

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ISSN 0135-1710

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПРИБОРЫ АВТОМАТИКИ

**Всеукраинский межведомственный
научно-технический сборник**

Основан в 1965 г.

Выпуск 152

Харьков
2010

СОДЕРЖАНИЕ

ВАСЮХІН М.І., ГУЛЕВЕЦЬ В.Д., БОЙКО О.Л., ЛОБАНЧИКОВА Н.М., ЧУКАРІНА Н.М. , ГУЛЕВЕЦЬ Д.В. ШЛЯХИ ПОБУДОВИ ТА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ КОМПОНЕНТІВ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВІЯВЛЕННЯ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ТЕРИТОРІЇ АЕРОПОРТУ.....	4
ДОВБИШ А.С., ЛЩИНСЬКИЙ О.В., ВОСТОЦЬКИЙ В.О. ІНФОРМАЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНИЙ АЛГОРИТМ ПОБУДОВИ УНІМОДАЛЬНОГО КЛАСИФІКАТОРА.....	9
ЗАЙЦЕВА Е.Є., ЧЕРВИНСЬКИЙ В.В., ТУРУПАЛОВ В.В. МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ ЯК ДИСКРЕТНО-БЕЗПЕРЕРВНОГО ОБ'ЄКТА.....	15
ХАХАНОВ В.И., ГУЗЬ О.А., NGENE CHRISTOPHER UMERAN, ОЛЬХОВОЙ В. ПРОЦЕСС МОДЕЛИ АНАЛИЗА АССОЦИАТИВНЫХ СТРУКТУР ДАННЫХ.....	21
КОЗУЛЯ Т.В., ЄМЕЛЬЯНОВА Д.І. МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ ТЕХНОГЕННО- НАВАНТАЖЕНИХ ТЕРИТОРІЙ ЗА КОНЦЕПЦІЄЮ КОРПОРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ.....	27
ЗОТОВ В.Г. СИНТЕЗ ДИСКРЕТНЫХ КОРРЕКТИРУЮЩИХ АЛГОРИТМОВ НА ОСНОВЕ ЧЕБЫШЕВСКОГО РЕШЕНИЯ.....	32
КАКУРИН Н.Я., ЛОПУХИН Ю.В., ВАРЕЦА В.В., КАТАСОНОВ В.В., МАКАРЕНКО А.Н. ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ КОДОВ ПО МЕТОДУ ДОСЧЕТА.....	41
КУЗЬОМІН О. Я., ЛЯШЕНКО В.В. ІДЕНТИФІКАЦІЯ СКЛАДОВИХ ЕКОНОМІЧНИХ КЛАСТЕРІВ У ПРОСТОРІ ПЕРЕТВОРЕНИХ ДАНИХ.....	48
КУЗЬМІН А.А., КЛИМОВ И.Н. МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВ.....	54
КУКУНИН С.В., ЛЫСЕНКОВ Н.А. СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ УСТРОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ZIGBEE.....	59
УДОВЕНКО С.Г., АЛЬХАЙЕК РАНЕМ МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ И ФИЛЬТРАЦИИ КАЛМАНА.....	65
ПАНТЕЛЄЄВ В.В., ТАРАСОВ М.І., ВАКАРЮК О.І. ІНЖЕНЕРНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ xDSL-ЛІНІЙ.....	74
РЕФЕРАТИ.....	84
ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ ДЛЯ АВТОРОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СБОРНИКА.....	88

*М.І. ВАСЮХІН, В.Д. ГУЛЕВЕЦЬ, О.Л. БОЙКО, Н.М. ЛОБАНЧИКОВА,
Н.М. ЧУКАРІНА, Д.В. ГУЛЕВЕЦЬ*

ШЛЯХИ ПОБУДОВИ ТА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ КОМПОНЕНТІВ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ТЕРИТОРІЇ АЕРОПОРТУ

Показуються шляхи побудови та модель взаємодії компонентів геоінформаційної системи виявлення та попередження надзвичайних ситуацій на території аеропорту. Наводиться модель автоматизованої геоінформаційної системи відображення поточної обстановки на території аеропорту дозволяє підвищити рівень захисту від надзвичайних ситуацій.

1. Вступ

Підвищення рівня терористичної діяльності та збільшення матеріальних і людських втрат від вражаючих впливів надзвичайних ситуацій (НС) різного походження, збільшення витрат на їх ліквідацію зумовили широкий спектр досліджень і розробок у сфері систем комплексного захисту аеропорту [1 – 4]. Авіаційна безпека забезпечується комплексом заходів, що передбачають також створення і функціонування служб охорони території аеропортів, повітряних суден, наземному транспорту та огляд членів екіпажу, обслуговуючого персоналу, пасажирів, ручної поклажі, багажу, пошти, вантажів та бортових запасів. Однією з важливих задач системи захисту аеропорту є виявлення та попередження виникнення НС на території аеропорту.

У роботі [2] використовується системний підхід щодо інформатизації управління регіональною безпекою. Автором запропоновано загальну класифікацію НС, принципи створення системи підтримки управлінських рішень із регіональної безпеки, яка спрямована на підвищення ефективності заходів запобігання і реагування на НС природного та техногенного походження, наведено методи розрахунків показників ефективності системи, методи оцінювання ризиків життєдіяльності і господарювання, інструментально-забезпечуючі засоби, модульно-ієрархічна структура прикладної програмної системи, структура організаційної частини системи. Робота присвячена розв'язанню питань підготовки, прийняттю і контролю виконання управлінських рішень із регіональної безпеки щодо ефективної мобілізації ресурсів захисту, раціонального їх використання при ліквідації наслідків НС, запобіжних та рятувальних заходах. Це досягається шляхом системного використання математичних моделей, методів та комп'ютерно-телекомунікаційних засобів і технологій. Ефективність такого підходу підтверджена практичною реалізацією результатів у ряді автоматизованих систем підтримки управлінських рішень із регіональної безпеки, а саме: в автоматизованій системі (АС) «Інформ-Чорнобиль» (Гол. конструктор С.О. Довгий), АС «Центр» (Гол. конструктор М.М. Биченок), АС «Урядова інформаційно-аналітична система з питань НС» (Гол. конструктор О.Г. Додонов) [3, 4]. У Європі та США досить відомими є система IRIS (Німеччина), система RIMNET (Великобританія), ARAC (США). Вони забезпечують постійний контроль за радіаційно-небезпечними об'єктами, здійснюють прогнозування й аналіз наслідків можливих чи реальних аварійних ситуацій, забезпечують інформаційну підтримку захисних заходів. Інтеграція компонентів у єдину систему, донедавна, вирішувалася лише частково – у рамках окремих спеціалізованих підсистем, а саме, пожежної, системи охорони периметру, системи контролю доступу, відеоконтролю.

Недоліками переважної більшості автоматизованих систем виявлення та попередження надзвичайних ситуацій є відсутність: автоматизації процесів прийняття управлінських рішень операторами служб безпеки, які пов'язані з категоризацією суб'єктів погроз за принципом небезпечності, ранжування НС, залучення відповідних силових структур для ліквідації проявів суб'єктів погроз; розроблення автоматизованих систем ідентифікації особистості з використанням декількох біометричних ідентифікаторів, автоматизація процесу визначення місцезнаходження техніки та працівників на території аеропорту, які діють у реальному часі.

Проблема підвищення ефективності управління заходами із запобігання і реагування на надзвичайні ситуації стає все більш актуальним у зв'язку із зростанням втрат і витрат внаслідок реалізації дій суб'єктів погроз виникнення НС. Відповідно в цих умовах зростають вимоги до оперативності та обґрунтованості управлінських рішень.

2. Основна частина

Процеси розвитку і протидії НС подано у вигляді орієнтованого мультиграфа, що зображений на рис. 1, вершини якого відповідають якісно різним станам складових компонентів НС, а дуги – альтернативним подіям, що відбуваються при зміні цих станів. Складові компоненти НС утворюють взаємозалежну множинну тріаду [3]: $C = \{V, X, Z\}$, де $V = \bigcup_v V_v$ –

множина джерел небезпеки, $X = \bigcup_\alpha X_\alpha$ – множина об'єктів ураження, $Z = \bigcup_\beta Z_\beta$ – множина

ресурсів захисту. Зміна станів цих компонентів відбувається під дією факторів $P = \{U, R\}$, де U – множина непересічних підмножин вражаючих впливів W і захисних заходів M , R – множина внутрішніх факторів ураження Q і захисту F . Вважається, що фактори W викликають переходи компонентів у небажані стани, а фактори M – у бажані. Такий підхід дає змогу розглядати управління захисними ресурсами та заходами у вигляді послідовного вибору казуальних зв'язків.

У роботі [2] загальна цільова спрямованість системи досягається шляхом використання системного підходу до створення геоінформаційної системи виявлення та попередження (ГСВтаП) надзвичайних ситуацій (НС). Основними частинами структурного складу системи є функціональна, забезпечуюча та організаційна.

Системний підхід здійснюється за загальними і спеціальними принципами. Перші відображують досвід створення широкого класу автоматизованих систем, незалежно від їх проблемної орієнтації (ефективності, спадкоємності, комплексності, відкритості до розвитку нових задач, єдиної інформаційної бази, модульності, уніфікації та стандартизації).

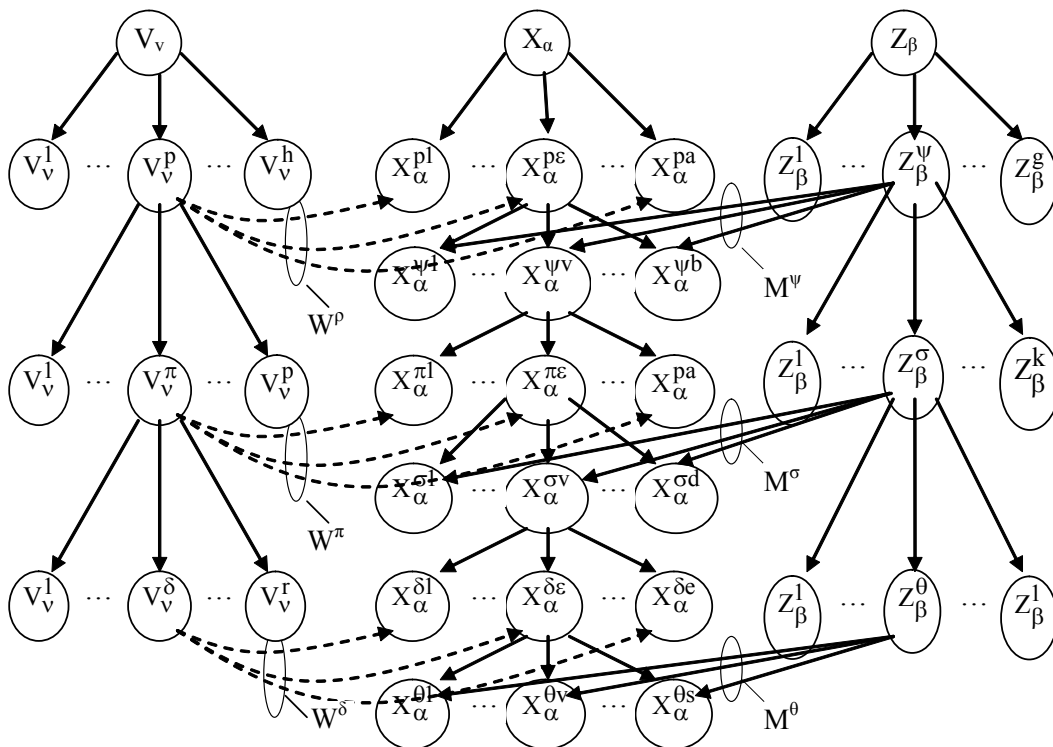


Рис. 1. Структуризація процесів розвитку і протидії НС

Спеціальні принципи зумовлені особливостями даної проблемної галузі. Головними серед них для такого роду систем є принцип випереджаючого реагування. Цей принцип вимагає постійного контролю за джерелами виникнення НС, прогнозування їх появи, оперативного відпрацювання захисних заходів.

Пропонується будувати функціональну частину за принципом прогнозного управління, забезпечуючу частину – за принципом геоінформаційних технологій, організаційну частину – за принципом стереотипних ситуацій.

Пропонується ітераційна процедура системного проектування, яку наведено на рис.2.

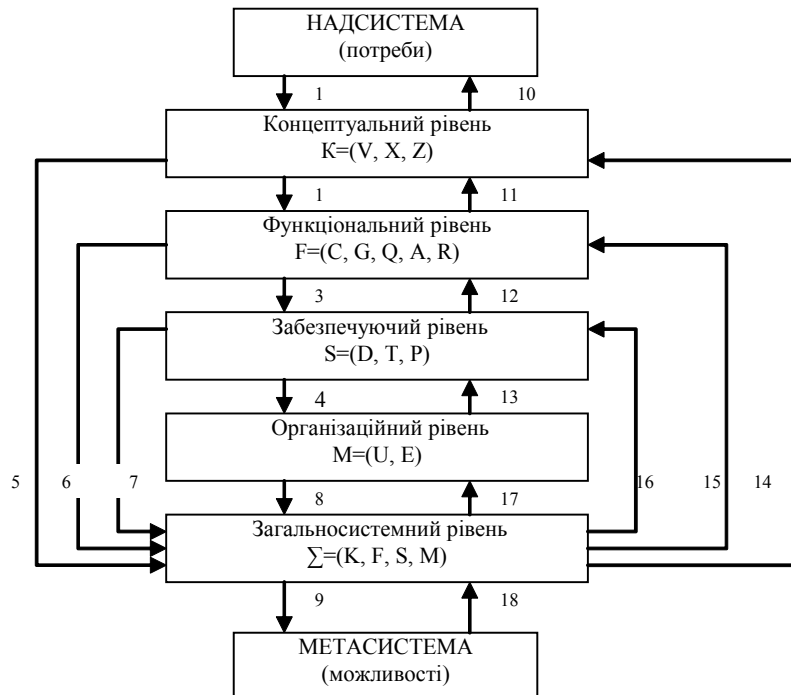


Рис. 2. Ітераційна схема системного проектування системи підтримки управлінських рішень із регіональної безпеки

Процес проектування системи ускладнюється неможливістю чіткого визначення місця і часу виникнення НС, різноманітністю та різнотипністю об'єктів, наявністю великої кількості взаємозв'язаних факторів ураження і захисту, зміною станів компонентів, а також підвищенням рівня інформаційних потреб користувачів, удосконаленням інструментарію. Процес проектування розглядається як поступове зменшення невизначеності уявлень про систему шляхом проведення декомпозиції процесу проектування на послідовні етапи у напрямку до зростання ступеня детальності і повноти цих уявлень. Таким чином, автором виділяються такі етапи системного проектування та однойменні рівні формалізованих описів, а саме: концептуальний (К), функціональний (F), забезпечуючий (S), організаційний (M) та загальносистемний (Σ).

За допомогою прямих і зворотних зв'язків між різними рівнями формалізованих описів реалізується ітераційний характер процесу проектування системи. За допомогою низхідних прямих зв'язків передаються цільові функції: скорочення ймовірних втрат і витрат у НС (1); підвищення якісних показників управління (2); зменшення часу на обробку, збір та видачу даних (3); удосконалення показників організаційно-технологічного рівня процесів підготовки, прийняття і контролю виконання управлінських рішень (4); управління інтерфейсами (5)–(8); необхідного ресурсного забезпечення проектних робіт (9). За допомогою висхідних зворотних зв'язків передаються пропозиції щодо розширення сфери застосування системи (10), удосконалення модельно-алгоритмічного базису (11), удосконалення та модернізації програмно-технічного комплексу (12), реорганізації служб управління і експлуатації (13), розвитку взаємозв'язків і взаємодії системи (14)–(17), припустимого ресурсного забезпечення проектних робіт (18).

Модель взаємодії компонентів ГСВтаП НС на території аеропорту наведено на рис. 3.

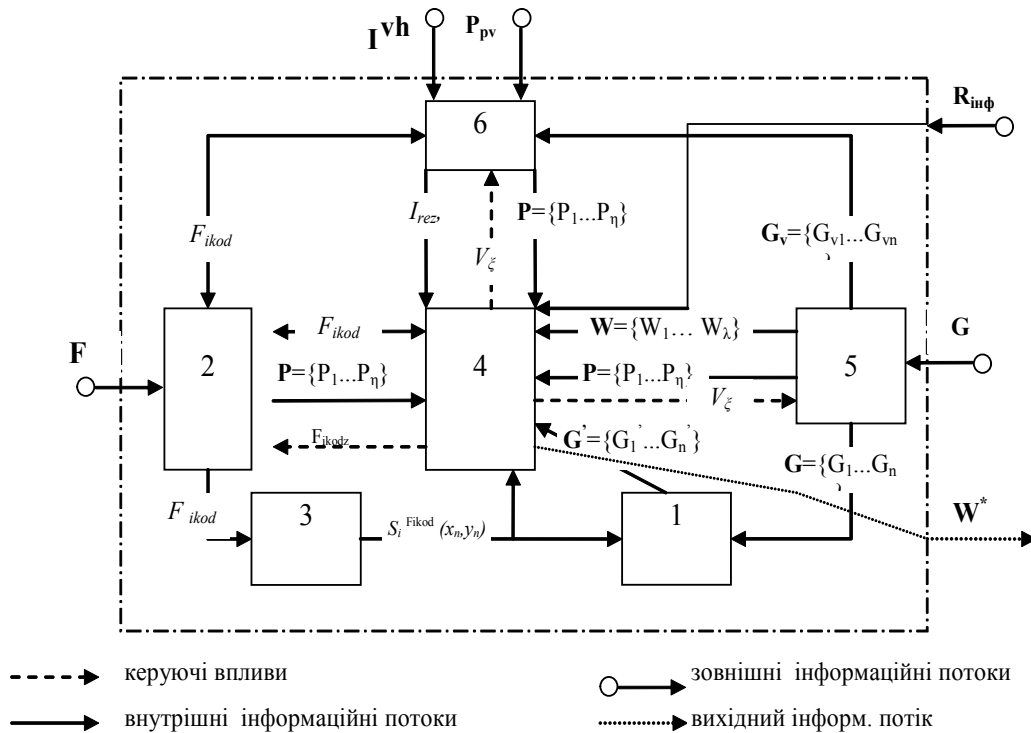


Рис. 3. Модель взаємодії компонентів ГСВтаП НС на території аеропорту

Мета виявлення та попередження досягається синтезом інтегрованих систем, а саме впровадженням: автоматизованої геоінформаційної системи відображення поточної обстановки на території аеропорту (1); підсистеми безконтактної радіочастотної ідентифікації (RFID) (2); автоматизованої системи визначення місцезнаходження пасажирів та персоналу на території аеропорту (3); система підтримки прийняття рішень (СППР) з виявлення та попередження НС на території аеропорту (4); підсистема інтелектуального відеоспостереження (5) [5]; автоматизованої системи високого рівня ідентифікації особистості (6).

Вхідними даними системи є $\mathbf{F} = \{F_i\}$ – множина сигналів RFID-міток, що отримані RFID-зчитувачами, $\mathbf{G} = \{G_1, \dots, G_n\}$ – потік відеоданих, що надходить з відеокамер, $\mathbf{I}^{vh} = \{I_1^{vh} \dots I_n^{vh}\}$ – послідовність звукових файлів і-го мовця типу WAV, формату RIFF, що отримані мікрофонами на входах у контрольовані зони аеропорту, $\mathbf{P}_{pv} = \{P_{pv1} \dots P_{pvn}\}$ – послідовність зображень папілярного відбитку і-го працівника чи пасажирів, що отримані відповідними пристроями-зчитувачами на входах до контрольованих зон аеропорту, $\mathbf{R}_{inf} = \{R_{inf\ i}\}$ – потік інформації, що надходить від ресурсів захисту території аеропорту.

Інформаційні потоки для взаємодії системи складають: F_{ikod} – цифровий код (ідентифікатор), що отриманий від RFID-мітки і-го працівника чи пасажирів та розпізнаний у підсистемі безконтактної радіочастотної ідентифікації; $\mathbf{G}_v = \{G_{v1}, \dots, G_{vn}\}$ – послідовність оцифрованих кадрів у вигляді зображень у форматі BMP, що надходять від відеокамер; $\mathbf{G}' = \{G'_1, \dots, G'_n\}$ – послідовність кадрів для відображення поточної обстановки та місцезнаходження особистості на території аеропорту; $\mathbf{P} = \{P_1, \dots, P_3\}$ – характеристики виявлених суб'єктів погроз; $\mathbf{W} = \{W_1, \dots, W_n\}$ – множина параметрів, що контролюються та аналізуються для визначення категорії НС; $S_i^{Fikod}(x_n, y_n)$ – координати місцезнаходження і-ї особистості на території аеропорту.

Керуючими впливами виступають: F_{ikodz} – ідентифікатор і-ї особистості, місцезнаходження якої необхідно визначити; I_{rez} – рішення про ідентифікацію; V_o – рішення СППР з виявлення та попередження НС на території аеропорту.

3. Висновки

Аналіз відомих недоліків систем-аналогів показує, що недоліками роботи переважної більшості автоматизованих систем виявлення та попередження надзвичайних ситуацій є відсутність автоматизації процесів прийняття управлінських рішень операторами служб безпеки щодо категоризації суб'єктів погроз за принципом небезпечності, ранжування НС, залучення відповідних силових структур для ліквідації проявів суб'єктів погроз; автоматизованих систем ідентифікації особистості з використанням декількох біометричних ідентифікаторів, автоматизації процесу визначення місцезнаходження техніки та працівників на території аеропорту.

Для ліквідації зазначених недоліків запропоновано модель взаємодії компонентів геоінформаційної системи виявлення та попередження надзвичайних ситуацій на території аеропорту для автоматизації процесів прийняття управлінських рішень операторів служб безпеки аеропорту, яка включає автоматизовану геоінформаційну систему відображення поточної обстановки на території аеропорту, підсистему безконтактної радіочастотної ідентифікації (RFID), автоматизовану систему визначення місцезнаходження пасажирів та персоналу на території аеропорту, СППР з виявлення та попередження НС на території аеропорту, підсистему інтелектуального відеоспостереження та автоматизовану систему високого рівня ідентифікації особистості.

Список літератури: 1. *Пюшки Л.* Методы и средства построения автоматизированных интегрированных систем защиты особо важных объектов: дис.канд.техн.наук: 05.13.06 / Пюшки Ласло. К., 2005. 156 с. 2. *Биченок М.М.* Основи інформатизації управління регіональною безпекою / Биченок М.М. К.Інститут національної безпеки, 2005. 196 с. 3. *Васюхін М.І., Лобанчикова Н.М., Креденцар С.М.* Особливості функціонування аеропортів та методи запобігання виникненню надзвичайних ситуацій // Наукові проблеми розробки, модернізації та застосування інформаційних систем: 17 наук.техн.-конф., Житомир, 24-25 квітня 2008: Тези доповідей. Ч.1 / Житомир. військ. ін-т. Житомир: ЖВІ НАУ, 2008. 188с. 4. *Палагин А.В.* Системная интеграция средств компьютерной техники: монография / А.В. Палагин, Ю.С. Яковлев. – Вінниця: «УНІВЕРСУМ–Вінниця», 2005. 680 с. 5. *Васюхін М.І., Лобанчикова Н.М., Пюшки Л.* Аналіз стану побудови автоматизованих інтелектуальних інтегрованих систем моніторингу та запобігання виникненню надзвичайних ситуацій на території аеропорту// Стратегія розвитку України (економіка, соціологія, право): Наук.журнал. Вип. 5.Спецвипуск / Голов. ред. О.П. Степанов. К.: Книжкове вид-во НАУ, 2006. С. 214-218.

Надійшла до редколегії 15.09.2010

Васюхін Михайло Іванович, д-р техн. наук, професор кафедри землевпорядних технологій Національного авіаційного університету. Наукові інтереси: інтерактивні геоінформаційні комплекси оперативної взаємодії. Адреса: Україна, Київ-187, пр. Ак. Глушкова, 40, тел. 526-07-73.

Гулевець Вадим Дмитрович, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри землевпорядних технологій Національного авіаційного університету. Наукові інтереси: управління земельними ресурсами. Адреса: Україна, Київ, вул. Гарматна, 1.

Бойко Олена Леонідівна, аспірант, заступник декана факультету аеропортів Національного авіаційного університету. Наукові інтереси: оцінка землі. Адреса: Україна, Київ, вул. Гарматна, 1, тел. 403-16-38.

Чукаріна Наталія Миколаївна, аспірант, асистент кафедри землевпорядних технологій Національного авіаційного університету. Наукові інтереси: ГІС-технології. Адреса: Україна, Київ, вул. Гарматна, 1.

Лобанчикова Надія Миколаївна, канд. техн. наук, доцент, викладач Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова. Наукові інтереси: системи підтримки прийняття рішень. Адреса: Україна, Житомир, пр. Миру, 22.

Гулевець Дмитро Вадимович, інженер Національного авіаційного університету. Наукові інтереси: інтерактивні геоінформаційні комплекси. Адреса: Україна, Київ, вул. Гарматна, 1.

ІНФОРМАЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНИЙ АЛГОРИТМ ПОБУДОВИ УНІМОДАЛЬНОГО КЛАСИФІКАТОРА

Розглядається в рамках інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології алгоритм навчання системи підтримки прийняття рішень з унімодальним класифікатором, який доцільно використовувати для впорядкованих класів розпізнавання.

Вступ

Підвищення функціональної ефективності автоматизованих систем керування (АСК) складними технологічними процесами, що функціонують за умови апріорної невизначеності, на практиці досягається шляхом надання їм властивості адаптивності на основі машинного навчання та розпізнавання образів [1 – 3]. Одним із перспективних підходів щодо аналізу і синтезу інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень (СППР), яка входить до складу сучасної адаптивної АСК, є використання ідей і методів інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІ-технологія), що ґрунтується на максимізації інформаційної спроможності СППР шляхом введення у процесі навчання додаткових інформаційних обмежень [4,5].

У наукових працях [6 – 8] розглядалося питання оптимізації у рамках ІЕІ-технології просторово-часових параметрів функціонування, які впливають на функціональну ефективність СППР для мультимодального класифікатора, що характеризується наявністю декількох центрів розсіювання реалізацій класів із заданого алфавіту. Але на практиці існують задачі, які потребують застосування унімодального класифікатора з одним загальним центром розсіювання для реалізацій усіх класів розпізнавання. До цих задач відносяться, наприклад, задачі керування із триальтернативною системою оцінок типу «Норма», «Менше норми» і «Більше норми».

У статті запропоновано алгоритм навчання СППР з оптимізацією контрольних допусків на ознаки розпізнавання для унімодального класифікатора.

1. Постановка задачі

Нехай для алфавіту нечітких класів розпізнавання $\{X_m^0 \mid m = \overline{1, M}\}$, які характеризують M допустимих функціональних станів складного організаційно-технічного комплексу, сформовано апріорно класифіковану нечітку навчальну матрицю типу «об'єкт-властивість» $\|y_{m,i}^{(j)}\|$, $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, n}$, де N , n – кількість ознак розпізнавання і випробувань відповідно. Крім того дано вектор параметрів функціонування СППР $g = \langle x_1, d_{m,1}, d_{m,2}, \delta \rangle$, де x_1 δ – еталонний вектор-реалізація базового класу X_1^0 , який визначає геометричний центр унімодального класифікатора – центр розсіювання векторів-реалізацій усіх класів розпізнавання; $d_{m,1}$, $d_{m,2}$ – менший і більший радіуси контейнера класу X_m^0 , що відновлюється в радіальному базисі простору ознак розпізнавання, відповідно; δ – параметр поля контрольних допусків. При цьому задано такі обмеження: $x_1 \in \Omega_B$, де Ω_B – бінарний простір ознак розпізнавання (Хеммінга); $d_{m,1} = d_{m-1,2} < [0; d(x_m \oplus x_c) - 1]$, де $d(x_m \oplus x_c)$ – кодова відстань центру класу X_m^0 від центру найближчого (сусіднього) до нього класу X_c^0 і параметр $\delta \in [0; \delta_H / 2]$, де δ_H – нормоване (експлуатаційне) поле допусків для відносної шкали вимірювання ознак, яке є областю значень для параметра контрольного поля допусків δ . При цьому нижній допуск на i -ту ознаку дорівнює $A_{H_i} = y_{1,i} - \delta$, а верхній допуск – $A_B = y_{1,i} + \delta$. Тут $y_{1,i}$ – i -та ознака еталонного вектора-реалізації y_1 базового класу X_1^0 . На етапі навчання необхідно оптимізувати параметри навчання за усередненим інформаційним критерієм функціональної ефективності (КФЕ)

де E_m^* – глобальний максимум інформаційного КФЕ навчання СППР розпізнавати реалізації класу X_m^0 , що знаходиться в робочій області визначення його функції, і на етапі екзамену прийняти високостовірне рішення про належність вектора-реалізації образу, що розпізнається, до деякого класу із заданого алфавіту $\{X_m^0\}$.

Категорійну модель побудови унімодального класифікатора для побудови оптимального (тут і далі в інформаційному розумінні) розбиття простору ознак на класи розпізнавання, яке утворює сукупність вирішальних правил, або класифікатор, подамо у вигляді діаграми відображень множин. Як і у випадку мультимодальності розподілу реалізацій образу категорійна модель унімодальної СППР містить оператор формування вхідного математичного опису (багатовимірної навчальної матриці типу «об'єкт-властивість»)

де G – простір входних сигналів (факторів), які діють на СППР; T – множина моментів часу зняття інформації; Ω – простір ознак розпізнавання; Z – простір можливих функціональних і технічних станів СППР; Y – вибіркова множина значень рецепторів (вхідна навчальна матриця).

Крім того, для інформаційно-екстремального класифікатора обов'язковими є оператори:

- побудови у загальному випадку нечіткого розбиття $\tilde{\mathfrak{R}}^{[M]}$ простору ознак на класи розпізнавання

– перевірки основної статистичної гіпотези про належність реалізації $x_m^{(j)}$ класу X_m^O

$$\Psi: \tilde{\mathcal{R}}^{[M]} \rightarrow \mathcal{I}^{[I]}, \quad (4)$$

де $I^{[1]} = \{\gamma_1, \dots, \gamma_l\}$ – множина статистичних гіпотез;

- формування за результатами перевірки основної статистичної гіпотези множини точнісних характеристик

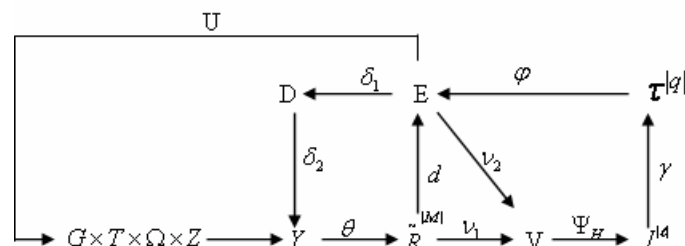
де $q = l^2$ – кількість точнісних характеристик;

де $q = l^2$ – кількість точнісних характеристик;

– обчислення терм-множини E , елементами якої є значення КФЕ навчання СППР як функціонала від точнісних характеристик

Аналогічно діаграма відображення множин, що формуються при навчанні унімодальної

Аналогічно діаграма відображення множин, що формуються при навчанні унімодальної СППР, у зворотному зв'язку містить побудовані за принципом повної композиції контури оптимізації відповідних параметрів навчання. Основною відмінністю моделі унімодальної СППР є наявність додаткового контуру вибору відповідного вирішального правила для реалізації оператора перевірки основної статистичної гіпотези. На рис. 1 з урахуванням виразів (2)–(6) показано діаграму відображення множин, що формуються в процесі навчання унімодальної СППР з оптимізацією системи контрольних допусків (СКД) на ознаки розпізнавання.



У діаграмі (рис.1) терм-множина D складається із допустимих значень СКД на ознаки розпізнавання, а множина V є впорядкованим вектором вирішальних правил. Контур

$$\boxed{\rightarrow v_1 \rightarrow \Psi_H \rightarrow \gamma \rightarrow \varphi \rightarrow d} \quad (7)$$

оптимізує геометричні параметри побудованих у радіальному базисі простору ознак розпізнавання контейнерів класів розпізнавання, а послідовність операторів контуру

$$\boxed{\rightarrow \theta \rightarrow v_1 \rightarrow \Psi_H \rightarrow \gamma \rightarrow \varphi \rightarrow \delta_1 \rightarrow \delta_2} \quad (8)$$

оптимізує контрольні допуски на ознаки розпізнавання. У контурі (7) оператор v_1 відображує розбиття $\tilde{\mathcal{R}}^{[M]}$ на відповідні вирішальні правила, оператор Ψ_H перевіряє основну статистичну гіпотезу за відповідним вирішальним правилом і оператор d змінює геометрію контейнерів відповідних класів розпізнавання. Таким чином, для унімодального класифікатора оператор (4) розглядається як композиція операторів $\Psi = v_1 \circ \Psi_H$. У контурі (8) оператор δ_1 дає дозвіл на формування наступних кроків навчання СППР у процесі пошуку глобального максимуму КФЕ в робочій області його визначення, а оператор δ_2 формує відповідні контрольні допуски на ознаки розпізнавання.

Специфічним контуром для діаграми відображення множин при побудові унімодального класифікатора є контур

$$\boxed{\rightarrow \Psi_H \rightarrow \gamma \rightarrow \varphi \rightarrow v_2} \quad (9)$$

де v_2 – оператор переходу до наступного вирішального правила після оптимізації контейнера попереднього класу розпізнавання.

Оператор $U: E \rightarrow G \times T \times \Omega \times Z$ регламентує процес навчання СППР.

3.Алгоритм побудови унімодального класифікатора

Алгоритм навчання унімодальної СППР з оптимізацією СКД на ознаки розпізнавання, як і для мультимодальної, полягає у реалізації структурованої двоциклічної ітераційної процедури пошуку глобального максимуму інформаційного КФЕ (1) в робочій області визначення його функції. Для інформаційно-екстремального алгоритму паралельної оптимізації СКД, при якому параметр поля контрольних допусків δ_K змінюється одночасно для всіх ознак розпізнавання, така процедура має вигляд

$$\delta_K^* = \arg \max_{G_\delta} \{ \max_{G_E} \bar{E} \}, \quad (10)$$

де G_δ – область допустимих значень відповідних контрольних допусків на ознаки розпізнавання; G_E – область допустимих значень інформаційного КФЕ (1) навчання СППР.

У процедурі (10) внутрішній цикл реалізує базовий алгоритм навчання [1], основними задачами якого є:

- обчислення інформаційного КФЕ навчання СППР;
- пошук глобального максимуму КФЕ в робочій (допустимій) області визначення його функції;
- оптимізація геометричних параметрів контейнерів класів розпізнавання.

При цьому специфіка базового алгоритму навчання унімодальної СППР полягає у відсутності процедури визначення для кожного класу найближчого сусіда, оскільки класи розпізнавання априорно є впорядкованими, що суттєво підвищує оперативність навчання.

Розглянемо у рамках ІЕІ-технології алгоритм навчання унімодальної СППР з паралельною оптимізацією контрольних допусків на ознаки розпізнавання (11). Вхідні дані: масив реалізацій класів розпізнавання $\{y_{m,i}^{(j)} \mid m = \overline{1, M}; i = \overline{1, N}; j = \overline{1, n}\}$; система нормованих допусків $\{\delta_{H,i} \mid i = \overline{1, N}\}$, що визначає область значень відповідних контрольних допусків. Попередньо для кожної ознаки визначається ціна градації її шкали виміру, що дозволяє обчислювати на кожному кроці навчання нижній і верхній контрольні допуски відповідно:

$$A_{KH,i} = y_{1,i} - \delta; A_{KB,i} = y_{1,i} + \delta, \quad (11)$$

де $y_{1,i}$ – вибіркове середнє значення i -ї ознаки у векторах-реалізаціях базового класу X_1^0 .

Реалізація алгоритму навчання унімодальної СППР з паралельною оптимізацією контрольних допусків на ознаки розпізнавання здійснюється за такою схемою:

- 1) обнуляється лічильник кроків зміни параметра δ (кроків навчання): $l:=0$;
 - 2) $\delta:l:=l+1$;
 - 3) на кожному кроці навчання за формулами (10) обчислюються нижній $A_{HK,i}[l]$ і верхній $A_{BK,i}[l]$ контрольні допуски для всіх ознак розпізнавання;
 - 4) реалізується базовий алгоритм навчання і визначається поточний глобальний максимум усередненого за алфавітом класів розпізнавання інформаційного критерію $\bar{E}[l]$ в робочій області визначення його функції.
 - 5) якщо в робочій області визначення функції інформаційного критерію має місце $\bar{E}[l] \leq \text{extr max } \bar{E}$, де $\text{extr max } \bar{E}$ – граничний максимум усередненого за алфавітом класів розпізнавання інформаційного критерію (1), то виконується пункт 6, інакше – пункт 8 ($\bar{E}[0] = 0$);
 - 6) якщо $\delta \leq \delta_H / 2$, то виконується пункт 2, інакше – пункт 7;
 - 7) $\text{extr max } \bar{E} := \max_{\{\delta\}} \bar{E}^*[l]$;
 - 8) $\delta^* := \arg \text{extr max } \bar{E}$;
 - 9) для параметра δ^* обчислюються оптимальні нижні $\{A_{HK,i}^*\}$ і верхні $\{A_{BK,i}^*\}$ контрольні допуски на ознаки розпізнавання;
 - 1) виведення оптимальних двійкових еталонних векторів-реалізацій $[x_m^*]$, вершини яких визначають геометричні центри контейнерів класів розпізнавання;
 - 2) ЗУПИН.
- Як КФЕ навчання може використовуватися одна із статистичних інформаційних мір. Наприклад, для двоальтернативних рішень модифікований критерій Кульбака, що використовується для оцінки функціональної ефективності навчання СППР розпізнавати реалізації класу X_m^0 , має вигляд [5]

$$E_m^{(k)} = \log_2 \left(\frac{2 - (\alpha_m^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d))}{\alpha_m^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d)} \right) * \left[1 - (\alpha_m^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d)) \right], \quad (12)$$

де $\alpha_m^{(k)}(d)$, $\beta_m^{(k)}(d)$ – точнісні характеристики: похибки першого та другого роду відповідно, що обчислюються на k -му кроці навчання; d – дистанційна міра, що визначає радіуси контейнерів, побудованих у радіальному базисі простору ознак розпізнавання.

Оцінками похибок першого та другого роду при прийнятті рішень у процесі навчання є емпіричні частоти

$$\tilde{\alpha}_m^{(k)}(d) = \frac{K_{1,m}^{(k)}}{n_{\min}}; \tilde{\beta}_m^{(k)}(d) = \frac{K_{2,m}^{(k)}}{n_{\min}}, \quad (13)$$

де $K_{1,m}^{(k)}$ – кількість подій, що визначають неналежність реалізацій образу контейнеру класу X_m^0 , якщо насправді вони є реалізаціями цього класу; $K_{2,m}^{(k)}$ – кількість подій, що визначають належність реалізацій образу контейнеру класу X_m^0 , якщо насправді вони належать іншому класу; $n_{\min}$ – мінімальний обсяг репрезентативної навчальної вибірки [1].

Суми $K_{1,m}^{(k)}$ і $K_{2,m}^{(k)}$ обчислюються на k -му кроці навчання унімодальної СППР відповідно ($K_{1,m}^{(k)}[0] = 0$, $K_{2,m}^{(k)}[0] = 0$):

if $x_m^{(j)} \notin X_m^0$ then $K_{1,m}^{(k)}[j] = K_{1,m}^{(k)}[j-1] + 1$;

if $x_c^{(j)} \in X_m^0$ then $K_{2,m}^{(k)}[j] = K_{2,m}^{(k)}[j-1] + 1$,

де $x_c^{(j)}$ – j -та реалізація найближчого (сусіднього) класу X_c^0 .

Належність деякої реалізації $x^{(j)}$, наприклад, класу X_m^0 для унімодального класифікатора здійснюється за правилом

if $d_{m-1}^* < d[x_1 \oplus x^{(j)}] < d_m$ then $x^{(j)} \in X_m^0$ else $x^{(j)} \notin X_m^0$,

де d_{m-1}^* – визначений у процесі навчання оптимальний радіус контейнера лівого сусіднього класу; $d[x_1 \oplus x^{(j)}]$ – кодова відстань вектора $x^{(j)}$ від центра розсіювання реалізацій, що визначається вершиною усередненого вектора x_1 ; $\oplus$ – символ операції складання за модулем два; d_m – поточний радіус контейнера класу X_m^0 , що відновлюється в бінарному просторі ознак розпізнавання.

Аналіз вищенаведеного алгоритму показує, що він дозволяє навчання системи без досягнення граничного максимум інформаційного критерію (1), що відповідає принципу відкладених рішень і надає можливість здійснювати оптимізацію інших параметрів навчання з метою побудови безпомилкового за навчальною матрицею класифікатора.

4. Приклад реалізації алгоритму навчання унімодальної СППР

Розглянемо результати реалізації запропонованого алгоритму на прикладі паралельної оптимізації контрольних допусків на ознаки розпізнавання при навчанні СППР, що використовується в АСК технологічним процесом виробництва фосфорної кислоти у ВАТ «Сумихімпром». Вхідну апріорно класифіковану навчальну матрицю було сформовано за експериментальними даними, отриманими для трьох класів, що характеризували зміст P_2O_5 на виході п'ятого ступіню екстрактора за такою триальтернативною системою оцінок: «Норма», «Менше норми» і «Більше норми». При цьому кількість ознак розпізнавання дорівнювала 65, із них 15 поступали за результатами хімічного аналізу, а інші значення різних за природою ознак розпізнавання поступали в СППР безпосередньо з датчиків інформації. Як базовий було обрано клас X_1^0 , що характеризував функціональний стан технологічного процесу «Більше норми». Клас X_2^0 характеризував заданий режим технологічного процесу «Норма» і клас X_3^0 – «Менше норми».

На рис. 1 показано графік залежності критерію Кульбака (12) від параметра поля контрольних допусків, одержаний у процесі паралельної оптимізації контрольних допусків на ознаки розпізнавання. На графіку темні ділянки позначають робочі області визначення функції інформаційного критерію, в яких перша і друга достовірності перевершують відповідно похибки першого та другого роду і одночасно виконується умова $d_m > d_{m-1}$. При цьому у загальному випадку з кількістю класів більше двох можуть існувати декілька робочих областей.

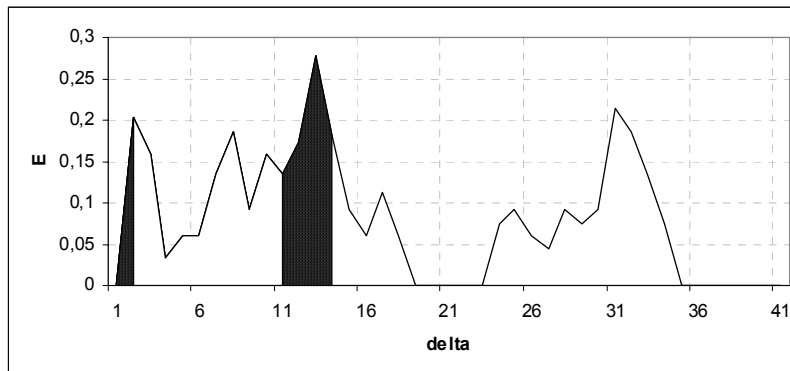


Рис. 2. Графік залежності критерію Кульбака від параметра поля контрольних допусків

Аналіз рис.2 показує, що оптимальний параметр поля контрольних допусків дорівнює $\delta \pm 13$ (у відносних одиницях) при значенні максимуму усередненого критерію $\bar{E}^* = 0,28$.

При цьому побудова мультимодального класифікатора з паралельною оптимізацією контрольних допусків на ознаки розпізнавання для цих класів і тієї самої вхідної навчальної матриці забезпечує вдвічі менше значення максимуму критерію $\bar{E}^*$.

Оскільки метою навчання СППР є відновлення в просторі ознак оптимальних контейнерів класів розпізнавання, то на рис.3 і рис.4 наведено графіки залежності КФЕ (12) від радіусів контейнерів класів X_1^0 і X_2^0 .

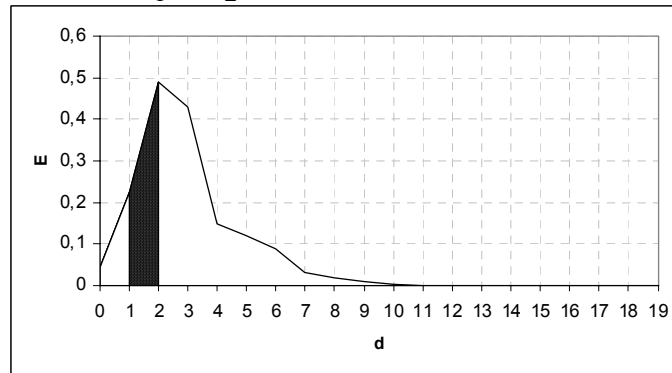


Рис. 3. Графік залежності критерію Кульбака від радіусу контейнера класу X_1^0

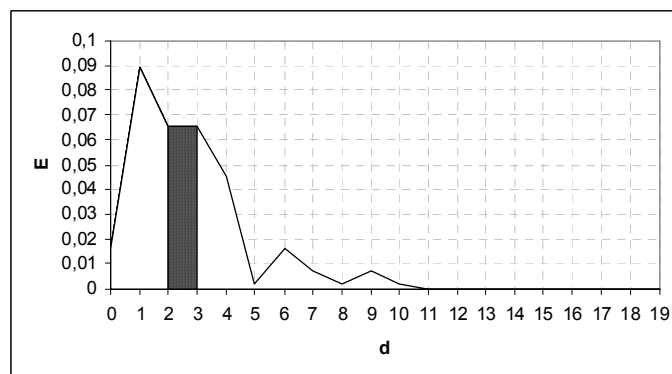


Рис. 4. Графік залежності критерію Кульбака від радіусу контейнера класу X_2^0

Аналіз рис. 3 і 4 показує, що оптимальні радіуси контейнерів класів X_1^0 і X_2^0 дорівнюють двом кодовим одиницям. Оскільки центр ваги реалізацій класу X_2^0 зміщений від центра розсіювання реалізацій всіх класів на відстань $d(x_1 \oplus x_2) = 3$, де x_2 — усереднений вектор-реалізація для класу X_2^0 , оптимальний радіус для класу X_1^0 , дорівнює $d_1^* = 2$ і для класу X_2^0 — $d_2^* = 5$.

Отже, аналіз значень КФЕ показує, що одержані в прикладі оптимальні параметри навчання не забезпечують побудову безпомилкового за навчальною матрицею класифікатора, тобто вони можуть розглядатися як квазіоптимальні. Для побудови безпомилкового за навчальною матрицею класифікатора згідно з принципом відкладених рішень необхідна оптимізація інших параметрів навчання [4,5].

Висновки

1. Для впорядкованих класів розпізнавання, які мають єдиний центр розсіювання векторів-реалізацій всіх класів, використання для навчання системи підтримки прийняття рішень унімодального класифікатора дозволяє підвищити достовірність і оперативність навчання у порівнянні з аналогічним мультимодальним класифікатором.

2. Основна відмінність унімодального класифікатора від мультимодального полягає у відновленні в процесі навчання контейнерів класів розпізнавання з єдиним геометричним центром, що більше відповідає реальному розподілу векторів реалізацій впорядкованих класів розпізнавання у бінарному просторі ознак.

Список літератури: 1. *Васильев В.И.* Распознающие системы. Справочник. 2-е изд., перераб. и доп.- Киев: Наукова думка, 1983. 422 с. 2. *Vapnik V.* Statistical Learning Theory, John Wiley&Sons. New York, 1998. 732 p. 3. *Advances in Learning Theory: Methods, Models and Application* / J.A.K. Suykens, G. Horvath, S. Basu, C. Micchelli, J. Vandewalle // IOS Press NATO-ASI Series in Computer and Systems Sciences, Amsterdam, The Nether-Lands, 2003. 432 p. 4. Інформаційний синтез інтелектуальних систем керування, що навчаються: Підхід, що ґрунтується на методі функціонально-статистичних випробувань / Краснополюсовський А.С. Суми: Видавництво СумДУ, 2003. 264 с. 5. *Основи проектування інтелектуальних систем:* Навчальний посібник. / Довбиш А.С. Суми: Видавництво СумДУ, 2009. 171 с. 6. *Довбиш А.С., Козинець М.В., Котенко С.М.* Оптимізація контрольних допусків на ознаки розпізнавання в інформаційно-екстремальних методах автоматичної класифікації // Вісник Сумського державного університету. Серія «Техніка», №1, 2007. С. 169-178. 7. *Довбиш А.С., Мартиненко С.С.* Інформаційно-екстремальний метод розпізнавання електронограм // Вісник СумДУ. Технічні науки. 2009. №2. С. 85-92. 8. *Краснополюсовський А.С.* Оптимізація контрольних допусків на ознаки розпізнавання за методом функціонально-статистичних випробувань // Штучний інтелект. 2003. №1. С. 53 – 61.

Надійшла до редколегії 10.09.2010

Довбиш Анатолій Степанович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри інформатики Сумського державного університету. Наукові інтереси: інформаційний аналіз і синтез інтелектуальних систем, що навчаються (самонавчаються). Адреса: Україна, 40035, Суми, вул. Заливна, 7, кв. 40, тел. 050-307-83-74, e-mail: kras@id.sumdu.edu.ua.

Ліщинський Олександр Володимирович, аспірант кафедри інформатики Сумського державного університету. Наукові інтереси: інформаційний аналіз і синтез інтелектуальних систем, що навчаються (самонавчаються). Захоплення та хобі: туризм, музика, плавання. Адреса: Україна, 40007, Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, тел. 0668819256, e-mail: delaver@i.ua.

Востоцький Віталій Олексійович, аспірант кафедри інформатики, молодший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії інтелектуальних систем Сумського державного університету. Наукові інтереси: інформаційний аналіз і синтез інтелектуальних систем, що навчаються (самонавчаються), класифікаційне керування, інтелектуальний аналіз даних. Захоплення та хобі: читання, плавання, музика, програмування, фотографування. Адреса: Україна, 40007, Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, тел. 0956303310, e-mail: v.vostotskiy@id.sumdu.edu.ua.

УДК 681.51.015.4

Е.Є. ЗАЙЦЕВА, В.В. ЧЕРВИНСЬКИЙ, В.В. ТУРУПАЛОВ

МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ ЯК ДИСКРЕТНО-БЕЗПЕРЕРВНОГО ОБ'ЄКТА

Для транспортної системи кар'єрного комплексу з односмуговими дорогами запропоновано модель у вигляді мережі Петрі. Побудовано граф синхронізації розробленої мережі Петрі і його Мах-Plus-алгебраїчне представлення, та промодельовано поведінку вихідної транспортної системи. Наведено діаграми Ганта і графіки перехідних процесів у некерованій системі, отримані на основі результатів моделювання.

Вступ

Одним із сучасних напрямків розвитку гірничої промисловості України є відкритий спосіб розробки корисних копалин. При цьому переміщення кар'єрних вантажів є одним з головних виробничих процесів у технології відкритого видобутку. Основний кар'єрний вантаж – гірнича маса (корисна копалина чи порожні породи), початковий пункт – вибій, кінцевий – місце розвантаження (відвали для порід, збагачувальні фабрики, склади для корисної копалини).

Кар'єрний транспорт є сполучною ланкою всіх технологічних процесів розробки гірничих порід у кар'єрі; на нього приходить біля половини усіх вартісних витрат на видобуток корисної копалини.

В міру збільшення глибини (оцінки досягають значень у кілька сотень метрів) і просторових розмірів кар'єрів збільшуються відстані транспортування вантажів. У більшості випадків для доставки гірничої маси з нижніх горизонтів на поверхню кар'єру і руху кар'єрного транспорту в зворотному напрямку будуються двосмугові технологічні дороги, що пропус-

Список літератури: 1. *Васильев В.И.* Распознающие системы. Справочник. 2-е изд., перераб. и доп.- Киев: Наукова думка, 1983. 422 с. 2. *Vapnik V.* Statistical Learning Theory, John Wiley&Sons. New York, 1998. 732 p. 3. *Advances in Learning Theory: Methods, Models and Application* / J.A.K. Suykens, G. Horvath, S. Basu, C. Micchelli, J. Vandewalle // IOS Press NATO-ASI Series in Computer and Systems Sciences, Amsterdam, The Nether-Lands, 2003. 432 p. 4. Інформаційний синтез інтелектуальних систем керування, що навчаються: Підхід, що ґрунтується на методі функціонально-статистичних випробувань / Краснополюсовський А.С. Суми: Видавництво СумДУ, 2003. 264 с. 5. *Основи проектування інтелектуальних систем:* Навчальний посібник. / Довбиш А.С. Суми: Видавництво Сум ДУ, 2009. 171 с. 6. *Довбиш А.С., Козинець М.В., Котенко С.М.* Оптимізація контрольних допусків на ознаки розпізнавання в інформаційно-екстремальних методах автоматичної класифікації // Вісник Сумського державного університету. Серія «Техніка», №1, 2007. С. 169-178. 7. *Довбиш А.С., Мартиненко С.С.* Інформаційно-екстремальний метод розпізнавання електронограм // Вісник СумДУ. Технічні науки. 2009. №2. С. 85-92. 8. *Краснополюсовський А.С.* Оптимізація контрольних допусків на ознаки розпізнавання за методом функціонально-статистичних випробувань // Штучний інтелект. 2003. №1. С. 53 – 61.

Надійшла до редколегії 10.09.2010

Довбиш Анатолій Степанович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри інформатики Сумського державного університету. Наукові інтереси: інформаційний аналіз і синтез інтелектуальних систем, що навчаються (самонавчаються). Адреса: Україна, 40035, Суми, вул. Заливна, 7, кв. 40, тел. 050-307-83-74, e-mail: kras@id.sumdu.edu.ua.

Ліщинський Олександр Володимирович, аспірант кафедри інформатики Сумського державного університету. Наукові інтереси: інформаційний аналіз і синтез інтелектуальних систем, що навчаються (самонавчаються). Захоплення та хобі: туризм, музика, плавання. Адреса: Україна, 40007, Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, тел. 0668819256, e-mail: delaver@i.ua.

Востоцький Віталій Олексійович, аспірант кафедри інформатики, молодший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії інтелектуальних систем Сумського державного університету. Наукові інтереси: інформаційний аналіз і синтез інтелектуальних систем, що навчаються (самонавчаються), класифікаційне керування, інтелектуальний аналіз даних. Захоплення та хобі: читання, плавання, музика, програмування, фотографування. Адреса: Україна, 40007, Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, тел. 0956303310, e-mail: v.vostotskiy@id.sumdu.edu.ua.

УДК 681.51.015.4

Е.Є. ЗАЙЦЕВА, В.В. ЧЕРВИНСЬКИЙ, В.В. ТУРУПАЛОВ

МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ ЯК ДИСКРЕТНО-БЕЗПЕРЕРВНОГО ОБ'ЄКТА

Для транспортної системи кар'єрного комплексу з односмуговими дорогами запропоновано модель у вигляді мережі Петрі. Побудовано граф синхронізації розробленої мережі Петрі і його Мах-Plus-алгебраїчне представлення, та промодельовано поведінку вихідної транспортної системи. Наведено діаграми Ганта і графіки перехідних процесів у некерованій системі, отримані на основі результатів моделювання.

Вступ

Одним із сучасних напрямків розвитку гірничої промисловості України є відкритий спосіб розробки корисних копалин. При цьому переміщення кар'єрних вантажів є одним з головних виробничих процесів у технології відкритого видобутку. Основний кар'єрний вантаж – гірнича маса (корисна копалина чи порожні породи), початковий пункт – вибій, кінцевий – місце розвантаження (відвали для порід, збагачувальні фабрики, склади для корисної копалини).

Кар'єрний транспорт є сполучною ланкою всіх технологічних процесів розробки гірничих порід у кар'єрі; на нього приходить біля половини усіх вартісних витрат на видобуток корисної копалини.

В міру збільшення глибини (оцінки досягають значень у кілька сотень метрів) і просторових розмірів кар'єрів збільшуються відстані транспортування вантажів. У більшості випадків для доставки гірничої маси з нижніх горизонтів на поверхню кар'єру і руху кар'єрного транспорту в зворотному напрямку будуються двосмугові технологічні дороги, що пропус-

кають транспорт одночасно в обох напрямках. Такий підхід є більш капітально-витратним, ніж використання односмугових доріг, однак для умов транспортування, з метою зменшення часових витрат (часу очікування при реверсивному русі), він є більш прийнятним.

Однак, використання алгоритму управління транспортним потоком, що дозволяє розробити розклад руху кар'єрного транспорту і має метою мінімізацію часу простою кар'єрного транспорту при очікуванні на односмугових ділянках реверсивного руху, дозволить істотно знизити капітальні й експлуатаційні витрати при будівництві зон транспортування вантажів у кар'єрах.

Постановка задачі досліджень

Даний технологічний об'єкт можна віднести до дискретно-безпервного класу і розглядати як сукупність елементарних процесів, що мають координуватися (керуватися) проектованою системою управління. Для опису динаміки таких процесів і одержання моделі об'єкта у формі, прийнятної до техніки управління, зручно використовувати математичні апарати мереж Петрі і Max-Plus алгебри [2]. Таким чином, виникає задача одержання моделі даного об'єкта в термінах мереж Петрі і Max-Plus алгебри.

Як приклад розглянемо кар'єрний комплекс з видобутку корисних копалин (рис.1), що містить 2 вибої (здійснюється навантаження руди) і 1 вибій з розкривними роботами (здійснюється навантаження порожньої породи). Є прийомний бункер навантажувальних станцій і відвал для порожньої породи. Ці виробничі ділянки об'єднані транспортною мережею кар'єру. Транспортна мережа включає, в свою чергу, односмугові ділянки (зони) різної довжини, по яких одночасно може рухатися один транспортний засіб у будь-якому напрямку.

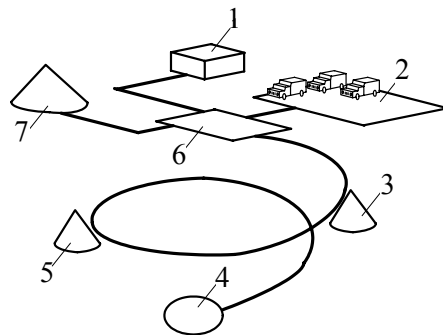


Рис. 1. Приклад кар'єрного комплексу з видобутку корисних копалин: 1 – склад; 2 – парк; 3 – вибій 2; 4 – вибій з розкривними роботами; 5 – вибій 1; 6 – майданчик; 7 – відвал

Отже, транспортні засоби перетинають ділянки шляху (зони), що спільно використовуються іншими транспортними засобами. Алгоритм управління, що розробляється, має координувати відправлення транспортних засобів, так щоб у кожній зоні постійно знаходилося не більш одного транспортного засобу (ТЗ) і усувалися колізії між ними.

Отже, для розглянутого об'єкта необхідно розробити модель з використанням математичного апарату мереж Петрі і провести її дослідження шляхом моделювання. Для часової оцінки поведінки об'єкта необхідно розробити граф синхронізації у вигляді, прийнятному для подальшої розробки алгоритму управління.

Побудова моделі транспортної системи

На рис. 2 наведено модель транспортної системи кар'єрного комплексу у вигляді мережі Петрі.

Початкове маркування позицій S_i ($i = \overline{8,13}$) означає, що ділянки спільного використання (зони) є вільними.

Початкове маркування і кількість фішок у позиції S_1 відповідає кількості транспортних засобів (ТЗ) у парку на початку роботи комплексу. Зайняття позицій S_i ($i = \overline{2,6}$) свідчить про те, що ТЗ прибув на станцію майданчик, зону розкривних робіт, забої, склад або відвал відповідно. Наявність фішки в позиціях S_i ($i = \overline{14,25}$) означає, що ТЗ перетинає зону спільного використання.

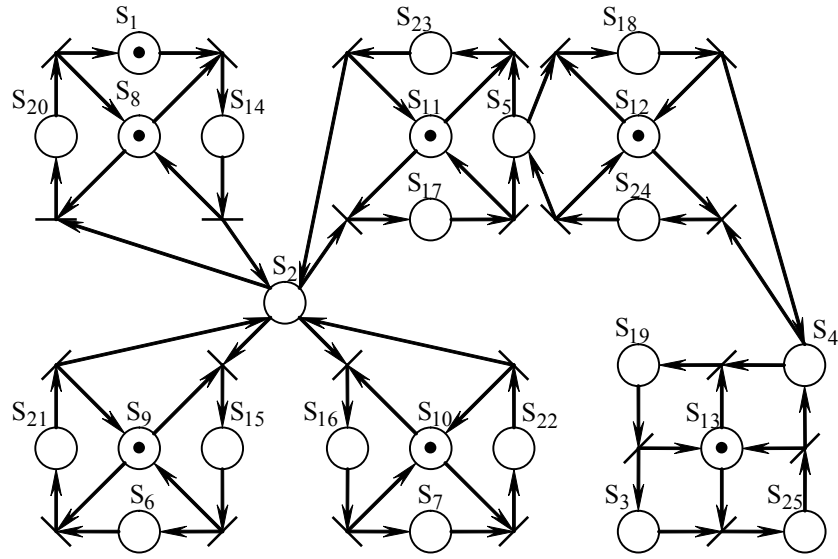


Рис. 2. Модель транспортної системи кар'єрного комплексу

Для того щоб задачу синтезу системи управління можна було розв'язати за допомогою Max-Plus алгебри, насамперед модель має бути доповнена часовими оцінками [3]. З цією метою для розробленої мережі Петрі побудований граф синхронізації (рис. 3), що дозволяє проаналізувати часову поведінку процесу шляхом моделювання.

Граф синхронізації системи задається $|P| = n$ положеннями і $|K| = m$ логічними зовнішніми умовами переключення переходів. Для графа синхронізації можна отримати систему з n рівнянь у векторно-матричній формі запису:

$$x = A x \oplus B u.$$

При цьому $x = [x_1 \dots x_n]^T$ – вектор стану, кожний елемент x_i ($i = \overline{1, n}$) якого фіксує момент часу маркування (включення) переходу S_i .

Вплив зовнішніх логічних умов маркування (переключення) задається за допомогою вектора керування $u = [u_1 \dots u_m]^T$.

У графах синхронізації переходи з одного положення в інше створюють замкнені цикли. Тобто через певне число переходів умовний маркер проходить всі позиції графа і виходить на повторне маркування тих самих позицій. Для того, щоб відрізнити окремі цикли поведінки ДБС, всі змінні вектора стану x і вектора управління u мають індекс k , який показує з якою частотою маркуватиметься відповідне положення в графі синхронізації. Тобто $x_i(k)$ – це часова точка, в якій положення S_i займається (маркується) k -й раз. З урахуванням цього отримаємо:

$$x(k+1) = A_0 x(k+1) \oplus A_1 x(k) \oplus B u(k+1). \quad (1)$$

У залежності від початкового маркування позиції S_i з матриці A формуються дві матриці A_0 і A_1 , причому

$$A = A_0 \oplus A_1.$$

Матриці A_0 і A_1 визначаються із матриці A на основі маркованих і немаркованих позицій відповідно.

За допомогою матриці $A_0^* = I \oplus A_0 \oplus A_0^2 \oplus \dots \oplus A_0^{n-1}$ і позначення $M = A_0^* A_1$ рівняння (1) спрощується:

$$x(k+1) = M x(k) \oplus A_0^* B u(k+1). \quad (2)$$

Матриця M може розглядатися як матриця динаміки системи без зовнішнього керування – динамічна характеристика вільної поведінки системи:

$$x(k+1) = M x(k).$$

ДБС розглянутого об'єкта має 68 операційних позицій $P_1 \dots P_{68}$, 17 з яких є початково маркованими. Матриця динаміки A має розмірність 68×68 . За допомогою трансформуючих матриць розраховані матриці A_0 і A_1 . З урахуванням відсутності додаткових логічних умов переключення немає необхідності в матриці B . Знайдені A_0^* і M :

У таблиці 1 наведено опис вершин і переходів для двох підмереж розробленого графа синхронізації.

Таблиця 1. Інтерпретація елементів графа синхронізації

Позиція	Підграф	Інтерпретація позиції
P_1, P_{19}	підмережа склад – вибій 2	ТЗ знаходиться на складі
P_2, P_5		ТЗ перетинає ЗСВ на ділянці склад – майданчик
$P_3, P_4,$ P_6, P_7		ЗСВ на ділянці склад – майданчик вільна
$P_8 - P_{11}$		ТЗ знаходиться на майданчику
P_{12}, P_{15}		ТЗ перетинає ЗСВ на ділянці майданчик – вибій 2
$P_{13}, P_{14},$ P_{16}, P_{17}		ЗСВ на ділянці майданчик – вибій 2 вільна
P_{18}, P_{20}		ТЗ знаходиться на станції вибій 2
P_{21}, P_{41}	підмережа склад – вибій 1	ТЗ знаходиться на складі
P_{22}, P_{25}		ТЗ перетинає ЗСВ на ділянці склад – майданчик
$P_{23}, P_{24},$ P_{26}, P_{27}		ЗСВ на ділянці склад – майданчик вільна
P_{28}, P_{29}		ТЗ знаходиться на майданчику
P_{30}, P_{31}		ТЗ перетинає ЗСВ на ділянці майданчик – вибій 2
P_{32}, P_{33}		ТЗ знаходиться на станції вибій 2
P_{34}, P_{37}		ТЗ перетинає ЗСВ на ділянці вибій 2 – вибій 1
$P_{35}, P_{36},$ P_{38}, P_{39}		ЗСВ на ділянці вибій 2 – вибій 1 вільна
P_{40}, P_{42}		ТЗ знаходиться на станції вибій 1

Результати моделювання

Для отриманого графа синхронізації некерованої системи було проведено моделювання, у результаті якого отримано власні вектори некерованої системи і діаграми її роботи.

Аналіз кожної з підмереж дає такі результати: Для першої системи: $\lambda_1 = 22$, циклічність $\rho = 1$. Для другої системи: $\lambda_2 = 19$, циклічність $\rho = 2$. Для третьої системи $\lambda_3 = 27$, циклічність $\rho = 2$.

Графіки перехідного процесу в системах склад – вибій 2, склад – вибій 1 та відвал-розкривний вибій наведені на рис. 4а), 4б) та 4в) відповідно.

Графіки перехідного процесу в системах склад – вибій 2, склад – вибій 1 та відвал-розкривний вибій наведені на рис. 4а), 4б) та 4в) відповідно.

Для загальної некерованої системи маємо: $\lambda = 27$, циклічність $\rho = 2$.

Причому позиції першої підмережі ($P_1 - P_{20}$) після встановлення режиму маркуються через 22 одиниць часу, позиції другої підмережі ($P_{21} - P_{42}$) – через 17 та 21 одиниць часу, третьої ($P_{43} - P_{68}$) – через 17 та 37 одиниць часу.

На основі результатів моделювання побудовано діаграми Ганта, що характеризують стани системи у часовій області. Діаграми наведено на рис. 5 – 7.

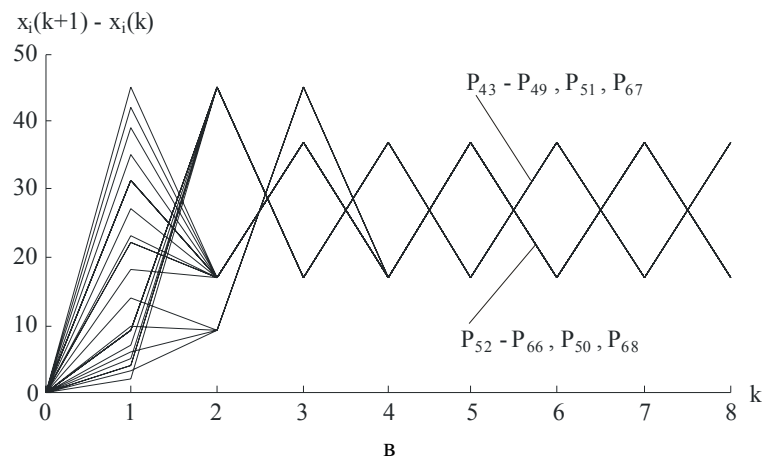
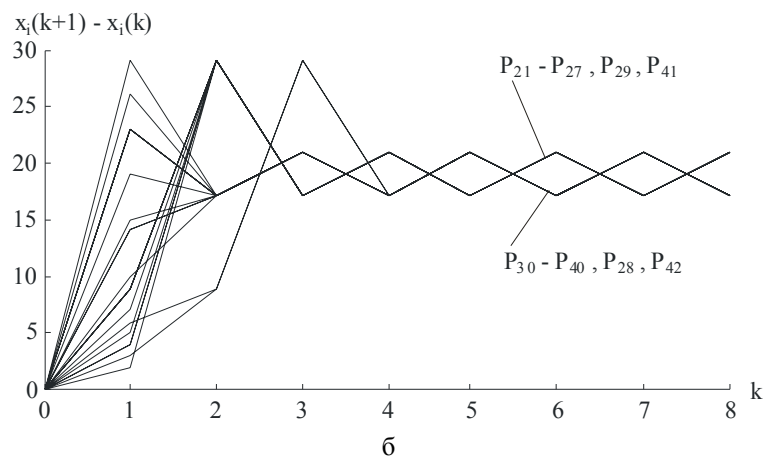
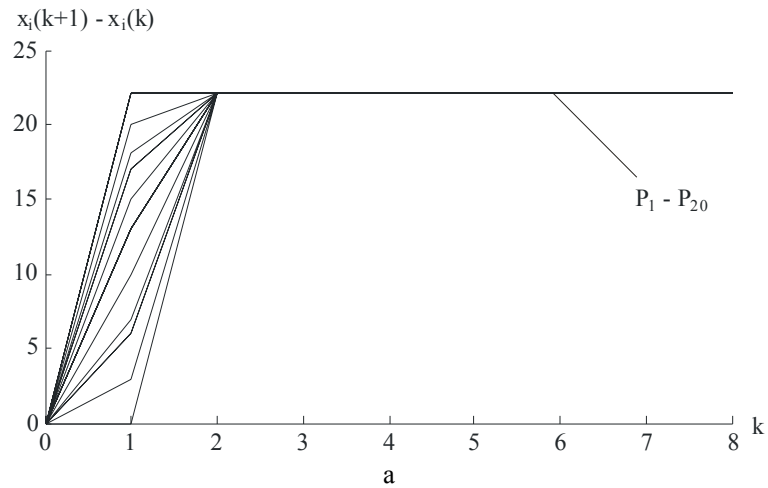


Рис. 4. Перехідні процеси у системі: а – для графа першої підмережі (склад – вибій 2);
б – для графа другої підмережі (склад – вибій 1); в – для графа третьої підмережі
(відвал – розкривний вибій)

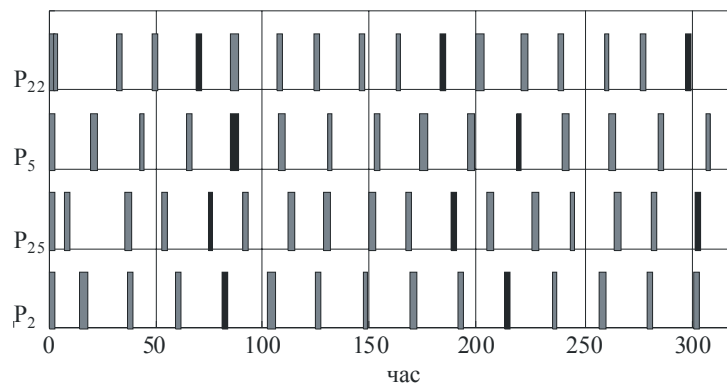


Рис. 5. Діаграма руху транспортних засобів на ділянці склад – майданчик з напрямками $P_2 \uparrow$, $P_{25} \downarrow$, $P_5 \downarrow$, $P_{22} \uparrow$

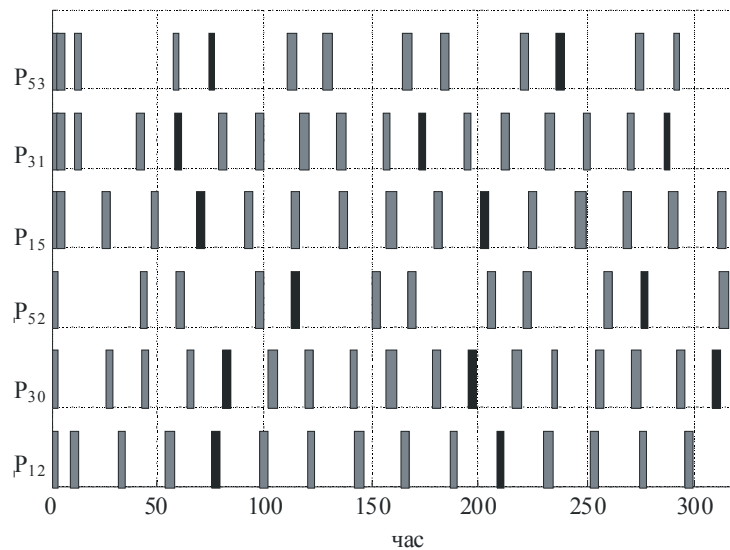


Рис. 6. Діаграма руху транспортних засобів на ділянці майданчик – вибій 2 (ближній вибій) з напрямками $P_{12} \uparrow$, $P_{30} \uparrow$, $P_{52} \uparrow$, $P_{15} \downarrow$, $P_{31} \downarrow$, $P_{53} \downarrow$

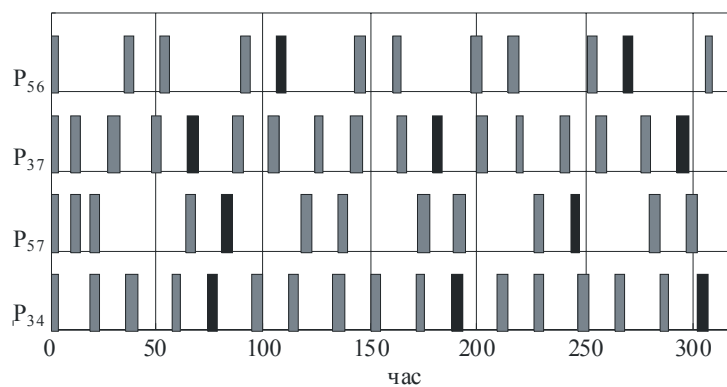


Рис. 7. Діаграма руху транспортних засобів на ділянці вибій 2 – вибій 1 з напрямками $P_{34} \uparrow$, $P_{57} \downarrow$, $P_{37} \downarrow$, $P_{56} \uparrow$

З діаграм роботи системи видно, що за прийнятих умов функціонування системи час перетинання різними транспортними засобами спільних ділянок накладається один на одного, тобто при використанні односмугових ділянок між транспортними засобами виникають колізії. Аналіз результатів моделювання говорить про недосяжність заданих станів через

відсутність управління і показує, що для організації процесу без колізій має проводитися координування ТЗ за допомогою твердих вимог. Тобто синтез управління передбачає формування такого вектора управління, який задає дискретно-подійному процесу бажану поведінку. Для її досягнення використовуються додаткові логічні умови переключення окремих переходів графа синхронізації.

Висновки

1. Розроблено модель транспортної системи кар'єрного комплексу як дискретно-безперервного об'єкта у вигляді мережі Петрі.

2. Для часової оцінки динаміки об'єкта розроблено граф синхронізації, за допомогою якого шляхом моделювання показано неможливість досягнення заданих станів і виникнення колізій між транспортними засобами.

3. Для синтезу алгоритму управління транспортним потоком, що має метою мінімізацію часу простою кар'єрного транспорту запропоновано координувати ТЗ за допомогою додаткових логічних умов переключення окремих переходів.

Список літератури: 1. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. М.: Мир, 1984. 264с. 2. Бессараб В.И., Коваленко Е.Г., Лозинская В.М. Методика синтеза алгоритма управления для дискретно-непрерывных объектов // Автоматика 2008: збірник наукових статей XV міжнародної конференції з автоматичного управління, 23-26 вересня 2008 р. Одеса: ОНМА. 2008. С. 50-53. 3. Mossig K., Rehkopf A. Einfuehrung in die "Max-Plus"-algebra zur Beschreibung ereignisdiskreter dynamischer Prozesse // Automatisierungstechnik. Karlsruhe. 1996. vol. 44. P. 3-9.

Поступила до редколегії 15.09.2010

Зайцева Еліна Євгенівна, асистент кафедри АТ ДонНТУ. Наукові інтереси: математичні методи аналізу та синтезу систем управління дискретно-безперервними об'єктами. Хобі: книги з систем захисту інформації, Він Чун Кунг Фу. Адреса: Україна, 83000, Донецьк, вул. Артема, 58, тел. 062-301-03-69.

Червинський Володимир Володимирович, канд. техн. наук, доц. кафедри АТ ДонНТУ. Наукові інтереси: системи управління складними багатовимірними технологічними процесами та дискретно-безперервними об'єктами. Хобі: книги по ТАУ. Адреса: Україна, 83000, Донецьк, вул. Артема, 58, тел. 062-305-13-95.

Турупалов Віктор Володимирович, канд. техн. наук, доц., декан ФКІТА ДонНТУ. Наукові інтереси: надійність систем. Хобі: система «Розумний дім» Адреса: Україна, 83000, Донецьк, вул. Артема, 58, тел. 062-304-90-17.

УДК 681.326:519.713

*В.И. ХАХАНОВ, О.А. ГУЗЬ, NGENE CHRISTOPHER UMERAN,
В. ОЛЬХОВОЙ*

ПРОЦЕСС-МОДЕЛИ АНАЛИЗА АССОЦИАТИВНЫХ СТРУКТУР ДАННЫХ

Параллельные векторные мультипроцессорные неарифметические процесс-модели, представленные в исследованиях, ориентированы на новые эффективные решения практических задач синтеза и анализа: минимизация булевых функций, поиск дефектов, восстановление работоспособности, распознавание образов, принятие решений, разработка цифровых фильтров, создание дружественных серверов, сайтов и порталов.

1. Введение

Мозгоподобность (функциональная) предполагает исключение арифметики и всех нелогических критериев (вероятность, функция принадлежности), которые до сих пор исполняют роль фигового листка на голом теле нашего логического невежества. Мозг не знает арифметики, кроме нелогической таблицы умножения, но ежесекундно (ежеминутно) в реальном масштабе времени принимает логически обоснованные решения. Цель работы заключается в создании параллельных векторных мультипроцессорных неарифметических процесс-моделей для существенного уменьшения времени анализа ассоциативных структур данных. Задача исследования – разработка моделей, методов и средств, включающих

відсутність управління і показує, що для організації процесу без колізій має проводитися координування ТЗ за допомогою твердих вимог. Тобто синтез управління передбачає формування такого вектора управління, який задає дискретно-подійному процесу бажану поведінку. Для її досягнення використовуються додаткові логічні умови переключення окремих переходів графа синхронізації.

Висновки

1. Розроблено модель транспортної системи кар'єрного комплексу як дискретно-безперервного об'єкта у вигляді мережі Петрі.

2. Для часової оцінки динаміки об'єкта розроблено граф синхронізації, за допомогою якого шляхом моделювання показано неможливість досягнення заданих станів і виникнення колізій між транспортними засобами.

3. Для синтезу алгоритму управління транспортним потоком, що має метою мінімізацію часу простою кар'єрного транспорту запропоновано координувати ТЗ за допомогою додаткових логічних умов переключення окремих переходів.

Список літератури: 1. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. М.: Мир, 1984. 264с. 2. Бессараб В.И., Коваленко Е.Г., Лозинская В.М. Методика синтеза алгоритма управления для дискретно-непрерывных объектов // Автоматика 2008: збірник наукових статей XV міжнародної конференції з автоматичного управління, 23-26 вересня 2008 р. Одеса: ОНМА. 2008. С. 50-53. 3. Mossig K., Rehkopf A. Einfuehrung in die "Max-Plus"-algebra zur Beschreibung ereignisdiskreter dynamischer Prozesse // Automatisierungstechnik. Karlsruhe. 1996. vol. 44. P. 3-9.

Поступила до редколегії 15.09.2010

Зайцева Еліна Євгенівна, асистент кафедри АТ ДонНТУ. Наукові інтереси: математичні методи аналізу та синтезу систем управління дискретно-безперервними об'єктами. Хобі: книги з систем захисту інформації, Він Чун Кунг Фу. Адреса: Україна, 83000, Донецьк, вул. Артема, 58, тел. 062-301-03-69.

Червинський Володимир Володимирович, канд. техн. наук, доц. кафедри АТ ДонНТУ. Наукові інтереси: системи управління складними багатовимірними технологічними процесами та дискретно-безперервними об'єктами. Хобі: книги по ТАУ. Адреса: Україна, 83000, Донецьк, вул. Артема, 58, тел. 062-305-13-95.

Турупалов Віктор Володимирович, канд. техн. наук, доц., декан ФКІТА ДонНТУ. Наукові інтереси: надійність систем. Хобі: система «Розумний дім» Адреса: Україна, 83000, Донецьк, вул. Артема, 58, тел. 062-304-90-17.

УДК 681.326:519.713

*В.И. ХАХАНОВ, О.А. ГУЗЬ, NGENE CHRISTOPHER UMERAN,
В. ОЛЬХОВОЙ*

ПРОЦЕСС-МОДЕЛИ АНАЛИЗА АССОЦИАТИВНЫХ СТРУКТУР ДАННЫХ

Параллельные векторные мультипроцессорные неарифметические процесс-модели, представленные в исследованиях, ориентированы на новые эффективные решения практических задач синтеза и анализа: минимизация булевых функций, поиск дефектов, восстановление работоспособности, распознавание образов, принятие решений, разработка цифровых фильтров, создание дружественных серверов, сайтов и порталов.

1. Введение

Мозгоподобность (функциональная) предполагает исключение арифметики и всех нелогических критериев (вероятность, функция принадлежности), которые до сих пор исполняют роль фигового листка на голом теле нашего логического невежества. Мозг не знает арифметики, кроме нелогической таблицы умножения, но ежесекундно (ежеминутно) в реальном масштабе времени принимает логически обоснованные решения. Цель работы заключается в создании параллельных векторных мультипроцессорных неарифметических процесс-моделей для существенного уменьшения времени анализа ассоциативных структур данных. Задача исследования – разработка моделей, методов и средств, включающих

быстродействующие мозгоподобные компьютеры, критерия качества взаимодействия объектов в пространстве для реализации эффективного поиска, распознавания и принятия решений.

Источники: 1. Технологии параллельных вычислений на основе специализированных мультипроцессорных систем [1, 2, 10, 11, 15]. 2. Алгебраические структуры, ориентированные на создание математического аппарата параллельных вычислений [3, 4, 7 – 10]. 3. Процесс-модели для решения задач реального времени на основе эффективных параллельных вычислений [5, 6, 11, 13].

2. Параллельные векторные мультипроцессорные неарифметические процесс-модели

Вектор есть ассоциация. Алгебра ассоциативной логики есть алгебра векторной логики, в которой заданы операции: and, or, not. Векторизация есть конкатенация переменных. Девекторизация есть автоматная, в общем случае, процедура формирования двоичного решения на основе определенных двоичных значений вектора (векторов) существенных переменных. Процесс-модель девекторизации логических условий, подготовленных для принятия решения, имеет две альтернативные структуры. Первая – комбинационная, формирует мгновенно двоичное решение, например, путем наличия единичных значений на n входах элемента and. Вторая – последовательностная или автоматная, – накапливает совокупность единичных условий n переменных во времени с помощью, например, счетной структуры. Возможна комбинация в виде параллельно-последовательной или последовательно-параллельной схемы для принятия решения. В общем случае, девекторизатор, как цифровой формирователь решения, может быть представлен в виде автоматной модели первого рода:

$$\begin{aligned} Y(t) &= f[m(t), Z(t-1)]; \\ Z(t) &= g[m(t), Z(t-1)]. \end{aligned}$$

Здесь Y, Z, m – переменные выхода, состояния и входов автомата девекторизации логических значений входного вектора.

Автомат вырождается в тривиальный или комбинационный, если значение выхода девекторизатора зависит только от входного вектора:

$$Y(t) = f[m(t)] \approx Y = f(m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_n).$$

Девекторизатор комбинационного типа может быть простым или сложным. Простой реализован вектор-бит операцией and, or, and-not, or-not:

$$Y = \Delta(m) = (m_1 \Delta m_2 \Delta \dots \Delta m_i \Delta \dots \Delta m_n), \Delta = \{\text{and, or, and – not, or – not}\}.$$

Сложные конструкции, использующие логическое взаимодействие двух векторов, представлены выражениями:

$$Y = \{(a \wedge b); (a \vee b); a \wedge (\overline{a \wedge b}); b \wedge (\overline{a \wedge b}); (a \vee b) \wedge (\overline{a \wedge b})\}.$$

Каждому варианту взаимодействия можно поставить в соответствие теоретико-множественную диаграмму, а также логическую схему, которая соответствует процесс-модели принятия решения, рис. 1.

Как правило, процедуры принятия критических и ответственных решений определены в пространстве и во времени, что исключает ошибку, но при этом затягивается процесс формирования вывода. Для принятия решения конструктивный мозг синтезирует только минимальное число существенных переменных, исключая несущественные по мере приобретения опыта. Решение всегда двоичное, следовательно, переменные ассоциативного вектора, даже лингвистические, участвующие в формировании вывода, должны быть приведены к двоичной норме.

На рынке электронных технологий наиболее распространенными являются две альтернативные модели данных: явная табличная и неявная аналитическая. Таблица истинности есть совокупность векторов, задающих поведение дискретного объекта $Y = f(X)$ в многозначном (двоичном) алфавите с выраженным отношением координат входных и выходных переменных:

$$C = (C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_n), C_i = (X_i, Y_i), C_{ij} \in \{a_1, a_2, \dots, a_r, \dots, a_k\}$$

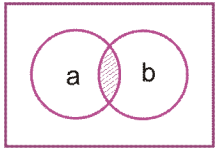
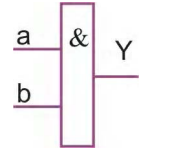
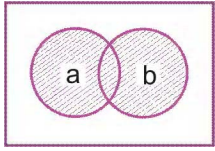
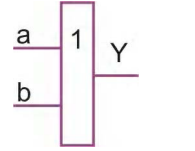
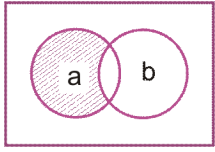
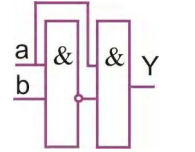
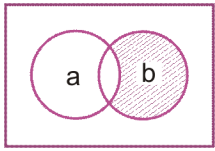
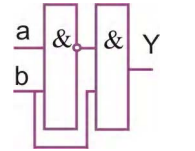
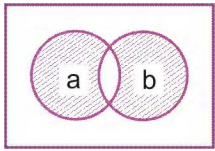
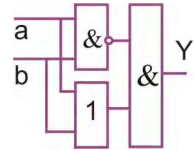
$Y = (a \wedge b)$		
$Y = (a \vee b)$		
$Y = a \wedge (\overline{a \wedge b})$		
$Y = b \wedge (\overline{a \wedge b})$		
$Y = (a \vee b) \wedge (\overline{a \wedge b})$		

Рис. 1. Прimitивные процесс-модели принятия решений

Двоичный алфавит $X_{ij} \in \{a_1, a_2, \dots, a_r, \dots, a_k\}$, $Y_{ij} \in \{0, 1\}$ определения выходных координат формирует алгебру логики, где каждое высказывание принимает значение истинности или ложности: $f(X_i) = Y_i = \{1, 0\}$. Тожественно истинные высказывания $f(X_i) = Y_i = \{1\}$, формируют алгебру конечных предикатов (АКП).

Таким образом, любая таблица истинности C может быть преобразована в две матрицы, нулевую и единичную относительно состояния выходной переменной, которые могут отличаться количеством строк или векторов:

$$C = \{M^1 = M_{ij}^1; M^0 = M_{ij}^0\}, i = \overline{1, n_0}, r = \overline{1, n_1}, j = \overline{1, k-1}, n_0 + n_1 = n.$$

Здесь единичная матрица формирует структуру, которая соответствует табличному заданию конечного предиката (DNF), рис. 2:

$$P = f(X) = 1 \approx M^1 = M_{ij}^1.$$

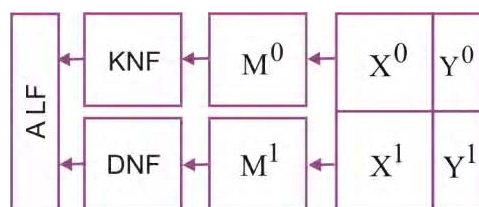


Рис. 2. Формы задания функций алгебры логики

Все строки матрицы формируют только тождественно истинные решения, заданные в явном виде. Достоинство матричного (табличного) задания предиката заключается в исключении сложных процедур анализа матрицы для формирования решения.

Вычислительные процедуры анализа таблиц (матриц) и уравнений существенно различаются по своей сложности.

1. Анализ таблицы истинности – моделирование исправного поведения. Определение решения как реакции выходной двоичной (троичной) переменной таблицы истинности на входной вектор заключается в поиске непротиворечивых результатов пересечения вектора с каждой строкой таблицы:

$$Y = Y \cup C_{ik} \leftarrow (m \cap C_i \neq \emptyset).$$

Данной модели процесса ставится в соответствие изоморфная алгебро-логическая структура, формирующая решение в двоичном алфавите:

$$Y = Y \vee C_{ik} \leftarrow (m \wedge C_i = m).$$

Учитывая, что в таблице истинности, заданной в двоичном алфавите, может существовать только одно решение, удовлетворяющее условию $m \wedge C_i = m$, то функционал вычисления состояния выхода Y , трансформируется к более простому выражению:

$$Y = C_{ik} \leftarrow (m \wedge C_i = m).$$

2. Анализ единичной матрицы M^1 – все переменные равнозначны. Формируется вектор позитивного или негативного взаимодействия входного запроса со строками матрицы. Затем определяется решение A путем объединения или группирования непротиворечивых (позитивных) результатов пересечения вектора с каждой строкой матрицы:

$$A = A \cup M_i^1 \leftarrow (m \cap M_i^1 \neq \emptyset).$$

Теоретико-множественной модели процесса ставится в соответствие изоморфная алгебро-логическая структура, формирующая решение в двоичном алфавите:

$$A = M_i^1 \leftarrow (m \wedge M_i^1 = m).$$

3. Более сложная процесс-модель связана с анализом матрицы M на основе сформированного выходного m -вектора позитивного или негативного взаимодействия запроса со строками матрицы, которая представлена следующим выражением:

$$A^s = \left(\bigcap_{\forall m_i=1} M_i \setminus \bigcup_{\forall m_i=0} M_i \right);$$

$$A^m = \left(\bigcup_{\forall m_i=1} M_i \setminus \bigcup_{\forall m_i=0} M_i \right).$$

Здесь два уравнения определяют единственное и множественное решения путем анализа единичных и нулевых строк матрицы, отмеченных позитивным или негативным состоянием координат m -вектора. Изоморфные уравнения в алгебре логики, соответствующие последним теоретико-множественным решениям, имеют вид:

$$A^s = \left(\bigcap_{\forall m_i=1} M_i \right) \wedge \overline{\left(\bigvee_{\forall m_i=0} M_i \right)};$$

$$A^m = \left(\bigvee_{\forall m_i=1} M_i \right) \wedge \overline{\left(\bigvee_{\forall m_i=0} M_i \right)}.$$

4. Метод неопределенных коэффициентов [4] для минимизации функций алгебры логики также сводится к анализу матрицы входных переменных по нулевым и единичным координатам состояний вектора выходных координат, путем использования последних уравнений. Пусть имеется таблица истинности функции от трех переменных, дополненная всеми возможными сочетаниями входных переменных для минимизации булевой функции:

X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$	$m \approx F$
0	0	0	00	00	00	000	1
0	0	1	00	01	01	001	0
0	1	0	01	00	10	010	1
0	1	1	01	01	11	011	0
1	0	0	10	10	00	100	1
1	0	1	10	11	01	101	0
1	1	0	11	10	10	110	0
1	1	1	11	11	11	111	1

Применение теоретико-множественной процесс-модели

$$A^m = \left(\bigcup_{\forall m_i=1} M_i \setminus \bigcup_{\forall m_i=0} M_i \right) = \left(\bigcup_{\substack{j=1,7 \\ \forall m_i=1}} M_{ij} \setminus \bigcup_{\substack{j=1,7 \\ \forall m_i=0}} M_{ij} \right)$$

к строкам таблицы истинности дает следующий результат:

X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$	F
.	.	.	.	00	00	000	1
.	.	.	.	00	.	010	1
.	.	.	.	.	00	100	1
.	.	.	.	.	.	111	1

Покрытие единичных строк функции конъюнктивными термами минимальной стоимости, определяющее оптимальную ДНФ, имеет следующий вид: $F = X_1X_2X_3 \vee \bar{X}_2\bar{X}_3 \vee \bar{X}_1\bar{X}_3$. Квазиоптимальное покрытие может быть составлено из левых по положению в таблице термов, принадлежащих каждой единичной строке.

3. Н-метод минимизации булевых функций

Интересная процесс-модель минимизации булевой функции по избыточной таблице истинности может быть получена, если использовать диаграмму Хассе [3, 4] в качестве формы, позволяющей оптимально задавать иерархию и эволюцию любой ассоциативной логической структуры. На рис. 3 представлены три графа, где первый и второй соответствуют нулевым и единичным строкам таблицы истинности F, заданной выше, а третий является результатом вычитания $G = G_1^1 \setminus G_1^0$. Достоинства диаграммы Хассе в данном примере заключаются в эффективном формировании решения на основе теоретико-множественного вычитания содержимого вершин нулевого графа из соответствующих вершин единичного графа. После чего минимальное решение определяется такими нижними гранями (вершинами) третьей диаграммы (см. рис. 3), которые покрывают все строки или кубы самой верхней грани (Supremum G).

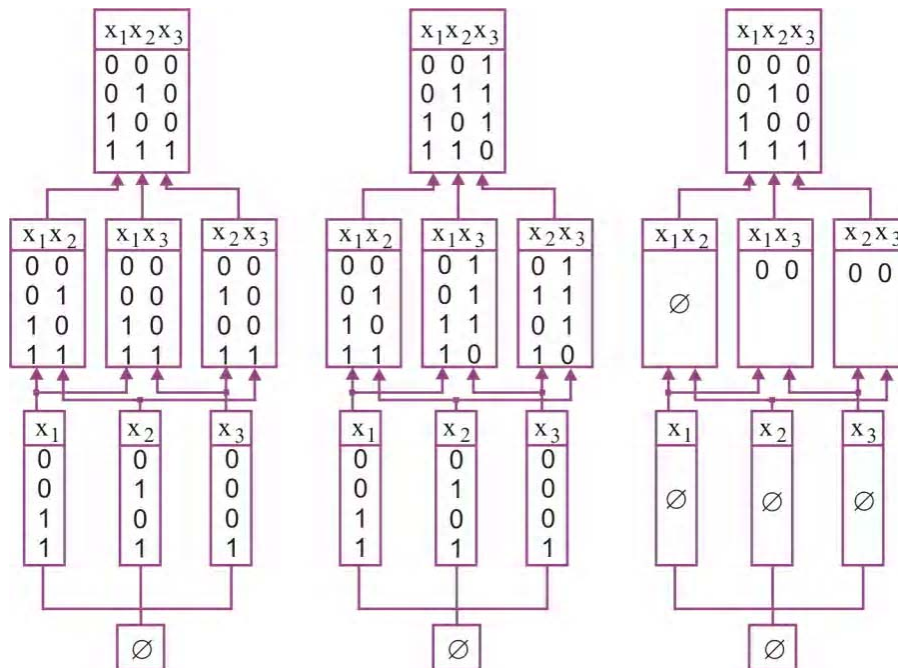


Рис. 3. Диаграммы Хассе для минимизации логической функции

Вычислительная сложность нового Н-метода (Hasse) минимизации на основе использования диаграмм Хассе определяется процедурами: 1) создания двух графов G^1, G^0 ;

2) избирательной операцией покомпонентного теоретико-множественного вычитания содержимого вершин: $G = G_i^1 \setminus G_i^0, i = \overline{1, 2^n}$, n – количество переменных булевой функции;

3) поиском квазиоптимального решения путем покрытия кубов верхней вершины наборами, принадлежащими нижним компонентам графа. Формула вычислительной сложности, включающая три слагаемых для упомянутых процедур, имеет вид:

$$Q = 4n + \frac{1}{4}n^2 + \frac{1}{4}n^2 = 4n + \frac{1}{2}n^2.$$

Стратегия получения минимальной ДНФ – за счет введения избыточности к таблице истинности G_{nj} обеспечить ее покрытие простыми кубами $G_{ij} \in G$, расположенными в нижних вершинах:

$$\begin{aligned} G &= G_i^1 \setminus G_i^0; \\ F &= F \cup G_{ij} \leftarrow G_{ij} \cap G_{nj} = G_{nj}. \end{aligned}$$

Для получения минимальной КНФ необходимо выполнить вычитание единичного графа из нулевого, а затем покрыть нулевые кубы таблицы истинности G_{nj} более простыми кубами $G_{ij} \in G$ компонентов, расположенных как можно ниже:

$$\begin{aligned} G &= G_i^0 \setminus G_i^1; \\ F &= F \cup G_{ij} \leftarrow G_{ij} \cap G_{nj} = G_{nj}. \end{aligned}$$

Диаграмма Хассе есть идеальная, замкнутая, иерархическая, мозгоподобная структура логических теоретико-множественных отношений в форме булеана примитивов, где решаются все задачи взаимодействия ассоциаций переменных. В целях уменьшения размерности диаграммы Хассе для ее понимания человеком необходимо выполнять разбиение числа переменных и строить двух или иерархическую многоуровневую структуру по возможности с одинаковым числом переменных или примитивов. Например, при $n=16$, следует построить 4 диаграммы Хассе по 4 примитива в каждой из них, которые объединяются графом такой же мощности, где примитивами выступают диаграммы нижнего уровня иерархии.

4. Выводы

Параллельные векторные мультипроцессорные неарифметические процесс-модели, представленные в исследованиях, ориентированы на новые эффективные решения практических задач синтеза и анализа: минимизация булевых функций, поиск дефектов, восстановление работоспособности, распознавание образов, принятие решений, разработка цифровых фильтров, создание дружественных серверов, сайтов и порталов.

Рыночная привлекательность исследований заключается в ориентации предложенной математической и технологической культуры на создание метрики кибернетического пространства, инфраструктуры сервисного обслуживания в виде моделей, методов и средств, включающих быстродействующие мозгоподобные компьютеры, критерии качества взаимодействия объектов в пространстве при поиске, распознавании и принятии решений, а также новые сервисы со стороны кибернетического пространства и индивидуального интеллектуального компьютера.

Список литературы: 1. Бондаренко М.Ф. О мозгоподобных ЭВМ / М.Ф. Бондаренко, З.В. Дударь, И.А. Ефимова, В.А. Лещинский, С.Ю. Шабанов–Кушнаренко // Радиоэлектроника и информатика. Харьков: ХНУРЭ, 2004, № 2. С. 89–105. 2. Cohen A.A. Addressing architecture for Brain-like Massively Parallel Computers / Euromicro Symposium on Digital System Design (DSD'04). 2004. P. 594-597. 3. Кузнецов О.П. Быстрые процессы мозга и обработка образов // Новости искусственного интеллекта. 1998. №2. 4. Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федун Б.Е. Интеллектуальное управление динамическими системами. – М.: Физико-математическая литература. 2000. 352 с. 5. Липаев В.В. Программная инженерия. Методологические основы. Учебник. Москва: Теис. 2006. 608 с. 6. А.С. №1439682. 22.07.88. Регистр сдвига / Какурин Н.Я., Хаханов В.И., Лобода В.Г., Какурина А.Н. 4с. 7. Гайдук С.М., Хаханов В.И., Обризан В.И., Каменюка Е.А. Сферический мультипроцессор PRUS для решения булевых уравнений // Радиоэлектроника и информатика. Харьков. 2004. № 4(29). С.107-116. 8. Проектирование и тестирование цифровых систем на кристаллах / В.И. Хаханов, Е.И. Литвинова, О.А. Гузь. Харьков: ХНУРЭ, 2009. 484с. 9. Проектирование и верификация цифровых систем на кристаллах. Verilog &

System Verilog / В.И. Хаханов, И.В. Хаханова, Е.И. Литвинова, О.А. Гузь. Харьков. Новое слово. 2010. 528с. **10.** *Акритас А.* Основы компьютерной алгебры с приложениями: Пер. с англ. / А. Акритас. М.: Мир. 1994. 544 с. **11.** *Аттетков А.В.* Методы оптимизации / А.В. Аттетков, С.В. Галкин, В.С. Зарубин. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2003. 440 с. **12.** *Abramovici M.* Digital System Testing and Testable Design / M. Abramovici, M.A. Breuer and A.D. Friedman. Comp. Sc. Press. 1998. 652 p. **13.** Densmore D. A Platform-Based taxonomy for ESL Design / Douglas Densmore, Roberto Passerone, Alberto Sangiovanni-Vincentelli // Design & Test of computers. 2006. P. 359–373. **14.** *Автоматизация* диагностирования электронных устройств/ Ю.В.Мальшенко и др./ Под ред. В.П.Чипулиса. М.: Энергоатомиздат, 1986. 216с. **15.** Трахтенгерц Э.А. Компьютерные методы реализации экономических и информационных управленческих решений. СИНТЕГ. 2009. 396 с.

Поступила в редколлегию 11.09.2010

Хаханов Владимир Иванович, декан факультета КИУ ХНУРЭ, д-р техн. наук, профессор кафедры АПБТ ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем, сетей и программных продуктов. Увлечения: баскетбол, футбол, горные лыжи. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326, e-mail: hahanov@kture.kharkov.ua.

Ngene Christopher Umerah, аспирант кафедры АПБТ ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем и сетей. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-421, e-mail: kiu@kture.kharkov.ua.

Ольховой Виталий, студент факультета КИУ ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем, сетей и программных продуктов. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326.

УДК 519.713: 631.411.6

Т.В. КОЗУЛЯ, Д.І. ЄМЕЛЬЯНОВА

МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ ТЕХНОГЕННО-НАВАНТАЖЕНИХ ТЕРИТОРІЙ ЗА КОНЦЕПЦІЄЮ КОРПОРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Вказано доцільність використання корпоративної екологічної системи (КЕС) як базової моделі для прийняття оптимального управлінського рішення у системі екологічного моніторингу з метою збереження рівноважного стану складових КЕС та їх гармонійного розвитку й еволюції. Показано необхідність впровадження для характеристики екологічності комплексної системи оцінки за MIPS- і ризик-аналізом. Надано приклад практичної реалізації системи оцінювання для визначення рівня небезпеки території Дергачівського полігону побутових відходів.

Актуальність роботи. Об'єктом екологічного управління і предметом дослідження в сфері екологічної безпеки визначено систему систем «людина–природа». При цьому приділялася увага встановленню специфічних властивостей даної системи, екологічних законів і принципів обережного втручання, розробці технологій з екологічним обмеженням і проблемам гармонізації з впровадженням нових науково-практичних систем управління, таких як корпоративний екологічний менеджмент. Протягом останнього часу значно зросли дослідження не тільки в класичних, а й в новітніх напрямках (світове забруднення, вплив сонячної активності на циклічність зсувних процесів тощо) з підсиленням інтеграційних тенденцій в екологічній безпеці. У теоретичному аспекті визначено появу концепцій, які не реалізовані на практиці, оскільки немає методологічної бази досліджень різнотипних та різноприродних процесів у галузі охорони навколишнього середовища, обміну інформацією між різними науковими, промисловими та урядовими установами.

Таким чином, актуальною є проблема розробки нових підходів в екологічній політиці, які радикально могли б поліпшити стан навколишнього середовища, визначити основи методологічної бази, впровадження нових моделей, методів та алгоритмів, характеристики взаємодії та взаємозалежності між різними об'єктами дослідження та їх контролю.

Пропонується з метою підвищення ефективності управління екологічною безпекою впровадження інтегративного (корпоративного) підходу, визначеного об'єднанням в одну систему соціальної, економічної і екологічної систем у вигляді корпоративної екологічної системи

System Verilog / В.И. Хаханов, И.В. Хаханова, Е.И. Литвинова, О.А. Гузь. Харьков. Новое слово. 2010. 528с. **10.** *Акритас А.* Основы компьютерной алгебры с приложениями: Пер. с англ. / А. Акритас. М.: Мир. 1994. 544 с. **11.** *Аттетков А.В.* Методы оптимизации / А.В. Аттетков, С.В. Галкин, В.С. Зарубин. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2003. 440 с. **12.** *Abramovici M.* Digital System Testing and Testable Design / M. Abramovici, M.A. Breuer and A.D. Friedman. Comp. Sc. Press. 1998. 652 p. **13.** Densmore D. A Platform-Based taxonomy for ESL Design / Douglas Densmore, Roberto Passerone, Alberto Sangiovanni-Vincentelli // Design & Test of computers. 2006. P. 359–373. **14.** *Автоматизация* диагностирования электронных устройств/ Ю.В.Мальшенко и др./ Под ред. В.П.Чипулиса. М.: Энергоатомиздат, 1986. 216с. **15.** Трахтенгерц Э.А. Компьютерные методы реализации экономических и информационных управленческих решений. СИНТЕГ. 2009. 396 с.

Поступила в редколлегию 11.09.2010

Хаханов Владимир Иванович, декан факультета КИУ ХНУРЭ, д-р техн. наук, профессор кафедры АПБТ ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем, сетей и программных продуктов. Увлечения: баскетбол, футбол, горные лыжи. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326, e-mail: hahanov@kture.kharkov.ua.

Ngene Christopher Umerah, аспирант кафедры АПБТ ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем и сетей. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-421, e-mail: kiu@kture.kharkov.ua.

Ольховой Виталий, студент факультета КИУ ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем, сетей и программных продуктов. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326.

УДК 519.713: 631.411.6

Т.В. КОЗУЛЯ, Д.І. ЄМЕЛЬЯНОВА

МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ ТЕХНОГЕННО-НАВАНТАЖЕНИХ ТЕРИТОРІЙ ЗА КОНЦЕПЦІЄЮ КОРПОРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Вказано доцільність використання корпоративної екологічної системи (КЕС) як базової моделі для прийняття оптимального управлінського рішення у системі екологічного моніторингу з метою збереження рівноважного стану складових КЕС та їх гармонійного розвитку й еволюції. Показано необхідність впровадження для характеристики екологічності комплексної системи оцінки за MIPS- і ризик-аналізом. Надано приклад практичної реалізації системи оцінювання для визначення рівня небезпеки території Дергачівського полігону побутових відходів.

Актуальність роботи. Об'єктом екологічного управління і предметом дослідження в сфері екологічної безпеки визначено систему систем «людина–природа». При цьому приділялася увага встановленню специфічних властивостей даної системи, екологічних законів і принципів обережного втручання, розробці технологій з екологічним обмеженням і проблемам гармонізації з впровадженням нових науково-практичних систем управління, таких як корпоративний екологічний менеджмент. Протягом останнього часу значно зросли дослідження не тільки в класичних, а й в новітніх напрямках (світове забруднення, вплив сонячної активності на циклічність зсувних процесів тощо) з підсиленням інтеграційних тенденцій в екологічній безпеці. У теоретичному аспекті визначено появу концепцій, які не реалізовані на практиці, оскільки немає методологічної бази досліджень різнотипних та різноприродних процесів у галузі охорони навколишнього середовища, обміну інформацією між різними науковими, промисловими та урядовими установами.

Таким чином, актуальною є проблема розробки нових підходів в екологічній політиці, які радикально могли б поліпшити стан навколишнього середовища, визначити основи методологічної бази, впровадження нових моделей, методів та алгоритмів, характеристики взаємодії та взаємозалежності між різними об'єктами дослідження та їх контролю.

Пропонується з метою підвищення ефективності управління екологічною безпекою впровадження інтегративного (корпоративного) підходу, визначеного об'єднанням в одну систему соціальної, економічної і екологічної систем у вигляді корпоративної екологічної системи

(КЕС), розробка теорії і прикладних задач для нового систем-системного рівня досліджень з урахуванням запропонованих математичних моделей, сучасних методик оцінки впливу техногенних джерел на навколишнє середовище (НС) і їх відповідності вимогам екологічної безпеки [1, 2].

Одним із методів оцінки відповідності стану господарчих об'єктів вимогами екологічної безпеки і контролю екологічної якості виробництва є MIPS-аналіз, який дозволяє встановити небезпечні екологічні фактори, пов'язані з екологічними ризиками на кожній стадії виробничого процесу [3].

Задачі дослідження. Метою роботи є запровадження комплексної методики оцінки «екологічності» на основі взаємоузгодження MIPS – і ризик-аналізу для систем-системних досліджень на базі концепції КЕС.

У даній роботі відповідно до мети дослідження розглянуто такі питання:

- 1) обґрунтувати доцільність застосування корпораційних систем, як об'єктів дослідження і управління в системі екологічної безпеки;
- 2) визначити можливості комплексної екологічної оцінки на основі MIPS – і ризик-аналізу об'єктів дослідження і процесів, що впливають на загальну екологічну безпеку;
- 3) провести розрахунки оцінки екологічного стану техногенно-навантажених територій за методикою MIPS – аналізу та визначити екологічні ризики для небезпечних об'єктів та ризик здоров'ю населення.

Аналіз результатів досліджень. Неврахування будь-якої складової управління – екологічної, соціальної або економічної, призводить до відсутності збалансованості представництва цих систем у більш складних об'єднаннях, а як наслідок – неможливість управлінням досягти сталого еколого-соціально-економічного розвитку взагалі. Кожна складова трикомпонентного об'єкта має свої характерні властивості, які неможливо цілком врахувати при дії принципу емерджентності у разі досліджень на системному рівні, тому запропоновано корпораційну екологічну систему у вигляді єдиного інтегровального утворення.

Суттєвим недоліком при формуванні корпоративного екологічного управління на сьогодні можна вважати методологію оцінки екологічності, що передбачає порівняння наслідків діяльності корпорації з нормативними значеннями, оцінку характеристик життєвого циклу продукції на основі інформаційно-контрольного механізму, тобто на контролі дотримання нормативів[4]. Для уникнення вищезазначених недоліків при формуванні корпораційної системи управління як еколого-соціально-економічної системи пропонується, по-перше, об'єднання трьох систем у вигляді цілісної системи – *корпораційної екологічної системи* (КЕС); по-друге, розробка *корпоративної системи екологічного управління* (КЕСУ) на засадах положень системного аналізу щодо оцінки стану КЕС будь-якого рівня і урахуванням позитивного досвіду екологічного менеджменту. По-третє, впровадження і розвиток корпораційної інформаційної системи моніторингу як інформаційної бази КЕС і прийняття рішення в системі управління екологічної безпеки на основі кількісної оцінки складових КЕС, визначеної за результатами комплексного узгодження термодинамічного аналізу, ризик-аналізу і теорії імовірності за такими характеристиками: ТП – термодинамічний потік; S – ентропія; J – інформація; N_S – негентропія (рис. 1).

До переваг впровадження інтегровальної організації об'єктів дослідження і удосконалення систем моніторингу, який здебільшого використовує експертні методи і в останні роки ризик-аналіз з оцінки екологічного стану окремих систем під впливом зовнішнього середовища, не враховуючи безпосередньої взаємодії з ним, відноситься застосування за концепцією обов'язкового аналізу процесів, спричинених (обумовлених) взаємодією між суміжними системами і їх із навколишнім середовищем.

Характеристикою стану термодинамічної системи і її поведінки під впливом управляючих параметрів є ентропія (S). Згідно з принципом Клаузиса будь-яка система розвивається так, що її ентропія зростає, а напрям розвитку буде пов'язаний з досягненням найбільш імовірного стану системи (p), який визначено залежністю $S = f(p)$ [5].

Екологічний ризик, враховуючи термодинамічну структуру екосистем, обумовлений зростанням ентропії при дії негативного фактора на всі складові, які пропонується визначати компонентами корпораційних екологічних систем (КЕС) (рис.2) [6].

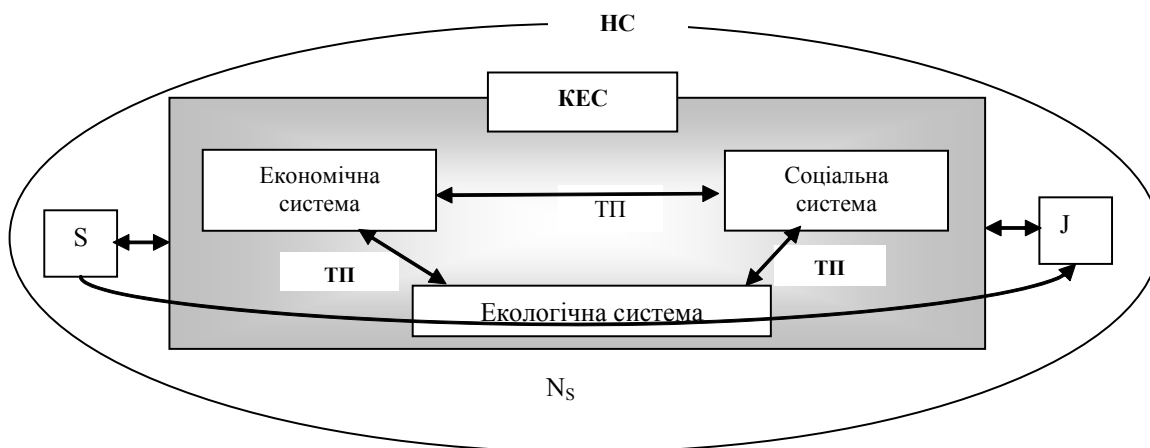


Рис. 1. Інформаційно-ентропійна структура корпораційної системи

Для визначення екологічного ризику формування небезпечних умов середовища з метою прогнозування їх змін запропоновано використовувати величину P_1 , як імовірність дії фактора на екосистему, за даними екологічного моніторингу і відповідно до нормального розподілу [7]:

$$P_1 = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{\min} \cdot K} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_{\min}^2} \cdot x\right].$$

Для розрахунку P_1 мають враховуватися значення класу небезпеки (K) та нормованого показника ($\sigma_{\min}$).

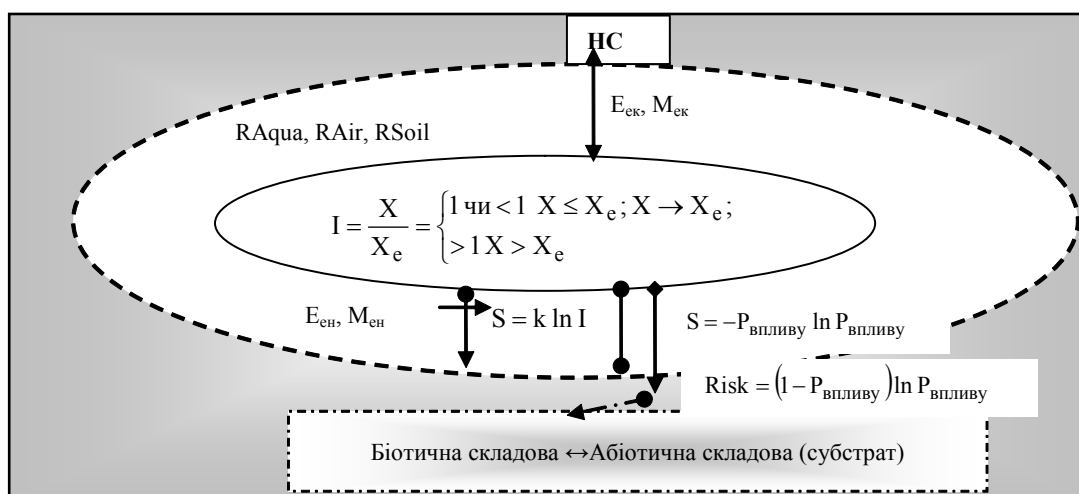


Рис. 2. Ризик-аналіз для елементів КЕС

З питань безпеки за концепцією КЕС розглядається вирішення двох задач в екологічному і санітарно-гігієнічному (еколого-гігієнічному) аспекті:

- 1) визначення стану об'єкта дослідження, імовірності порушень, ризику дестабілізуючих процесів, що підтверджується значеннями ентропії;
- 2) формування нормативів як розрахункових величин на базі мінімізації впливу і за даними ефектів дії на живий організм дестабілізуючих факторів (екологічний ризик і ризик здоров'ю) (рис. 3).

Навантаження на навколишнє середовище від джерел шкідливих речовин є економічною частиною виробництва, розраховується як індекс забруднення навколишнього середовища за допомогою MIPS – аналізу. Якщо цей індекс перевищує максимально можливий, то заходи проводяться в економічній сфері підприємства.

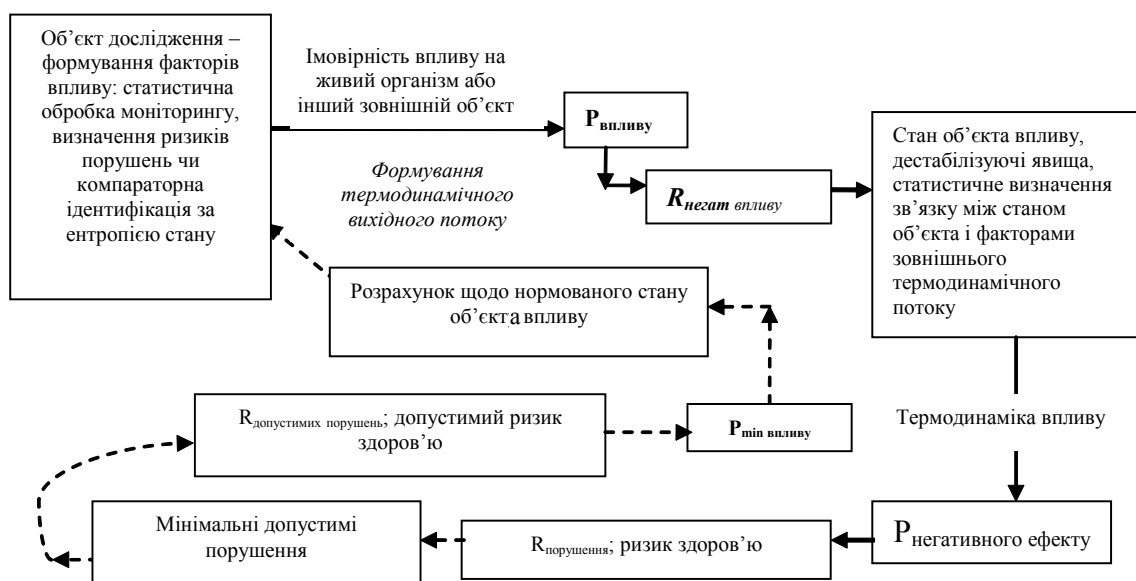


Рис. 3. Задачі екологічної безпеки з реалізацією концепції КЕС:

→ напрямок і послідовність розв'язання 1-ї задачі; - - - → задача нормування стосовно об'єкта впливу

Оцінка стану навколишнього середовища показує стан рівня забруднення по індексах ризику. Якщо індекси ризику перевищують оптимально допустимі значення, то заходи зниження ризику проводяться в екологічній складовій корпоративної системи з урахуванням ймовірності негативного впливу небезпечних факторів на людину та живі організми.

Одночасне використання MIPS-аналізу та теорії ризиків дозволить визначити загальний вплив на об'єкти НС і спрогнозувати ймовірність появи небезпечного фактора для людини і ризику порушення його здоров'я (рис.4).

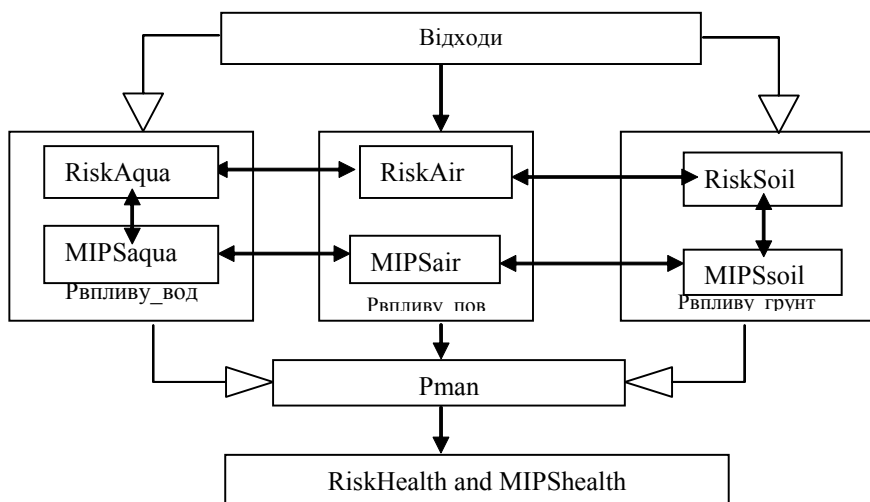


Рис. 4. Взаємозв'язок MIPS-аналізу та ризик-аналізу: RiskAqua, RiskAir, RiskSoil, RiskHealth – відхилення від норми стану водного середовища, атмосферного повітря, ґрунтів, здоров'я населення; MIPSaqua, MIPSair, MIPSsoil, MIPShealth – оцінка впливу на водне середовище, атмосферне повітря, ґрунти, здоров'я населення; Р_впливу_вод, Р_впливу_пов, Р_впливу_грунт, Р_впливу на здоров'я – ймовірність появи негативного фактора у водному середовищі, атмосферному повітрі, ґрунтах для здоров'я населення.

Запропонований методичний підхід щодо визначення екологічної безпеки реалізовано на прикладі екологічної оцінки Дергачівського полігону відходів і визначення його впливу на селітебні зони за даними моніторингу (табл. 1) за розрахунками MIPS-показників (табл. 2), оцінки ризиків (табл. 3).

Таблиця 1. Вихідні дані

Показники	Норма- тиви	Колодязь						Джерело					
		1995	1997	1999	2002	2005	2007	1995	1997	1999	2002	2005	2007
Органолептичні показники													
Водневий показник	6,50	7,50	7,8	7,6	8,4	6,9	6,7	7,6	7,2	7,0	7,3		
Сульфати	250,00												
Хлориди	250,00	50,00	239,0	263,0	328,0	355,0	276,0	150,0	310,0	88,0	322,0		
токсикологічні показники													
Аміак	2,00		9,4				4,0				2,4	0,85	0,10
Нітрати	46,00	39,00	15,1	42,0	117,8	92,49	75,0	42,0	3,0	3,0	2,1		50,0
Нітриди	0.0020	0.0020	0.050					0.05	0.005	0.05	0.04		0.0

Таблиця 2. Розрахунок MIPS- показників

MI_числа для повітря 1	MI_числа для води 2	MI_числа для людини 3	S,т	MIPS 1	MIPS 2	MIPS 3
0,7	93,7	2,52	90,00	0,0077778	1,041111	0,028
0,413	112,1	2,61	85	0,0048588	1,318824	0,030706
1,15	110,6	8,61	73,00	0,0157534	1,515068	0,117945
5,04	10,1	1,85	17,00	0,2964706	0,594118	0,108824
0,99	58	1,43	11,00	0,09	5,272727	0,13
10,5200	351,2	14,2200	37,00	0,2843243	9,491892	0,384324
Загальне значення MIPS				0,6991849	19,23374	0,799799

Таблиця 3. Розрахунок ризиків

	Грунт1	Вода2	Повітря3	S	Клас небезпеки 2	Клас небезпеки 3	Клас небезпеки 1	Risk_грунт	Risk_вод	Risk_повіт
Водневий показник	200,0	200,00	14000,0	90	4	4	4	0,06376	0,0637	0,09935
Сульфати	500000	100000	160000	85	4	3	3	0,13331	0,0999	0,13326
Хлориди	350000	350000	300000	73	4	3	4	0,09997	0,0999	0,13330
Аміак	1000	2000	2000	17	4	4	3	0,13108	0,0991	0,09915
Нітрати	30000	45000	76800	11	3	3	3	0,13328	0,1333	0,13331
Нітриди	8000	3000	7000	37	1	2	2	0,19907	0,3950	0,19894
Загальне значення ризику								0,76050	0,8912	0,79733

Таким чином, одержана оцінка екологічності техногенно-навантаженої території надає інформацію щодо вагомості впливу складових КЕС на рівень екологічної безпеки і ризику їх для людини, дозволяє зменшити небезпечні наслідки шляхом цілеспрямованого управління екологічною безпекою.

Висновки. У результаті дослідження визначено доцільність:

- 1) удосконалення системи управління екологічною безпекою на основі систем-системних досліджень відповідно до концепції КЕС (див. рис. 1, 2);
- 2) впровадження у комплексі MIPS-аналізу та ризик-оцінки для характеристики рівня екологічної безпеки джерел техногенного впливу (див. рис. 3, 4);
- 3) комплексного оцінювання стану техногенно-навантажених територій на прикладі полігону відходів Дергачівського району з урахуванням небезпеки об'єкта для людини (див. табл. 2, 3).

Список літератури: 1. Козуля Т. В., Ємельянова Д. І. Система підтримки прийняття екологічного рішення в умовах концепції КЕС і новітніх технологій екологічного аналізу / Т. В. Козуля, Д. І. Ємельянова // Вестник Херсонского национального технического университета. 2010. № 2 (38). С. 285–293. 2. Козуля

Надійшла до редколегії 28.08.2010

Смельянова Дар'я Ігорівна, студентка НТУ «ХПІ». Наукові інтереси: ухвалення рішення в системі екологічного моніторингу; моделювання фізико-хімічних процесів у природних системах. Адреса: Україна, 61002, Харків, вул. Фрунзе, 12, тел. 8-057-707-64-74; 8-057-707-65-05, e-mail sone4ko-2008@yandex.ru

B.Г. ЗОТОВ

Рассматривается методика проектирования дискретных корректирующих алгоритмов для сложных динамических систем в частотной области. Предложен метод синтеза дискретных линейных корректирующих алгоритмов минимального порядка с линейными ограничениями на его характеристики в терминах линейного программирования. Приведен пример реализации метода.

Цель данной работы заключается в построении метода синтеза ДКА на основе системного подхода к формированию основных ограничений к параметрам регулятора. Актуальность данной проблемы подтверждается большим числом публикаций на международных конференциях [1 – 4].

$$\begin{aligned} \eta_1 &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1k}x_k + a_1 \geq 0, \\ \eta_2 &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2k}x_k + a_2 \geq 0, \\ &\text{-----} \\ \eta_m &= a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mk}x_k + a_m \geq 0, \end{aligned} \quad (1)$$

Надійшла до редколегії 28.08.2010

Смельянова Дар'я Ігорівна, студентка НТУ «ХПІ». Наукові інтереси: ухвалення рішення в системі екологічного моніторингу, моделювання фізико-хімічних процесів у природних системах. Адреса: Україна, 61002, Харків, вул. Фрунзе, 12, тел. 8-057-707-64-74; 8-057-707-65-05, e-mail sone4ko-2008@yandex.ru

B.Г. ЗОТОВ

Рассматривается методика проектирования дискретных корректирующих алгоритмов для сложных динамических систем в частотной области. Предложен метод синтеза дискретных линейных корректирующих алгоритмов минимального порядка с линейными ограничениями на его характеристики в терминах линейного программирования. Приведен пример реализации метода.

Цель данной работы заключается в построении метода синтеза ДКА на основе системного подхода к формированию основных ограничений к параметрам регулятора. Актуальность данной проблемы подтверждается большим числом публикаций на международных конференциях [1 – 4].

$$\begin{aligned} \eta_1 &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1k}x_k + a_1 \geq 0, \\ \eta_2 &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2k}x_k + a_2 \geq 0, \\ &\text{-----} \\ \eta_m &= a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mk}x_k + a_m \geq 0, \end{aligned} \quad (1)$$

и пусть

$$L = \min_x \max_{1 \leq i \leq m} \eta_i(x), \quad (2)$$

где a_{ij} , $(i = \overline{1, m}; j = \overline{1, k})$ – вещественные коэффициенты; $|L|$ – устойчивость разрешимости системы (1).

В этом случае система (1) совместна (разрешима) тогда и только тогда, когда $L \leq 0$.

Существует решение x^* устойчивое по отношению к некоторому изменению коэффициентов системы (1). Оно остается при этом решением новой системы (1) до тех пор, пока изменение коэффициентов a_{ij} не приведет к изменению уклонений $\eta_i(x)$, $(i = \overline{1, m})$ на величину, большую чем $|L|$.

При $L > 0$ система (1) несовместна и L является ее минимальным уклонением. Точка $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_k^*)$, в которой при $L \neq -\infty$ достигается условие (2) так, что

$$\max_{1 \leq i \leq m} \eta_i(x^*) = \min_x \max_{1 \leq i \leq m} \eta_i(x) = L \quad (3)$$

называется чебышевским решением системы (1):

– если $L \leq 0$, то x^* – устойчивое чебышевское решение;

– если $L > 0$, то x^* – чебышевское приближение.

При пересечении плоскостей $\eta_i = 0$, $(i = \overline{1, m}; m > k)$, т.е. когда выполняются условия Хаара и x^* есть чебышевское решение совместной системы (1), то эта точка равноуклоненная на величину $L > 0$ от $k+1$ из этих плоскостей, ограничивающих k -симплекс. Следовательно, точка x^* лежит внутри этого симплекса, являясь элементом множества решений системы (1) и уклоняется не более чем на L от остальных $(m - k - 1)$ плоскостей.

Таким образом, нахождению точки x^* как чебышевского решения совместной системы линейных неравенств будет отвечать нахождение коэффициентов ДКА $x_1^*, x_2^*, \dots, x_k^*$.

Для существования единственной чебышевской точки необходимо и достаточно, чтобы каждый определитель k -го порядка матрицы ограничений $[a_{ij}]$, $(i = \overline{1, m}; j = \overline{1, k})$ был отличен от нуля.

При выполнении условия Хаара пара (x^*, L) находится как решение присоединенной задачи линейного программирования, в которой минимизируется целевая функция (2) на системе ограничений, расширенной из (1) присоединением неизвестной $x_{k+1} = L$ [5].

Для проверки условий Хаара организуется полный перебор определителей k -го порядка [6].

3. Построение системы ограничений на характеристики ДКА

Пусть ДКА не рекурсивной структуры представлен z -передаточной функцией вида

$$W(z) = \sum_{i=0}^k N_i z^{-i}, \quad (4)$$

где N_i , $(i = \overline{0, k})$ – постоянные вещественные коэффициенты; k – порядок ДКА; z – оператор z -преобразования. Подставив $z = \exp(j\omega T)$ в выражение (4), получим

$$W(j\omega) = \text{Re}(\omega) + j\text{Im}(\omega), \quad (5)$$

где $\text{Re}(\omega) = \sum_{i=0}^k N_i \cos(i\omega T)$; $\text{Im}(\omega) = -\sum_{i=0}^k N_i \sin(i\omega T)$; T – период прерывания; ω – круговая частота.

Линейная зависимость $\text{Re}(\omega)$ и $\text{Im}(\omega)$ импульсной передаточной функции ДКА от коэффициентов N_i , $(i = \overline{0, k})$ позволяет решить в пространстве коэффициентов задачу линейного программирования.

Требования к дискретной фазо-частотной характеристике (ДФЧХ) ДКА могут быть представлены в виде ограничений на фазовый сдвиг «сверху» и «снизу» в заданных точках частотной области в виде

$$\begin{aligned} \operatorname{Im}(\omega_g) - \operatorname{Re}(\omega_g) \operatorname{tg} a(\omega_g) &\leq 0, \quad g = \overline{1, m_1}, \\ \operatorname{Im}(\omega_g) - \operatorname{Re}(\omega_g) \operatorname{tg} b(\omega_g) &\leq 0, \quad g = \overline{1, m_2}, \end{aligned} \quad (6)$$

где $a(\omega_g), b(\omega_g)$ – значения ограничений, накладываемых на ДФЧХ ДКА «сверху» и «снизу» соответственно; m_1, m_2 – число точек, в которых заданы ограничения «сверху» и «снизу» соответственно.

Ограничение на статический коэффициент усиления ДКА имеют вид

$$\operatorname{Re}(\omega) = k_0, \quad (7)$$

где k_0 – величина статического коэффициента усиления.

Ограничения на дискретную амплитудно-частотную характеристику (ДАЧХ) ДКА могут быть представлены в виде

$$\operatorname{Re}^2(\omega_l) + \operatorname{Im}^2(\omega_l) \leq A^2(\omega_l), \quad l = \overline{1, n_1}, \quad (8)$$

где $\operatorname{Re}(\omega_l)$ и $\operatorname{Im}(\omega_l)$ – реальная и мнимая части передаточной функции ДКА; $A(\omega_l)$ – величина ограничения амплитуды ДКА на частотах $\omega_l, l = \overline{1, n_1}$; n_1 – число точек, в которых заданы ограничения на амплитуду ДКА.

Таким образом, получена система (6)-(8) основных ограничений на ДАФЧХ ДКА в виде

$$\begin{aligned} \operatorname{Im}(\omega_g) - \operatorname{Re}(\omega_g) \operatorname{tg} a(\omega_g) &\leq 0, \quad g = \overline{1, m_1}, \\ \operatorname{Im}(\omega_g) - \operatorname{Re}(\omega_g) \operatorname{tg} b(\omega_g) &\leq 0, \quad g = \overline{1, m_2}, \\ \operatorname{Re}^2(\omega_l) + \operatorname{Im}^2(\omega_l) &\leq A^2(\omega_l), \quad l = \overline{1, n_1}, \\ \operatorname{Re}(\omega) &= k_0, \end{aligned} \quad (9)$$

которая имеет $(m_1 + m_2 + n_1 + 1)$ ограничений. Из них $(m_1 + m_2)$ неравенств линейные, одно линейное равенство и n_1 нелинейных неравенств. Следовательно, для решения поставленной задачи необходимо осуществить линеаризацию нелинейных неравенств.

Из рассмотрения неравенств (9) видно, что областью существования амплитуды ДКА являются области комплексной плоскости, ограниченные окружностями радиусов $A(\omega_l), l = \overline{1, n_1}$.

При аппроксимации окружностей многоугольниками с записью линейных ограничений для каждой грани, получаем систему линейных неравенств в зависимости от числа сторон многоугольника. Повышение точности аппроксимации окружностей вписанными многоугольниками приводит к росту системы неравенств. Поэтому следует оценить приемлемую ошибку аппроксимации, по которой может быть определено нужное число сторон многоугольника.

Если взять в качестве аппроксимирующего многоугольника равносторонний четырехугольник, то ограничения на ДАЧХ ДКА можно представить в виде следующей системы неравенств

$$\begin{aligned} \operatorname{Re}(\omega_l) &\leq A'_1(\omega_l), \quad l = \overline{1, n_1}, \\ -\operatorname{Im}(\omega_l) &\leq A'_1(\omega_l), \quad l = \overline{1, n_1}, \\ -\operatorname{Re}(\omega_l) &\leq A'_1(\omega_l), \quad l = \overline{1, n_1}, \\ \operatorname{Im}(\omega_l) &\leq A'_1(\omega_l), \quad l = \overline{1, n_1}, \end{aligned} \quad (10)$$

где $A'_1(\omega_l) = A'(\omega_l) \cdot \sqrt{2}/2, l = \overline{1, n_1}$ – значения линейных ограничений.

Теперь областью существования амплитуды ДКА является вся внутренняя область четырехугольника на комплексной плоскости (рис. 1).

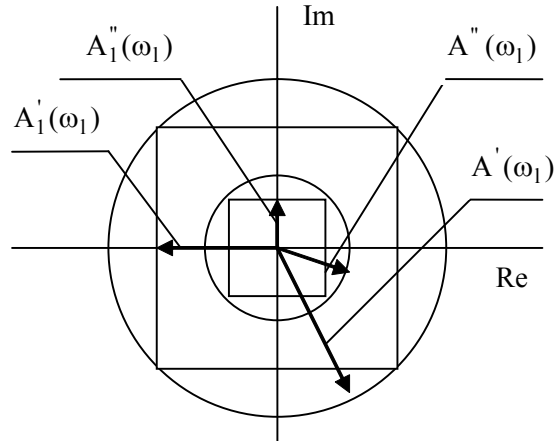


Рис. 1. Аппроксимация окружностей многоугольниками

При необходимости ограничения ДАЧХ ДКА на частотах присоединенных осцилляторов, вводится дополнительная система неравенств (11)

$$\begin{aligned} \operatorname{Re}(\omega_1) &\leq A_1''(\omega_1), \quad l = \overline{1, n_2}, \\ -\operatorname{Im}(\omega_1) &\leq A_1''(\omega_1), \quad l = \overline{1, n_2}, \\ -\operatorname{Re}(\omega_1) &\leq A_1''(\omega_1), \quad l = \overline{1, n_2}, \\ \operatorname{Im}(\omega_1) &\leq A_1''(\omega_1), \quad l = \overline{1, n_2}, \end{aligned} \quad (11)$$

где $A_1''(\omega_1) = A''(\omega_1) \cdot \sqrt{2}/2$, $l = \overline{1, n_2}$ – значения линейных ограничений на ДАЧХ ДКА на частотах присоединенных осцилляторов; $A''(\omega_1)$, $l = \overline{1, n_2}$ – значения нелинейных ограничений на ДАЧХ ДКА на этих же частотах; n_2 – число точек ограничений на частотах присоединенных осцилляторов.

Областью существования амплитуды ДКА на частотах присоединенных осцилляторов является внутренняя область малого четырехугольника на комплексной плоскости (рис.1).

Из анализа полученных систем неравенств следует, что линейные ограничения для ДАЧХ ДКА являются более жесткими, так как ограничивают меньшую область комплексной плоскости. Однако исследования показывают, что такая замена не оказывает существенного влияния на характеристики синтезируемых ДКА.

На рис. 2 представлено изображение ограничений $A'(\omega_1)$, $A''(\omega_1)$ в частотной области.

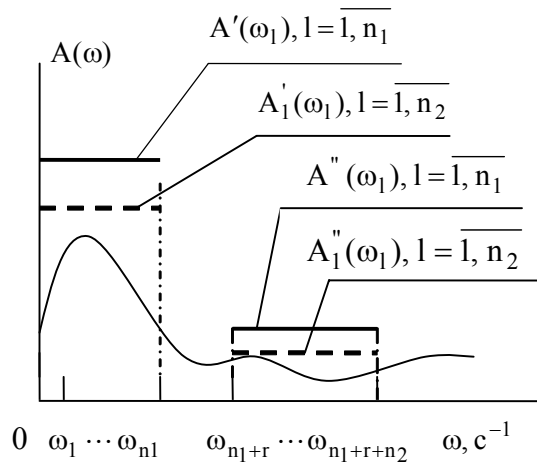


Рис. 2. Ограничения на ДАЧХ ДКА

Значения ограничений $A'(\omega_l)$, $l = \overline{1, n_1}$ выбираются в результате анализа ДАЧХ разомкнутой некорректированной системы и приближенной ДАЧХ желаемой скорректированной замкнутой системы в соответствии с критерием Найквиста. При этом выбираются значения

$$A'(\omega_l) = \gamma_1 \cdot \max[A_{\text{ж}}^k(\omega_l)] / A_p^H(\omega_l), \quad (12)$$

где $\max[A_{\text{ж}}^k(\omega_l)]$, $l = \overline{1, n_1}$, $A_p^H(\omega_l) \neq 0$, $l = \overline{1, n_1}$ – известные значения амплитуд разомкнутой некорректированной системы; γ_1 – постоянный коэффициент.

Значения ограничений $A''(\omega_l)$, $l = \overline{1, n_2}$ выбираются на основе анализа ДАЧХ разомкнутой некорректированной системы в зависимости от необходимости ограничения амплитуды на частотах присоединенных осцилляторов

$$A''(\omega_l) = \gamma_2 \cdot \max[A_{\text{ж}}^k(\omega_l)] / A_p^H(\omega_l), \quad l = \overline{1, n_2}, \quad (13)$$

где $\max[A_{\text{ж}}^k(\omega_l)] < 1$, $l = \overline{1, n_2}$ – максимальное желаемое значение амплитуд замкнутой скорректированной системы в диапазоне частот осцилляторов; $A_p^H(\omega_l) \neq 0$, $l = \overline{1, n_2}$ – известные значения амплитуд разомкнутой системы на тех же частотах; γ_2 – постоянный коэффициент.

В данном случае имеет место свобода выбора уровня, вида ограничений и возможности исследования системы в границах предпочтений пользователя. На различных этапах проектирования это может быть полезным свойством метода. При допущении ошибки в выборе ограничений, задача синтеза после проверки условий Хаара, предложит ввести более корректные ограничения. Изменение значений ограничений возможно варьированием коэффициентов γ_i , $i = 1, 2$. При этом может также варьироваться число точек ограничений n_2 .

Заменив в системе неравенств (9) нелинейные неравенства выражениями (10), (11) с учетом (5), получим полную систему линейных ограничений для ДКА. Эти ограничения выражены через коэффициенты ДКА в виде

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^k N_i [-\sin(i\omega_g T) - \operatorname{tg}(\omega_g) \cos(i\omega_g T)] &\leq 0, \quad g = \overline{1, m_1}, \\ \sum_{i=0}^k N_i [\sin(i\omega_g T) + \operatorname{tg}(\omega_g) \cos(i\omega_g T)] &\leq 0, \quad g = \overline{1, m_2}, \\ \sum_{i=0}^k N_i \cos(i\omega_l T) &\leq A'_1(\omega_l), \quad l = \overline{1, n_1}, \\ - \sum_{i=0}^k N_i \sin(i\omega_l T) &\leq A'_1(\omega_l), \quad l = \overline{1, n_1}, \\ - \sum_{i=0}^k N_i \cos(i\omega_l T) &\leq A'_1(\omega_l), \quad l = \overline{1, n_1}, \\ \sum_{i=0}^k N_i \sin(i\omega_l T) &\leq A'_1(\omega_l), \quad l = \overline{1, n_1}, \\ \sum_{i=0}^k N_i \cos(i\omega_l T) &\leq A''_1(\omega_l), \quad l = \overline{1, n_2}, \\ - \sum_{i=0}^k N_i \sin(i\omega_l T) &\leq A''_1(\omega_l), \quad l = \overline{1, n_2}, \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned}
-\sum_{i=0}^k N_i \cos(i\omega_1 T) &\leq A_1''(\omega_1), \quad l = \overline{1, n_2}, \\
\sum_{i=0}^k N_i \sin(i\omega_1 T) &\leq A_1''(\omega_1), \quad l = \overline{1, n_2}, \\
\sum_{i=0}^k N_i &= k_0,
\end{aligned}$$

где $A_1'(\omega_1) = A'(\omega_1) \cdot \sqrt{2}/2$, $l = \overline{1, n_1}$; $A_1''(\omega_1) = A''(\omega_1) \cdot \sqrt{2}/2$, $l = \overline{1, n_2}$.

Система (14) включает в себя $(m_1 + m_2 + 4n_1 + 4n_2)$ линейных неравенств и одно линейное равенство. При необходимости равенство сводится к двум неравенствам.

4. Построение задачи линейного программирования

Для решения поставленной задачи необходимо свести ее к задаче линейного программирования путем введения вспомогательной переменной x_{k+1} во все ограничения системы (14), требуя выполнения неравенств

$$\eta_i = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{ik}x_k + a_i \leq x_{k+1}, \quad i = \overline{1, m}.$$

Тогда, задача (1) – (3) сводится к эквивалентной ей следующей задаче линейного программирования:

Найти минимум линейной формы

$$Z = x_{k+1} \quad (15)$$

при ограничениях $\eta_i = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{ik}x_k + a_i \leq x_{k+1}$, $i = \overline{1, m}$.

Умножив левую и правую часть последнего неравенства на (-1) и перенеся x_{k+1} в левую часть неравенства, получим

$$\eta_i = -a_{i1}x_1 - a_{i2}x_2 - \dots - a_{ik}x_k + x_{k+1} - a_i \geq 0, \quad i = \overline{1, m}. \quad (16)$$

Получена задача линейного программирования, называемая присоединенной к задаче чебышевского приближения системы $\eta_i = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{ik}x_k + a_i = 0$, $i = \overline{1, m}$.

Итак, задачу (15) – (16) как типичную задачу линейного программирования можно решать симплекс-методом. Таким образом, из (12) – (16) новую систему получим в виде

$$\begin{aligned}
\sum_{i=0}^k N_i [-\sin(i\omega_g T) - \operatorname{tg}(\omega_g) \cos(i\omega_g T)] + N_{k+1} &\geq 0, \quad g = \overline{1, m_1}, \\
\sum_{i=0}^k N_i [\sin(i\omega_g T) + \operatorname{tg}(\omega_g) \cos(i\omega_g T)] + N_{k+1} &\geq 0, \quad g = \overline{1, m_2}, \\
-\sum_{i=0}^k N_i \cos(i\omega_1 T) + A_1'(\omega_1) + N_{k+1} &\geq 0, \quad l = \overline{1, n_1}, \\
\sum_{i=0}^k N_i \sin(i\omega_1 T) + A_1'(\omega_1) + N_{k+1} &\geq 0, \quad l = \overline{1, n_1}, \\
\sum_{i=0}^k N_i \cos(i\omega_1 T) + A_1'(\omega_1) + N_{k+1} &\geq 0, \quad l = \overline{1, n_1}, \\
-\sum_{i=0}^k N_i \sin(i\omega_1 T) + A_1'(\omega_1) + N_{k+1} &\geq 0, \quad l = \overline{1, n_1}, \\
-\sum_{i=0}^k N_i \cos(i\omega_1 T) + A_1''(\omega_1) + N_{k+1} &\geq 0, \quad l = \overline{1, n_2}, \\
\sum_{i=0}^k N_i \sin(i\omega_1 T) + A_1''(\omega_1) + N_{k+1} &\geq 0, \quad l = \overline{1, n_2}, \\
\sum_{i=0}^k N_i \cos(i\omega_1 T) + A_1''(\omega_1) + N_{k+1} &\geq 0, \quad l = \overline{1, n_2}, \\
-\sum_{i=0}^k N_i \sin(i\omega_1 T) + A_1''(\omega_1) + N_{k+1} &\geq 0, \quad l = \overline{1, n_2},
\end{aligned} \quad (15)$$

$$\sum_{i=0}^k N_i + k_0 + N_{k+1} = 0, \quad z = x_{k+1},$$

где $A'_1(\omega_1) = A'(\omega_1) \cdot \sqrt{2}/2$, $1 = \overline{1, n_1}$; $A''_1(\omega_1) = A''(\omega_1) \cdot \sqrt{2}/2$, $1 = \overline{1, n_2}$.

$$A'(\omega_1) = \gamma_1 \cdot \max[A_{\text{ж}}^K(\omega_1)] / A_p^H(\omega_1), \quad A_p^H(\omega_1) \neq 0, \quad 1 = \overline{1, n_1};$$

$$A''(\omega_1) = \gamma_2 \cdot \max[A_{\text{ж}}^K(\omega_1)] / A_p^H(\omega_1), \quad A_p^H(\omega_1) \neq 0, \quad \max[A_{\text{ж}}^K(\omega_1)] < 1, \quad 1 = \overline{1, n_2}.$$

Получена система $(m_1 + m_2 + 4n_1 + 4n_2)$ линейных неравенств и одного линейного равенства. В соответствии с симплекс-методом присоединенная задача (15) задается в виде табл. 1 следующего вида.

Таблица 1. Таблица алгоритма симплекс-метода

	$-x_1$	$-x_2$	$\dots$	$-x_k$	$-x_{k+1}$	-1
$y_1 =$	$-a_{11}$	$-a_{12}$	$\dots$	$-a_{1k}$	-1	a_1
$y_m =$	$-a_{m1}$	$-a_{m2}$	$\dots$	$-a_{mk}$	-1	a_m
$y_1^* =$	a_{11}	a_{12}	$\dots$	a_{1k}	-1	a_1
$y_m^* =$	a_{m1}	a_{m2}	$\dots$	a_{mk}	-1	$-a_m$
$0 =$	1	1	$\dots$	1	0	k_0
$z =$	0	0	$\dots$	0	-1	Q

При помощи последовательных шагов жордановых исключений исключаются лишь координаты $x_1, x_2, \dots, x_k$ (т.к. $x_{k+1} \geq 0$). Применяется алгоритм симплекс-метода для отыскания опорного решения, а затем для минимизации z . В результате получения решения, вычисляются координаты $x_1^*, x_2^*, \dots, x_k^*$ чебышевской точки. Уклонение L равно найденному значению Z .

Структурная схема задачи синтеза представлена на рис. 4.

Пример. Найти коэффициенты дискретного линейного не рекурсивного корректирующего алгоритма минимального порядка, обеспечивающего опережение по фазе в диапазоне частот $\omega = 0, 2, 4, \dots, 14 \text{ с}^{-1}$ с шагом $\Delta\omega = 2 \text{ с}^{-1}$ и $m_1 = m_2 = 7$, удовлетворяющего ограничениям, заданным табл. 2: $k_{\text{нач}} = 2$; $T = 0,05 \text{ с}$.

Таблица 2. Ограничения на фазо-частотную характеристику ДКА

g	Ограничения на сдвиг фаз регулятора				
	ω_g с^{-1}	$a(\omega_g)$ рад	$b(\omega_g)$ рад	$a(\omega_g)$ град	$b(\omega_g)$ град
1	2	1.221730	0.523599	70	30
2	4	1.221730	0.523599	70	30
3	6	1.221730	0.523599	70	30
4	8	1.221730	0.523599	70	30
5	10	1.047198	0.349066	60	20
6	12	0.872665	0.174533	50	10
7	14	0.698132	-0.174533	40	-10

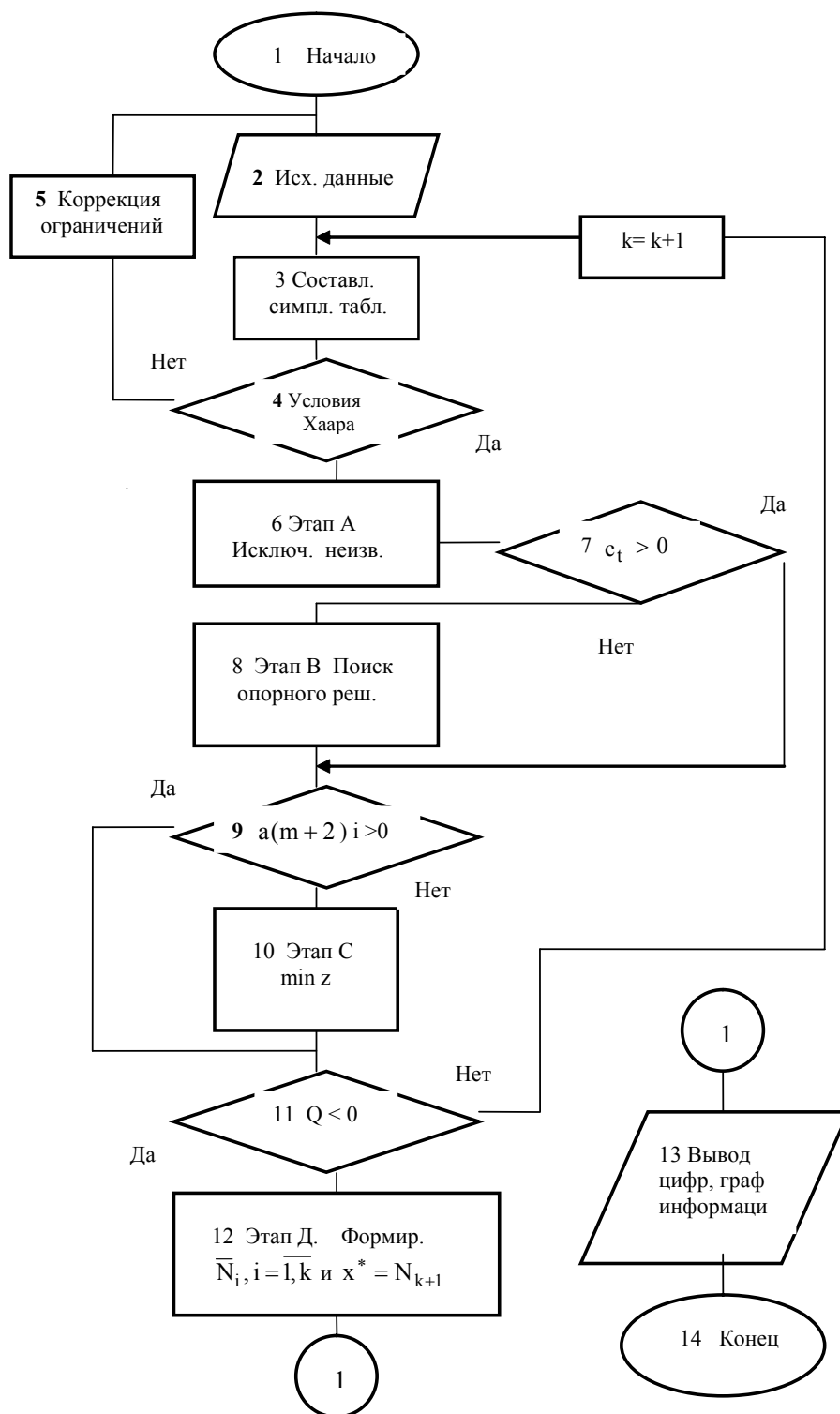


Рис. 4. Структурная схема задачи синтеза корректирующих алгоритмов

В результате решения задачи методом нахождения чебышевского решения, получен ДКА не рекурсивной структуры третьего порядка с нормированными коэффициентами

$$W(z) = 1 - 0.180099z^{-1} - 0.271732z^{-2} - 0.310527z^{-3},$$

ДФЧХ которого представлена на рис. 5.

Синтезированный ДКА собственно устойчив, так как корни его характеристического уравнения $z_{1,2} = -0.352141 \pm j \cdot 0.476571$, $z_3 = 0.884382$ находятся в окружности единичного радиуса z – плоскости.

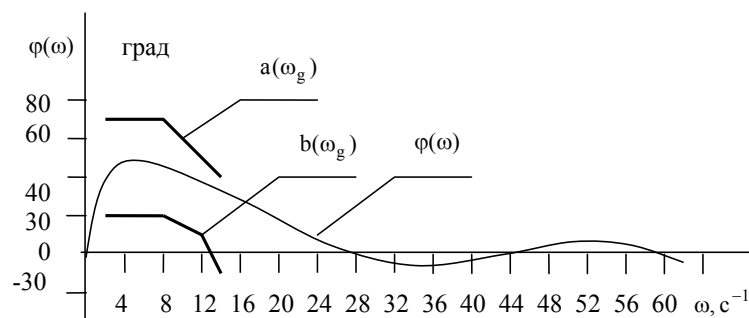


Рис. 5. ДФЧХ синтезированного ДКА

Выводы

Научная новизна полученных результатов заключается в системном подходе к разработке метода синтеза ДКА с одновременным учетом всех ограничений.

1. Предложенный метод синтеза линейных ДКА работоспособен в условиях линеаризации нелинейных ограничений на дискретные частотные характеристики исследуемого ДКА.

2. Анализ результатов исследований показывает, что требования предъявляемые к синтезируемому ДКА выполняются: ДКА минимального порядка и собственно устойчивы; частотные характеристики находятся внутри заданной зоны ограничений в требуемом диапазоне частот.

3. Предложенный метод синтеза ДКА может быть использован при проектировании дискретных систем управления для сложных динамических систем.

Практическая значимость заключается в значительном (на 70 – 80 %) снижении времени синтеза ДКА на основе предложенного метода.

Список литературы: 1. Кунцевич В.М. Синтез робастно устойчивых дискретных систем управления нелинейными объектами // Автоматика. 2008. Ч. 1. Доклады XV международной конференции по автоматическому управлению 23-26 сентября 2008. г. Одесса. ОНМА. С.296-299. 2. Прач А.А. Синтез оптимальной системы стабилизации заданной точности // 6-я Международная научно-техническая конференция: Гидро-технологии, навигация, управление движением и конструирование авиационно-космической техники: Сб. док. 2007. Ч.2. Киев. С. 127-133. 3. Ларин В.Б., Туник А.А. Синтез контуров управления летательного аппарата с гарантированной точностью // Сб. материалов 13-й Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным системам. 2006. С.36-38. 4. Taranenko W., Czachos G. Performance of adaptive control algorithm for machining process in the presence of computational delays // Автоматика – 2003: Материалы 10-й Международной конференции по автоматическому управлению, г. Севастополь, 15-19 сентября 2003.: в 3-х т. Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2003 Т.1. С.112-115. 5. Зуховицкий С.И. Линейное и выпуклое программирование [Текст] / С.И. Зуховицкий., Авдеева Л.И. М.: Наука, 1967. 348с. 6. Липский В. Комбинаторика для программистов. М.: Мир. 1988. 213 с.

Поступила в редколлегию 29.06.2010

Зотов Владимир Густавович, канд. техн. наук, ст. научн. сотрудник ХНУРЭ. Научные интересы: проектирование дискретных систем управления. Увлечения: туризм, цифровое фото. Адрес: Украина, 61000, Харьков, ул. Астрономическая-19, кв. 19, тел. 760-38-76.

*Н.Я. КАКУРИН, Ю.В.ЛОПУХИН, В.В. ВАРЕЦА, В.В. КАТАСОНОВ,
А.Н. МАКАРЕНКО*

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ КОДОВ ПО МЕТОДУ ДОСЧЕТА

Рассматривается структура и функционирование многосекционных преобразователей кодов по методу досчета. Предложен алгоритм нахождения фундаментального разбиения и программное средство для его реализации и анализа основных характеристик.

1. Постановка задачи

Рост быстродействия высокопроизводительных вычислительных систем в настоящее время невозможен без использования быстродействующих преобразователей цифровых кодов.

Известно, что в современных универсальных ЭВМ преобразование чисел выполняется программным способом, что ведет к снижению их производительности. Переход на быстродействующие аппаратурные способы преобразования кодов позволяет значительно увеличить быстродействие вычислительных устройств и является перспективным.

Достоинством преобразователей кодов по методу досчета (ПК ДСЧ), относящихся к аппаратурным способам преобразования, является схемная простота, малые аппаратурные затраты, низкая стоимость и линейный рост аппаратурных затрат от разрядности входного кода [1].

Основными характеристикам ПК ДСЧ являются: система счисления на входе и на выходе, разрядность входного и выходного кодов, быстродействие, аппаратурные затраты и стоимость.

Характеристика стоимости является вторичной по отношению к показателю аппаратурных затрат и выражает качество схемы по типам применяемых элементов.

Целью настоящей работы являются:

- анализ структурных особенностей и основных характеристик ПК ДСЧ;
- алгоритмизация нахождения структуры ПК ДСЧ с наибольшим быстродействием;
- рассмотрение программного средства для нахождения оптимальной по быстродействию структуры ПК ДСЧ.

Быстродействие ПК ДСЧ в дальнейшем будем оценивать не по абсолютным единицам времени (нс, мкс, мс), а по относительным (по количеству тактов преобразования максимального числа).

2. Многосекционная схема ПК по методу досчета

Простейшим преобразователем по методу досчета является односекционная схема, содержащая один входной вычитающий счетчик и один выходной суммирующий.

Недостатком односекционного ПК ДСЧ является значительное число тактов на преобразование максимального числа.

Пусть система счисления на входе – p ; число входных разрядов nZ , длительность периода импульсов генератора T_{Γ} .

Тогда при $p=2$; $nZ=20$ время преобразования определяется формулой (1):

$$t_{\text{пр}} = T_{\Gamma} \cdot N_{\text{макс}} = T_{\Gamma} \cdot (p^{nZ} - 1), \quad (1)$$

при $T_{\Gamma} = 1 \cdot 10^{-6}$ с.; $t_{\text{пр}} = 1 \cdot 10^{-6} (2^{20} - 1) = 1 \cdot 10^{-6} \cdot 1,048575 \cdot 10^6 \approx 1,05$ с.

Для ускорения процесса преобразования чисел можно использовать различные приемы, в частности разбиения входных и выходных счетчиков на две секции [2,3] или на большее число [4].

Перевод чисел в многосекционных ПК ДСЧ происходит путем последовательно-возвратного обнуления каждого входного счетчика. При этом способе обнуление входного

На выходе дешифратора нуля 4_1 появляется разрешающий потенциал, а на выходе элемента НЕ 7_1 – запрещающий. Импульс с выхода генератора 9 проходит через элемент И 5_2 и производит вычитание единицы из счетчика 3_2 , прибавление единицы в счетчик 2_2 и через шифратор 8 установку числа $R_2 = R_{21} = M_1 - 10$ в счетчик 3_1 . На выходе дешифратора 4_1 снова появляется запрещающий потенциал, а на выходе элемента НЕ 7_1 – разрешающий. Следующая серия импульсов производит вычитание числа R_{21} из счетчика 3_1 и прибавление этого числа в счетчик 2_1 . Если при этом возникает переполнение счетчика 2_1 , то единица переноса через элемент ИЛИ 6_2 поступает на счетный вход счетчика 2_2 . Такая последовательность действий циклически продолжается до тех пор, пока число из счетчика 3_2 не будет полностью перенесено в счетчик 2_2 . После этого открывается элемент И 5 следующей секции I и начинается вычитание единиц из счетчика 3 и прибавление единиц в счетчик 2 этой секции.

При этом первый импульс с выхода генератора 9, пройдя через элемент И 5_i ($i = \overline{2, N}$) и шифратор 8_i ($i = \overline{1, N-2}$), при $p=2$ и $K=10$ устанавливает число R_i , представленное формулой (2):

$$R_i = R_{i,i-1} R_{i,i-2} \dots R_{i,1} = \prod_{l=1}^{i-1} M_l - K^{i-1} = 2^{\sum_{l=1}^{i-1} n_l} - 10^{i-1} \quad (2)$$

(n_l – количество двоичных разрядов в двоичном счетчике секции I) в двоичные счетчики 3_l ($l = \overline{1, i-1}$) соответствующих предыдущих секций. В результате на выходе дешифраторов 4_l ($l = \overline{1, i-1}$) соответствующей секции, в которой содержимое счетчика 3_l не равно нулю, появляется запрещающий потенциал. Дальнейшая работа устройства происходит аналогично: каждый импульс, поступающий на входы счетчиков 2_i и 3_i ($i = \overline{2, N}$), одновременно устанавливает число $R_i = R_{i,i-1} R_{i,i-2} \dots R_{i,1}$ в счетчиках 3_l ($l = \overline{1, i-1}$), после чего очередная серия импульсов производит вычитание числа R_{ij} из счетчика 3_j и прибавление этого числа в счетчик 2_j . Причем этот процесс начинается в младшей по номеру секции 1_1 , в которой состояние счетчика 3_l не равно нулю ($l = \overline{1, i-1}$). После вычитания последней единицы из счетчика 3_N и последнего числа R_N из счетчиков 3_l ($l = \overline{1, i-1}$) на выходе дешифратора нуля 4_N появляется сигнал, останавливающий работу генератора импульсов 9. На этом преобразование кода заканчивается.

Граф-схема алгоритма преобразования числа в многосекционном (3 секции) ПК ДСЧ показана на рис.2:

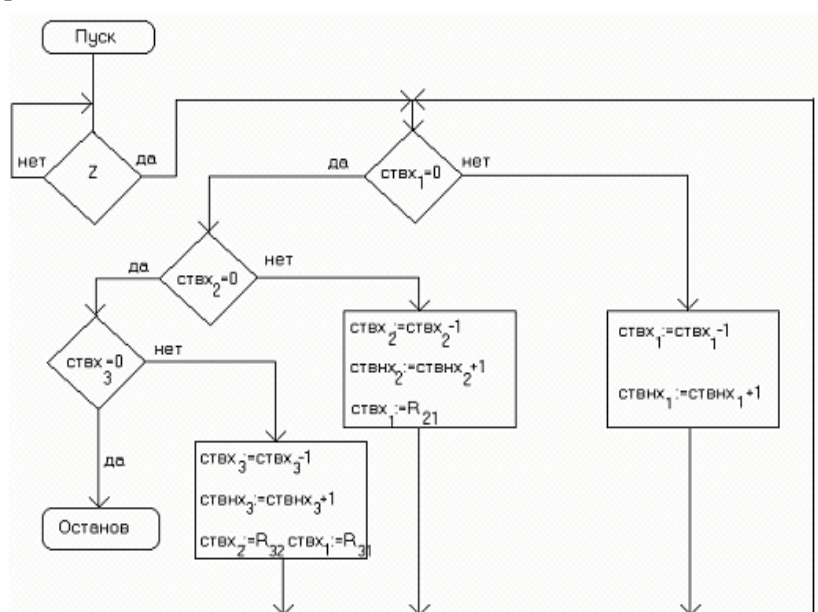


Рис. 2. Граф-схема алгоритма преобразования числа в многосекционном ПК ДСЧ

Преобразование называется возвратным, так как прохождение одного импульса на обнуление второй секции приводит к записи корректирующей поправки R_{21} в первый входной счетчик. Затем вновь начинается обнуление первого входного счетчика.

Разбиение ПК по методу досчета на секции выполняется таким образом, чтобы сохранилось счетчиковая структура выходных счетчиков (чтобы перенос был строго равен 1). При $p=2$ и $K \neq 10$ требуется выполнение общего условия:

$$2^{n_1} = (1a)_K; 2^{n_1+n_2} = (1ab)_K; 2^{n_1+n_2+n_3} = (1abc)_K. \quad (3)$$

Это возможно в случае выполнения неравенства:

$$p^L \geq K^{i-1}, (i = \overline{2, N}), \quad (4)$$

где i – номер секции; N – максимальное число секций; L – наименьшее целое число, при котором выполняется неравенство (4). При этом L не должно превышать заданное число разрядов nZ .

Как только $L \geq nZ$, процесс разделения на секции прекращается. В результате получим:

$$L = \sum_{l=1}^{l=N} n_l, \quad (5)$$

где n_l – число входных p -ичных разрядов в секции l . Если обозначить $M_l = p^{n_l}$, то корректирующие поправки из i -й секции $i-1, i-2, \dots, 1$ определяются по формуле:

$$R_i = R_{i,i-1} R_{i,i-2} \dots R_{i,1} = \prod_{l=1}^{l=i-1} M_l - K^{i-1} = p^{\sum_{l=1}^{l=i-1} n_l} - K^{i-1} \quad (6)$$

Например, при $p=2$; $K=10$; $nZ=10$ имеем $2^4 \geq 10^1$ и $n_1 = 4$; $R_2 = R_{21} = 16 - 10 = 6$

Далее $2^7 \geq 10^2$; $n_2 = 7 - 4 = 3$; $R_3 = 128 - 100 = 28_{10}$. Для нахождения поправок $R_{32}; R_{31}$ число 28_{10} переводится в двоичную систему счисления $28_{10} = 00111100_2$ и разделяется на секции по числу входных разрядов и переводится вновь в десятичную систему $R_{32} = 1; R_{31} = 12$.

На следующем шаге имеем $2^{10} \geq 10^3$; $n_3 = 3$. Поправки

$$R_4 = 2^{10} - 1000 = 1024 - 1000 = 24_{10} = 0000011100 \text{ и } R_{43} = 0; R_{42} = 1; R_{41} = 8.$$

На последнем шаге разбиения на секции, если $L > nZ$, число p -ичных разрядов секции n_N находят по формуле:

$$n_N = n_Z - \sum_{i=1}^{i=N-1} n_i. \quad (7)$$

Преобразование числа в многосекционной схеме ПК ДСЧ аналогично счету импульсов в неоднородной позиционной системе счета с весами $Q_i (i = \overline{1, N})$.

Весовые коэффициенты секций Q_i определяют по формуле:

$$Q_i = 1 + \sum_{j=1}^{j=i-1} R_{ij} Q_j, (i = \overline{1, N}), \quad (8)$$

где R_{ij} – корректирующая поправка из секции i в секцию j .

При числе разрядов каждой входной секции n_i и $p=2$ максимальное число тактов преобразования ПК ДСЧ рассчитывается по формуле:

$$T_N = \sum_{i=1}^N (2^{n_i} - 1) \cdot Q_i \quad (9)$$

Величины поправок R_{ij} определяют системой счисления p на входе, K на выходе, числом разрядов nZ на входе и числом разрядов n_i каждой секции.

При разбиении ПК ДСЧ на секции в разбиении указывают число выходных m_i и входных n_i разрядов каждой секции в виде:

$$\begin{aligned} m_N, m_{N-1}, m_{N-2}, \dots, m_2, m_1, \\ n_N, n_{N-1}, n_{N-2}, \dots, n_2, n_1. \end{aligned} \quad (10)$$

Многосекционное разбиение называют фундаментальным (основным), если в каждой секции находится по одному выходному разряду. Фундаментальному разбиению (ФР) соответствует минимальное число тактов.

Все другие разбиения ПК ДСЧ на секции можно получить из фундаментального. ФР можно отобразить в виде:

$$\begin{aligned} 1, 1, \dots, 1, 1, \\ n_N, n_{N-1}, \dots, n_2, n_1. \end{aligned} \quad (11)$$

3. Алгоритм нахождения фундаментального разбиения ПК ДСЧ

Анализ рассмотренной выше методики позволяет сформулировать алгоритм нахождения ФР в виде:

1. Находится разрядность каждой секции и число секций всего ПК по заданным основаниям входной и выходной систем счисления, и разрядности на входе.
2. Строится матрица корректирующих поправок R_{ij} ($i = \overline{2, N}$; $j = \overline{1, N-1}$).
3. Вычисляются весовые коэффициенты Q_i ($i = \overline{1, N}$) секций.
4. Определяется максимальное число тактов преобразования фундаментального разбиения T_N .

В соответствии с приведенным выше алгоритмом для $p=2$; $nZ=20$; $K=10$ найдем, что $2^4 \geq 10^1$, следовательно $n_1 = 4$. Далее $2^{4+3} \geq 10^2$; $n_2 = 3$; $2^{4+3+3} \geq 10^3$; $n_3 = 3$; $2^{4+3+3+4} \geq 10^4$; $n_4 = 4$; $2^{4+3+3+4+3} \geq 10^5$; $n_5 = 3$; $2^{4+3+3+4+3+3} \geq 10^6$; $n_6 = 3$.

Таким образом, ФР в данном случае имеет вид:

$$\begin{aligned} 1, 1, 1, 1, 1, 1 \\ 3, 3, 4, 3, 3, 4 \end{aligned}$$

Корректирующие поправки R_{ij} находят способом вычисления общей поправки R_i и разделение ее на поправки по секциям $j = \overline{1, i-1}$. Общая поправка R_i вычисляется по формуле (6).

Затем поправку R_i переводят во входную систему счисления p и представляют $n_1 + n_2 + \dots + n_i$ разрядными числами. Полученное число разбивается на группы по n_i разрядов в каждой. Каждая группа двоичных разрядов представляет собой чистую поправку R_{ij} , которая для удобства вычислений переводится в десятичную систему счисления.

Поправочные коэффициенты в общем виде записываются по матрице:

$$R_{ij} = \begin{vmatrix} R_2 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & R_{21} \\ R_3 & 0 & 0 & \dots & 0 & & R_{32} & R_{31} \\ R_4 & 0 & 0 & \dots & R_{43} & R_{42} & R_{41} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_N & R_{N,N-1} & R_{N,N-2} & \dots & R_{N,3} & R_{N,2} & R_{N,1} \end{vmatrix} \quad (12)$$

Для рассматриваемого примера $p=2$; $K=10$; $N=6$ получим

$$\begin{aligned} R_2 &= 2^4 - 10^1 = 6_{10} = 0110_2; R_{21} = 0110_2 = 6_{10} \\ R_3 &= 2^{4+3} - 10^2 = 28_{10} = 0011100_2; \\ R_{32} &= 1; R_{31} = 12; R_4 = 2^{4+3+3} - 10^3 = 24_{10} = 000011000_2; R_{43} = 0; R_{42} = 1; R_{41} = 8 \end{aligned}$$

$$R_5 = 2^{4+3+3+4} - 10^4 = 6384_{10} = 01100011110000_2; R_{54} = 6; R_{53} = 1; R_{52} = 7; R_{51} = 0$$

$$R_6 = 2^{4+3+3+4+3} - 10^5 = 31072_{10} = 0011110010110000_2; R_{65} = 1; R_{64} = 14; R_{63} = 2;$$

$$R_{62} = 6; R_{61} = 0.$$

В итоге получим следующую матрицу корректирующих поправок:

$$R_{ij} = \begin{array}{c|cccc} 2 & & & & 6 \\ 3 & & & 1 & 12 \\ 4 & & 0 & 1 & 8 \\ 5 & 6 & 1 & 7 & 0 \\ 6 & 1 & 14 & 2 & 6 & 0 \end{array} \quad (13)$$

и следующие веса секций $Q_1 = 1; Q_2 = 7; Q_3 = 20; Q_4 = 16; Q_5 = 166; Q_6 = 473$.

Максимальное число тактов преобразования ПК ДСЧ составит 4917 тактов.

4. Программное средство для анализа ПК ДСЧ «PREOBRAZOVATEL»

В качестве инструмента для разработки программного пакета «Preobrazovatel» была использована среда программирования Microsoft Visual Studio 2005. Microsoft Visual Studio 2005 – средство быстрой разработки приложений, позволяющее создавать программы на языке C#. Данная среда программирования частично использует принципы RAD. RAD означает быструю разработку приложений. Это концепция позволяет создавать программные продукты, причем особое внимание уделяется скорости и удобству программирования, созданию технологического процесса, позволяющего программисту максимально быстро писать компьютерные программы.

При разработке программного средства использовались следующие структуры данных:

Класс Convertor: Calculate() – функция для преобразования; Convertor(int, int, int) – конструктор класса Convertor; GenerateList() – генерирует списки значений n и z; GenerateMatrix() – генерирует матрицу R; GenerateQList() – формирует список значений Q; GenerateR() – формирует список значений R; GenerateT() – находит число тактов преобразования; GetBoolArray(int, int) – преобразует целое число из десятичной системы счисления в двоичную с учетом выделенного количества разрядов; GetInt(bool[]) – преобразует число из двоичной системы счисления в десятичную; GetN(int, int) – формирует значение N; IsEndOfListGeneration() – проверяет условие конца генерации списка.

После запуска программы появятся три текстовых поля для ввода данных. С помощью этих элементов управления необходимо задать исходные данные для режима преобразования чисел (рис.3).

Рис. 3. Интерфейс для ввода исходных данных программы «Preobrazovatel»

Результат работы программного средства «Preobrazovatel» для $p=2$; $K=10$; $nZ=20$ приведен на рис.4.

Программное средство работает при $p=2$; $K=3-60$; $nZ=2-32$. С помощью данной программы получен и проанализирован ряд основных характеристик многосекционных ПК ДСЧ для $p=2$; $nZ=20$; $A_1 = T_1 / T_{ФР}$; $A_2 = T_2 / T_{ФР}$ (таблица).

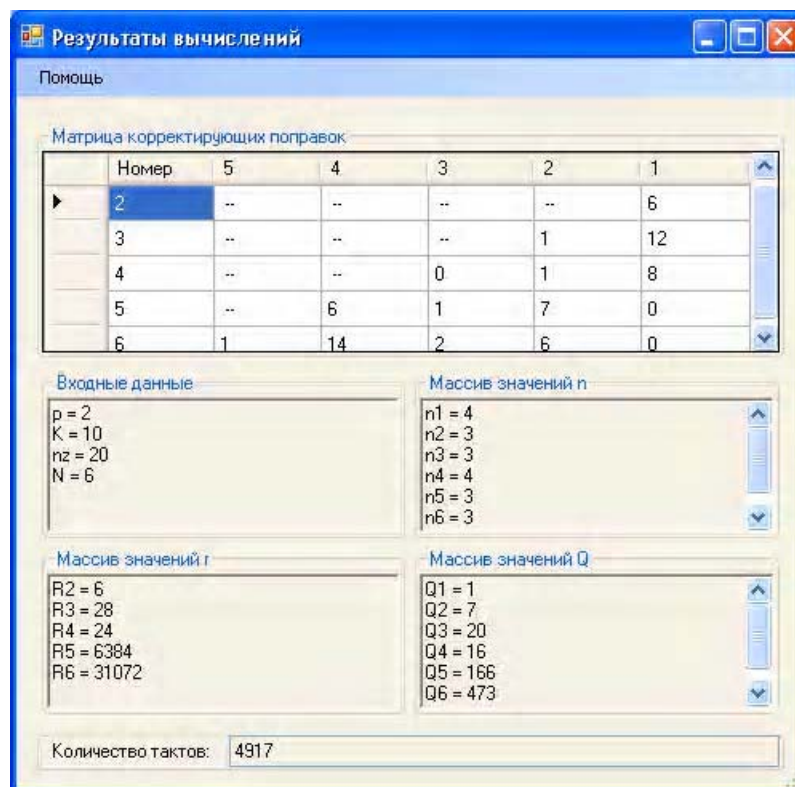


Рис. 4. Результат работы программного средства «Preobrazovatel»

К	Число двоичных разрядов секции	Число секций N	Количество тактов	A ₁	A ₂
3	2,2,1,2,1,2,2,1,2,1,2,2	12	1807	580,28	14,72
5	1,2,3,2,2,3,2,2,3	9	2003	518,33	13,08
6	1,3,3,2,3,2,3,3	8	4145	252,97	6,42
7	3,2,3,3,3,3,3	7	6495	161,44	4,095
9	4,3,3,3,3,4	6	12415	84,5	2,14
10	3,3,4,3,3,4	6	4917	213,26	5,409
11	2,4,3,4,3,4	6	5955	176,1	4,466
12	2,3,4,3,4,4	6	6424	163,23	4,14
13	1,4,3,4,4,4	6	8631	121,49	3,082
15	4,4,4,4,4	5	7185	145,9	3,7018
24	1,5,4,5,5	5	20498	51,15	1,297
60	2,6,6,6	4	8700	120,52	3,057

Из таблицы следует, что быстродействие ПК ДСЧ увеличивается с уменьшением основания выходной системы счисления K. Многосекционный ПК ДСЧ на базе ФР дает существенный выигрыш (на 1 – 2 порядка), даже по сравнению с двухсекционным ПК.

Выводы

1. Рассмотрена структура и функционирование многосекционного преобразователя кодов по методу досчета.
2. Предложен алгоритм нахождения фундаментального разбиения ПК ДСЧ и найдены основные характеристики этого ПК для ряда исходных значений входных и выходных параметров.
3. Предложено новое программное средство «PREOBRAZOVATEL», позволяющее автоматизировать этапы системного проектирования и нахождения основных характеристик.

4. Показано, что реализация ПК ДСЧ по фундаментальному разбиению позволяет сократить число тактов преобразования максимального числа по сравнению с односекционной схемой на 3-4 порядка, а по сравнению с двухсекционной схемой на 1-2 порядка.

Научная новизна состоит в формулировке алгоритма нахождения фундаментального разбиения ПК ДСЧ на секции и реализация этого алгоритма на языке программирования С#.

Практическая значимость результатов заключается в возможности автоматизированного нахождения основных характеристик ПК ДСЧ, что позволяет на несколько порядков повысить его быстродействие.

Список литературы: 1. Сухомлинов М.М., Выхованец В.Н. Преобразователи кодов чисел. Киев: Техника, 1965. 136 с. 2. А.С. 468236 5G06F 5/02. Устройство для преобразования кодов /В.М.Гусятин, Н.В.Алипов, А.П.Руденко // Открытия, изобретения. 1975. №15. С.108. 3. Макаренко А.Н. Алгоритмизация разбиений преобразователей кодов // АСУ и приборы автоматики. 1990. Вып. 94. С.103-109. 4. А.С. 1153323 5G06F 5/00. Преобразователь двоичного кода в двоично-К-ичный код / Н.Я.Какурин, Ю.К. Кирияков, В.М.Гусятин // Открытия, изобретения. 1985. №16. С.167

Поступила в редколлегию 05.09.2010

Какурин Николай Яковлевич, канд. техн. наук, профессор кафедры автоматизации проектирования вычислительной техники ХНУРЭ. Научные интересы: прикладная теория цифровых автоматов, автоматизация проектирования цифровых устройств. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326.

Лопухин Юрий Владимирович, ст. преподаватель кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: проектирование программного обеспечения, автоматизация проектирования цифровых устройств. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326.

Вареца Виталий Викторович, аспирант кафедры автоматизации проектирования вычислительной техники ХНУРЭ. Научные интересы: проектирование программного обеспечения, автоматизация проектирования цифровых устройств. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326.

Катасонов Валерий Вячеславович, студент группы КИ-07-6 ХНУРЭ. Научные интересы: автоматизация проектирования цифровых устройств, проектирование программного обеспечения. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326.

Макаренко Анна Николаевна, канд. техн. наук, доцент кафедры информационных технологий Харьковского банковского института. Научные интересы: информационные технологии, анализ и синтез преобразователей код-код. Адрес: Украина, 61074, Харьков, пр. Победы, 55, тел. 336-05-64.

УДК 681.51

О.Я. КУЗЬОМІН, В.В. ЛЯШЕНКО

ІДЕНТИФІКАЦІЯ СКЛАДОВИХ ЕКОНОМІЧНИХ КЛАСТЕРІВ У ПРОСТОРІ ПЕРЕТВОРЕНИХ ДАНИХ

Розглянуто формалізоване подання сутності економічного кластеру. Запропоновано підхід щодо ідентифікації елементів економічного кластеру та надано його імовірнісну інтерпретацію. Визначено похибку ідентифікації елементів економічного кластеру на основі запропонованого підходу.

Вступ

Сучасні методи аналізу діяльності суб'єктів господарювання передбачають застосування досить широкого кола статистичних даних, що визначається наявністю цілої сукупності внутрішніх та зовнішніх впливів на сталість функціонування суб'єктів ринкових відносин. Разом з цим обробка статистичних даних визначається не лише простим узагальненням діяльності функціонування окремих суб'єктів господарювання з погляду одного з показників. Для отримання зважених висновків доцільно використовувати для відповідного аналізу як низку показників за одним із досліджуваних суб'єктом, так й низку різних суб'єктів господарювання, які у підсумку і визначають економічну змістовність наявних зв'язків у ринкових умовах ведення господарської діяльності.

4. Показано, что реализация ПК ДСЧ по фундаментальному разбиению позволяет сократить число тактов преобразования максимального числа по сравнению с односекционной схемой на 3-4 порядка, а по сравнению с двухсекционной схемой на 1-2 порядка.

Научная новизна состоит в формулировке алгоритма нахождения фундаментального разбиения ПК ДСЧ на секции и реализация этого алгоритма на языке программирования С#.

Практическая значимость результатов заключается в возможности автоматизированного нахождения основных характеристик ПК ДСЧ, что позволяет на несколько порядков повысить его быстродействие.

Список литературы: 1. Сухомлинов М.М., Выхованец В.Н. Преобразователи кодов чисел. Киев: Техника, 1965. 136 с. 2. А.С. 468236 5G06F 5/02. Устройство для преобразования кодов /В.М.Гусятин, Н.В.Алипов, А.П.Руденко // Открытия, изобретения. 1975. №15. С.108. 3. Макаренко А.Н. Алгоритмизация разбиений преобразователей кодов // АСУ и приборы автоматики. 1990. Вып. 94. С.103-109. 4. А.С. 1153323 5G06F 5/00. Преобразователь двоичного кода в двоично-К-ичный код / Н.Я.Какурин, Ю.К. Кирияков, В.М.Гусятин // Открытия, изобретения. 1985. №16. С.167

Поступила в редколлегию 05.09.2010

Какурин Николай Яковлевич, канд. техн. наук, профессор кафедры автоматизации проектирования вычислительной техники ХНУРЭ. Научные интересы: прикладная теория цифровых автоматов, автоматизация проектирования цифровых устройств. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326.

Лопухин Юрий Владимирович, ст. преподаватель кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: проектирование программного обеспечения, автоматизация проектирования цифровых устройств. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326.

Вареца Виталий Викторович, аспирант кафедры автоматизации проектирования вычислительной техники ХНУРЭ. Научные интересы: проектирование программного обеспечения, автоматизация проектирования цифровых устройств. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр.Ленина, 14, тел. 70-21-326.

Катасонов Валерий Вячеславович, студент группы КИ-07-6 ХНУРЭ. Научные интересы: автоматизация проектирования цифровых устройств, проектирование программного обеспечения. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326.

Макаренко Анна Николаевна, канд. техн. наук, доцент кафедры информационных технологий Харьковского банковского института. Научные интересы: информационные технологии, анализ и синтез преобразователей код-код. Адрес: Украина, 61074, Харьков, пр. Победы, 55, тел. 336-05-64.

УДК 681.51

О.Я. КУЗЬОМІН, В.В. ЛЯШЕНКО

ІДЕНТИФІКАЦІЯ СКЛАДОВИХ ЕКОНОМІЧНИХ КЛАСТЕРІВ У ПРОСТОРІ ПЕРЕТВОРЕНИХ ДАНИХ

Розглянуто формалізоване подання сутності економічного кластеру. Запропоновано підхід щодо ідентифікації елементів економічного кластеру та надано його імовірнісну інтерпретацію. Визначено похибку ідентифікації елементів економічного кластеру на основі запропонованого підходу.

Вступ

Сучасні методи аналізу діяльності суб'єктів господарювання передбачають застосування досить широкого кола статистичних даних, що визначається наявністю цілої сукупності внутрішніх та зовнішніх впливів на сталість функціонування суб'єктів ринкових відносин. Разом з цим обробка статистичних даних визначається не лише простим узагальненням діяльності функціонування окремих суб'єктів господарювання з погляду одного з показників. Для отримання зважених висновків доцільно використовувати для відповідного аналізу як низку показників за одним із досліджуваних суб'єктом, так й низку різних суб'єктів господарювання, які у підсумку і визначають економічну змістовність наявних зв'язків у ринкових умовах ведення господарської діяльності.

Загалом відмічений напрям дослідження проводиться з погляду так званих економічних кластерів [1–4], що і дозволяє узагальнити розгляд різноманітних економічних даних. Однак, незважаючи на застосування поняття кластеру в економічних роботах, й досі не доопрацьованими залишаються питання формалізованого застосування кластерів як інструменту дослідження. Проте формалізація розгляду кластерів дозволяє не лише більш чіткіше описувати явища та процеси економічних відносин, а й визначати методи порівняльного оцінювання діяльності різних угруповань суб'єктів господарювання на основі методів розпізнавання, які мають значне обґрунтування з погляду їх використання у різних сферах діяльності людини. Разом з цим слід враховувати, що узагальнення економічних кластерів можливе як на підставі первісних економічних даних, так й перетворених даних, що розширює можливості проведення відповідного економетричного аналізу. Тому, в даному випадку постає задача ідентифікації економічних даних з погляду на формалізоване їх уявлення щодо таких угруповань суб'єктів ринкової економіки як кластери.

Таким чином, *головна мета даної роботи* – формалізоване узагальнення сутності економічного кластеру та визначення підходу щодо ідентифікації складових економічного кластеру у просторі перетворених даних на основі економічних показників діяльності різноманітних суб'єктів господарювання.

Загальне та формалізоване узагальнення сутності економічного кластеру

В економічному сенсі під кластером загалом розуміють певну концентрацію суб'єктів ринку, пов'язаних між собою економічними зв'язками, які визначають як розвиток такого угруповання, так й розвиток інших кластерів, що можуть знаходитися як у прямій, так і опосередкованій взаємодії між собою. При цьому підкреслення концентрації суб'єктів ринку, пов'язаних між собою економічними зв'язками, визначає їх компактність з погляду подання формалізованого узагальнення економічного кластеру. Інакше кажучи, у певному фазовому просторі економічний кластер може розглядатися як компактна множина, що складається з окремих елементів, кожен з яких визначає той або інший суб'єкт господарювання, що входить до такого кластеру.

Як економічний кластер можна, наприклад, розглядати сукупність банків, які здійснюють свою діяльність у межах територіально-адміністративних одиниць країни. Кластером також є, наприклад, і сукупність виробничих підприємств, які здійснюють свою діяльність у межах відповідних територіально-адміністративних одиниць країни. Поруч із цим як кластер можна визначити й сукупність усіх суб'єктів господарювання, які діють у межах територіально-адміністративних одиниць країни, або в межах окремих секторів економіки, галузях виробництва. При цьому в будь-якому з визначених випадків класичного подання економічного кластеру його можна формалізувати з погляду множини показників діяльності суб'єктів господарювання, що утворюють такий кластер. Так, якщо це сукупність банків, яка діє в межах окремої територіально-адміністративної одиниці країни, то відповідний кластер можна охарактеризувати через сукупність показників банківської діяльності, таких як обсяги наданих кредитів, залучених ресурсів, значень отриманого фінансового результату тощо. Тобто, у формалізованому вигляді економічний кластер через первісні дані про діяльність суб'єктів ринкових відносин, які його визначають, може бути описаний як вектор абсолютних показників діяльності таких суб'єктів господарювання. В такому опису кластеру можуть бути й такі дані, що не відповідають його загальноекономічній інтерпретації. Наприклад, якщо ми говоримо про діяльність банків за ознакою розташування їх головної установи, то в межах територіально-адміністративних одиниць країни можуть діяти й такі філії банків, головні установи яких не належать до визначеної територіально-адміністративної одиниці. Тому, в даному випадку слід говорити про похибку кластеризації даних та важливість проведення ідентифікації окремих складових економічних кластерів.

Якщо ми маємо справу з перетвореними даними про діяльність суб'єктів господарювання, то в даному випадку опис кластеру таких суб'єктів можуть бути використані відносні дані щодо їх діяльності. Так як продовження наведеного вище прикладу з погляду банків це можуть бути відносні дані щодо обсягів наданих кредитів, залучених ресурсів тощо з погляду певного регіону, або з урахуванням банківського сектору економіки тощо. При цьому також можлива похибка у визначенні складових окремих кластерів.

З метою ж уніфікації перетворених даних для всієї сукупності суб'єктів господарювання, що розглядаються (вважають, наприклад, для всієї галузі, всієї країни), доцільно провести відображення отриманих даних на деяку шкалу, яка дозволяє оперувати перетвореними даними у межах встановленого діапазону. Тому в такому випадку загальний економічний простір, в якому діє безліч різноманітних суб'єктів господарювання, можна визначити як загальний економічний кластер через множину даних $B(i)$, значення яких належить визначеній області $Q = \{0, 1, \dots, q-1\}$, де q – розмір шкали перетворення відносних даних про діяльність суб'єктів господарювання, i – окремий елемент загального кластеру, $B(\dots)$ – значення окремого елемента загального кластеру. Це надає можливість розглядати кластер через залежність частоти попадання елементів, що розглядаються у відповідні інтервали їх групування [5]. Тобто, мова йдеться про опис кластеру у вигляді гістограми можливих значень про опис діяльності суб'єктів господарювання.

При цьому на загальному кластері можна визначити й окремі кластери, які було розглянуто вище. Отже загальний економічний кластер – це сукупність різноманітних кластерів, певна кількість яких може визначатися як помилково визначені кластери, якщо визначається заданий кластер:

$$B(i) = K_1(j_1) \cup K_2(j_2) \cup \dots \cup K_n(j_n), \quad (1)$$

де $K_1, K_2, \dots, K_n$ – різноманітні економічні кластери, що визначаються їх окремими елементами $j_1, j_2, \dots, j_n$. Тобто, якщо кластер K_1 – заданий для визначення кластер, то інші є помилковими кластерами. Виходячи з того, що також можлива похибка у визначенні складових окремих кластерів загалом деякий кластер K_n має елементи, що дійсно йому відповідають $\tilde{K}_n$ та ті, що є помилковими $\hat{K}_n$.

Тоді, відповідно до поданого вище, як загальний економічний кластер, так й окремі кластери, що його складають, можна подати у вигляді окремих гістограм.

Разом з цим для визначення окремого кластеру із загального економічного кластеру можна скористатися таким відображенням π :

$$\pi = \begin{cases} 1, & j_n \in K_n, \\ 0, & j_n \notin K_n. \end{cases} \quad (2)$$

Для більш чіткої формалізації відображення π розглянемо такі функції уявлення кластерів:

$$H(K_n) = \frac{\Gamma_n(K_n)}{\Gamma(B)}, \quad (3)$$

$$H(Z) = \frac{\Gamma(Z)}{\Gamma(B)}, \quad (4)$$

де $\Gamma_n(K_n)$ – гістограма значень відносних даних про діяльність суб'єктів господарювання, за допомогою яких описується K_n кластер; $\Gamma(B)$ – гістограма значень відносних даних про діяльність суб'єктів господарювання, за допомогою яких описується загальний економічний кластер; $\Gamma(Z)$ – гістограма значень відносних даних про діяльність суб'єктів господарювання, за допомогою яких можуть бути описані помилково визначені кластери. Загалом

$$\Gamma(Z) = \Gamma(B) - \Gamma_n(K_n). \quad (5)$$

Отже формули 3 та 4 визначають приналежність перетворених відносних даних про діяльність суб'єктів господарювання значенням кластеру K_n та іншим угрупованням суб'єктів, які розглядаються у загальному економічному кластері.

Відповідно до зроблених зауважень відображенням π за формулою 2 можна подати так:

$$\pi_r = \begin{cases} 1, & H(K_n) - H(Z) > r, \\ 0, & H(K_n) - H(Z) \leq r, \end{cases} \quad (6)$$

де r – є граничне значення приналежності окремих складових загального економічного кластеру до складових визначеного кластеру K_n .

Отже, відображення π можна вважати основою ідентифікації складових визначеного економічного кластеру в просторі перетворених даних. Проте відкритим залишається питання якості побудови зазначеного відображення, що може бути визначено на основі врахування можливої похибки ідентифікації. Однак перш ніж визначити таку похибку узагальнимо імовірнісну інтерпретацію відображення π з метою його порівняння з іншими відомими методами ідентифікації даних.

Імовірнісна інтерпретація відображення π

Для вирішення поставленого питання подамо умову $H(K_n) - H(Z) > r$ таким чином

$$\frac{N(K_n / x) - N(Z / x)}{N(B / x)} > r, \quad (7)$$

де $N(K_n / x)$, $N(B / x)$ – кількість окремих елементів кластерів K_n та B із значенням x .

Виходячи з того, що

$$N(Z / x) = N(B / x) - N(K_n / x), \quad (8)$$

то вираз (7) можна записати так:

$$\frac{2N(K_n / x) - N(B / x)}{N(B / x)} > r, \quad (9)$$

або

$$\frac{N(K_n / x)}{N(Z / x)} > \frac{1 + r}{1 - r}, \quad (10)$$

Для подальшого викладення матеріалу розглянемо класичний Байєсівський класифікатор віднесення елементів загального кластеру із значення x до визначеного кластеру [6]. Таке правило віднесення елементів загального кластеру із значення x до визначеного кластеру можна подати так:

$$P(K_n / x) > P(Z / x) \times \Psi, \quad (11)$$

де $P(K_n / x)$ – імовірність того, що складовий елемент загального кластеру є елементом кластеру K_n за умови, що значення такого елементу дорівнює x ; $P(Z / x)$ – імовірність того, що складовий елемент загального кластеру є елементом кластеру Z за умови, що значення такого елементу дорівнює x ; Ψ – параметр вартості помилкової ідентифікації.

Вираз (11) також можна подати і таким чином:

$$\frac{P(x / K_n)}{P(x / Z)} > \frac{\alpha}{1 - \alpha} \times \Psi, \quad (12)$$

де $P(x / K_n)$, $P(x / Z)$ – імовірність того, що елемент кластеру має значення x за умови того, що він належить кластеру K_n або Z ; α – апіорна імовірність віднесення помилкового елемента з кластеру Z до кластеру K_n .

Продовжимо перетворення виразу (10) через $P(K_n / x)$ та $P(Z / x)$:

$$N(K_n / x) = N(\tilde{K}_n / x) + N(\hat{K}_n / x), \quad (13)$$

$$\frac{N(\tilde{K}_n / x) + N(\hat{K}_n / x)}{N(Z / x)} > \frac{1 + r}{1 - r}, \quad (14)$$

або

$$\frac{N_d P(K_n / x)}{N_f P(Z / x)} > \frac{\sigma + r}{1 - r}, \quad (15)$$

де σ – можлива кількість помилкових значень при визначенні кластеру K_n : $\sigma = \text{card} \hat{K}_n$; N_d, N_f – загальна кількість елементів кластерів K_n та Z відповідно.

Якщо $N(\hat{K}_n / x) = N(Z / x)$, то $\sigma = 0$. Якщо $N(\hat{K}_n / x) = 0$, то $\sigma = 1$.

Перепишемо вираз (15) так:

$$P(K_n / x) > P(Z / x) \times L, \quad L = \frac{\sigma + r}{1 - r} \times \frac{N_f}{N_d}. \quad (16)$$

Порівнюючи вираз (16) та (11) можна відмітити, що параметр L у виразі (16) виконує функцію параметру ψ у виразі (11). При цьому значення параметру L на відміну від значення параметру ψ враховує вартість помилкової класифікації з погляду окремих значень елементів кластеру, який розглядається, що робить таку вартість більш зваженою та ґрунтовною.

Похибки ідентифікації економічного кластеру на основі використання відображення π

Для з'ясування можливої похибки ідентифікації елементів визначеного кластеру розглянемо деякі відображення π в залежності від параметру r . Для цього визначатимемо r як

$$r = \frac{N_K}{N_B}, \quad (17)$$

де N_K – загальна кількість елементів у деякому кластері K , який ідентифікується; N_B – кількість елементів у загальному кластері B .

Припустимо, що окремі значення елементів кластеру K , які ідентифікуються, належать деякій множині $\{\alpha_s\}$, а значення елементів кластеру B , які можуть бути визначені як помилкові елементи, тобто значення елементів кластеру Z належать деякій множині $\{\beta_t\}$ і разом з цим $\forall s, t; \alpha_s \neq \beta_t$. Тоді ідентифіковані елементи із значенням α_s будуть визначені як елементи кластеру K . Похибка ж визначення елементів із загального кластеру B із значенням β_t може бути визначена на основі такого виразу:

$$\frac{N_B}{N_K} > \max_t \frac{\sigma_t + 1}{\sigma_t - 1}, \quad (18)$$

$$\text{де } \frac{N_B}{N_K} = \frac{1}{r}.$$

Висновок виразу (18) базується на наступному. Припустимо, що усі елементи кластеру K визначаються із значенням α_1 , а елементи кластеру Z лише із значенням β_1 . Тоді для елементів із значенням α_1 $H(K_n) = 1$, $H(Z) = 0$, а $H(K_n) - H(Z) = 1$ і відображення π правильно ідентифікує елементи кластеру K за будь-яких співвідношень N_K та N_B , бо $N_B > N_K$.

Для елементів із значенням β_1 маємо: $H(K_n) = \frac{N_K^{\beta_1}}{N_B^{\beta_1}}$, $H(Z) = \frac{N_Z^{\beta_1}}{N_B^{\beta_1}}$. Припустивши, що

$N_K^{\beta_1} = \sigma \cdot N_Z^{\beta_1}$, можемо записати похибку ідентифікації так:

$$\frac{N_B}{N_K} > \frac{\sigma + 1}{\sigma - 1}. \quad (19)$$

Перебираючи усі значення елементів кластерів із їх можливої множини $\{\alpha_s\}$ та $\{\beta_t\}$ отримаємо відповідне узагальнення виразу (19), яке і подано формулою (18).

У разі, якщо окремі значення елементів кластеру K , які ідентифікуються, належать деякій множині $\{\alpha_s\}$, а значення елементів кластеру B , які можуть бути визначені як

помилкові елементи, тобто значення елементів кластеру Z належать деякій множині $\{\beta_t\}$ і разом з цим $\{\alpha_s\} \cap \{\beta_t\} = \{\gamma_r\} \neq \emptyset$, то ідентифіковані елементи із значенням $\alpha_s \in \{\gamma_r\}$ визначатимуть елементи кластеру K . Для елементів кластеру із значенням $\beta_t \in \{\gamma_r\}$ похибка ідентифікації визначатиметься відповідно до виразу (18), бо в даному випадку узагальнення множин значень $\{\alpha_s\}$ та $\{\beta_t\}$ відповідних кластерів є ідентичним до розглянутого вище. Отже, залишається оцінити похибку ідентифікації для елементів кластеру із значенням $\alpha_s \in \{\gamma_r\}$.

Припустимо, що $N_{\gamma_r}^K$ – кількість елементів кластеру K із значенням γ_r , $N_{\gamma_r}^Z$ – кількість елементів кластеру Z із значенням γ_r , $N_{\gamma_r}^K = d_r N_{\gamma_r}^Z$, $d_r > 1$. Тоді елемент із значенням $\alpha_s \in \{\gamma_r\}$ буде ідентифіковано як елемент кластеру у такому випадку:

$$\frac{N_B}{N_K} > \min_t \frac{d_r + 1}{d_r - 1}. \quad (20)$$

Тобто, саме вираз (20) і визначає похибку можливої ідентифікації.

Висновки

Отже, в роботі розглянуто загальноекономічну сутність кластерів, що дозволило надати їх формалізоване узагальнення. Разом з цим запропоновано підхід щодо ідентифікації елементів кластерів. Показано, що такий підхід у порівнянні з класичними імовірнісними методами ідентифікації даних має перевагу у сенсі визначення зваженої вартості помилки класифікації з погляду окремих значень елементів кластеру. До того ж у роботі наведено узагальнення щодо визначення похибки ідентифікації економічного кластеру на основі запропонованого підходу. Виходячи з того, що на ідентифікацію елементів економічних кластерів суттєвий вплив справляють збурення зовнішнього середовища, слід визначити за доцільним розгляд похибки ідентифікації в залежності від різновидів таких збурень. Таким чином, відмічене можна вважати як напрям подальших досліджень.

Список літератури: 1. Ковальова Ю. М. Класифікаційна характеристика, типологія кластерів / Н. В. Алишева, Ю. М. Ковальова // Економіка: проблеми теорії та практики. Дніпропетровськ, 2008. Т. 1, вип. 239. С. 207–217. 2. Каніщенко Н. Г. Кластери в системі національної конкурентоспроможності / Н. Г. Каніщенко // Вісник КНУ. Серія Економіка. 2006. Вип. 85. С. 14–16. 3. Богма О. С. Застосування кластерного підходу у якості стратегії підвищення конкурентоспроможності підприємств національної економіки / О. С. Богма // Прометей: регіональний збірник наукових праць з економіки. Донецьк: ТОВ “Юго-Восток, Лтд”, 2006. С. 157–159. 4. Крпельницька С. О. Методологічні основи створення кластерів в українській економіці: регіональний аспект / С. О. Крпельницька // Вісник Прикарпатського ун-ту. Серія: Економіка. Івано-Франківськ: Плай, 2005. Вип. 2. С. 54–58. 5. Общая теория статистики: Учебник / Т. В. Рябушкин, М. Р. Ефимова, И. М. Ипатова, Н. И. Яковлева. М.: Финансы и статистика, 1981. 342 с. 6. Comer M. L. Segmentation of Textured Image Using a Multiresolution Gaussian Autoregressive Model / M. L. Comer, E. J. Fellow // IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING. 1999, Vol. 8., No. 3. P. 408–420.

Надійшла до редколегії 15.08.2010

Кузьомін Олександр Якович, д-р техн. наук, професор кафедри інформатики ХНУРЕ, начальник інформаційно-маркетингового відділу ХНУРЕ. Наукові інтереси: управление рисками, геоинформационные системы. Адреса: Україна, 61166, Харків, пр. Леніна, 14, тел. 70-21-515, e-mail: kuzy@kture.kharkov.ua.

Ляшенко Владислав Вікторович, завідувач лабораторії «Трансфер інформаційних технологій щодо систем скорочення ризиків лих» ХНУРЕ. Адреса: Україна, 61166, Харків, пр. Леніна, 14, тел. 70-21-515, e-mail: kuzy@kture.kharkov.ua.

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВ

Рассматривается технология оценки техногенных рисков при функционировании предприятий, представляющих повышенную опасность для окружающей среды. Исследуются вопросы построения модели, описывающей деятельность подобных предприятий и методы прогнозирования и оценки рисков на этой модели.

1. Введение

Бурное развитие в последнее время методов количественного и качественного анализа рисков привело к формированию большого количества систем оценки риска не только на декларативном уровне, но и на уровне анализа имеющейся базы функционирования объекта (как природного, так и техногенного) с применением методов математической статистики. Подобные подсистемы обычно включают в себя подсистемы сбора информации, предварительной обработки (в частности с применением инструментария Data Mining), хранения полученных данных (для исследования динамики развития ситуации) и знаний (для оценки уровней приемлемости рисков и осуществления управления подобными рисками). Управление рисками (риск-менеджмент) сейчас является актуальным аспектом функционирования предприятий, связывая воедино экономические, экологические, человеческие и прочие риски. Внедрение систем риск-менеджмента позволяет лицу, принимающему решения (ЛПР) в короткие сроки оценивать эффективность принятых решений по обеспечению безопасности работ, их экономическую целесообразность и динамику изменений рисков и возникновения чрезвычайных ситуаций на протяжении существенного временного диапазона.

Основной проблемой при использовании подобных систем является их полная автономность – каждый производитель ПО осуществляет оценку риска в собственной системе, что затрудняет в случае сложных оценок (оценок предприятий с повышенным риском загрязнения окружающей среды, мониторинг территорий, на которых возможны различные типы чрезвычайных ситуаций) проведение общей процедуры оценивания риска, т.е. сравнения его прогнозируемых или реально достигнутых количественных показателей с соответствующими критериями в целях принятия решения о приемлимости риска и необходимости вмешательства в процесс обеспечения безопасности.

Целью данной работы является разработка методики построения общей процедуры оценивания техногенного риска с использованием методов математической статистики. Разработанная методика должна учитывать большинство существующих методов и моделей оценки техногенных рисков и предоставлять математический аппарат для предварительной оценки приемлемости рисков возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера на производстве.

Задачей исследования является анализ исходных понятий и предпосылок к оцениванию степени приемлемости техногенных рисков, анализ представления рисков в системе «человек» – «машина» – «среда» (ЧМС) и формирование концепции прогноза, оценивания и оптимизации техногенного риска.

2. Базовые сущности системы для построения эффективной модели оценки рисков

В качестве основы для построения системы оценки рисков были выбраны следующие исходные понятия и предположения:

– понятие «**опасность**» рассматривается как возможность причинения ущерба кому- (чему-) либо от чего- (кого-)нибудь, а «**безопасность**» – как атрибут гарантированного сохранения живучести системы, включающей в себя не менее одного источника опасности (носителя какой-либо угрозы) и его потенциальной жертвы (объекта возможного причинения ущерба)[1];

– деятельность оцениваемого предприятия (комплекса) можно рассматривать и интерпретировать в виде функционирования соответствующих человекомашинных систем, опасность которых обусловлена стремлением таких систем к динамическому равновесию и возможностью нахождения их компонентов в неравновесных состояниях;

– измеряемая риском опасность функционирования человекомашинных систем реализуется при возникновении в них происшествий, которые сопровождаются значительным приростом энтропии этих систем в ее информационной, статистической, термодинамической и прочих интерпретациях.

Исходя из этого можно считать, что **объектом** оценивания степени приемлемости техногенного риска должны быть системы «человек-машина-среда» (ЧМС), а **предметом** соответствующей деятельности – использование объективных закономерностей возникновения и снижения техногенного ущерба в целях:

1) выявления вклада в эти закономерности разных частей ЧМС-систем для устранения или усиления их «слабых» (в смысле безопасности) элементов;

2) априорной количественной оценки риска ущерба от техногенных происшествий (техногенного риска) и сравнения его величины с заданным или желаемым (приемлемым) значением;

3) оценки необходимости в реализации управляющих воздействий, направленных на снижение или поддержание техногенного риска на приемлемом уровне.

Обоснованность выбора ЧМС-системы в качестве объекта при оценивании приемлемости техногенного риска аргументирована также следующими доводами:

– данная система включает в себя и источник опасности (обычно это «машина»), и потенциальную жертву (чаще всего – «человек» и/или окружающая его «среда»);

– функционирование ЧМС-системы есть использование человеком техники в определенной рабочей среде (безлюдные и не использующие технику процессы – частные случаи);

– в ЧМС-системе содержатся носители всех типов предпосылок к техногенным происшествиям: «человек» – ошибок, «машина» – отказов, «среда» – нерасчетных (неожиданных или превышающих допустимые пределы) внешних воздействий.

3. Модель функционирования системы

Наиболее общая модель функционирования выбранного объекта представлена на рис. 1, которая включает в себя технологическое оборудование («М-машину»), эксплуатирующий его персонал («Ч-человека»), рабочую среду («С-среду»), взаимодействующих между собой по заданной технологии и при установленной организации (порядке подготовки и проведения) работ – «Т-технология». Кроме перечисленных основных компонентов, модель системы включает также связи между ними и с окружающей систему средой. Эти связи изображены стрелками, двойными линиями и соприкосновением перечисленных частей системы, а границы, отделяющие ее от внешней среды, – прямоугольником.

В модели функционирования выбранного объекта использованы также векторные обозначения: $I(t)$ – входные воздействия на ЧМС-систему (выделенные ресурсы, требуемые условия работ, заданные функции, установленные интервалы времени), $S(t)$ – ее состояния («условно безопасное», «опасное», «предаварийное», «аварийное», «поставарийное»), $E(t)$ – выходные воздействия системы на окружающую среду (полезные и вредные результаты функционирования).

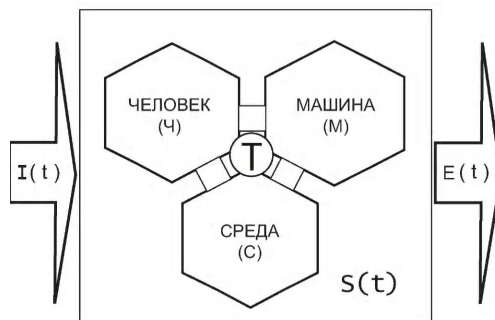


Рис. 1. Модель ЧМС для оценивания техногенного риска

При этом проводимые на предприятии технологические процессы могут быть декомпонованы на соответствующие операции, каждая из которых интерпретируется функционированием ЧМС-системы по конкретной технологии.

Внешней (для конкретной ЧМС-системы) средой является все то, что непосредственно не входит в нее, но может влиять на процесс функционирования или изменяться под его воздействием: органы и коммуникации снабжения, управления и получения продукции, другие взаимодействующие силы и средства, а также метеорологические и иные внешние факторы в месте дислокации потенциально опасного производства. Необходимость отделения рабочей среды от внешней обусловлена необходимостью учета неодинаковости их влияния на функционирование различных ЧМС-систем, выбранных в качестве объекта оценивания приемлемости техногенного риска [2].

Изложенные предпосылки позволяют ввести пять базовых категорий, связанных с оцениванием степени приемлемости риска и обеспечением безопасности техногенного характера, а также дать их рабочие определения.

Опасность – свойство ЧМС-системы, определяющее при ее функционировании возможность причинения ущерба людским, материальным и природным ресурсам по причине внезапных и непрерывных выбросов, обращающихся в системе энергии и вещества.

Ущерб – мера или результат изменения состояния материальных объектов, характеризуемого таким нарушением целостности или иным ухудшением способности выполнять основное предназначение, которые обусловлены их естественным износом либо возникновением происшествий.

Происшествие – событие, повлекшее появление ущерба вследствие резкого изменения свойств материальных объектов и/или их окружения и обусловленное разрушительным воздействием потоков энергии или вещества на незащищенные элементы ЧМС-системы и/или окружающую среду. К основным видам техногенных происшествий относятся: авария, несчастный случай, разлив нефти и нефтепродуктов, пожар, сверхнормативное загрязнение окружающей среды, техногенная чрезвычайная ситуация и др.

Безопасность – свойство ЧМС системы сохранять при функционировании в заданных условиях такие состояния, при которых с приемлемой (достаточно высокой) вероятностью исключаются происшествия, а ущерб от непрерывных выбросов обращающихся в системе энергии и вещества не превышает допустимого.

Риск – мера опасности, характеризующая как возможность (вероятность) причинения техногенного ущерба, так и его величину (тяжесть).

4. Анализ существующих методов оценки и прогнозирования техногенных рисков

Важное место в количественном прогнозе и оценке приемлемости техногенного риска, связанного с созданием, эксплуатацией и ликвидацией опасных производств, принадлежит не только соответствующим методам прогноза и оценки, но и выбираемым количественным показателям. При этом обоснование состава таких показателей должно проводиться с учетом следующих основных требований:

- а) четкий физический смысл и универсальность,
- б) связь с качеством и продолжительностью функционирования ЧМС-системы,
- в) учет всех существенных свойств ее основных компонентов,
- г) чувствительность к изменению параметров каждого из них,
- д) возможность оценки объективными методами,
- е) пригодность к использованию в качестве оптимизируемых параметров, ограничений и критериев оптимизации.

Для непосредственно осуществления прогнозирования возможно применение различных методов, которые могут быть разделены на несколько классов:

1. Логико-вероятностные модели, интерпретирующие различные варианты возникновения и развития происшествий в виде диаграмм причинно-следственных связей типа «дерево» («дерево отказа», «дерево событий»), «граф» (поточный либо состояний и переходов), «сеть» (стохастической структуры - К. Петри или GERT). После дальнейшей формализации они позволяют получать математические соотношения (структурные функции алгебры событий и расчетные вероятностные многочлены), удобные для проведения системного анализа процесса возникновения техногенного ущерба и прогноза техногенного риска.

2. Аналитические модели: а) параметрические формулы типа полуэмпирического уравнения М. Садовского для перепада давлений в атмосфере или гауссова модель рассеяния в ней вредных веществ; б) интегральные модели, базирующиеся на законах сохранения массы и энергии и описываемые обыкновенными дифференциальными уравнениями; в) модели, построенные на представлении параметров состояния или энергомассообмена в их оригинальном виде и реализуемые системами дифференциальных уравнений в частных производных.

3. Методы логико-лингвистического, имитационного, статистического и численного моделирования, основанные на использовании случайных (в том числе, нечетко определенных) распределений параметров совокупности различных моделей и учете непрерывно меняющихся факторов ЧМС-систем и окружающей их среды.

С точки зрения предназначения или области применения вышеперечисленные модели и методы могут быть распределены по пяти основным этапам причинения техногенного ущерба: 1) возникновение и развитие причинной цепи предпосылок происшествия, необходимых и достаточных для начала неконтролируемого выброса энергии и/или вещества; 2) истечение; 3) распространение и 4) трансформация соответствующих потоков энергии и/или вещества в окружающей среде; 5) воздействие поражающих факторов, обусловленных неконтролируемым выбросом энергии и/или вещества на незащищенные людские, материальные и природные ресурсы.

Наибольший практический интерес для прогноза риска аварий представляют модели: а) образования причинной цепи предпосылок аварии; б) источника выброса опасного вещества; в) истечения газообразных, жидких или двухфазных опасных веществ; г) распространения энергии и массы в несущей среде или растекание и межсредный перенос опасного вещества; д) вскипания сжиженного газа или перегретой жидкости; е) физико-химического превращения опасных веществ с интенсивным энергосвободением и образованием полей поражающих факторов; ж) реципиентов поражающих факторов; з) поражения вида «доза-эффект» [3].

5. Обобщенный метод оценки и прогнозирования техногенных рисков

Базовым показателем, наиболее полно характеризующим меру опасности и пригодным для эффективного риск-менеджмента на предприятиях, может служить математическое ожидание $M_{\tau}[Y]$ величины социально-экономического ущерба техногенного характера от возможных в течение заданного времени τ происшествий и непрерывных вредных выбросов. В качестве других показателей, необходимых для оценки результативности функционирования как системы обеспечения безопасности так и менеджмента риска, могут быть следующие:

$Q[\tau]$ – вероятность возникновения хотя бы одного происшествия конкретного типа (авария, несчастный случай и др.) за время τ ;

$M_{\tau}[Z]$ – ожидаемые средние задержки времени приостановки технологического процесса вследствие возможных происшествий;

$M_{\tau}[S]$ – ожидаемые в это же время средние затраты на предупреждение и снижение тяжести происшествий и непрерывных вредных выбросов.

Учитывая массовый характер проведения однотипных процессов на предприятии, а также достаточно развитую систему сбора информации об аварийности и травматизме, использование выбранных показателей для апостериорной количественной оценки техногенного риска и принятия решения о степени его приемлемости, как правило, не вызывает принципиальных трудностей. Для этого достаточно регистрировать: а) интенсивность и длительность проводимых процессов, б) расходы и трудозатраты на обеспечение безопасности, в) количество и тяжесть имевших место происшествий, и затем проводить расчеты по статистическому оцениванию выбранных показателей и сравнивать их с требуемыми или желаемыми значениями.

Значительно сложнее проводить априорную оценку предложенных показателей, поскольку это требует комплекса моделей, связывающих выбранные показатели не только с параметрами конкретных ЧМС-систем, но и окружающей их внешней средой. Для преодо-

ления этих трудностей иногда целесообразно оперировать понятием “средний ожидаемый ущерб” от техногенного происшествия конкретного типа за определенное время эксплуатации потенциально опасного производства. С учетом подобных допущений величина среднего ожидаемого ущерба, причинённого людским, материальным и природным ресурсам за некоторый период времени τ эксплуатации, может быть оценена по следующей формуле (по «источнику опасности»):

$$R_{\tau} = M_{\tau}[Y] = \sum_{a=1}^m \sum_{b=1}^k Q_{ab}^1 Y_{ab}^1 + \sum_{a=1}^m \sum_{b=1}^k Q_{ab}^2 Y_{ab}^2 + \sum_{v=1}^n Q_v Y_v, \quad (1)$$

где $a = 1..m$ – число типов возможных техногенных происшествий: авария ($a=1$), несчастный случай ($a=2$), пожар ($a=3$) – форм причинения прямого и косвенного ущерба людским, материальным и природным ресурсам; $b = 1, ..., k$ – число предполагаемых сценариев возникновения и развития различных типов происшествия (как правило, наиболее вероятных и наиболее тяжелых по последствиям); $Q_{ab}^1, Y_{ab}^1, Q_{ab}^2, Y_{ab}^2$ – вероятность возникновения за время τ происшествия конкретного вида и размер обусловленного им прямого (1) и косвенного (2) ущерба соответственно; $v = 1, ..., n$ – число видов непрерывных и/или систематических вредных энергетических (шум, вибрация, электромагнитные излучения) и материальных (загрязняющие вещества, отходы) выбросов при эксплуатации технологии; Q_v, Y_v – вероятности появления за время τ каждого типа непрерывных или систематических вредных выбросов и размеры возможного от них прямого и косвенного ущерба.

Подобная статистика может быть получена путем статистического анализа и экспертных оценок на основании данных о функционировании предприятия.

Использование подобной оценки позволяет численно охарактеризовать вероятности возникновения рисков в подобной системе. Используемый унифицированный критерий позволяет эффективно оценивать меру риска. Также, используя данные о том, как внедрение той или иной технологии снижает вероятности и размеры ущербов $Q_{ab}^1, Y_{ab}^1, Q_{ab}^2, Y_{ab}^2$ соответственно, ЛПР может количественно оценивать эффективность принимаемых мер.

6. Выводы

Предложенная концепция прогноза и оценивания техногенного риска обеспечивает возможность эффективного риск-менеджмента на предприятии, путем организации соответствующих служб по надзору за статистически значимыми параметрами, участвующими в модели и групп реагирования, позволяющих эффективно снижать риск путем проведения плановых/внеплановых работ при возникновении повышенных интегральных значений риска. Таким образом, обеспечивается защита от потенциальных потерь и подготовленность персонала к потенциальным ЧС на производстве.

Список литературы: 1. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере / П.Г.Белов. М.: Академия, 2003. 512 с. 2. Drenick K. A mathematical theory of organization. Acad. Press. 1986. 340 p. 3. Гражданкин, А.И. Экспертная система оценки техногенного риска опасных производственных объектов/А.И. Гражданкин, П.Г. Белов // Безопасность труда в промышленности. 2000. № 11. С. 6–10.

Поступила в редколлегию 18.08.2010

Кузёмин Александр Яковлевич, д-р техн. наук, проф. кафедры информатики, начальник инновационно-маркетингового отдела ХНУРЭ. Научные интересы: управление рисками, геоинформационные системы. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: 8(057)702-15-15, e-mail: kuzy@kture.kharkov.ua

Климов Илья Николаевич, аспирант кафедры информатики. Научные интересы: системы реального времени, мониторинг. Адрес: Украина, 61189, Харьков, ул. Мира 118, кв. 55, тел.: 8(0572)99-28-55, e-mail: illya.klymov@gmail.com

СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ УСТРОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ZIGBEE

Беспроводные сенсорные сети продолжают быть особо востребованными при разработке технического обеспечения в сфере мониторинга и управления комплексными системами распределенных объектов. Предлагается структура аппаратно-программного обеспечения для управления техническими устройствами на основе технологии ZigBee, проведены испытания радио модулей стандарта IEEE 802.15.4 на дальность. На основании полученных результатов даны рекомендации о целесообразности использования технологии ZigBee для построения систем управления.

1. Введение

Одной из актуальных задач является построение эффективных систем дистанционного управления различными устройствами. В системах промышленной телеметрии и управления поднимается вопрос передачи данных на небольшие расстояния. Беспроводные сети на базе стандарта IEEE 802.15.4 представляют собой альтернативу проводным соединениям в распределенных системах мониторинга и управления и отличаются более гибкой архитектурой, требуют меньших затрат при их установке и эксплуатации. Объединенные в беспроводную сенсорную сеть датчики образуют территориально распределенную самоорганизующуюся систему сбора, обработки и передачи информации. Построение систем управления по таким технологиям, несомненно, представляет собой нестандартный и вместе с тем эффективный способ решения проблемы.

Технология ретранслируемой ближней радиосвязи 802.15.4/ZigBee, известная как «Сенсорные сети» (англ. WSN – Wireless Sensor Network), является одним из современных направлений развития самоорганизующихся отказоустойчивых распределенных систем наблюдения и управления ресурсами и процессами.

ZigBee – название набора протоколов высокого сетевого уровня, использующих маленькие, маломощные радиопередатчики, основанные на стандарте IEEE 802.15.4. Этот стандарт описывает беспроводные персональные вычислительные сети (WPAN). ZigBee нацелена на приложения, которым требуется большее время автономной работы от батарей и большая безопасность, при меньших скоростях передачи данных.

Особенность ZigBee заключается в том, что, в отличие от других беспроводных технологий, она предназначена для реализации не только простых соединений “точка-точка” и “звезда”, но также и сложных сетей с топологиями “дерево” и “ячеистая сеть”, способных поддерживать ретрансляцию и поиск наиболее эффективного маршрута для передачи данных. Технология ZigBee может применяться для создания беспроводных сетей, а также устройств автоматического считывания показаний датчиков, охранных систем, систем управления промышленными объектами, «Интеллектуальными домами и офисами».

В основе сети ZigBee лежит ячеистая топология (mesh-топология), где каждое устройство может связываться с любым другим устройством как напрямую, так и через промежуточные узлы, предлагает альтернативные варианты выбора маршрута между узлами, пока информация не достигнет конечного получателя [1].

Спецификация IEEE 802.15.4 выдвигает требования к безопасности передачи данных – обязательное использование шифрования 128-битным ключом по стандарту AES на уровне «Звена Данных» (Data link layer). Стандарт 802.15.4 предполагает наличие уникального 64-битного адреса на MAC уровне, а так же наличия дополнительного 16-битного сетевого адреса (PAN-ID) для определения принадлежности данного устройства к той или иной WPAN (Wireless Personal Area Network).

Сегодня технология беспроводных сенсорных сетей, является единственной беспроводной технологией, с помощью которой можно решать задачи мониторинга и контроля, которые критичны к времени работы датчиков.

Первым способом экономии энергии узлами сети является разрежение интервалов активности их устройств, и в первую очередь передатчика, как основного потребителя. Для обеспечения разумного времени жизни сети, доля интервалов активности радиопередачи должна составлять порядка 0.1% от общего времени работы.

Определение времени включения передачи – задача алгоритмов уровня доступа к среде стека сетевых протоколов. Существующие алгоритмы отличаются друг от друга подходом к упорядочению периодов активности радио между узлами сети, способом определения готовности принимающей стороны, способом определения занятости среды передачи.

Вторым способом экономии на алгоритмическом уровне является многозвенная передача, т.е. отправка сообщений из одной точки сети в другую по цепочке промежуточных узлов вместо прямой дальней радиопередачи.

Третий способ предполагает по возможности обрабатывать результаты измерений на узлах, так как в ряде задач предварительные вычисления на месте могут быть эффективнее передачи «сырых» данных в центр обработки. Это позволяет сократить объем данных, которые необходимо передать, и, соответственно, уменьшить время работы сенсора в режиме передачи.

Таким образом, устройства стандарта ZigBee обладают такими характеристиками энергопотребления, которые теоретически позволяют использовать одну небольшую батарею для поддержания работоспособности ZigBee-оборудования в течение нескольких месяцев и даже лет.

Среди прочих достоинств стандарта следует отметить хорошую масштабируемость, возможность самовосстановления в случае сбоев и простоту настройки. При применении 64-битной адресации в единую сеть могут быть объединены свыше 60 тысяч ZigBee-устройств.

Отмеченные преимущества технологии ZigBee положены в основу при проектировании системы дистанционного управления светодиодной матрицей.

Целью работы являлась разработка системы дистанционного управления на основе сенсорной сети, построенной на технологии ZigBee, а также исследование характеристик дальности и качества связи между узлами.

2. Постановка задачи исследования

Системы дистанционного управления дают возможность управлять техническими и электронными устройствами при отсутствии непосредственного контакта с управляемыми объектами. Такие системы незаменимы в промышленности, когда недопустимо присутствие человека при протекании техпроцесса, но необходим строгий контроль последнего. Постоянное совершенствование технических процессов и усложнение оборудования определяет потребность в более совершенных и надежных системах дистанционного управления.

В этой связи стояли следующие задачи исследования:

1. Разработка структурной схемы системы дистанционного управления светодиодной матрицей.
2. Разработка аппаратных и программных средств для управления.
3. Адаптация структурной схемы системы дистанционного управления для работы с использованием технологии ZigBee.
4. Исследование системы дистанционного управления в реальных условиях.
3. Система дистанционного управления светодиодной матрицей на основе технологии ZigBee.

В ходе исследований разработана светодиодная матрица, реализующая функции отображения текстовой информации в виде бегущей строки, а также графической информации в виде несложных рисунков.

Система включает аппаратную и программную части. Для реализации устройства отображения информации использовались традиционные решения. Все поле отображения разделяется на структурные единицы – блоки индикации разрешением 16x16 точек. Формирование кадра развертки происходит по принципу динамической индикации для всех структурных единиц поля отображения одновременно. Для этого в каждом блоке индикации строки формируют два сдвиговых регистра, а смену строк производит дешифратор

4х16. Динамическая индикация при этом представляет собой последовательную смену строк кадра с такой скоростью, при которой он воспринимается человеком как единое изображение.

Разработка программного обеспечения системы дистанционного управления включает два этапа:

- создание драйвера блока индикации, реализующего функции отображения, а также взаимосвязи аппаратного уровня системы со средой передачи данных;
- создание клиентского программного обеспечения, формирующего управляющие запросы – терминала управления.

На первом этапе формируется алгоритм отображения визуальной информации и система команд управления, при этом заранее оговаривается действие устройства при поступлении соответствующей команды. На втором – разрабатывается программное обеспечение, которое именуется как среда управления.

Алгоритм формирования изображения основывается на создании программного видеобуфера. Обеспечивая непрерывный вывод содержимого данного буфера на поле отображения, возможно формировать анимационную картинку, в том числе и бегущую строку, записью в видеобуфер различной информации.

Поскольку принимаемая информация представляет собой символы, закодированные согласно таблице ASCII, принято решение использовать команды размером 1 байт с шестнадцатеричным кодом в пределах от 0x00 до 0x20. Решение обосновано тем, что данные символы в таблице ASCII не относятся к текстовым, а, следовательно, не несут в себе практического значения для реализации функций бегущей строки.

Взаимосвязь аппаратного уровня системы управления со средой передачи осуществляется посредством последовательного протокола передачи RS-232. В связи с ограниченностью дальности связи данного протокола (при использовании витой пары дальность составляет порядка 15 м), принято решение перейти от проводного исполнения к беспроводному. Структурная схема системы управления светодиодной матрицей представлена на рис. 1.

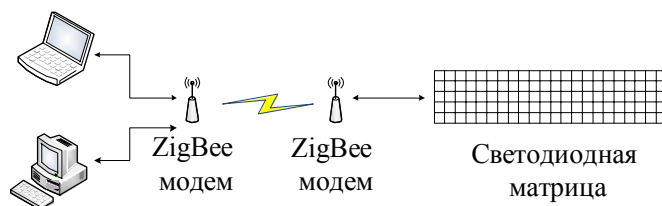


Рис. 1. Структурная схема системы управления светодиодной матрицей

Для формирования радиоканала использовались приемопередатчики XBee24 со встроенным программным стекom ZigBee. Таким образом, для передачи информации ее необходимо отправить в последовательный порт модуля XBee. Функции кодирования и разбиения на пакеты выполняет встроенный программный стек радиомодуля.

Выбор технологии беспроводной передачи обоснован тем, что обеспечивается достаточная пропускная способность сети для передачи управляющих команд, а также загрузки данных в блок отображения информации светодиодной матрицы. Кроме того, данное решение позволяет сделать управляемое устройство частью распределенной сети мониторинга, что в свою очередь делает возможным выводить эти данные напрямую на устройство отображения. Самовосстановление сети позволит в случае выхода из строя ретранслятора не потерять связь с управляемым устройством. Безопасность канала передачи обеспечивает используемая в технологии ZigBee система шифрования данных с 128-битным ключом [1].

В простейшем своем варианте система дистанционного управления светодиодной матрицей строится на топологии сети «точка-точка». Из доступных на территории Украины для развертывания сети ZigBee были выбраны приемопередатчики Xbee24 компании Digi (Maxstream).

Характеристики модулей XBee и XBee Pro представлены в табл.1.

Таблица 1

Параметры	XBee	XBee PRO	XBee Ser. 2
Радиус действия в помещении, м	30	100	40
Радиус действия в свободном пространстве, м	100	1200	120
Максимальная выходная мощность, мВт	1	100	2
Скорость передачи данных по радиоканалу, бит/с	250000		
Скорость передачи данных по интерфейсу, бит/с	1200...115200		
Чувствительность, дБм	-92	-100	-97
Ток потребления в режиме энергосбережения, мкА	10		1
Рабочая частота, ГГц	2,4		
Количество каналов	16	13	16
Количество адресов в сети	65000		
Рабочий диапазон температур, °C	-40...85		

Анализируя информацию, представленную в таблице, можно сделать вывод, что при построении сети в помещении с использованием модулей XBee ретрансляторы необходимо располагать на расстоянии порядка 30 м, а с использованием XBee Pro – 100м. Однако стоит помнить, что с увеличением дальности связи существенно возрастает энергопотребление модуля.

4. Исследование приемопередатчиков на дальность связи

Цель эксперимента – определение реальной дальности связи в закрытых помещениях с использованием беспроводных модулей XBee в условиях городской застройки, а также определение практических рекомендаций по их использованию в системах дистанционного управления.

Оценка количества принятых и потерянных пакетов проводилась с использованием бесплатной программы X-CTU. Она позволяет оценивать уровень сигнала RSSI, и подсчитывать процент принятых пакетов длиной 1 при задержке пакета t и расстоянии между модулями S .

Полученные результаты экспериментальных исследований на дальность связи в помещении представлены в табл.2.

Таблица 2

№	t, мс	Пакеты			RSSI, дБ	S, м	l
		good	bad	good, %			
1	1000	77	23	77	85	30	2
2		97	3	97	82	25	
3		98	2	98	78	20	
4		100	0	100	70	15	
5		100	0	100	63	10	
6		100	0	100	55	5	
7		100	0	100	40	0	

Графически результаты теста представлены на рис.3.

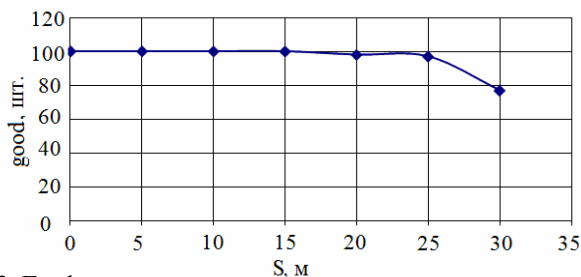


Рис.3. График зависимости принятых пакетов от расстояния

Фактически достаточный для приема уровень сигнала наблюдался и на расстоянии порядка 70 м, однако при попытках передачи потока информации количество потерянных пакетов носило непредсказуемый характер, и, следовательно, делать вывод о качественной передаче в этом случае нельзя. Из этого следует, что располагать на таком расстоянии соседние узлы сети в условиях помещения не рекомендуется. Решить вопрос дальности можно путем использования более мощных модулей серии XBee Pro, либо установкой ретрансляторов. Какой из способов более предпочтителен зависит от конкретно поставленной задачи.

Результаты теста на дальность на открытой местности представлены в табл.3.

Таблица 3

№	t, мс	Пакеты			RSSI, дБ	S, м	l
		good	bad	good, %			
1	1000	171	29	85,5	88	110	32
2		177	23	88,5	86	100	
3		192	8	96	85	90	
4		194	6	97	83	80	
5		195	5	97,5	83	70	
6		196	4	98	82	60	
7		198	2	99	82	50	
8		198	2	99	79	40	
9		199	1	99,5	74	30	
10		200	0	100	73	20	
11		200	0	100	68	10	
12		200	0	100	40	0	

Графически результаты теста представлены на рис. 4

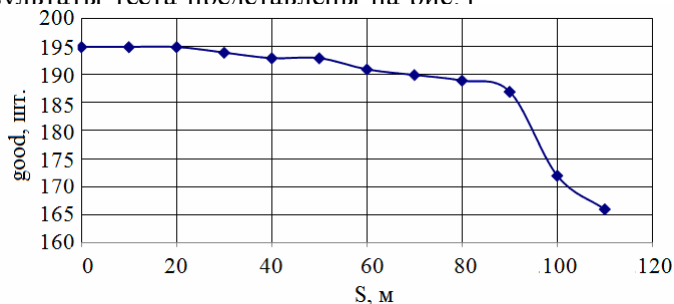


Рис.4. График зависимости принятых пакетов от расстояния

В большинстве практических реализаций, сети ZigBee эксплуатируются внутри помещений, а не на открытом пространстве в условиях прямой видимости между узлами. Для таких случаев часто применима модель распространения радиосигналов внутри помещений – модель логарифмически-нормального распределения потерь в тракте [2]:

$$Pl(d) = Pl(d_0) + 10\alpha \log \frac{d}{d_0} + N(0, \sigma_{ch}^2) = \overline{PL}(d) + N(0, \sigma_{ch}^2) \text{ [дБ]},$$

где d – расстояние между передатчиком и приемником (м); d_0 – эталонное расстояние (м); α – показатель степени потерь в тракте; $N(0, \sigma_{ch}^2)$ – случайная гауссова переменная с нулевым средним и дисперсией $N(0, \sigma_{ch}^2)$.

На открытом пространстве существуют преграды (металлоконструкции зданий, разнообразные технические средства и т.д.), которые оказывают значительное влияние на прохождение сигнала. Перемещение людей также приводит к изменению качества связи. Это объясняется тем, что в точке приема сходятся сигналы, отраженные от множества окружающих предметов (многолучевой прием). При этом в зависимости от взаиморасположения окружающих предметов сигналы в точке приема могут, как усиливаться, так и ослабляться, о чем и свидетельствуют результаты экспериментальных исследований.

Проведенные исследования на открытой местности показали, что реальная дальность связи несколько превышает показатели, заявленные производителем, однако добиться стабильной передачи на этой дальности не удастся. Поэтому необходимо располагать узлы на меньшем расстоянии друг от друга.

Анализируя теоретические сведения и полученные практические результаты можно сделать вывод, что рекомендуемым расстоянием между узлами, внутри помещений, является расстояние, не превышающее 25 метров, а для открытого пространства с учётом возможных преград – 60 метров. При наличии явных преград необходимо использовать ретрансляторы, либо располагать модули в пределах прямой видимости.

4. Заключение

Построение систем дистанционного управления на основе технологии ZigBee, в настоящее время продолжает быть востребованным. Данная технология полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системам управления распределёнными объектами, хотя и имеет некоторые недостатки, в частности, относительно небольшая дальность связи между двумя узлами и низкая пропускная способность радиотракта. Последний параметр не является критичным в системах управления при передаче управляющих команд, но тем не менее данная пропускная способность оказалась достаточной для передачи текстовой информации между персональным компьютером и блоком индикации светодиодной матрицы.

Научная новизна работы. Проведен анализ преимуществ технологии ZigBee и на основе экспериментального исследования системы управления устройством отображения информации предложена методика её применения для реализации дистанционного управления распределёнными объектами, определены допустимые и эффективные расстояния между компонентами сенсорной сети при наличии различных источников помех. Сети, использующие технологию ZigBee, позволят объединить в единую систему большое количество управляемых объектов, которые одновременно могут взаимодействовать как между собой, так и с терминалом управления.

Практическая значимость. Разработанная структура дистанционного управления светодиодной матрицей имеет практическую реализацию и получила реальное внедрение в составе информационного обеспечения учебного процесса. Преимуществами технологии ZigBee является возможность построения сложной топологии сети, низкое энергопотребление, доступная с точки зрения пользователя стоимость оборудования относительно других стандартов беспроводной связи. В связи с этим потребность применения данной технологии в системах дистанционного управления растёт, особенно для управления и информационного обеспечения движущихся объектов, что может стать предметом дальнейших исследований.

Проведенные исследования показали эффективность использования данной технологии для топологии сети «точка-точка». Вместе с тем актуальными остаются вопросы, связанные с использованием технологии ZigBee при построении систем управления распределёнными объектами на основе сетей более сложных топологий, в частности «звезда» и mesh.

Список литературы: 1. *Дмитриев В. В.* Технологии беспроводной передачи данных / Компоненты и Технологии. 2005. №5. С. 22 – 35. 2. *Баскаков С. С.* Стандарт ZigBee и платформа MeshLogic: эффективность маршрутизации в режиме «многие к одному»/ Первая мила, 2008. № 2. С. 32-37.

Поступила в редколлегию 28.08.2010

Кукунин Сергей Валерьевич, соискатель, кафедра ПЭЭА, факультет ЭА ХНУРЭ. Научные интересы: беспроводные сенсорные сети, разработка и оптимизация микроконтроллерных систем. Адрес: Украина, 61103, Харьков, ул. Старицкого, 26, кв. 2, тел. 717-54-58.

Лысенков Николай Александрович, канд. тех. наук., профессор каф. ПЭЭА ХНУРЭ. Научные интересы: разработка и исследование распределённых систем управления на основе микроконтроллеров. Адрес: Украина, 61066, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-14-94.

**МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ И
ФИЛЬТРАЦИИ КАЛМАНА**

Предлагается и протестирован метод идентификации нелинейных систем с использованием алгоритмов нечеткой кластеризации. Результаты моделирования свидетельствуют о возможности адекватного описания нелинейных объектов нечеткими моделями, полученными по этому методу. Показано, что эффективным является применение фильтров Калмана совместно с нечеткой кластеризацией для повышения качества идентификации. Предложенный гибридный метод, объединяющий нечеткую кластеризацию и фильтрацию Калмана, может быть легко реализован на универсальных микропроцессорных вычислителях.

Введение

Для цифрового управления перспективным является применение нечетких систем Такаги-Сугено с постоянным набором правил, позволяющих получать формализованное представление численных процедур. Идентификация объектов цифрового управления по экспериментальным данным с использованием нечетких моделей является эффективным способом аппроксимации нелинейных систем. К наиболее известным моделям такой идентификации следует отнести нечеткую модель Такаги-Сугено (ТС) [1]. Эта модель основана на идее линеаризации нечетких областей в пространстве состояний. В соответствии с этим подходом нелинейная система может быть декомпозирована с помощью мультимодельной структуры, состоящей из совокупности линейных моделей, которые не обязательно являются независимыми. Наборы нечетких правил позволяют представить пространство входов некоторым множеством нечетких областей, позволяющих с помощью функций Такаги-Сугено описать поведение системы в этих областях [2].

Процедура создания нечеткой модели ТС в общем случае состоит из двух этапов:

- формирование функций принадлежности (ФП), соответствующих нечетким правилам;
- определение правил нечеткого вывода.

Первый этап может быть реализован путем нечеткой кластеризации в пространстве входов-выходов. Так как уравнения нечеткого вывода обычно выбираются линейными, то реализация второго этапа, как правило, основана на применении метода наименьших квадратов (МНК).

Существуют алгоритмы кластеризации, базирующиеся на оптимизации нечетких функций k -среднего. К ним относятся, например, алгоритмы, использующие евклидово расстояние между объектами, для которых формируемые кластеры имеют форму гиперсфер. Другие типы алгоритмов используют адаптивную норму для получения кластеров различной геометрической формы в одном и том же множестве данных [3].

Нечеткая кластеризация в декартовом пространстве входов-выходов широко используется для получения функций принадлежности моделей ТС. Применяя нечеткую кластеризацию, можно получить начальные многомерные нечеткие множества, которые могут быть использованы или непосредственно в модели или с помощью косвенных переменных (регрессоров). Так как обычно интерпретация многомерных нечетких множеств является затруднительной, то более предпочтительным является применение регрессоров для таких множеств.

В работе [2] предлагается метод нечеткого моделирования на алгоритме кластеризации Густафсона-Кесселя (ГК) для оценивания функций принадлежности и на МНК для оценивания параметров модели ТС. В работе [2] предлагается использовать алгоритм кластеризации Гата-Гева (ГГ) вместо метода ГК. Преимуществом такого алгоритма является то, что функции принадлежности могут быть здесь непосредственно получены по параметрам кластеров.

В настоящей работе предлагается подход к моделированию нелинейных объектов цифровых систем, использующий комбинацию алгоритма ГГ и фильтра Калмана.

1. Постановка задачи

Задачами настоящей работы являются:

- анализ методов идентификации нелинейных систем на основе кластеризации данных;
- анализ возможных подходов к построению локальных нечетких линейных моделей, объединение которых позволяет удовлетворительно аппроксимировать глобальную нелинейную модель;
- разработка и исследование модифицированного алгоритма нечеткой идентификации, основанного на процедуре Гат-Гева и фильтрации Калмана;
- исследование эффективности применения предложенного алгоритма на тестовых примерах идентификации нелинейных систем.

2. Общая характеристика задачи кластерного анализа

Кластерный анализ используется для классификации объектов по признакам подобия между ними и для группирования данных. Методы кластеризации могут быть применены для количественных (числовых) данных, для качественных (категорийных) данных или для смешанных данных. Идентификация реальных объектов цифрового управления основана, как правило, на наблюдениях числовых данных, характеризующих конкретные физические процессы. Каждое наблюдение состоит из n значений измеряемых переменных, образующих n -мерный вектор-столбец $Z_k = [Z_{1k}, \dots, Z_{nk}]^T, Z_k \in R^n$. Совокупность N наблюдений обозначим как $Z = \{Z_k; k = \overline{1, N}\}$. Такая совокупность может быть представлена соответствующей $(n \times N)$ -мерной матрицей данных.

В задачах идентификации столбцы матрицы Z содержат значения сигналов системы в дискретные моменты времени, а строки соответствуют физическим переменным системы (положению, скорости, температуре). Данные могут группироваться в кластеры различной геометрической формы, различных размеров и плотности.

Таким образом, кластеры могут рассматриваться как подмножества множества данных. Классические методы кластеризации базируются на классической теории множеств и позволяют определить, принадлежит или нет рассматриваемый элемент к некоторому кластеру, т.е. кластеры являются взаимно исключающими подмножествами в Z . Методы нечеткой кластеризации допускают принадлежность одного и того же элемента к различным кластерам одновременно, однако с разными оценками степени такой принадлежности.

Рассмотрим вначале принципы классического разбиения множества данных Z на кластеры. Такое разбиение может быть определено как семейство подмножеств $\{A_i / 1 \leq i \leq c\} \subset P(Z)$.

Матрица $U = [\mu_{ik}]$ соответствует классическому разбиению, если ее элементы удовлетворяют следующим условиям:

$$\begin{aligned} \mu_{ik} &\in \{0, 1\} & 1 \leq i \leq c, \quad 1 \leq k \leq N; \\ \sum_{i=1}^c \mu_{ik} &= 1 & 1 \leq k \leq N; \\ 0 < \sum_{k=1}^N \mu_{ik} &< N & 1 \leq i \leq c. \end{aligned} \tag{1}$$

В i -й строке матрицы U содержатся значения функции принадлежности к i -му подмножеству множества Z .

Рассмотрим исходное множество данных $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_{10}\}$, представленное на рис.1.

Визуально можно констатировать наличие в исходном множестве Z двух изолированных кластеров $A_1 = \{z_1, z_2, z_3, z_4\}$ и $A_2 = \{z_7, z_8, z_9, z_{10}\}$. Элементы z_5 и z_6 могут быть отнесены как к A_1 так и к A_2 , или же к обоим кластерам одновременно. Например, можно сформировать следующую матрицу разбиения:

$$U = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

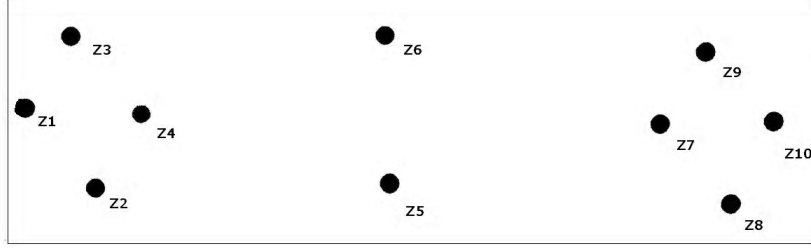


Рис. 1. Исходное множество данных в пространстве R^2

Первая строка матрицы U определяет функцию принадлежности для первого подмножества A_1 множества Z , а вторая строка – функцию принадлежности для второго подмножества A_2 множества Z .

Переход от классического разбиения исходного множества к нечеткому разбиению можно осуществить, полагая, что μ_{ik} принадлежит интервалу $[0,1]$. Для такого разбиения должны выполняться условия (1).

Одним из возможных вариантов разбиения исходного множества Z для примера 1.1 является:

$$U = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0.8 & 0.5 & 0.2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0.5 & 0.8 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Отметим, что элементы Z_5 и Z_6 имеют здесь одинаковые степени принадлежности к каждому из кластеров. Можно утверждать, что нечеткое разбиение является более гибким по сравнению с классическим разбиением множеств данных.

К наиболее распространенным алгоритмам нечеткой кластеризации относится FCM-алгоритм (Fuzzy Classifier Means). Целью FCM-алгоритма кластеризации является автоматическая классификация множества объектов, которые задаются векторами признаков в пространстве признаков. Другими словами, такой алгоритм определяет кластеры и соответственно классифицирует объекты. Кластеры представляются нечеткими множествами, и, кроме того, границы между кластерами также являются нечеткими. FCM-алгоритм кластеризации предполагает, что объекты принадлежат всем кластерам с определенной ФП. Степень принадлежности определяется расстоянием от объекта до соответствующих кластерных центров. Данный алгоритм итерационно вычисляет центры кластеров и новые степени принадлежности объектов.

FCM-алгоритм основан на оптимизации с-функций (с-средних), имеющих следующую структуру:

$$J(Z; U, V) = \sum_{i=1}^c \sum_{r=1}^N (\mu_{ik})^m \|z_k - v_i\|_A^2, \quad (4)$$

где U – матрица нечеткого разбиения множества Z :

$$U = [\mu_{ik}], \quad (5)$$

V – вектор центров формируемых кластеров:

$$V = [v_1, v_2, \dots, v_c], \quad v_i \in R^n, \quad (6)$$

m – весовой показатель, определяющий степень нечеткости кластеров.

Норма расстояния между элементами множества Z и центрами кластеров определяется следующим образом:

$$D_{ikA}^2 = \|z_k - v_i\|_A^2 = (z_k - v_i)^T A (z_k - v_i). \quad (7)$$

Из (6) видно, что соответствующее расстояние взвешивается величиной степени принадлежности элементов $(\mu_{ik})^m$.

Минимизируя функцию (9), получаем:

$$\mu_{ik} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c \left(\frac{D_{ikA}}{D_{jkA}} \right)^{\frac{2}{m-1}}}, \quad 1 \leq i \leq c, 1 \leq k \leq N, \quad v_i = \frac{\sum_{k=1}^N (\mu_{ik})^m z_k}{\sum_{k=1}^N (\mu_{ik})^m}, \quad 1 \leq i \leq c. \quad (8)$$

Отношение (8) лежит в основе принципа нечеткой кластеризации с использованием FCM-алгоритма. В соответствии с этим алгоритмом для исходного множества данных Z задаются количество кластеров $c \in (1, N)$, значение показателя $m > 1$, константа условия останова $\varepsilon > 0$ и матрица нормы A . Затем случайным образом инициализируется матрица разбиения U .

Условие останова алгоритма: $\|U^{(l)} - U^{(l-1)}\| < \varepsilon$.

Форма кластеров определяется выбором матрицы A в уравнении (7). В частности, если $A = I$ (I – единичная матрица), то получаем стандартную норму Евклида:

$$D_{ikA}^2 = (z_k - v_i)^T (z_k - v_i).$$

В этом случае формируемые кластеры имеют сферическую форму.

3. Модифицированный алгоритм кластеризации

Проведем обобщение FCM-алгоритма с использованием адаптивной нормы расстояния, позволяющее выделять кластеры различной геометрической формы в исходном множестве данных. Будем предполагать, что в уравнении (7) элементы матриц A_i могут варьироваться, однако их определители должны оставаться фиксированными, т.е.:

$$|A_i| = \rho_i, \quad \rho_i > 0, \quad (9)$$

где значение константы ρ_i является фиксированным для каждого из кластеров. В этом случае, оптимизируя (7), можно получить следующее выражение для A_i :

$$A_i = [\rho_i \det(F_i)]^{\frac{1}{n}} F_i^{-1}, \quad (10)$$

где F_i – матрица нечеткой ковариации i -го кластера, определяемая следующим образом:

$$F_i = \frac{\sum_{k=1}^N (\mu_{ik})^m (z_k - v_i)(z_k - v_i)^T}{\sum_{k=1}^N (\mu_{ik})^m}. \quad (11)$$

Зависимости (10), (11) лежат в основе алгоритма Гат-Гева (ГГ). Здесь, как и в FCM-алгоритме, вначале выбирается количество кластеров $1 < c < N$, показатель $m > 1$, константа условия останова $\varepsilon > 0$ и матрица нормы A , а затем случайным образом инициализируется матрица разбиения U .

Вычислительная схема алгоритма ГГ состоит в поэтапном выполнении операций, описанных ниже.

Этап 1. Определяем центры кластеров:

$$v_i^1 = \frac{\sum_{k=1}^N (\mu_{ik}^{(l-1)})^m z_k}{\sum_{k=1}^N (\mu_{ik}^{(l-1)})^m}, \quad 1 \leq i \leq c.$$

Этап 3. Определяем расстояния в соответствии с уравнением 10.

Этап 4. Формируем матрицу разбиения:

$$- \text{если } D_{ikA_i} > 0 \text{ для } 1 \leq i \leq c, \quad 1 \leq k \leq N, \text{ то } \mu_{ik}^{(l)} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c \left(\frac{D_{ikA_i}}{D_{jkA_i}} \right)^{\frac{2}{m-1}}};$$

$$- \text{если } D_{ikA_i} < 0, \text{ то } \mu_{ik}^{(l)} = 0.$$

$$\text{В общем случае } \mu_{ik}^{(l)} \in [0, 1] \text{ и } \sum_{i=1}^c \mu_{ik}^{(l)} = 1.$$

Условием останова алгоритма является выполнение следующего неравенства:

$$\|U^{(l)} - U^{(l-1)}\| < \varepsilon.$$

Структура ковариационной матрицы кластера содержит информацию о его форме и ориентации. Наименьший из собственных векторов этой матрицы соответствует перпендикуляру к направлению кластера, в то время, как наибольший собственный вектор определяет направление кластера. Линеаризованные подмножества исходного множества данных могут быть представлены поверхностями, которые можно интерпретировать, как гиперплоскости. Собственный вектор, соответствующий наименьшему собственному числу, определяет перпендикуляр к этой гиперплоскости и может использоваться для локальной линейной модели.

Следует подчеркнуть, что преимуществом алгоритма ГГ по сравнению с алгоритмом FCM является его способность формировать кластеры, имеющие различные формы и направления.

4. Особенности идентификации нелинейных систем на основе нечеткой кластеризации данных

Рассмотрим основные этапы процедуры идентификации нелинейных систем на основе нечеткой кластеризации данных.

Этап 1. Измерение и сбор данных.

Выбор сигнала возмущения при идентификации системы является важной задачей, так как для получения репрезентативных данных надо воздействовать на систему по амплитудной и частотной осям, т.е. необходимо изменять эти две величины в существенном диапазоне. Очевидно, что этот сигнал должен иметь значительное число амплитудных уровней, а его частотные свойства должны быть представлены множеством гармоник.

Этап 2. Выбор структуры модели.

Основой этого этапа является выбор информативной совокупности входных и выходных переменных. Кроме того, необходимо выбрать порядок динамической модели. Этот этап позволяет перейти от проблемы динамической идентификации к проблеме создания статических регрессионных зависимостей.

Этап 3. Кластеризация данных.

После выбора структуры и получения общей регрессионной модели переходят к ее представлению с помощью набора локальных линейных подмоделей. Положение и параметры каждой из формируемых подмоделей определяются разделением данных на кластеры. Каждый из этих кластеров определяет нечеткую область, в которой система может быть локально аппроксимирована линейной подмоделью.

Этап 4. Выбор количества кластеров.

На этом этапе определяется число формируемых кластеров (например, в соответствии с методами, предложенными в [4]).

Этап 5. Формирование исходной нечеткой модели.

Нечеткая кластеризация разделяет исходную совокупность регистрируемых данных на группы, в которых приемлемым является применение линейных локальных зависимостей между выходами и входами. Соответственно задаются правила выбора, функции принадлежности и другие компоненты, присущие нечеткой модели.

Этап 6. Редукция исходной модели.

Полученные на предыдущем этапе исходные нечеткие модели могут быть упрощены (например, путем объединения подобных функций принадлежности).

Этап 7. Оценка достоверности модели.

Полученная в результате идентификации модель может быть признана работоспособной либо неудовлетворительной. В последнем случае этапы идентификации должны быть реализованы вновь с внесением определенных изменений.

Рассмотрим подробнее задачу построения локальных статических зависимостей, реализуемую на этапах 2 и 3. К таким зависимостям относятся, например, модели NARX (Nonlinear Autoregressive with exogenous input – нелинейная авторегрессия с расширенным входом). Переход от динамической модели к статической может рассматриваться, как формирование регрессоров – операторов перехода из временной области сигналов в пространство состояний сигналов. Это позволяет описать поведение системы с помощью формализации статического преобразования регрессоров в соответствующие значения выходов модели. В настоящей работе для осуществления такого преобразования предлагается применение нечеткой логики.

В общем случае системы нечеткого типа являются аппроксиматорами функций, которые могут быть использованы для нелинейной регрессии. Нелинейная регрессия соответствует моделированию статической зависимости между выходной переменной $y \in Y \subset R$ и регрессионным вектором $x = [x_1, x_2, \dots, x_p]^T$ в пространстве $X \subset R^p$. Элементы регрессионного вектора будем называть регрессорами, а область X – регрессионным пространством. При этом в общем случае генерируемая система описывается следующей зависимостью:

$$y = f(x). \quad (12)$$

Сущность применения такого типа регрессии состоит в построении функции $F(x)$, которая может аппроксимировать функцию $f(x)$, используя при этом не только доступные данные, но и все элементы пространства X .

Ошибка такой аппроксимации может оцениваться в непрерывной области:

$$I = \int_x \|f(x) - F(x)\| dx \quad (13)$$

или же в дискретной области:

$$J = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \|f(x_i) - F(x_i)\|, \quad (14)$$

где N – число дискретных значений данных.

Модель с минимальным значением I или J является наилучшей моделью выбранной структуры.

Как и в случае линейных систем, для идентификации нелинейных систем могут использоваться различные модели. В частности упомянутая выше NARX – модель задает зависимость между прогнозом значения выхода и предшествующими значениями наблюдений «вход-выход»: $\hat{y}(k+1) = F(y(k), \dots, y(k-n_y+1), u(k), \dots, u(k-n_u+1))$, где k – дискретное время; n_u, n_y – параметры, задающие порядок системы.

В NARX – моделях вектор регрессии содержит набор текущих и предыдущих данных для входов и выходов системы: $x(k) = [y(k), y(k-1), \dots, y(k-n_y+1), u(k), u(k-1), \dots, u(k-n_u+1)]^T$.

Задача аппроксимации функции $F(\cdot)$ может быть решена с применением нелинейной регрессии. Это позволит получить статическую модель на основе измерений входов и выходов исходной динамической системы:

$$S = \{(u(j), y(j)), j = 1, \dots, N\}. \quad (15)$$

Решающее правило R_i , формируемое с помощью NARX-модели, можно представить следующим образом:

R_i : если $y(k)$ соответствует A_{i1} , ..., $y(k-n_y+1)$ соответствует $A_{i n_y}$; а $u(k)$ соответствует B_{i1} , ..., $u(k-n_u+1)$ соответствует $B_{i n_u}$, то $y(k+1)$ соответствует C_i . Квадратичная ошибка прогноза в этом случае составляет:

$$J = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y(i) - \hat{y}(i))^2. \quad (16)$$

5. Модифицированный алгоритм идентификации

Схема предлагаемого модифицированного алгоритма приведена на рис.2. Алгоритм содержит 3 основных этапа:

- а) разбиение входных и выходных данных $\{(x_k, y_k), k = \overline{1, N}\}$ на локальные линейные модели по алгоритму ГГ;
- б) получение функций принадлежности с использованием проекции кластеров и фильтра Калмана.
- в) определение правил вывода с использованием фильтра Калмана.

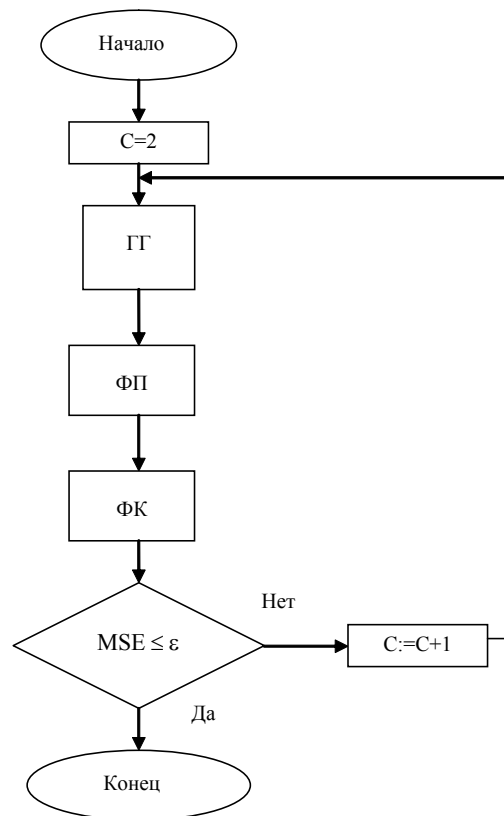


Рис. 2. Схема модифицированного алгоритма идентификации

На рис. 2. приняты следующие обозначения: ФП – определение функций принадлежности; ФК – фильтрация Калмана для определения параметров модели ТС.

Операция, соответствующая этим трем этапам, повторяются до получения оптимального числа кластеров C , как это показано на рис.2. Для оценивания качества идентификации используем среднеквадратичную оценку MSE (mean squared error). Критерием останова алгоритма является снижение MSE до некоторой заданной величины ε .

Функции принадлежности могут быть получены по результатам кластеризации и дальнейшего преобразования наборов дискретных значений матрицы разбиения в переменные предпочтения $x_j, j = \overline{1, n}$.

При этом формируются нечеткие наборы данных проекцией многомерного набора нечетких дискретных значений в регрессоры x_j , после чего правила ТС могут быть представлены в виде (12).

С целью получения прогнозирующей модели, удобной для использования в системе цифрового нечеткого управления, функции принадлежности должны быть определены та-

ким образом, чтобы была возможность вычисления любой степени принадлежности даже для данных, не содержащихся в исходном наборе. Для решения этой задачи используем фильтр Калмана, позволяющий аппроксимировать дискретные функции принадлежности линейными моделями и получить их в треугольной или трапециевидной форме.

Фильтрация Калмана является процедурой рекурсивного оценивания, минимизирующей некоторый квадратичный критерий. Каждый шаг оценивания вектора параметров, соответствующего уравнению прямой, осуществляется с использованием оценки на предыдущем шаге и новых входных данных (в нашем случае входом являются дискретные значения функций принадлежности). Рассмотрим подробнее соответствующую процедуру фильтрации.

Пусть имеется 2сп-мерных набора данных, каждый из которых представляет линейную часть некоторого нечеткого набора дискретных данных. Линейная часть выделяется путем б-среза рассматриваемого набора. В итоге формируются 2сп векторов параметров (для каждого набора). В каждом наборе получаем N_j дискретных значений, где j означает принадлежности к j -му набору.

Каждый набор может быть промоделирован следующим уравнением:

$$y_{k_j}^j = a^j x_{k_j} + b^j + v_{k_j} = \begin{bmatrix} x_{k_j} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a^j \\ b^j \end{bmatrix} + v_{k_j} = C_{k_j}^j \theta_{k_j}^j + v_{k_j},$$

$$j = 1, 2, \dots, 2cn, \quad k_j = 1, 2, \dots, N_j,$$

где $C_{k_j}^j$ – вектор наблюдений в момент k_j ; $\theta_{k_j}^j = [a^j b^j]^T$ – вектор параметров; v_{k_j} – шум измерений; N_j – количество данных в j -м наборе.

Для упрощения будем обозначать далее k_j как k . В уравнении ТС представим вектор $\theta_{k_j}^j$ как переменную состояний, что позволяет перейти к следующему уравнению состояний:

$$\theta_{k_j}^j = A^j \theta_{k-1}^j + w_{k-1}^j, \quad j = 1, 2, \dots, 2cn, \quad (17)$$

где A^j – переходная матрица состояний размерности (2×2) ; w_{k-1}^j – шум состояний; $\theta_{k_j}^j$ – значение переменной состояния в момент k .

Шум состояний и шум измерений предполагаются статистически независимыми и могут быть рассмотрены как белый шум с нулевым математическим ожиданием и ограниченными дисперсиями. Рекуррентные процедуры пересчета переменных состояния и прогноза выхода примут следующий вид:

$$\hat{\theta}_{k/k-1}^j = A^j \hat{\theta}_{k/k-1}^j,$$

$$\hat{y}_k^j = C_k^j \hat{\theta}_{k/k-1}^j. \quad (18)$$

Следующий этап предлагаемого алгоритма основан на использовании фильтра Калмана, позволяющего непосредственно оценивать параметры модели ТС по набору входных данных и заданной функции принадлежности.

Из уравнения (17) получаем:

$$y = \sum_{i=1}^0 \varphi_i(x) (a_i^T x + b_i), \quad (19)$$

где $\varphi_i(x) = \omega_i(x) / \sum_{i=1}^0 \omega_i(x)$.

С учетом структуры сомножителей уравнение (19) можно представить в виде:

$$y = \begin{bmatrix} \varphi_1(x) & \varphi_2(x) & \dots & \varphi_c(x) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ b_1 \\ \dots \\ a_c \\ b_c \end{bmatrix}.$$

Пусть $\Theta = [a_1 \ b_1 \ \dots \ a_c \ b_c]^T$ – вектор параметров ТС размерности $c(n+1)*1$ и $x_e = [x_1]$ – расширенный вектор размерности $1*(n+1)$. Введем обозначение:

$$C = [\varphi_1 x_e \ \varphi_2 x_e \ \dots \ \varphi_c x_e].$$

Тогда уравнение (26) примет вид:

$$y = C\Theta. \quad (20)$$

где C – вектор размерности $1*(n+1)c$.

С учетом шума измерений уравнение (20) для k -го момента времени преобразуется следующим образом:

$$y_k = C_k \Theta_k + v_k. \quad (21)$$

Если рассматривать Θ_k как переменную состояния, то уравнение состояний примет вид:

$$\Theta_k = A\Theta_{k-1} + \omega_{k-1},$$

где A – переходная матрица размерности $c(n+1)*c(n+1)$; ω_k – шум состояния.

Отметим, что шумы v_k и ω_k должны отвечать определенным ранее условиям.

Тогда для оценивания вектора параметров ТС Θ_k можно использовать фильтрацию Калмана вида:

$$\hat{\Theta}_{k/k-1} = A\hat{\Theta}_{k-1/k-1},$$

$$P_{k/k-1} = AP_{k-1/k-1}A^T + Q,$$

$$K_k = P_{k/k-1}C_k^T(C_kP_{k/k-1}C_k^T + r)^{-1},$$

$$\hat{\Theta}_{k/k} = \hat{\Theta}_{k/k-1} + K_k(y - C_k\hat{\Theta}_{k/k-1}),$$

$$P_{k/k} = P_{k/k-1} - K_kC_kP_{k/k-1},$$

где $\hat{\Theta}_k$ – оценка вектора Θ_k ; K_k – коэффициент Калмана; $P_{k/k-1}$ и $P_{k/k}$ – ковариационные матрицы ошибок прогнозирования и фильтрации соответственно.

Для оценки эффективности предложенного подхода рассмотрим пример нечеткой идентификации нелинейной системы.

6. Результаты моделирования

Рассмотрим пример моделирования нелинейной функции вида:

$$y = 10 \exp(-0.05x) \sin(0.07\pi x) + v, \quad (22)$$

где v – белый шум с дисперсией, равной 0,1.

Исходный набор данных, состоящий из значений функции (32), содержал 1200 дискретных значений аргумента x в интервале $[0, 120]$.

В результате кластеризации были сформированы 8 кластеров. В процессе моделирования рассматривался срез $d = 0.1$ (для проекции матрицы разбиения U на регрессор x). Сформированная модель представлена следующими 8 правилами:

$$R_i : \text{IF } x \text{ is } A_i, \text{ THEN } y = a_i x + b_i \quad i = 1, 2, \dots, 8, \text{ где } A_i \text{ – соответствующие функ-}$$

ции принадлежности; a_i, b_i – оцениваемые параметры ТС.

Параметры модели ТС, полученные с применением фильтра Калмана (ФК), приведены в таблице. Здесь приведены также значения, полученные с использованием метода наименьших квадратов (МНК), и значения среднеквадратичной ошибки (MSE).

Результаты моделирования показывают, что нечеткая ТС-модель, сформированная в соответствии с предложенным подходом, обладает хорошими аппроксимирующими свойствами.

		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	MSE
МНК	a	.21	0	.41	.70	-.76	0	0.04	0.09	.081
МНК	b	.97	.99	-.90	.71	.63	0.99	0.99	-.99	
ФК	a	0	0.48	-.16	-.96	3.58	0.04	.11	1.11	.068
ФК	b	-1.08	-13.89	7.74	-.05	0	-.28	-6.78	1.21	

Выводы

В настоящей работе на основе проведенного анализа современных исследований в области разработки нечетких систем был предложен и протестирован метод идентификации нелинейных систем с использованием алгоритма Гат-Гева и калмановской фильтрации. Результаты моделирования свидетельствуют о возможности адекватного описания нелинейных объектов нечеткими моделями, полученными по этому методу. Показано, что эффективным является применение фильтров Калмана совместно с нечеткой кластеризацией для повышения качества идентификации. Отметим, что предложенный гибридный метод, объединяющий нечеткую кластеризацию и фильтрацию Калмана, может быть легко реализован на универсальных микропроцессорах и микроконтроллерах. Это позволяет сделать вывод о возможности его применения в системах цифрового управления нелинейными объектами.

Перспективным представляется развитие теоретического обоснования предложенного подхода и тестирование полученных результатов для различных типов нелинейных систем.

Список литературы: 1. *Круглов В.В.* Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. М.: Физматлит, 2002. 315с. 2. *Kosko B.* Fuzzy systems as universal approximators // IEEE Transactions on Computers, vol. 43, No. 11, November 1994. P. 1329-1333. 3. *Леоненков А.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и FuzzyTECH. БХВ: Санкт-Петербург, 2003. 716 с. 4. *Рыжов А.П.* Элементы теории нечетких множеств и измерения нечеткости. М.: Диалог-МГУ, 2000. 116 с.

Поступила в редколлегию 05.09.2010

Удовенко Сергей Григорьевич, д-р техн. наук, профессор кафедры электронных вычислительных машин ХНУРЭ. Научные интересы: управление стохастическими процессами, методы вычислительного интеллекта. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14.

Альхайек Ранем, аспирант кафедры электронных вычислительных машин ХНУРЭ. Научные интересы: нечеткая идентификация нелинейных систем, нейро-нечеткое управление. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14.

УДК 621.391:621.395

В.В. ПАНТЄЛЄСЬ, М.І. ТАРАСОВ, О.І. ВАКАРЮК

ІНЖЕНЕРНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ xDSL-ЛІНІЙ

Для забезпечення ефективного абонентського доступу користувачів до широкосмугових інфокомунікаційних послуг створюються відповідні телекомунікаційні засоби, серед яких важливе місце займають цифрові абонентські лінії xDSL. Різноманітність xDSL-технологій, та насамперед симетричних по швидкостях передавання повідомлень у протилежних напрямках передачі SDSL, забезпечують високошвидкісний цифровий абонентський доступ (швидкість обміну інформаційними даними N_{t64} кбіт/с до 2,048 Мбіт/с і більше) по існуючих мідних кабелях місцевої ділянки телефонної мережі (МТМ) загального користування/телефонної мережі загального користування (Т_ФМЗК/Т_ФОП). Пропонується методика інженерної оцінки гранично досяжних довжин абонентських SDSL-ліній з детальним виводом узагальненого рівняння довжини. Обговорюється характерна для Т_ФМЗК Єдиної національної системи зв'язку України (ЄНСЗ-У) та Взаємозв'язаної мережі зв'язку Російської Федерації (ВМЗ РФ) проблематика оцінки критерію якості QoS цифрового зв'язку по xDSL-лініях на основі 5-бальної шкали MOS щодо забезпечення необхідного запасу щодо завадостійкості NM.

		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	MSE
МНК	a	.21	0	.41	.70	-.76	0	0.04	0.09	.081
МНК	b	.97	.99	-.90	.71	.63	0.99	0.99	-.99	
ФК	a	0	0.48	-.16	-.96	3.58	0.04	.11	1.11	.068
ФК	b	-1.08	-13.89	7.74	-.05	0	-.28	-6.78	1.21	

Выводы

В настоящей работе на основе проведенного анализа современных исследований в области разработки нечетких систем был предложен и протестирован метод идентификации нелинейных систем с использованием алгоритма Гат-Гева и калмановской фильтрации. Результаты моделирования свидетельствуют о возможности адекватного описания нелинейных объектов нечеткими моделями, полученными по этому методу. Показано, что эффективным является применение фильтров Калмана совместно с нечеткой кластеризацией для повышения качества идентификации. Отметим, что предложенный гибридный метод, объединяющий нечеткую кластеризацию и фильтрацию Калмана, может быть легко реализован на универсальных микропроцессорах и микроконтроллерах. Это позволяет сделать вывод о возможности его применения в системах цифрового управления нелинейными объектами.

Перспективным представляется развитие теоретического обоснования предложенного подхода и тестирование полученных результатов для различных типов нелинейных систем.

Список литературы: 1. *Круглов В.В.* Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. М.: Физматлит, 2002. 315 с. 2. *Kosko B.* Fuzzy systems as universal approximators // IEEE Transactions on Computers, vol. 43, No. 11, November 1994. P. 1329-1333. 3. *Леоненков А.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и FuzzyTECH. БХВ: Санкт-Петербург, 2003. 716 с. 4. *Рыжов А.П.* Элементы теории нечетких множеств и измерения нечеткости. М.: Диалог-МГУ, 2000. 116 с.

Поступила в редколлегию 05.09.2010

Удовенко Сергей Григорьевич, д-р техн. наук, профессор кафедры электронных вычислительных машин ХНУРЭ. Научные интересы: управление стохастическими процессами, методы вычислительного интеллекта. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14.

Альхайек Ранем, аспирант кафедры электронных вычислительных машин ХНУРЭ. Научные интересы: нечеткая идентификация нелинейных систем, нейро-нечеткое управление. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14.

УДК 621.391:621.395

В.В. ПАНТЄЛЄСЬ, М.І. ТАРАСОВ, О.І. ВАКАРЮК

ІНЖЕНЕРНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ xDSL-ЛІНІЙ

Для забезпечення ефективного абонентського доступу користувачів до широкосмугових інфокомунікаційних послуг створюються відповідні телекомунікаційні засоби, серед яких важливе місце займають цифрові абонентські лінії xDSL. Різноманітність xDSL-технологій, та насамперед симетричних по швидкостях передавання повідомлень у протилежних напрямках передачі SDSL, забезпечують високошвидкісний цифровий абонентський доступ (швидкість обміну інформаційними даними N_{t64} кбіт/с до 2,048 Мбіт/с і більше) по існуючих мідних кабелях місцевої ділянки телефонної мережі (МТМ) загального користування/телефонної мережі загального користування (Т_ФМЗК/Т_ФОП). Пропонується методика інженерної оцінки гранично досяжних довжин абонентських SDSL-ліній з детальним виводом узагальненого рівняння довжини. Обговорюється характерна для Т_ФМЗК Єдиної національної системи зв'язку України (ЄНСЗ-У) та Взаємозв'язаної мережі зв'язку Російської Федерації (ВМЗ РФ) проблематика оцінки критерію якості QoS цифрового зв'язку по xDSL-лініях на основі 5-бальної шкали MOS щодо забезпечення необхідного запасу щодо завадостійкості NM.

1. Вступ

Надання сучасного інфокомунікаційного мультисервісу з використанням інтегрованого доступу за різнорідними направляючими середовищами, що мають нестационарні параметри та специфічні завадові ситуації, висуває в основу “цифровізації” телекомунікаційних мереж метод “технологічної утилізації” – широкого використання вже існуючих лінійно-кабельних споруд, смугообмежених стандартних каналів, групових і лінійних трактів [1–6].

Відомо [2, 4], що організація цифрових потоків провадиться вторинним ущільненням за допомогою високошвидкісних пристроїв перетворення сигналів (ППС) – професійних високозавадостійких модемів, призначених для перетворення цифрового сигналу у форму, “зручну” для транспортування по даному середовищу розповсюдження. Такі ППС можуть працювати як в основній смузі цифрового лінійно кодованого сигналу (Baseband Modem) [1, 8] без жорстких вимог по частотному обмеженню вихідного енергетичного спектра (“цифрові” модеми), так і як широкосмугові пристрої (Broadband Modem) [2, 17] по смугообмежених каналах електрозв’язку з використанням несучого коливання (“аналогові” модеми). У першому випадку ППС як “цифрові” DSU/CSU-модеми (*DSU/CSU – Data Service Unit/Channel Service Unit*) знайшли своє безпосереднє призначення на фізичних ланцюгах абонентських та з’єднувальних лініях MTM ТФМЗК ЄНЧЗ-У/ВСС РФ, де використовують xDSL-технології (*xDSL – x-’any’ Digital Subscriber Line*), що добре себе зарекомендували на існуючій телефонній мережі [5, 7]. В другому випадку – ППС як “аналогові” DTE/DCE-модеми (*DTE/DCE – Data Terminal Equipment/Data Circuit-termination Equipment*) працюють з використанням технологій організації цифрових трактів у смузі частот типового широкосмугового каналу DIV (Data-In-Voice), нижче DUV (Data-Under-Voice) і вище DAV (Data-Above-Voice) плану частот групового лінійного сигналу багатоканальної аналогової системи передачі (БСП-ЧастПК) з частотним розподілом каналів (*FDM – Frequency Division Multiplexing*) [15].

Настільки жорсткі вимоги до щонайвищої перешкодозахищеності модемів досягаються комплексом заходів: оптимізації методів організації двопровідного дуплексного зв’язку (FDD – Frequency Division Duplex, TDD – Time Division Duplex, ECH – Echo Cancellation Hybrid, TCM – Time Compression Multiplexing); використанню завадостійкого кодування джерела повідомлень (коди BCH – Bose-Chaudhuri-Hocquenghem, RS – Rid-Solomon, ...); застосуванню багаторівневих протоколів обміну при транспортуванні різнотипної мультимедійної інформації (Frame Relay, ATM – Asynchronous Transfer Mode, TCP/IP – Transmission Control Protocol/Internet Program, ...); вибору методів завадозахищеної передачі й оптимального прийому (Interleaving, TC – Trellis Coding, VD – Viterbi Decoding, ...); адаптивному усуненню ефекту “електричної” луни (EC – Echo Canceller, ES – Echo Suppressor, ...), а також, більшою мірою, організацією цифро-аналогового тракту високоефективними методами модуляції (QAM – Quadrature Amplitude Modulation, CAP – Carrierless Amplitude & Phase, DMT – Digital MultiTone, ...) із комбінацією усього перерахованого вище.

Дійсно, вибір ефективного методу модуляції є тією відправною точкою, первинним рівнем щодо побудови комбінованого цифро-аналогового лінійного тракту, починаючи з якої узагалі має сенс займатися підвищенням вірогідності передачі цифрових повідомлень усіма раніше відомими, дійсними на сьогодні і бурно виникаючими в найближчому майбутньому методами завадостійкого кодування, ефективного транспортування, оптимальної передачі та прийому складних сигналів.

2. Рівняння довжини xDSL-лінії

Гранично досяжні швидкості передачі переносників корисної інформації B (B – Bearer) у біт/с (bit/s – b/s , bps) визначаються якісними оцінками за завадостійкістю прийнятого сигналу щодо забезпечення необхідних кількісних співвідношень за вірогідністю цифрових повідомлень, що підлягають транспортуванню [13].

Якісною оцінкою завадостійкості прийнятого сигналу є захищеність – різниця рівнів корисного сигналу p_c і перешкоди p_n , що наведені у відносних логарифмічних величинах за потужністю з розмірністю дБп (dBm – Decibel referred to 1 milliwatt) або, і це цілком еквівалентно, логарифмічній мірі відносин потужностей сигнал/перешкода P_c/P_n (SNR – Signal-to-Noise Ratio) [18]

$$A_3 = p_c[\text{dBm (дБп)}] - p_n[\text{dBm (дБп)}] \equiv \\ \equiv \text{SNR} = 10 \lg \frac{P_c}{P_n}, [\text{дБ (дБ)}].$$

Тут і в подальшому $[\text{dBm (дБп)}]$ у квадратних дужках наведено розмірності в міжнародних $[\text{dBm}]$, а у круглих (дБп) – в альтернативних, насамперед, в українських позначках.

З іншого боку, прийнято, що **кількісною** оцінкою вірогідності інформації, яка міститься в прийнятому цифровому сигналі, є ймовірність помилок $P_{\text{пом}}$ (*BER – Bit Error Rate*), яка при нормальному (гаусовському) сумарному шумі пов'язана з захищеністю A_3 інтегралом ймовірності за зворотною функцією помилок *erfc*(x). Так, при прийнятті рішення про інформаційні символи за амплітудними складовими сигналу (однопараметрична оцінка), що широко використовується в традиційних системах передачі (ЦСП) – “цифрових” DSU/CSU-модемах, ймовірність помилок слід оцінювати через рівні передачі сигналу за напругою

$$P_{\text{пом}} \equiv \text{BER} = \text{erfc} \left[\text{dec}(0,05 \cdot A_3) / \sqrt{2} \right], \quad (1)$$

де введено наступне позначення $\text{dec}(x) = 10^x$.

При оптимальному прийнятті рішення за енергетичними складовими сигналу (двопараметрична оцінка), що використовується в професійних ППС – “аналогових” DTE/DCE-модемах, ймовірність помилок слід оцінювати через рівні передачі за потужністю корисного сигналу, а саме: за його синфазним (I – *Inphase*) та квадратурним (Q – *Quadrature*) компонентами

$$P_{\text{пом}} \equiv \text{BER} = \text{erfc} \left[\sqrt{\frac{1}{2} \text{dec}(0,01 \cdot A_3)} \right]. \quad (2)$$

Дійсно [16], з рівняння (1) випливає, що для досягнення “оптичної” якості зв'язку $P_{\text{пом}} = 10^{-10}$ при біполярному сигналі типу дворівневий бінарний код свавільного виду (*RZ – Return-to-Zero/NRZ – Non Return-to-Zero*) необхідно забезпечити захищеність цифрового сигналу в DTE/DCE-модемах не менш ніж $A_3^{\text{RZ}}(P_{\text{пом}} = 10^{-10}) \approx 16,2 \text{ dB (дБ)}$. В свою чергу, для “аналогових” DTE/DCE-модемів, що працюють звичайним видом чотирипозиційною фазовою модуляцією типу двократної відносної фазової маніпуляції (*4-PSK – 4 alphabets manipulate Phase-Sift Keying/QPSK – Quadrature Phase-Sift Keying/4-QAM – 4-positional Quadrature Amplitude Modulation/4-CAP – 4-positional Carrierless Amplitude & Phase*) на підставі (2) “оптична” якість зв'язку $P_{\text{пом}} = 10^{-10}$ досягається при захищеності дискретно-аналогового сигналу $A_3^{4\text{-QAM}}(P_{\text{пом}} = 10^{-10}) \approx 16,1 \text{ dB (дБ)}$.

Розрізняють очікувану $P_{\text{пом,оч}}$ (практично реалізовану) та допустиму $P_{\text{пом,доп}}$ (теоретично нормовану) ймовірності помилок, при чому

$$P_{\text{пом,оч}} \leq P_{\text{пом,доп}},$$

яким відповідають однойменні захищеності сигналу [8, 9]

$$A_{3,оч} \geq A_{3,доп}.$$

При цьому очікувана захищеність сигналу для забезпечення нормованої якості цифрового зв'язку в реальних умовах має бути завжди вище допустимої на величину **технологічного запасу** за необхідною заводстійкістю (*NM – Noise Margin*). Стосовно конкретного виду організації xDSL-лінії це складає значення для “цифрового” DSU/CSU-модему [11] порядку

$$\Delta A_{\text{зап}}^{\text{DSU/CSU}} \equiv \text{NM} = A_{3,оч} - A_{3,доп} \equiv (3...6), [\text{дБ (дБ)}] \quad (3)$$

і для “аналогового” DTE/DCE, як більш чутливого устаткування ППС до різного роду дестабілізуючих факторів [12], модему:

$$\Delta A_{\text{зап}}^{\text{DTE/DCE}} \equiv NM = A_{3,0\text{ч}} - A_{3,\text{доп}} \cong (6...15), [\text{дБ}(\text{дБ})]. \quad (4)$$

Вказані експлуатаційні вимоги (3) і (4) забезпечували б високу “оптичну” якість зв’язку $P_{\text{пом}} = 10^{-10}$ на допустимому за вірогідністю (*BERT – Bit Error Rate Testing*) рівні роботи пристрою в цілому $A_{3,\text{доп}} (P_{\text{пом,доп}} = 10^{-4}...10^{-7}) \equiv \text{SNR}(\text{BERT} = 10^{-4}...10^{-7})$.

Відзначимо, що очікувана захищеність $A_{3,0\text{ч}}$ під час роботи **одного єдиного** в багатопарному кабелі МТМ найпростішого типу двопровідного модему обмежена тільки рівнем перешкоди луно-сигналу від власного передавача [7]

$$A_{3,0\text{ч}} = P_{\text{пр}} - P_{\text{п}},$$

де $P_{\text{пр}} = P_{\text{пер}} - A_{\text{л}}$ – рівень корисного сигналу на вході вирішального пристрою приймача модему; $A_{\text{л}} = \alpha(f_p) \cdot l_{\text{DSL}}$ – загасання абонентської лінії довжиною l_{DSL} ; $\alpha(f_p)$ – кілометричне загасання кабелю МТМ на розрахунковій частоті f_p , яке обумовлено видом маніпуляції і/чи типом лінійного кодування; $P_{\text{п}} = P_{\text{пер}} - A_{\text{АДС}}$ – рівень перешкоди луно-сигналу, що обумовлений перехідним загасанням адаптивної диференціальної системи (АДС) у напрямку не проходження, яке перевершує значення $A_{\text{АДС}} \geq 50$ дБ й у деяких випадках вноситься в паспортні дані конкретної реалізації дуплексного модему за луно-компенсаційним ECH. Або за часовим TCM розподілом протилежних напрямів передавання верхсхідного (*US – Up Stream*) абонент@станція та внизсхідного (*DS – Down Stream*) станція@абонент високошвидкісних цифрових потоків.

Отже, очікувана захищеність $A_{3,0\text{ч}}$ не залежить від рівня власного передавача, що є в даному випадку основним джерелом перешкоди

$$A_{3,0\text{ч}} = A_{\text{АДС}} - \alpha(f_p) \cdot l_{\text{DSL}}. \quad (5)$$

З іншого боку, $A_{3,0\text{ч}}$ для забезпечення нормованої якості цифрового зв’язку (3) або (4), дорівнює

$$A_{3,0\text{ч}} = A_{3,\text{доп}}(P_{\text{пом}}) + \Delta A_{\text{зап}}. \quad (6)$$

На основі отриманих виразів (5) і (6) визначимо **рівняння довжини** найпростішої цифрової абонентської DSL-лінії за наявності одного єдиного в багатопарному кабелю зв’язку модему

$$l_{\text{DSL}} = \frac{A_{\text{АДС}} - [A_{3,\text{доп}}(P_{\text{пом}}) + \Delta A_{\text{зап}}]}{\alpha(f_p)}. \quad (7)$$

У рівнянні довжини (7) простішої абонентської DSL-лінії розрахункова частота f_p , на якій спостерігається максимум енергетичного спектра цифрового сигналу (*PSD – Power Spectral Density*), визначена методом маніпуляції і/чи типом лінійного кодування, за допомогою якого “звужується” основна займана смуга спектра лінійного сигналу (основна пелюстка PSD).

Дана DSL-технологія – це одна з найперших, що з’явилися наприкінці 80-х років минулого століття, симетричних технологій організації цифрових абонентських ліній [5], що сьогодні успішно забезпечує базовий доступ до цифрової мережі з інтеграцією служб ISDN-BRA (*Integrated Services Digital Network-Base Rate Access*). Інформаційна швидкість базового інтерфейсу ISDN-BRI (*Integrated Services Digital Network-Base Rate Interface*) визначена двома В-каналами переносниками корисної інформації зі швидкістю 64 kbps (кбіт/с) кожний і додатковим D-каналом (*D – Data*) для передачі даних про сигналізацію зі швидкістю до 16 kbps (кбіт/с) за LAP-D протоколами (*Link Access Procedure-D*). Таким чином, сумарна інформаційна швидкість розглянутого U_0 -інтерфейсу з базовим доступом до мережі ISDN, що дорівнює ISDN-BRI

$$B_{\text{ISDN-BRI}} = 2B + D_{16} = 144 [\text{kbps}(\text{кбіт/с})],$$

ще додатково збільшується на величину каналу передачі технічної експлуатації, дистанційного контролю і керування (*OAM – Operations, Administration and Maintenance*) так, що в

лінію транспортується агрегатний цифровий потік, за груповою швидкістю передавання відповідно рівний [6]

$$V_{\text{ПРД}} = V_{\text{ISDN-BRI}} + \text{OAM}_{16} = 160 \text{ kbps}[(\text{кбіт/с})].$$

Для транспортування по існуючих абонентських лініях МТМ більш високошвидкісних цифрових, аж до первинного Е1 (і навіть ще вище nЕ1 понад STM-0/OC-1 чи Ethernet за специфікацією 100/1000 BASE T4) потоків плезіохронних/синхронних ієрархічних рівнів PDH/SDH/SONET (*Plesiochronous/Synchronous Digital Hierarchy/ Synchronous Optocal NETwork*) або для організації первинного доступу до цифрової мережі з інтеграцією служб ISDN-PRA (*Integrated Services Digital Network-Primary Rate Access*) по цифровому каналу європейської/північноамериканської ієрархії H_{12}/H_{11} швидкостей передач використовуються симетричні технології SDSL (*Symmetrical Digital Subscriber Line*), зокрема HDSL-технологія (*High-bit-rate Digital Subscriber Line*). Суть даних щонайвисокошвидкісних технологій [10] полягає в “обміні провідності лінії на її довжину”. Тут за кожною з K -симетричних пар багатопарного кабелю МТМ чи “витих пар” (TP – *Twisted Pair*) LAN-кабелю локальних мереж (LAN – *Local Area Network*) ведеться повнодуплексний зв’язок “розщепленого” за швидкістю передачі цифрового потоку $V_{\text{ПРД}}/K$ практично “звуженого” у K -раз за кількістю пар, займаних відповідною системою абонентського доступу. Крім того, провадиться ефективна компенсація луно-сигналу від власних K -передавачів за допомогою так званого перемережованого луно-компенсатора з репрограмувальною розподіленою RAM-пам’яттю (RAM – *Random Access Memory*) на “переглядних” таблицях [5, 6], що самонавчаються. Реалізована таким способом АДС, має істотно завищене перехідне загасання в напрямку не пропускання, нижня межа якого може перевищувати навіть значення в $A_{\text{АДС}} = 70 \text{ dB (дБ)}$. При цьому відзначимо, що збільшення K -парності використовуваної лінії зв’язку зменшує у відповідну кількість раз інформаційну швидкість передачі даних за кожною парою $V_{\text{Інф}}$ і, як внаслідок цього, розрахункову частоту f_p , організованої таким засобом $2 \times K$ -провідної абонентської xDSL-лінії

$$V_{\text{Інф}} = V_{\text{ПРД}} \cdot \frac{1}{K}. \quad (8)$$

У виразі (8) швидкість агрегатного цифрового потоку, що транспортується в HDSL-лінію

$$V_{\text{ПРД}} = V_{\text{ISDN-PRI}} + \text{OAM}_{8 \times n} > 2,048 \text{ Mbps}[(\text{Мбіт/с})],$$

визначається як провідність зв’язку, міжнародними телекомунікаційними рекомендаціями ІТУ-Т і/чи стандартами ETSI, ANSI, IEEE [20-23] так і безпосередньо фірмами-розробниками апаратури абонентського доступу ($n = 4, 32, 34, 36, 38, \dots$) [14].

Однак, значне підвищення провідності HDSL-лінії до 5×2 (задіяна вся десятка кабелю МТМ) збільшує в порівнянні з чотирипровідною 2×2 системою “пробійну” дальність усього на сотні метрів, що може виявитися економічно не завжди виправданим. Тому більш ніж трипарні 3×2 цифрові HDSL-лінії (причому треті пари досить часто, за відсутності дистанційного живлення, утворені по фантомних ланцюгах) не знайшли широкого поширення на міських мережах для організації “останньої милі” і адміністративно не рекомендовані міжнародними стандартами. Щодо LAN-кабелів стандартів ISO/IEC 11801 [24] і EIA/TIA-568 [25] з різними категоріями Cat. 3, ... Cat. 7 фізичне обмеження провідності обумовлено конструктивністю самого кабелю локальних LAN-мереж, кількість “витих пар” в якому складає усього чотири $4TP$, $K = 4$. Крім того, у рівнянні довжини (7) не враховувалася електромагнітна сумісність EMC (*ElectroMagnetic Compatibility*) паралельно працюючих аналогічних систем, що обумовлена перехідними впливами між парами кабелю – лінійними переходами на ближній кінець NEXT (*Near-End CrossTalk*) A_0 , які у даному випадку є визначальними перешкодами, обмежуючими максимальну дальність зв’язку ($A_0 \equiv \text{NEXT} \ll A_{\text{АДС}}$).

Таким чином, урахування електромагнітної сумісності EMC як між паралельно працюючими аналогічними за схемами організації повнодуплексного зв’язку xDSL-системами, так

і за провідністю самої досліджуваної системи дозволяє остаточно уточнити рівняння довжини у такому вигляді

$$l_{\text{xDSL}} = \frac{A_0(f_p) - [A_{\text{з,доп}}(P_{\text{пом}}) + \Delta A_{\text{зап}}] - 10 \lg(N + K - 1)}{\alpha(f_p)}. \quad (9)$$

В узагальненому рівнянні довжини (9) довільною за технологією xDSL-лінії N – кількість пар у багатопарному кабелі, ущільнених паралельно працюючими однотипними цифровими системами абонентського доступу на основі як “цифрового” DSU/CSU, так і “аналогового” DTE/DCE повнодуплексних модемів щодо організації високошвидкісного цифрового зв’язку.

Слід вважати, що ймовірно реальна практична цінність від отриманого узагальненого рівняння довжини (9) може бути досягнута на знову споруджуваних кабельних лініях зв’язку або на ділянках магістральних і/чи зонових мереж, з’єднувальних лініях MTM, де гарантовані основні параметри багатопарних/багаточетвіркових кабелів зв’язку. На абонентській же ділянці MTM, де прокладені різнотипні види досить давно існуючих телефонних кабелів, що успішно експлуатуються, але з уже не гарантованими навіть первинними параметрами, має сенс оцінювати не довжину, а загальну величину запасу $\Delta A_{\text{зап}}$ за очікуваною захищеністю NM зв’язку.

3. Оцінка завадостійкості xDSL-лінії

Забезпечення допустимо нормованого за припустимою імовірністю помилок $P_{\text{пом,доп}}$ якості цифрового зв’язку при організації високошвидкісних цифрових абонентських xDSL-ліній провадиться за оцінкою технологічного запасу $\Delta A_{\text{зап}}$ за очікуваною завадостійкістю NM [11, 12] конкретного типу “цифрового” DSU/CSU – чи “аналогового” DTE/DCE-модему відповідно до узагальненого виразу (10)

$$\begin{aligned} \Delta A_{\text{зап}} &= A_0(f_p) - A_{\text{л}}(f_p) - [A_{\text{з,доп}}(P_{\text{пом,доп}}) + 10 \lg(N + K - 1)] = \\ &= NM = \text{NEXT} - \alpha(f) \cdot l_{\text{xDSL}} - [\text{SNR}(\text{BERT}) + 10 \lg(N + K - 1)]. \end{aligned} \quad (10)$$

Тут перехідне загасання міських кабелів зв’язку на ближній кінець $A_0(f_p) \equiv \text{NEXT}$ на розрахунковій частоті f_p може бути знайдене як нижня межа з наступної апроксимаційної залежності [8, 22]

$$A_0(f_p) = 69,5 - 10 \lg \frac{f_p}{f_0 = 1020 \text{ Hz (Гц)}}, [\text{дБ (дБ)}];$$

{**примітка 1:** дане положення впливає з технологічного процесу самого виробництва, монтажу за принципом “холодної” скрутки та старіння існуючих багатопарних міських кабелів зв’язку, а саме: 90 % усіх комбінацій пар кабелю повинні мати перехідне загасання на ближній кінець NEXT не гірше 69,5 дБ (дБ) у тональному діапазоні частот за раніше існуючими $f_0 = 800 \text{ Hz (Гц)}$ і дійсними $f_0 = 1020 \text{ Hz (Гц)}$ сучасними нормами}, $A_{\text{л}}(f_p)$ – загасання абонентської xDSL-лінії зв’язку на розрахунковій частоті f_p довжиною l_{xDSL}

$$A_{\text{л}} = \alpha(f_p) \cdot l_{\text{xDSL}}, [\text{дБ (дБ)}],$$

в якому кілометричне загасання кабелю $\alpha(f_p)$, верхня межа якого в практичних умовах наявності паспортних даних тільки на тональній частоті $\alpha_{0,8} \equiv \alpha(f_0 = 800 \text{ Hz})$, може бути знайдена з емпіричної формули

$$\alpha(f_p) = \alpha_{0,8} \sqrt{\frac{f_p}{f_0 = 800 \text{ Hz (Гц)}}}, [\text{дБ / км (дБ / км)}];$$

$A_{\text{з,доп}}(P_{\text{пом,доп}})$ – допустима захищеність сигналу для забезпечення необхідного за вірогідністю нормованого рівня ймовірності помилок $P_{\text{пом,доп}}$, що із прийнятною для експлуатації 6% точністю визначена апроксимаційним виразом виду

$$A_{3, \text{доп}}(P_{\text{пом, доп}}) = \frac{A_{3, \text{доп}}(P_{\text{пом}} = 10^{-10})}{2} \{1 + \lg[-\lg(P_{\text{пом, доп}})]\};$$

$A_{3, \text{доп}}(P_{\text{пом}} = 10^{-10})$ – допустима захищеність для досягнення “оптичної” якості зв’язку $P_{\text{пом}} = 10^{-10}$ для “цифрового” (11) DSU/CSU [16, 19]

$$\begin{aligned} \Delta A_{3, \text{доп}}^{\text{DSU/CSU}}(P_{\text{пом}} = 10^{-10}) &= A_3^{\text{RZ}}(P_{\text{пом}} = 10^{-10}) + \Delta \alpha_3 = \\ &= A_3^{\text{RZ}}(P_{\text{пом}} = 10^{-10}) + 20 \lg(L-1) = 16,2 + 20 \lg(L-1) \end{aligned} \quad (11)$$

або для “аналогового” (12) DTE/DCE [16, 19]

$$\begin{aligned} \Delta A_{3, \text{доп}}^{\text{DTE/DCE}}(P_{\text{пом}} = 10^{-10}) &= A_3^{4\text{-QAM}}(P_{\text{пом}} = 10^{-10}) + \Delta \alpha_3 = \\ &= A_3^{4\text{-QAM}}(P_{\text{пом}} = 10^{-10}) + 10 \lg\left(\frac{M-1}{3}\right) = 16,1 + 10 \lg\left(\frac{L^2-1}{3}\right) \end{aligned} \quad (12)$$

модемів розбудови xDSL-ліній; L – число дозволених рівнів цифрового QAM-сигналу; $M = L^2$ – число дозволених точок сигнального сузір’я складного виду M -позиційного амплітудно-фазо-маніпульованого QAM-сигналу.

Розрахункова частота f_p , на якій провадиться оцінка перешкодозахищеності цифрової абонентської xDSL-лінії при використанні “цифрового” DSU/CSU-модему – це $f_p^{\text{DSU/CSU}}$ напівтактова лінійна частота f_T або повністю їй еквівалентна за значенням модуляційна швидкість передачі B_M , [Baud (Бод)], яка чисельно дорівнює

$$B_M \equiv f_T \equiv B_{\text{Инф}} \cdot \frac{n}{m}, [\text{Baud (Бод)}], \quad (13)$$

де n і m – параметри блочного коду загального виду $mBnL$, в якому на m бінарних символів B відводиться n символів L -позиційних.

До таких типових в інфокомунікаціях лінійних/стикувальних/інтерфейсних кодів слід віднести: двійкові [1-5, 22] Manchester, RZ/NRZ, 4B5B/8B10B, CMI, 2-TC PAM; трійкові [1-5, 20] А М І (Ч П І) / Н D В 2 / Н D В 3 (К В Щ О 3) / В 3 Z S / В 6 Z S / В 8 Z S, 3 В 2 Т (SU 32)/4B3Т (MMS 43)/8B6Т; четвіркові [1-5, 21] 2B1Q, 4-TC PAM; п’ятіркові [1-5, 23] 9B4QI, 4D-PAM5/8B1QI4 й інші [1-5, 22] 8/16/32-TC PAM {примітка 2: якщо L дорівнює: 2 позначають символи блочного коду як “B - Binary”; 3 “T - Ternary”; 4 “Q - Quaternary”; 5 “Q_I - Quinary”; 6 “S - Sextenary”; 7 “H - Heptanary”, ...}.

На розрахунковій півтактовій частоті $f_p^{\text{DSU/CSU}} = f_T/2 \equiv B_M/2$ спостерігається максимум енергетичного спектра PSD, то при використанні $2 \times K$ -провідної системи (8), поряд з визначеним видом лінійного кодування (13), за допомогою яких додатково та багатократно “звужується” основний пелюсток PSD, остаточно отримаємо

$$f_p^{\text{DSU/CSU}} = \frac{f_T}{2} \equiv \frac{B_M}{2} = \frac{B_{\text{Инф}}}{2} \cdot \frac{n}{m} = \frac{B_{\text{ПРД}}}{2} \cdot \frac{1}{K} \cdot \frac{n}{m}. \quad (14)$$

Для “аналогового” DTE/DCE-модему розрахункова частота f_p – це $f_p^{\text{DTE/DCE}}$ максимальна частота лінійного сигналу, на якій спостерігається максимальне за значенням кіломертичне загасання $\alpha(f_p^{\text{DTE/DCE}})$ місцевого кабелю МТМ

$$f_p^{\text{DTE/DCE}} = f_{\text{мін}} + \Delta F^{\text{M-QAM}}, \quad (15)$$

де $\Delta F^{\text{M-QAM}}$ – ефективно передана смуга частот M -позиційного QAM-сигналу

$$\begin{aligned} \Delta F^{\text{M-QAM}} &\equiv B_M \cdot (1 + \alpha_N) = \\ &= \frac{B_{\text{Инф}}}{\log_2 M} \cdot (1 + \alpha_N) = \frac{B_{\text{ПРД}}}{\log_2 M} \cdot \frac{1}{K} \cdot (1 + \alpha_N); \end{aligned} \quad (16)$$

α_N – коефіцієнт згладжування імпульсу найквістовської форми ($0 \leq \alpha_N \leq 1$) [4], що у практичних умовах знаходиться в межах $\alpha_N = 0,1 \dots 0,25$; $f_{\min}$ – мінімальна робоча смуга енергетичного спектра PSD, що займана “аналоговим” DTE/DCE-модемом ΔF^{M-QAM} і приділяється з урахуванням передачі тональних мовних сигналів, починаючи від граничних частот, які можуть дорівнювати значенню в зазначених рекомендаціях та стандартах [20–23] межах $\{3,98 \dots 4,0\}$ kHz (кГц).

Зазначимо, що при використанні завадостійкого гратчастого кодування ТС, забезпечується вииграш за позиційністю сигнального сузір’я QAM-сигналу, еквівалентний збільшенню на 1 кількості інформаційних біт, тобто рівняння (16) займаної смуги передачі набуває такого вигляду

$$\Delta F^{M-QAM/TC} \equiv \frac{B_{\text{прд}}}{\log_2 M - 1} \cdot \frac{1}{K} \cdot (1 + \alpha_N). \quad (17)$$

Слід особисто зазначити, що оцінка технологічного запасу $\Delta A_{\text{зап}} \equiv NM$ за виразом (10) отримано з узагальненого рівняння довжини (9) для знову споруджуваних кабельних ліній зв’язку за наявності точних зведень про вторинні параметри $A_0(f_p)$ і $\alpha(f_p)$ на розрахунковій частоті f_p . У відсутності ж точних даних про вторинні параметри кабелів MTM (досить частий випадок, що спостерігається на практиці), а також про реальну довжину абонентської лінії і її тип (можливо навіть складеної і/чи комбінованої ділянки фізичного ланцюга) необхідно проводити вимір перехідного загасання на ближній кінець $A_0(f_p) \equiv \text{NEXT}$ і загасання лінії зв’язку $A_L(f_p) = \alpha(f_p) \cdot l_{\text{xDSL}}$ на розрахунковій частоті f_p конкретного модему, що використовується для організації xDSL-лінії. В свою чергу, розрахункові частоти f_p як для “цифрових” DSU/CSU, так і для “аналогових” DTE/DCE-модемів відповідно до виразів (13)–(17), систематизовані для міжнародних рекомендацій ITU-T і стандартів ETSI/ANSI/IEEE [20–25], а також за корпоративними внутрішніми стандартами деяких компаній, і зведені в табл. 1 і 2.

Таблиця 1

Рекомендація/Стандарт	Серія/Номер	Швидкість агрегатного потоку $V_{\text{прд}}$, кбіт/с	Метод організації 2-х провідного дуплексу	Тип лінійного коду	Швидкість модуляції, кБод	Розрахункова частота, f_p , кГц
ITU-T	I.412 I.430 G.961	160	Луно-компенсаційний ECH	4B3T (MMS 43)	120	60
		160	Луно-компенсаційний ECH	2B1Q	80	40
ETSI	ETR 080 TS 102 080 ETS 303 297	162	Луно-компенсаційний ECH	3B2T (SU 32)	108	54
		320	Часовий TCM	AM1 (ЧП1)	320	160

Таблиця 2

Рекомендація/Стандарт	Серія/Номер	Кількість робочих пар K системи	Швидкість агрегатного потоку $V_{\text{прд}}$, кбіт/с	Швидкість передачі $V_{\text{инф}}$ за кожною парою, кбіт/с	Тип лінійного сигналу/коду	Швидкість модуляції за кожною парою, кБод	Коефіцієнт звуження/згладжування лін. спектра	Розрахункова частота, f_p , кГц
ITU-T	G.991.1 G.991.2	1	2320	2320	2B1Q	1160	2	485,00
					128-CAP/TC	386,667	0,15	448,67
					16-CAP/TC	768 _{макс}	2	384,00 _{макс}
ETSI	TS 101 135 ETR 152 TR 101 830-1	2	2336	1168	2B1Q	584	2	292,00
					64-CAP/TC	233,600	0,15	272,62
					16-CAP/TC	770,667 _{макс}	2	385,33 _{макс}
		3	2352	784	2B1Q	392	2	196,00

4. Висновки

Таким чином, під узагальнюючим критерієм якості QoS цифрового зв'язку в xDSL-лініях розумітимемо запас NM (Noise Margin) за очікуваною у реальних на експлуатації умовах перешкодозахищеністю сигналу $\Delta A_{\text{зап}}$ для конкретного багаторівневого L лінійно-го кодування і/чи багатопозиційного M виду маніпуляції, які використовуються в “цифрових” DSU/CSU або в “аналогових” DTE/DCE модемах, відповідно.

Даний рівень якості стосовно нестационарного направляючого середовища розповсюдження, до якого відносяться фізичні ланцюги кабелів зв'язку МТМ Т_ФМЗК, рекомендується оцінювати суб'єктивними способами [12, 15]. До таких суб'єктивних критеріїв можна віднести, зокрема, експертні оцінки за 5-бальною таблицею усереднених міркувань MOS (Mean Opinion Score), за які приймемо рівень запасу очікуваної завадостійкості

$\Delta A_{\text{зап}}^{\text{DSU/CSU}} \equiv \text{NM}$ (3) “цифрових” DSU/CSU-модемів [12] відповідно до наведеної нижче табл. 3.

Таблиця 3

Критерій MOS якості зв'язку QoS	Запас за очікуваною завадостійкістю NM xDSL-лінії, яка організована "цифровим" DSU/CSU-модемом, дБ	Рівень якості цифрового зв'язку по xDSL-лінії
0	нижче 0	зв'язок несталий
1	0	поганий
2	$0 < \text{NM} \leq 1,5$ (поріг у $\sqrt{2}$ разів за напр.)	незадовільний
3	$1,5 < \text{NM} \leq 3$ (поріг у 2 рази за напр.)	задовільний
4	$3 < \text{NM} \leq 6$ (поріг у 2 рази за потужн.)	добрий
5	вище 6	високий

Таблиця 4

Критерій MOS якості зв'язку QoS	Запас за очікуваною завадостійкістю NM xDSL-лінії, яка організована "цифровим" DSU/CSU-модемом, дБ	Рівень якості цифрового зв'язку по xDSL-лінії
0	0 і нижче	зв'язок несталий
1	$0 < \text{NM} \leq 1,5$ (поріг у $\sqrt{2}$ разів за напр.)	поганий
2	$1,5 < \text{NM} \leq 3$ (поріг у 2 рази за напр.)	незадовільний
3	$3 < \text{NM} \leq 6$ (поріг в 2 рази за потужн.)	задовільний
4	$6 < \text{NM} \leq 15$ (щодо найгірших умов)	добрий
5	вище 15	високий

Стосовно “аналогових” DTE/DCE-модемів, як більш чутливого пристрою ППС до різноманітних дестабілізуючих факторів $\Delta A_{\text{зап}}^{\text{DTE/DCE}} \equiv \text{NM}$ (4), рівні якості QoS можна визначити таблицею MOS [15] на підставі зведеної табл. 4.

Список літератури: 1. Боккер П. ISDN. Цифровая сеть с интеграцией служб: Понятия, методы, системы / Пер. с нем. Э.Б. Ершовой и Э.В. Кордонского. М.: Радио и связь, 1991. 304 с. 2. Боккер П. Передача данных: Техника связи в системах телеобработки данных. Том 1. Основы / Пер. с нем. под ред. Д.Д. Кловского. М.: Связь, 1980. 204 с. 3. Bocker P., Arndt G. ISDN. The Integrated Services Digital Network: Concepts, Methods, Systems. Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo: Springer-Verlag, 1992. 258 p. 4. Bocker P. Datenubertragung: Nachrichtentechnik in Datenfernverarbeitungssystemen. Berlin-Heidelberg-New York: Springer-Verlag, 1976. 5. Deniz D.Z. ISDN and it's Applications to LAN Interconnection. London: McGRAW-HILL Book Company Europe, 1994. 254 p. 6. Durd N. The ISDN Subscriber Loop. London: Chapman and Hall, 1997. 475 p. 7. Гамидов Г.С., Пантелеев В.В., Яценко С.Г. Двухпроводное дуплексное устройство преобразования сигналов УПС-64 с эхокомпенсатором // Электросвязь. 1989. № 1. С. 36-39. 8. Брескин В.А., Пантелеев В.В. Адаптивная регенерация цифровых сигналов в проводных ЦСП для абонентских

линий // Электросвязь. 1994. № 11. С. 12-14. **9. Кирилов В.И., Белко А.И.** Расчет длины регенерационного участка для ЦСП по технологиям HDSL и SDSL // Электросвязь. 2001. № 10. С. 20-23. **10. Мирошников Д.Г.** Новое поколение систем xDSL // Вестник связи. 2001. № 2. С. 30-35. **11. Кочеров А.В., Тарасов А.И.** Эксплуатационная надежность цифровых абонентских линий // Вестник связи. 2005. № 6. С. 70-74. **12. Карпишин В.И., Мышляков С.И., Пантелеев В.В.** Инженерно-эксплуатационные методы расчета предельных длин симметричных цифровых абонентских линий по xDSL-технологиям для существующих кабелей связи ГТС // Вісник УНДІЗ. 2006. № 1. С. 12-21. **13. Пантелеев В.В.** Предельная пропускная способность двухпроводных дуплексных систем связи // 36. наук. праць інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. 2006. Вип. 36. С. 157-160. **14. Серых С.А., Соловьев В.Р.** Технология xDSL в Украине - решение проблемы медных жил // Зв'язок. 2001. № 3. С. 18-21. **15. Курицын Е.М., Пантелеев В.В.** Сценарии организации цифровых трактов для ВЧ-связи по высоковольтным линиям электропередачи // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. Одесса: Изд. «Нептун-Технологии», 2007. № 1(67). С. 3-12. **16. Thomas C.M., Weidner M.Y., Durrani S.H.** Digital amplitude-phase keying with M-ary alphabets // IEEE Trans. Commun. 1974. Vol. COM-22, No. 2. P. 168-180. **17. Ghamberlin J.W., Hester C.E., Meyers J.J., et al.** Design and field test of a 256-QAM DIV modem // IEEE Journal on Selected Areas in Commun., 1987. Vol. SAC-5, No. 3. P. 349-356. **18. Panteleev V.V.** Estimation's method at most attainable of lengths a symmetrical digital subscriber line on xDSL-technologies: engineering-maintenance of the calculation // Inter. Conf. "Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science". Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic. 2006. Vol. TCSET'2004. P. 365-369. **19. Panteleev V.V., Tarasov N.I.** At most attainable of lengths a symmetrical digital subscriber line on xDSL-technologies: engineering-maintenance methods of the calculation // Proc. of IEEE "East-West Design & Test Workshop". 2009. Vol. EWDTW'09. Moscow: Publishing IEEE, Inc., P. 234-240. **20. ITU-T Recommendations** <http://www.itu.int/rec/T-REC/en> G.233, G.Sup.28, G.703, G.707, G.961-G.963, G.991-G.993, I.412, I.430, I.431. **21. ETSI Standards** <http://pda.etsi.org/pda/queryform.asp>: TS 101 012, TS 101 135, TS 101 524, TS 101 270, TS 102 080, TR 101 830, ETR 080, ETR 152, ETS 303 297. **22. ANSI/ATIS (T1) Standards** <http://www.atis.org>: T1.413-1998, T1.417-T1.424; T1.TR.28-1994, T1.TR.59-1999; T1.TRQ.06-2001. **23. IEEE 802™ Standards** <http://standards.ieee.org/getieee802/802.3.html>: IEEE 802.3-2008, IEEE 802.3at-2009, IEEE 802.3av-2009, IEEE 802.3bc-2009. **24. Standards ISO/IEC** <http://webstore.ansi.org>: ISO/IEC 11801:2002, ISO/IEC 14763-3:2006. **25. Standards TIA** <http://www.tiaonline.org>: EIA/TIA-568-A/B/C.

Надійшла до редколегії 17.07.2010

Пантелєєв Віктор Володимирович, канд. техн. наук, доцент, директор ТОВ «ТЕЛНЕТ» з інфокомунікацій <http://www.uptel.net>. Наукові інтереси: оптимальний прийом складних сигналів, що транспортуються по нестационарним середовищам. Адрес: Україна, 65020, Одеса, вул. Розкидайлівська, 18, офіс 55, тел. (+38048) 730-99-99, 730-91-81, факс: (+38048) 730-91-11, 730-91-20, e-mail: pvv@odtel.net; <http://www.wi-max.net.ua>.

Тарасов Микола Іванович, канд. техн. наук, вед. наук. співроб. відділу ЦСП ДП «ОНДІЗ». Наукові інтереси: високошвидкісні цифрові абонентські лінії xDSL. Адрес: Україна, 65026, Одеса, вул. Буніна, 23, тел. (+380 48) 722-63-97, 722-19-71, факс: (+380 48) 722-20-74, 730-63-78, e-mail: tarasov@oniis.org.ua; <http://www.oniis.org.ua/oniis>.

Вакарюк Олександр Іванович, нач. комерційного відділу ТОВ «ТЕЛНЕТ» <http://www.uptel.net>. Наукові інтереси: якість обслуговування QoS та якість сприймання абонентом QoE. Адрес: Україна, 65020, Одеса, вул. Розкидайлівська, 18, офіс 54, тел. (+380 48) 730-99-99, 730-91-04, факс: (+380 48) 730-91-11, 730-91-20, e-mail: cavedog@uptel.net; <http://www.wi-max.net.ua>.