальшою їх роботою (переклад текстів тощо). Подальші можливості роботи з розпізнаним текстом необмежені: створення асистента, збереження основних інформації записів у текстовій формі для зручного пошуку тощо.

Під час розпізнавання живого мовлення виникає проблема шуму, який утворюється з різних причин: передача сигналу утворює білий шум; природні умови утворюють натуральний шум у вигляді вітру, водоспаду та іншого, розмови людей на фоні запису теж вважається шумом.

У дослідженні розглядається розпізнавання природного мовлення з шумом методами на основі нейронних мереж [1]. Серед цих методів глибинне нейронні мережі [2], рекурентні нейронні мережі [3], згорткові нейронні мережі [4] і нейронні мережі із застосуванням трансформаторів.

Для безпосереднього порівняння різних моделей, у дослідженні збирають аудіозаписи з шумом, обробляють їх у зрозумілі для нейронних мереж дані і навчають моделі для подальшого їх аналізу. Порівняння моделей відбувається за такими параметрами: точність розпізнавання, стійкість до шуму, ефективність обчислень.

Обробка аудіозаписів відбувається шляхом перетворення їх у аудіосигнали, вилучення ознак, які можна представити у числовій формі, таких як, спектрограми [5] (рис. 1) тощо. Готові дані використовують вже як вхідні значення на моделі нейронних мереж, які навчаються на цих даних і далі використовуються щоб розпізнавати мовлення.

В ході дослідження було зроблено висновок, що модель глибинних нейронних мереж показує себе найгірше в порівнянні з рекурентними і

згортковими нейронними мережами і моделі з трансформаторами. Найкращою моделлю виявилась модель із застосування перетворювача (трансформатора). Точність жодної з моделей не перевищила 80 %, що показує, що для практичного застосування в більшості випадків вони не є зручними. Такі моделі можна застосовувати коли треба розпізнати основну частину тексту для загального розуміння про що йде мова в аудіозаписі.

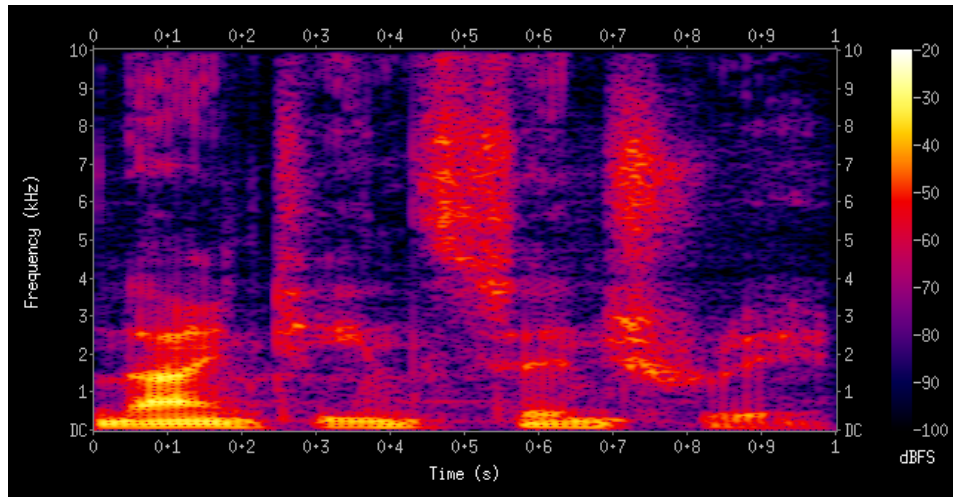


Рисунок 1 – Приклад спектрограми

Порівняння моделей на основі нейронних мереж для розпізнавання живого мовлення покаже їхні сильні і слабкі сторони для розпізнавання мовлення з шумом і практичність їх застосування.

Список використаних джерел:

1. Hannun, A., CASE, C., Casper, J., Catanzaro, B., Diamos, G., Elsen, E., Prenger, R., Satheesh, S., Sengupta, S., & Coates, A. (2014). *Deep speech: Scaling up end-to-end speech recognition*.
2. Hinton, G., Deng, L., Yu, D., Dahl, G. E., Mohamed, A.-R., Jaitly, N., Senior, A., Vanhoucke, V., Nguyen, P., & Sainath, T. N. (2012). Deep neural networks for acoustic modeling in speech recognition: The shared views of four research groups. *Signal Processing Magazine*.
3. *Towards data science* (2018, 27 December). Recognizing Speech Commands Using Recurrent Neural Networks with Attention <https://towardsdatascience.com/recognizing-speech-commands-using-recurrent-neural-networks-with-attention-c2b2ba17c837>
4. Collobert, R., Puhersch, C., & Synnaeve, G. (2016, 13 September). *Wav2Letter: an End-to-End ConvNet-based Speech Recognition System*.
5. *Towards data science* (2020, 19 July). *Understanding Audio data, Fourier Transform, FFT and Spectrogram features for a Speech Recognition System*. <https://towardsdatascience.com/understanding-audio-data-fourier-transform-fft-spectrogram-and-speech-recognition-a4072d228520>

**МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ РЕЖИМІВ ТЕЧІЇ ГАЗУ
ПО БАГАТОНІТКОВІЙ ЛІНІЙНІЙ ДІЛЯНЦІ ГАЗОПРОВОДУ**

Полятикін А.О.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Гусарова І.Г.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38 (095) 661-87-21, email: andrii.poliatykin@nure.ua

This work is devoted to a problem statement of a modelling of non-stationary gas flow regimes along multi-line linear sections of the pipeline. The pipeline section consists of few parallel pipes of a given diameter. Modeling of such regimes of gas flow along a section of a gas pipeline of a given structure is used in emergency situations, when the parameters of the gas flow at the entrance and exit of a multi-threaded linear section of the gas pipeline change rapidly.

В даній роботі розглядається формальна постановка задачі моделювання нестационарних режимів течії газу по багатонитковій лінійній ділянці газопроводу (БЛ ДГ). Під БЛ ДГ мається на увазі ДГ, яка складається з декількох паралельно розташованих труб заданого діаметру, що мають спільний вхід і вихід.

Моделювання таких режимів течії газу по ДГ заданої структури використовується в аварійних та позаштатних ситуаціях, коли стрімко змінюються параметри газового потоку на вході або виході БЛ ДГ.

Моделювати структуру БЛ ДГ будемо за допомогою орієнтованого графу, який має дві вершини, які позначимо 1 та 2, де 1 та 2 – це вхід та вихід ДГ відповідно, та m дуг відповідних m ділянкам трубопроводу (ДГ) довжиною L^i та діаметром D^i , $i = \overline{1, m}$, які йдуть з вузла 1 до вузла 2. Тоді математична модель нестационарного неізотермічного режиму течії газу по БЛ ДГ заданої структури матиме вигляд [1]:

$$\frac{\partial \varphi^i}{\partial t} + B^i(x, t, \varphi^i) \frac{\partial \varphi^i}{\partial x} = \Phi^i(x, t, \varphi^i), \quad i = \overline{1, m},$$

де за визначні параметри беруться $G^i(x, t)$, $P^i(x, t)$, $T^i(x, t)$ – масова витрата, тиск, температура на i -й ділянці трубопроводу, тобто

$$\varphi^i(x, t) = (G^i(x, t), P^i(x, t), T^i(x, t)), \quad i = \overline{1, m}, \quad \hat{\alpha} = z g R,$$

$$B^i(x, t, \varphi^i) = \begin{bmatrix} \frac{2\hat{\alpha}T^iG^i}{P^iS^i} & S^i - \frac{\hat{\alpha}T^i(G^i)^2}{S^i(P^i)^2} & 0 \\ \frac{\hat{\alpha}T^i}{S^i} & 0 & 0 \\ \frac{\hat{\alpha}(\gamma-1)(T^i)^2}{P^iS^i} & 0 & \frac{\hat{\alpha}\gamma T^iG^i}{P^iS^i} \end{bmatrix},$$

$$\Phi^i(x, t, \varphi^i) = \begin{bmatrix} -\frac{\lambda^i \hat{\alpha} T^i G^i |G^i|}{2D^i P^i S^i} - \frac{g P^i S^i}{\hat{\alpha} T^i} \frac{dh^i}{dx} \\ 0 \\ -\frac{4K}{D^i} (\gamma-1) \frac{T^i}{P^i} (T^i - T_{cp}) - g(\gamma-1) \frac{T^i G^i}{P^i S^i} \frac{dh^i}{dx} \end{bmatrix}.$$

На вході будемо мати заданий тиск та температуру газу, а на виході масову витрату. Тоді граничні умови та умови узгодження у першому та другому вузлі будуть мати вигляд:

$$\begin{cases} P(0, t) = P^{(1)}(t), \quad i = \overline{1, m}, \\ T(0, t) = T^{(1)}(t), \quad i = \overline{1, m}, \\ \sum_{i=1}^m G^i(L^i, t) = G^{(2)}(t), \quad P(L^1, t) = P(L^2, t) = \dots = P(L^m, t) = P^{(2)}(t), \end{cases} \quad \sum_{i=1}^m G^i(0, t) = G_{\text{виз}}^{(1)}(t),$$

де $G_{\text{виз}}^{(1)}(t)$, $P^{(2)}(t)$ – масова витрата та тиск у відповідному вузлі, $P^{(1)}(t)$, $T^{(1)}(t)$, $G^{(2)}(t)$ – задані функції.

Крім того задається початковий розподіл.

Отримана математична модель може бути використана для моделювання нестационарних режимів в аварійних та нештатних ситуаціях.

Список використаних джерел:

1. Husarova, I.H., Tevyashev, A.D., & Tevyasheva, O. A. (2022). Mathematical modeling of non-stationary gas flow modes along a linear section of a gas transmission system. *Mathematical Modeling and Computing*, 9 (2), 416–430.

УДК 519.6

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ЗАДАЧІ ВІДНОВЛЕННЯ РОЗРИВНИХ ФУНКЦІЙ ДВОХ ЗМІННИХ БЕЗ ВПЛИВУ ЯВИЩА ГІББСА

Пучкін М.О.

Науковий керівник — канд. фіз.-мат. наук., доц. Литвин О.Г.

Харківський національний університет радіоелектроніки
61166, Харків, пр. Науки, 14, каф. Прикладної математики,
тел. (057) 702-14-36, email: mykola.puchkin@nure.ua

The work is devoted to the development of an algorithm for solving the problem of restoring discontinuous functions based on the method of finite Fourier sums without the influence of the Gibbs phenomenon. The finite sum Fourier method is used in combination with discontinuous splines. Projection data coming from a computer tomograph are considered known. The recoverable function is discontinuous with known discontinuity lines. Developed the algorithm for solving issue. Conducted numerical implementation of the method. Considered the test issues. The results were compared. The obtained results confirm the effectiveness of the method.

При розробці алгоритму розв'язання задачі відновлення розривних функцій без впливу явища Гіббса використані розробки авторів методу, наведені в роботах [1,2].

Вважаємо, що функція $f(x, y)$ є розривною з відомими лініями розриву. Відомі проекційні дані γ_k вздовж прямих L_k :

$$\int_{L_k} f(x, y) dl = \gamma_k, \quad k = \overline{1, Q}.$$

Треба відновити цю функцію без впливу явища Гіббса.

Алгоритм розв'язання:

1. Формуємо тестову розривну функцію для відновлення.
2. Будуємо сплайн-функцію, яка наближує задану тестову функцію і має на вказаних лініях такі ж розриви першого роду, як і наближувана функція. Використовуємо метод побудови розривного сплайна, викладений у роботі [1].

3. Формуємо функцію $\varphi(x, y)$:

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

В роботі [1] доведено, що ця функція неперервна.

4. Відновлюємо функцію $\varphi(x, y)$ методом скінченних сум Фур'є.

Тут розв'язок шукаємо у вигляді:

$$\tilde{\varphi}_N(x, y) = \sum_{k=-N}^N \sum_{l=-N}^N F_{k,l} e^{i2\pi(kx+ly)}, \quad F_{k,l} = \iint_D \varphi(x, y) e^{-i2\pi(kx+ly)} dx dy$$

У цьому методі шляхом введення заміни змінних обчислення коефіцієнтів Фур'є зводиться до обчислення повторних інтегралів, залежних від ін-

дексів в сумі Фур'є, в яких використані задані проєкційні дані.

5. Наближувану функцію $f(x, y)$ подаємо у вигляді

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

6. Проводимо аналіз отриманого розв'язку шляхом підрахунку відповідних похибок.

Приклад. Відновлення розривної функції з однією лінією розриву, що є колом. Задана тестова функція

$$f(x, y) = \begin{cases} f_1(x, y), & \text{якщо } w_1(x, y) \geq 0; \\ f_2(x, y), & \text{якщо } w_1(x, y) < 0, \end{cases}$$

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

$$f_2(x, y) = k_2 \cdot \sin((x-0,5)^2 + (y-0,5)^2),$$

$$w_1(x, y) = R - \sqrt{(x-0,5)^2 + (y-0,5)^2}, \quad k_1 = 10, \quad k_2 = 5, \quad R = 0,25.$$

Таблиця 1 – Порівняння методів

Метод N=32	Відносна похибка	Середньо- квадратична похибки	Середня абсолютна похибка
I. Фур'є (з впливом явища Гіббса)	$4,72 \times 10^{-1}$	$5,83 \times 10^{-1}$	$2,31 \times 10^{-1}$
II. Фур'є+сплайн (без впливу явища Гіббса)	$1,04 \times 10^{-3}$	$5,31 \times 10^{-4}$	$2,57 \times 10^{-4}$

Порівняння похибок, наведених у табл. 1, показує переваги досліджуваного методу для розривних функцій.

Список використаних джерел:

1. Lytvyn, O.M., & Lytvyn, O.G. (2021). Analysis of the results of a computational experiment to restore the discontinuous functions of two variables using projections. I. *Cybernetics and Systems Analysis*, 57 (5), 98-107.

2. Литвин, О.М. (2000) Періодичні сплайни і новий метод розв'язання плоскої задачі рентгенівської комп'ютерної томографії. *Системний аналіз, управління і інформаційні технології: Вісник Харк. держ. політех. ун-ту*, 125, 27 – 35.

АНАЛІЗ ПЛАЗМОННИХ РЕЗОНАНСІВ МЕТАЛЕВОЇ НАНОТРУБКИ З ПОДВІЙНОЮ ОБОЛОНКОЮ

Пшонкіна А.С.

Науковий керівник – канд. фіз.-мат. наук, доц. Стогній Н.П.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ВМ
м. Харків, Україна

тел. +38 (057) 702-13-72, email: nadiia.stohnii@nure.ua

Typical problem of electrodynamics that based on effective analytical-numerical investigation of stationary fields in systems of two-dimensional structure has been solved. Isolated metal nanoshell with double shell were studied. All the possible plasmons of configuration of «nanomatyoshka» (or concentric nanoshell) has been described and classified. Corresponding equations for determining the complex eigenvalues has been obtained. Field distributions in the near-field, their frequency and quality factor (Q) has been considered.

Приставка «нано» (або одна мільярдна частина), а також похідні від неї терміни «наночастини», «наноструктури», «нанотехнології» з'явилися в науковому лексиконі порівняно нещодавно. Однак, багато з матеріалів, які давно використовуються людством, мають властивості, що визначаються їх структурною організацією на нанорівнях, наномасштабах. Оптичні властивості металевих наноструктур пов'язані з їх плазмонним відгуком, який сильно залежить від геометрії структури та навколишнього середовища. Металеводіелектрична комбінація ядро-оболонка представляє собою унікальну геометрію, яка дозволяє систематично налаштовувати плазмонний резонанс наноструктури. Це досягається за рахунок зміни відносних розмірів шарів ядра та оболонки [1–3].

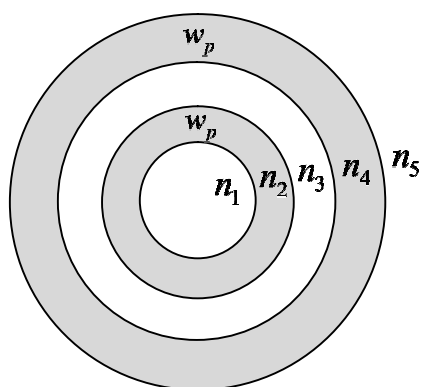


Рисунок 1 – Геометрія вивченої задачі

В даному дослідженні основну увагу приділено вивченню нанотрубки з подвійними концентричними оболонками (шарами). Ми використовуємо чисельно-аналітичний метод, який надає можливість створення ефективних обчислювальних алгоритмів та полегшує інтерпретацію отриманих результатів.

Проаналізовані поверхневі плаزمони нанотрубки з подвійним шаром – «наноматрьошки» (металевого нанопроводу з аксіально симетричними порожнинами). Діелектрична проникність внутрішнього середовища нанотру-

бки описується моделлю Друде $\epsilon_1 = 1 - \omega_p^2 \cdot (\omega(\omega - i\gamma))^{-1}$, де ω_p – плазменна частота, γ – коефіцієнт поглинання. Зовнішнє середовище – діелектрик з діелектричною проникністю ϵ_5 , для першого шару – ϵ_3 , для другого шару – ϵ_4 . Всі середовища вважаються немагнітними, залежність від часу задається у вигляді $e^{i\omega t}$. Вихідними рівняннями є рівняння Максвелла, які доповнені матеріальними рівняннями та граничними умовами. Проаналізовані власні стани поля (плазмонні моди), які існують при відсутності джерел, та коливання, що збуджуються сторонніми полями.

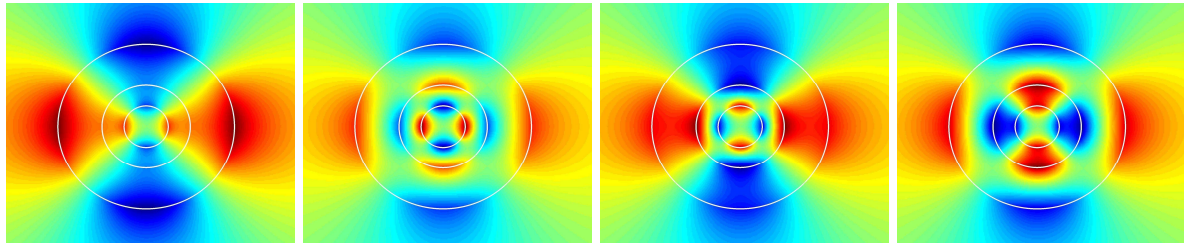


Рисунок 2 – Розподіл ближнього поля поверхневих плазмонів нанотрубки з подвійним шаром («наноматрьошки») ($s = 2$)

Основну увагу сконцентровано на вивчення поверхневих плазмонів, що існують в зоні непрозорості металу та тільки в Н-поляризації. Були вивчені та проаналізовані комплексні власні частоти, добротності та розподіли полів поверхневих плазмонів нанотрубки радіуса a_1 з двома концентричними оболонками a_2 та a_3 . Встановлено, що на відміну від суцільного проводу, дисперсійне рівняння для «наноматрьошки» при кожному фіксованому s (s – кількість варіацій поля за кутовою змінною) має не одне, а вісім різноманітних розв’язків. Існують плазмони, в яких магнітне поле на внутрішньому та зовнішньому боці кожного шару (оболонки) має один і той же знак (парні плазмони) або різні знаки (непарні плазмони) (рис. 2). Встановлено, що така слоїста геометрія нанотрубки має плазмонний резонанс, який залежить від взаємодії між плазмонами внутрішнього та зовнішніх шарів. Досліджено суттєве збільшення добротностей плазмонних резонансів для нанотрубки з подвійним шаром порівняно з проводом чи нанотрубною.

Список використаних джерел:

1. Стогний, Н.П., & Бутенко, Н.С. (2020). Плазмонные резонансы уединенной металлической нити и трубки. *Радиотехника*, 201, 112-119.
2. Ahmadvand, A., Sinha, R., & Pala, N. (2016). Resonance coupling in plasmonic nanomatryoshka homo- and heterodimers. *AIP Advances*, 6, 065102.
3. Стогній, Н.П., Шпількін, А.Р., & Мартинюк, Є.Д. (2022). Дослідження динаміки поверхневих плазмонів. *The 5-th International scientific and practical conference – Modern research in world science, August 7-9, 2022, Lviv, Ukraine*, 302 – 304.

СТАЦІОНАРНІ ТА КРИТИЧНІ ТОЧКИ В СИСТЕМАХ БЕЗПЕЧНОЇ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

Ракітянський Д.Б.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Наумейко І.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38(098) 490-76-84 , email: dmytro.rakitianskyi@nure.ua

A model of two dimensional nonlinear dynamic system which reduces a detrimental factor at a reasonable price is worked out. As an empirical base model, the basis for modification, a system of ordinary nonlinear differential equations is taken. It describes the basic laws of antagonistic interaction of two factors or agents. The phase portrait shows that the system tends to a steady state in time interval, acceptable for our case. Moreover, it is possible to reduce the cost of stationary protection, or reduce the excessive level of dynamic protection impact.

Як подальший розвиток роботи [1] розглянуто модель динамічної системи, що описує ситуацію, коли основна підсистема «виробляє» шкідливий фактор, а друга підсистема – захист – намагається його зменшити абсолютно або за прийнятну ціну. Як емпірична базова модель – основа для модифікації – взято систему звичайних нелінійних диференціальних рівнянь, що описує основні закони антагоністичної взаємодії двох чинників чи агентів.

Захист $z(t) > 0$ може управлятися програмно чи адаптивно – залежно від величини наведеної інтенсивності шкідливого чинника $u(t)$. Вартість захисту $C = C(z)$ природно вважати монотонно зростаючою невід’ємною функцією. Нижче пропонуються такі модифікації моделей 1 та 2 з [1].

Досить загальний випадок системи диференціальних рівнянь, що описує поведінку системи, має вигляд:

$$\begin{cases} u'(t) = \alpha u(t) - \beta z u(t), \\ z'(t) = F(u(t), z(t)), \end{cases} \quad (1)$$

за обмежень $u \geq 0$, $z \geq z_0$ (z_0 – стаціонарний захист).

Функція $F(u, z)$ може мати вигляд:

- 1) $F(u(t), z(t)) = \gamma u(t)$;
- 2) $F(u, z) = \gamma u - \delta z$;
- 3) $F(u, z) = \gamma_1 u + \gamma_2 u^2 - \delta_1 z - \delta_2 z^2$.

Розв’язок системи диференціальних рівнянь (1) не завжди можна знайти аналітично. Тому для знаходження функцій захисту та шкідливого впливу використовуються чисельні методи розв’язування систем диференціальних рівнянь. Система (1) досліджена на стійкість за різних значень

параметрів підсистеми захисту (α, β, γ) .

Розглянемо модель 3 – систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} u'(t) = \alpha u(t) - \beta z(t)u(t), \\ z'(t) = \gamma_1 u(t) + \gamma_2 u^2(t) - \delta_1 z(t) - \delta_2 z^2(t). \end{cases} \quad (2)$$

Вона не розв'язується аналітично у загальному вигляді. Функції $z(t)$ і $u(t)$ подані у розв'язку як інтерполяційні таблиці, тобто у пакеті Mathematica 10.3 © отримано чисельний розв'язок системи (2).

Три її стаціонарні точки

$$\left(-\frac{\delta_1}{\delta_2}, 0\right), (0, 0), \left(\frac{\alpha}{\beta}, \frac{-\beta^2 \gamma_1}{2\beta^2 \gamma_2} \pm \frac{\beta \sqrt{\beta^2 \gamma_1^2 + 4\alpha\beta\gamma_2\delta_1 + 4\alpha^2\gamma_2\delta_2}}{2\beta^2 \gamma_2}\right)$$

знайдено аналітично, прирівнявши праві частини (2) до нуля.

Зобразимо фазовий портрет системи (2), взявши $\alpha = 0,6$, $\beta = 0,3$, $\gamma_1 = 6$, $\gamma_2 = 10$, $\delta_1 = 2$, $\delta_2 = 0,1$, $z_0 = 12$, $C_0 = 1200$.

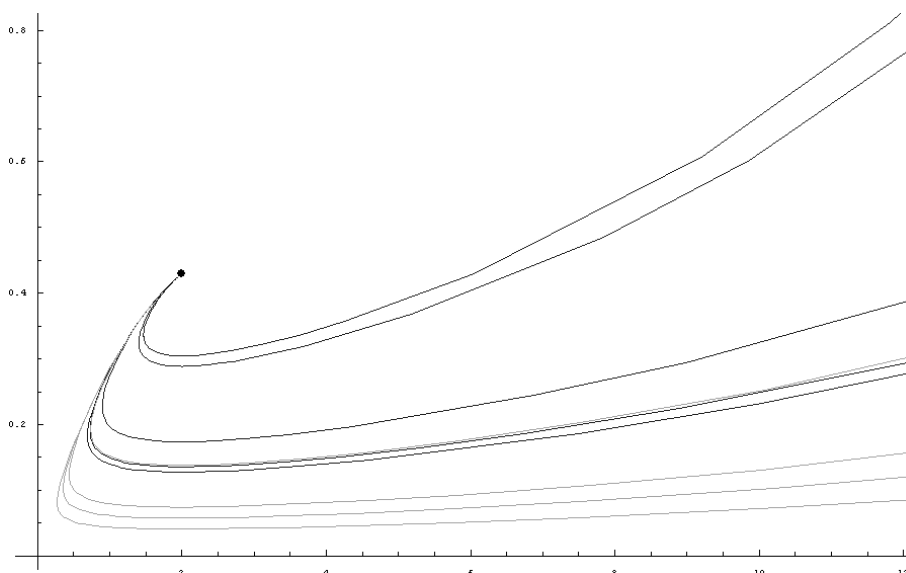


Рисунок 1 – Фазовий портрет системи (2)

Як бачимо з фазового портрета, система наближається до стану $z = 2$, $u = 0,428$. Інтервал часу, за який вона наближається до сталого стану, $t = 5$ є прийнятним для нашого випадку. Більше того, є можливість зменшити витрати на стаціонарний захист або зменшити надлишковий рівень впливу динамічного захисту.

Список використаних джерел:

1. Наумейко, И.В., & Сова, А.В. (2012). К расчету марковской модели эргатической системы. *Сборник научных трудов 5-Й Юбилейной Международной Научной конференции "Функциональная база нанoeлектроники"*, Харьков-Крым, 236-239.

УДК 519.87

**МЕТОД R-ФУНКЦІЙ В МАТЕМАТИЧНОМУ МОДЕЛЮВАННІ
СТАЦІОНАРНИХ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ
У КУСКОВО-ОДНОРІДНИХ СЕРЕДОВИЩАХ**

Резнік Ю.С.

Науковий керівник – д-р фіз.-мат. наук, проф. Сидоров М.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

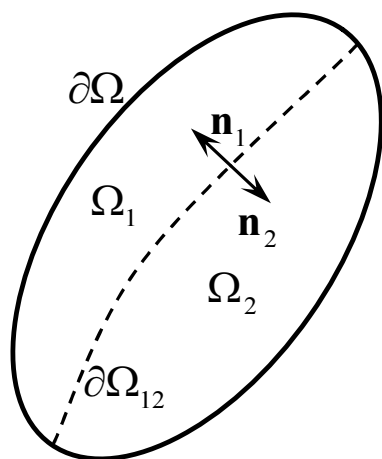
тел. +38(095) 246-17-99, email: yurii.rieznik@nure.ua

The paper considers the application of the structural method of R-functions to the solution of the problem of mathematical modeling of stationary processes of heat conduction in piecewise homogeneous media. An approach to build such a solution structure of the problem is described, which would accurately take into account both the conditions on the outer boundary of the body and the conjugation condition on the boundary of the medium-environment contact.

Процеси теплопередачі є важливими як у природі, так і у сучасних науці, техніці, промисловості. Дослідження цих процесів показало, що теплопередача є складним явищем. Окремим його випадком є теплопровідність – молекулярне перенесення тепла (або внутрішньої енергії) між тілами, що безпосередньо контактують, або частинками одного тіла з різною температурою, при якому відбувається обмін енергією руху структурних частинок (молекул, атомів, вільних електронів тощо). У чистому вигляді явище теплопровідності спостерігається, наприклад, у твердих тілах, нерухомих газах і рідинах за умови неможливості виникнення в них конвективних струмів. За останні десятиліття інтерес до математичного моделювання складних фізичних процесів, зокрема, процесів теплопровідності, та необхідність у ньому помітно зросли. Цьому значною мірою сприяє прогрес у розвитку комп'ютерної техніки, чисельних методів розв'язання всіх типів задач математичної фізики і реалізованих на цій основі математичних моделей. Серед чисельних методів, що застосовуються при моделюванні фізико-механічних полів, найбільш поширеними є метод скінченних різниць та метод скінченних елементів. Ці методи реалізовані у потужних програмних комплексах, але мають суттєвий недолік через те, що не завжди точно враховують на аналітичному рівні всю геометричну інформацію, яка міститься у постановці задачі. Зокрема, це відноситься до задач математичного моделювання процесів теплопровідності у кусково-однорідних середовищах, коли постановка задачі доповнюється ще додатковими умовами (так звані умови спряження) на межі контакту середовищ з різними теплофізичними характеристиками. Точно урахувати всю апріорну інформацію як геометричну, так і аналітичну, що міститься у постановці задачі, дозволяє структурний метод (метод R-функцій), запропонований академіком НАН України В.Л. Рвачовим [1]. Суть методу полягає у побудові так званих структур розв'язку – жмуктів функцій, які залежать від невизначених

компонент i незалежно від їх вибору точно задовольняють всім крайовим умовам задачі.

Нехай тіло Ω складається з двох (рис. 1) частин з різними теплофізичними характеристиками, причому на зовнішній межі $\partial\Omega$ тіла Ω підтримується задана температура φ_0 . Математичною моделлю стаціонарного процесу теплопровідності у такому середовищі є наступна крайова задача:



$$-\operatorname{div}(k(\mathbf{x}) \operatorname{grad} u) = f(\mathbf{x}), \mathbf{x} \in \Omega,$$

$$u|_{\partial\Omega} = \varphi_0,$$

$$u_1|_{\partial\Omega_{12}} = u_2|_{\partial\Omega_{12}}, k_1 \frac{\partial u_1}{\partial \mathbf{n}_1} \Big|_{\partial\Omega_{12}} = k_2 \frac{\partial u_2}{\partial \mathbf{n}_2} \Big|_{\partial\Omega_{12}}.$$

Тут $\mathbf{x} = (x_1, x_2)$, $k(\mathbf{x}) = \begin{cases} k_1, & \mathbf{x} \in \Omega_1, \\ k_2, & \mathbf{x} \in \Omega_2, \end{cases}$ – коефіцієнт теплопровідності, $f(\mathbf{x})$ – густина джерел тепла, $u(\mathbf{x}) = \begin{cases} u_1(\mathbf{x}), & \mathbf{x} \in \Omega_1, \\ u_2(\mathbf{x}), & \mathbf{x} \in \Omega_2, \end{cases}$ – шуканий розподіл температур у тілі Ω .

Рисунок 1

Перша з умов спряження означає неперервність температури, а друга – неперервність теплового потоку на межі розділу середовищ.

Нехай $\omega(\mathbf{x}) = 0$ – побудоване за допомогою конструктивного апарату теорії R -функцій нормалізоване рівняння зовнішньої межі $\partial\Omega$, а $\varphi = \operatorname{ЕС} \varphi_0$ – продовження функції φ_0 у область Ω . Тоді структура розв'язку, яка задовольняє умові на зовнішній межі тіла, має вигляд $u = \varphi + \omega\Phi$, де Φ – невизначена компонента структури.

Для того, щоб задовольнити тепер умови спряження замінимо у цій структурі координати x_1 і x_2 на $x_1 + \omega^2(x_1, x_2)\alpha(x_1, x_2)$, $x_2 + \omega^2(x_1, x_2)\beta(x_1, x_2)$ відповідно, де $\alpha = \gamma \frac{\omega^2 |\omega_{12}|}{\omega^2 + \omega_{12}^2} \frac{\partial \omega_{12}}{\partial x_1}$, $\beta = \gamma \frac{\omega^2 |\omega_{12}|}{\omega^2 + \omega_{12}^2} \frac{\partial \omega_{12}}{\partial x_2}$, $\gamma = \frac{k_2 - k_1}{k_2 + k_1}$, $|\omega_{12}| = 0$ – нормалізоване рівняння межі $\partial\Omega_{12}$. Невизначену компоненту можна апроксимувати, наприклад, методом Рітца.

Обчислювальний експеримент було проведено для випадку, коли Ω – прямокутник $(0, l_1) \times (0, l_2)$, а Ω_1 і Ω_2 – прямокутники $(0, x_0) \times (0, l_2)$ і $(x_0, l_1) \times (0, l_2)$ відповідно. Отриманий чисельний розв'язок було порівняно з точним, отриманим методом Фур'є.

Список використаних джерел:

1. Рвачев, В. Л. (1982). *Теория R-функций и некоторые её приложения*. Наукова думка.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ДВОБІЧНИХ НАБЛИЖЕНЬ ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ДІРІХЛЕ ДЛЯ НЕЛІНІЙНОГО РІВНЯННЯ З БІГАРМОНІЧНИМ ОПЕРАТОРОМ

Савченко А. В.

Науковий керівник – д-р фіз.-мат. наук, проф. Сидоров М. В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ,
м. Харків, Україна

тел. +38(057) 702-14-36, email: anton.savchenko@nure.ua

The Dirichlet boundary value problem for a nonlinear equation with a biharmonic operator is considered. The considered problem arises when modeling the processes of the theory of elasticity and reflects the deflection of the plate, the ends of which are fixed. For its solution, two-sided approximations methods based on the use of Green's functions is proposed.

Розглянемо основну крайову задачу (задачу Діріхле) для нелінійного еліптичного рівняння з бігармонічним оператором [1]:

$$\Delta^2 u = f(\mathbf{x}, u), \mathbf{x} \in \Omega, \quad (1)$$

$$u|_{\partial\Omega} = \frac{\partial u}{\partial \mathbf{n}}|_{\partial\Omega} = 0, \quad (2)$$

де $\Delta^2 u = \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 u}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 u}{\partial y^4}$ – бігармонічний оператор, $\mathbf{x} = (x_1, x_2)$, Ω – круг одиничного радіуса з центром у початку координат, $f(\mathbf{x}, u)$ – нелінійна, додатна та неперервна при $\mathbf{x} \in \bar{\Omega} = \Omega \cup \partial\Omega$ функція, $\mathbf{n}$ – зовнішня до межі $\partial\Omega$ нормаль.

Задача (1), (2) виникає, наприклад, у теорії пружності при моделюванні прогину пластини круглої форми, закріпленої на межі. Отже, актуальною є розробка чисельних методів аналізу цієї задачі. До розв'язання задачі (1), (2) застосуємо метод двобічних наближень на основі використання функції Гріна, який полягає у заміні крайової задачі еквівалентним інтегральним рівнянням Гаммерштейна та знаходженні його чисельного розв'язку методами нелінійного аналізу у напівупорядкованих банахових просторах.

Якщо $\Omega = \{\mathbf{x} = (x_1, x_2) : x_1^2 + x_2^2 < 1\}$, то функція Гріна крайової задачі (1), (2) має вигляд [2]:

$$G(\mathbf{x}, \mathbf{s}) = \frac{1}{8\pi} |\mathbf{x} - \mathbf{s}|^2 \int_1^{\frac{|\mathbf{x}|\mathbf{s} - \frac{\mathbf{x}}{|\mathbf{x}|}}{|\mathbf{x} - \mathbf{s}|}} \frac{v^2 - 1}{v} dv, \quad (3)$$

де $|\mathbf{a}| = \sqrt{a_1^2 + a_2^2}$. Відомо [2], що $G(\mathbf{x}, \mathbf{s}) \geq 0$, якщо $\mathbf{x}, \mathbf{s} \in \bar{\Omega}$, $\mathbf{x} \neq \mathbf{s}$.

Тоді крайова задача (1), (2) еквівалентна інтегральному рівнянню Гаммерштейна

$$u(\mathbf{x}) = \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \mathbf{s}) f(\mathbf{s}, u(\mathbf{s})) d\mathbf{s}. \quad (4)$$

Рівняння (4) розглядатимемо у банаховому просторі $C(\bar{\Omega})$ функцій, неперервних у $\bar{\Omega}$. У просторі $C(\bar{\Omega})$ виділимо конус $\mathcal{K}_+ = \{u \in C(\bar{\Omega}) : u(\mathbf{x}) \geq 0, \mathbf{x} \in \bar{\Omega}\}$ невід'ємних функцій [3].

Нехай функція $f(\mathbf{x}, u)$ дозволяє діагональне подання $\hat{f}(\mathbf{x}, v, w)$, тобто $f(\mathbf{x}, u) = \hat{f}(\mathbf{x}, u, u)$. Тоді нелінійний оператор T , що діє у $\mathcal{K}_+$ за правилом, яке визначається правою частиною рівняння (4), буде гетеротонним. Для цього оператора виділимо у конусі $\mathcal{K}_+$ сильно інваріантний конусний відрізок $\langle v_0, w_0 \rangle$ умовами: для всіх $\mathbf{x} \in \bar{\Omega}$:

$$\int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \mathbf{s}) \hat{f}(\mathbf{s}, v_0(\mathbf{s}), w_0(\mathbf{s})) d\mathbf{s} \geq v_0(\mathbf{x}), \quad \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \mathbf{s}) \hat{f}(\mathbf{s}, w_0(\mathbf{s}), v_0(\mathbf{s})) d\mathbf{s} \leq w_0(\mathbf{x}).$$

Сформулюємо далі ітераційний процес за схемою:

$$v^{(k+1)}(\mathbf{x}) = \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \mathbf{s}) \hat{f}(\mathbf{s}, v^{(k)}(\mathbf{s}), w^{(k)}(\mathbf{s})) d\mathbf{s}, \quad k = 1, 2, \dots, \quad (5)$$

$$w^{(k+1)}(\mathbf{x}) = \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \mathbf{s}) \hat{f}(\mathbf{s}, w^{(k)}(\mathbf{s}), v^{(k)}(\mathbf{s})) d\mathbf{s}, \quad k = 1, 2, \dots, \quad (6)$$

$$v^{(0)}(\mathbf{x}) = v_0(\mathbf{x}), \quad w^{(0)}(\mathbf{x}) = w_0(\mathbf{x}). \quad (7)$$

Нехай існує таке число $L > 0$, що функція $\hat{f}(\mathbf{x}, v, w)$ для всіх v, w таких, що $0 < v, w < M_0$, де $M_0 = \max_{\mathbf{x} \in \bar{\Omega}} w_0(\mathbf{x})$, і для всіх $\mathbf{x} \in \bar{\Omega}$ задовольняє нерівність

$$|\hat{f}(\mathbf{x}, w, v) - \hat{f}(\mathbf{x}, v, w)| < L|w - v|. \quad \text{Якщо } \gamma = LM < 1, \text{ де } M = \max_{\mathbf{x} \in \bar{\Omega}} \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \mathbf{s}) d\mathbf{s}, \text{ то}$$

ітераційний процес (5) – (7) збігається у нормі простору $C(\bar{\Omega})$ до єдиного на $\langle v_0, w_0 \rangle$ неперервного додатного розв'язку $u^*(\mathbf{x})$ крайової задачі (1), (2), причому має місце наступний ланцюг нерівностей:

$$v_0 = v^{(0)} \leq v^{(1)} \leq \dots \leq v^{(k)} \leq \dots \leq u^* \leq \dots \leq w^{(k)} \leq \dots \leq w^{(1)} \leq w^{(0)} = w_0. \quad (8)$$

Ланцюг нерівностей (8) характеризує ітераційний процес (5) – (7) як метод двобічних наближень.

Список використаних джерел:

1. Grunau, H.-C. (2009). Nonlinear questions in clamped plate models. *Milan Journal of Mathematics*, 77, 171-204. <https://doi.org/10.1007/s00032-009-0096-5>
2. Boggio, T. (1905). Sulle funzioni di Green d'ordine m. *Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo*, 20, 97-135. <https://doi.org/10.1007/BF03014033>
3. Опойцев, В. И., & Хуродзе, Т. А. (1984). *Нелинейные операторы в пространствах с конусом*. Изд-во Тбилис. ун-та.

УДК 004.852:517.938

РЕКОМЕНДАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ЇХ ПОБУДУВАННЯ

Сергєєв М.О.

Науковий керівник – д-р техн. наук, проф. Кіріченко Л.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38 (057) 702-14-36, email: mykyta.serhieiev@nure.ua

Collaborative filtering is a technique used by recommender systems. It is a method of making automatic predictions (filtering) about the interests of a user by collecting preferences or taste information from many users (collaborating).

Рекомендаційні системи – програми, які намагаються передбачити, які об'єкти (фільми, музика, книги, новини, веб-сайти) будуть цікаві користувачеві, на основі певної інформації про його профіль в соціальних мережах. Основне завдання системи рекомендації – маючи дані про об'єкти та користувачів, одержати список об'єктів, найбільш цікавих для конкретного користувача. Залежно від того, які дані використовуються для розрахунку рекомендацій, системи поділяються на три великі класи:

Усього існує 3 підходи до створення систем рекомендацій: підхід, заснований на аналізі контенту (content-based), алгоритм колаборативної фільтрації та гібридний підхід. Колаборативну фільтрацію можна здійснювати трьома способами: фільтрація на основі сусідства, на основі моделі та гібридним методом (рис. 1)

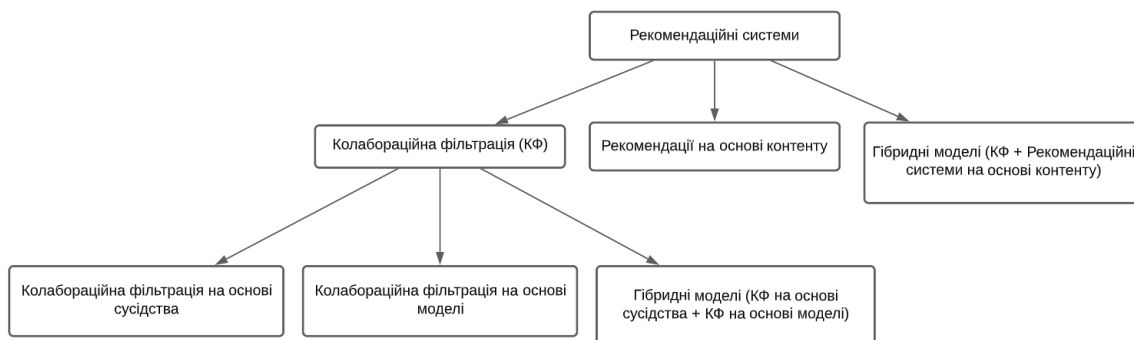


Рисунок 1 – Типи колаборативної фільтрації

Спочатку у нас є лише дані про користувачів та об'єкти. Їх можна представити у вигляді двох матриць: U – матриця користувачів та G – матриця об'єктів (товарів, фільмів, книг тощо).

За цими даними будується матриця «користувач-об'єкт» (матриця оцінок користувачів) R розміру $|U| \times |G|$. Оскільки всі користувачі не можуть придбати всі товари, у матриці утворюються порожні осередки (рис. 2). Завдання полягає у прогнозуванні оцінки користувача, тобто у заповненні порожніх осередків у матриці, а потім, на основі цієї оцінки, у створенні

певної рекомендації для користувача.

Рисунок 2 – Приклад матриці «користувач-об'єкт»

Метод колаборативної фільтрації рекомендує об'єкти, не маючи жодного уявлення про те, що вони являють собою. Однак алгоритм не дає змоги рекомендувати нові об'єкти. Проблему рекомендації нових об'єктів вирішують методи аналізу вмісту. Але для їхньої гарної роботи потрібні текстові дані про об'єкти.

Якщо інформації про користувачів, об'єкти та оцінки недостатньо для цих алгоритмів, застосовуються методи, які використовують бази знань. У цьому інтерактивно виявляються вимоги користувача. Чим більше доступних даних, тим більш точну систему рекомендації можна розробити, використовуючи різні гібридні методи рекомендації.

Список використаних джерел:

1. Гомзин, А.Г. (2012). *Системы рекомендаций: обзор современных подходов*. Испрас.
2. Воронцов, К.В. (2011). *Методы коллаборативной фильтрации и тематического моделирования*.
3. Melville, P., & Sindhvani, V. (2010). Recommender systems. In *Encyclopedia of Machine Learning*, 9.
4. Turdakov, D. (2007). *Recommender system based on user-generated content*. SYRCODIS.
5. Коршунов, А.В. (2011). Извлечение ключевых терминов из сообщений микроблогов с помощью Википедии. *Труды Института системного программирования РАН*, 20, 283-296.

УДК 004.9:621.397.43

РОЗПІЗНАВАННЯ КРАДІЖОК У МАГАЗИНАХ НА ЗАПИСАХ КАМЕР ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМБІНОВАНОЇ МОДЕЛІ CNN-RNN

Сидоренко Б.Ю.

Науковий керівник – д-р техн. наук, проф. Кіріченко Л.О.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38 (057) 702-14-36, email: bohdan.syndorenko1@nure.ua

The recognition of human activities through surveillance has numerous applications across various fields. This article presents a proposed approach to identify shoplifting in camera-recorded video data using a neural classifier that combines two neural networks, specifically, convolutional and recurrent networks. The hybrid architecture consists of two parallel streams: initial and processed video fragments (histogram of oriented gradients and optical flow). The convolutional network extracts features from each frame of the video fragment, while the recurrent network processes the temporal information from sequences of frames as features to classify the activity.

Розпізнавання дій людини є важливим завданням сучасного відеоспостереження. З роками кількість відеокамер у громадських місцях зростає, тому це ускладнює завдання відеоспостереження. Мережі камер відеоспостереження генерують і передають величезні обсяги даних, що робить автоматичну обробку всієї інформації надзвичайно важливою.

Обробка відеоспостереження є важливим інструментом для виявлення крадіжок у магазинах, оскільки автоматичний аналіз великих обсягів відеоданих може забезпечити виявлення незаконних дій у режимі реального часу. Для цього використовуються різні алгоритми машинного навчання. Такі моделі навчаються на всеохоплюючих наборах даних про крадіжки в магазинах, що дозволяє їм ідентифікувати моделі злодіїв і класифікувати їхні дії на основі певних ознак.

Згорткові нейронні мережі є потужним інструментом для класифікації зображень і значно вдосконалили обробку відео за останні роки. Однак слід зазначити, що класифікація відео вимагає врахування як просторових, так і часових характеристик об'єктів.

У нашому дослідженні використовується набір даних UCF-Crime [1] як вхідні дані для наших експериментів. Набір даних включає 1900 відео різної тривалості, що становить 128 годин реальних кримінальних дій, таких як насильство, арешт, підпал, напад, дорожньо-транспортні пригоди, крадіжка зі зломом, вибух, бійка, пограбування, стрілянина, крадіжка в магазині та вандалізм. Зокрема, набір даних включає 28 відеозаписів з роздрібного магазину та камер відеоспостереження, які містять крадіжки в магазині.

Для навчання нашої нейронної мережі ми штучно збільшили кількість

екземплярів, розділивши кожне відео на 32 фрагменти тривалістю 3 секунди. Отриманий набір даних із 896 фрагментів відео був розділений на два класи: 155 відео з крадіжками в магазинах і 741 відео без крадіжок у магазинах. Оскільки відеозапис містить інформацію про час і простір, при аналізі відеофрагментів необхідно враховувати обидва види інформації. Ми вважаємо, що згорткові та рекурентні нейронні мережі є найкращими архітектурами для виконання цього завдання. Тому ми вибрали комбінацію цих мереж для класифікації відео.

В якості вхідних даних використовувалися маркіровані відеокліпи однакової тривалості. Кожна послідовність кадрів була позначена як «0» (не крадіжка) або «1» (крадіжка). Позначений набір кадрових послідовностей використовувався як навчальна вибірка. Характеристики були отримані для кожного об'єкта за допомогою гібридної нейронної мережі для навчання класифікатора, який потім використовувався для класифікації нових об'єктів. Для підвищення якості моделі ми вирішили застосувати попередню обробку фрагментів відео. А саме, ми використовували комбінацію гістограм орієнтованих градієнтів і оптичних потоків. Швидкий і багатообіцяючий спосіб представлення зображень для класифікації – це використання функцій HOG. Ці функції широко використовувалися для ідентифікації пішоходів і залишаються надійною технікою виділення ознак [2]. Позірний рух об'єктів у візуальній сцені, викликаний рухом камери, об'єкта або обох, можна описати як оптичний потік [3].

Це дослідження мало на меті розробити класифікатор для ідентифікації випадків крадіжок у магазинах у відеоданих з камер спостереження. Для досягнення поставленої мети було запропоновано гібридний класифікатор нейронних мереж, що включає згорткові та рекурентні нейронні мережі. Класифікатор продемонстрував високу точність класифікації 94%, що на кілька відсотків вище, ніж точність моделей, представлених у попередніх відповідних дослідженнях. Крім того, наш навчений класифікатор демонструє високу продуктивність, що дозволяє використовувати його в програмах реального часу. Подальші дослідження будуть зосереджені на практичній реалізації запропонованої моделі в торгових центрах.

Список використаних джерел:

1. *Papers with code – UCF-crime dataset*. URL <https://paperswithcode.com/dataset/ucf-crime>.
2. Torrione, P. A., Morton, K. D., Sakaguchi, R., & Collins, L. M. *Histograms of oriented gradients for landmine detection in ground-penetrating radar data*. 52 (3):1539–1550. ISSN 1558-0644. doi:10.1109/TGRS.2013.2252016.
3. Shah, S. T. H. & Xuezhai, X. *Traditional and modern strategies for optical flow: an investigation*. 3 (3) : 289. doi:10.1007/s42452-021-04227-x

УДК 004.94:[531.7:53.08]

**ПІДХІД ДО ДОСЛІДЖЕНЬ КОНТАКТНИХ НАПРУЖЕНЬ
У ЗЧЕПЛЕННІ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ МЕТОДОМ
КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

Сковородкіна Ю.М.

Науковий керівник – д-р техн. наук, ст. наук. співр. Складов В.В.
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, каф. ІТ
м. Івано-Франківськ, Україна
тел. +38(093) 740-00-25, email: julia_skov@ukr.net

The analysis of strength on contact stresses using the finite element method is carried out. The introduction into the practice of engineering design of methods and tools for automated design and analysis is considered. The finite element method is considered, which allows detailed calculation of stresses and deformations in equipment under static and dynamic influences. The objects of a complex geometric shape are calculated. The paper considers an approach to the research of contact stresses in the engagement of a cylindrical transmission by the method of computer simulation.

Розвиток комп'ютерної техніки та обчислювальних методів відкрив великі перспективи використання сучасних інженерних програм при вдосконаленні та побудові наукоємних систем та комплексів. В роботі розглядається підхід до досліджень контактних напружень в зчепленні циліндричної передачі методом з комп'ютерного моделювання.

Одним з критеріїв працездатності зубчатих передач є забезпечення контактної стійкості зубців. Збільшення навантажень та швидкостей обертання в зчепленнях привели до розуміння необхідності розробки методів підвищення навантажувальної здатності, та відповідно ресурсу зубчатих передач.

Вивчаючи навантаження та швидкість обертання в зчепленні розглянуто застосування програмного комплексу з використанням методу скінчених елементів (МСЕ) для розрахунку діючих напружень в контактах коліс.

В якості практичного застосування, реалізований метод дозволяє вже на етапі проектування формувати розрахункові схеми з урахуванням умов експлуатації, істотно скорочувати витрати на отримання проектних рішень, і, в кінцевому підсумку, скоротити час на проектування передачі з заданими показниками якості.

Зчеплення зубчатих коліс є джерелом збудження динамічних навантажень і високочастотних вібрацій у всьому механізмі.

Характеристики міцності зубців при виготовленні визначають їх здатність чинити опір впливу зовнішніх сил, не руйнуватися.

Становить інтерес застосування програмного комплексу з використанням МСЕ для розрахунку діючих напружень в контактах коліс [1].

Програма, яка використовує метод скінчених елементів, широко відо-

ма і користується популярністю серед інженерів, що займаються вирішенням питань впливу напружень при зубчатій передачі.

Метод кінцевих елементів є потужним, надійним і сучасним засобом дослідження поведінки конструкцій в умовах різноманітних впливів [2]. Засоби МСЕ дозволяють проводити розрахунки статичного та динамічного напружено-деформованого стану конструкцій. Це дозволяє вирішити широкі коло актуальних проблем трибології технологічних, енергетичних машин. Суть методу полягає в поданні об'єкта з нескінченним числом ступенів свободи, сукупністю окремих кінцевих елементів, пов'язаних між собою в вузлових точках з кінцевим числом ступенів свободи. При відомих фізико-механічних характеристиках об'єкта визначається взаємозв'язок між невідомими вузловими зусиллями, переміщеннями і впливами. В результаті розрахунків зводиться до вирішення системи з кінцевим числом лінійних алгебраїчних рівнянь.

Первинними змінними, які обчислюються в ході конструкційного аналізу в МСЕ, є вузлові переміщення. Виходячи з обчислених переміщень у вузлах сітки, визначаються інші важливі параметри: переміщення конструкції, напруги, деформація, реакції та інше [3].

Скінченно-елементна сітка будувалась таким чином, щоб забезпечити по можливості більшу дискретизацію в зонах контакту та в зонах основи зубців. Це викликано тим, що форма та розмір кінцевих елементів значно впливають на точність рішення. Сітка збудована трансляцією гексагональних елементів, що дозволяє отримати регулярну сітку та добитися таким чином кращої збіжності розрахункових результатів [4].

Програмні засоби геометричного моделювання МСЕ дозволяють досить просто побудувати евольвенту зуба циліндричної передачі, використовуючи команди побудови ключових точок, сплайна, дзеркального відображення і копіювання.

Список використаних джерел:

1. Thompson, M.K., & Thompson, J.M. (2017). *ANSYS Mechanical APDL for Finite Element Analysis*. Elsevier Science.
2. Crawford, J. (2003). Guidelines for good Analysis: A step-by-step process for obtaining meaningful results. *ANSYS Solutions*, 69–74.
3. Moaveni, S. (2007). *Finite Element Analysis: Theory and application with ANSYS*. Prentice Hall.
4. <https://www.ansys.com/academic>

МЕТОДИ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ЧАСОВИХ РЯДІВ ТРЕНДУ ЗА ДЕТЕКТУВАННЯ ТРЕНДУ

Слепцов О.М.

Науковий керівник – д-р техн. наук, проф. Кіріченко Л.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38 (057) 702-14-36, email: oleksandr.slieptsov@nure.ua

The article discusses the utilization of machine learning techniques for clustering time series data based on predetermined criteria, enabling the identification of trend components. Various clustering methods, including k-means, are employed in the article. Additionally, the article explores multiple criteria for trend detection in short time series, which are often characterized by noise. Experimental findings demonstrate that using these criteria as features yields high clustering accuracy, as evidenced by quantitative and qualitative metrics. However, the results are contingent upon several factors, such as the length of the time series, the type of trend, and the choice of clustering method.

Визначення тренду в часових рядах є важливим інструментом аналізу в різних галузях, таких як фінансова аналітика, аналіз даних, виробничий аналіз та прогнозування. Використання методів машинного навчання для кластеризації часових рядів є ефективним підходом для аналізу великих обсягів часових даних, який дозволяє автоматично групувати ряди на основі їх подібності, виявляти причинно-наслідкові зв'язки та передбачати майбутні зміни.

Критерій тренду використовується для визначення наявності та напрямку тренду в часових рядах, що дозволяє аналізувати динаміку змін в часі та робити висновки про тенденції та зміни в досліджуваних даних.

Один з підходів до кластеризації часових рядів на основі ознак наявності або відсутності тренду - це використання методів машинного навчання, таких як метод кластеризації k-середніх або ієрархічна кластеризація. Кластеризація є процесом групування схожих об'єктів разом в одні кластери на основі їхніх спільних властивостей. В даному випадку, часові ряди розглядаються як об'єкти, і їхні ознаки на основі наявності або відсутності тренду використовуються для кластеризації.

Проте, визначення тренду в коротких часових рядах може бути складним завданням. Короткі часові ряди можуть бути зашумленими, тобто містити велику кількість випадкових відхилень від основного тренду, і водночас мати обмежену кількість даних для виявлення довгострокових тенденцій. Це може ускладнити процес виявлення тренду і точність результатів.

Тому, одним з важливих аспектів в кластеризації часових рядів є формування відповідних ознак, які дозволяють детектувати тренд. Це можуть бути різноманітні ознаки, такі як рухомі середні, експоненційно зважені

середні, відсоткові зміни, зміни періодичності, амплітудні характеристики та інші. Вибір та використання правильних ознак може визначити ефективність кластеризації та здатність виявлення тренду в коротких часових рядах.

У дослідженні були розглянуті різні підходи для виявлення тренду в коротких часових рядах, складаючихся з від 8 до 30 значень. Використані методи включали критерій серій, критерій інверсій, критерій Фостера-Стюарта, критерій Фішера та критерій на основі дискретного вейвлет-перетворення. Кожен з цих методів надавав статистику, яка вказувала на наявність тренду.

Для проведення експериментів використовувалися модельні часові ряди, що складалися з суми різних типів трендів (лінійних, поліноміальних, експоненційних і т. д.) та випадкових значень величин (нормальних, рівномірних і т. д.). Кожен часовий ряд був представлений у векторному вигляді, а його значення використовувалися для кластеризації.

Отримані висновки підтверджують високу ефективність використання описаних критеріїв як ознак для кластеризації коротких часових рядів. Це підтверджується як кількісними, так і якісними показниками, які свідчать про чітку розподільність кластерів та зрозумілість отриманих результатів. Проте, слід врахувати, що результати кластеризації можуть бути вплинуті кількома факторами, такими як довжина часового ряду, тип тренду та відношення сигнал/шум. Ці фактори мають бути враховані при оцінці достовірності результатів та їхній інтерпретації.

Список використаних джерел:

1. Aghabozorgi, S., Shirkhorshidi, A.S., & Wah, T.J. (2015). Time-series clustering. *A Decade Review Information systems*, 53, 16-38
2. J Aggarwal, C., & Reddy, C. (2013). *Data Clustering: Algorithms and Applications*. CRC Press.
3. Liao, T.W. (2005). Clustering of time series data – a survey. *Pattern Recognition*, 38 (11), 1857-1874.
4. Cowan, G. (1998). *Statistical Data Analysis*. Clarendon Press.

ЗОНУВАННЯ ВОДОПРОВІДНИХ МЕРЕЖ

Спичак П.О.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Матвієнко О.І.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38(095) 056-16-94, email polina.spychak@nure.ua

This work is devoted to the optimization of the structure of the water supply network by means of zoning. The task of optimal zoning of water supply networks consists of two sub-tasks: selection of isolated zones of nodes with excess pressure exceeding the specified value in the water supply network; calculation of the parameters of the pressure regulators installed at the entrances to the selected zones. A method based on the width search method is proposed for zone selection. To calculate the parameters of pressure regulators using the Newton and Nelder-Mead method, the deterministic equivalent of the stochastic model of the quasi-stationary modes of operation of the water supply network was solved.

Якщо водопровідна мережа містить ділянки водопроводу із значною різницею геодезичних відміток або різноповерхову забудову районів міст, то виникає значна різниця між вільними напорами води, яких потребують різні користувачі. Збільшення надлишкових напорів у вузлах водопровідної мережі призводить до збільшення витоків води та збільшення витрат електроенергії насосними агрегатами. Щоб уникнути цього, при проектуванні таких мереж може застосовуватися зонування.

Реалізація зонування відбувається за допомогою підключення в систему водопостачання додаткових насосних станцій, які працюють на виділені зони, або шляхом проведення додаткових магістральних трубопроводів, або встановлення резервуарів чистої води. Ці заходи потребують значних матеріальних витрат. Більш бюджетний підхід до зонування водопровідних мереж пов'язаний з використанням регуляторів тиску великих діаметрів, що мають дистанційне керування. Застосування регуляторів тиску дозволяє істотно знизити витрати на зонування водопровідних мереж, знизити надлишковий напір у вузлах водопровідних мереж, і, відповідно, втрати води у вигляді витоків, а також знизити витрати електроенергії на насосних станціях [1, 2].

В цій роботі пропонується застосування методу зонування водопровідних мереж на основі стохастичної моделі квазістаціонарних режимів в системі подачі та розподілу води. Змістовна постановка задачі зонування водопровідної мережі: ті вузли водопровідної мережі, в яких надлишкові напори значно перевищують задане порогове значення, треба згрупувати у пов'язані ділянки (зони) і передбачити встановлення регуляторів тиску на входах в зони, а також оцінити параметри кожного регулятора.

Математичну постановку задачі зонування водопровідної мережі представимо у виді:

$$M \sum_{\omega} \sum_{i=1}^{v-1} (h_i^c(\omega) - h_i^+)^2 \rightarrow \min_{G_i \in G}, \quad (1)$$

де G_i – підграф (i -а зона) графу G водопровідної мережі; $h_i^c(\omega)$ – вільний напір в i -му вузлі; h_i^+ – мінімальний допустимий напір в i -му вузлі; v – кількість вершин графу. Область допустимих розв’язків Ω представляє собою систему рівнянь стохастичної моделі квазістаціонарних режимів роботи водопровідних мереж [3].

Побудова детермінованого еквіваленту задачі (1) відбувається шляхом заміни випадкових величин їх математичними сподіваннями. Метод розв’язання задачі оптимального зонування водопровідної мережі: розв’язання детермінованого еквіваленту задачі (1) відбувається за кілька кроків:

1. Виділення зон. Усі вузли виділених зон повинні складати зв’язану компоненту та математичне сподівання надлишкових напорів у кожному з вузлів повинне перевищувати задане значення.

2. Визначення параметрів регуляторів тиску для кожної зони. Кожен регулятор тиску характеризується наступним набором параметрів: діапазонами зміни напору на вході та виході регулятора, діапазонами зміни витрат через регулятор. Для визначення параметрів регуляторів тиску для кожної виділеної зони виділяється підграф водопровідної мережі і розв’язується задача оптимального розподілу навантаження між регуляторами тиску, встановленими на входах в зону, тобто задача (1). Детермінований еквівалент цієї задачі розв’язується з використанням методів Ньютона та Нелдера-Міда.

Обчислювальний експеримент для водопровідної мережі заданої структури показав, що в результаті встановлення регуляторів тиску на входах у виділені зони можливо знизити математичне сподівання сумарного надлишкового напору у мережі на величину, більшу 20%.

Список використаних джерел:

1. Ткачук, О. (2008). *Удосконалення систем подачі та розподілення води населених пунктів*. НУВГП.
2. Perelman, L.S., Allen, M., Preis, A., Iqbal, M., & Whittle, A. J. (2015). Automated Sub-Zoning of Water Distribution Systems. *Environmental Modelling & Software*, 65, 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.11.025>.
3. Тевяшев, А.Д., & Матвиенко, О.И. (2014). Стохастическая модель и метод зонирования водопроводных сетей. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 1 (67), 17–24.

УДК 004.912

РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ НАУКОВИХ ТЕКСТІВ

Стецун К.С.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Гибкіна Н.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ,

м. Харків, Україна

тел. +38(067) 731-49-09, email: katernyna.stetsun@nure.ua

This study delves into the formal and substantive aspects of the problem of thematic modeling of scientific texts through the division of probability distribution mixtures. The key objective is to identify the subject of each document from a collection of scientific documents. The collection is comprised of textual scientific documents sourced from a variety of places. The simulation will yield a set of documents, with each marked by multiple topics from a general list. These topics will each be associated with a set of keywords that best represent them.

Враховуючи постійне збільшення потоків даних у мережі Інтернет, зокрема у вигляді текстової інформації різноманітної направленості (як то тематичні статті на веб-ресурсах, пости та відгуки у соціальних мережах, художні твори за жанрами, наукові роботи у різних галузях знань тощо), можна стверджувати, що задача пошуку, аналізу та систематизації інформації за заданою тематикою ставатиме все актуальнішою, а її реалізація буде пов'язана з все більшими труднощами через збільшення обсягів даних, які потрібно для цього обробляти. Перспективними для розв'язання подібних задач можна вважати математичні методи, зокрема, методи теорії ймовірностей, математичної статистики та статистичного аналізу, оскільки вони, з одного боку, забезпечують наукову обґрунтованість результатів, а, з іншого, програмні реалізації таких методів дозволяють зручно обробляти великі набори даних.

Однією з найважливіших задач у цьому напрямку є задача кластеризації текстових документів, а саме, визначення тематичної спрямованості окремих документів колекції. Зазначимо, що на відміну від задачі класифікації, кількість тематичних напрямків та їх назви є невідомими, отже, використання методів кластеризації може бути корисним, наприклад, під час рубрикації текстів з цифрового сховища інформації тощо.

Одним з підходів до розв'язання задачі кластеризації документів може стати метод тематичного моделювання [1]. Перевагою цього методу є те, що тематичне моделювання дозволяє не лише групувати документи колекції за тематиками, а також визначає направленість кожної з виділених тем у вигляді ключових слів.

Отже, розглянемо ймовірнісну тематичну модель, де окремий документ колекції x подається вектором Bag of Words: $x \in \mathbb{N}^V$, що має поліноміальний розподіл ймовірностей з певними параметрами, де V – розмір від-

повідного розглядуваній колекції документів словника. Виходячи з припущення, що документи колекції належать до K різних тем і кожній з тем відповідає свій поліноміальний розподіл $p_k(x)$, $k = 1, \dots, K$, можна записати загальний розподіл документів у колекції як суміш K поліноміальних розподілів окремих тем у вигляді $p(x) = \sum_{k=1}^K \pi_k p_k(x)$, де π_k – вага k -го розподілу, $\pi_k \geq 0$ для всіх k та $\sum_{k=1}^K \pi_k = 1$.

За таких умов документ x_i , $i = 1, \dots, M$ (де M – обсяг колекції) може бути поданий як вектор у кодуванні Bag of Words з параметрами $n_i \in \mathbb{N}$ (кількість слів) та $\beta_k \in [0, 1]^V$ (вектор ймовірностей k -го поліноміального розподілу). Належність документа до тієї чи іншої тематики визначається прихованою змінною t , що у даній задачі має сенс індикатора компонент суміші $t \in \{0, 1\}^K \sim \text{Polynomial}(1, \pi)$.

Задача кластеризації документів за темами полягає у знаходженні за даною колекцією документів векторів β_k , відповідних окремим розподілам суміші, $k = 1, \dots, K$, та вектора π , який визначає розподіл компонентів у суміші. Оптимальні значення цих параметрів, які найточніше описують досліджувану колекцію, можуть бути визначені як розв’язок задачі максимізації логарифмічної функції правдоподібності:

$$L(\pi, B) = \sum_{i=1}^M \log p(x_i; \pi, B) \rightarrow \max_{\pi \in \Theta_1, B \in \Theta_2}, \quad (1)$$

$$\text{де } \Theta_1 = \left\{ \pi \in \mathbb{R}_+^K : \sum_{i=1}^K \pi_i = 1 \right\}, \Theta_2 = \left\{ B \in \mathbb{R}_+^{V \times K} : \sum_{i=1}^M \beta_{ik} = 1, k \in \{1, \dots, K\} \right\}. \quad (2)$$

Задача кластеризації розв’язана на текстах наукової спрямованості. Підготовчий етап полягає у передобробці текстів, зокрема, видаленні гіперпосилань, дат, лематизації тощо. На основі оброблених текстів складаються їх моделі Bag of Words, які є вхідною інформацією у задачі (1), (2). Розв’язання задачі (1), (2) через її складність реалізується за допомогою ЕМалгоритму [2]. Під час розв’язання поставленої задачі використані бібліотеки Python, такі як NumPy, Pandas, CountVectorizer та Matplotlib/wordcloud.

Список використаних джерел:

1. Vorontsov, K.V., & Potapenko A.A. (2014). Additive regularization of topic models. *Machine Learning, Speial Issue on Data Analysis and Intelligent Optimization*, 303–323.
2. Стецун К., Гибкіна Н., & Шпакович М. (2022). Розв’язування задачі тематичного моделювання наукових текстів шляхом розділення сумішей ймовірнісних розподілів. *Матеріали статей Міжнар. наук.-практ. конф. «Інформаційні технології та комп’ютерне моделювання»*, 74-76.

БАГАТОЕТАПНА ТРАНСПОРТНА ЗАДАЧА ЯК МОДЕЛЬ ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ

Стрекозов А.Д.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Наумейко І.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38(066) 785-18-09, email: anton.strekozov@nure.ua

The object of research is a multi-stage transport task. The purpose is to carry out a systematic analysis of the problem of constructing a mathematical model of a multi-stage transport problem, the choice of methods for its solution and analysis of the results of the study. The research method is the consistent application of the Hungarian method for the solution of the transport problem. As a result, a systematic analysis of the problem of constructing the model and solving a multi-stage transport problem was conducted.

Під назвою «транспортна задача» поєднано широке коло задач з єдиною математичною моделлю [1]. Дані задачі відносяться до класу задач лінійного програмування і легко можуть бути розв'язані симплекс-методом. Проте матриця системи обмежень настільки своєрідна, що для її розв'язання транспортної задачі розробили спеціальні, більш швидкі методи [2]. Ці методи скінченні, як і симплекс-метод, та дозволяють знайти опорний розв'язок, а далі, покращуючи його, отримати оптимальний розв'язок.

Теоретично може показатися що задача проста [3]. З якогось боку це так і є. Дійсно, розрахунки не важкі та рідко вимагають великої програмної обробки [4]. Проте, якщо ми розглянемо реальну логістичну проблему то можемо побачити, що звичайна транспортна задача не реалізованою у житті. Коли формується маршрут у своїй повсякденності ми не враховуємо вимушені зупинки та розтрати на них. Примітивні світлофори забирають час та бензин у машини, отже, і гроші у водія. Тобто, щоб скористатися транспортною задачею у житті її треба модифікувати з урахуванням її багатоетапності.

Це можна зробити на базі такого розділу математичного програмування як динамічне програмування. Тоді треба модернізувати звичайну транспортна задача у багатоетапну транспортну задачу, та розглядати її іншими методами.

Коли ми розв'язуємо таку задачу, треба розуміти декілька речей:

а) суми мінімальних відстаней між зупинками не завжди дадуть оптимальний розв'язок, тому слід розглядати маршрут у цілому;

б) усі транспортні задачі поділяються за двома критеріями:

1) економити час;

2) економити гроші.

Обрати головний пріоритет для себе, це найважливіше у транспортній задачі, тому що методи розв'язання нерідко можуть дати не одну а відразу декілька відповідей.

Ця робота є першою частиною кваліфікаційної роботи магістра, метою якої є математична постановка та вибір алгоритму і розв'язання багатостадійної транспортної задачі, або доказ неможливості її розв'язання сучасними методами.

Об'єктом дослідження у роботі є транспортна система з джерелами, утримувачами та проміжними терміналами з заданої ємності.

Було проведено системний аналіз побудови багатостадійної транспортної задачі, з якого можна зробити висновки про нетривіальність побудованої моделі.

Також було проведено експеримент з можливості використання сучасних методів розв'язання транспортної задачі для розв'язання багатостадійної транспортної задачі.

У результаті даного експерименту було показана неможливість розв'язання багатостадійної транспортної задачі сучасними методами розв'язання транспортної задачі.

З експерименту можна зробити декілька основних висновків:

- 1) класичні методи розв'язання транспортної задачі не дають оптимальний розв'язок для багатостадійної транспортної задачі;
- 2) сума оптимальних шляхів на кожному етапі багатостадійної транспортної задачі не дають оптимальний шлях в цілому;
- 3) доведена необхідність у модифікуванні класичних алгоритмів пошуку оптимальних шляхів.

Результатом даної роботи є постановка задачі дослідження для кваліфікаційної роботи магістра, яка може стати початком для розробки нових алгоритмів, а також вивчення студентами у вищих навчальних закладах у таких курсах, як «Теорія управління», «Методи оптимізації», «Логістика», «Системний аналіз» тощо.

Список використаних джерел:

1. Михалевич, В.С., Трубин, В.А., & Шор, Н.З. (1986). *Оптимизационные задачи производственно-транспортного планирования: Модели, методы, алгоритмы*. Наука.
2. Васильева, Е.М., Левит, Б.Ю., & Лившиц, В.Н. (1981). *Нелинейные транспортные задачи на сетях*. Финансы и статистика.
3. Гилл, Ф., Мюррей, У., & Райт, М. (1985). *Практическая оптимизация*. Мир.
4. Михалевич, В.С., Гупал, А.М., & Норкин, В.И. (1987). *Методы невыпуклой оптимизации*. Наука.

ПОБУДОВА КРЕАТИВНИХ ЗРАЗКІВ У ГАЛУЗІ МОДИ ЗА ДОПОМОГОЮ GAN МЕРЕЖ

Титечко П.В.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Єсілевський В.С.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ,
м. Харків, Україна

тел. +38(067) 499-91-90, email: pavlo.tytechko@nure.ua

This thesis outlines the usage of GAN networks as a tool to generate creative fashion samples that can be used in a variety of applications, such as designing new fabric patterns or materials. By training a GAN on a dataset of existing fabric patterns, the generator can learn how to generate patterns that look similar to the ones in the training dataset, yet with some variations that make these new patterns unique. Besides uniqueness we are looking for possibility to generate creative content, the one which is aesthetically appealing and narrow infinite possibilities in the creative space. Suggested approach is based on experiments with loss function and noise vector generation.

Машинне навчання – це підгалузь штучного інтелекту, яка передбачає розробку моделей та алгоритмів, які дозволяють комп'ютерам навчатися та робити прогнози чи рішення на основі опрацьованих даних. Одним із напрямків машинного навчання є використання генеративних змагальних мереж (GAN). GAN - це тип архітектури нейронних мереж, який включає дві мережі: генератор і дискримінатор. Генератор вчиться створювати нові зразки даних, подібні до заданого набору даних, тоді як дискримінатор вчиться розрізняти реальні та згенеровані дані.

Розглянуто використання GAN мереж як інструменту для створення креативних модних зразків, які можна використовувати для розробки нових графічних шаблонів. Задача полягає у тому, щоб натренувати модель на деякій множині прикладів, і разом з цим дати їй певну свободу для створення нових результатів. Дана свобода розглядається більше з точки зору креативності, а не імітації тренувального набору даних. Навчаючи GAN на наборі даних існуючих шаблонів/візерунків, генератор може навчитися генерувати зображення, схожі на ті, що в навчальному наборі даних, але з деякими варіаціями, які роблять ці нові візерунки унікальними. Поряд з унікальністю, ми шукаємо можливість генерувати креативний контент, який є естетично привабливим і звужує безмежні можливості у творчому просторі.

Запропонований підхід базується на первинній статті [1] про GAN мережі, а також модифікації запропонованої у статті [2].

Модифікована цільова функція:

$$\min_G \max_D V(D, G) = \\ = E_{x, \hat{c} \sim p_{data}} [\log D_r(x) + \log D_c(c = \hat{c}|x)] +$$

$$+E_{z \sim p_z} \left[\log(1 - D_r(G(z))) - \sum_{k=1}^K \left(\frac{1}{K} \log(D_c(c_k | G(z))) + \left(1 - \frac{1}{K}\right) \log(1 - D_c(c_k | G(z))) \right) \right],$$

де z – це шумовий вектор із розподілу вибірки $p_g(z)$, x – реальне зображення, $\hat{c}$ – відповідна стильова мітка.

Використаний наступний робочий процес:

Повторити тренувальний цикл e кількість разів:

Створити m прикладів зображень $\{z(1), \dots, z(m)\}$ із розподілу вибірки $p_g(z)$.

Взяти m зображень $\{x(1), \dots, x(m)\}$ з навчального набору даних $p_{data}(x)$.

Обчислити функцію втрати, оновити дискримінатор, в сторону зростання стохастичного градієнта. Відбувається мінімізація:

$$-E_{x, \hat{c} \sim p_{data}} [\log D_r(x) + \log D_c(c = \hat{c} | x)]$$

для справжніх зображень, та

$$E_{z \sim p_z} [\log(1 - D_r(G(z)))]$$

для згенерованих зображень.

Обчислити функцію втрати, оновити генератор, в сторону зменшення стохастичний градієнта. Відбувається максимізація:

$$\log(1 - D_r(G(z))) - \sum_{k=1}^K \left(\frac{1}{K} \log(D_c(c_k | G(z))) + \left(1 - \frac{1}{K}\right) \log(1 - D_c(c_k | G(z))) \right).$$

Для стабільного процесу тренування вхідні дані було нормалізовано, щоб кожний набір мав нульове середнє та одиничну дисперсію. Також, вхідні зображення були покращені, вирізано зайві графічні дані. Фахівці у галузі моди перевірили набори згенерованих зображень/шаблонів і визначили їх естетичну валідність у даному контексті.

Список використаних джерел:

1. Elgammal A., Liu B., Elhoseiny M., & Mazzone M. (2017). *CAN: Creative Adversarial Networks Generating «Art» by Learning About Styles and Deviating from Style Norms*. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.07068>.
2. Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A., & Bengio, Y. (2014). *Generative adversarial nets*. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1406.2661>.

УДК 004.85:[336.77:336.717.5]

**ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ
ДЛЯ КРЕДИТНОГО СКОРІНГУ У ВИПАДКУ
КОРОТКОСТРОКОВИХ ПОЗИК**

Троян Н. А.

Науковий керівник – д-р техн. наук, проф. Кіріченко Л.О.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38 (057) 702-14-36, email: nadiia.troian@nure.ua

The goal of the study is to determine a client's default risk level in the short term. This indicator, in turn, determines what kinds of loans the client can get. In this work, two machine learning methods, logistic regression and random forest, were used to process credit-based data and determine a client's default risk level in the short term. Logistic regression and random forest methods were chosen due to their effectiveness in handling large datasets and identifying relevant variables. The results obtained from the research can be used in banks and financial companies to improve the decision-making process and the efficiency of lending.

Кредитний скоринг – це важлива задача для банків та фінансових установ, яка дозволяє оцінити ризики невиклати кредитів. Кредитний скоринг базується на аналізі історії кредитних операцій клієнта. До уваги беруться такі фактори, як терміни повернення попередніх позик, їх кількість, зміна місця роботи, наявність нечасно виконаних платежів, кількість утриманців тощо. За допомогою цих показників можна обчислити рівень ризику, який пов'язаний з кредитуванням конкретного клієнта. Чим вище рівень ризику ми отримуємо, тим нижче буде ймовірність отримання банком назад наданих в кредит коштів. Рівень ризику може слугувати для визначення відсоткової ставки, встановлення граничної суми кредиту, строку повернення і інших умов кредитування для кожного окремого взятого клієнта.

Видача кредитів завжди пов'язана з ризиками, наприклад, із ризиком неповернення кредиту одержувачем. Отже, метою кредитного скорингу у випадку короткострокових позик є забезпечення фінансової стабільності банку та підвищення ефективності роботи банку шляхом зменшення ризику невиклати позики. Якісна робота з обчисленням кредитного скорингу допомагає банку надавати послугу усім типам клієнтів із максимальною користю для бізнесу, але задача аналізу великого обсягу даних часто пов'язана із витратою великої кількості часу та людського ресурсу. Для ефективного вирішення завдання кредитного скорингу в теперішній час використовуються методи машинного навчання. Ці методи дають змогу автоматично витягувати інформацію з великих обсягів даних, а також будувати моделі, які здатні класифікувати позичальників на основі різних

критеріїв, такі як кредитна історія, доходи тощо. Завдяки машинному навчанню можливо знизити ризики, пов'язані з видачою кредитів, і збільшити точність прогнозування неповернення кредиту [1].

В роботі розглянуто набір даних для дослідження «Give me some credit» з платформи Kaggle [2]. В ньому містяться дані про загальний баланс за кредитними картками та особистими кредитними лініями, кількість разів, коли позичальник прострочував оплату, реальний місячний дохід, кількість відкритих позик, кількість утриманців в сім'ї та подібна інформація, на основі якої можна зробити висновок про репутацію особи в найближчому майбутньому. Для кредитного скорінгу застосовуються різноманітні алгоритми машинного навчання, такі як логістична регресія, дерева рішень, випадковий ліс, нейронні мережі та інші. Метод логістичної регресії широко використовується для вирішення задач класифікації, зокрема для кредитного скорінгу. Це обумовлено тим, що логістична регресія може працювати з багатофакторними даними, що дозволяє враховувати багато параметрів кредитної історії під час прийняття рішення щодо кредитування та його умов. Цей метод може бути добре відкалібрований та показувати точні результати, що дозволяє віднести кредитних клієнтів до категорій з різними рівнями ризику та встановити потрібні кредитні лінії для кожної категорії.

Метод «випадковий ліс» об'єднує багато дерев рішень та зводить до мінімуму ефект перенавчання, може обробляти велику кількість факторів та не потребує попередньої обробки даних, що робить його ефективним для аналізу великих обсягів даних. Автоматичне визначення важливості факторів та врахування їх у моделі дозволяє виявити взаємозв'язки між різними факторами та їх вплив на рішення про надання кредиту. Головним завданням роботи є побудова моделі машинного навчання двома методами: логістичної регресії та випадкового лісу; підбір параметрів для прогнозування ймовірності того, що клієнт зазнає фінансових труднощів протягом наступних двох років і не зможе виконати боргові зобов'язання перед позичальником.

Список використаних джерел:

1. Sousa, M. de M. & Figueiredo. Credit Analysis Using Data Mining: Application in the Case of a Credit Union. *Journal of Information Systems and Technology Management*, 11 (2), 379–396.
2. Give Me Some Credit: 2011 Competition Data
<https://www.kaggle.com/datasets/brycecf/give-me-some-credit-dataset>

РОЗРОБКА ГРИ З ТЕХНОЛОГІЄЮ BLOCKCHAIN

Удовенко Д.Ю.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Матвієнко О.І.

Харківський національний університет радіоелектроніки, кафедра ПМ,
м. Харків, Україна

тел. +38(063) 067-53-55, email: dmytro.udovenko@nure.ua

This work is devoted to the development of a game using blockchain technology, the purpose of which is to unlock the potential of this technology, its applicability in the field of computer games and, in particular, manager games. Considering the volume of the game, we assume that the result should be an MVP game, with the possibility of further support, adding new functionality and the possibility of finding investors. One of the main goals of the work is to unleash the full potential of the technology for ordinary users and video game players through integration into everyday products.

Тема роботи – розробка гри хокейного менеджера та симуляції хокейного матчу для неї. Симуляції вже досить давно використовуються у будь-якій грі-менеджер та з розвитком ігор цього жанру вдосконалювалась симуляція в кожній з них, бо постійно підіймалась планка якості. Проте в нашій грі є дві принципові різниці від усіх конкурентів на ринку:

- повний уклон гри в бік технології блокчейн та токенизація усіх ігрових елементів, тобто усі картки (гравці, шайби, ключки, тощо) є токенами, якими дуже зручно обмінюватись між гравцями а сам блокчейн NEAR гарантує безпеку усіх транзакцій;

- поєднання мультиплеєру та безпеки завдяки використанню смарт-контрактів. Майже усі дані стосовно юзера знаходяться на боці блокчену. Дані розбиваються на загальні блоки, які зчіплюються один з одним за допомогою унікальних ідентифікаторів, що мають форму криптографічних хеш-функцій. Блокчейн забезпечує цілісність даних з єдиним джерелом достовірної інформації, усуваючи дублювання даних та підвищуючи їхню безпеку. У системі блокчейну неможливі шахрайство та маніпуляція даними, оскільки змінити їх можна лише з дозволу кворуму сторін. Книжкою блокчейну можна обмінюватися, але її не можна змінити. Якщо хтось спробує змінити дані, всі учасники отримають повідомлення про це і знатимуть, хто це був. Необхідно розробити гру рівня MVP, яка буде не відставати від конкурентів на ринку ідейно, буде конкурентоспроможною, та мати можливість до розширення. Глобально усі механіки таких ігор можна поділити на 2 частини: до гри (матчу, гонки, тощо) та під час гри. До гри – це класичний менеджмент – підпис нових гравців, розторгнення контрактів, пошук спонсорів, налаштування тактик, та вибір стратегії розвитку. Під час самої гри можна робити заміни, змінювати гуму, видавати лозунги та оперативно змінювати стратегію на гру, переходити від пасивного ре-

жиму до агресивного, тощо [1–3].

Уся гра буде складатись із п'яти сцен: MainMenu. Загальна навігація по грі, доступ до всіх сцен, списку друзів та повідомлень; Profile. Налаштування профіля самого гравця; Marketplace. Покупка паків, покупка гравців через підпис або на аукціоні; ManageTeam. Налаштування команди на гру; Game. Сама гра.

У кожного гравця є декілька ролей. Для кожної ролі є декілька подій зі своїми ваговими коефіцієнтами. Хокейний матч представляється як набір кроків, під час яких можуть виникнути якісь пов'язані події. Приклад розрахунку коефіцієнту події для ролі плеймейкер:

$$Coef_{Action_{ij}} = \frac{100 \cdot \lambda_{ij}}{\sum_j \lambda_{ij}}, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n},$$

де λ_{ij} – вагові коефіцієнти кожної події, m – кількість ролей, n – кількість подій.

Для кожної події кожної ролі будується інтервал:

$$\begin{aligned} & [1; Coef_Action_{i1}), [Coef_Action_{i1}; Coef_Action_{i1} + Coef_Action_{i2}), \\ & \left[Coef_Action_{i1} + Coef_Action_{i2}; \right. \\ & \left. Coef_Action_{i1} + Coef_Action_{i2} + Coef_Action_{i3} \right), \dots, \\ & [Coef_Action_{i1} + \dots + Coef_Action_{i_{n-1}}; Coef_Action_{i1} + \dots + Coef_Action_{in}), \\ & \quad i = \overline{1, m}. \end{aligned}$$

Для визначення події генерують випадкове ціле число, визначають інтервал, в який потрапляє це число, обирають подію, яка відповідає цьому інтервалу. Для розробки гри використовувався ігровий движок Unity та мова програмування C#. Unity пропонує широкий функціонал для написання невеликих ігор, а мова C# надає широку можливість написання скриптів для різних компонентів. Результат даної роботи – працездатна конкурентноспроможна гра, здатна до розширення архітектури та функціоналу.

Список використаних джерел:

1. Wang, Y. (2005). Mathematical models and properties of games. *Conference: Cognitive Informatics*, 294-300. DOI:10.1109/COGINF.2005.1532644
2. Sutiono, A. P., Purwarianti, A., & Iida, H. (2014). A Mathematical Model of Game Refinement, *Intelligent Technologies for Interactive Entertainment. Social Informatics and Telecommunications Engineering*, 136, 148-151. DOI:10.1007/978-3-319-08189-2_22
3. Сердюков, В.И., Сердюкова, Н.А., & Шишкина С.И. (2020). Математическая модель однопользовательской компьютерной игры, воспроизводящей дуэльный бой танков. *Математика и математическое моделирование*, 3, 29-42. DOI:10.24108/mathm.0320.0000225

ВІДНОВЛЕННЯ РОЗРИВНИХ ФУНКЦІЙ ДВОХ ЗМІННИХ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ СКІНЧЕННИХ СУМ ФУР'Є, ФЕЙЄРА ТА СПЛАЙНІВ

Уколова К.В.

Науковий керівник – канд. фіз.-мат. наук, доц. Литвин О.Г.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. (057) 702-14-36, email: katelyna.ukolova@nure.ua

This work is focused on the reconstruction of discontinuous functions of two variables based on their known projection data obtained from a CT scanner. Three solution methods are implemented and compared. When the Fourier or Fejér finite sum methods are used directly, the Gibbs phenomenon occurs. The method based on discontinuous splines allows to eliminate it when used in combination with the methods mentioned above. To demonstrate this, a computational experiment was conducted, and the results confirm the effectiveness of the method.

Вважаємо, що функція $f(x, y)$ є розривною з відомими лініями розриву. Відомі проекційні дані γ_k вздовж прямих L_k :

$$\int_{L_k} f(x, y) dl = \gamma_k, \quad k = 1, \dots, Q.$$

Треба відновити цю функцію. Методи для розв'язання такої проблеми наведено в роботах [1,2]. Відмічаємо наступні моменти:

1. При реалізації методу скінченних сум Фур'є розв'язок шукаємо у вигляді:

$$\tilde{f}(x, y) = \sum_{k=-N}^N \sum_{l=-N}^N F_{k,l} e^{i2\pi(kx+ly)}, \quad F_{k,l} = \iint_D f(x, y) e^{-i2\pi(kx+ly)} dx dy.$$

2. При реалізації методу скінченних сум Фейєра розв'язок шукаємо у вигляді:

$$\tilde{f}(x, y) = \sum_{k=-N}^N \sum_{l=-N}^N \left(1 - \frac{|k|}{N+1}\right) \left(1 - \frac{|l|}{N+1}\right) F_{k,l} e^{i2\pi(kx+ly)},$$

$$F_{k,l} = \iint_D f(x, y) e^{-i2\pi(kx+ly)} dx dy.$$

3. При реалізації методу, заснованого на використанні розривних сплайнів в комбінації з методами, зазначеними в пунктах 1, 2, виділяється нерозривна складова $\varphi(x, y)$ функції $f(x, y)$. Ця функція відновлюється за допомогою методів, розглянутих в цих пунктах:

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

Тут $Sp(x, y)$ – розривна сплайн-функція, яка наближує задану функ-

цію і має на вказаних лініях такі ж розриви першого роду, як і наближувана функція. Використовуємо метод побудови розривного сплайна, викладений у роботі [1].

Відновлюємо функцію $\varphi(x, y)$ за допомогою методу скінченних сум Фур'є або Фейєра, наведеного у роботі [2]. Враховуючи, що ця функція не має розривів, її можна наближувати за допомогою відповідних сум без явища Гіббса. Це функція $\tilde{\varphi}_N(x, y)$. Тут N – порядок суми Фур'є.

$$\tilde{\varphi}_N(x, y) = \sum_{k=-N}^N \sum_{l=-N}^N F_{k,l} e^{i2\pi(kx+ly)}, \quad F_{k,l} = \iint_D \varphi(x, y) e^{-i2\pi(kx+ly)} dx dy.$$

Далі використовуємо для аналізу наближення функції $f(x, y)$ суму побудованого вище сплайна та наближення функції $\varphi(x, y)$ сумами Фур'є або Фейєра, тобто $\tilde{f}(x, y) = Sp(x, y) + \tilde{\varphi}_N(x, y)$.

Розглянуто приклад відновлення розривної функції для випадку однієї лінії розриву, що є границею квадрата. Результати обчислення похибок наведено в табл. 1. У рядках I, II отримані результати з впливом явища Гіббса, у рядках III, IV отримані результати без впливу явища Гіббса.

Таблиця 1 – Порівняння точності методів Фур'є та Фейєра

Метод N=24	Абсолютна похибка	Відносна похибки	Середньоквадратична похибка
I. Фур'є	6,339	0,634	0,660
II. Фейєра	6,232	0,623	0,839
III. Фур'є+сплайн	0,036	0,0036	0,0039
IV. Фейєра+сплайн	0,034	0,0034	0,0062

Порівняння похибок, наведених у табл. 1, показує переваги досліджуваного методу (пункт 3) для розривних функцій.

Список використаних джерел:

1. Lytvyn, O.M., Lytvyn O.G., Lytvyn O.O., & Mezhuiev, V.I. (2020). 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, Odesa*, 661–673.

2. Литвин, О.М. (2000) Періодичні сплайни і новий метод розв'язання плоскої задачі рентгенівської комп'ютерної томографії. *Системний аналіз, управління і інформаційні технології: Вісник Харк. держ. політех. ун-ту*, 125, 27–35.

КАТАСТРОФИ У СИСТЕМАХ І ВІДНОВЛЕННЯ ПІСЛЯ НИХ

Федосєєнко А.О.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Наумейко І.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ,
м. Харків, Україна

тел. +38 (063) 616-84-09, email: andrii.fedosieienko@nure.ua

A disaster, like any other event, is the result of self-organization of an open system. The development of such systems alternates between two stages - evolutionary and revolutionary. The goal of this work is to create some models for human-machine-environment systems, predicting catastrophic points for these systems and create some strategies for the passage of the disaster and disaster recovery.

Можливість наукового вивчення криз і катастроф піддавалася сумніву через неповторність і унікальність таких явищ. Проте, при їх детальному вивченні було відкрито багато спільного і, зокрема, доведено, що будь-яка подія – результат самоорганізації відкритої системи [1], [4]. Розвиток такої систем проходить через дві стадії – еволюційну і революційну. В еволюційний період система розвивається з передбачуваними лінійними характеристиками, проте в цей же період відбувається наростання внутрішньої напруги (ентропії, коливань) [2]. По мірі наростання напруги система наближається до точки, в якій навіть незначний вплив приводить до «ефекту метелика». Ця точка називається точкою біфуркації і коли система досягає цієї точки - відбувається катастрофа, перехід системи в нову якість [4].

Наростання коливань веде до того, що вони можуть стати шкідливими для системи. Такі коливання повинні гаситися за рахунок цілеспрямованого впливу, що генерується захисною підсистемою і зветься “керуванням”. Його головною задачею є: відслідковування і повне або часткове підтримання умов, за яких траєкторія руху системи зберігає рівновагу, а також взаємодія з катастрофами. Оскільки катастрофі неможливо запобігти, виникає задача її подолання і відновлення після неї.

Одним із методів вирішення цих проблем є формування середи з прийнятними умовами для самоорганізації, що реалізує позитивний зворотній зв'язок. Стратегія, що забезпечує такий зв'язок визначається у вигляді ітераційного процесу, де на кожному етапі формується потенціал для наступного кроку. Отже, для вироблення оптимальних стратегій регулятор повинен використовувати принцип Беллмана, а для опису всього процесу може бути застосований апарат процесів Маркова [3].

Функція корисності/вигоди/збитків системи представлена у вигляді:

$$X = f(y, \alpha, \beta, \dots, \Omega), P = \varphi(y, \alpha, \beta, \dots, \Omega),$$

де y – кількість виходу системи; $y, \alpha, \beta, \dots, \Omega$ – керуючі параметри.

Використовування апарату теорії катастроф дозволяє створити мо-

дель, маючи мінімум інформації про $f(x)$ і $\varphi(x)$.

Траєкторія системи описується функцією:

$$M(y) = 0.25\Omega y^4 - 0.5\alpha\Omega y^2 - gy,$$

де $M(y)$ – потенційна функція вигоди $P = \varphi(y)$ або збитку $X = f(x)$, g – дохід від реалізації ресурса.

Екстремум цієї функції визначає диференціальне рівняння, що описує поведінку системи:

$$K \frac{dy}{dt} = -\frac{\partial M}{\partial y} = -\Omega y^3 + \alpha\Omega y + g,$$

де K – коефіцієнт пропорційності, $\frac{dy}{dt}$ – інтенсивність зростання доходу системи від освоєння продукту у часі.

Два варіанти рішення цих рівнянь (у разі введення нового продукту додається те ж рівняння для $\frac{dz}{dt}$) ілюструються на рис. 1.

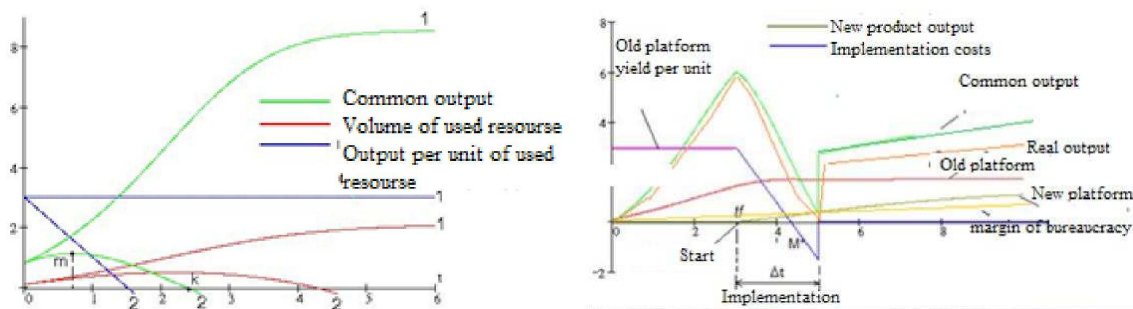


Рисунок 1 – Поведінка системи без і з переходом на новий ресурс

Як бачимо, введення цих методів допомагає визначити точку катастрофи, вибрати оптимальні стратегії проходження і відновлення після неї.

Список використаних джерел:

1. Гилмор, Р. (1984). *Прикладная теория катастроф*. Т. 1. Мир.
2. Goodwin, R.M. (1951). The non-linear accelerator and the persistence of business cycles. *Economists*. 19. 1-17.
3. Ховард, Р.А. (1964). *Динамическое программирование и марковские процессы*. Советское радио.
4. Poston, T. & Stewart, I. (1978). *Catastrophe Theory and Its Applications*. Pitman.

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ДИФУЗІЇ ПІД ЧАС ПРОГНОЗУВАННЯ ПРОДАЖІВ

Фірулін С.О.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Єсілевський В.С.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ,
м. Харків, Україна

тел. +38 (095) 512-25-26, email: serhii.firulin@nure.ua

The Bass model or Bass diffusion model was developed by Frank Bass. It consists of a simple differential equation that describes the process of how new products get adopted in a population. The model presents a rationale of how current adopters and potential adopters of a new product interact. The Bass model has been widely used in forecasting, especially new products' sales forecasting and technology forecasting. Mathematically, the basic Bass diffusion is a Riccati equation with constant coefficients.

У дослідженні розглядається модель Басса або модель дифузії Басса, яка була розвинена Френком Бассом. Вона складається із простого диференціального рівняння, що описує процес того, як інновації приймаються населенням. Модель представляє собою обґрунтування того, як взаємодіють нововведення і потенційне введення нового продукту. Модель Басса широко використовується у прогнозуванні, особливо у передбаченні продажів нових товарів і прогнозуванні технологій. З математичної точки зору, модель дифузії Басса є рівнянням Ріккаті зі сталими коефіцієнтами [1, 2].

Формулювання моделі:

$$\frac{f(t)}{1 - F(t)} = p + qF(t),$$

де $f(t)$ – функція зміни встановленої базової частини, $F(t)$ – функція встановленої базової частини, p – коефіцієнт інновацій, q – коефіцієнт імітації.

Виражений у вигляді звичайного диференціального рівняння,

$$\frac{dF}{dt} = p(1 - F) + q(1 - F)F = (1 - F)(p + qF).$$

Продажі $S(t)$ – швидкість зміни встановленої бази (тобто запозичення) $f(t)$ помножена на граничний потенціал ринку m :

$$S(t) = mf(t),$$

$$S(t) = m \frac{(p + q)^2}{p} \frac{e^{-(p+q)t}}{\left(1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q)t}\right)^2},$$

Час пікових продажів t^* :

$$t^* = \frac{\ln q - \ln p}{p + q},$$

Для типових значень p і q , коли t вимірюється в роках [3]:

1) було встановлено, що середнє значення $p = 0.03$, крім того, воно часто буває меншим за 0.01;

2) виявлено, що середнє значення $q = 0.38$, з типовим розмахом між 0.3 та 0.5.

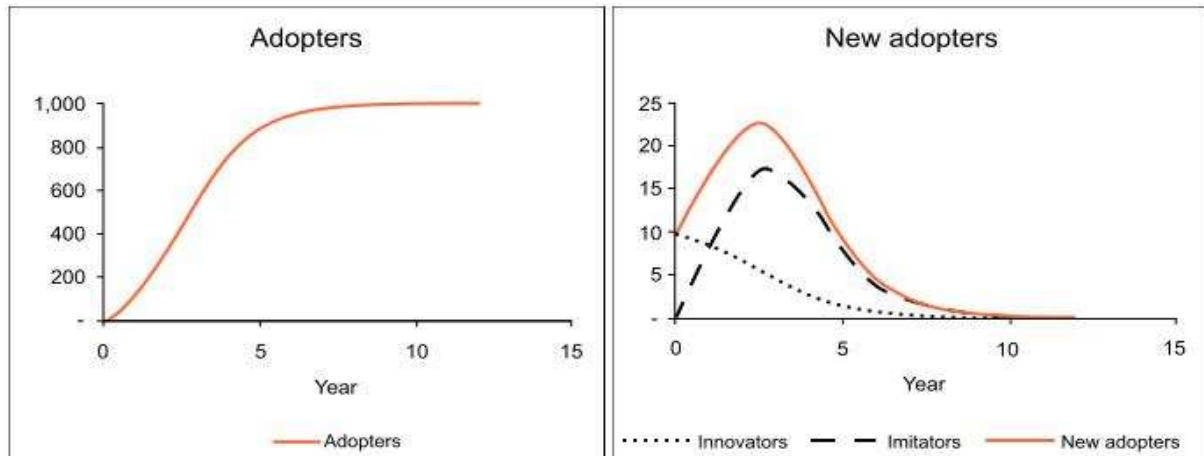


Рисунок 1

Для його моделі підходять дані з майже будь-яких продуктів, незважаючи на широкий діапазон змінних управлінських рішень, наприклад, ціноутворення та рекламування. Це означає, що змінні рішень можуть зміщувати криву Басса в часі, але форма кривої є завжди однаковою.

Список використаних джерел:

1. Bass, F.M., Trichy V.K., Dipak, C.J. (1994). Why the Bass Model Fits without Decision Variables. *Marketing Science*, 13 (2), 203–223. doi:10.1287/mksc.13.3.203.
2. Norton, J.A., Bass F.M. (1987). A Diffusion Theory Model of Adoption and Substitution for Successive Generations of High-Technology Products. *Management Science*, 33 (9), 1069–1086. doi:10.1287/mnsc.33.9.1069.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ R-ФУНКЦІЙ ТА ГАЛЬОРКІНА У ЧИСЕЛЬНОМУ АНАЛІЗІ ПРОЦЕСУ ЛАЗЕРНОЇ ТЕРМООБРОБ- КИ З ТОЧКОВИМ РУХОМИМ ДЖЕРЕЛОМ ТЕПЛА

Фуніков А.С.

Науковий керівник – д-р фіз.-мат. наук, проф. Сидоров М.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38(066) 858-07-64, email: anton.funikov@nure.ua

The study considers the problem of calculating the temperature field in a flat plate during thermal laser treatment using a moving point heat source. The structural method (R-function method) in combination with the Galerkin method for non-stationary problems, is proposed to solve the problem. A computational experiment was conducted for a ring-shaped region using test parameter values.

Через розвиток таких сучасних технологій обробки матеріалів, як лазерна різка та зварювання, актуальним є розробка нових та вдосконалення існуючих методів розрахунку температурного поля при лазерній термообробці. Результати таких досліджень можуть знайти своє застосування, зокрема, у подальшому вдосконаленні технологій лазерної термообробки.

У роботі розглядається задача розрахунку поля температури в плоскій пластинці, яка займає область Ω , при її лазерній обробці точковим рухомим джерелом, що рухається областю Ω за законом $x^*(t)$, $y^*(t)$. Межу $\partial\Omega$ пластинки Ω теплоізолювано, а у початковий момент часу температура у пластинці Ω дорівнює нулю. Математичною моделлю такого процесу є наступна мішана задача для рівняння теплопровідності [1]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \Delta T - pT + Q\delta(x - x^*(t))\delta(y - y^*(t)), (x, y) \in \Omega, t > 0, \quad (1)$$

$$T|_{t=0} = 0, (x, y) \in \bar{\Omega}, \quad (2)$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial \vec{n}} \right|_{\partial\Omega} = 0, t \geq 0, \quad (3)$$

де p – параметр, який моделює інтенсивність поверхневого охолодження пластини; $x^*(t)$, $y^*(t)$ – функції, які задають траєкторію руху точкового джерела потужності Q , $\delta(\cdot)$ – дельта-функція Дірака.

Відповідно до методу R-функцій [2] структура розв'язку мішаної задачі (1) – (3) має вигляд

$$T = \Phi - \omega D_1 \Phi, \quad (4)$$

де $\omega(x, y) = 0$ – нормалізоване рівняння межі $\partial\Omega$, Φ – невизначена компонента структури, $D_1 \Phi = \frac{\partial \omega}{\partial x} \frac{\partial \Phi}{\partial x} + \frac{\partial \omega}{\partial y} \frac{\partial \Phi}{\partial y}$.

Структура (5) за будь-якого вибору (з певного функціонального простору) невизначеної компоненти Φ точно задовольняє крайовій умові (2).

Для апроксимації невизначеної компоненти Φ скористаємося методом Гальоркіна для нестационарних задач [3]. Якщо,

$$\Phi(x, y, t) \approx \Phi_N(x, y, t) = \sum_{k=1}^N c_k(t) \tau_k(x, y),$$

де $\{\tau_k(x, y)\}$ – будь-яка повна у просторі $L_2(\Omega)$ послідовність функцій, то

$$T(x, y, t) \approx T_N(x, y, t) = \sum_{k=1}^N c_k(t) \varphi_k(x, y),$$

де $\{\varphi_k(x, y)\}$ – координатна послідовність, $\varphi_k = \tau_k - \omega D_1 \tau_k$.

Відповідно до методу Гальоркіна для нестационарних задач для визначення функцій $c_k(t)$, $k = 1, 2, \dots, N$, отримуємо задачу Коші для системи звичайних диференціальних рівнянь.

Обчислювальний експеримент було проведено для кільцеподібної області:

$$\Omega = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 : r^2 < (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 < R^2\}$$

для значень $r = 0,25$, $R = 0,5$, $(x_0, y_0) = (0,5; 0,5)$ і для $Q = 1$,
 $x^*(t) = 0,5 + r_0 \cos \varphi(t)$, $y^*(t) = 0,5 + r_0 \sin \varphi(t)$, $\varphi(t) = \frac{Vt}{r_0}$, $V = 20$ – стала лінійна

швидкість руху точкового джерела по круговій траєкторії з центром в точці $(x_0, y_0) = (0,5; 0,5)$ і радіусом $r_0 = 0,35$. При цьому,

$$\omega(x, y) = \omega_1(x, y) \wedge_0 (-\omega_2(x, y)),$$

$$\omega_1(x, y) = \frac{1}{2R} (R^2 - (x - x_0)^2 - (y - y_0)^2),$$

$$\omega_2(x, y) = \frac{1}{2r} (r^2 - (x - x_0)^2 - (y - y_0)^2),$$

$$x_1 \wedge_0 x_2 \equiv x_1 + x_2 - \sqrt{x_1^2 + x_2^2},$$

де $\wedge_0$ – знак R-кон'юнкції з системи $\mathcal{R}_0$.

Результати обчислювального експерименту добре узгоджуються з результатами, отриманими методом скінченних елементів у [1].

Список використаних джерел:

1. Мазо, А.Б. (2018). *Вычислительная гидродинамика. Часть 2. Сеточные схемы метода конечных элементов*. Учебное пособие. Изд-во Казанского ун-та.
2. Рвачев, В. Л. (1982). *Теория R-функций и некоторые её приложения*. Наукова думка.
3. Михлин, С. Г. (1966). *Численная реализация вариационных методов*. Наука.

УДК 004.942:61

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ СПІЛЬНОЇ ВАКЦИНАЦІЇ ТА АНТИВІРУСНОЇ ТЕРАПІЇ

Ханін Г.С.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Наумейко І.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. (057) 70-21-436), email: hlib.khanin@nure.ua

The object of research is a mathematical model for the optimization of general vaccination and antiviral therapy. Human influenza is a contagious disease which if proper precautions are not taken to control the disease can lead to massive mortality rates and high costs will be incurred to control the disease in case of an outbreak. As a result, we investigate how the cost of implementing both vaccination and antiviral therapy can be minimized and at the same time minimize the number of infected individuals.

Нова пандемія стала як новим глобальним викликом, що вимагає нових підходів для ефективної протидії, так і відкрила нові можливості для розуміння процесів взаємодії людей у великих спільнотах. Завдяки тому, що свіжа статистична інформація про поширення COVID-19 є загальнодоступною, до проблеми активно долучилися науковці, причому не лише медики та біологи, а й, зокрема, фізики та математики.

Одним із методів, використовуваних для оптимізації ефективності вакцинації та антивірусної терапії, є метод максимальної ентропії.

Метод максимальної ентропії (MaxEnt) – це метод, який використовується для оптимізації системи, що має велику кількість змінних. Він ґрунтується на принципі максимуму ентропії – вибір найімовірнішого розподілу ймовірностей подій, що задовольняє деяким заданим умовам.

У разі оптимізації вакцинації та антивірусної терапії, це означає максимізацію ймовірності того, що більшість населення буде захищено від захворювання.

Метод максимальної ентропії дає змогу враховувати велику кількість чинників, що впливають на ефективність вакцинації та антивірусної терапії, як-от: розподіл віку, статі, місця проживання, ступеня імунітету тощо.

При використанні методу максимальної ентропії можна розрахувати оптимальний розподіл вакцини та антивірусної терапії відповідно до наявних даних, щоб максимізувати ефективність лікування.

Застосування методу максимальної ентропії в оптимізації вакцинації та антивірусної терапії може істотно підвищити ефективність вакцинації та лікування.

Це дає змогу оптимізувати використання обмежених ресурсів, таких як кількість вакцин і медичних працівників.

Для оптимізації загальної вакцинації та антивірусної терапії на основі

методу максимальної ентропії необхідно розглянути кілька основних етапів:

1. Збір даних. Збір та аналіз статистичних даних про поширення захворювання, ефективність різних методів вакцинації та антивірусної терапії, характеристик пацієнтів, таких як вік, стан імунної системи, наявність супутніх захворювань тощо.

2. Побудова математичної моделі. На основі зібраних даних будується математична модель, яка відображає реальний стан системи вакцинації та антивірусної терапії. Модель може бути представлена у вигляді рівнянь диференціальних рівнянь або стохастичних моделей.

3. Оптимізація моделі. З використанням методу максимальної ентропії відбувається оптимізація моделі, за якої досягається максимальна ентропія системи. Це досягається шляхом налаштування параметрів моделі та оцінки впливу різних чинників на поширення захворювання та ефективність вакцинації й антивірусної терапії.

4. Перевірка моделі. Після оптимізації моделі необхідно перевірити її ефективність на реальних даних. Для цього використовують статистичні методи оцінювання якості моделі, такі як порівняння передбачених і фактичних результатів, аналіз точності та ступеня помилок.

Метод максимальної ентропії є потужним інструментом для оптимізації стратегій вакцинації та антивірусної терапії, даючи змогу враховувати широкий спектр різноманітних чинників і умов, і може бути корисним для більш ефективної боротьби з інфекційними захворюваннями у світі.

Список використаних джерел:

1. Y. Savas et al. (2020). Entropy Maximization for Markov Decision Processes Under Temporal Logic Constraints. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 65 (4), 1552–1567.

2. Maron A. (). Assessment of service quality for complex technical devices based on the Jaynes' information principle. *Business Informatics*, 4, 47–51.

АНАЛІЗ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНИХ БІОЕЛЕКТРИЧНИХ РЕАЛІЗАЦІЙ

Харченко Я.О.

Науковий керівник – д-р техн. наук, проф. Кіріченко Л. О.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38(050) 047-64-90, email: yaroslav.kharchenko@nure.ua

This article describes the multifractal analysis of bioelectric signals that have fractal properties. In this research we investigated EEG characteristics of laboratory animals using estimation of generalized Hurst exponent.

Самоподібність випадкових процесів полягає в збереженні статистичних характеристик при зміні масштабу часу. Стохастичний процес $X(t)$ є самоподібним з параметром самоподібності H , якщо процес $a^{-H}X(at)$ описується тими ж кінцевомірними законами розподілів, що і $X(t)$:

$$Law\{X(t)\} = Law\{a^{-H}X(at)\}, \forall a > 0, t > 0. \quad (1)$$

Параметр $H, 0 < H < 1$, званий показником Херста, являє собою ступінь самоподібності. Наряду з цією властивістю, показник H характеризує міру довгострокової залежності стохастичного процесу.

При значеннях $0.5 < H < 1$ ряд демонструє персистентну (трендостійку) поведінку. Якщо персистентний ряд зростає (убуває) в попередній період, то чим ближче показник Херста до 1, тим з більшою ймовірністю буде зберігатися тенденція поведінки цього ряду протягом такого ж періоду в майбутньому. Значення $H = 0.5$ вказує на незалежність (відсутність будь-якої пам'яті про минуле) збільшень часового ряду. Діапазон $0 < H < 0.5$ відповідає антиперсистентним рядам: якщо антиперсистентний ряд характеризувався зростанням в попередньому періоді, то чим ближче показник Херста до 0, тим з більшою ймовірністю в наступному періоді почнеться спад.

Початкові моменти самоподібного випадкового процесу можна виразити як:

$$M\left[|X(t)|^q\right] = C(q) \cdot t^{qH}, \quad (2)$$

де величина $C(q) = M\left[|X(1)|^q\right]$.

Мультифрактальні процеси проявляють більш гнучкі скейлінгові закономірності для моментних характеристик. На відміну від самоподібних процесів, де всі моменти $M\left[|X(t)|^q\right]$ показують однакову масштабну поведінку, для мультифрактальних процесів виконується відношення

$$M \left[|X(t)|^q \right] = C(q) \cdot t^{qh(q)}, \quad (3)$$

де $h(q)$ – узагальнений показник Херста, який є нелінійною функцією, для якої значення $h(q=2)$ збігається зі значенням ступеня самоподібності H . Для часових рядів, які відповідають монофракальному процесу, узагальнений показник Херста $h(q) = H$ і не залежить від параметра q .

У своїй роботі ми досліджували ЕЕГ лабораторних тварин, які були розділені на дві фази бадьорості (Awake), повільного сну (SWS) і фаза швидкого сну (REM). Рис. 1 показує типові реалізацій ЕЕГ для різних фаз сну і бадьорості.

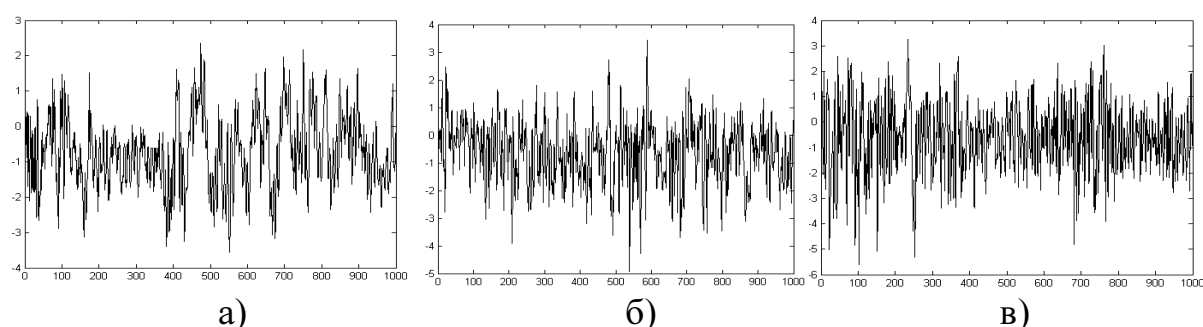


Рисунок 1 – Реалізацій ЕЕГ: AWAKE (а), SWS (б) і REM (в).

Проведений фрактальний аналіз виявив суттєві розбіжності для мультифрактальних характеристик досліджуваних реалізацій. На рис. 2 приведені функції узагальненого показника Херста, що були отримані для реалізації, показаних на рис. 1.

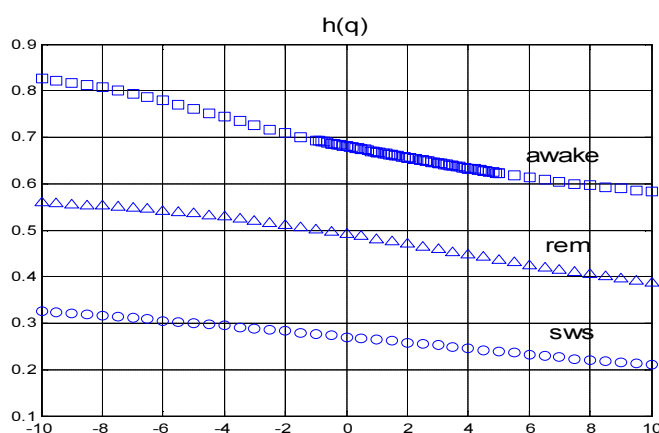


Рисунок 2 – Функції узагальненого показника Херста для реалізацій ЕЕГ

Список використаних джерел:

1. Alghawli, A. S., & Kirichenko, L. (2015). Multifractal properties of bioelectric signals under various physiological states. *International Journal «Information Content And Processing»*, 2(2). 138–163.

УДК 004.45:004.942

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ БРОУНОВСЬКИХ ЧАСТИНОК У СИСТЕМАХ ІЗ ПАСТКАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Хацько Д. С.

Науковий керівник – д-р техн. наук, проф. Кіріченко Л. О.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ,
м. Харків, Україна

тел. +38(098) 176-14-39, email: daryna.khatsko@nure.ua

The aim of this study is to model Brownian motion with traps using Python and to analyze the motion using clustering analysis with machine learning techniques. In this study, we have introduced the concept of traps, which are the regions in space where the Brownian particle is confined for a certain period of time. We have simulated Brownian motion with traps and analyzed the motion using clustering analysis. The results of this study are important because they demonstrate the significance of considering trapping mechanisms when modeling Brownian motion with traps. Moreover, this study is crucial for the detection and characterization of traps in Brownian motion, which can have implications for various fields such as physics, chemistry, and biophysics.

Броунівський рух – це випадковий рух частинок, зважених у рідині або газі. Вперше він був помічений Робертом Брауном у 1827 році, а пізніше пояснений Альбертом Ейнштейном у 1905 році. Це явище пов'язане з постійним бомбардуванням молекулами рідини або газу зважених частинок. Броунівський рух є фундаментальним поняттям у фізиці та хімії і має численні практичні застосування в багатьох галузях [1].

У контексті броунівського руху з пастками, пастка – це область у просторі, де броунівська частинка утримується протягом певного часу. Пастки можуть виникати природним чином, наприклад, у біологічних клітинах, або можуть бути створені штучно.

Наявність пасток може суттєво впливати на динаміку броунівських частинок, що призводить до важливих наслідків для багатьох застосувань. Тому дуже важливо проаналізувати і зрозуміти поведінку броунівських частинок у присутності пасток [2].

Дослідження пасток у броунівському русі має значну важливість, оскільки це дає змогу розуміти механізми, які лежать в основі дифузійних процесів і характеризують їхні властивості. Аналіз пасток може допомогти в прогнозуванні динаміки частинок у системах, що має практичне значення для таких галузей, як фізика, хімія, біологія та матеріалознавство.

У цьому дослідженні броунівський рух з пастками було змодельовано за допомогою Python. Код, використаний у цьому дослідженні, генерує одновимірну траєкторію броунівського руху з N кількістю кроків. За основу для моделювання одномірного руху була взята формула (1), в якій у кожен

момент часу t_i частинка, що рухається у випадковому порядку, перебуває в позиції x_i , визначеній як сума позиції на попередньому кроці x_{i-1} , з деяким випадковим приростом $\mu \cdot \Delta t$ і нормально розподіленим випадковим шумом з нульовим середнім і стандартним відхиленням $\sigma\sqrt{\Delta t}$. Для утворення пасток траєкторію біло змінено шляхом тимчасового зменшення коефіцієнта дифузії. Ці пастки імітуються шляхом зменшення середньоквадратичного відхилення нормального розподілу в 10 разів протягом інтервалів часу, в яких вони виникають.

$$x_i = x_{i-1} + \mu \cdot \Delta t + \sigma\sqrt{\Delta t} \cdot N(0,1), \quad (1)$$

де x_i – позиція частинки в момент часу t_i ;

μ – середнє значення швидкості;

Δt – інтервал часу між t_{i-1} і t_i ;

σ – стандартне відхилення швидкості;

$N(0,1)$ – випадкова величина, розподілена за нормальним законом із середнім значенням 0 і стандартним відхиленням 1.

Результатом такого моделювання є пилу масив, який містить x -координату частинки на кожному часовому кроці, а також масив двовимірних точок, які можна побудувати для візуалізації траєкторії. Крім того, програма виводить три масиви, які містять точки траєкторії в кожній пастці. Ці масиви можна використовувати для подальшого аналізу та алгоритмів машинного навчання.

Метою роботи є дослідження динаміки броунівських частинок у присутності пасток і розробка нового підходу до моделювання та аналізу цих систем з використанням методів машинного навчання.

Список використаних джерел:

1. Parisi, G. (2005). Brownian motion. *Nature*, 433, 221. <https://doi.org/10.1038/433221a>

2. Frey, E., & Kroy, K. (2006). Brownian motion: A paradigm of soft matter and biological physics. *Annalen Der Physik*, 14(1-3), 20-50. <https://doi.org/10.1002/andp.200551701-307>

КОНТРОЛЬ ЗА АПАРАТНИМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ МОБІЛЬНОГО ПРИСТРОЮ НА ОПЕРАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ IOS ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЗАДАЧ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ

Хрипунов І.М.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Каук В.І.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПІ
м. Харків, Україна

тел. +38(050) 027-00-75, email: illia.khrypunov@nure.ua

This work is devoted to the control of hardware support of a mobile device on the iOS platform during the operation of machine learning models for pattern recognition. The main libraries for implementing the integration of the model into the application are considered. The main capabilities of hardware control, which are available within the considered libraries for integration, are analyzed.

Можливість сприймати зовнішній світ у формі образів сприяє передумовам дослідження властивостей величезної кількості об'єктів завдяки ознайомленню з кінцевою їх кількістю, а об'єктивна ознака засадничої властивості образів допомагає створювати модель їх розпізнавання.

Для того, щоб отримати можливість інтеграції моделі для розпізнавання образів в мобільний додаток для iOS необхідно використати додаткові бібліотеки. На сьогоднішній день найбільш популярними інструментами для реалізації даної задачі є бібліотека CoreML від компанії Apple та TensorFlowLite, що є продуктом компанії Google.

Отож, використовуючи один з вищезазначених інструментів, розробник отримує можливість реалізувати інтеграцію моделі машинного навчання у мобільний додаток і будувати бізнес логіку застосунку, базуючись на цьому. Наступним етапом розробки є підвищення ефективності роботи інтегрованої моделі. Адже розпізнавання образів є досить трудомісткою задачею, яку можна пришвидшити за рахунок використання особливостей апаратного забезпечення iOS пристрою.

У разі інтеграції моделі машинного навчання за допомогою CoreML, розробник отримує можливість використати GPU, CPU або ANE (Apple Neural Engine) девайсу для виконання задачі розпізнавання образів.

Apple Neural Engine (або ANE) — це тип NPU, що розшифровується як Neural Processing Unit. Це як GPU, але замість прискорення графіки NPU прискорює операції нейронної мережі, такі як згортки та множення матриць. Більшість нових iPhone та iPad мають Neural Engine, спеціальний процесор, який робить моделі машинного навчання дуже швидкими.

Під час створення екземпляру моделі для подальшого використання та передбачень за допомогою інструменту від Apple, необхідно створити відповідні конфігурації, в межах яких розробник отримує можливість визначити, які самі частини апаратного забезпечення пристрою необхідно вико-

ристовувати для обробки зображень. Ось список доступних налаштувань:

- all (параметр, який дозволяє моделі використовувати всі доступні обчислювальні блоки, включаючи нейронні механізми);
- cpuOnly (параметр, який обмежує дозволяє моделі використовувати лише ЦП);
- cpuAndGPU (параметр, який дозволяє моделі використовувати обидва CPU та GPU, але не нейронний двигун);
- cpuAndNeuralEngine (параметр, який дозволяє використовувати моделі як центральний процесор, так і нейронний механізм, але не графічний процесор).

Вибір налаштування на етапі конфігурацій моделі дає нам можливість контролювати її продуктивність та безпосередньо впливати на те, яке апаратне забезпечення буде використане системою для роботи моделі.

Контроль апаратного забезпечення за допомогою моделі TensorFlow Lite реалізовано за допомогою делегатів. Делегати дозволяють апаратне прискорення моделей TensorFlow Lite за допомогою вбудованих прискорювачів, таких як графічний процесор і процесор цифрових сигналів (DSP). За замовчуванням TensorFlow Lite використовує ядра ЦП, оптимізовані для набору інструкцій ARM Neon. Однак ЦП — це багатоцільовий процесор, який не обов'язково оптимізований для важкої арифметики, яка зазвичай зустрічається в моделях машинного навчання.

Для контролю апаратного забезпечення, що використовує модель доступний делегат GPU. Він оптимізований для запуску 32-розрядних і 16-розрядних моделей на основі плаваючої пам'яті, де є графічний процесор. Він також підтримує 8-розрядні квантовані моделі та забезпечує GPU продуктивність на рівні з їх версіями з плаваючою машиною. Іншим доступним інструментом є делегат Core ML, який дає можливість прискорити роботу моделі для 32 або 16-розрядних моделей із плаваючою комою.

Таким чином, вибір правильного делегату при роботі з TFLite дає розробнику можливість впливати на апаратне забезпечення для підвищення ефективності роботи моделі.

Список використаних джерел:

1. Заяць, В.М., & Камінський, Р.М. (2004). *Методи розпізнавання образів*. Нац. ун-т «Львів. політехніка».
2. *Core ML Tools*: сайт. URL: <https://coremltools.readme.io/docs> (дата звернення 10 березня 2022 р.).
3. *TensorFlow Lite*: сайт. URL: <https://www.tensorflow.org/lite> (дата звернення 12 березня 2022 р.).

УДК 517.958:517.988.8

**ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ КВАЗІФУНКЦІЙ ГРІНА-РВАЧОВА
ДО ЧИСЕЛЬНОГО АНАЛІЗУ ПЕРШОЇ КРАЙОВОЇ ЗАДАЧІ
ДЛЯ НАПІВЛІНІЙНОГО ЕЛІПТИЧНОГО РІВНЯННЯ
З ОПЕРАТОРОМ ЛАПЛАСА У $\mathbb{R}^2$**

Чернишов Б.С.

Науковий керівник – д-р фіз.-мат. наук, проф. Сидоров М.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна
тел. +38(066)-859-62-85, email: bohdan.chernyshov@nure.ua

The paper considers the application of the Green-Rvachev quasi-functions method to the construction of the method of two-sided approximations for the numerical analysis of the first boundary value problem for the semilinear elliptic equation with the Laplace operator on the plane. The work of the proposed method was tested on a model problem arising in population genetics.

Задачі математичного моделювання стаціонарних процесів теплопровідності у нелінійних середовищах, задачі хімічної кінетики, задачі фізики плазми, теорії горіння, біології, екології тощо приводять до необхідності знаходження додатного розв'язку наступної крайової задачі:

$$-\Delta u = f(\mathbf{x}, u), \quad \mathbf{x} \in \Omega, \quad (1)$$

$$u|_{\partial\Omega} = 0, \quad (2)$$

де Ω – область у $\mathbb{R}^2$ з кусково-гладкою межею $\partial\Omega$, $\mathbf{x} = (x_1, x_2)$, $f(\mathbf{x}, u)$ неперервна і додатна для всіх $\mathbf{x} \in \bar{\Omega}$, $u > 0$ функція.

Точні розв'язки задач вигляду (1), (2) майже не відомі, а серед чисельних методів аналізу цієї задачі перш за все слід виокремити метод двобічних наближень. У своєму класичному варіанті він заснований на переході від диференціальної задачі до еквівалентного інтегрального рівняння Гаммерштейна, ядром якого є функція Гріна першої крайової задачі для оператора Лапласа [1]. Отримане інтегральне рівняння є основою для побудови двох послідовностей функцій, які знизу та зверху наближають шуканий розв'язок. Обмеженість практичної реалізації такого підходу пов'язана з тим, що, незважаючи на існування функції Гріна для доволі широкого класу областей, її фактичне знаходження може біти здійснено лише у поодиноких випадках. Отже, актуальною є розробка нових методів двобічних наближень, які б мали ширші конструктивні можливості.

Це може бути зроблено на основі переході до еквівалентного задачі (1), (2) інтегрального рівняння Урисона, використовуючи квазіфункцію Гріна-Рвачова замість функції Гріна [1].

Нехай область Ω обмежена скінченною кількістю кусків ліній $\sigma_i(\mathbf{x}) = 0$, де $\sigma_i(\mathbf{x})$ – елементарна функція, $i = 1, 2, \dots, n$. Тоді за допомогою конструктивного апарату теорії R -функцій [2] можна побудувати у вигляді

єдиного аналітичного виразу елементарну функцію $\omega(\mathbf{x})$ таку, що:

а) $\omega(\mathbf{x}) > 0$ у Ω ; б) $\omega(\mathbf{x}) = 0$ на $\partial\Omega$; в) $|\nabla\omega(\mathbf{x})| \neq 0$ на $\partial\Omega$.

Квазіфункцією Гріна-Рвачова першої крайової задачі для оператора Лапласа у $\mathbb{R}^2$ назовемо функцію $Q_2(\mathbf{x}, \mathbf{s}) = \frac{1}{2\pi} \ln \sqrt{1 + \frac{4\omega(\mathbf{x})\omega(\mathbf{s})}{r^2}}$, де $\mathbf{x} = (x_1, x_2)$, $\mathbf{s} = (s_1, s_2)$, $r = |\mathbf{x} - \mathbf{s}| = \sqrt{(x_1 - s_1)^2 + (x_2 - s_2)^2}$.

Реалізуюючи описаний у [2] підхід, отримаємо, що задача (1), (2) еквівалентна інтегральному рівнянню:

$$u(\mathbf{x}) = \int_{\Omega} P(\mathbf{x}, \mathbf{s}, u(\mathbf{s})) d\mathbf{s}, \quad (3)$$

де

$$P(\mathbf{x}, \mathbf{s}, u(\mathbf{s})) = K_2(\mathbf{x}, \mathbf{s})u(\mathbf{s}) + Q_2(\mathbf{x}, \mathbf{s})f(\mathbf{s}, u(\mathbf{s})),$$

$$K_2(\mathbf{x}, \mathbf{s}) = -\frac{1}{2\pi} \left(\frac{\partial^2 \tilde{g}}{\partial s_1^2}(\mathbf{x}, \mathbf{s}) + \frac{\partial^2 \tilde{g}}{\partial s_2^2}(\mathbf{x}, \mathbf{s}) \right), \quad \tilde{g}(\mathbf{x}, \mathbf{s}) = \ln \frac{1}{\sqrt{r^2 + 4\omega(\mathbf{x})\omega(\mathbf{s})}}.$$

Рівняння (3) розглядатимемо у банаховому просторі $C(\bar{\Omega})$ неперервних у $\bar{\Omega}$ функцій як рівняння з гетеротонним оператором. При цьому простір $C(\bar{\Omega})$ вважатимемо напівупорядкованим за допомогою конуса невід'ємних функцій. Якщо цей гетеротонний оператор має сильно інваріантний конусний відрізок, то, взявши за початкові наближення кінці цього відрізка, можна побудувати двобічний ітераційний процес знаходження наближеного розв'язку задачі (1), (2). Обчислювальний експеримент було проведено для $f(\mathbf{x}, u) = \frac{1}{5} + \frac{1}{4}u^{\frac{3}{4}}$, яка виникає, зокрема, при вивченні селекційної міграційної моделі у популяційній генетиці [3]. Отриманий з двобічною оцінкою похибки чисельний розв'язок було порівняно з розв'язком, отриманим методом скінченних різниць у [3].

Описаний підхід до побудови методу двобічних наближень може бути розповсюджений на напівлінійні еліптичні рівняння з операторами більш загального вигляду, а також на задачі, що розглядаються у $\mathbb{R}^m$, $m > 2$.

Список використаних джерел:

1. Сидоров, М.В. (2017). Застосування методів функцій Гріна та квазіфункцій Гріна-Рвачова для побудови двобічних ітераційних процесів розв'язання нелінійних крайових задач. *Вісник Запорізького національного університету. Серія: фізико-математичні науки*, 2, 250-259.
2. Рвачев, В. Л. (1982). *Теория R-функций и некоторые её приложения*. Наукова думка.
3. Matinfar M., & Nemati K. (2008). A numerical extension on a convex nonlinear. *International Mathematical Forum*, 3 (17), 811-816.

ЧИСЕЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДОМ R-ФУНКЦІЙ ДВОВИМІРНИХ ЗАДАЧ ПЛАЗМОСТАТИКИ З ЦИЛІНДРИЧНОЮ ГЕОМЕТРІЄЮ ТА ГВИНТОВИМ МАГНІТНИМ ПОЛЕМ

Шерстнюк Д.В.

Науковий керівник – д-р фіз.-мат. наук, проф. Сидоров М.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38(063) 714-19-22, email: dmytro.sherstniuk@nure.ua

The paper considers the two-dimensional problem of plasma statics with a cylindrical geometry and a helical magnetic field. Problems of this class arise when calculating the characteristics of plasma configurations in magnetic traps. The mathematical model of the plasma statics problem under consideration is a nonlinear boundary value problem for the Grad-Shafranov equation. For the numerical study of the problem, it is proposed to use the R-function's method.

Основною рушійною силою інтенсивного розвитку фізики плазми стали перспективи оволодіння в мирних цілях енергією термоядерного синтезу, яка (як вважається) є необмеженою за своїми запасами і з цієї причини дешевою. У зв'язку з проблемою керованого термоядерного синтезу, а також і незалежно від неї, виконані великі науково-технічні розробки, створено ряд плазмових установок, ведуться численні дослідження плазмових процесів [1]. Отже, актуальною є задача розширення спектру засобів математичного моделювання зазначених процесів і систем.

Задачі плазмостатики історично виникли як складова частина програми керованого термоядерного синтезу. У центрі уваги плазмостатики знаходиться розрахунок рівноважних конфігурацій плазми і магнітного поля, що її утримує. Технічні конструкції, які реалізують рівноважні конфігурації, називаються магнітними пастками.

У двовимірних задачах плазмостатики з циліндричною геометрією та гвинтовим магнітним полем рівняння магнітної гідродинаміки зводяться до одного диференціального рівняння типа Грета-Шафранова [1]:

$$\Delta^{**}\psi = -j_z^{ex} - p'(\psi) + \frac{2\alpha}{v^2}I - \frac{I}{v}I'(\psi), \quad (1)$$

де α – крок гвинта,

$$\Delta^{**}\psi \equiv \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{r}{\eta} \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \theta^2} \equiv \nabla \left(\frac{\nabla \psi}{\eta} \right), \quad \eta \equiv 1 + \alpha^2 r^2.$$

Тут I і ψ – компоненти магнітного поля $\mathbf{H}$ та його векторного потенціалу $\mathbf{\Psi}$ у напрямку гвинтових ліній $r = \text{const}$, $\theta = \text{const}$.

Струм заданих провідників j_z^{ex} у правій частині рівняння (1) представлено осьовою компонентою, яка пов'язана з гвинтовою співвідношенням $j_l^{ex} = j_z^{ex}$.

Задачі з нелінійним еліптичним рівнянням (1) мають визначати функ-

цію магнітного потоку ψ , якщо припустити, що відомими є залежності $p(\psi)$ і $I(\psi)$. У розглядуваній задачі їх обирають так:

$$I(\psi) \equiv \frac{\alpha}{2\pi}, \quad p(\psi) = p_0 e^{-\frac{\psi^2}{q^2}}. \quad (2)$$

Крайова задача для рівняння (1) розглядається в області Ω (часто це круг $\Omega = \{r < R\}$) з крайовою умовою:

$$\psi|_{\partial\Omega} = C = \text{const}, \quad (3)$$

яке означає, що межа циліндра є магнітною поверхнею.

Стала C є невідомою її потрібно визначати з деякого додаткового співвідношення. Наприклад, стали C рекомендують вибрати так, щоб $\psi|_{\rho=0} = 0$. Така умова забезпечить максимум тиску $p(\psi)$ на осі циліндра.

Основними чисельними методами, які на сьогодні застосовуються при розв'язанні задач плазмостатики, є метод скінченних різниць та метод скінченних елементів. Незважаючи на їх поширеність, вони мають певні недоліки, пов'язані перш за все з тим, що не завжди можуть аналітично врахувати у своїх алгоритмах геометричну інформацію, яка міститься у постановці задачі. Точне урахування усіх видів інформації (як аналітичного, так і геометричного характерів) можливо за допомогою структурного методу (методу R -функцій), запропонованого академіком НАН України В.Л. Рвачовим [2]. Суть цього методу полягає у побудові жмуків функцій (структур розв'язку), які залежать від невизначених компонент і незалежно від їх вибору точно задовольняють всім крайовим умовам задачі. Для нашої задачі структура розв'язку може бути обраною у вигляді $\psi = C + \omega\Phi$, де $\omega = 0$ – рівняння межі $\partial\Omega$, Φ – невизначена компонента.

Для апроксимації невизначеної компоненти Φ можна скористатися, наприклад, варіаційними методами [3].

Обчислювальний експеримент було проведено для випадку кругової області Ω і п'яти провідників, занурених у плазму. Щільність струмів провідників, була обрана у вигляді $j_z^{ex} = \frac{1}{5} \sum_{l=0}^4 \frac{1}{\rho} \delta\left(\rho - \rho_0, \omega - \frac{2\pi l}{5}\right)$. Було обрано також $R = 3$, $\rho_0 = 1$, $\alpha = 1,5$, $p_0 = 0,75 \cdot 10^{-3}$, $q = 0,05$.

Список використаних джерел:

1. Брушлинский, К. В. (2009). *Математические и вычислительные задачи магнитной газодинамики*. БИНОМ. Лаборатория знаний.
2. Рвачев В. Л. (1982). *Теория R-функций и некоторые её приложения*. Наукова думка.
3. Михлин С. Г. (1970). *Вариационные методы в математической физике*. Наука.

УДК 004.85:517.2

ЗАСТОСУВАННЯ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО РІВНЯННЯ ГЕЛЬМГОЛЬЦЯ

Школін О.В.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Гибкіна Н.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38(050) 323-65-43, email: oleh.shkolin@nure.ua

This work is devoted to developing and training a convolutional neural network to model acoustic wave distribution inside the simplified human skull in 2 dimensions. The neural network is trained in a fixed-point iteration manner, where at each iteration the PDE loss is minimized. The PDE is defined to be an inhomogeneous Helmholtz differential equation where the discretization and derivatives computation is performed by Fourier spectral method. The resulting method allows to compute the solution with float precision faster than classical methods.

Рівняння Гельмгольца часто виникає при вивченні фізичних процесів, які моделюються рівняннями в частинних похідних, залежних як від просторових, так і від часової змінної. Рівняння Гельмгольца є незалежною від часу формою хвильового рівняння, яке одержується як результат застосування техніки відокремлення змінних для зменшення вимірності задачі. Отримане диференціальне рівняння має наступний вигляд:

$$\Delta u(x) + \frac{\omega^2}{c(x)^2} u(x) = f(x),$$

де $u \in C^2(\Omega)$, $\Omega \subset \mathbb{R}^2$ – шукана функція амплітуди розповсюдження звукових хвиль у просторі; $\omega \in \mathbb{R}_+$ – кутова частота джерела хвиль; $c(x)$ – функція розподілу швидкості звуку у просторі; $f(x)$ – функція-індикатор джерела у просторі; $x = (x_1, x_2)$.

Існує багато методів чисельного розв'язання диференціальних рівнянь. Найбільш популярні серед них – це метод скінченних об'ємів, метод скінченних елементів та метод скінченних різниць. Всі вони дискретизують початкове рівняння на заданій сітці та в результаті зводять задачу розв'язання диференціального рівняння до розв'язання скінченної системи лінійних рівнянь.

У даній роботі пропонується розв'язати задачу для рівняння Гельмгольца, застосувавши згорткову нейронну мережу UNet, яка була натренована за допомогою наступного ітеративного метода [1]:

$$r_k = \left(\Delta + \frac{\omega^2}{c^2} \right) u_k - f,$$
$$(\delta u_{k+1}, h_{k+1}) = \text{UNet}(u_k, r_k, h_k),$$

$$u_{k+1} = u_k + \delta u_{k+1},$$

де $u_k \in \mathbb{C}^{N \times N}$ – k -та апроксимація розв’язку рівняння Гельмгольца, дискретизована на скінченній сітці розміром $N \times N$; $f \in C^{N \times N}$ – дискретизація функції джерела; $c \in \mathbb{R}_+^{N \times N}$ – дискретизація функції розподілу швидкості звуку у просторі; $h_k \in \mathbb{R}^{N \times N}$ – матриця стану нейронної мережі на k -й ітерації.

Функція втрат, яка мінімізується за параметрами моделі, має наступний вигляд:

$$L = \sum_{k=0}^T \|r_k\|^2$$

для фіксованого горизонту T . Мінімізація проводиться за параметрами нейронної мережі за допомогою алгоритму стохастичного градієнтного спуску Adam [2].

Дискретизація диференціального оператора $\Delta + \frac{\omega^2}{c^2}$ проводиться за допомогою спектрального метода Фур’є [3], суть якого полягає в тому, що похідна функції може бути обчислена у просторі частот добутком на набір хвильових чисел:

$$f' = \mathcal{F}^{-1} \{ ik \mathcal{F} \{ f \} \},$$

де $\mathcal{F}$ та $\mathcal{F}^{-1}$ – пряме та обернене перетворення Фур’є; k – набір хвильових чисел, $i^2 = -1$.

Умова абсорбції хвиль на межі розглядуваної області виконується за допомогою підходу PerfectlyMatchedLayer (PML) [4], який модифікує обчислення градієнта так:

$$\frac{\partial}{\partial x} \rightarrow \frac{1}{1 + i \frac{\sigma_x(x)}{\omega}} \frac{\partial}{\partial x},$$

де $\sigma_x(x)$ – деяка зростаюча функція в області дії PML.

Список використаних джерел:

1. Stanziola, A., Arridge, S. R., Cox, B. T., & Treeby, B. E. (2021). A Helmholtz equation solver using unsupervised learning: Application to transcranial ultrasound. *Journal of Computational Physics*, 441, 110430.
2. Kingma, D. and Ba, J. (2015). Adam: A Method for Stochastic Optimization. *Proceedings of the 3rd International Conference on Learning Representations (ICLR 2015)*.
3. Smith, J. O. (2007). *Mathematics of the Discrete Fourier Transform (DFT) with Audio Applications*. 2nd Ed. W3K Publishing.
4. Johnson, S. (2021). *Notes on Perfectly Matched Layers (PMLs)*.

**ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МОВИ МОДЕЛЮВАННЯ
БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ДЛЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ
ВИРОБНИЦТВОМ НА БАЗІ ПЛАТФОРМИ DELMIA APRISO**
Штих С.В.

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Поляков А.О.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна
тел. +38 (098) 238-80-71, email: serhii.shtykh@nure.ua

Business process modeling is essential for understanding and improving an organization's activities. By constantly improving their processes, organizations can remain competitive in the market and meet changing customer needs. The DELMIA Apriso platform is applied to the manufacturing execution system (MES) to improve production processes by providing real-time visibility, control, and monitoring of manufacturing operations. To understand and effectively deploy the system, a business process model reflecting the state of business processes is required, and its language should fully reflect the components and systems of the DELMIA Apriso platform.

Моделювання бізнес-процесів є важливим інструментом для організацій, який допомагає їм зрозуміти та вдосконалити свою діяльність. У сучасному мінливому бізнес-середовищі для організацій як ніколи важливо бути гнучкими та швидко реагувати на зміни на ринку, і моделювання бізнес-процесів може допомогти їм досягти цього [1]. Моделювання бізнес-процесів дозволяє:

- покращення розуміння бізнес-процесів: дозволяє організаціям скласти карту своїх поточних процесів і визначити сфери для вдосконалення. Таке розуміння може допомогти організаціям оптимізувати свої процеси і підвищити ефективність, що призведе до економії витрат і поліпшення задоволеності клієнтів;

- підвищення гнучкості та швидкості реагування: маючи чітке розуміння бізнес-процесів, організації можуть швидко адаптуватися до змін на ринку або внутрішніх змін в організації, що дозволяє їм бути більш гнучкими та реагувати на потреби клієнтів і змін в конкурентному середовищі;

- краща комунікація та співпраця: забезпечує спільну мову та основу для спілкування зацікавлених сторін щодо бізнес-процесів. Це може допомогти покращити співпрацю між відділами та окремими особами, що призведе до кращого узгодження та ефективнішого прийняття рішень;

- відповідність та управління ризиками: може допомогти організаціям відповідати нормативним вимогам та управляти ризиками. Складаючи карту процесів і визначаючи потенційні ризики, організації можуть вжити проактивних заходів для зменшення цих ризиків і забезпечення дотримання нормативних вимог;

– постійне вдосконалення: забезпечує основу для постійного вдосконалення. Регулярно переглядаючи та оптимізуючи бізнес-процеси, організації можуть постійно вдосконалювати свою діяльність і залишатися конкурентоспроможними на ринку.

Отже, моделювання бізнес-процесів має важливе значення для розуміння та вдосконалення діяльності організацій. Воно забезпечує візуальне представлення бізнес-процесів, що може допомогти виявити неефективність, вузькі місця та сфери для вдосконалення. Постійно вдосконалюючи свої процеси, організації можуть залишатися конкурентоспроможними на ринку і задовольняти мінливі потреби клієнтів. Платформа DELMIA Apriso застосовується для системи управління виробництвом (MES), щоб вдосконалити виробничі процеси, забезпечуючи видимість, контроль і моніторинг виробничих операцій в режимі реального часу. Для розуміння та ефективного розгортання системи необхідно мати модель бізнес-процесів яка б відбивала стан бізнес процесів, а її мова дозволяла у повній мірі відбиватися на компоненти та системи платформи DELMIA Apriso.

Можна виділити декілька основних мови моделювання бізнес-процесів таких як бізнес-процес моделювання нотація (BPMN), Event-driven process chain (EPC), Flowchart та IDF0 (Integration Definition for Function Modeling). Кожна з цих мов фокусується на деякі аспекти та їм притомний свій спектр підходів до моделювання [2]:

– BPMN являється графічною мовою моделювання бізнес-процесів, що дозволяє описати послідовність дій, умови та взаємодію між учасниками бізнес-процесу[3];

– EPC дозволяє описати послідовність дій, умови та взаємодію між учасниками бізнес-процесу, а також події, які можуть вплинути на процес;

– Flowchart дозволяє використовувати графічні символи для опису послідовності дій, учасників та ресурсів в бізнес-процесі;

– IDF0 використовується для опису функцій та взаємодії різних компонентів системи, частіше за все використовується для моделювання складних систем і процесів, а також може бути корисною при проектуванні та аналізі виробничих процесів [4].

1. Paranytsia, N., Paranytsia, S., & Bulychov, O. (2022). Methodology for modeling biznes-processiv. *Ekonomika ta derzhava*,. 3, 59.

2. Geambaşu, C.V. (2012). BPMN vs. UML Activity Diagram for Business Process Modeling. *Accounting and Management Information Systems*, 11 (4), 637–651.

3. *Business Process Model and Notation* / Object Management Group. – Вер. 2.0. (2011). URL: <https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/PDF>.

4. Geiger, M. & oth. (2018). BPMN 2.0: The state of support and implementation. *Future Generation Computer Systems*, 80, 250–262. DOI: 10.1016/j.future.2017.01.006.

СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙ ЛЮДИНИ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМІВ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ

Ювченко К.С.

Науковий керівник – канд. техн. наук., доц. Єсілевський В.С.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. (050) 042-73-80, email: kateryna.iuvchenko@nure.ua

In our research, we introduce and implement a flexible framework for constructing convolutional neural networks (CNNs) that are capable of real-time processing. We validate the effectiveness of our models by creating a real-time vision system that combines face detection and emotion classification tasks using our proposed CNN architecture. We provide details of the training procedure setup and evaluate our models on standard benchmark datasets. Our results show an accuracy of 66% on the FER-2013 emotion dataset.

Емоційний стан демонструє внутрішній стан людини та її ставлення до навколишнього світу. Технології розпізнавання емоцій використовуються у різних галузях, таких як покращення обслуговування клієнтів, співбесіди з кандидатами та оптимізація реклами.

Мета цієї роботи – розробка системи, що визначає емоційний стан людей на відео на основі міміки.

Було запропоновано створити структуру згорткової нейронної мережі (CNN), що працює в режимі реального часу, виконує завдання розпізнавання обличчя та класифікації емоцій одночасно. Модель буде оцінена на тестовому наборі даних, демонструючи точність 66% на наборі даних FER-2013, що включає 7 класів емоцій.

Платформи роботів, що вирішують подібні завдання, потребують надійних та ефективних систем аналізу особи. У цій статті пропонуємо реалізацію загальної структури CNN для використання в реальному часі. Сучасні методи в області зображень, такі як класифікація та виявлення об'єктів, засновані на згорткових нейронних мережах з мільйонами параметрів, що ускладнює їх розгортання на платформах роботів та системах реального часу.

CNN – це версії багатошарових перцептронів з регуляризацією. Багатошарові перцептрони зазвичай означають мережі з повною зв'язністю, де кожен нейрон з'єднаний з усіма наступними нейронами. Проте ця повна зв'язність може призводити до перенавчання. CNN використовують інший підхід до регуляризації, використовуючи ієрархічний шаблон в даних та збираючи шаблони зростання складності з менших та простіших візерунків у їх фільтрах. Таким чином, CNN забезпечують меншу зв'язність та складність, порівняно з іншими моделями.

Було запропоновано дві моделі, які були оцінені з точки зору їх точ-

ності відносно кількості параметрів. Моделі були розроблені з метою досягнення найкращої точності при мінімальній кількості параметрів. Зменшення кількості параметрів допомагає нам подолати проблеми, такі як обмеження обчислювальних ресурсів, наприклад на робототехнічних платформах.

Наша перша модель базується на ідеї видалення повністю пов'язаних шарів, тоді як інша модель комбінує видалення повністю пов'язаних шарів з роздільними згортками в глибину та залишковими модулями. Обидві архітектури були навчені за допомогою оптимізатора ADAM [1].

Результати наших експериментів показали, що обидві запропоновані моделі досягають високої точності при мінімальній кількості параметрів. Модель, яка базується на видаленні повністю пов'язаних шарів, демонструє високу швидкість розпізнавання та ефективне використання ресурсів обчислювальної системи.

Друга модель, яка комбінує видалення повністю пов'язаних шарів з роздільними згортками в глибину та залишковими модулями, показала високу точність в розпізнаванні обличчя, зокрема в умовах змінної освітленості та різних ракурсів. Це може бути корисно для розпізнавання обличчя в реальних ситуаціях, таких як системи безпеки, автоматичне розпізнавання особи на вході в приміщення, або в системах розпізнавання емоцій та виразів обличчя в режимі реального часу.

Ми запропонували та випробували власну архітектуру CNN, яка може працювати в режимі реального часу. Архітектури були розроблені з урахуванням зменшення кількості параметрів. Було продемонстровано, що моделі можуть бути успішно використані для класифікації багатокласових задач навіть в режимі реального часу. Конкретно, було розроблено комп'ютерну систему зору, яка здійснює розпізнавання облич та класифікацію емоцій в одному інтегрованому модулі.

Показники результатів збігаються з показниками людського рівня у наших задачах класифікації за допомогою єдиної CNN, яка використовує сучасну архітектуру.

Список використаних джерел:

1. Diederik Kingma, Jimmy Ba. Adam. (2014). *A method for stochastic optimization*. <https://arxiv.org/pdf/1412.6980.pdf>.
2. Francois Chollet. (2016). *Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions*.
3. Valueva M. V., Nagornov N. N., Lyakhov P. A., Valuev G. V., Chervyakov N. I. (2020). *Application of the residue number system to reduce hardware costs of the convolutional neural network implementation*.

ЗАСТОСУВАННЯ ДВОБІЧНИХ ІТЕРАЦІЙНИХ МЕТОДІВ У МАТЕМАТИЧНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ТЕРМОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ (ОДНОВИМІРНИЙ ВИПАДОК)

Янбеков Р.Я.

Науковий керівник – д-р фіз.-мат. наук, проф. Сидоров М.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. +38 (066) 373-00-08, email: ravid.yanbekov@nure.ua

The paper considers the application of bilateral iterative methods to the solution of the first boundary value problem for an ordinary semi-linear differential equation with the Helmholtz operator, which occurs in mathematical modeling of thermochemical processes.

При математичному моделюванні стаціонарних термохімічних процесів, що відбуваються у плоскому шарі $0 \leq x \leq l$, приходять до наступної нелінійної крайової задачі для звичайного диференціального рівняння:

$$-u'' = f(x, u), \quad 0 < x < l, \quad (1)$$

$$u(x) > 0, \quad 0 < x < l, \quad (2)$$

$$u(0) = u(l) = 0. \quad (3)$$

Тут функція $f(x, u)$ відповідає нелінійним джерелам тепловиділення, джерелам речовини при дифузії тощо. Типовою є ситуація, коли $f(x, u) = -qu + g(x, u)$, де $g(x, u)$ є неперервною та додатною при $x \in [0, l]$, $u > 0$ функцією. Доданок qu описує джерела чи стоки тепла або речовини при хімічній реакції, які пропорційні температурі. При цьому значенню $q > 0$ відповідає сток, а $q < 0$ – джерелу. Позначивши $q = \pm \kappa^2$, від задачі (1) – (3) ми приходимо до задачі

$$-u'' \pm \kappa^2 u = g(x, u), \quad 0 < x < l, \quad (4)$$

$$u(x) > 0, \quad 0 < x < l, \quad (5)$$

$$u(0) = u(l) = 0. \quad (6)$$

У роботі [2] для випадку рівняння $-u'' + \kappa^2 u = g(x, u)$ було обґрунтовано застосування методу двобічних наближень на основі використання функції Гріна. Цей метод полягає у переході від диференціальної задачі до еквівалентного інтегрального рівняння Гаммерштейна, ядром якого є функції Гріна першої крайової задачі для оператора Гельмгольца $-u'' + \kappa^2 u$. Ця функція Гріна має вигляд

$$G(x, s) = \frac{1}{\kappa \operatorname{sh} l \kappa} \begin{cases} \operatorname{sh} \kappa x \operatorname{sh} \kappa(l - s), & 0 \leq x \leq s, \\ \operatorname{sh} \kappa s \operatorname{sh} \kappa(l - x), & s \leq x \leq l, \end{cases}$$

і є невід'ємною в квадраті $0 \leq x, s \leq l$. Такі її властивості дають змогу застосувати для обґрунтування методу двобічних наближень теорію нелінійних операторів у напівопорядкованих просторах [3].

Але ж до рівняння $-u'' - \kappa^2 u = g(x, u)$ цей підхід не може бути застосо-

ваний, оскільки функція Гріна першої крайової задачі для оператора Гельмгольца $-u'' - \kappa^2 u$ має вигляд

$$G(x, s) = \frac{1}{\kappa \sin l \kappa} \begin{cases} \sin \kappa x \sin \kappa(l - s), & 0 \leq x \leq s, \\ \sin \kappa s \sin \kappa(l - x), & s \leq x \leq l, \end{cases}$$

і, по-перше, існує лише, якщо $l\kappa \neq \pi k$, $k \in \mathbb{N}$, а, по-друге, не завжди є невід'ємною у квадраті $0 \leq x, s \leq l$. Запишемо рівняння $-u'' - \kappa^2 u = g(x, u)$ у вигляді $-u'' = \kappa^2 u + g(x, u)$. Тоді відповідна крайова задача буде еквівалентною інтегральному рівнянню:

$$u(x) = \int_0^l G(x, s) [\kappa^2 u(s) + g(s, u(s))] ds, \quad (7)$$

де $G(x, s) = \frac{1}{l} \begin{cases} x(l - s), & 0 \leq x \leq s, \\ s(l - x), & s \leq x \leq l, \end{cases}$ – функція Гріна першої крайової задачі для оператора $-u''$.

Рівняння (7) розглядатимемо як операторне рівняння $u = T(u)$ у просторі $C[0, l]$, напіворядкованому конусом K_+ . Якщо функція $g(x, u)$ дозволяє діагональне подання $g(x, u) = \hat{g}(x, u, u)$, де функція $\hat{g}(x, v, w)$ зростає за v і спадає за w , то оператор T , який визначається правою частиною рівняння (7) буде гетеротонним. Тоді за умови існування для нього сильно інваріантного конусного відрізка $\langle v_0, w_0 \rangle$ можна сформулювати ітераційний процес:

$$\begin{aligned} v^{(k)}(x) &= \int_0^l G(x, s) [\kappa^2 v^{(k-1)}(s) + \hat{g}(s, v^{(k-1)}(s), w^{(k-1)}(s))] ds, \quad k = 1, 2, \dots, \\ w^{(k)}(x) &= \int_0^l G(x, s) [\kappa^2 w^{(k-1)}(s) + \hat{g}(s, w^{(k-1)}(s), v^{(k-1)}(s))] ds, \quad k = 1, 2, \dots, \\ v^{(0)}(x) &= v_0(x), \quad w^{(0)}(x) = w_0(x), \end{aligned}$$

який на разі збіжності приводить до двобічної послідовності наближень до точного розв'язку $u^*(x)$ крайової задачі.

Список використаних джерел:

1. Пао, С.В. (1992). *Nonlinear parabolic and elliptic equations*. Plenum Press.
2. Сидоров, М.В. (2019). Метод двобічних наближень розв'язання першої крайової задачі для нелінійних звичайних диференціальних рівнянь на основі використання функції Гріна. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*, 1 (48), 57–66.
3. Опойцев, В. И., & Хуродзе, Т. А. (1984). *Нелинейные операторы в пространствах с конусом*. Изд-во Тбилис. ун-та.

УДК 004.89:[519.812-004.89+519.816-004.85]

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ ТРЕНДУ НА ЧАСОВИХ РЯДАХ МАЛОЇ ДОВЖИНИ

Яндуков Д.Є.

Науковий керівник – д-р техн. наук, проф. Кіріченко Л.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна

тел. (057) 702-14-36, email: dmytro.yandukov@nure.ua

This work is devoted to the assessment of the criteria for determining the presence of a trend in short time series, developed on the basis of the k -means method and the method of determining the trend component using the discrete wavelet transformation, and comparing the performance of these methods. A software product was developed to test the hypothesis of no trend and compile static data on the performance of both methods. An analysis was performed to compare the performance of both methods to identify key differences between the methods.

Одним з найбільш важливих завдань при дослідженні та аналізі коротких часових рядів є виявлення та статистична оцінка основної тенденції розвитку досліджуваного процесу. Головним завданням проведеного дослідження є детектування тренду за найменшою кількістю значень часового ряду і на основі цього проведення кластеризації часових рядів методами машинного навчання.

Запишемо множину часових рядів, які потрібно кластеризувати за наявністю трендової складової, у вигляді:

$$S = \{(S_1^0, \dots, S_{N^0}^0), (S_1^1, \dots, S_{N^1}^1), \dots, (S_1^i, \dots, S_{N^i}^i), \dots, (S_1^n, \dots, S_{N^n}^n)\}, \quad (1)$$

де $(S_1^i, \dots, S_{N^i}^i)$ – часові ряди малої довжини, $i = \overline{1, n}$; n – кількість об'єктів, що містяться у файлі з часовими рядами; N^i – довжина часового ряду.

Кожен часовий ряд складається з двох складових, а саме, тренда і шуму:

$$S^i = T(\tau) + \xi / SNR, \quad (2)$$

де $\xi(t) \sim N(0, \sigma)$ – білий шум; $T(\tau)$ – тренд, модель якого вибирається з деякої множини $\tau = \{\text{лінійний, поліноміальний, експоненційний, гіперболічний, логарифмічний}\}$; SNR (signal-to-noise ratio) – це безрозмірна величина, яка дорівнює відношенню сигналу і шуму $SNR = \sigma_{T(\tau)} / \sigma_\xi$.

Метод k -середніх є одним із широко використовуваних методів кластеризації. Спочатку ми задаємо кількість кластерів та відповідні центроїди (центри кластерів) для кожного з них. Далі розподіляємо всі об'єкти за кластерами відповідно до близькості до центрів і знаходимо нові центроїди. Продовжуємо процес доти, доки координати центроїдів не перестануть змінюватися.

Дискретне вейвлет-перетворення – реалізація вейвлет-перетворення з

використанням дискретного набору масштабів та переносів вейвлета, які підпорядковуються певним правилам. Набір вейвлетів формує ортогональний базис, який ми використовуємо для розкладання часового ряду на складові.

За допомогою програмного продукту було проведено аналіз для порівняння кластеризації за різними підходами, різними трендами та відношенням SNR . На рис. 1 показано декомпозицію часового ряду (а) і результати кластеризації методом k -середніх (б). Показано, що якщо не потрібно відокремлювати нетипові часові ряди, метод k -середніх показує досить добрі результати; проте метод вейвлет-розкладання більш гнучкий та показує хороший результат під час роботи в різних умовах.

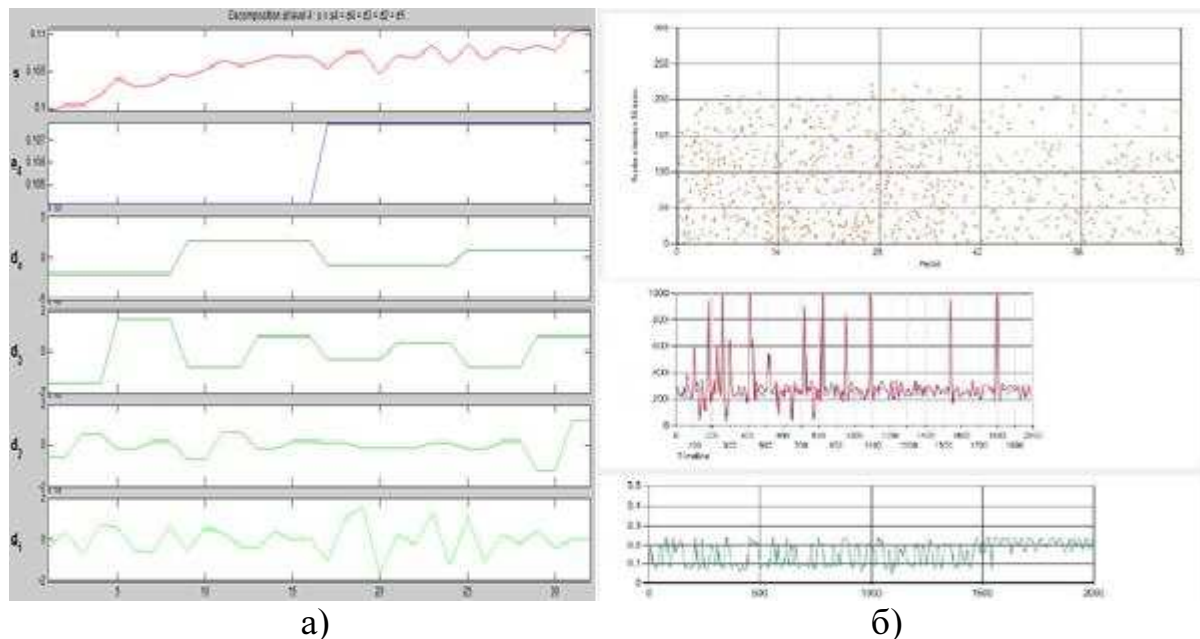


Рисунок 1 – Реалізацій методу: вейвлет-розкладання (а), k -середніх (б)

Список використаних джерел:

1. Кіріченко, Л.О., Ткаченко, А.Є., & Радівілова Т.А. (2019). Кластеризація зашумлених часових рядів. *Системні технології*, 3 (122), 133-139.
2. Зінкевич, І.Е., Кириченко, Л.О., & Радівілова, Т.А. (2017). Порівняльний аналіз методів прогнозування слабкорельованих часових рядів. *Системні технології*, 2 (109), 43-50.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

С		Голубощенко Р.В.	123
Chupryna S.O.	12	Гончаров Д.М.	94
		Гончарова О. В.	60
К		Горгуль Д. О.	16
Khoriakova A.	97	Гречишкін Д.С.	48
Khovrat A.V.	99		
		Д	
L		Дебре В.С.	44
Lukashov D.S.	101	Дрозд О.Ю.	36
		Дудар М.А.	125
N		Є	
Novikov R.K.	74	Єременко І. О.	64
		Єсін К.В.	28
S			
Shpakovych M.	103	Ж	
		Журавель І.О.	127
A			
Авлякулов Т.Е.	78	З	
Антонець О.М.	105	Задрикін А.О.	129
Артьомов Д.О.	82	Задрикін С.О.	131
		Закутній С.В.	133
Б		Зінченко П.П.	135
Бордюг Д.Є.	70	Зошук М.М.	137
Босенко А.М.	92		
Бурячук А.В.	107	І	
		Ільницький В.Б.	139
В		Іщенко О.І.	56
Василенко О.О.	109		
Воробйов М.К.	111	К	
Вороненко М.Д.	113	Калина О.В.	141
		Калініченко А.В.	143
Г		Калініченко А. С.	145
Галін П.К.	115	Капленко Н.В.	147
Гальченко К.Р.	62	Кашкін О.Д.	38
Гвоздєв М.І.	117	Клінов В. О.	72
Гета Д.В.	119	Ковтуненко А.Р.	18
Гирка К.Г.	121	Козуб Д.П.	80

Колісник О.В.	149
Кончаковська О.С.	151
Костенко М.Ю.	153
Кошеленко В.В.	155

Л

Лавошник І. О.	54
Лавров О.Є.	52
Личагіна С. М.	90
Ломія С.Г.	157
Любченко Д.С.	159
Ляшенко Є.С.	161

М

Мазепа А.С.	163
Макляков В. Д.	165
Максименко А.С.	167
Марков Т.Є.	6
Мірошниченко О.О.	169

Н

Навроцький Д.О.	171
Незнанов М.Ю.	173

О

Орлов Д. І.	24
-------------	----

П

Павленко К.О.	175
Перець О.В.	50
Петришин А.Ю.	177
Писаренко С. В.	68
Полозова О.О.	42
Полятикін А.О.	179
Помазан В.В.	30
Попов О.С.	22
Пронюк О.Д.	26
Пучкін М.О.	181
Пшонкіна А.С.	183

Р

Ракітянський Д.Б.	185
Ревака К.І.	58
Резнік Ю.С.	187
Рибалка М. О.	8

С

Савченко А. В.	189
Сергєєв М.О.	191
Сидоренко Б.Ю.	193
Сковородкіна Ю.М.	195
Скударнов М.Д.	10
Слєпцов О.М.	197
Слободенюк І.Ф.	88
Соловей І.В.	32
Спичак П.О.	199
Стецун К.С.	201
Стрекозов А.Д.	203
Суліма В.С.	76, 86

Т

Тарасов Д.К.	46
Титечко П.В.	205
Троян Н.А.	207

У

Удовенко Д.Ю.	209
Уколова К.В.	211

Ф

Фалько М.К.	84
Федосєєнко А.О.	213
Філатов О.Є.	40
Фірулін С.О.	215
Фуніков А.С.	217

Х

Ханін Г.С.	219
Харченко Я.О.	221

Хацько Д. С. 223
Хрипунов І.М. 225

Ч

Чернишов Б.С. 227

Ш

Шевляков А.С. 20
Шевченко С. О. 66
Шелест В. А. 34
Шемаєв Д.І. 14

Шерстнюк Д.В. 229
Школін О.В. 231
Штих С.В. 233

Ю

Ювченко К.С. 235

Я

Янбеков Р.Я. 237
Яндуков Д.Є. 239

ЗМІСТ

КОМП'ЮТЕРНИЙ ЗІР, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

- 1. Комп'ютерний зір та мультимедійні системи 5
- 2. Системний аналіз, математичне та комп'ютерне моделювання. 96

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК 241

«РАДІОЕЛЕКТРОНІКА І МОЛОДЬ У ХХІ СТОЛІТТІ»

Матеріали 27-го Міжнародного молодіжного форуму

Відповідальний випусковий

В.О. Дорошенко

Комп'ютерна верстка

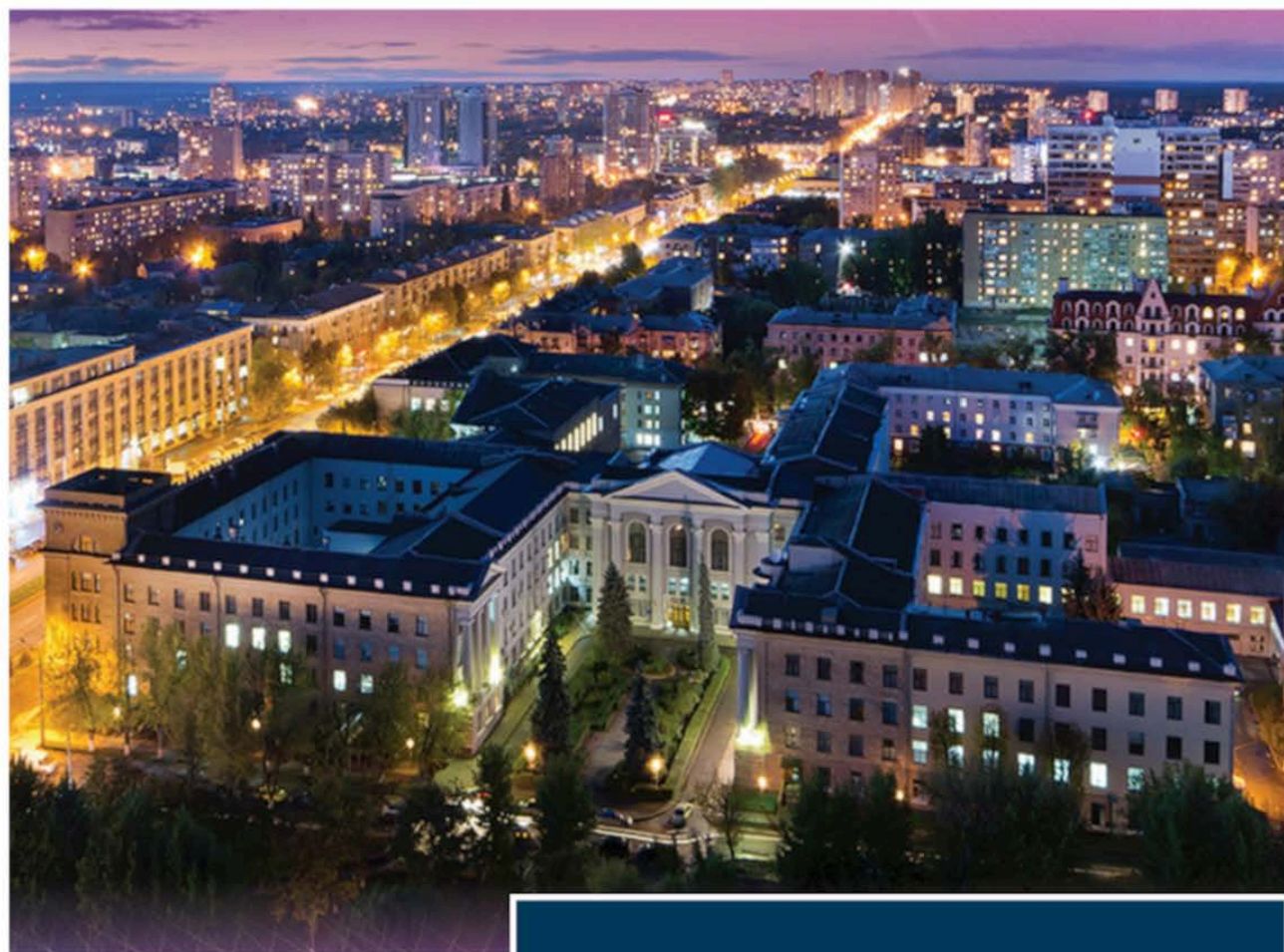
О.В. Мурзабулатова

Матеріали збірника публікуються в авторському варіанті
без редагування



NURE

Харківський національний
університет радіоелектроніки



XXVII Міжнародний
молодіжний форум

"Радіоелектроніка та
молодь у XXI столітті"