

КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ТА КОМПОНЕНТИ

УДК 681.3.05

А. М. Петух, В. П. Майданюк, О. О. Ліщук

АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ УЩІЛЬНЕННЯ ДАНИХ ТА ЇХ ПРОГРАМНИХ РЕАЛІЗАЦІЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. У статті розглянуто статистичні, словникові і арифметичні алгоритми ущільнення даних. З статистичних було виділено три основних класи: неадаптивні, напівадаптивні і адаптивні. Зі словникових виділено два основних алгоритма: LZ77 та LZ78, покращення яких породило багато нових методів. Проведено їх порівняльний аналіз, розглянута технічна сторона, принципи роботи та приведені приклади роботи розглянутих алгоритмів. Наведено список основних прикладних програм та розширень файлів які ефективно застосовують алгоритми ущільнення даних. Проаналізовано які алгоритми вони використовують та у якій сфері. Проведено аналіз та наведені основні методи вбудованих класів для стиснення даних.

Ключові слова: кодування, ущільнення.

Аннотация. В статье рассмотрены статистические, словарные и арифметични алгоритмы сжатия данных. С статистических было выделено три основных класса: неадаптивные, полуадаптивные и адаптивные. Из словарных выделено два основных алгоритма: LZ77 и LZ78, улучшение которых породило много новых методов. Проведен их сравнительный анализ, рассмотрена техническая сторона, принципы работы и приведены примеры работы рассмотренных алгоритмов. Приведен список основных приложений и расширений файлов эффективно применяющих алгоритмы сжатия данных. Проанализированы какие алгоритмы они используют и в какой сфере. Проведен анализ и приведены основные методы встроены классов для сжатия данных.

Ключевые слова: кодирование, сжатие.

Abstract. In the article analyzed statistics, dictionary and data compaction algorithms arefmetychni. From the statistics were three main classes: neadaptivni, napivadaptyvni and adaptive. With the dictionary highlighted two main algorithm: LZ77 and LZ78, which has generated much improved new methods. A comparative analysis reviewed the technical side, principles of operation and given examples of the considered algorithms. Are the main applications and file extensions that effectively seals algorithms used data. The analysis algorithms they use and in what area. The analysis and are the main methods vbudovananyh classes for data compression.

Keywords: encoding, compression.

Вступ

Ефективне кодування повідомлень для передачі їх по дискретному каналу без завад ґрунтується на теоремі Шеннона, яку можна сформулювати так [1]:

- повідомлення джерела з ентропією $H(z)$ завжди можна закодувати послідовностями символів з об'ємом алфавіту m так, що середнє число символів на знак повідомлення l_{cp} буде як завгодно близьким

до величини $\frac{H(z)}{\log m}$, але не менше за неї. При $m=2$, $l_{cp} \geq H(z)$.

Теорема не вказує конкретного способу кодування, але з неї видно, що кожний символ кодової комбінації повинен нести максимальну інформацію, тобто кожний символ повинен приймати значення або 0, або 1 по можливості з рівними ймовірностями і кожний вибір повинен бути незалежним від значення попередніх символів.

Ця робота ініціювала багато наукових досліджень по всьому світу, що тривають донині, поклавши початок розвитку методів обробки, передачі та зберігання інформації.

Теорія економного або оптимального кодування (optimal coding) об'єднує в собі декілька різних напрямів. В рамках даної теорії методи прийнято розділяти на методи економного кодування інформації без втрат (lossless) і методи економного кодування інформації з втратами (lossy) [2-4]. Як впливає з назв, обробка інформації методами першої групи не веде до інформаційних втрат, тоді як використання методів другої групи пов'язане з такими втратами і зазвичай ці методи застосовуються для ущільнення зображень і аудіо. Розглянемо більш детально методи першої групи, оскільки вони є більш універсальними і застосовуються як самостійно так і як один з етапів ущільнення з втратами інформації.

Актуальність

Подальший розвиток інструментальних і прикладних програмних засобів тісно пов'язаний з питаннями економії пам'яті для їх зберігання і виконання, що робить вкрай актуальною задачу ущільнення даних без втрат.

Мета

Метою роботи є аналіз сучасного стану застосування методів ущільнення даних без втрат інформації в сучасних інформаційних системах.

Задачі

1. Класифікація методів ущільнення даних без втрат.
2. Аналіз пакетів прикладних програм та форматів файлів для ущільнення даних.
3. Вбудовані методи ущільнення інформації у мовах програмування.

А. М. Петух, В. П. Майданюк, О. О. Ліщук, 2016

4. Визначення напрямків розвитку ущільнення даних.

Класифікація методів ущільнення даних без втрат

Серед алгоритмів ущільнення без втрат дві схеми ущільнення - кодування Хаффмана (Huffman) і LZW-кодування (за початковими літерами прізвищ Лемпел (Lempel) і Зів (Ziv) (його авторів) і Уелч (Welch), який його суттєво модифікував), формують основу для багатьох систем ущільнення [2-5]. Ці схеми подають два різних підходи до ущільнення даних. Окремий клас утворюють методи, які відомі як арифметичне кодування. Таким чином алгоритми ущільнення даних без втрат можна розділити на такі групи (рис. 1):

- статистичні методи ущільнення;
- словникові (евристичні) методи ущільнення;
- арифметичне кодування.

Статистичні алгоритми (Шеннона-Фано, Хаффмана, кодування за ступенем новизни, імовірнісне ущільнення та ін.) потребують знання ймовірностей появи символів в повідомленні, оцінкою якої є частота появи символів у вхідних даних [4]. Як правило, ці ймовірності невідомі. З урахуванням цього статистичні алгоритми можна поділити на три класи.

1. Неадаптивні - використовують фіксовані, завчасно задані ймовірності символів. Таблиця ймовірностей символів не передається разом з файлом, оскільки вона відома завчасно. Недолік: невеликий перелік файлів, для яких досягається прийнятний коефіцієнт ущільнення.

2. Напіваадаптивні - для кожного файла будується таблиця частот символів і за її допомогою ущільнюють файл. Разом з ущільненим файлом передається таблиця символів. Такі алгоритми досить непогано ущільнюють більшість файлів, але необхідна додаткова передача таблиці частот символів, а також два проходи початкового файлу для виконання кодування.

3. Адаптивні - починають працювати з фіксованою початковою таблицею частот символів (зазвичай всі символи спочатку рівноймовірні) і в процесі роботи ця таблиця змінюється в залежності від символів, що зустрічаються у файлі. Переваги: однопрохідність алгоритму, не потребує передачі таблиці частот символів, достатньо ефективно стискає широкий клас файлів.

Евристичні (словникові) алгоритми ущільнення (типу LZ77, LZ78), як правило, шукають в файлі рядки, що повторюються, і будують словник фраз, що вже зустрічались. Зазвичай такі алгоритми мають цілий ряд специфічних параметрів (розмір буфера, максимальна довжина фрази і т.п.), підбір яких залежить від досвіду автора роботи, і ці параметри добираються таким чином, щоб досягти оптимального співвідношення часу роботи алгоритму, коефіцієнта ущільнення та переліку файлів, що добре стискаються [2].

Арифметичне кодування, подібно до статистичних методів, використовує як основу технології ущільнення, імовірність появи символу у файлі, однак сам процес арифметичного кодування має принципові відмінності. У результаті арифметичного кодування символівна послідовність (рядок) замінюється дійсним числом більше нуля і менше одиниці [4].



Рисунок 1 – Основні методи ущільнення даних

З появою методу арифметичного кодування проблема генерації коду була фактично вирішена. З тих пір основна увага стала приділятися питанням, пов'язаним з моделюванням. Нові підходи опираються на парадигму ущільнення за допомогою універсального моделювання і кодування (*universal modelling and coding*), запропоновану Ріссаненом і Ленгдоном (Langdon) в 1981 р. [2,4]. Відповідно до даної концепції процес ущільнення складається з двох самостійних частин:

- моделювання;
- кодування.

Під моделюванням розуміється побудова моделі інформаційного джерела, що породжує дані, які ущільнюються, а під кодуванням – відображення оброблюваних даних в стислу форму подання на підставі результатів моделювання (рис. 2).

"Кодувальник" створює вихідний потік, що є компактною формою подання оброблюваної послідовності, на підставі інформації, що подається йому "моделювальником".

Слід відзначити, що поняття "кодування" часто використовують в широкому сенсі для позначення всього процесу ущільнення, тобто включаючи моделювання в даному нами означенні. Таким чином, необхідно розрізнити поняття кодування в широкому сенсі (весь процес) і у вузькому (генерація потоку кодів на підставі інформації моделі). Поняття "статистичне кодування" також використовується, часто з сумнівною коректністю, для позначення того або іншого рівня кодування. Щоб уникнути плутанини ряд авторів застосовує термін "ентропійне кодування" для кодування у вузькому сенсі. Це найменування далеко від досконалості і зустрічає цілком обґрунтовану критику. Далі в цьому розділі процес кодування в широкому сенсі іменуватимемо "кодуванням", а у вузькому сенсі - "статистичним кодуванням" або "власне кодуванням".

Оцінювання ймовірності символів при моделюванні проводиться на підставі відомої статистики і можливо, апріорних припущень, тому часто говорять про завдання статистичного моделювання.

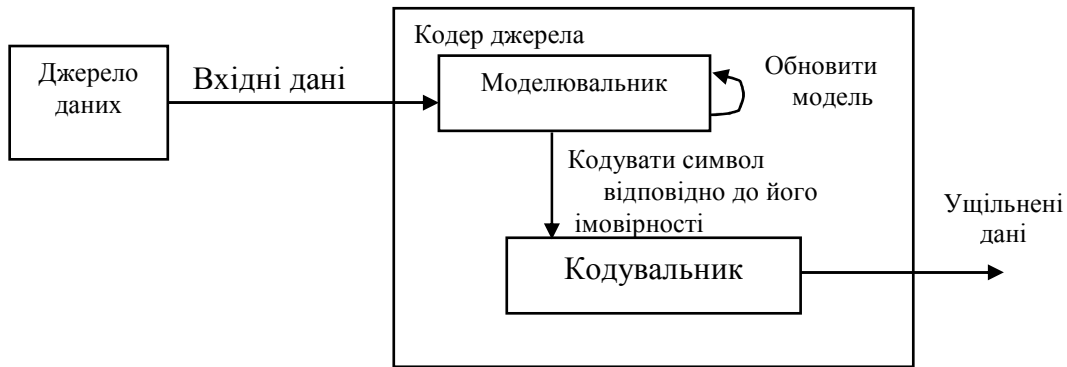


Рисунок 2 – Нова схема ущільнення даних

Можна сказати, що моделювальник передбачає імовірність появи кожного символу в кожній позиції вхідного рядка, звідси ще одне найменування цього компонента - "передбачувач" або "предиктор" (від predictor). Чим точніша оцінка імовірності появи символів, тим більше коди відповідають оптимальним, тим краще ущільнення. На етапі статистичного кодування виконується заміщення символу s_i з оцінкою вірогідності появи $p(s_i)$ кодом завдовжки $-\log_2 p(s_i)$ біт.

Виділяють 4 варіанти моделювання: 1) статичне; 2) напіваадаптивне; 3) адаптивне (динамічне); 4) блоково-адаптивне.

При статичному моделюванні для будь-яких даних, що обробляються, використовується одна і та ж модель. Опис моделі зберігається в структурах кодера і декодера. Недоліком такого підходу є погане ущільнення або навіть збільшення даних, що не відповідають заданій моделі.

Найбільш простий спосіб оцінювання імовірностей реалізується за допомогою напіваадаптивного моделювання і полягає в попередньому підрахунку частот появ символів в блоці даних, що ущільнюється.

При адаптивному моделюванні у міру кодування модель змінюється за заданим алгоритмом після ущільнення кожного символу. Однозначність декодування досягається тим, що спочатку кодер і декодер мають ідентичну і звичайно дуже просту модель, модифікація якої при кодуванні і декодуванні виконується однаковою чином. Коефіцієнти ущільнення при адаптивному моделюванні можуть навіть досягати значень близьких до напіваадаптивного.

Блоково-адаптивне моделювання є окремим випадком адаптивної стратегії. В цьому випадку модель обновлюється не після обробки кожного символу, а після обробки блока символів. Довжина блока може змінюватись в процесі кодування.

Аналіз розповсюджених типів даних виявляє сильну залежність ймовірності появи символів від попередніх символів у повідомленні, тобто більшість джерел повідомлень є джерелами з пам'яттю. Наприклад, для більшості європейських мов врахування безумовної імовірності символів дозволяє зменшити середню довжину коду до 4,5 біта на символ, а при використанні інформації про один попередній символ до 3,6 біта на символ. Врахування інформації про два попередні символи зменшує середню довжину коду до 3,2 біта на символ. Покращення ущільнення при врахуванні попередніх символів відзначається і для інших типів даних: об'єктних файлів, зображень, аудіоданих.

Моделювання, яке дає оцінку імовірності появи символу в залежності від попередніх, або контексту, називається контекстним моделюванням. Контекстне моделювання практично завжди застосовується як адаптивне.

Контекст в широкому смислі – це сукупність символів, що оточують поточний символ. Розрізняють також лівосторонні і правосторонні контексти, тобто послідовності символів, що примикають до поточного символу зліва і справа, відповідно. При контекстному моделюванні під контекстом розуміють саме лівосторонній контекст, оскільки контекстне моделювання практично завжди застосовується як адаптивне.

Якщо довжина контексту обмежена, то такий підхід називається контекстним моделюванням обмеженого порядку (finite context modeling), при цьому під порядком розуміється максимальна довжина N контекстів, що використовуються.

Найбільш широке застосування отримала техніка контекстного моделювання PPM (Prediction by Partial Matching) – передбачення за частковим збігом та її модифікації. PPM забезпечує ущільнення в 3-4 рази для текстів і в 2-3 рази для об'єктних файлів при прийнятних обчислювальних затратах. Серед інших методів контекстного моделювання в широкому сенсі можна відзначити такі:

- моделі станів (використовується при динамічному марковському ущільненні – Dinamic Markov Compression або DMC);
- граматичні моделі (використовуються в алгоритмі SEQUITUR);

- моделі з використанням штучних нейронних мереж для побудови передбачувача [2].

В світлі концепції універсального моделювання і кодування заслуговують на увагу методи ущільнення без втрат на основі перетворень. Мета використання перетворень в ущільненні даних - перетворення потоку вхідних подій до вигляду, що дозволяє використовувати простіші і ефективніші моделі. Фактично вони перетворюють одні види надмірності в інші, простіше модельовані. Тобто, перетворення дозволяє подавати оброблювану інформацію в особливій формі, ідеально відповідній для подальшого ефективного кодування. Незвичність підходу полягає в наявності фактично двох етапів моделювання: перший етап - це робота перетворення, направлена на отримання «зручного» інформаційного подання, а другий - побудова допоміжної моделі, на основі якої буде закодовано дане подання.

До таких перетворень відносять перетворення MTF та перетворення BWT (Burrows-Wheeler Transform) [6-7]. Однак якщо MTF давно використовується при ущільненні як перетворення, так і самостійний метод ущільнення, то по-перше перетворення BWT може використовуватись тільки як перетворення, а по-друге за рахунок використання перетворення BWT сумісно з MTF можна досягнути значних коефіцієнтів ущільнення. Перетворення BWT застосовується для перетворення ланцюжкової надмірності в надмірність повторення подій [6]. Спочатку вхідний потік подій циклічно зсувається на одну позицію і записується під початковим вхідним потоком стільки раз, скільки подій у вхідному потоці. Отримана квадратна матриця сортується по рядках зліва направо. Доведено, що для відновлення початкового потоку подій достатньо останнього стовпця матриці (так званого префіксного стовпця) і номера рядка початкового потоку подій після сортування. Префіксний стовпець має велику надмірність повторення подій і локальну надмірність розподілу ймовірності.

Існують швидкі і ефективні реалізації даного перетворення, що не вимагають повної побудови квадратної матриці в пам'яті (що привело б до високих вимог до використовуваної пам'яті).

Вихідний потік перетворення BWT, як правило, або кодується за методом RLE, або додатково перетворюється за методом MTF і далі кодується або префіксним, або арифметичним кодером. Перетворення BWT використовується для ущільнення текстової і графічної інформації.

Пакети прикладних програм та формати файлів для ущільнення даних

7-Zip — популярний, безкоштовний файловий архіватор з високим ступенем ущільнення.

Основні переваги формату 7z: 1) відкрита архітектура; 2) високий коефіцієнт ущільнення; 3) шифрування AES-256; 4) можливість вибору будь-якого методу ущільнення, конверсії і шифрування; 5) підтримка файлів з розміром до 16000000000 GB; 6) підтримка файлів з іменами у форматі юні код; 7) сильна компресія; 8) ущільнення заголовків архіву.

7z має відкриту архітектуру, підтримуючи таким чином будь-який інший метод компресії. На даному етапі 7z підтримує методи наведені в табл. 1[8].

Таблиця 1 – Методи які використовує формат 7z

Метод	Опис
LZMA	Покращена і оптимізована версія алгоритму LZ77
LZMA2	Покращена версія LZMA
PPMD	PPMdH Дмитра Шкаріна з невеликими змінами
BCJ	Конвертер для виконуваних файлів 32-bit x86
BCJ2	Конвертер для виконуваних файлів 32-bit x86
BZip2	Стандартний алгоритм BWT
Deflate	Стандартний алгоритм базований на LZ77

ZIP — формат ущільнення та архівації даних. Файл цього формату зазвичай має розширення .zip і зберігає в ущільненому або не ущільненому вигляді один або декілька файлів. Використовує LZW-кодування, яке не вносить спотворень і втрат. Використовується і підтримується усіма сучасними архіваторами.

gzip (скорочення від GNU zip) — утиліта ущільнення і відновлення (декомпресії) файлів, що використовує алгоритм Deflate, який ґрунтується на словниковому алгоритмі ущільнення LZ77. Використовується в основному в UNIX-системах і є стандартом де-факто для ущільнення даних. gzip виконує тільки одну функцію: кодування і декодування одного файлу, він не вміє упаковувати декілька файлів в один архів. При ущільненні до оригінального розширення файлу додається суфікс .gz. Для упаковки кількох файлів зазвичай їх спочатку архівують в один файл утилітою tar, а потім цей файл ущільнюють gzip. Таким чином, ущільнені архіви зазвичай мають подвійне розширення .tar.gz.

Останнім часом gzip активно застосовується для ущільнення веб-контенту, gzip підтримує більшість сучасних браузерів та веб-серверів.

bzip2 — безкоштовна вільна утиліта командного рядка (а також алгоритм) з відкритим початковим кодом для ущільнення даних. bzip2 ущільнює більшість файлів ефективніше, але повільніше, ніж gzip або zip. bzip2 використовує перетворення Барроуза-Вілера (англ. Burrows-Wheeler transform) для

перетворення послідовностей символів, що багато разів чергуються, на рядки однакових символів, потім застосовує перетворення MTF (англ. move-to-front), і в кінці кодування Хаффмана.

Zlib — вільна крос-платформова бібліотека для ущільнення даних. Є узагальненням алгоритму ущільнення Deflate, який використовується компресорі gzip. Перша публічна версія бібліотеки 0.9 була випущена 1 травня 1995 року для використання разом з бібліотекою libpng. Поширюється за ліцензією zlib[9].

zlib є важливим компонентом багатьох програмних платформ, включаючи Linux, Mac OS X та iOS, також використовується в гральних консолях PlayStation 3/4, Wii, Xbox 360. zlib є стандартом де-факто, сотні додатків для *nix операційних систем (наприклад, GNU/Linux) використовують zlib. На інших платформах вона також знаходить застосування. Можна виділити такі області застосування zlib:

- Ядро Linux – реалізація мережевих протоколів із ущільнення, прозоре ущільнення, яке інтегроване у файлові системи, ущільнення завантажувального образу ядра для збереження на дисках (з розпаковкою під час завантаження).
- libpng, реалізація формату зображень PNG, використовує Deflate для потокового ущільнення даних.
- Сучасні HTTP-сервери (nGINX, Apache) використовують zlib для реалізації ущільнення для протоколу HTTP.
- Клієнт і сервер OpenSSH, для опціонального ущільнення, яке підтримується протоколом SSH.
- Бібліотека GnuTLS також може використовувати zlib для ущільнення з'єднань Transport Layer Security.
- Пакет програм IC: Предприятие версій 7.7 і 8 використовує zlib для ущільнення файлів своєї бази даних (при файловому режимі організації даних) і даних у таблицях SQL (при серверній організації даних).

PAQ - серія вільних архіваторів з текстовим інтерфейсом, які спільними зусиллями розробників піднялися на перші місця рейтингів багатьох тестів ущільнення даних, хоча і ціною процесорного часу і обсягу пам'яті. Ущільнення даних опирається на парадигму ущільнення за допомогою універсального моделювання і кодування (*universal modelling and coding*), запропоновану Ріссаненом і Ленгдоном (Langdon), алгоритм ґрунтується на ідеї контекстного моделювання та арифметичному кодуванні.

GIF (Graphics Interchange Format) — 8-бітний растровий графічний формат, що використовує до 256 кольорів із 24-бітного діапазону RGB. Набув широкої популярності у всесвітній павутині завдяки своїй відносній простоті та мобільності. Особливостями формату є підтримка анімації та прозорості. Для ущільнення файлів використовує LZW-компресію.

PNG (Portable Network Graphics) — растровий формат збереження графічної інформації, що використовує ущільнення без втрат. PNG використовує відкритий, не патентований алгоритм ущільнення Deflate, вільні реалізації якого доступні в Інтернет. Цей же алгоритм використовують і багато інших програм компресії даних.

JPEG – стандарт ущільнення та формат збереження фотографічних зображень з втратами інформації, на етапі власне ущільнення використовує кодування довжин серій та Хаффмана, а **JPEG-2000** використовує арифметичне кодування.

MPEG – стандарт ущільнення та формат збереження відео з втратами інформації, MPEG-1 та MPEG-2 на етапі власне ущільнення використовує кодування Хаффмана, а MPEG-4 використовує арифметичне кодування.

Вбудовані методи ущільнення інформації у мовах програмування

Мова програмування C++

C++ не має вбудованих методів ущільнення, але в мережі Інтернет можна знайти багато бібліотек написаних іншими програмістами. Наприклад, **LZMA SDK** від 7-Zip. **LZMA** є основним методом компресії формату 7z, що використовується за замовчуванням. **LZMA** забезпечує високий коефіцієнт ущільнення і добре підходить для ущільнення виконуваних файлів додатків.

Мова програмування Java

Для роботи з архівами в специфікації Java існують два пакети - java.util.zip і java.util.jar відповідно для архівів zip і jar. Різниця форматів jar і zip полягає тільки в розширенні архіву zip. Jar являє собою ZIP-архів, в якому міститься частина програми на мові Java.

Для читання Zip-архівів застосовується клас ZipInputStream. Для запису Zip-файлу застосовується клас ZipOutputStream.

Для кожного запису, який потрібно додати до Zip-файлу, створюється об'єкт ZipEntry. Далі викликається метод putNextEntry класу ZipOutputStream для початку процесу запису нового файлу. Після цього дані самого файлу відправляються у потік ZIP. По завершенні викликається метод closeEntry. Потім всі ці дії виконуються повторно для всіх інших файлів, які потрібно зберегти в ZIP-архіві.

Мова програмування C#

Для ущільнення даних існує клас ZipFile простору імен System.IO.Compression, який надає статичні методи для створення, вилучення і відкриття ZIP-архівів[10].

Клас ZipFile містить методи наведені у табл.2.

Таблиця 2 – Методи класу ZipFile

CreateFromDirectory ()	Створює ZIP архів, що містить файли і каталоги з зазначеного каталогу.
CreateFromDirectory ()	Створює ZIP-архів, що містить файли і каталоги з зазначеного каталогу, використовує зазначений рівень ущільнення і необов'язково включає базовий каталог.
CreateFromDirectory ()	Створює ZIP-архів, що містить файли і каталоги з зазначеного каталогу, використовує зазначений рівень ущільнення і кодування символів для імен записів і необов'язково включає базовий каталог.
ExtractToDirectory ()	Витягує всі файли з вказаного ZIP-архіву в каталог файлової системи.
ExtractToDirectory ()	Витягує всі файли з вказаного ZIP-архіву в каталог файлової системи і використовує зазначене кодування для імен записів.
Open ()	Відкриває ZIP-архів за вказаним шляхом і в заданому режимі.
Open ()	Відкриває ZIP-архів за вказаним шляхом в зазначеному режимі і з використанням зазначеного кодування символів для імен записів.
OpenRead ()	Відкриває для читання ZIP-архів за вказаним шляхом.

Мова програмування Python

Для роботи з zip архівами у python існує стандартний модуль zipfile. Він містить наступні методи:

- ZipFile() – відкриває ZIP-файл для запису зчитування або додавання до існуючого файлу.
- Close() – закриває файл архіву, Close() викликається перед виходом з програми.
- Getinfo() – повертає об'єкт ZipInfo з інформацією про архів.
- Infolist() – повертає список, що містить об'єкт ZipInfo для кожного члена архіву.
- Namelist() – повертає список імен членів архіву.
- Read () – повертає байти файлу в архіві. Архів повинен бути відкритий для читання або запису.
- Write() – запис файлу в архів з використанням заданого типу ущільнення.
- Extract() – розархівує з відкритого архіву файл з заданим іменем.
- Extractall() – розархівує всі файли з відкритого архіву.

Висновки

Аналіз методів ущільнення та їх практичної реалізації показав, що більшість відомих архіваторів комбінують декілька методів для досягнення прийнятної коефіцієнту ущільнення, хоча і ціною процесорного часу і обсягу пам'яті. Але завдяки збільшенню швидкодії комп'ютерів швидкість роботи стає менш критичною.

Найбільш перспективними є підходи, які ґрунтуються на словникових методах ущільнення (LZW, LZMA та інші) та контекстному моделюванні і арифметичному кодуванні (PAQ).

Не слід очікувати появи революційних рішень в області ущільнення даних, зусилля дослідників будуть направлені в основному на більш ретельне дослідження існуючих підходів та їх комбінацій, підвищення коефіцієнту ущільнення буде досягатись за рахунок збільшення обчислювальних витрат та обсягів пам'яті.

Щодо до форматів файлів для збереження ущільнених даних, то тут спостерігається велике різноманіття, тому назріла необхідність розробки міжнародного стандарту для формату такого файлу, хоча де-факто таким є формат файлів ZIP. Наявність такого стандарту є важливою для розробників бібліотек ущільнення даних для різних мов програмування, що в перспективі дозволить різним додаткам безпосередньо маніпулювати ущільненими даними.

Література

1. Claude E. Shannon. The Mathematical Theory of Communication / Claude E. Shannon, Weaver Warren. – University of Illinois Press, Urbana, 1963. – 63с.
2. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. / Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 384 с.
3. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука. / Д. Сэломон – М.: Техносфера, 2004. – 368 с.
4. Кожем'яко В.П. Аналіз та перспективи розвитку кодування зображень / В.П. Кожем'яко, В.П. Майданюк, К.М. Жуков - Вісник ВПІ, 1999, № 3. – 42-48с.
5. Майданюк В. П. Кодування та захист інформації. / В. П. Майданюк - Вінниця: ВНТУ, 2009. - 164 с.
6. Майданюк В. П. Ущільнення даних без втрат на основі перетворень / В. П. Майданюк, Кириченко О. В. – Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2008. - № 2(16) – С. 71-76.
7. Mark Nelson. Data Compression with the Burrows-Wheeler Transform / Mark Nelson – Dr. Dobb's Journal, 1996 – 103с.
8. 7-Zip - потужний архіватор, що підтримує безліч форматів архівів - Режим доступу: <http://7-zip.org.ua/7z.html> – Назва з домашньої сторінки Інтернету.
9. zlib Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії - Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Zlib> – Назва з екрана.
10. MSDN – сайт розробників Microsoft – Режим доступу: [https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/system.io.compression\(v=vs.110\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/system.io.compression(v=vs.110).aspx) – Назва з домашньої сторінки Інтернету.

Відомості про авторів

Петух Анатолій Михайлович – д.т.н., професор кафедри програмного забезпечення ВНТУ.

Майданюк Володимир Павлович — к.т.н., доцент кафедри програмного забезпечення ВНТУ.

Ліщук Олександр Олександрович — магістр з програмного забезпечення систем ВНТУ.

УДК 621.316

О. М. Рейда, А. М. Петух

БАГАТОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА ВІДТВОРЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ СКАНОВАНИХ БАГАТОШАРОВИХ ФОТОГРАФІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Анотація. В роботі проведено аналіз методів відтворення структури об'єктів сканованих матеріалів, побудовано структурну схему багатопроекторної системи і її складових одиниць, розроблено вимірювальний канал. Проведено аналіз геоінформаційних систем формування локальних або розподілених баз даних сканованих багатошарових фотографічних матеріалів з метою підвищення продуктивності робіт по дешифруванню інформації, створення історичних архівів.

Ключові слова: багатопроекторні системи, багатошарові фотографічні матеріали, геоінформаційні системи, канал передачі інформації, системи обробки інформації, системи цифрової обробки інформації, системи цифрового перетворення інформації, цифрова обробка, система з передачею повідомлень, синхронізацію процесів

Аннотация. В работе проведен анализ методов восстановления структуры объектов сканированных материалов, построено структурную схему многопроцессорной системы и ее составных частей, разработан измерительный канал. Проведен анализ геоинформационных систем формирования локальных или распределенных баз данных сканированных многослойных фотографических материалов с целью повышения производительности работ по дешифровке информации, создания исторических архивов.

Ключевые слова: многопроцессорные системы, многослойные фотографические материалы, геоинформационные системы, канал передачи информации, системы обработки информации, системы цифровой обработки информации, системы цифрового преобразования информации, цифровая обработка, система с передачей сообщений, синхронизацию процессов

Abstract. Methods of the recovery of structure objects of the scanned images were analyzed, built a diagram block of a multiprocessor system and components, developed the measuring channel of the recovery system. The analysis of the GIS has been performed, local or distributed database of scanned photographic multilayer materials to improve the performance of work for analysis of images, the create of historical archives was built.

Key words: multiprocessor systems, multilayer photographic materials, geographic information systems, information transmission channel, information processing system, the system of digital information processing, the system of the digital transformation of information, the digital processing system with messaging, synchronization processes.

Вступ

У теперішній час широко використовуються геоінформаційні системи для дистанційного зондування Землі, природних або штучних об'єктів. Методи дистанційного зондування ґрунтуються на реєстрації електромагнітного випромінювання в широкому спектральному діапазоні і наступному їх аналізі. Особливе практичне значення мають методи обробки зображень. Ефективність методів вивчення земної поверхні, поверхні інших планет значною мірою визначається якістю зображень. Підвищення якості таких зображень має велике народногосподарське значення, тому що знижується вартість виконання робіт за рахунок зменшення масштабу зйомки.

На даному етапі розвитку геоінформаційних систем проводиться формування локальних або розподілених баз даних сканованих багатошарових фотографічних матеріалів (БФМ) з метою підвищення продуктивності робіт по дешифруванню інформації, створення історичних архівів і т.п. Однією з основних задач обробки зображень сканованих БФМ є усунення механічних дефектів, зменшення впливу спотворень і шумів, перетворення зображення до виду, зручного для спостереження людиною-оператором.

Особливе практичне значення мають системи автоматичного сканованих матеріалів у режимі реального часу. Такі системи дозволяють проводити відтворення структури об'єктів зображення у процесі їх цифрування. Для зменшення часу обробки використано багатопроекторну систему, що проводить сканування і обробку БФМ.

Актуальність

В процесі обробки цифрованих БФМ виникають проблеми пов'язані із наявністю на зображенні сторонніх об'єктів, що спотворюють структуру зображення і приводять до виникнення помилок визначення форми і типу об'єктів зображення. До об'єктів, що спотворюють структуру зображення, відносяться подряпини емульсійних шарів і підкладки БФМ, дефекти емульсії, що виникають в процесі фотографічної обробки, пил, бруд. Вказані дефекти значно погіршують точність і якість цифрової обробки зображень цифрованих БФМ в автоматичному режимі і в режимі обробки оператором. Для покращення якості і точності обробки зображень цифрованих БФМ у системах обробки перетворювачів, що використовуються у фотограмметричних дослідженнях, необхідно використовувати системи видалення структурних дефектів зображень цифрованих БФМ. Підвищення таких параметрів систем, як точність, якість і швидкодія є, на даному етапі, одними з основними вимог, що стоять перед розробниками цифрування.

Таким чином, актуальність роботи обумовлена практичними потребами промисловості у сполученні з необхідністю розвитку наукових досліджень про функціональні та структурні властивості БФМ, сканованих зображень, систем цифрових перетворювачів і їх окремих елементів, зокрема тим, що це дозволяє значно підвищити якість зображень сканованих БФМ і швидкість обробки у процесі цифрового перетворення аналогових матеріалів.

Мета

Мета роботи полягає у підвищенні точності видалення структурних дефектів із зображення сканованих БФМ, відновлення їх структури з метою підвищення якості дешифрування і підвищення швидкодії технологічного процесу формування баз даних сканованих матеріалів.

Задачі

Досягнення мети вимагало вирішення ряду задач:

- аналіз методів відтворення сканованих зображень з точністю, що не перевищує розмір апертури сканування;
- проведення аналізу структурних властивостей дефектів і методів їх моделювання;
- розробка базового структурного елементу системи для виділення і видалення структурних пошкоджень на зображеннях;
- розробка, структурної схеми багатопроцесорної системи.

Для проведення відновлення структури цифрованих зображень широко використовуються методи цифрового відновлення даних. Принципи, покладені в процеси відновлення, поділяють методи на класифікаційні групи. Дані групи містять методи з подібними принципами обробки даних. Загальна класифікація методів відновлення приведена на рис. 1.

Приведена класифікація поділяє методи відновлення на три основних групи методів, що використовуються при відновленні цифрованих даних. Методи, що відновлюють структуру зображення поділяють за лінійними (алгебраїчними), нелінійними та ітераційними принципами обробки цифрованих даних. Кожна із груп методів має пріоритетне використання при розв'язанні окремих типів задач.

Для обробки цифрованих даних БФМ використовуються оптимальна фільтрація, методи з врахуванням апріорної інформації, ітераційні методи з обмеженням.

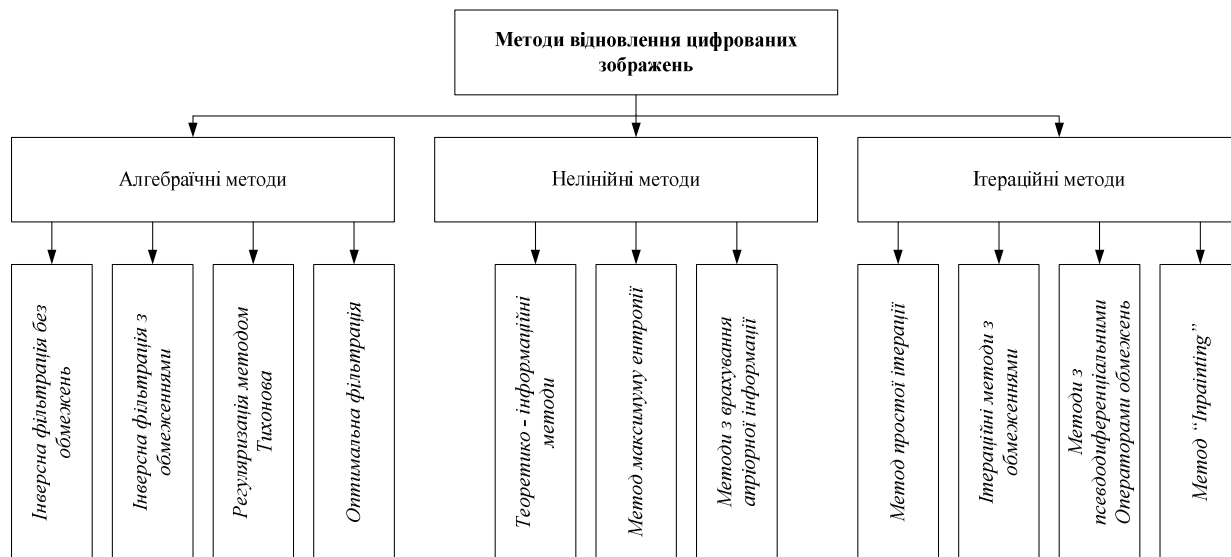


Рисунок 1 – Класифікація методів відновлення сканованих зображень

Для проведення аналізу дефектів БФМ запропонована класифікація дефектів, що дозволяє проводити їх ідентифікацію на структурі зображення цифрованих БФМ. Дана класифікація представлена в табл. 1.

Виділення дефектів сканованого зображення проведено при опроміненні БФМ електромагнітним випромінюванням в інфрачервоному спектрі. Згідно властивостей БФМ, в інфрачервоному спектрі шари неселективні до випромінювання. В результаті опромінення на зображенні проявляються дефекти БФМ і сторонні об'єкти.

Таблиця 1 – Класифікація дефектів БФМ

Принципи класифікації	Найменування класифікаційних груп	Приклади
Різновид дефектів	Механічні пошкодження	Подряпини, перегини, точкові пошкодження
	Пошкодження в процесі хімічної обробки	Залишки проявника або інших сполук
	Сторонні об'єкти, що попадають на БФМ	Пил, бруд, об'єкти системи сканування
Виникнення дефектів	Дефекти природного виникнення	Кільця Ньютона, нерівномірність проявленого емульсійного шару
	Дефекти штучної природи	Подряпини, пил
Абсолютне значення і співвідношення абсолютних розмірів	Компактні (точкові)	Пил, дефекти обробки
	Лінійні (протяжні)	Подряпини емульсійного шару
	Площинні	Дефекти емульсійного шару в наслідок деградації
Склад і призначення	Прості	Пил, подряпини
	Складені	Дефекти емульсійного шару, Кільця Ньютона
Властивість відбивати випромінювання	Малоконтрастні	Кільця Ньютона, малорозмірні подряпини
	Контрастні	Пил, подряпини

У процесі використання багат шарових кольорових матеріалів, їх структура підлягає впливу механічних або хімічних пошкоджень. До таких пошкоджень відносяться:

1. Подряпини емульсійного шару.
2. Перегини в процесі експлуатації.
3. Пошкодження, що утворені в процесі обробки матеріалу.

Пошкодження, що впливають на якість зображення цифрованих БФМ, поділяються на групи, за характером їх утворення:

1. Механічні пошкодження плівки, наприклад: подряпини, перегини, точкові пошкодження,
2. Пошкодження в процесі хімічної обробки, наприклад: залишки проявника або інших сполук, що використовуються при обробці фотоматеріалів.
3. Об'єкти, що потрапляють на фотоматеріал, утворюючи додаткові спотворення, викривлення на структурі сканованого зображення, наприклад: пил, бруд, об'єкти системи сканування.

У відповідності з сенситометричними властивостями БФМ у різних спектральних діапазонах електромагнітного випромінювання запропоновано схему пристрою для цифрування дефектів БФМ. Такий пристрій є системою, що складається із чотирьох основних структурних елементів. Перший елемент представляє собою систему освітлювача, що містить у собі два світлодіодних випромінювача, які опромінюють багат шаровий фотографічний матеріал у видимому і інфрачервоному діапазонах. Другий – система фокусування представляє собою структурну одиницю системи освітлювача, але виділена в окремий компонент системи, так як виконує функції фокусування і направлення електромагнітного випромінювання на багат шарові фотографічні матеріали. У якості приймача використано ПЗЗ лінійний фотоприймач для детектування оптичних густин БФМ у різних спектральних діапазонах електромагнітного випромінювання.

Проведені дослідження показали, що у багатьох випадках зображення, які містять малорозмірні об'єкти, можуть бути приведені до виду, описаному за допомогою адитивної моделі сигналу на фоні однорідного шуму, шляхом вирівнювання фону початкового зображення.

Базовий структурний елемент системи виділення і видалення структурних пошкоджень на зображенні представлено на рис. 2.

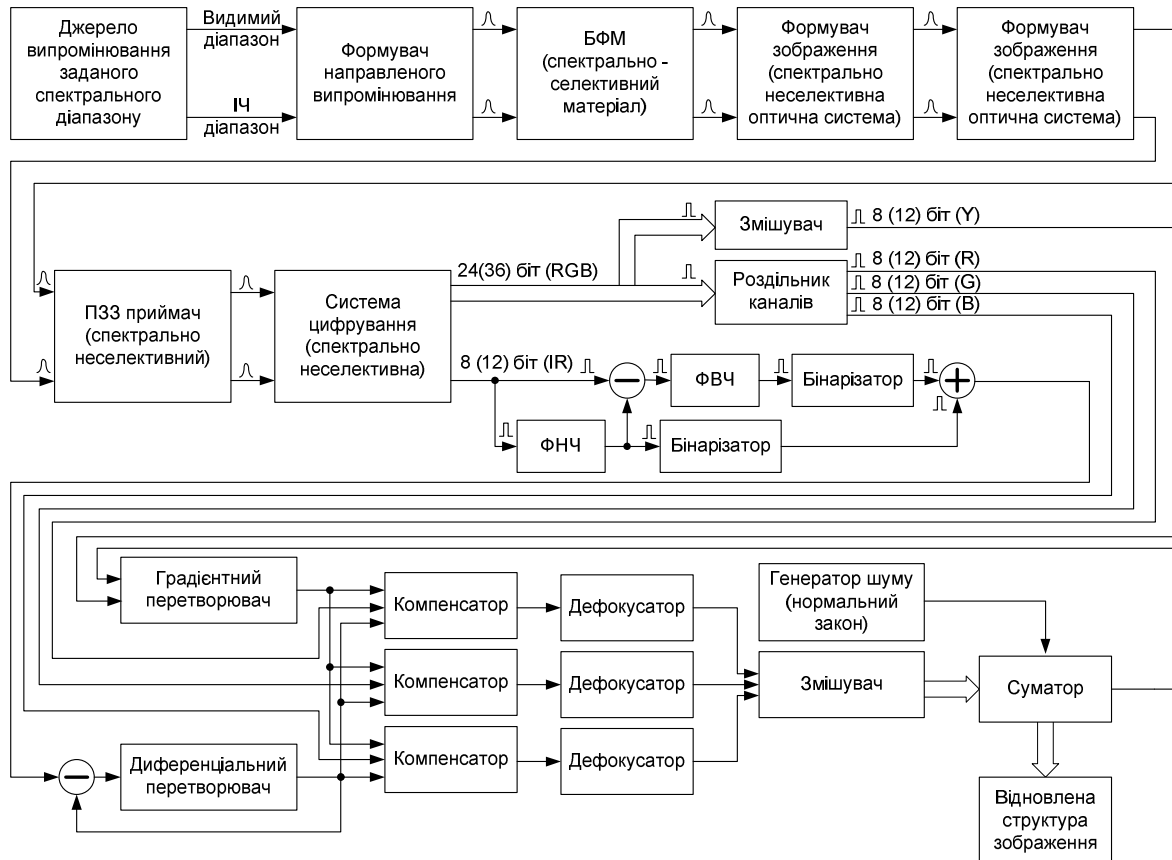


Рисунок 2 – Базовий структурний елемент системи виділення

Багатопроекторна система побудована на основі використання системи посилання повідомлень між процесами і використанням загального сховища даних. Синхронізація даних проводиться за допомогою використання «критичних сесій», що контролюють доступ до сховища даних. Використання повідомлення, що використовуються для взаємодії і контролювання роботи процесів, дозволило підвищити ефективність відновлення структури сканованих БФМ за рахунок паралельної обробки даних.

Висновки

1. Приведено загальну класифікацію методів відновлення цифрованих даних. Методи, що відновлюють структуру зображення поділяють за лінійними, нелінійними та ітераційними принципами обробки цифрованих даних. Кожна із груп методів має пріоритетне використання при розв'язанні окремих типів задач
2. Для проведення аналізу дефектів БФМ запропонована класифікація дефектів, що дозволяє проводити їх ідентифікацію на структурі зображення цифрованих БФМ.
3. Приведено схему базового структурного елементу системи виділення і видалення структурних пошкоджень

Список літератури

1. Інформаційно - вимірювальні системи відновлення структури цифрованих багатошарових фотографічних матеріалів. [Петух А. М., Рейда О. М., Майданюк В. П., Кожем'яко В. П.] — Вінниця : ВНТУ, 2010. — 148 с.
2. Бьмон Ж. Итерационные методы улучшения изображений / Бьмон Ж., Лагендейк Л., Мерсеро Р.М. ТИИЭР.-1990.-№5.
3. Даджион Д. Цифровая обработка многомерных сигналов / Даджион Д., Мерсеро Р. - М.: Мир, 1988.

4. Кожем'яко В. П. Аналіз методики реставрації зображень «Inpainting» / Кожем'яко В. П., Рейда О. М., Мутасім Абу – Шабан. ; Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології – 2002. – No1(3). – С. 63 – 68.
5. Майданюк В.П. Методи і засоби комп'ютерних інформаційних технологій. Кодування зображень. – Вінниця, ВДТУ, 2001. – 63с.

Відомості про авторів

Рейда Олександр Миколайович – к.т.н, доц. кафедри програмного забезпечення.

Петух Анатолій Михайлович – д.т.н., професор, зав. кафедри програмного забезпечення.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 681.3:658.56

О. Д. Азаров, Л. В. Крупельницький, О. І. Черняк, В. В. Залізецький

СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОЇ КОЛЕКТИВНОЇ САМОПІДГОТОВКИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. В умовах широкого розповсюдження Web-технологій актуальною стає потреба використання їх в освіті як для покращення методів та технологій навчання, так і для підвищення його ефективності. З цією метою за останні кілька років з'явилося багато систем масових відкритих онлайн курсів. Проте, їх недоліком є наявність певного психологічного бар'єру між етапом навчання і етапом тестування. У даній статті пропонується система дистанційної колективної самопідготовки, що дозволяє особам, які вивчають дистанційний курс обмінюватись інформацією як з викладачем, так і між собою. Такий підхід дозволяє значно інтенсифікувати процес навчання за рахунок того, що студенти які вивчають матеріал курсу, можуть не тільки задавати питання своїм колегам, але й бути в ролі консультантів. Це дозволяє значно розвантажити роботу викладача. Даний підхід не вимагає великих фінансових витрат на організацію навчального процесу і може здійснюватися на безкоштовній основі. Використання системи колективної самопідготовки дозволить, краще підготуватись до тестування, перевірити свої сили і власне подолати розрив між вивченням і атестацією з певної дисципліни.

Ключові слова: дистанційна освіта, WEB-технології, колективна самопідготовка.

Анотация: В условиях широкого распространения Web-технологий актуальной становится необходимость использования их в образовании как для улучшения методов и технологии обучения, так и для повышения его эффективности. С этой целью за последние несколько лет появилось много систем массовых открытых онлайн курсов. Однако их недостатком является наличие определенного психологического барьера между этапом обучения и этапом тестирования. В данной статье предлагается система дистанционной коллективной самоподготовки, что позволяет лицам, которые изучают дистанционный курс обмениваться информацией как с преподавателем, так и между собой. Такой подход позволяет значительно интенсифицировать процесс обучения за счет того, что студенты изучающие материал курса, могут не только задавать вопросы своим коллегам, но и быть в роли консультантов. Это позволяет значительно разгрузить работу преподавателя. Данный подход не требует больших финансовых затрат на организацию учебного процесса и может осуществляться на бесплатной основе. Использование системы коллективной самоподготовки позволит лучше подготовиться к тестированию, проверить свои силы и собственно преодолеть разрыв между изучением и аттестацией по конкретной дисциплине.

Ключевые слова: дистанционное образование, WEB-технологии, коллективная самоподготовка.

Abstract. The wide adoption of Web technologies, it becomes urgent need of their use in education as to improve methods and techniques of teaching and improve its effectiveness. With this purpose, over the last few years there have been many systems of massive open online courses. However, their disadvantage is the presence of a certain psychological barrier between the training stage and testing stage. In this paper we present a system for remote collective self-paced, allowing individuals who study an online course to share information with the teacher and with each other. This approach allows significantly intensify the process of learning due to the fact that students learn the course material, you can not only ask questions to your colleagues, but also to be in the role of consultants. It allows considerably simplifying the work of the teacher. This approach does not require large financial costs for the organization of the educational process and can be done on a free basis. The use of the system of collective self-training will better prepare you to test, to test their strength and to bridge the gap between learning and certification in the discipline.

Keywords: remote education, WEB-technology, remote self-preparation

Вступ

В умовах широкого розповсюдження Web-технологій актуальною стає потреба використання їх в освіті як для покращення методів та технологій навчання, так і для підвищення його ефективності [1-5]. З цією метою за останні кілька років з'явилося багато систем масових відкритих онлайн курсів (MOOC - Massive open online course), серед яких найбільшими є Coursera, edX та інші [7-10]. Поява таких систем є якісно новим етапом переходу до більш сучасних підходів в освіті з використанням мережі Інтернет.

Проте, їх недоліком є наявність певного психологічного бар'єру між етапом навчання і етапом тестування.

У даній статті пропонується система дистанційної колективної самопідготовки, що дозволяє особам, які вивчають дистанційний курс обмінюватись інформацією як з викладачем, так і між собою. Такий підхід дозволяє значно інтенсифікувати процес навчання за рахунок того, що студенти можуть не тільки задавати питання своїм колегам, але й бути в ролі консультантів. Це дозволяє значно розвантажити роботу викладача. Також слід зазначити що даний підхід не вимагає великих фінансових витрат на організацію навчального процесу і може здійснюватися на безкоштовній основі.

Використання системи дистанційної колективної самопідготовки дозволить, краще підготуватись до тестування, перевірити свої сили і власне подолати розрив між вивченням і атестацією з певної дисципліни.

Архітектура системи

В основу архітектури запропонованої системи покладено такі особливості:

- Наявність етапу самопідготовки, що являє собою тренінг зі складання тестів в якому користувачі отримують питання, можуть надсилати свої відповіді та звертатися за консультаціями як до викладача, так і до іншого користувача за домовленістю. Користувачі ставлять один одному рейтингові оцінки як за відповіді на тестові запитання, так і за консультації. Цей рейтинг оцінюється системою і може враховуватись при проведенні подальшого тестування.

- Введення режиму взаємодії між учасниками при розробці проектів, що дозволяє отримувати навички командної розробки програмного забезпечення. З цією метою система містить цілий ряд колективних завдань де учасникам можна об'єднуватись у команди і кожному виконувати окремі частини одного проекту.

- Система також взаємодіє з сайтом запитань та відповідей KIQA (Комп'ютерна Інженерія - Questions and Answers) на якому студенти можуть обговорити проблеми при вирішенні завдань, питання по лекційному курсу чи надати пропозиції з розвитку системи. Це зменшує навантаження на розробника курсу, оскільки частина питань може вирішитись самими учасниками.

В системі організована робота в таких режимах:

- автоматичний, тобто виконання завдань, які одразу перевіряються системою;
- інтерактивний, коли перевірка завдань потребує втручання викладача;
- режим взаємодії, коли студентам потрібно обмінюватись інформацією для виконання завдань.

Описана архітектура та режими роботи системи виокремлюють її серед інших систем дистанційної освіти і дають змогу конкурувати на ринку та зацікавлювати потенційних учасників проекту: як студентів, так і викладачів. На рис. 1 зображена структурна організація даної системи.

Головним елементом даної структури є підсистема самопідготовки, що дозволяє користувачам обмінюватись інформацією як між собою так і з викладачем за допомогою індивідуальних навчальних Web-середовищ. Викладацький персонал забезпечує необхідний рівень навчання. У розпорядження користувача того чи іншого курсу поетапно надходить теоретичний матеріал по темі, яку проходить студент, а у спеціальній інтерактивній консолі надаються практичні завдання по його закріпленню. Ці завдання можна також виконувати у локальному середовищі розробки (IDE) за наявності відповідного плагіну. Для кожного користувача створюється сесія і через cookie користувач зв'язується із окремою базою даних, віртуальною машиною та іншим необхідним інструментарієм в залежності від того, який курс наразі проходить студент. При цьому він працює в окремому незалежному просторі. Для збільшення мотивації на подальше проходження курсу взаємодія з системою оформлена у ігровій формі з різними рівнями складності та винагородами за виконання завдань. Такий підхід дозволяє домогтись активного включення кожного студента в процес засвоєння матеріалу, підвищити пізнавальну мотивацію, розвивати навички самостійної навчальної діяльності, а також підтримує сучасні технології.

Програмна реалізація

- У якості середовища розробки клієнтської частини обрано Adobe Brackets, для серверної частини обрано Eclipse. Ці середовища розробки є безкоштовними, кросплатформними і розширюваними різними плагінами, що робить їх потужними та доступними інструментами.

- В роботі використано HTML, CSS, JavaScript та фреймворк Bootstrap.

- Web-сервером слугує Apache Tomcat, оскільки звичайний сервер Apache, не підтримує технології сервлетів із Java.

- Також було використано безкоштовний драйвер баз даних для Java - H2, який надає користувачам зручний інтерфейс взаємодії і потужний функціонал, яким просто оперувати, при наявності мінімальних знань теорії баз даних, мови структурованих запитів SQL і мови розмітки XML.

Усі описані засоби дозволили зробити систему надійною, кросплатформною та відносно дешевою. Даною системою можна користуватись за допомогою будь-якого пристрою здатного працювати у мережі Інтернет: ПК, ноутбука, смартфона, планшета, тощо. Клієнтську частину побудовано на основі фреймворку Bootstrap, що дозволило досягнути адаптивності і однакового вигляду на різних пристроях.

Система характеризується:

- інтерактивністю, тобто можливістю вести діалог із користувачем і підлаштовуватись під нього;
- адаптивністю, тобто можливістю подавати контент у зручній для користувача формі, незалежно від того, через який пристрій чи браузер здійснено доступ до системи підготовки;

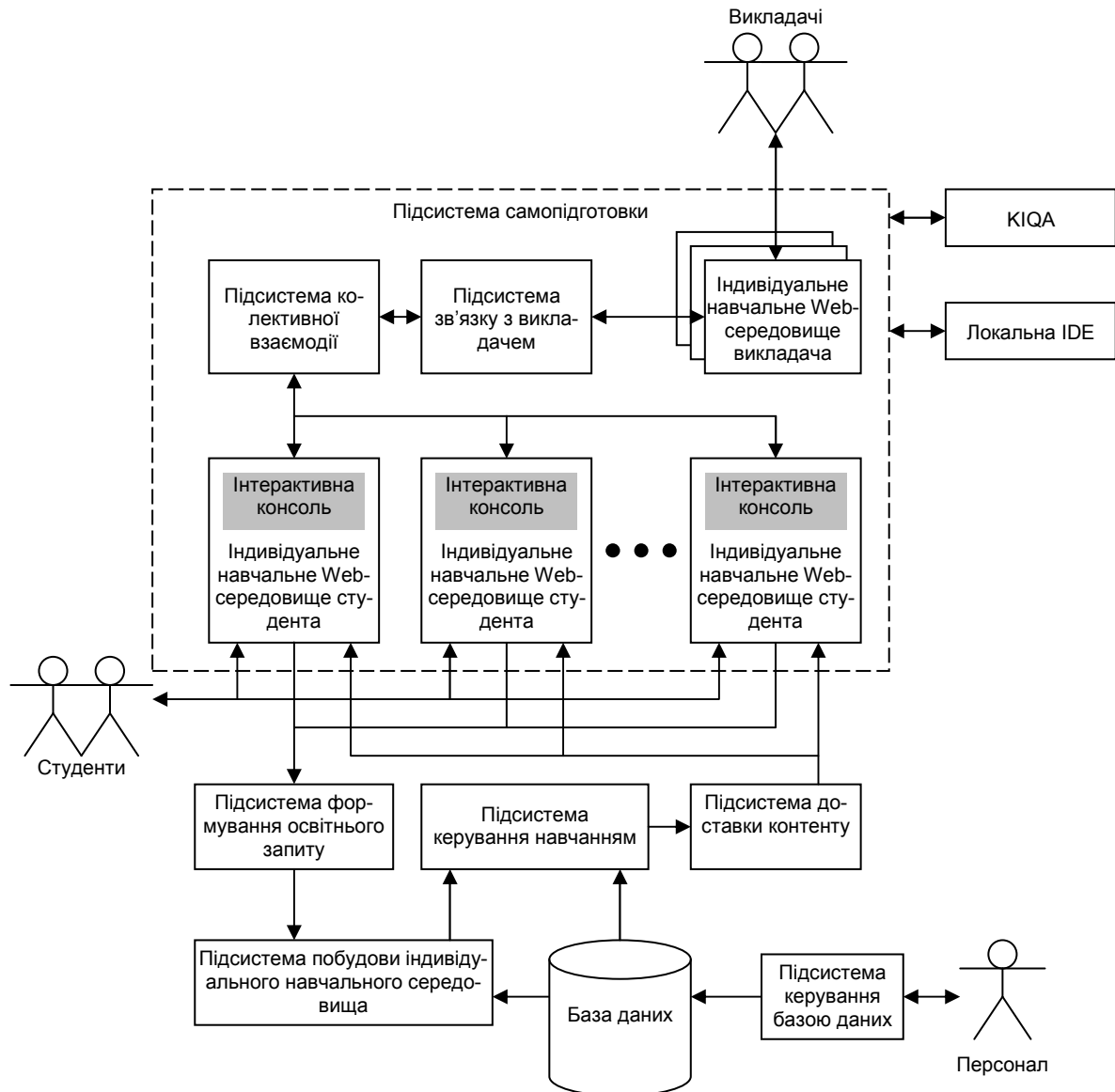


Рисунок 1 – Структурна організація системи колективної самопідготовки

- інтуїтивністю, тобто можливістю використовувати максимально можливу кількість зручних та звичних для користувача функцій, таких, як наприклад, вхід до системи через соціальні сервіси.
- динамічністю, тобто можливістю змінювати HTML-код при натисненні якогось із елементів керування, до якого прикріплений виклик функцій із JavaScript.

Схема роботи та застосування:

- Клієнт відвідує веб-сторінку та надсилає HTTP запит на сервер.
- Web-сервер отримує запит та передає його контейнеру сервлетів. Контейнер сервлетів може виконуватись в тому ж самому процесі, що і веб-сервер, в окремому процесі на тій же системі або взагалі в окремому процесі на іншій системі.
- Контейнер сервлетів з'ясовує який сервлет слід викликати виходячи з інформації про конфігурацію утримуваних сервлетів та викликає його передаючи в якості параметрів об'єктні представлення запиту та відповіді.

- Сервлет використовує об'єкт запиту для отримання інформації про віддаленого користувача, параметри HTTP запиту тощо. Сервлет виконує запрограмовані в ньому дії та надсилає результати роботи через об'єкт відповіді.
- Після того, як сервлет припиняє обробку запиту, контейнер сервлетів перевіряє коректність відправки відповіді, та повертає управління до головного веб-сервера.

Реалізація адаптивності

Адаптивність забезпечується як завдяки відсотковому вказанню ширини для різних блоків, так і за рахунок використання медіа-селекторів `@media`, які умовно ділять CSS-файл на медіа-блоки, наприклад:

```
@media (min-width: 768px) {.col-sm-...}
```

```
@media (min-width: 992px) {.col-md-...}
```

```
@media (min-width: 1200px) {.col-lg-...}
```

Як, видно із наведеного прикладу, тут немає медіа-селектору для найменшого стандартного блоку `.col-xs`, тобто він використовується за замовчуванням, а при більших екранах спрацьовує відповідний медіа-селектор.

За таким же принципом реалізовано найменший блок `.col-lx`, із заданням медіа-селектору для попереднього найменшого блоку `.col-xs`:

```
@media (min-width: 640px) {.col-xs-...}
```

За допомогою подібних адаптивних блоків побудовано усю систему.

При проектуванні системи використовувався MVC-патерн. Принцип роботи системи із застосуванням цього патерна зображений на рисунку 2.



Рисунок 2 – MVC структура системи

Відповідно до MVC-патерну створено декілька пакетів класів. Пакет `objects` відповідає першій частині MVC, тобто `Model`. У цьому пакеті містяться класи, що описують сутності, такі як користувач, повідомлення та інші. Пакет `servlets` відповідає другій частині MVC, тобто `View` і описано тут сервлети які відповідають за відображення тієї чи іншої сторінки. Пакет `services` відповідає третій частині MVC, тобто `Control`, і містяться тут класи, що контролюють передачу даних від сторінки до сервлетів і навпаки. Наприклад, коли якийсь користувач пише повідомлення на сайті, саме один із класів пакету `services` обробляє запит, який передався із сервлетів і створює відповідний об'єкт класу `Message` із пакету `objects`, який згодом поміщається до бази даних використовуючи відповідні класи із пакету `dao`. Пакет `dao` - це пакет, що містить абстрактний інтерфейс доступу до баз даних, реалізуючи певні операції без розкриття деталей бази даних. Він надає відображення від програмних викликів до рівня персистентності. Така

ізоляція розділює запити до даних в термінах предметної області та їх реалізацію засобами СКБД. Пакети errors і filters, також містять досить важливі класи, перші з яких виконують виведення тієї чи іншої помилки, при відсутності, наприклад запитуваної сторінки, а другі забороняють доступ до сторінки, якщо немає прав доступу.

Тестування роботи системи

Для тестування обрано дистанційну самопідготовку з дисципліни "Прикладне програмування у комп'ютерних мережах" [11]. Було проведено тестування системи у різних браузерях та на різних операційних системах і платформах. Зокрема на останніх версіях браузерів та платформ, як зображено у табл. 1.

Таблиця 1 – Підтримувані браузери

	Chrome	Firefox	Internet Explorer	Opera	Safari
Android	+	+	N/A	-	N/A
iOS	+	N/A		-	+
Mac OS X	+	+		+	+
Linux	+	+		+	+
Windows	+	+	+	+	-

У Windows розроблену систему було випробувано на Internet Explorer з 8 по 11 версію.

Висновки

Створена система дистанційної колективної самопідготовки являє собою інтерактивну навчальну платформу, яка поєднує теорію, практику, командну роботу. Користувачі мають змогу одержати справжній досвід роботи з обраною мовою чи технологією.

Проект взаємодіє з сайтом запитань та відповідей, на якому студенти можуть обговорити проблеми при вирішенні завдань, питання по лекційному курсу чи надати пропозиції з розвитку системи. Це зменшує навантаження на викладача курсу, оскільки частина питань може вирішитись самими учасниками.

Система побудована з використанням сучасних технологій та незалежних від платформи рішень для забезпечення надійної доставки інформації на будь які пристрої, що мають вихід в Інтернет.

Розроблена система успішно пройшла тестування на різних платформах.

Література

1. Кудинов, Д.Н. Перспективы разработки автоматизированных обучающих систем / Д.Н. Кудинов // Современные проблемы науки и образования. - 2008. - № 6. - С.46 – 50.
2. Сосюк А.В. Интеллектуальный автоматизированный контроль знаний в системах дистанционного навчання / А.В. Сосюк // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. — 2008. — № 2 (22). — С. 94–98.
3. Титенко С.В. Формування навчального контенту на основі моделі даних Tree-Net /С.В. Титенко, О.О. Гагарін // "Комп'ютерна математика в інженерії, науці та освіті" (CMSEE-2007): матер. Всеукр. наук.-техн. конф., м. Полтава, 28-30 листопада 2007 р. — Полтава: Вид-во ПолНТУ, 2007. — 42 с.
4. Єрмоленко О.В., Ковальов В.І., Лісної А.І. Спосіб побудови адаптивної системи навчання [Текст]: патент на корисну модель №3619U. Україна: 7G09B7/07; Заявник та патентовласник: Націона-

льний технічний університет "Харківський політехнічний інститут". — № 2004010029, заявл. 08.01.2004, опубл. 15.12.2004, Бюл. 12, 2004 р.

5. Титенко С.В., Гагарін О.О. Моделювання області знань в системі безперервного навчання на основі інтеграції моделі контенту Tree-Net і понятійно-тезисної моделі // VIII міжнародна конференція «Інтелектуальний аналіз інформації ІАІ-2008», Київ, 14-17 мая 2008г. : Сб. тр./ Ред. кол. : С.В. Сирота (гл.ред.) и др. – К.: Просвіта, 2008. – С. 475-484.

6. Хоясита С., Икегами Я., Суми К. Обучающая система [Текст] патент на изобретение № 2262738С2. Россия: G06F17/60; Патентообладатель: Сага "Юниверсити" (JP). — № 2003103471/09, заявл. 05.02.2003, опубл. 20.10.2005, Бюл. 29.

7. Udacity's model [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://blogs.reuters.com/felix-salmon/2012/01/31/udacitys-model/>.

8. MIT OpenCourseWare | Free Online Course Materials [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://ocw.mit.edu>.

9. Open Yale Courses [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://oyc.yale.edu/courses>.

10. Khan Academy [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.khanacademy.org>.

11. Азаров О. Д. Прикладне програмування у комп'ютерних мережах [Текст] : навчальний посібник / О. Д. Азаров, О. І. Черняк., Л. А. Савицька – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 130 с.

Відомості про авторів

Азаров Олексій Дмитрович, д. т. н., професор, декан факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Вінницького національного технічного університету, заслужений працівник освіти України.

Крупельницький Леонід Віталійович, к. т. н., доцент кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету.

Черняк Олександр Іванович, к. т. н., доцент кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету.

Залізецький Василь Володимирович, аспірант кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету.

УДК 681.335.13

Є. А. Борисенко, О. Ф. Єнікєєв

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ ІДЕНТИЧНОСТІ РОБОЧИХ ЦИКЛІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Національний технічний університет «ХПІ», Український державний університет залізничного транспорту, Харків

Анотація. Запропоновано метод оцінювання ідентичності робочих циклів двигунів внутрішнього згоряння на основі обробки сигналу девіацій швидкості обертання колінчастого вала. Запропоновано механічну систему з десятьма ступенями волі у якості математичної моделі багатоциліндрового двигуна. Отримано передатні функції впливів циліндрів на сигнал девіацій швидкості обертання першої маси. Запропоновано метод та апаратні засоби компенсації кінематичної похибки первинного перетворювача миттєвої швидкості обертання колінчастого вала. Розроблено інформаційну технологію цифрової обробки сигналу швидкості та оцінювання ідентичності робочих циклів.

Ключові слова: девіації, інформаційна технологія, передатна функція, метод підвищення точності.

Аннотация. Предложен метод оценивания идентичности рабочих циклов двигателей внутреннего сгорания на основе обработки сигнала скорости вращения коленчатого вала. Предложена механическая система с десятью степенями свободы в качестве математической модели многоцилиндрового двигателя. Получены передаточные функции вкладов цилиндров в сигнал девиаций скорости вращения первой массы. Предложен метод и аппаратные средства для компенсации кинематической погрешности первичного преобразователя мгновенной скорости вращения коленчатого вала. Разработана информационная технология цифровой обработки сигнала скорости и оценивания идентичности рабочих циклов.

Ключевые слова: девиации, информационная технология, передаточная функция, метод повышения точности.

Abstract. Method for identity estimation of internal combustion engines duty cycles based on signal of crankshaft rotational speed deviation processing is proposed. Mechanical system with 10 degrees of freedom as a mathematical model of multi cylinder engine is proposed. A transfer function of cylinders' contribution to the rotational speed deviation of the first mass is obtained. Method and apparatus for compensation of kinematic error of the instantaneous crankshaft rotation speed sensor is proposed. Informational technology for digital processing of signal of speed and duty cycles identity estimation is developed.

Key words: deviations, informational technology, transfer function, method of increase of accuracy.

Вступ

Техніко-економічні показники двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) залежать від ідентичності робочих циклів. Основним лабораторним методом оцінювання цього показника ДВЗ є вимірювання та порівняння індикаторних діаграм. Відомі первинні перетворювачі, які використовуються для вимірювань індикаторних діаграм, не мають вихідних електричних сигналів, що визначає малу продуктивність методу оцінювання. Авторами пропонується ідея використання сигналу девіацій швидкості обертання колінчастого вала у якості вхідної інформації для отримання кількісної оцінки ідентичності робочих циклів ДВЗ. Програмні впливи на процес паливоподачі в окремі циліндри розраховуються інформаційно-вимірювальною системою (ІВС) на основі обробки сигналу миттєвої швидкості обертання колінчастого вала. Зміна налаштувань процесу паливоподачі забезпечує ідентичність робочих циклів та покращує техніко-економічні та екологічні показники ДВЗ [1].

Актуальність

Відсутність ефективних апаратних засобів для вимірювань інформаційного сигналу, алгоритмічного та прикладного програмного забезпечення.

Мета

Покращення точності та продуктивності процесу оцінювання ідентичності робочих циклів ДВЗ на основі вимірювань сигналу миттєвої швидкості обертання колінчастого вала.

Задачі досліджень

1. Розробка математичної моделі кінематичної схеми багатоциліндрового ДВЗ.
2. Аналіз вихідного сигналу моделі та реалізація інформаційно-вимірювального пристрою.
3. Розробка прикладного програмного забезпечення.

Розв'язання задач

При складанні математичної моделі дизель-генератора 10Д100 використаємо наступні припущення:

- крутильну схему валопроводу дизеля 10Д100 подаємо у вигляді механічної системи, яка має десять ступенів волі;

Є. А. Борисенко, О. Ф. Єнікєєв, 2016

- не враховуємо тертя.

Рухи мас механічної системи, яка має десять ступенів волі, описуються наступною системою диференціальних рівнянь [1]

$$J_i \varphi_i''(t) - \frac{1}{e_{i+1,i}} [\varphi_{i+1}(t) - \varphi_i(t)] + \frac{1}{e_{i,i-1}} [\varphi_i(t) - \varphi_{i-1}(t)] = M_i(t), \quad (1)$$

де J_i – момент інерції i -тої маси; $\varphi_i(t)$ – кут закрутки i -тої маси; $M_i(t)$ – крутний момент, який діє в i -тому коліні вала, без урахування середнього значення; $e_{i+1,i}$ – податливість зв'язків між $(i+1)$ -шою та i -тою масами. Джерела нелінійності (зубчасті передачі) не ввійшли до складу математичної моделі, тому система рівнянь є лінійною.

Сигнал дев'яти швидкості обертання колінчастого вала ДВЗ зв'яже з кутом закрутки наступний вираз

$$\Delta\omega(t) = \frac{d\varphi(t)}{dt}. \quad (2)$$

З урахування цього система диференціальних рівнянь (1) набуває такого вигляду

$$J_i \Delta\omega_i'(t) - \frac{1}{e} \int [\Delta\omega_{i+1}(t) - \Delta\omega_i(t)] dt + \frac{1}{e} \int [\Delta\omega_i(t) - \Delta\omega_{i-1}(t)] dt = M_i(t). \quad (3)$$

Перетворення за Лапласом системи рівнянь (3) при нульових початкових умовах надає їй наступного вигляду

$$\Delta\omega_i(p) - \frac{1}{Jep^2 + 2} \Delta\omega_{i+1}(p) - \frac{1}{Jep^2 + 2} \Delta\omega_{i-1}(p) = \frac{ep}{Jep^2 + 2} M_i(p). \quad (4)$$

У результаті математичних перетворень система алгебраїчних рівнянь (4) приводиться до наступного вигляду

$$\Delta\omega_1(p) = \sum_{i=1}^{10} \frac{\Delta_i}{\Delta} M_i(p), \quad (5)$$

де $\Delta = 5d^8 - cd^9 + 10cd^7 - 20d^6 - 15cd^5 + 21d^4 + 7cd^3 - 8d^2 - cd + 1$;

$\Delta_1 = a - 7ad^2 + 15ad^4 - 10bd^6 + ad^8 + ad^9 + bd^2 - 5bd^3 - 4bd^4 + 7bd^5 + 4bd^6 - 2bd^7 + bd - acd + 6acd^3 - 10acd^5 + 4acd^7 - bcd^2 + bcd^3 + 4bcd^4 + 3bcd^5 - 4bcd^6 - 2bcd^7$;

$\Delta_2 = b - 6ad^3 + 10ad^5 - 4ad^7 + ad^8 - 5bd^2 - 4bd^3 + 7bd^4 + 4bd^5 - 2bd^6 + ad + bd - bcd - acd^2 + 5acd^4 - 6acd^6 + acd^8 - bcd^2 + 4bcd^3 + 3bcd^4 - 4bcd^5 - 2bcd^6$;

$\Delta_3 = b + ad^2 - 5ad^4 + 6ad^6 + ad^7 - ad^8 - ad^9 - 5bd^2 - 9bd^3 + 8bd^4 + 11bd^5 - 4bd^6 - 3bd^7 + 2bd - bcd - acd^3 + 4acd^5 - 3acd^7 - 2bcd^2 + 4bcd^3 + 7bcd^4 - 5bcd^5 - 6bcd^6 + 2bcd^7 + bcd^8$;

$\Delta_4 = b + ad^3 - 4ad^5 + ad^6 + 3ad^7 - 2ad^8 - 4bd^2 - 9bd^3 + 4bd^4 + 12bd^5 - bd^6 - 5bd^7 + 2bd - bcd - acd^4 + 3acd^6 - acd^8 - 2bcd^2 + 3bcd^3 + 7bcd^4 - 2bcd^5 - 6bcd^6 + bcd^7 + bcd^8$;

$$\begin{aligned} \Delta_5 &= b + ad^4 + ad^5 - 3ad^6 - 3ad^7 + ad^8 + ad^9 - 4bd^2 - 8bd^3 + 4bd^4 + 8bd^5 - bd^6 - 2bd^7 \\ &+ 2bd - bcd - acd^5 + 2acd^7 - 2bcd^2 + 3bcd^3 + 6bcd^4 - bcd^5 - 3bcd^6 - bcd^7; \\ \Delta_6 &= b + ad^4 + ad^5 - 4ad^6 - 2ad^7 + 3ad^8 - 4bd^2 - 8bd^3 + 4bd^4 + 7bd^5 - bd^6 + 2bd - bcd \\ &- acd^6 + acd^8 - 2bcd^2 + 3bcd^3 + 7bcd^4 - bcd^5 - 5bcd^6 - bcd^7; \\ \Delta_7 &= b + ad^3 - 5ad^5 + ad^6 + 6ad^7 - ad^8 - ad^9 - 4bd^2 - 9bd^3 + 3bd^4 + 11bd^5 + bd^6 - 3bd^7 \\ &+ 2bd - bcd - acd^7 - 2bcd^2 + 4bcd^3 + 8bcd^4 - 4bcd^5 - 8bcd^6 + bcd^7 + bcd^8; \\ \Delta_8 &= b + ad^2 - 6ad^4 + 10ad^6 + ad^7 - 4ad^8 - 5bd^2 - 10bd^3 + 7bd^4 + 14bd^5 - 2bd^6 - 5bd^7 + 2bd \\ &- bcd - acd^8 - bcd^2 + 5bcd^3 + 4bcd^4 - 7bcd^5 - 4bcd^6 + 2bcd^7 + bcd^8; \\ \Delta_9 &= b - 7ad^3 + 15ad^5 - 10ad^7 + ad^8 + ad^9 - 6bd^2 - 5bd^3 + 11bd^4 + 7bd^5 - 6bd^6 - 2bd^7 \\ &+ ad + bd; \\ \Delta_{10} &= a - 8ad^2 + 21ad^4 - 20ad^6 + 5ad^8 + bc + bcd + acd^8 - 6bcd^2 - 5bcd^3 + 11bcd^4 + 7bcd^5 \\ &- 6bcd^6 - 2bcd^7; \\ a &= \frac{ep}{Jep^2 + 1}, \quad b = \frac{ep}{Jep^2 + 2}, \quad c = \frac{1}{Jep^2 + 1}, \quad d = \frac{1}{Jep^2 + 2}. \end{aligned}$$

Відношення визначників задає вирази для передатних функцій, які встановлюють зв'язок між крутними моментами циліндрів ДВЗ та девіаціями швидкості обертання першої маси. Розрахунок логарифмічних амплітудно-частотних характеристик (ЛАЧХ) виконано в середовищі Matlab. Результати розрахунків подано на рис. 1.

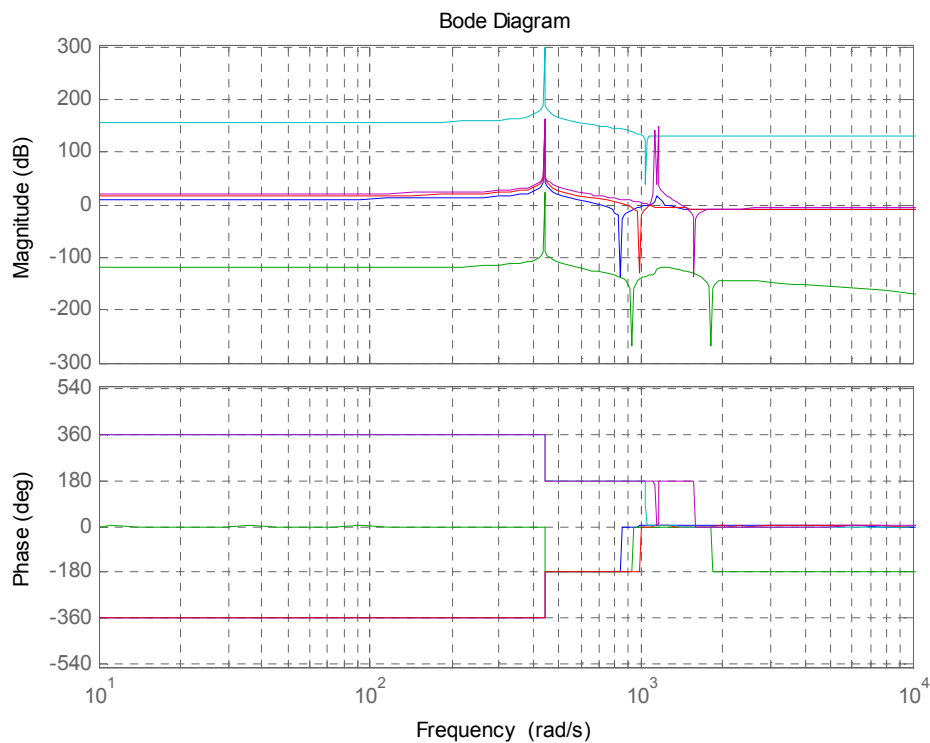


Рисунок 1 – ЛАЧХ передатних функцій W_1, \dots, W_5

Пошук нулів та полюсів передатних функцій дозволяє їх подати у вигляді послідовного з'єднання елементарних ланцюгів. При цьому поданні також виконується спрощення математичної моделі за рахунок погашення коренів чисельника та знаменника передатної функції, а також у відкиданні нестійких та коренів другого порядку малості.

Крутний момент, який утворює на колінчастому валу ДВЗ окремий циліндр, подаємо у вигляді обмеженого ряду Фур'є. При такому поданні принципово можливо організувати зміни в налаштуванні подачі палива до окремого циліндру у вигляді амплітудного коефіцієнта D_i , який визначає відхилення від штатного налаштування дизеля 10Д100. Фазове запізнення процесу подачі палива до окремого циліндра відносно першого визначається з урахуванням їхньої послідовності роботи: 1 – 6 – 10 – 2 – 4 – 9 – 5 – 3 – 7 – 8. Математично крутний момент описується таким рівнянням

$$M_i(t) = D_i \sum_{k=1}^n A_k \sin(k\Omega t + \psi_k). \quad (5)$$

Комп'ютерним моделюванням отримано графіки девіацій миттєвої швидкості обертання першої маси в межах одного оберту колінчастого вала при різноманітних налаштуваннях ДВЗ (рис. 2). Відключення подачі палива до першого циліндра забезпечується при $D_1 = 0$, до другого – при $D_2 = 0$.

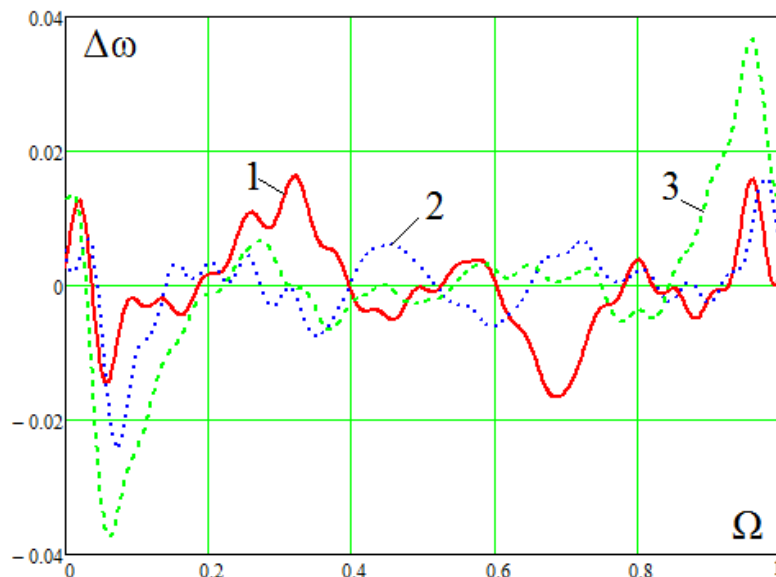


Рисунок 2 – Сигнал девіацій швидкості обертання першої маси:
1 – штатне налаштування, 2 – паливо не подається до першого циліндра,
3 – паливо не подається до другого циліндра

З аналізу графіків встановлено, що амплітудне значення девіацій не перевищує 0.05 миттєвої швидкості обертання колінчастого вала ДВЗ. Часову реалізацію девіацій визначаємо в результаті цифрової обробки частотно-модульованого сигналу з малою глибиною модуляції. Ця процедура достатньо складна та потребує розробки апаратних засобів, які мають малий інтервал невизначеності навколо номінальної характеристики перетворення.

Розробку інформаційно-вимірювального пристрою почнемо з аналізу складових похибки первинного перетворювача (ПП):

- похибка відновлення аналогового сигналу за дискретними відліками, яка визначається для його частотного подання за допомогою виразу

$$\delta_{\dot{a}} = \frac{t_0}{8} \sqrt{0.1 \sum_{i=1}^{10} \Omega_i^4} 100\%; \quad (6)$$

- кінематична похибка ПП, яку визначено на прикладі дослідження допусків на виготовлення зубчастих коліс різного класу точності та подано в табл. 1. При оцінюванні кінематичної похибки засто-

совано такий вираз

$$\delta_6 = \frac{\Delta m}{m} 100\%, \quad (7)$$

де Δm – допуск на кінематичну похибку зубчастого колеса, m – модуль;

- динамічна похибка ПП полягає у зрушеннях за часом дискретних відліків часової реалізації сигналу девіацій, які виникають як наслідок наявності кінематичної.

Таблиця 1 – Чисельні дані кінематичної похибки

Клас точності зубчастого колеса	4	5	6	7	8
$\delta_k, \%$	0.80	1.25	2.00	2.75	4.00
Похибка вимірювань девіацій, %	16.0	25.0	40.0	55.0	80.0

Дані табл. 1 дозволяють зробити висновок: вимірювання сигналу девіацій потребують розробки методу зменшення величини кінематичної похибки ПП та відповідних апаратних засобів. Одним із можливих шляхів розв'язування цієї задачі є виконання паспортизації первинного перетворювача. У результаті паспортизації отримаємо поправки, які враховує вимірювальний перетворювач при визначенні сигналу девіацій. До складу перетворювача також входить пристрій синхронізації з фазою обертання ПП.

Для компенсації кінематичної похибки автори пропонують метод багатоканальних вимірювань інтервалів часу, які формуються одною рисою ПП та відповідають повному оберту його вала. При такому методі вимірювань сигналу миттєвої швидкості обертання кінематична похибка не впливає на тривалість сформованих інтервалів часу. Однак виникає динамічна похибка зрушень за часом дискретних відліків часової реалізації сигналу девіацій, які виникають як наслідок кінематичної. Виконано оцінювання динамічної похибки ПП. Її абсолютне значення знаходимо таким чином

$$\Delta_{\ddot{a}i} = \frac{1}{\dot{O}} \int_0^{\dot{O}} [\Delta\omega(\Omega t + \Omega\sigma_{\zeta i}) - \Delta\omega(\Omega t)] dt, \quad (8)$$

де $\sigma_{\zeta i}$ – середнє квадратичне відхилення часового зсуву дискретних відліків, яке визначено на підставі допусків ПП.

Для гармонійного сигналу останній вираз після математичних перетворень набуває такого вигляду

$$\Delta_{\ddot{a}i, i} = \frac{2A_i}{\pi} \sin(\varphi_i - 0.5i\Omega\sigma_{\zeta i}) \sin(i\Omega\sigma_{\zeta i}). \quad (9)$$

Відносно похибку гармонійного сигналу отримано в такому вигляді

$$\delta_i = \frac{2}{\pi} \sin(\varphi_i - 0.5i\Omega\sigma_{\zeta i}) \sin(i\Omega\sigma_{\zeta i}). \quad (10)$$

Динамічну похибку ПП визначаємо з урахуванням внесків гармонійних складових до сигналу девіацій

$$\delta_{\ddot{a}i} = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (A_i \delta_i)^2} / \sqrt{\sum_{i=1}^{10} A_i^2}. \quad (11)$$

Результати розрахунків динамічної похибки ПП подано в табл. 2. Ефективність методу вимірювань сигналу миттєвої швидкості обертання колінчастого вала ДВЗ, який запропоновано, встановлюється при порівнянні даних табл. 1 та 2.

Таблиця 2 – Чисельні дані динамічної похибки

Клас точності первинного перетворювача	4	5	6	7	8
Похибка вимірювань девіацій, %	3.1	4.8	7.4	9.9	14.1

Сутність методу апаратної компенсації кінематичної похибки ПП полягає в тому, що вихідний сигнал блоку ДЗ за допомогою лічильника та дешифратора перетворюється в декілька імпульсних послідовностей. Положення імпульсів у них відповідає моментам проходження біля чутливого елемента датчика однієї риски. Цей сигнал подається на вхід відповідного каналу для вимірювань інтервалів часу. Кількість каналів у складі пристрою визначається кількістю рисок ПП. Апаратну реалізацію каналів для вимірювань проведено на основі методу дискретизації за часом. Усунення взаємних накладань вихідних сигналів каналів при їхньому поєднанні схемою АБО у сигнал вимірювальної інформації для пристрою 5 виконується за допомогою лічильників. Об'єм останніх та частота взірцевого генератора обираються таким чином, щоб переповнення лічильника виконувалося за час трохи менший, ніж середній період імпульсної послідовності. При цьому з вимірювальної інформації кожного каналу виключається калібрований за тривалістю проміжок часу.

На підставі цього методу розроблено оригінальний пристрій для вимірювань сигналу девіацій (рис. 3), який описано в роботі [3]. На рисунку позначено: ТА1, ..., ТА4 – логічні схеми ТА; Г – взірцевий генератор; ДШ – дешифратор; Т1, ..., Т3 – тригери; АБО1, АБО2 – логічні схеми АБО; Л1, ..., Л4 – лічильники імпульсів; Ф – формувач імпульсів; N_x – вихідний код; З – лінія затримки. Пристрій для вимірювань має два канали, які вимірюють тривалість імпульсів прямого та інверсного виходів Т1. Сигнал вимірювальної інформації для пристрою 5 формує схема АБО2. Лічильник Л3 перетворює цей сигнал у цифровий код. Блок Ф формує сигнал запису коду в регістр пристрою 5 та за допомогою блоку З переводить лічильник Л3 до нульового стану.

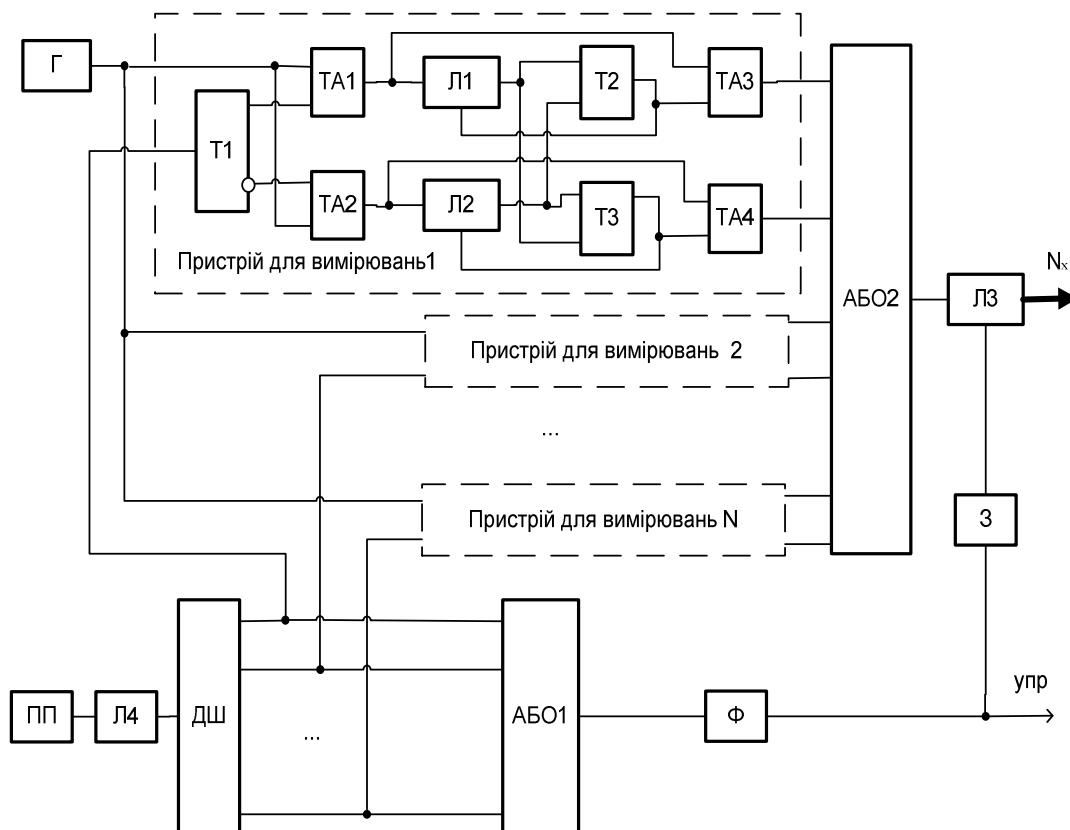


Рисунок 3 – Пристрій компенсації кінематичної похибки

Для аналізу метрологічних характеристик пристрою виконуємо статистичну обробку експериментальних даних. На рис. 4 подано гістограму розкиду вихідного коду вимірювального пристрою. Обсяг вибірки склав 151 вимірювання. Основні статистичні параметри такі

$$\bar{O} = 2.0 \cdot 10^{-4}; \quad \sigma = 0.014248; \quad A = 0.0536; \quad E = -0.449. \quad (12)$$

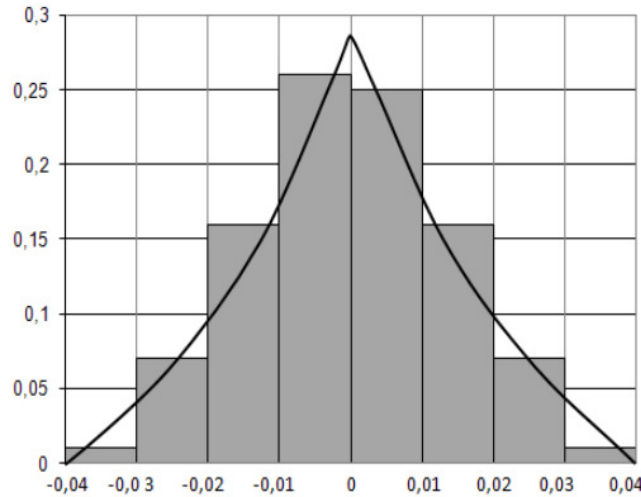


Рисунок 4 – Гистограма розкиду вихідного коду вимірювального пристрою

Рівняння згладженої кривої розкиду вихідного коду пристрою має вигляд

$$f(x) = \frac{1}{2\sigma} e^{-\frac{|x|}{\sigma}} \quad \text{при } x \in (-0.04, 0.04). \quad (13)$$

Скористуємось інформаційним підходом для визначення похибки проведених вимірювань із багаторазовими спостереженнями. Для отриманого закону розподілу похибки маємо

$$\ln f(x) = -\ln 2\sigma - \frac{|x|}{\sigma}. \quad (14)$$

Звідси ентропія похибки запропонованого пристрою

$$H\left(\frac{x}{x_i}\right) = \ln\left(2\sigma e^{\frac{\mu_1}{\sigma}}\right). \quad (15)$$

Ентропійний інтервал невизначеності вихідного коду пристрою

$$\Delta = \sigma e^{\frac{\mu_1}{\sigma}} = 0.01465. \quad (16)$$

Обробка сигналу миттєвої швидкості обертання колінчастого вала дизеля 10Д100 складає такі обчислювальні процедури: розраховуємо середнє значення швидкості обертання; визначаємо масив девіацій у межах усього обсягу дослідних даних; виконуємо процедуру усереднення за всім ансамблем реалізацій та формуємо масив девіацій у межах одного оберту колінчастого вала ДВЗ, який подаємо у вигляді обмеженого ряду Фур'є. Ідентичність робочих циклів дизеля 10Д100 оцінюємо за величиною коефіцієнтів D_i , для визначення яких розв'язуємо систему алгебраїчних рівнянь такого вигляду

$$BD = \Delta\omega, \quad (17)$$

де B – матриця, коефіцієнти якої визначаються в залежності від обраного методу розрахунку; D – вектор-стовпець амплітудних коефіцієнтів; $\Delta\omega$ – вектор-стовпець часової реалізації сигналу девіацій швидкості обертання колінчастого вала дизеля 10Д100. При частотному поданні сигналу девіацій коефіцієнти матриці визначаються наступним чином

$$B_{i,j} = \sum_{i=1}^{10} W_1(j\Omega) M_i(j\Omega). \quad (18)$$

Висновки

1. Запропоновано математичну модель валопроводу дизеля 10Д100 у вигляді механічної системи з десятима ступенями волі.
2. У результаті математичних перетворень отримано передатні функції, які пов'язують впливи окремих циліндрів з сигналом девіацій швидкості обертання першої маси.
3. Комп'ютерним моделюванням отримано сигнал девіацій та в результаті його аналізу сформульовано вимоги до метрологічних характеристик інформаційно-вимірювального пристрою.
4. Доведено, що труднощі організації цифрової обробки частотно-модульованого сигналу з малою глибиною модуляції полягають у наявності кінематичної похибки виготовлення первинних перетворювачів.
5. Запропоновано метод, який апаратно компенсує вказану похибку, та на його основі розроблено оригінальний інформаційно-вимірювальний пристрій. У результаті статистичної обробки дослідних даних із використанням інформаційного підходу визначено його ентропійну похибку. Встановлено придатність пристрою до виконання прецизійних вимірів сигналів девіацій швидкості обертання.
6. На основі частотного подання сигналу девіацій швидкості обертання колінчастого вала розроблено інформаційну технологію оцінювання ідентичності робочих циклів дизеля 10Д100.

Список літератури

1. Истомин П.А. Крутильные колебания в судовых ДВС. – Л: Судостроение, 1968. – 304 с.
2. Допуски и посадки. Справочник. / [Гл. ред. Мягков В.Д.] – Л.: Машиностроение, Часть 2, 1978. – с. 545–1032.
3. А. с. 1538679 СССР. МКИ G 01 M 15/00. Устройство для контроля неравномерности вращения вала двигателя внутреннего сгорания / Б.Г. Марченко, А.Н. Борисенко, А.Ф. Еникеев. Харьковский политехнический институт. – № 4428977; заявл. 23.05.88; опубл. 15.09.89, Бюл. № 34.

Відомості про авторів

Борисенко Євген Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем, Національний технічний університет «ХПІ».

Єнікєєв Олександр Фанилович, доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизованих систем електричного транспорту, Український державний університет залізничного транспорту.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ

УДК 004.021

М. О. Гранік, В. І. Месюра

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ СХОЖОСТІ НОВИНИХ ТЕКСТІВ ШЛЯХОМ ПОРІВНЯННЯ ЇХ ЗАГОЛОВКІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЗАДАЧІ ПРО ПРИЗНАЧЕННЯ

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Анотація. Метою роботи є розробка методу визначення схожості новинних текстів. У роботі запропоновано метод порівняння схожості новинних текстів на основі порівняння їх заголовків. Ця задача була зведена до задачі порівняння коротких текстів (а саме – до задачі визначення їх еквівалентності). У свою чергу, ця задача була зведена до задачі про призначення – класичної задачі із області комп'ютерних наук, що може бути розв'язана угорським алгоритмом чи за допомогою знаходження максимального потоку мінімальної вартості. Метод може бути використано для кластеризації новинних текстів, у сервісах агрегації новинних текстів.

Ключові слова: новини, порівняння новин, задача про призначення.

Аннотация. Целью работы является разработка метода определения сходства новостных текстов. В работе предложен метод сравнения сходства новостных текстов на основе сравнения их заголовков. Эта задача была сведена к задаче сравнения коротких текстов (а именно – к задаче определения их эквивалентности). В свою очередь, эта задача была сведена к задаче о назначениях – классической задаче из области компьютерных наук, которая может быть решена при помощи венгерского алгоритма или посредством нахождения максимального потока минимальной стоимости. Метод может быть использован для кластеризации новостных текстов, в сервисах агрегации новостных текстов.

Ключевые слова: новости, сравнение новостей, задача о назначении.

Abstract. The main goal of the article is the development of the method for comparing news articles. It is suggested to compare news articles based on their titles. This problem was reduced to the problem of comparing of the short texts (namely, to the equivalency detection problem). This problem was reduced to an assignment problem – classical computer science problem, that can be solved with Hungarian algorithm or using the algorithms, that find minimum cost maximum flow. The method can be used for news articles clasterization and for news aggregators.

Key words: news articles, comparison of the news articles, assignemnt problem.

Вступ

Часто основний зміст новини виражається її заголовком. Журналісти намагаються передати заголовком, про що саме йдеться у новинній статті для того, щоб зацікавити читачів. Виникає ідея порівнювати новинні тексти шляхом порівняння їхніх заголовків.

Заголовки новинних текстів зазвичай є доволі короткими. Частіше за все вони складаються з одного речення. Тобто у випадку порівняння заголовків новинних текстів ми маємо справу із порівнянням коротких текстів. При порівнянні новинних текстів виділяють два підвиди задач – визначення відношення еквівалентності (paraphrase relation) та виначення відношення слідування (entailment relation), коли один текст є логічним висновком із іншого. У цій статті буде розглянуто тільки відношення еквівалентності, адже легко бачити, що саме сенсова еквівалентність заголовків означає, що в самих текстах йдеться про одну й ту ж саму подію.

Актуальність

Проблема визначення схожості новинних текстів є дуже актуальною. Отримання числової міри схожості новинних текстів може бути ефективно використане для задачі кластеризації новин. Кластеризація новин, у свою чергу, є важливою практичною проблемою, адже результати її розв'язання можуть бути використані у агрегаторах новин та у системах оцінювання правдоподібності новинної інформації.

Мета

Проблема порівняння коротких текстів не є новою. Наприклад, у своїй роботі її розглядають Courtney Corley і Rada Mihalcea. Їхній підхід базується на жадібному групуванні пар слів текстів, що розглядаються [1]. Mihai Lintean та Vasile Rus у своїй роботі використовують іншу жадібну евристику, і таким чином покращують результати, отримані Courtney Corley та Rada Mihalcea.

Як відомо, використання жадібних евристик не завжди прivedить до найкращих результатів. Мета цієї статті – розробити метод, що позбавлений цього недоліку. У статті показано спосіб зведення задачі про схожість коротких текстів до добре відомої задачі - задачі про призначення.

Задачі

1. Розробка методу порівняння новинних текстів, що не базується на жадібних алгоритмах.
2. Перевірка коректності створеного методу.

Знаходження семантичної схожості слів

Велика кількість методів, що знаходять семантичну схожість слів, базуються на базах знань, що складені людиною-експертом.

Одна з найбільш відомих таких баз для слів англійської мови – лексична база даних WordNet. У WordNet слова згруповані у синонімічні множини, що називаються синсетами (synsets), кожна з яких описує якесь значення чи концепцію. Синсети пов'язані між собою за допомогою лексико-семантичних зв'язків, таких, як гіперонімія (аналог зв'язку IS-A, що використовується у методах штучного інтелекту).

Існує велика кількість метрик, що слугують для визначення семантичної схожості і використовують структуру бази WordNet (метрика Wu-Palmer, метрика Jiang та Conrath тощо) [1].

Перевага такого методу очевидна – використовується джерело знань, складене людиною, що підвищує ступінь довіри до нього. Недоліком такого методу є те, що одне й те ж саме слово може мати декілька значень, і тому незрозуміло, до якого саме синсету його віднести. Проблема визначення правильного значення слова у тексті досі є складною задачею у задачах обробки природної мови. Однак цієї проблеми можна позбутись, якщо брати до уваги тільки ті значення слів, що максимізують отриману схожість між ними.

Задача про призначення

Задача про призначення – добре відома оптимізаційна задача. Вона належить до класу задач комбінаторної оптимізації.

Задачу про призначення зазвичай формують на основі наступного прикладу. Є N постачальників деякого товару, а також N клієнтів, що хочуть цей товар придбати. Для кожної пари "постачальник-клієнт" відома ціна, яку потрібно заплатити для того, щоб цей постачальник доставив товар цьому клієнтові. Кожен постачальник може доставити товар не більше ніж одному клієнтові. Потрібно таким чином згрупувати постачальників та клієнтів, щоб усі клієнти отримали товар, і сумарна ціна всіх використаних операцій була мінімальна (чи максимальна). Як бачимо, у класичному варіанті задача формується для випадку, коли клієнтів та постачальників однакова кількість. Така задача називається лінійною задачею про призначення. Але від задачі для N клієнтів та N постачальників легко перейти до задачі із N клієнтами та M постачальниками (шляхом додавання додаткових фіктивних ребер із нульовою вагою) [2].

Існує і більш формальне та лаконічне формулювання задачі. Дано повний двудольний зважений граф. Необхідно знайти у ньому максимальне паруння мінімальної (максимальної) ваги (min/max cost matching) [3].

Ще одне формулювання є таким. Дана матриця a , що має n рядків та n стовбців. Потрібно знайти таку перестановку стовбців p , що мінімізує (максимізує) сумму $a[i][p[i]]$ для всіх i від 1 до n [2].

Таку задачу можна розв'язувати декількома способами. Перший із них використовує угорський алгоритм, що був розроблений Гарольдом Куном у 1955р. Саме Кун дав цьому алгоритмові назву "Угорський" [2].

Ще один спосіб розв'язання цієї задачі використовує максимальний потік мінімальної вартості. Зручніше за все його пояснити у термінах дводольного графа. Кожному ребру надамо пропускну здатність, рівну одиниці, а також орієнтуємо їх у напрямку від першої долі до другої. Створимо фіктивну вершину – витік, з якої проведемо орієнтовані ребра у всі вершини першої долі із нульовою вагою та одиничною пропускну здатністю. Також створимо фіктивну вершину – стік, у яку проведемо орієнтовані ребра із нульовою вагою та одиничною пропускну здатністю від усіх вершин другої долі. У такому графі знайдемо максимальний потік мінімальної (максимальної) вартості. Легко бачити, що так як ми знаходимо максимальний потік, то це забезпечить максимальну завантаженість вершин графу. (тобто, виражаючись термінами першого формулювання, наш алгоритм максимізує кількість клієнтів, що обслуговувались). Так як ми знаходимо потік мінімальної (максимальної) вартості, то можна побачити, що саме знайдена вартість і буде тією оптимальною ціною, що потрібно знайти для розв'язання задачі про призначення [3].

Ці методи мають свої переваги та недоліки. Угорський алгоритм є швидким (має обчислювальну складність $O(N^3)$), проте є більш складним у реалізації. Алгоритм із використанням максимального потоку мінімальної вартості є повільнішим за угорський алгоритм (має обчислювальну складність $O(N^4)$), проте є більш простим у реалізації [2, 3].

Метод визначення схожості новинних текстів шляхом порівняння їх заголовків

Розглянемо два коротких фрагменти тексту, що є заголовками новинних текстів. Мета розробленого методу – навчитись знаходити числове значення схожості між цими заголовками. Також слід дослідити, яким є значення схожості для заголовків новин, що розповідають про одну і ту саму подію, а також для заголовків новин, що розповідають про різні події.

Для розв'язання поставленої задачі пропонується метод, що складається з наступних кроків:

1) Видалення стоп-слів із обох заголовків.

Стоп-слова (або шумові слова) – це такі слова у тексті, що не несуть змістовного навантаження. Під стоп-словами зазвичай мають на увазі прийменники, частки, деякі інші окремі слова інших частин мови. Так як стоп-слова не несуть змістовного навантаження, їх врахування при обрахунку схожості текстів можуть суттєво спотворювати отримані результати [4].

Кожному із двох текстів ставиться у відповідність одна із доль дводольного графа. При цьому, кожному із слів, що залишилися після видалення стоп-слів, ставиться у відповідність одна вершина графа (якщо слово повторюється декілька разів – йому відповідатиме декілька вершин).

Для кожної пари "слово у першому реченні-слово у другому реченні" знаходиться значення семантичної схожості між ними за допомогою однієї із описаних у розділі "Знаходження семантичної схожості слів". Між відповідними цим словам вершинами проводиться ребро із вагою, рівною значенню схожості.

Для отриманого дводольного графа знаходиться максимальне парування максимальної ваги, тобто розв'язується задача про призначення.

Отримане максимальне значення ціни нормалізується шляхом ділення отриманого результату на розмір меншої долі графу (тобто на розмір максимального парування; так як граф є повним дводольним графом, то ці дві величини співпадають).

Формально кажучи, нормалізоване значення обраховується наступним чином:

$$S = \frac{MatchingWeight}{MatchingSize} \quad (1)$$

Нормалізація потрібна для того, щоб була можливість порівнювати між собою знайдені результати схожості для різних пар текстів. Без цього кроку неможливо переконатись, що метод працює для визначення схожості новинних текстів.

6) Отримане нормалізоване значення вважається значенням семантичної схожості між заголовками новинних текстів.

Побудова, реалізація та тестування алгоритму визначення схожості новинних текстів шляхом порівняння їх заголовків

На основі описаного методу було створено та реалізовано відповідний алгоритм.

Було проведено попарні порівняння між десятьма англійськими заголовками новинних текстів – усього сорок п'ять порівнянь. П'ять з цих заголовків були заголовками до новин, що розповідають про одну й ту саму подію, решта – п'ять заголовків новин, що розповідають про інші різні події.

Для визначення семантичної схожості слів використовувалась метрика Wu-Palmer.

Для розв'язання задачі про призначення було використано метод із використанням максимального потоку максимальної вартості.

Результати тестування показали, що для заголовків новинних текстів, що розповідають про одну й ту саму подію, значення схожості за описаним вище методом було в середньому рівне 0.726. Для пар текстів, в яких йдеться про різні події, середнє значення схожості їх заголовків було рівне 0.285.

Таким чином, можна побачити, що різниця між цими числами є доволі суттєвою (схожість заголовків новинних текстів, що розповідають про різні події, складає приблизно тридцять дев'ять відсотків від схожості новинних текстів, що розповідають про одну й ту саму подію). Отже, розроблений метод дозволяє з високою ймовірністю ідентифікувати, чи розповідають новинні тексти про одну й ту саму подію.

Висновки

Розроблено метод визначення схожості новинних текстів шляхом порівняння їх заголовків із використанням задачі про призначення. На відміну від методів, описаних Courtney Corley і Rada Mihalcea, а також Mihai Lintean і Vasile Rus, цей метод не використовує жадібних евристик. Групування слів із різних заголовків проводиться не жадібним чином, а базуючись на загальному правилі оптимальності. Досягти цього допомогло формулювання задачі про схожість коротких текстів у термінах задачі про призначення.

На основі даного методу розроблено та реалізовано відповідний алгоритм. Отримані результати засвідчують коректність розробленого методу.

Розроблений метод може бути вдосконалено шляхом використання інших метрик для визначення семантичної схожості між словами.

Список літератури

1. Mihai Lintean. Measuring semantic similarity in short texts through greedy pairing and word semantics / Mihai Lintean, Vasile Rus // Proceedings of the Twenty-Fifth International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference .– 2012.– P. 244-249
2. Угорський алгоритм розв'язку задачі про призначення [Електронний ресурс] .– Режим доступу до статті: http://e-maxx.ru/algo/assignment_hungary
3. Задача про призначення. Розв'язок за допомогою min-cost-flow [Електронний ресурс] .– Режим доступу до статті: http://e-maxx.ru/algo/assignment_mincostflow
4. Text Mining, Analytics & More. Стаття All About Stop Words for Text Mining and Information Retrieval [Електронний ресурс] .– Режим доступу до статті: <http://www.text-analytics101.com/2014/10/all-about-stop-words-for-text-mining.html>

Відомості про авторів

Гранік Михайло Олександрович – аспірант напрямку “Інформаційні технології”, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Месюра Володимир Іванович – кандидат технічних наук, професор кафедри комп'ютерних наук Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця.

УДК 004.942 + 629.039.58

О. О. Кряжич¹, О. В. Коваленко²

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ТЕХНОГЕННИМ ТРИТІЄМ

¹Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ²Інститут ядерних досліджень НАН України, м. Київ

Анотація. Запропоновано підхід до моделювання радіаційного забруднення оточуючого середовища радіоізотопом водню – тритієм. При моделюванні враховано особливості тритію. Моделювання виконано за допомогою просторів пов'язаних різномасштабних моделей стану системи. Адекватність визначено за допомогою критеріїв часу та повноти інформації за результатами моніторингу системи, що досліджується. Задача мінімізації помилок при ітераціях вирішується розкладанням функцій за нев'язками. Теоретичні висновки підтверджено комп'ютерним експериментом.

Ключові слова: модель, система, техногенний тритій, інформація, час.

Анотация. Предложен подход к моделированию радиационного загрязнения окружающей среды радиоизотопом водорода - тритием. При моделировании учтены особенности трития. Моделирование выполнено с помощью пространств связанных разномасштабных моделей состояний системы. Адекватность определена с помощью критериев времени и полноты информации по результатам мониторинга исследуемой системы. Задача минимизации ошибок при итерациях решается разложением функций по невязкам. Теоретические основы подтверждены результатами компьютерного эксперимента.

Ключевые слова: модель, система, техногенный тритий, информация, время.

Abstract. The approach to the simulation of radiation pollution by the radioisotope of hydrogen - tritium. In the simulation include the peculiarities of the tritium. The simulation is performed using the associated spaces of different scale models of the States of the system. The adequacy is defined by using the criteria time and completeness of the information on the monitoring results of the system which is investigated. The problem of minimizing the errors in the iteration is solved by a decomposition of functions with residuals. Theoretical bases confirmed by the results of computer experiment.

Key words: model, system, technogenic tritium, information, time.

Вступ

В практичній діяльності із забезпечення функціонування техногенної системи за її регламентом часто виникає задача розрахунку вірогідності використання компонентів системи, що забезпечать функціонування на деякому відрізку часу t без помилок. У разі аварії з викидом радіонуклідів обмеженість інформації про подію часто не дозволяє створити адекватну (безпомилкову) модель системи, а ситуація вимагає термінових оперативних дій в перші хвилини розвитку надзвичайної події. Тривалий час викидам радіоізотопу водню – тритію (Т), – не приділяли значної уваги через низький рівень його проникнення через зовнішні покриви і шкіру, поки не було виявлено, що тритій заміщує атоми водню і здатен опромінювати організм із середини.

Актуальність

Через відсутність моделей, що описують міграцію тритію у різних площинах оточуючого середовища, дії з мінімізації потрапляння техногенного тритію, що викидається під час роботи АЕС і підприємств ядерного синтезу, є малоефективними. Останнім часом спостерігається стрімке забруднення екосистем різних країн світу [1, 2, 3].

Більшість існуючих моделей міграції тритію описують цей процес у водному середовищі «за ланцюгом «сховище відходів – ґрунтові води – водойми – питна вода» [4] та накопичення тритію в технологічних середовищах атомних електростанцій з реакторами ВВЕР [5]. Деякі моделі мають досить спрощене представлення і потребують подальших детальних розрахунків по гідрогеології досліджуваного елемента [6]. Окремі елементи міграції тритію у оточуючому середовищі представлені у [1].

Підвищення рівня накопичення тритію у вигляді оксиду тритію (НТО) та органічно зв'язаного тритію (ОЗТ) в оточуючому середовищі ядерних установок, а також активізація робіт з використання термо-ядерних установок з тритієм, призводять до необхідності дослідження процесів міграції тритію у екосистемі в цілому, а не лише у водних об'єктах. Розвиток атомної енергетики та активізації процесів переробки відпрацьованого ядерного палива призвів до значного збільшення техногенного тритію в гідросфері, атмосфері, у підземних водах.

Дослідники мають відносно незначні досягнення у зазначеній сфері: радіобіологічні властивості тритію вивчені недостатньо, оцінки концентрацій тритію у питній воді за даними та методиками ВООЗ, ЕАТОМ та МАГАТЕ, а також згідно наукових публікацій різних країн світу є протилежними та суперечливими. Існуючі програми моделювання розповсюдження радіонуклідів (наприклад, FEFLOW, Flow3D) не забезпечують можливості моделювання руху тритію.

Актуальність досліджуваної теми полягає в тому, що фізико-хімічні властивості тритію значно відрізняються від властивостей інших радіонуклідів і, навіть, від інших ізотопів водню. Саме тому міграція дейтерію – важкого ізотопу водню, – добре досліджена, на відміну від міграції тритію, за якою ще не представлено цілісної моделі. Унаслідок малої енергії випромінювання, тритій не призводить до зовнішнього опромінювання, проте надходить за харчовими ланцюгами в організм людини з їжею та водою, проникає з повітрям, що вдихається, та швидко замінює атоми водню, бо у процесах хімічного обміну цей радіонуклід має всі властивості атому водню. Тритій, що потрапив усередину клітин організму, спричиняє більші uszkodження, ніж прямий вплив радіації, бо продукти розпаду стають джерелами внутрішнього опромінювання, призводять до uszkodження органічних комплексів та ДНК, порушення кровотворення та виникнення злоякісних утворень. Це потребує визначення нових підходів до моделювання зазначеного радіонукліду з метою створення моделей міграції тритію при радіаційному забрудненні.

Мета

Метою даної роботи є розвиток підходу до моделювання міграції радіоізотопу водню – тритію, з врахуванням критеріїв часу, що дозволить створити перехід від статичних до динамічних моделей просторів станів середовища з мінімізацією помилок через обмеженість інформації про подію шляхом розкладення функцій за нев'язками, що дозволить чітко визначати кордони розповсюдження радіонукліду в залежності від часу з моменту настання небезпечної події.

Задачі

1. Розглянути особливості, які слід враховувати при моделюванні міграції радіоізотопу водню – тритію.
2. Обґрунтувати підхід до визначення адекватності моделі з врахуванням критеріїв часу та повноти інформації, при описуванні стану системи.
3. Запропонувати метод мінімізації помилок при моделюванні радіаційного забруднення техногенним тритієм.

Особливості моделювання міграції тритію

Проблема виявлення і прогнозування розповсюдження тритію в оточуючому середовищі полягає в фізико-хімічних особливостях водню, який знаходиться у оточуючому середовищі та організмі живих істот майже лише у вигляді сполук. Чистий водень у незначній кількості знаходиться в атмосфері і збільшується з висотою. Найпоширенішою сполукою водню є вода.

Водень – H_2 є двоатомним найлегшим газом без кольору, запаху і смаку. Електронна конфігурація атому водню ($1s^1$) визначає його основні властивості. Атом має один електрон з $Z = (-1)$, який обертається по орбіті навколо ядра, що містить один протон з одиничною масою і позитивним зарядом (+1). Процес віддачі електрону ріднить водень з металами, а маленька маса і розмір атомів обґрунтовують його здатність проникати через різні речовини. Фізичні властивості водню найбільш яскраво проявляються особливостями речовин, до яких входять різні ізотопи водню. Зокрема, якщо до води замість найпоширенішого атому 1H , входить 2H , - його ізотоп з двома елементарними частинками (позитивною і незарядженою), то утворюється важка дейтерована вода. Тритій (Т) 3H має в ядрі два нейтрона і один протон, є радіоактивним елементом і, відповідно, утворює тритійовану воду. Тритій може розпадатися до моноатомного газу з випромінюванням β -частинки і антинейтрину із свого ядра.

Накопичення і міграція тритію визначається часом перебування, місцем знаходження і інтенсивністю обміну у повітряних масах, а також концентрацією тритію у стратосфері протягом обмінних процесів. Обмін відбувається взимку та восени у барокліматичних зонах та тропопаузі середніх широт. Щорічно кількість тритію у тропосфері зменшується на 5,5% через радіоактивний розпад та переміщення у вигляді опадів на земну поверхню. Тривалість перебування пари тритію в нижніх шарах тропосфери становить 5-20 діб. Влітку над землею концентрація тритію нижче від 2 км підвищується через випаровування весняних і зимових атмосферних опадів, а над морями на ту ж відстань – зменшується через поглинання тритію водою. Кругообіг атмосферної води через повітряно-океанічний обмін відбувається дуже швидко, тому внаслідок швидкого обміну ізотопів між краплями води й паром, дощі переносять тритій у нижні шари тропосфери [1].

Завдяки високому коефіцієнту дифузії, тритій легко проникає крізь пористі матеріали, а також метали, з утворенням тритидів металів. Різна глибина проникнення β -частинок обумовлена їх різною енергією. Електронна конфігурація тритію аналогічна конфігураціям дейтерію і протію, але хімічні властивості мають деякі відмінності, що обумовлене різницею атомних мас. Ця електронна конфігурація сприяє і легкому обміну з атомом водню органічної молекули. А враховуючи те, що атоми водню містяться майже всюди, атоми тритію легко заміщують атоми протію або дейтерію і утворюють тритійовані молекули.

Тритій може існувати у вигляді молекулярного тритію T_2 , утворювати молекули прототритію HT (третій-газ) з іншими ізотопами, дейтеротритію DT , існувати у формах оксидів тритію DTO , HTO , T_2O ,

ТМе та органічно зв'язаного тритію ОЗТ. Найактивнішими є водні форми. Найбільш розповсюдженою формою існування тритію в оточуючому середовищі є оксид тритію НТО, що утворюється з тритій-газу в результаті обмінних реакцій з водою чи окислення.

Складність моделювання міграції радіонуклідів обумовлена тим, що в атмосфері, де відбувається перенос радіоактивно забруднених часток викиду, процес циркулювання може відбуватися зі значними перепадами. Тому запропоновано [7, 8] перехід до моделювання переносу тритію в інших середовищах за допомогою просторів пов'язаних різномасштабних моделей стану системи з врахуванням того факту, що живий організм мешкає в деякому оточуючому середовищі, на яке впливають різні фактори.

Досліджуючи підприємство, що може стати джерелом викиду тритію в оточуюче середовище, можна визначити деяку ділянку площини R , $\Omega \subset R$, яка представляє собою адміністративно обмежену територію (місто, регіон), $\vec{r} \in R$. Простори для опису стану системи, можна представити наступним чином:

$X = X(\Omega, R^n)$ – простір станів підприємства – множина вектор-функцій $x : \Omega \rightarrow R^n$,

$x(\vec{r}) = (x_1(\vec{r}), \dots, x_n(\vec{r}))$;

$Y = Y(\Omega, R^m)$ – простір станів забруднення оточуючого середовища – тензорний добуток двох векторів стану середовища та стану людини в цьому середовищі, у підсумку чого відбувається композиція двох функцій: $F : Y \rightarrow N$ та $G : F(Y) \subset N \rightarrow Z$. Їх композицією буде функція $G \circ F : Y \rightarrow Z$, яка може бути представлена рівнянням $(G \circ F)(y) = G(F(y))$, $y \in Y$ та описана множиною вектор-функцій $y : \Omega \rightarrow R^m$, $y(\vec{r}) = (y_1(\vec{r}), \dots, y_m(\vec{r}))$;

$V = V(\Omega, R^k)$ – простір станів оточуючого середовища, фактично це – результати моніторингу середовища, що попало під вплив тритію, які можуть бути представлені як множина вектор-функцій $v : \Omega \rightarrow R^k$, $v(\vec{r}) = (v_1(\vec{r}), \dots, v_k(\vec{r}))$;

$W = W(\Omega, R^p)$ – простір небезпечних впливів тритію на оточуюче середовище та людину, які можуть бути представлені як порушення регламенту при оперуванні ресурсами підприємства з виконання поставленого виробничого завдання. Це може бути представлене як множина вектор-функцій $w : \Omega \rightarrow R^p$, $w(\vec{r}) = (w_1(\vec{r}), \dots, w_p(\vec{r}))$.

Простори для опису можливих операцій по мінімізації впливу тритію, що відбуваються у досліджуваній системі, можуть традиційно бути розглянутими, як контрзаходи на подію:

$K(X)$ – простір операцій по відношенню до небезпечного підприємства або окремого підрозділу, де $a = (a_1, \dots, a_r) \in K(X)$;

$K(V \times Y)$ – простір операцій по відношенню до оточуючого середовища, включаючи тензорний добуток двох векторів стану середовища, що забруднене тритієм, та стану людини в цьому середовищі, де $b = (b_1, \dots, b_n) \in K(V \times Y)$;

$\varphi \in \Phi$ – простір інших критеріїв, що мають суттєвий вплив на систему, що досліджується.

Точки просторів операцій $K(X)$, $K(V \times Y)$ у параметричному вигляді задають вплив, який здійснюється на систему. Компоненти векторів можуть бути представлені числовими або логічними змінними. Приклади означення просторів наступне:

$x \in X$ – вплив небезпечного підприємства на оточуюче середовище за кожною компонентою забруднення тритієм;

$y \in Y$ – розсіювання тритію в середовище з впливом на людину.

Зв'язки між просторами визначатимуться наступним чином:

$F : X \times V \rightarrow Y$ визначає стан забруднення середовища за результатами моніторингу стану середовища та стану підприємства;

$J : X \times Y \rightarrow W$ визначає збиток в залежності від стану середовища та стану об'єкта.

Аналогічно будуються й інші зв'язки досліджуваних просторів. А власне визначення величин критеріїв L можна здійснити за моделлю:

$$L : X \times V \times K(X) \times K(V \times Y) \times K(F) \times K(J) \times W \rightarrow \Phi \xrightarrow{U} R, \quad (1)$$

де R виступає керованим режимом функціонування підприємства, на повернення до якого і спрямовані зусилля осіб, що приймають рішення за ситуацією. Частково наведений підхід був представлений у [7-8, 10].

Підхід до визначення адекватності моделі з врахуванням критеріїв часу та повноти інформації

Функціонування складної системи характеризується описом ситуацій (1), які показують її стан, наприклад, S_1, S_2, \dots, S_n , де кожен стан S_n заданий конкретними показниками процесів функціонування системи (Y_n, X_n, U_n), впливом зовнішнього середовища та факторів ризику Ξ_k :

$$S_n = \{(Y_n \in Y) \wedge (X_n \in X) \wedge (U_n \in U) \wedge (\Xi_n \in \Xi)\}, \quad (2)$$

де значення показника в момент часу $T_n \in T^\pm$ визначається з відношення:

$$\begin{aligned} Y_s &= \hat{Y}[T_s]; X_s = \hat{X}[T_s]; U_s = \hat{U}[T_s]; \Xi_s = \hat{\Xi}[T_s]; \\ T_s &= \{t_s | t_s > t_{s-1}\}; T_s \in T^\pm; T^\pm = \{t | t^- \leq t \leq t^+\}; \\ Y &= (Y_i | i = \overline{1, m}); X = (X_j | j = \overline{1, n}); \\ U &= (U_q | q = \overline{1, Q}); \Xi = (\Xi_p | p = \overline{1, P}), \end{aligned} \quad (3)$$

де Y – множина зовнішніх параметрів Y_i , яка утримує всі показники якісного функціонування системи, у тому числі – безпечного функціонування;

X – множина внутрішніх параметрів X_j , до складу якої входять конструктивні, технологічні та інші показники;

U – множина керуючих параметрів U_q ;

Ξ – множина параметрів впливу оточуючого середовища Ξ_p та факторів ризику;

$\hat{Y}[T_s], \hat{X}[T_s], \hat{U}[T_s], \hat{\Xi}[T_s]$ – множина значень відповідних параметрів в час T_s ;

T^\pm – заданий або прогнозований відрізок часу функціонування системи. Для дослідження зв'язків між просторами стану системи у часі слід в моделі, що будується, представити цей відрізок як $t + \Delta t$, з врахуванням можливих змін впливу факторів різномірних середовищ за час Δt .

Наскільки адекватною буде модель переносу тритію, представлена через простори пов'язаних різномасштабних моделей стану, можна визначити через аналіз впливу компонентів системи за критерієм «успіх-відмова». У випадку, що розглядається, під «успіхом» мається на увазі створення моделі певного кругообігу тритію в оточуючому середовищі без втрати окремих компонентів системи, під «відмовою» – адекватність моделі лише в якомусь або декількох просторах, що описують систему.

Індикатор успіху для деякого компоненту – двійкова випадкова змінна X_i , яка вказує статус компонента, що досліджується. $X_i = 1$ є успішною дією компоненту в роботі моделі. Якщо $X_i = 0$, то компонент втрачено, тобто досліджуваний компонент став причиною відмови моделі. Вектор статусу системи – вектор складових індикаторів статусу:

$$X = (X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (4)$$

Є 2_n можливості реалізації вектора (4) у часі для опису адекватності моделі, що описує систему переносу тритію, через статус успіху або відмови:

$$X(t) = (X_1, X_2, \dots, X_n, t) \quad (5)$$

Тобто, в якийсь момент часу модель використовує всі означені компоненти з метою отримання реальної картини стану середовища, що моделюється, або відмови якогось компоненту та отримання хибної картини стану системи.

Враховуючи прийнятну структуру системи, що представлена просторами пов'язаних різномасштабних моделей стану, можна визначити, наскільки вона є адекватною. Адекватність p_i є вірогідністю того, що компоненти моделі підібрані і діють правильно на визначеному відрізку часу. Вірогідність відмови q_i є вірогідністю того, що компоненти різномасштабних моделей підібрані невірно і у випадку змін модель не зможе бути адаптованою на визначеному відрізку часу. Приймаємо умову, що компоненти, які впливають на систему, незалежні. Тоді вірогідність адекватності моделі можна представити наступним чином:

$$p_i(t) = P(t)\{X_{i+\Delta t} = 1\},$$

$$q_i(t) = P(t)\{X_{i+\Delta t} = 0\} = 1 - p_{i+\Delta t}(t). \quad (6)$$

Виходячи з виразу (3) можна зробити висновок, що є можливість представити міграцію тритію за всіма різномірними середовищами екосистеми з врахуванням його фізико-хімічних властивостей у будь-якій точці визначеного часового інтервалу.

Розглядаючи екосистему як деяку складну модель S , можна зазначити, що при її описі використовується і переробляється декілька видів інформації, в тому числі – інформація, що змінюється в часі:

$$J(S, t) = \{J_1(S, t), J_2(S, t), \dots, J_r(S, t)\}. \quad (7)$$

Оскільки адекватність може бути представлена, як функція часу і інформації, що отримується за цей час, то роботу цієї моделі можна представити як задачу моделювання вірогідності розвитку деякої ситуації з переносу тритію на окремі, чітко означеній території, в часі [9].

Загальне рішення цієї задачі буде складатися з вирішення ряду часткових задач, зокрема – ітерації з обробки кожного виду інформації $J_k(S, t)$, $k = 1, \dots, r$ на відрізку часу $[t_1, t_2]$.

Приймаємо, що ітерації з обробки інформації $J'(S, t)$, $J'(S, t) = J_k(S, t)$, $k = 1, \dots, r$ мають вигляд:

$$J'(S, t) = \|i(S_l, t)\|_{l=1}^p, \quad (8)$$

де $i(S_l, t)$ – інформація, що отримана з джерела інформації S_l , $l = 1, \dots, p$.

Враховуючи, що дані моніторингу про стан оточуючого середовища можна отримувати безперервно, можна прийняти, що модель S є адекватною в момент часу t , якщо всі джерела інформації S_l , $l = 1, \dots, p$ надають інформацію, що знаходиться в деякій припустимій області O_l . У разі, якщо хоча б одне джерело інформації S_l надає дані, що виходять за межі області, що досліджується, можна казати, що побудована модель не є адекватною.

Таким чином, адекватність побудованої моделі S в момент часу t буде спостерігатися лише у випадку, коли всі джерела інформації моніторингу реальної системи не будуть виходити за межі відповідних припустимих областей, що використані при створенні моделі.

Досліджуючи зміни в часі показників моніторингу від джерел інформації, можна зробити деякі прогнози відносно адекватності моделі, що побудована.

Нехай припустима область змін показників джерел інформації S_l за результатами моніторингу системи представлена колом (сферою) O_l з центром в деякій точці M_l . Нехай радіус цього кола буде R_l . Якщо в деякий момент часу t' інформація, яка поставляється джерелом S_l , буде відповідати центру інформаційного кола O_l , то вірогідність P_l адекватності моделі S , згідно джерелу S_l , буде оцінена в одиницю. Наближення інформаційних даних до межі припустимої області O_l буде визначати зменшення вірогідності адекватності моделі S . На самій межі припустимої області цю вірогідність приймемо такою, що дорівнює нулю. Час t_l^0 , за який $P(S_l, t) = 0$ буде критичним за джерелом S_l . Якщо прийняти до уваги всю сукупність джерел інформації про адекватну роботу моделі S , то критичним часом роботи моделі S можна вважати:

$$t_{\text{крит}} = \min(t_1^0, t_2^0, \dots, t_p^0), \quad (9)$$

Виходячи із запису (9), можна визначити вірогідність настання критичного стану (відмови) моделі S :

$$P(S, t) = \min(P_1(S, t), P_2(S, t), \dots, P_p(S, t)). \quad (10)$$

Визначення вірогідності настання критичного стану системи за (10) є ітераційним процесом, а модель (1) вимагає з кожним кроком отримувати більш точне наближення з мінімізацією погрешності від обчислень для створення моделі в режимі реального часу. У цьому випадку може бути застосовано підхід розкладання функцій за нев'язками.

Метод мінімізації помилок при моделюванні

Розкладання функцій за нев'язками дозволяє отримати оптимальні по точності ітераційні формули довільного порядку збіжності, узгоджені з використовуваними початковими наближеннями, як за раху-

нок використання найкращих наближень, так шляхом використання спеціальних норм погрішностей, що враховують структуру нев'язки.

Враховуючи, що моделювання стану системи через просторів пов'язаних різномасштабних моделей у більшості випадків виступатиме ітеративним процесом, бо біоміграція тритію є складною та малодослідженою, тож моделювання міграції буде проходити в кожній фазі цикл: планування – реалізація – перевірка – оцінка. А дуже важливим у використанні розкладань функцій по нев'язках являється та обставина, що вони являються досить ефективним способом для розпаралелювання ітеративних процесів. Наприклад, величина нев'язки $Z_0 = F(x, y_0)$ характеризує близькість початкового наближення y_0 до шуканої функції $y = f(x)$. Таким чином параметр y_0 виступає в ролі елементу адаптації до умов застосування. Чим ближче y_0 до шуканої функції, тим величина нев'язки є ближчою до нуля.

У ряді випадків, з метою зменшення погрішностей округлення (особливо при численні великих функцій), є доцільним не робити згортку розкладань за нев'язками (приведення загальних членів), а залишити ці розкладання в початковому вигляді.

Враховуючи поставлену задачу, розглянемо одну з функцій множини вектор-функцій $x: \Omega \rightarrow R^n$, $x(\vec{r}) = (x_1(\vec{r}), \dots, x_n(\vec{r}))$ простору станів підприємства $X = X(\Omega, R^n)$.

Нехай функція задана в неявному виді:

$$F(x, y) = 0 \quad (11)$$

Розглянемо нев'язку:

$$Z_0 = F(x, y_0) \quad (12)$$

де – y_0 наближення функції на заданому інтервалі $[a, b]$ і $\lim_{y_0 \rightarrow y} Z_0 = 0$. Величина погрішності нев'язки може бути отримане шляхом підставки у вираз (12) величини $y_0 = y(1 + \delta_0)$ або $y_0 = y + \Delta_0$, де δ_0, Δ_0 відповідно відносна і абсолютна погрішності.

Запишемо рівняння (11) у вигляді

$$\Phi(x, y_0, z_0) = 0. \quad (13)$$

Запропонуємо, що функція $\Phi(x, y_0, z_0)$ визначена і безперервна в області

$$D = \{x^0 - \Delta_1, x^0 + \Delta_1, y_0^0 - \Delta_2, y_0^0 + \Delta_2, z_0^0 - \Delta_3, z_0^0 + \Delta_3\},$$

- з центром в точці (x_1^0, y_1^0, z_0^0) ;
- приватні похідні $\Phi'_x, \Phi'_y, \Phi'_z$ існують і безперервні в області D;
- функція Φ в точці (x^0, y^0, z_0^0) перетворюється на нуль;
- приватна похідна $\Phi'_x(x^0, y_0^0, z_0^0) \neq 0$.

При цих припущеннях за теоремою про неявну функцію від декількох змінних рівняння (13) визначає x як однозначну функцію від y_0, z_0 , тобто

$$x = \varphi(y_0, z_0) \quad (14)$$

При $y_0 = y_0^0, z_0 = z_0^0$ ця функція набуває значення $x^0 = \varphi(y_0^0, z_0^0)$ і окрім цього, функція $\varphi(y_0, z_0)$ безперервна по сукупності своїх аргументом і має безперервні приватні похідні $\varphi'_{y_0}, \varphi'_{z_0}$.

Грунтуючись на рівнянні (11), можна записати рівність

$$f(x) = f[\varphi(y_0, z_0)],$$

де – $f(x) \equiv y$ шукана функція; $f[\varphi(y_0, z_0)]$ – суперпозиція функцій f і φ .

Розклавши функцію $f[\varphi(y_0, z_0)]$ за ступенями z_0 в межах точки $M_l(y_0, 0)$, враховуючи (10) в кратний ряд Тейлора, отримаємо наступний ряд нев'язок:

$$\begin{aligned} y &= f[\varphi(y_0, 0)] + \frac{\partial}{\partial z_0} (f[\varphi(y_0, z_0)]|_{z_0=0}) z_0 + \\ &+ \frac{1}{2!} \frac{\partial^2}{\partial z_0^2} (f[\varphi(y_0, z_0)]|_{z_0=0}) z_0^2 + \dots + \\ &+ \frac{1}{k!} \frac{\partial^k}{\partial z_0^k} (f[\varphi(y_0, z_0)]|_{z_0=0}) z_0^k + \dots \end{aligned} \quad (15)$$

Відмітимо, що члени розкладання в ряд Тейлора функції $f[\varphi(y_0, z_0)]$ з похідними по y в точці $M_l(y_0, 0)$ дорівнюють нулю, оскільки множаться на величину $(y - y_0)^k|_{y=y_0} = 0$.

В деяких випадках для отримання ряду нев'язок у виді

$$y = \psi(y_0) \sum_{k=0}^{\infty} a_k t_0^k, \quad y = y_0 + \sum_{k=1}^{\infty} b_k t_0^k \quad (16)$$

робиться заміна $t_0 = H(y_0, z_0)$. В окремому випадку можливі рівності $t_0 \equiv z_0$, $\psi(y_0) \equiv y_0$.

Для збіжності отриманого розкладання до функції $f(x)$ в межах точки $M_l(y_0, 0)$ необхідно і достатньо (7), щоб функція $f[\varphi(y_0, z_0)]$ мала область D безперервних приватних похідних будь-якого порядку і $\lim_{n \rightarrow \infty} R_n = 0$, де R_n – залишковий член кратного ряду Тейлора (15).

При значенні y_0 , що дорівнює, розкладання (15) і (16) перетворюються на звичайне розкладання функції в ряд Тейлора.

Розглянемо декілька окремих випадків розкладання в ряд нев'язок для часто вживаних в практичних застосуваннях нев'язок.

Нехай задана нев'язка функції $y = f(x)$ у вигляді $z_0 = x - f^{-1}(y_0)$, де $f(y)$ – функція, зворотна до $f(x)$. При $y_0 = y$ отримуємо $z_0 = 0$. В цьому випадку $x = z_0 + f^{-1}(y_0)$, звідки $f(x) = f(z_0 + f^{-1}(y_0))$

Розклавши функцію $f(z_0 + f^{-1}(y_0))$ в ряд Тейлора, отримаємо

$$f(x) = f(f^{-1}(y_0)) + f^{(1)}(f^{-1}(y_0)) z_0 + \frac{f^{(2)}(f^{-1}(y_0))}{2!} z_0^2 + \frac{f^{(3)}(f^{-1}(y_0))}{3!} z_0^3 + \dots$$

У іншому виді з урахуванням того, що $f(f^{-1}(y_0)) = y_0$, $f^{-1}(y_0) = x_0$, отримаємо

$$f(x) = y_0 + y^{(1)}(x_0) z_0 + \frac{y^{(2)}(x_0)}{2!} z_0^2 + \frac{y^{(3)}(x_0)}{3!} z_0^3 + \dots \quad (17)$$

В деяких випадках виникає необхідність обчислювати функцію $f^{-1}(x)$, взаємно-зворотну до функції $f(x)$. Взявши за нев'язку $z_0 = x - f(y_0)$, де y_0 – наближене значення функції $f^{-1}(x)$ на заданому інтервалі, отримаємо $x = z_0 + f(y_0)$. З останнього рівняння можна записати:

$$\begin{aligned} f^{-1}(x) &= f^{-1}(z_0 + f(y_0)) = y_0 + \frac{1}{f^{(1)}(y_0)} z_0 - \frac{f^{(2)}(y_0)}{2!(f^{(1)}(y_0))^3} z_0^2 + \\ &+ \frac{3(f^{(2)}(y_0))^2 - f^{(1)}(y_0)f^{(3)}(y_0)}{3!(f^{(1)}(y_0))^5} z_0^3 - \\ &- \frac{15(f^{(2)}(y_0))^3 - 10f^{(1)}(y_0)f^{(2)}(y_0)f^{(3)}(y_0) + (f^{(1)}(y_0))^2 f^{(4)}(y_0)}{4!(f^{(1)}(y_0))^7} z_0^4 + \dots \end{aligned} \quad (18)$$

Розкладання (17) і (18) з успіхом можуть бути використані для обчислення ряду елементарних і спеціальних функцій як безпосередньо з використанням розкладання в ряд нев'язок, так і у вигляді ітераційних формул для моделей (1) та (10).

Розкладання такого типу з успіхом можуть бути використані для отримання раціональних наближень і обчислення деяких елементарних і спеціальних функцій у моделях.

Результати комп'ютерного експерименту

До прогнозування розповсюдження тритію на території Інституту ядерних досліджень НАН України (м. Київ), та за її межі, за основу взяті дані щодо питомої активності тритію у талій воді снігового покриву за десять років – з 2004 р. по 2013 р. включно, за найменшим та найбільшим показником, з врахуванням максимальних, мінімальних і середніх відхилень по всім замірам (табл. 1), а також розраховані дані на прогнозний період.

Таблиця 1 – загальнені показники питомої активності тритію у талій воді снігового покриву

Показник	Питома активність, Бк/л	Відхилення макс., Бк/л	Відхилення мін., Бк/л	Середнє відхилення, Бк/л	Показник реперної точки, Бк/л
№	X	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
1	334,0	91,2	47,6	74,5	69,4
2	179,3	91,2	47,6	74,5	33,0
3	634,8	51,3	23,5	24,1	111,6
4	81,3	51,3	23,5	24,1	66,8
5	1431,2	53,5	22,2	30,3	70,6
6	206,2	53,5	22,2	30,3	42,0
7	1267,0	87,6	16,2	23,5	52,6
8	15,8	87,6	16,2	23,5	10,0
9	748,0	40,3	24,2	30,5	95,7
10	285,7	40,3	24,2	30,5	91,1
11	226,3	12,2	7,9	9,8	74,9
12	99,2	12,2	7,9	9,8	61,9
13	140,0	6,0	4,0	5,0	52,0
14	78,0	6,0	4,0	5,0	44,0
15	169,5	6,8	3,8	4,3	59,4
16	64,3	6,8	3,8	4,3	47,4
17	602,2	15,7	4,1	5,9	56,5
18	73,4	15,7	4,1	5,9	44,1
19	109,2	5,2	4,1	4,2	49,5
20	73,7	5,2	4,1	4,2	39,1
21	-	91,2	47,6	5,9	56,5
22	-	5,2	3,8	5,9	44,1
23	-	51,3	23,5	4,2	49,5
24	-	15,7	4,1	4,2	39,1

У даному випадку, тала вода снігового покриву дає найбільш змістовну картину щодо міграції тритію в оточуючому середовищі: при розтаненні снігу частина ізотопів тритію залишається в ґрунті, частина проникає до підземних вод, а частина піднімається в атмосферу при випаровуванні, що дозволяє побудувати приблизні зони забруднення тритієм підземних вод, ґрунту та повітря.

Приведемо специфікацію моделі до наступного вигляду:

$$X = a_0 + a_1 \cdot Y_1 + a_2 \cdot Y_2 + a_3 \cdot Y_3 + a_4 \cdot Y_4 \quad (19)$$

та знайдемо оцінки параметрів моделі з розрахунками оцінок регресійних коефіцієнтів за формулою:

$$A = (Y'Y)^{-1} \cdot Y'X, \quad (20)$$

де Y' - матриця, транспонована до Y .

В результаті за моделлю (19) було отримано функцію регресії:

$$Y = -127,1 + 2,5 \cdot X_1 + 6,2 \cdot X_2 + 3,2 \cdot X_3 + 2,2 \cdot X_4 \quad (21)$$

Подальша перевірка адекватності моделі за наведеним підходом показує відносно незначну похибку, обумовлену тим, що з усіх замірів беруться лише найбільші та найменші показники, а також дані з реперних точок, що дає досить великий розкид значень показників.

За отриманою функцією (21) були знайдені точкові та інтервальні прогнози питомої активності тритію у талій воді снігового покриву при заданих показниках на перспективу (табл. 2).

Таблиця 2 – Прогноз питомої активності тритію у талій воді снігового покриву на перспективу.

Показник,	Питома активність, Бк/л	Відхилення макс., Бк/л	Відхилення мін., Бк/л	Середнє відхилення, Бк/л	Показник реперної точки, Бк/л
№	(X)	(Y_1)	(Y_2)	(Y_3)	(Y_4)
21	251,314	91,2	47,6	5,9	56,5
22	25,185	5,2	3,8	5,9	44,1
23	124,798	51,3	23,5	4,2	49,5
24	36,731	15,7	4,1	4,2	39,1

Для прогнозних розрахунків з метою отримання певного інтервалу, в якому можуть перебувати показники, взяті максимально і мінімально отримані відхилення за роками досліджень, а також середні показники, отримані у останні роки досліджень. На цій основі змодельовані дані можна співставити з даними реальних замірів за 2014 р. та максимальними і мінімальними значеннями протягом року питомої активності тритію у талій воді снігового покриву за весь період спостережень (табл. 3).

Таблиця 3 Порівняння змодельованих показників з даними моніторингу.

Показники	Прогноз, Бк/л	Факт 2014, Бк/л
макс. 1	251,3	249,5
макс. 2	124,8	-
мін. 1	25,2	21,2
мін. 2	36,7	-

Як видно з таблиці, прогнозовані значення питомої активності тритію у талій воді снігового покриву дуже близькі до фактичних показників вимірів у 2014 р.

Висновки

1. Роботу будь-якої системи можна представити як завдання моделювання вірогідності розвитку певної ситуації в часі. При цьому кожен вид інформації оброблятиметься дискретно, представляючи картину розвитку ситуації у вигляді певного стану системи на часовому інтервалі. Інформація розглядається в межах деякої припустимої області, вихід за межі якої означає використання не істотної для цієї системи інформації, що може призвести до помилки.

2. Розкладання функцій за нев'язками може бути використане не лише для отримання ІФ високого порядку, але і для безпосереднього прорахунку функцій, отримання таблично-алгоритмічних методів табулювання функцій, організації динамічного режиму рахунку для масиву даних, а також використані в адаптивних методах.

3. Розрахунок питомої активності тритію у талій воді снігового покриву за максимальними та мінімальними значеннями вимірів минулих років за наведеним у статті підходом дозволив отримати відносно точний прогноз, що підтвержено реальними даними.

Список літератури

1. Долін В.В., Пушкарьов О.В., Шраменко І.Ф. та ін. Тритій у біосфері. – К.: Науково-виробниче підприємство «Видавництво «Наукова думка» НАН України», 2012. – 224 с.
2. Коваленко Г.Д., Седнев В.А., Турбаєвський В.В. Накопичення і міграція тритію в районах розташування АЕС з реакторами ВВЕР // Ядерна і радіаційна безпека. – 2004. – №2. – С. 47-53.
3. Le tritium [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.villesurterre.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=112&Itemid=170
4. Кабанов В.И., Кочетков В.А., Фомин Г.В., Вайзер В.И., Веселов В.М. К обоснованию контроля органически связанного трития в окружающей среде ядерных установок // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез. – 2012. – Вып. 1. – С. 17-22.
5. Турбаєвський В.В. Міграція тритію в підземних водах у районі розташування Запорізької АЕС [Текст] : Автореферат / В. В. Турбаєвський. – Х.: Український науково-дослідний інститут екологічних проблем, 2006. – 20 с.
6. Eyges L., The Classical Electromagnetic Field, Dover Publications, New York, 1972. – 432 P.
7. Коваленко О.В. Моделювання події радіоактивного забруднення тритієм / О.В. Коваленко // Технічні науки та технології : науковий журнал / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2015. – № 1 (1). – С. 199-205.
8. Кряжич О.О., Коваленко О.В. Моделювання події радіаційного забруднення локальних територій в умовах невизначеності // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, Київ. нац. Ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору; редкол. О.С. Волошкіна, О.М. Трофимчук (голов. ред.) [та ін.]. – К., 2015. – Вип. (3) 19. – С. 100-112.
9. Трофимчук О.М. Забезпечення життєздатності інформації в часі при її обробці / Олександр Миколайович Трофимчук, Ольга Олександрівна Кряжич // Праці VII-а міжнародної школи-семінару «Теорія прийняття рішень». Ужгород, 29 вересня – 4 жовтня 2014 р. – С.251-252.
10. Коваленко О.В. Підходи до моделювання забезпечення безпеки від джерел техногенного тритію / О.В. Коваленко // Штучний інтелект : науковий журнал. – К., 2015, - № 1-2(67-68) – С. № 1-2(67-68) – С. 99-105.

Відомості про авторів

Кряжич Ольга Олександрівна – к. т. н., старший науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ.

Коваленко Олександр Васильович – к. т. н., в.о. завідувача відділом ядерної фізики, завідувач лабораторією ФТПДЯВ Інституту ядерних досліджень НАН України.

УДК 004.93'1

Т. Б. Мартинюк, А. В. Кожем'яко, Л. В. Крупельницький,
О. М. Перебейніс, О. С. Безкрєвний**РЕАЛІЗАЦІЙНІ МОДЕЛІ МАТРИЧНОГО ОБЧИСЛЮВАЧА
ДЛЯ КЛАСИФІКАТОРА БІОМЕДИЧНИХ ДАНИХ**

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Анотація. Розглянуто особливості структури класифікатора об'єктів класичного типу, показано актуальність модернізації блока класифікації в його складі. Наведено структурну схему багатофункціонального обчислювача у вигляді матричної однорідної структури для оброблення матриці елементів дискримінантних функцій за методом різницевих зрізів. Показано два варіанти побудови рядка комірок однорідної структури з паралельним і послідовним записом даних. Проаналізовано результати «розміщення» у програмованій логічній ІС наведених двох варіантів побудови однорідної структури.

Ключові слова: класифікатор об'єктів, алгоритм класифікації, різницевий зріз, дискримінантна функція, багатофункціональний матричний обчислювач.

Аннотация. Рассмотрены особенности структуры классификатора объектов классического типа, показана актуальность модернизации блока классификации в его составе. Приведена структурная схема многофункционального вычислителя в виде матричной однородной структуры для обработки матрицы элементов дискриминантных функций методом разностных срезов. Показаны два варианта построения строки ячеек однородной структуры с параллельным и последовательным способом записи данных. Проанализированы результаты «размещения» в программируемой логической ИС приведенных двух вариантов построения однородной структуры.

Ключевые слова: классификатор объектов, алгоритм классификации, разностный срез, дискриминантная функция, многофункциональный матричный вычислитель.

Abstract. Features of structure of classical type classifier of objects were considered, the relevance of upgrading the classification unit in its structure was shown. Block diagram of a multifunctional calculator as a homogeneous matrix of discriminant functions by method of difference slices was shown. Two variants of the row of cells homogeneous structure with parallel and serial data recording were shown. Results of "accommodation" in the programmable logic IC of two variants of edification homogeneous structure were analyzed.

Keywords: Classifier of objects, classification algorithm, difference cut, discriminant function, multi-functional matrix calculator.

Вступ

Одним з базових функціональних компонентів багатьох інтелектуальних систем є класифікатор об'єктів розпізнавання [1, 2]. Це стосується, в першу чергу, систем технічного та медичного діагностування, систем керування мобільними роботами, систем захисту інформації тощо [3].

Актуальність

Процедура класифікації у загальному вигляді реалізується інтелектуальним інформаційним каналом або системою розпізнавання (класифікатором). На вхід класифікатора подається інформація про ознаки запропонованих об'єктів, а на виході відображається інформація про класи (узгаальнені образи), до яких відносяться об'єкти, що розпізнаються [1-4]. Одним з важливих підходів для розв'язання задачі класифікації у медичній діагностиці є використання дискримінантних функцій (ДФ), за максимумом однієї з яких визначається найбільш вірогідний діагноз захворювання [5-7].

Мета

Метою даної роботи є аналіз результатів моделювання на ПЛІС структури матричного обчислювача для класифікатора біомедичних даних, що використовує альтернативний підхід до оброблення елементів ДФ.

Особливості структури класифікатора

Відомий процесор для розпізнавання образів (рис.1) класичного типу [8], який в подальшому розглядається як класифікатор, містить вхідний блок, блок впорядкування навчальних сигналів, блок зважування, блок класифікації, блок формування цілочисельних ваг. Блок класифікації у цьому випадку відіграє основну роль, оскільки результатом його функціонування є вектор класифікації.

Класифікатор (рис.1) працює в двох режимах: режимі навчання (адаптації) та робочому режимі [8]. В режимі навчання (адаптації) через вхідний блок послідовно подаються значення компонент навчальних векторів X_k , які помножуються на вагові коефіцієнти w_{ij} у блоці зважування. На першому кроці вагові коефіцієнти w_{ij} мають початкові значення, а в процесі навчання послідовно налаштовуються за допомогою блока формування цілочисельних ваг. У блоці класифікації обробляються зважені навчальні сигнали $w_{ij}x_{is}$, які подаються на його входи у вигляді матриці розміром $m \times n$, де m – кількість класів образів, n –

розмірність вхідних векторів. В цьому режимі задіяні зв'язки між вхідним блоком, блоком зважування, блоком класифікації, блоком впорядкування навчальних сигналів та блоком формування цілочисельних ваг, але не використовуються виходи вектора P класифікації у блоці класифікації.

В робочому режимі на інформаційні входи подається досліджуваний n -вимірний об'єкт (образ) Z , у блоці зважування виконується множення кожного елемента вектора Z на відповідні йому цілочисельні значення ваг, які у вигляді матриці ваг W розміром $m \times n$ були сформовані у режимі навчання і зберігаються у блоці зважування. Блок зважування видає зважений вхідний вектор у вигляді матриці A^0 розміром $m \times n$ на входи блока класифікації, який формує m -вимірний сигнал P належності вхідного об'єкта Z до певного класу з m визначених класів. Сигналом закінчення процесу класифікації є наявність одиничного сигналу «Кінець». У цьому режимі задіяно зв'язки між вхідним блоком, блоком зважування і блоком класифікації, а результат зчитується з виходів вектора P блока класифікації [8].

На рис.2 зображено структурну схему блока класифікації [8,9], який має у своєму складі багатofункціональний обчислювач, який виконує функції запису даних, одночасного вилучення мінімального елемента у стовпцях та транспозиції нулів у рядках згідно з обробленням матриці елементів ДФ за різнице-вими зрізами (РЗ) [10,11]. Отже, саме обчислювач реалізує новий підхід до оброблення ДФ з визначенням максимальної серед них і його структурна організація представляє інтерес при реалізації на новітній елементній базі – ПЛІС [12].

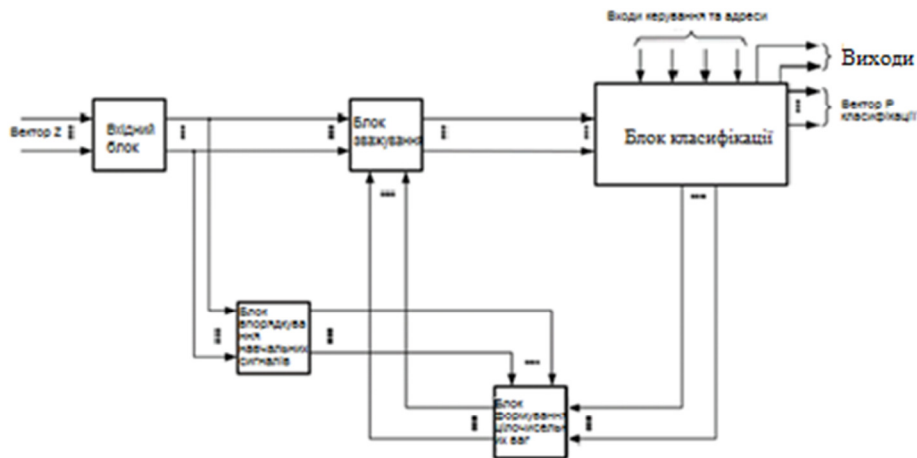


Рисунок 1 - Структурна схема класифікатора

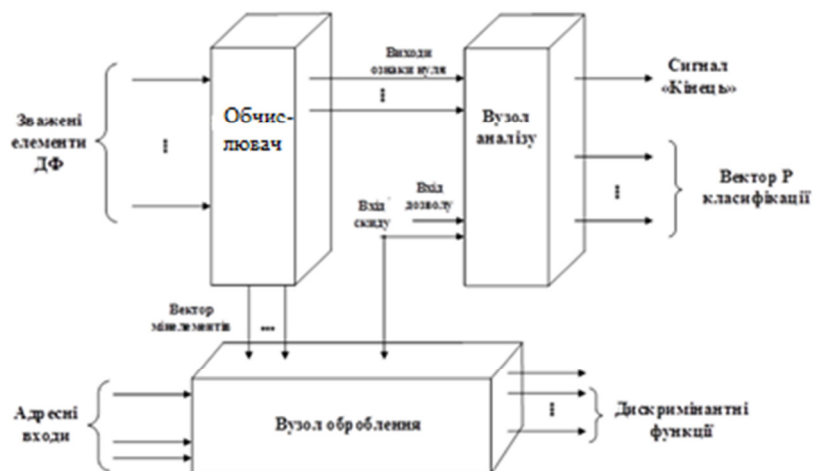


Рисунок 2 – Структурна схема блока класифікації

Багатофункціональний обчислювач

У цьому блоці реалізується відомий спосіб класифікації за ДФ [5,6]. Вирішальне правило в цьому випадку має вигляд [2,7]:

$$p_l = \left\{ 1 \mid \max g_l(Z), l = \overline{1, m} \right\} \Rightarrow Z \in C_l, \quad (1)$$

$$g_l(Z) = \sum_{j=1}^n w_{lj} \cdot z_j, \quad (2)$$

де w_{lj} - відповідний елемент матриці ваг \mathbf{W} ; z_j - j -й компонент вхідного вектора Z ; C_l - l -й клас; $g_l(Z)$ - l -та ДФ, $l = \overline{1, m}$.

Початковими даними для алгоритму класифікації за ДФ є: вхідний образ Z у вигляді n - вимірного вектора $Z=(z_1, \dots, z_n)$; матриця ваг $\mathbf{W}=\|w_{ij}\|$, $i=\overline{1, m}$, $j=\overline{1, n}$; матриця елементів дискримінантних функцій A^0 розміром $m \times n$ вигляду [10, 11]:

$$A^0 = \begin{pmatrix} a_{1,1}^0 & \dots & a_{1,j}^0 & \dots & a_{1,n}^0 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i,1}^0 & \dots & a_{i,j}^0 & \dots & a_{i,n}^0 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{m,1}^0 & \dots & a_{m,j}^0 & \dots & a_{m,n}^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1^0 \\ \vdots \\ A_i^0 \\ \vdots \\ A_m^0 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

причому

$$a_{i,j}^0 = w_{ij} \cdot z_j. \quad (4)$$

Алгоритм класифікації образів за різницевиими зрізами (РЗ) має такий вигляд [10].

Крок 1. У кожному стовпці матриці A^{t-1} , починаючи з матриці A^0 , виконують визначення мінімального елемента вигляду

$$\min_j^{t-1} = \min_i a_{i,j}^{t-1}, j = \overline{1, n}, t = \overline{1, N}, \quad (5)$$

де N - кількість циклів оброблення.

Крок 2. Виконують паралельне віднімання j -го мініелемента від кожного i -го елемента відповідного j -стовпця матриці A^{t-1} , де $t=\overline{1, N}$ і формують невпорядковану матрицю вигляду \bar{A}^t , причому

$$\bar{a}_{i,j}^t = a_{i,j}^t - \min_j^{t-1}. \quad (6)$$

Далі перевіряють дві умови: умову наявності m нульових рядків, тобто

$$\forall \bar{A}_i^t = 0, t = \overline{1, N} \quad (7)$$

і умову появи поточного k -го нульового рядка

$$\bar{A}_k^t = 0, k = \overline{1, m} \quad (8)$$

При виконанні умови (7) процес оброблення закінчують. Перехід до кроку 4.

Виконання умови (8) свідчить про те, що у деякому циклі t у двовимірній матриці \bar{A}^t з'являється деякий k -й рядок з усіма нульовими елементами. Цей рядок вказує на k -й масив чисел A_k^0 (3) ($k=\overline{1, m}$), який є мінімальним за сумою своїх елементів серед початкових масивів A_1^0, \dots, A_m^0 .

Нульовий k -й рядок в подальшому обробленні участі не приймає і значення його елементів не беруть до уваги при визначенні мінеlementів кожного стовпця поточної матриці A^t .

Крок 3. Після перевірки виконання умов (7), (8) для всіх рядків поточної матриці A^t паралельно виконують транспозицію елементів з просуванням праворуч усіх нульових елементів вигляду

$$A^t = \text{Tr}(A^t), \quad (9)$$

тобто формують впорядковану матрицю A^t , для якої повторюють цикли оброблення, які складаються з вищезазначеної послідовності дій, починаючи з визначення мінеlementа (5) у кожному стовпці поточної матриці A^t (крок 1).

Крок 4. Завершення процесу. Величина N дорівнює кількості циклів оброблення, виконаних в процесі пошуку максимального масиву чисел серед масивів A^0, \dots, A^m

Отже, в обчислювачі необхідно реалізувати за наведеним алгоритмом такі функції, як [11]:

- запис елементів матриці A^0 ;
- паралельне визначення мінімального елемента вигляду (5) в кожному стовпці матриці A^{t-1} ;
- паралельне вилучення мінімального елемента вигляду (6) в кожному стовпці матриці A^{t-1} ;
- паралельну транспозицію нульових елементів праворуч вигляду (9) у кожному рядку матриці A^{t-1}

На рис.3 зображено структурну схему обчислювача, який містить $m \times n$ комірок у вигляді матриці, блок формування ознак і має n вузлів керування, вхід тактових імпульсів, вхід скидання, вузли керування, вихід загальної ознаки нуля, виходи ознак нуля по рядках та стовпцях матриці [13].

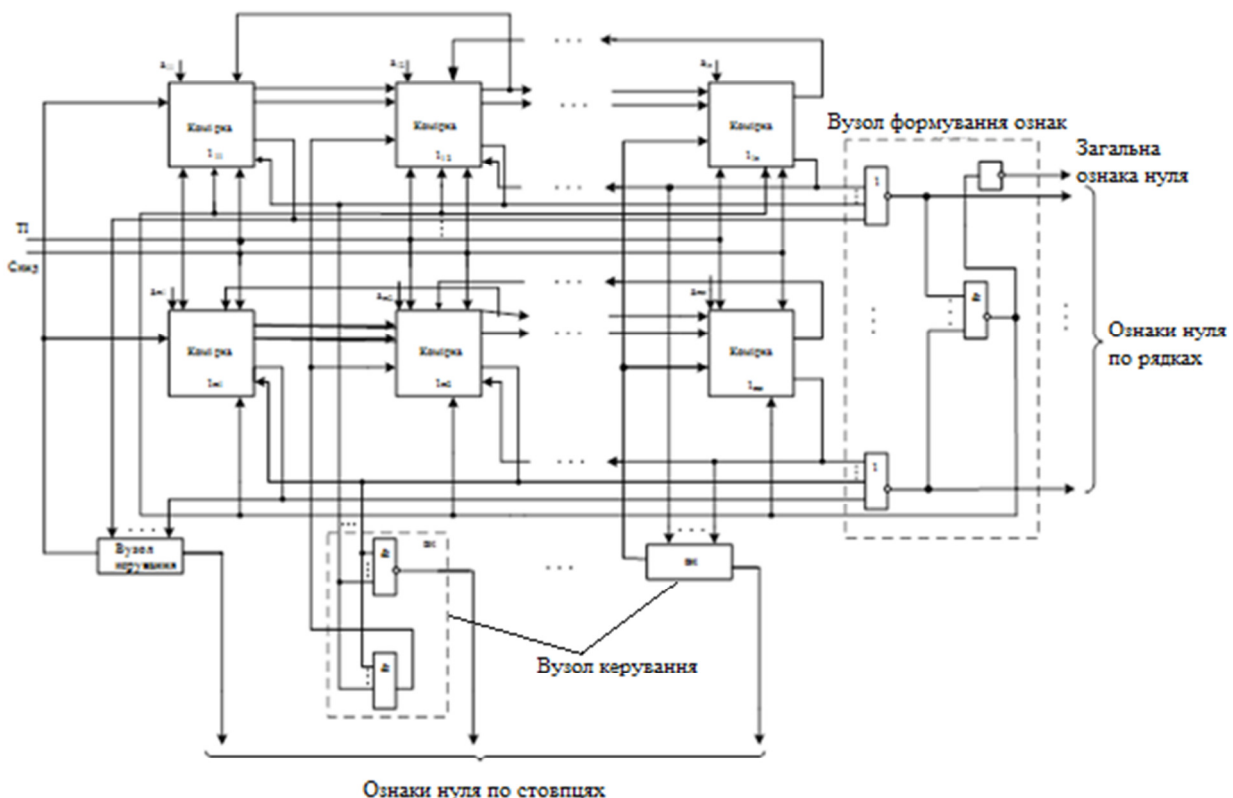


Рисунок 3 – Структурна схема обчислювача

На рис.4 наведено функціональну схему трьох комірок (першої, другої та n -ї) i -го рядка обчислювача у вигляді однорідної структури з паралельним записом даних [13]. Кожна комірка $1_{i1}, \dots, 1_{in}$ i -го рядка однорідної структури (рис.4) містить лічильник, два мультиплексори, елемент НІ, елемент І, блок налаштування. Блок налаштування кожної комірки 1_{ij} , крім першої і останньої, складається з елемента І, НІ, АБО та елемента РІВНОЗНАЧНОСТІ. Перша комірка 1_{i1} у кожному i -му рядку однорідної структури містить лічильник, мультиплексор, елементи НІ, І, а блок налаштування містить два елементи І та еле-

мент РІВНОЗНАЧНОСТІ. Крім того, остання комірка 1_{in} у кожному i -му рядку однорідної структури містить лічильник, мультиплексор, елемент І, а блок налаштування містить елемент І та елемент РІВНОЗНАЧНОСТІ [13].

Функція паралельного запису реалізується в лічильниках всіх комірок обчислювача для вхідних даних у вигляді зважених вхідних сигналів як елементів матриці. Виконання функції одночасного вилучення мінімального елементу в стовпцях обчислювача задіює входи зворотної лічби у лічильниках всіх комірок, а при виконанні функції транспозиції в кожному рядку нульові елементи просуваються праворуч з одночасним обміном даними у сусідніх елементів [11,13].

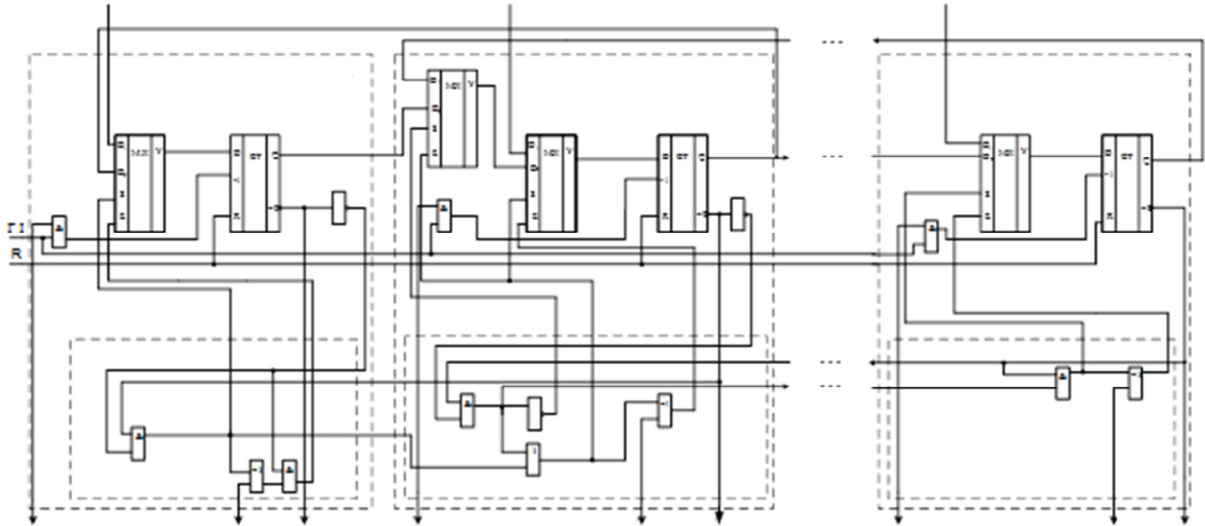


Рисунок 4 – Функціональна схема рядка комірок однорідної структури з паралельним записом даних

Ішим варіантом є однорідна структура з послідовним записом даних (рис. 5).

Комірка 1_{ij} i -го рядка такої однорідної структури (рис. 5), крім першої і останньої, містить лічильник, мультиплексор, елемент НІ, елемент І, блок налаштування. Блок налаштування кожної комірки 1_{ij} , крім першої і останньої, складається з елементів І, АБО, НІ. Остання комірка 1_{in} у кожному i -му рядку однорідної структури містить лічильник, мультиплексор, елемент І, а блок налаштування містить елемент І та елемент РІВНОЗНАЧНОСТІ. Перша комірка 1_{i1} у кожному i -му рядку однорідної структури містить лічильник, елементи НІ, І, комутатор, а блок налаштування містить елемент І.

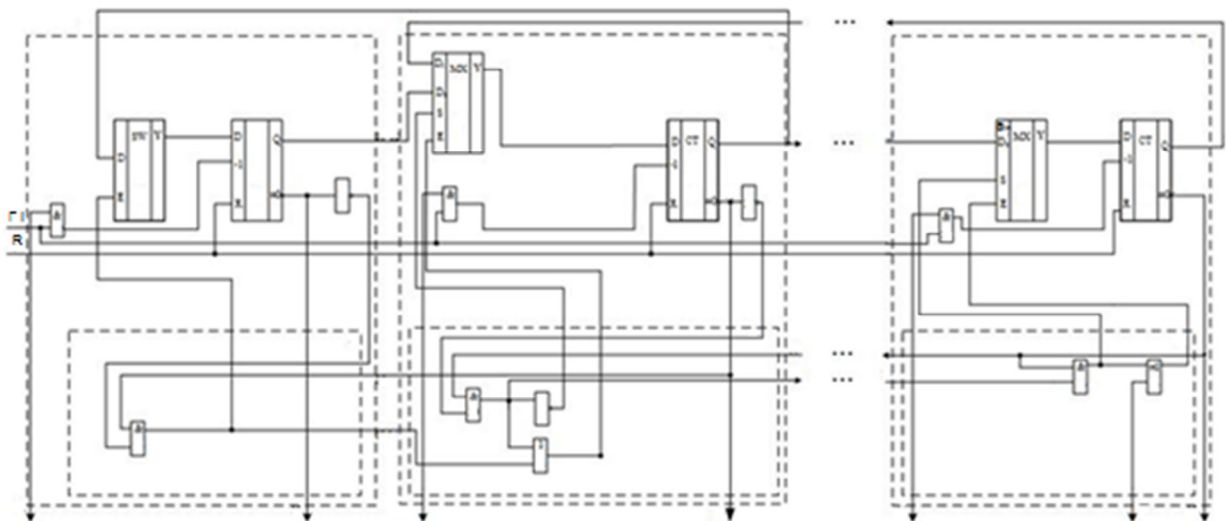


Рисунок 5 - Функціональна схема рядка комірок однорідної структури з послідовним записом даних

Аналіз наведених схем (рис. 4, 5) свідчить про те, що у другому варіанті (рис. 5) апаратна складність комірок зменшується у порівнянні з першим варіантом (рис. 4), але час запису матриці у таку однорідну структуру має залежність $O(n)$

Реалізація варіантів однорідної структури на ПЛІС

Програмовані логічні інтегральні схеми (ПЛІС) є інтегральними схемами високого рівня інтеграції для розробки на їх базі спеціалізованих пристроїв [12]. На базі ПЛІС можуть бути виготовлені логічні блоки і системи, перетворювачі кодів, периферійні контролери, мікропрограмні пристрої керування, невеликі процесори [14]. ПЛІС стають останнім часом усе більш розповсюдженою й звичною елементною базою для цифрових пристроїв. Завдяки різкому збільшенню щільності розміщення елементів на кристалі багатьох виробників або почали серійне виробництво, або анонсували ПЛІС із еквівалентною ємністю більше 1 мільйона логічних вентилів [15].

Основними перевагами ПЛІС при застосуванні в засобах обробки сигналів є [12, 14-16] :

- висока швидкодія;
- можливість реалізації складних паралельних алгоритмів;
- наявність засобів автоматизованого проектування (САПР), що дозволяють провести повне моделювання системи;
- можливість програмування або зміни конфігурації безпосередньо в системі;
- сумісність алгоритмів на рівні мов опису апаратури (VHDL, AHDL, Verilog та ін.);
- архітектурні особливості ПЛІС, що пристосовані для реалізації таких розповсюджених операцій, як множення, згортка тощо.

У статті розглядається проектування цифрових пристроїв на базі ПЛІС сімейства MAX 2 фірми Altera. Її логічної місткості цілком достатньо для реалізації як комбінаційних пристроїв, так і пристроїв з пам'яттю [14, 16]. Для того щоб порівняти за складністю апаратної реалізації розроблені комірки з паралельним та послідовним записом даних (рис. 4, 5) необхідно спочатку змодельовати їх.

Загальний вигляд однорідної структури з паралельним записом даних, змодельовану в середовищі Quartus, зображено на рис.6. У даному прикладі зображено три комірки, оскільки вигляд середньої буде однаковим і просто копіюється в залежності від того, яка розмірність однорідної структури потрібна.

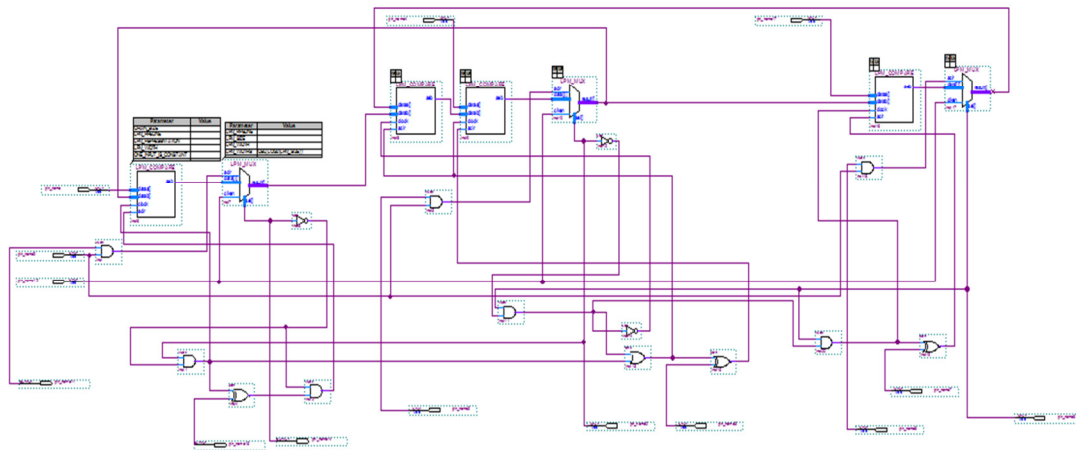


Рисунок 6 – Однорідна структура з паралельним записом даних

Загальний вигляд змодельованої однорідної структури з послідовним записом даних зображено на рис.7.

Порівняння отриманих результатів

При моделюванні та компілюванні схем однорідних структур з двома різними варіантами запису у середовищі Quartus було отримано файли-рапорти, які дозволяють порівняти між собою ці два варіанти

На рис.8 наведено результати рапорту компіляції схеми рядка комірок однорідної структури з паралельним записом даних (рис. 4). Схему реалізовано на ПЛІС MAX 2 серії EPM2210F256A5, кількість задіяних логічних елементів менше 1% від усіх можливих в цій ПЛІС, кількість задіяних виведень дорівнює 7%, що також є хорошим показником.

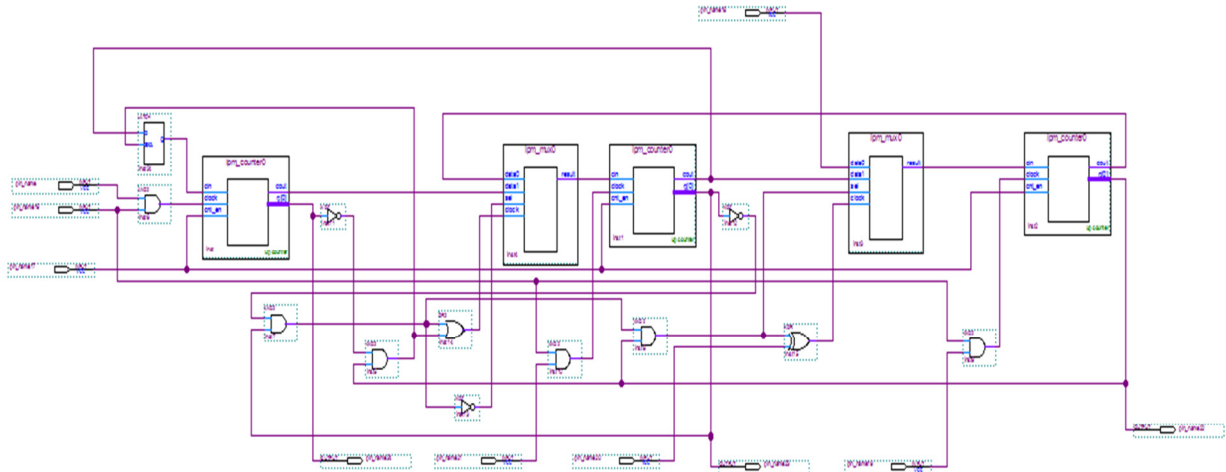


Рисунок 7 – Однорідна структура з послідовним записом даних

Результати рапорту компіляції схеми рядка комірок однорідної структури з послідовним записом даних (рис. 5) наведено на рис. 9. Схему реалізовано на тій самій ПЛІС MAX 2 серії EPM2210F256A5, кількість задіяних логічних елементів менше 1% від усіх можливих в цій ПЛІС, кількість задіяних виведень дорівнює 5%.

```

+-----+
; Flow Summary
+-----+
; Flow Status           ; Successful - Thu Nov 11 22:39:00 2015
; Quartus II Version   ; 10.1 Build 153 11/29/2010 SJ Full Version
; Revision Name        ; plis
; Top-level Entity Name ; plis
; Family               ; MAX II
; Device               ; EPM2210F256A5
; Timing Models        ; Final
; Total logic elements ; 20 / 2,210 ( < 1 % )
; Total pins           ; 14 / 204 ( 7 % )
; Total virtual pins   ; 0
; UFM blocks           ; 0 / 1 ( 0 % )
+-----+

```

Рисунок 8 - Рапорт моделювання у ПЛІС однорідної структури з паралельним записом даних

Аналіз наведених результатів моделювання свідчить про те, що показники не дуже відрізняються. Але при детальному порівнянні видно, що другий варіант (рис. 9) має меншу кількість задіяних логічних елементів. Особливо важливим є показник кількості задіяних виведень. У варіанті з паралельним записом даних при розмірності матриці $m \times n$ кількість задіяних виведень буде змінюватись за законом $O(m \times n)$. При послідовному записі даних при тій самій розмірності матриці кількість задіяних виведень буде змінюватись за законом $O(m)$.

```

+-----+
; Flow Summary ;
+-----+
; Flow Status ; Successful - Thu Oct 10 18:56:00 2015 ;
; Quartus II Version ; 10.1 Build 153 11/29/2010 SJ Full Version ;
; Revision Name ; plis ;
; Top-level Entity Name ; plis ;
; Family ; MAX II ;
; Device ; EPM2210F256A5 ;
; Timing Models ; Final ;
; Total logic elements ; 14 / 2,210 ( < 1 % ) ;
; Total pins ; 10 / 204 ( 5 % ) ;
; Total virtual pins ; 0 ;
; UFM blocks ; 0 / 1 ( 0 % ) ;
+-----+

```

Рисунок 9 - Рапорт моделювання у ПЛІС однорідної структури з послідовним записом даних

Висновки

У роботі показано реалізацію алгоритму класифікації за методом різницевих зрізів (РЗ) на базі багатофункціонального матричного обчислювача у вигляді однорідної структури.

Розроблено два варіанти побудови рядка комірок однорідної структури обчислювача відповідно з паралельним та послідовним записом по рядках матриці елементів дискримінантних функцій, за максимумом яких визначається клас, до якого належить вхідний образ.

При порівнянні двох варіантів запису даних доведено, що кращим є варіант з послідовним записом, оскільки він забезпечує вигаш у компактності розміщення логічних елементів та можливість моделювання більшої кількості комірок однорідної структури у вигляді матриці.

Список літератури

1. Распознавание изображений [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://sumschool.sumdu.edu.ua>.
2. Местецкий Л.М. Математические методы распознавания образов: Курс лекций/ Л.М.Местецкий.- М.: МГУ, 2002.- 85 с. – ISBN 978-5-9221-0841-6
3. Аналитический обзор методов распознавания образов и принятия решений [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://lc.boom.ru/aidos93/3.html>.
4. Рангайян Р.М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход / Р.М.Рангайян; пер. с англ. А.П.Немирко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 400с. – ISBN 978-5-9221-0730-3
5. Юнкеров В.И. Математико-статистическая обработка данных медицинских исследований / В.И. Юнкеров, С.Г. Григорьев. – СПб: ВМедА, 2002. -266 с. – ISBN 5-94277-011-5.
6. Бернюков А.К. Распознавание биоэлектрических сигналов/ А.К. Бернюков, Л.Т. Сушкова// Зарубежная радиоэлектроника. – 1996. - №12.– С. 47-51.
7. Дискриминантный анализ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://statsoft.ru/home/textbook/modules/stdiscan.html>.
8. Патент на корисну модель 94439 України МПК (2014.01) G06K 9/00. Пристрій для розпізнавання образів/ Т.Б. Мартинюк, А.В. Кожем'яко, В.В. Ворожбит, О.М. Перебейніс - № U201406401; заявл. 10.06.2014; опубл. 10.11.2014, Бюл.№21.
9. Мартинюк Т.Б. Схемотехнічні рішення базових блоків для класифікатора образів / Т.Б. Мартинюк, Г.Д. Дорошенко, О.М. Гуцол // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - 2012. – №3. - С.132-141. – ISSN 1997-9266.
10. Мартинюк Т.Б. Паралельний метод класифікації біоелектричних сигналів за принципом різницевих зрізів/ Т.Б. Мартинюк, С.В. Павлов, Ж.О. Бітюкова, Н.В. Белік // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2004. - №2(8). – С.110-112. – ISSN 1681-7893.
11. Мартинюк Т.Б. Особливості паралельно-позрізового оброблення елементів матриць для класифікації об'єктів / Т.Б. Мартинюк, А.В.Кожем'яко, А.В.Мельник // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2013. - №2(26). – С.28-33. – ISSN 1681-7893.

12. Грушвицкий Р.И. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики / Р.И. Грушвицкий, А.Х.Мурсаев, Е.П.Угрюмов. – СПб.:БХВ – Петербург, 2002. – 608с. – ISBN 5 - 94157-002-3.

13. Патент на корисну модель 93965 України МПК (2014.01) G06K 7/00. Комірка однорідної структури/ Т.Б. Мартинюк, А.О. Кириаченко, В.В. Ворожбит, О.М. Перебейніс - № U201404497; заявл. 28.04.2014; опубл. 27.10.2014, Бюл.№20.

14. Стешенко В.Б. ПЛИС Фирмы «ALTERA»: элементная база, система проектирования и языки описания аппаратуры / В.Б.Стешенко. – М.: Издательский дом «Додэка –XXI», 2002. -567с. – ISBN 5 - 94120-033-1.

15. Анализ современных САПР для ПЛИС. [Электроний ресурс]. – Режим доступу: <http://ki.lutsk-ntu.com.ua/node/112/section/22>

16. Комолов Д.А. Системы автоматизированного проектирования фирмы Altera/ А.А.Зобенко, А.С.Филиппов. – М.: ИП РадиоСофт, 2002. – 352с. – ISBN 5 - 93037-082-2.

Відомості про авторів

Мартинюк Тетяна Борисівна – доктор технічних наук, професор кафедри ЛОТ.

Кожем'яко Андрій Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри ЛОТ.

Крупельницький Леонід Віталійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри ОТ.

Перебейніс Олександр Миколайович – здобувач кафедри ЛОТ.

Безкрєвний Олександр Сергійович – студент магістратури кафедри ЛОТ.

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Найновіші правила оформлення і подання статей знаходяться на сайті журналу <http://itce.vntu.edu.ua/index.php/itce/about/submissions#onlineSubmissions>