

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.93

Р. Н. Кветний, Р. В. Маслій, О. М. Кириленко

ДОСЛІДЖЕННЯ АТРИБУТИВ ЛЮДИНИ ДЛЯ ЗАДАЧІ
ПОВТОРНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Анотація. В роботі досліджується задача розпізнавання атрибутів людини для покращення повторної ідентифікації. Здійснено аналіз методів повторної ідентифікації та методів розпізнавання атрибутів людини. Розглянуті набори даних атрибутів людини: Market-1501, DukeMTMC-reID, PETA, RAP-v1, RAP-v2 та PA-100k. Проаналізовано проблеми пов'язані як з формування наборів атрибутів людини так і з їх використанням. Надані рекомендації щодо вибору та використання наборів атрибутів людини. Також в роботі наведений огляд метрик оцінювання методів розпізнавання атрибутів людини.

Ключові слова: глибоке навчання, повторна ідентифікація особи, розпізнавання атрибутів людини.

Анотация. В работе исследуется задача распознавания атрибутов человека для улучшения повторной идентификации. Осуществлен анализ методов повторной идентификации и методов распознавания атрибутов человека. Рассмотрены наборы данных атрибутов человека: Market-1501, DukeMTMC-reID, PETA, RAP-v1, RAP-v2 и PA-100k. Проанализированы проблемы связанные как с формированием и наборов атрибутов человека так и с их использованием. Даны рекомендации по выбору и использованию наборов атрибутов человека. Также в работе представлен обзор метрик оценки методов распознавания атрибутов человека.

Ключевые слова: глубокое обучение, повторная идентификация человека, распознавание атрибутов человека.

Abstract. The paper investigates the problem of recognizing human attributes to improve re-identification. The analysis of re-identification methods and methods of recognition of human attributes is carried out. The data sets of human attributes are considered: Market-1501, DukeMTMC-reID, PETA, RAP-v1, RAP-v2 and PA-100k. Problems related to the formation and sets of human attributes and their use are analyzed. Recommendations for the selection and use of human attribute sets are provided. The paper also provides an overview of the metrics for evaluating methods for recognizing human attributes.

Key words: deep learning, person re-identification, human attribute recognition

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2020-49-3-4-13>.

Вступ

За останні роки зростає кількість мультимедійних даних, доступних в Інтернеті або наданих пристроями відеоспостереження. Саме тому зростає потреба у розробці рішень, які б давали змогу автоматично аналізувати зовнішність, особливості та поведінку людини. Розпізнавання атрибутів людини (Human attribute recognition – HAR) привертає все більше уваги у галузях комп'ютерного зору та розпізнавання образів в першу чергу через його потенційну зручність при використанні у багатьох застосуваннях: аналіз натовпу, пошук людини, виявлення людини, відстеження людини та повторна ідентифікація особи. Розпізнавання атрибутів людини націлене на опис та розуміння особливостей суб'єктів (таких як колір волосся, стиль одягу, стать тощо) або на основі даних про все тіло чи обличчя [1].

Труднощі з розпізнаванням атрибутів людини виникають головним чином через високу мінливість зовнішнього вигляду людини особливо у екземплярах усередині одного класу. Головними критеріями для отримання надійних систем HAR є [1]:

- отримання дискримінаційних ознак з вхідних даних;
- використання внутрішніх кореляційних зв'язків між атрибутами;
- робастність до основних проблем, таких як дані з низькою роздільною здатністю, зміна пози, оклюзії, варіації освітлення та захаращений фон;
- ефективне вирішення проблеми недостатності даних.

Задача повторної ідентифікації особи полягає у ідентифікації однієї і тієї ж людини у відео, знятих з різних камер. Складність задачі полягає у тому що сцени кожної камери, як правило, просторово не перетинаються, перехід людини між сценами кожної камери може значно варіюватися у часі, умови освітлення / пози людини різняться між камерами в реальних ситуаціях.

Проблема просторового зміщення людини відносно камери є однією з ключових проблем при повторній ідентифікації особи. На рис. 1 зображено приклади зображень у яких пішохід знаходиться у різних позах з точок зору різних камер [2].



Рисунок 1 – Приклади різних поз пішохода з точок зору різних камер

Актуальність

Виконуючи повторну ідентифікацію особи, експерти-люди шукають і покладаються на відповідні зовнішній вигляд або функціональні атрибути, які є однозначними в інтерпретації, такі як зачіска, тип взуття чи стиль одягу. Це атрибутивно-орієнтоване подання також використовується, коли опис надається усно (наприклад, очевидцем) оператору. Багато з цих атрибутів можна досить надійно виявити за допомогою сучасних технологій комп'ютерного зору.

Проте, незважаючи на велику кількість досліджень в цій сфері, автоматизована повторна ідентифікація все ще залишається в цілому невіршеною проблемою. Це пов'язано з тим, що більшість ознак все ще є недостатньо дискримінаційними для асоціації об'єктів, особливо для зображень з низькою роздільною здатністю, або ознаки є недостатньо надійними при зміні кута огляду чи освітлення [3].

Мета

Дослідження задачі розпізнавання атрибутів людини для покращення повторної ідентифікації людини у відео, знятих з різних камер.

Задачі

1. Огляд методів повторної ідентифікації особи та методів розпізнавання атрибутів людини.
2. Аналіз існуючих наборів даних для задачі розпізнавання атрибутів людини.
3. Огляд метрик оцінювання методів розпізнавання атрибутів людини.
4. Аналіз проблем пов'язаних з наборами даних атрибутів людини та вибір найкращого підходу та набору даних для подальшого використання у задачі повторної ідентифікації.

Розв'язання задач

Повторна ідентифікація. Сучасні підходи до повторної ідентифікації зазвичай використовують особливості низького рівня, такі як колір, текстура, просторова структура або їх комбінації. Отримавши відповідне подання, алгоритми пошуку найближчого сусіда або алгоритми пошуку відповідностей на основі навчання, такі як ранжування, можуть бути використані для повторної ідентифікації. У кожному випадку для вимірювання подібності між двома зразками необхідно вибрати метрику відстані (наприклад, Евклідову чи Бхаттачарія). Також можна дискримінаційно оптимізувати метрику відстані. Інші додаткові аспекти проблеми також досліджувались для покращення продуктивності, такі як підвищення надійності шляхом комбінування ознак у декількох кадрах вздовж треклету, та вивчення топології або кореляції активності мережі камер для зменшення простору відповідностей [4].

Атрибути. Моделювання на основі атрибутів нещодавно було використано для ефективного розпізнавання об'єктів та дій. На відміну від функцій низького рівня або класів – високого рівня, атрибути – це середній рівень опису класу чи екземпляра. Існують різні некеровані (наприклад, PCA моделі) або контрольовані (наприклад, нейронні мережі) підходи до моделювання, які створюють на основі даних подання середнього рівня. Ці методи спрямовані на проєкцію даних на базовий набір, визначений припущеннями конкретної моделі (наприклад, максимізація дисперсії, ймовірності чи розрідженості). Навпаки, навчання атрибутів фокусується на представленні екземплярів даних шляхом проєкції на базовий набір, який має семантичне значення для людини. Представлення семантичних атрибутів мають такі переваги:

1. Якщо дані є рідкісними, вони можуть бути більш значимими, ніж ознаки низького рівня.
2. Їх можна використовувати разом із вихідними даними для більшої ефективності.
3. Вони є відповідним поданням для безпосередньої взаємодії людини, отже, дозволяючи пошук визначати або обмежувати атрибутами [5].

Атрибути для повторної ідентифікації особи. Один з поглядів на атрибути – це тип переданого контексту, оскільки вони надають допоміжну інформацію про екземпляр, який допомагає у (повторній) ідентифікації. Тут вони пов'язані з вивченням м'якої біометрії, метою якої є підвищення ефективності біометричної ідентифікації за допомогою допоміжної інформації. В якості альтернативи вони можуть бути використані для семантичної ідентифікації профілю атрибутів, яка в ході ранніх досліджень мала на меті знайти людей, які відповідають словесному опису атрибутів, із мережі камер. Однак цей підхід поки що апробований лише на відносно простих даних із невеликим набором однаково надійних атрибутів обличчя. Однією з центральних проблем використання атрибутів для автоматизованої (повторної) ідентифікації є проблема їх нерівномірної та змінної інформативності та надійності вимірювання на основі вихідних даних [6].

Огляд існуючих методів

Повторна ідентифікація особи на основі згорткових нейронних мереж (ЗНМ). Методи повторної ідентифікації, засновані на ЗНМ, домінують над іншими після успіху глибокого навчання [7, 8, 9]. У низці робіт, що вивчають глибинні метрики [10, 11], пари зображень або триплети подаються в мережу. Зазвичай, просторові обмеження інтегруються у процес навчання подібності [12, 13]. Взагалі кажучи, гли-

бинні метричні методи навчання мають переваги у навчанні на відносно невеликих наборах даних, але їх ефективність з великими наборами даних може бути недостатньою. У роботах [7, 10, 11] автори досліджують глибокі представлення для задачі повторної ідентифікації. У роботах [12, 13] використовується генеративні змагальні мережі (GAN). Нещодавно для вирішення проблеми даних для повторної ідентифікації було запропоновано деякі напівкеровані методи та некеровані методи. Ці методи показують високі результати з невеликою кількістю або взагалі за відсутності анотацій. Інформація про атрибути цим методам теж може бути корисна у напівкерованому режимі.

Атрибути для повторної ідентифікації особи. У деяких ранніх роботах атрибути використовуються як допоміжна інформація для покращення низькорівневих ознак [14, 15, 16]. У роботі [17] дескриптори низького рівня та опорні вектори використовуються для навчання детектору атрибутів. В роботах [14, 15] використовуються як ознаки низького рівня так і атрибути для задачі повторної ідентифікації. Нещодавно запропоновані деякі методи, що базуються на глибокому навчанні. В роботі [18] пропонується метод навчання від «грубого до тонкого», який використовує набір глибоких мереж. Одна мережа навчена здійснювати бінарну класифікацію «людина» / «не людина», інша мережа навчена розпізнавати стать людини, третя мережа навчена здійснювати повторну ідентифікацію людини. У цій роботі мережі навчаються окремо і можуть не помітити взаємодоповнюваність мітки ідентифікатора та мітки атрибута. У роботі [19] мережа спочатку навчається на незалежному наборі даних із мітками атрибутів, а потім здійснюється точніше налаштування мережі на цільовому наборі даних, використовуючи мітки ідентифікації та використовуючи триплет-функцію втрат. Подібним чином, у роботі [20] мережа попередньо навчається на незалежному наборі даних, з розміченими атрибутами, а потім здійснюється «тонке налаштування» на іншому наборі з ідентифікаторами особи. У роботі [21] набір міток атрибутів використовується як запит для отримання зображення людини. Змагальне навчання використовується для генерування зображень-образів певних атрибутів з подальшим отриманням відповідності між зображенням-запитом як на глобальному рівні, так і на рівні семантичного ідентифікатора.

Дослідження анотованих наборів даних

Для дослідження було обрано набори даних з мітками атрибутів: Market-1501 [22], DukeMTMC-reID [23], PETA [24], RAP-v1[25], RAP-v2 [26] та PA-100k [27].

Набір даних Market-1501 Attribute. Market-1501 Attribute – це версія набору даних Market-1501, доповнена анотацією з 27 людськими атрибутами. Початковий набір Market-1501 призначений для дослідження задач повторної ідентифікації осіб. Набір був зібраний на вулиці перед супермаркетом за допомогою 6 камер (5 камер високої роздільної здатності та одна низької роздільної здатності). Атрибути представлені для кожної особи, і в цілому у наборі присутня 1501 анотована особа (751 у тренувальному наборі, 750 у тестувальному наборі). Загалом набір даних містить 32 668 зображень (12937 – тренувальних, 19733 – тестувальних). Атрибути в наборі Market-1501 Attribute, включають демографічну інформацію (стать та вік), інформацію про аксесуари (наявність капелюха, рюкзака, сумки), зовнішній вигляд (довжина волосся) та тип одягу та колір (довжина рукава, довжина одяг нижньої частини тіла, тип одягу нижньої частини тіла, 8 кольорів одягу верхньої частини тіла, 9 кольорів одягу нижньої частини тіла). Позитивні та негативні приклади деяких репрезентативних атрибутів набору даних Market-1501 показано на рис. 2.

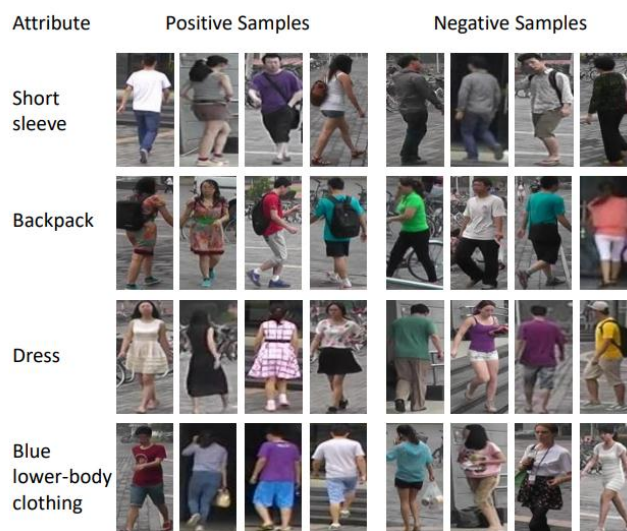


Рисунок 2 – Позитивні та негативні приклади атрибутів «короткий рукав», «рюкзак», «сукня», «синій одяг на нижній частині тіла» набору даних Market-1501

Набір даних Duke Attribute. Набір даних DukeMTMC-reid був зібраний в кампусі університету Дюка і містить понад 14 годин відеопослідовностей, зібраних з 8 камер, розташованих таким чином, що фіксувати сцени з натовпом. Головною метою цього набору даних є дослідження задач повторної ідентифікації особи та відстеження особи за допомогою декількох камер. Крім цього підмножина набору даних DukeMTMC-reid - Duke Attribute була анотована людськими атрибутами. Атрибути представлені для кожної особи, і в цілому у наборі присутні 1404 анотовані особи (702 у тренувальному наборі, 702 у тестувальному наборі). Набір даних Duke Attribute містить 36411 зображень (16522 – тренувальних, 19889 – тестувальних). Анотація особи містять 23 атрибути, які стосуються статі (чоловіча, жіноча), аксесуарів: присутність капелюха (так, ні), присутність рюкзака (так, ні), присутність сумочки (так, ні), присутність інших типів сумок (так, ні); стиль одягу: тип взуття (черевики, інше взуття), колір взуття (темний, яскравий), довжина верхнього одягу (довга, коротка), 8 кольорів одягу верхньої частини тіла (чорний, білий, червоний, фіолетовий, сірий, синій, зелений, коричневий) та 7 кольорів одягу нижньої частини тіла (чорний, білий, червоний, сірий, синій, зелений, коричневий). На рис. 3 наведено приклад атрибутів для наборів даних Market-1501 Attribute та Duke Attribute.



Рисунок 3 – Приклад атрибутів для наборів даних (a) Market-1501 та (b) Duke Attribute

Набір даних PETA. Набір даних PEdesTrian Attribute (PETA) містить 19 000 зображень пішоходів, зібраних з 10 загальнодоступних наборів даних; тому зображення мають великі варіації щодо сцени, умов освітлення та роздільної здатності. Роздільна здатність зображень варіюється від 17×39 до 169×365 пікселів. Набір даних надає розширені анотації: зображення вручну позначені 61 двійковим та 4 мультিকласовими атрибутами. Двійкові атрибути містять інформацію про демографічні показники (стать: чоловік, жінка; вік: 16–30 років, 31–45 років, 46–60 років, більше 61 року), зовнішній вигляд (довге волосся), одяг (футболка, брюки тощо) та аксесуари (сонцезахисні окуляри, капелюх, рюкзак тощо). Мультікласові атрибути пов'язані з (одинадцятьма основними) кольорами для одягу верхньої та нижньої частини тіла, взуття та волосся суб'єкта. Приклад атрибутів набору даних PETA представлений на рис. 4.

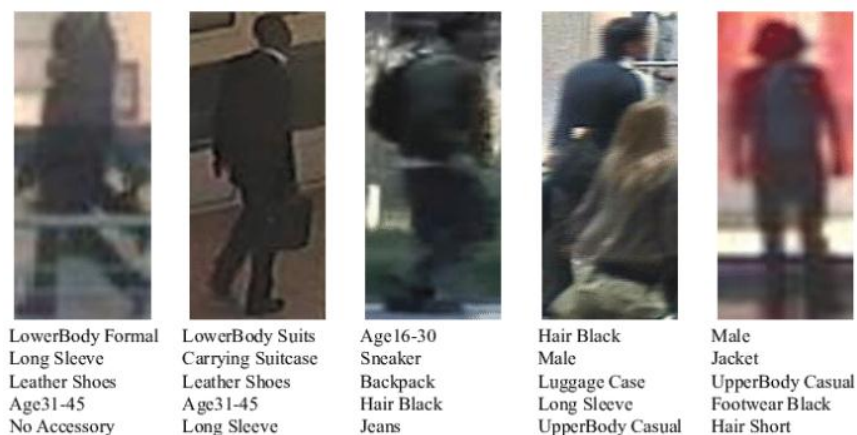


Рисунок 4 – Приклад атрибутів набору даних PETA

Набори даних RAPv1 і RAPv2. В даний час існує дві версії набору даних RAP (Richly Annotated Pedestrian). Перша версія RAPv1 була зібрана з камер спостереження в торгових центрах протягом трьох

місяців; Далі для анотації атрибутів вручну було обрано 17 годин відеозаписів. Загалом набір даних містить 41 585 анотованих зображень. Цей набір має 72 атрибути, які включають демографічну інформацію (стать та вік), аксесуари (рюкзак, сумка на одне плече, сумочку, поліетиленовий пакет, паперовий пакет тощо), зовнішній вигляд людини (стиль волосся, колір волосся, форма тіла) та інформацію про одяг (стиль одягу, колір одягу, стиль взуття, колір взуття тощо). Крім того, набір даних містить анотації щодо оклюзій, точок зору та інформації про частини тіла.

Друга версія набору даних RAP (RAPv2) призначена як для задачі пошуку людей, так і для розпізнавання атрибутів людини у реальних сценаріях спостереження. Набір даних було зібрано в приміщенні, у торговому центрі, і він містить 84 928 зображень (2589 особи) з 25 різних сцен. Для збору набору даних використовувались камери високої роздільної здатності (1280×720), а роздільна здатність людських силуетів варіюється від 33×81 до 415×583 пікселів. Атрибути версії RAP v2 такі самі, як і у версії RAP v1 (72 атрибути, інформація про оклюзії, точку зору та частини тіла). Приклад атрибутів з наборів даних RAP представлені на рис. 5.



Рисунок 5 – Приклад атрибутів з наборів даних RAP

Набір даних PA-100K. Набір даних PA-100k був розроблений з метою перевершити існуючі набори даних HAR як за кількістю, так і за різноманітністю; набір даних містить більше 100 000 зображень, зроблених у 598 різних сценаріях. Набір даних було зафіксовано камерами зовнішнього спостереження; тому зображення забезпечують велику різницю в роздільній здатності зображення, умовах освітлення та навколишнього середовища. До набору даних додано 26 атрибутів, включаючи демографічні (вік, стать), аксесуари (сумочка, телефон) та інформацію про одяг. Приклад атрибутів набору даних PA-100k наведений на рис. 6.

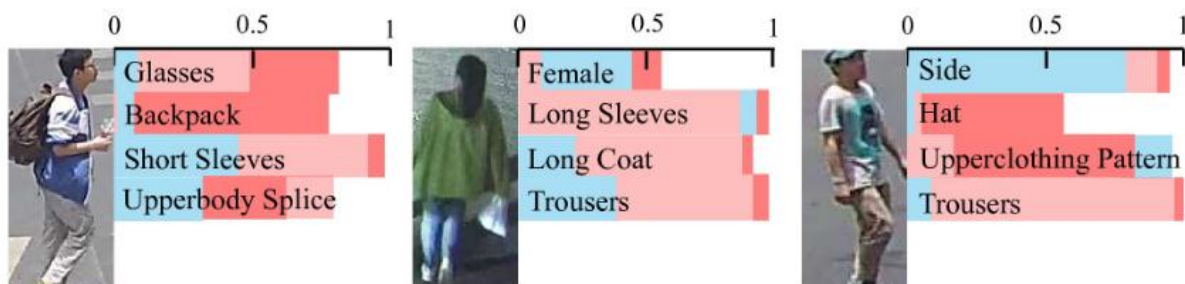


Рисунок 6 – Приклад атрибутів з набору даних PA100k

Метрики оцінювання

Враховуючи, що HAR – це багатокласова проблема класифікації, то найбільш поширеними показниками для вимірювання ефективності цих методів є Accuracy (*Acc*), Precision (*Prec*), Recall (*Rec*) та оцінка *F1*. Загалом ці показники можна обчислити на двох різних рівнях: на рівні міток та на рівні екземпляра.

Оцінка на рівні міток розглядає кожен атрибут незалежно. Наприклад, якщо атрибути статі та зросту відповідають міткам (чоловіча, жіноча) та (низький, середній, високий) відповідно, то оцінка на рівні міток вимірюватиме ефективність кожної комбінації атрибутів та міток. Метрикою, прийнятою в більшості робіт для оцінки рівня міток, є середня точність (*mA*):

$$mA = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{TP_i}{P_i} + \frac{TN_i}{N_i} \right) \quad (1)$$

де i відноситься до кожного з N атрибутів. mA визначає середню точність між позитивними та негативними прикладами кожного атрибута.

При оцінці на рівні екземпляра результати вимірюються для кожного атрибута, не враховуючи кількість міток, які він містить. Таким чином, оцінки $Prec$, Rec , Acc та $F1$ для i -го атрибута визначаються:

$$Prec_i = \frac{TP_i}{P_i}, \quad (2)$$

$$Rec_i = \frac{TP_i}{N_i}, \quad (3)$$

$$Acc_i = \frac{TP_i + TN_i}{P_i + N_i}, \quad (4)$$

$$F_i = \frac{2 \cdot Prec \cdot Rec}{Prec + Rec} \quad (5)$$

Використання цих показників є дуже поширеним для порівняльного аналізу різних атрибутів. Загальна продуктивність системи може бути виміряна середнім значенням Acc_i за всіма атрибутами або за допомогою mA . Однак ці показники можуть суттєво розходитися, коли атрибути дуже незбалансовані. mA є кращим, коли автори хочуть оцінити ефект розбалансування даних [28].

Визначення основних проблем пов'язаних з наборами даних для HAR

Першими проблемами, які виникають при розробці нового набору даних для HAR, є знаходження відповіді на такі питання: які атрибути слід анотувати та скільки та які класи потрібно використати для правильного опису атрибута? Очевидно, що обидва ці питання залежать від сфери застосування системи HAR. Як правило, кінцевою метою HAR, незалежно від сфери застосування, буде точний опис зображення з точки зору зрозумілих для людини семантичних міток, наприклад, «шестирічна дівчинка, одягнена у сині джинси, з білою футболкою та з рюкзаком у смужку». Що стосується другого питання, то відповідь знайти просто для деяких атрибутів, таких як стать, але уже вона стає неочевидною та суб'єктивною для інших атрибутів, таких як вік чи інформація про одяг.

Наступною проблемою будь-якого набору даних є їх незбалансованість. Тобто проблема різної кількості екземплярів класу в межах набору даних. Хоча у деяких наборах даних розробники намагалися отримати збалансовані класи, все ж деякі класи залишилися не повністю збалансованими (особливо ті, що стосуються інформації про одяг). І в цілому повністю збалансовані набори даних є не тривіальною задачею. Проблема дисбалансу також існує для демографічних атрибутів. У всіх розглянутих наборах даних HAR, наприклад, клас маленьких дітей представлений погано. Часто набори даних зазвичай збираються в одному регіоні (місті, країні, континенті), дані, як правило, є незбалансованими з точки зору етнічної приналежності. Це важливе питання, оскільки деякі дослідження довели існування ефекту іншої раси – тенденції до більш легкого розпізнавання осіб тієї самої національності – для класифікатора машинного навчання.

Корисним атрибутом в наборі даних може бути анотація поз та оклюзій. Деякі набори даних надають таку інформацію. Ці дані можуть бути корисні дослідникам при оцінюванні системи HAR та дають можливість діагностувати помилки HAR і перевіряти вплив різних факторів.

Ще однією проблемою пов'язаною з анотацією набору даних полягає у врахуванні ситуації коли атрибут для анотації неможливо розрізнити через низьку роздільну здатність, отримання зображення у складних умовах освітлення, оклюзії тощо. Більшість наборів даних, як правило, ігнорують цю проблему та класифікують наявність атрибута або надають багатокласову схему атрибутів. Однак у реальних умовах потрібно враховувати таку ситуацію, оскільки випадки, в яких атрибути важко розпізнати можуть траплятися досить часто.

При роботі з HAR слід ретельно розробити схему розділення набору даних на навчальну, валідаційну та тестувальну вибірки. Загальною помилкою є розбиття кадрів відеопослідовності на навчальну та валідаційну вибірку випадковим чином, незалежно від особи людини. Такий підхід може призвести до несправедливого віднесення суб'єкта до однієї з цих вибірок та спричинення упередженості в процесі навчання. Враховуючи що сучасні методи, як правило, покладаються на архітектури глибоких нейронних мереж, які мають у природі чорну скриньку, не так просто визначити, які особливості зображення ведуть до остаточного результату класифікації. Рішення цієї проблеми полягає у отриманні наборів областей

зображень кожної особи (треклетів) із відеопослідовності або надання анотацій на рівні ідентичності на кожному кадрі. Потім треклет кожної особи можна випадковим чином призначити для однієї з вибірок.

Проблеми конфіденційності. Раніше, оскільки традиційні системи відеоспостереження були простими і включали лише моніторинг людини, конфіденційність не була основною проблемою; проте в наші дні поширеність систем, оснащених передовими технологіями, у громадських місцях (наприклад, торгові центри, приватні та громадські будівлі, автобусні та залізничні вокзали) викликала нові проблеми щодо конфіденційності та безпеки.

Вибір набору даних

Деякі з розглянутих вище проблем потрібно враховувати як при виборі набору даних так і під час створення власного методу розпізнавання атрибутів для врахування можливих недосконалостей існуючих наборів даних.

Крім зазначеного вище при виборі набору даних важливим є вирішення питання про значимість присутніх у наборі атрибутів для цільової області застосування і важливість кожного атрибуту для обрання набору найбільш інформативних атрибутів. Звісно набори даних що мають більшу кількість зображень є більш привабливими для використання оскільки потенційно можуть містити більшу кількість різноманітних прикладів для кожного класу кожного атрибуту. Набори з більшою кількістю атрибутів є теж привабливими оскільки можуть більш повно представляти зображення людини і наблизитися за своєю дискримінаційною здатністю до низькорівневих ознак що використовують глибокі нейронні мережі для задачі повторної ідентифікації.

Крім того при виборі набору даних слід брати до уваги кількість сцен в яких були отримані зображення, оскільки це дозволить отримати різноманітні приклади в межах кожного класу для кожного атрибуту.

Також важливим питанням при виборі набору даних для HAR є умови зйомки: в середині приміщення чи ззовні, оскільки якість освітлення для кожного випадку може варіюватися в різних межах, потрібно врахувати це при цільовому використанні.

Іншим аспектом, який слід враховувати при виборі набору даних HAR, є налаштування камери, що використовується для зйомки зображень або відеопослідовностей. Зазвичай використовуються фіксовані або рухомі камери, і вибір набору знову буде залежати від області застосування програми в яку буде інтегрована система HAR.

Висновки

В результаті аналізу задачі розпізнавання атрибутів людини можна зробити декілька висновків: по-перше, найбільш перспективними для подальшого дослідження задачі HAR є підходи, що базуються на використанні глибоких нейронних мереж; по-друге, можна визначити, що використання атрибутів людини, які представляють собою середньорівневі ознаки зображення, можуть підсилити низькорівневі ознаки, що використовуються, і таким чином покращити достовірність результатів повторної ідентифікації. Але слід також відмітити, що при використанні атрибутів для повторної ідентифікації виникає проблема їх нерівномірної та змінної інформативності та надійності вимірювання на основі вихідних даних. Саме тому ключовим питанням є використання надійного набору даних атрибутів людини для навчання нейромережевого класифікатора.

В роботі на основі аналізу найбільш використовуваних наборів даних атрибутів людини визначено проблеми, які пов'язані як з формуванням власного набору даних атрибутів людини так і з ефективним використанням існуючих наборів даних. Наведено рекомендації щодо вибору наборів даних атрибутів людини. Згідно з цими рекомендаціями найкращими для подальшого використання в дослідженнях автори вважають набори RAPv2 та PA100k.

Список літератури

- [1] Y. Lina, L. Zhengb, Z. Zhenga, Yu Wua, Z. Hua, Ch. Yanc , Yi Yang, «Improving person re-identification by attribute and identity learning», *Pattern Recognition*, Volume 95, 2019, Pages 151-161.
- [2] R. Maslii, O. Kyrylenko, Y. Marushchak, «Analysis of methods of person reidentification in multi camera environment», *Norwegian Journal of development of the International Science*, №47/2020.
- [3] R. Layne, T. Hospedales, S. Gong, «Towards person identification and re-identification with attributes», *School of EECS*, Queen Mary University of London, UK, 2012.
- [4] Z. Zheng, L. Zheng, Y. Yang, «A discriminatively learned cnn embedding for person reidentification», *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications* 14 (1) (2017) 13.
- [5] K. He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun, «Deep residual learning for image recognition», in *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2016, pp. 770–778.

- [6] H. Fan, L. Zheng, C. Yan, Y. Yang, «Unsupervised person re-identification: Clustering and fine-tuning», *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications TOMCCAP* 14 (4).
- [7] R. R. Viorior, M. Haloi, G. Wang, «Gated siamese convolutional neural network architecture for human re-identification», in *European Conference on Computer Vision*, 2016, pp. 791–808.
- [8] T. Xiao, H. Li, W. Ouyang, X. Wang, «Learning deep feature representations with domain guided dropout for person re-identification», in *The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2016, pp. 1249 – 1258.
- [9] S. Zhou, J. Wang, D. Meng, X. Xin, Y. Li, Y. Gong, N. Zheng, «Deep selfpaced learning for person re-identification», *Pattern Recognition* 76 (2018), 739–751.
- [10] L. Zhu, Z. Xu, Y. Yang, A. G. Hauptmann, «Uncovering the temporal context for video question answering», *International Journal of Computer Vision* 124 (3) (2017) 409–421.
- [11] L. Ma, X. Yang, D. Tao, «Person re-identification over camera networks using multi-task distance metric learning», in *The IEEE Transactions on Image Processing* 23 (8) (2014) 3656–3670.
- [12] W. Li, R. Zhao, T. Xiao, X. Wang, «Deepreid: Deep filter pairing neural network for person re-identification», in *The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2014, pp. 152–159.
- [13] C. Su, S. Zhang, F. Yang, G. Zhang, Q. Tian, W. Gao, L. S. Davis, «Attributes driven tracklet-to-tracklet person re-identification using latent prototypes space mapping», *Pattern Recognition* 66 (2017) 4–15.
- [14] C. Su, F. Yang, S. Zhang, Q. Tian, L. S. Davis, W. Gao, «Multi-task learning with low rank attribute embedding for multi-camera person reidentification», in *The IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 40 (5) (2018) 1167–1181.
- [15] Franco, L. Oliveira, Convolutional covariance features: Conception, integration and performance in person re-identification, *Pattern Recognition* 61 (2017) 593–609.
- [16] Su, S. Zhang, J. Xing, W. Gao, Q. Tian, «Multi-type attributes driven multi-camera person re-identification», *Pattern Recognition* 75 (2018) 77– 89.
- [17] Schumann, R. Stiefelhagen, «Person re-identification by deep learning attribute-complementary information», in *The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, 2017, pp. 1435–1443.
- [18] L. Zheng, L. Shen, L. Tian, S. Wang, J. Wang, Q. Tian, «Scalable person re-identification: A benchmark», in *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, Santiago, Chile, 7–13 December 2015.
- [19] E. Ristani, F. Solera, R. Zou, R. Cucchiara, C. Tomasi, «Performance Measures and a Data Set for Multi-Target, Multi-Camera Tracking», in *Proceedings of the European Conference on Computer Vision workshop on Benchmarking Multi-Target Tracking*, Amsterdam, The Netherlands, 8–10 October 2016.
- [20] Y. Deng, P. Luo, C.C. Loy, X. Tang, «Pedestrian attribute recognition at far distance», in *Proceedings of the 22nd ACM International Conference on Multimedia*, Orlando, FL, USA, 3–7 November 2014; pp. 789–792.
- [21] Z. Yin, Wei-Shi Zheng, A. Wu, Hong-Xing Yu, Hai Wan, X. Guo, F. Huang, J. Lai, «Adversarial attribute-image person re-identification», *IJCAI*, 2018.
- [22] D. Li, Z. Zhang, X. Chen, H. Ling, K. Huang, «A richly annotated dataset for pedestrian attribute recognition», *arXiv 2016*, arXiv:1603.07054.
- [23] D. Li, Z. Zhang, X. Chen, K. Huang, «A richly annotated pedestrian dataset for person retrieval in real surveillance scenarios», in *IEEE Trans. Image Process.* 2018, 28, 1575–1590.
- [24] X. Liu, H. Zhao, M. Tian, L. Sheng, J. Shao, Yi. Shuai, J. Yan, X. Wang, «Hydraplus-net: Attentive deep features for pedestrian analysis», in *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, Venice, Italy, 22–29 October 2017, pp. 350–359.
- [25] L. Wu, Y. Wang, J. Gao, X. Li, «Deep adaptive feature embedding with local sample distributions for person re-identification», *Pattern Recognition* 73 (2018) 275–288.
- [26] J. Xu, R. Zhao, F. Zhu, H. Wang, W. Ouyang, «Attention-aware compositional network for person re-identification», in: *The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2018.
- [27] I. Goodfellow, J. Pouget-Abadie, M. Mirza, B. Xu, D. Warde-Farley, S. Ozair, A. Courville, Y. Bengio, «Generative adversarial nets», in *Advances in neural information processing systems*, 2014, pp. 2672–2680.
- [28] E. Yaghoubi, D. Borza, SV Aruna Kumar, J. C. Neves, «Human attribute recognition – a comprehensive survey», *Applied Sciences* 10(16):5608, 2020.

Стаття надійшла: 20.11.2020.

References

- [1] Y. Lina, L. Zhengb, Z. Zhenga, Yu Wua, Z. Hua, Ch. Yanc , Yi Yang, «Improving person re-identification by attribute and identity learning», *Pattern Recognition*, Volume 95, 2019, Pages 151-161.
- [2] R. Maslii, O. Kyrylenko, Y. Marushchak, «Analysis of methods of person reidentification in multi camera environment», *Norwegian Journal of development of the International Science*, №47/2020.
- [3] R. Layne, T. Hospedales, S. Gong, «Towards person identification and re-identification with attributes», *School of EECS*, Queen Mary University of London, UK, 2012.
- [4] Z. Zheng, L. Zheng, Y. Yang, «A discriminatively learned cnn embedding for person reidentification», *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications* 14 (1) (2017) 13.
- [5] K. He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun, «Deep residual learning for image recognition», in *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2016, pp. 770–778.
- [6] H. Fan, L. Zheng, C. Yan, Y. Yang, «Unsupervised person re-identification: Clustering and fine-tuning», *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications TOMCCAP* 14 (4).
- [7] R. R. Varior, M. Haloi, G. Wang, «Gated siamese convolutional neural network architecture for human re-identification», in *European Conference on Computer Vision*, 2016, pp. 791–808.
- [8] T. Xiao, H. Li, W. Ouyang, X. Wang, «Learning deep feature representations with domain guided dropout for person re-identification», in *The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2016, pp. 1249 – 1258.
- [9] S. Zhou, J. Wang, D. Meng, X. Xin, Y. Li, Y. Gong, N. Zheng, «Deep selfpaced learning for person re-identification», *Pattern Recognition* 76 (2018), 739–751.
- [10] L. Zhu, Z. Xu, Y. Yang, A. G. Hauptmann, «Uncovering the temporal context for video question answering», *International Journal of Computer Vision* 124 (3) (2017) 409–421.
- [11] L. Ma, X. Yang, D. Tao, «Person re-identification over camera networks using multi-task distance metric learning», in *The IEEE Transactions on Image Processing* 23 (8) (2014) 3656–3670.
- [12] W. Li, R. Zhao, T. Xiao, X. Wang, «Deepreid: Deep filter pairing neural network for person re-identification», in *The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2014, pp. 152–159.
- [13] C. Su, S. Zhang, F. Yang, G. Zhang, Q. Tian, W. Gao, L. S. Davis, «Attributes driven tracklet-to-tracklet person re-identification using latent prototypes space mapping», *Pattern Recognition* 66 (2017) 4–15.
- [14] C. Su, F. Yang, S. Zhang, Q. Tian, L. S. Davis, W. Gao, «Multi-task learning with low rank attribute embedding for multi-camera person reidentification», in *The IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 40 (5) (2018) 1167–1181.
- [15] Franco, L. Oliveira, Convolutional covariance features: Conception, integration and performance in person re-identification, *Pattern Recognition* 61 (2017) 593–609.
- [16] Su, S. Zhang, J. Xing, W. Gao, Q. Tian, «Multi-type attributes driven multi-camera person re-identification», *Pattern Recognition* 75 (2018) 77– 89.
- [17] Schumann, R. Stiefelhagen, «Person re-identification by deep learning attribute-complementary information», in *The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, 2017, pp. 1435–1443.
- [18] L. Zheng, L. Shen, L. Tian, S. Wang, J. Wang, Q. Tian, «Scalable person re-identification: A benchmark», in *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, Santiago, Chile, 7–13 December 2015.
- [19] E. Ristani, F. Solera, R. Zou, R. Cucchiara, C. Tomasi, «Performance Measures and a Data Set for Multi-Target, Multi-Camera Tracking», in *Proceedings of the European Conference on Computer Vision workshop on Benchmarking Multi-Target Tracking*, Amsterdam, The Netherlands, 8–10 October 2016.
- [20] Y. Deng, P. Luo, C.C. Loy, X. Tang, «Pedestrian attribute recognition at far distance», in *Proceedings of the 22nd ACM International Conference on Multimedia*, Orlando, FL, USA, 3–7 November 2014; pp. 789–792.
- [21] Z. Yin, Wei-Shi Zheng, A. Wu, Hong-Xing Yu, Hai Wan, X.Guo, F. Huang, J. Lai, «Adversarial attribute-image person re-identification», *IJCAI*, 2018.
- [22] D. Li, Z. Zhang, X. Chen, H. Ling, K. Huang, «A richly annotated dataset for pedestrian attribute recognition», *arXiv 2016*, arXiv:1603.07054.
- [23] D. Li, Z. Zhang, X. Chen, K. Huang, «A richly annotated pedestrian dataset for person retrieval in real surveillance scenarios», in *IEEE Trans. Image Process.* 2018, 28, 1575–1590.

- [24] X. Liu, H. Zhao, M. Tian, L. Sheng, J. Shao, Yi. Shuai, J. Yan, X. Wang, «Hydraplus-net: Attentive deep features for pedestrian analysis», in *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, Venice, Italy, 22–29 October 2017, pp. 350–359.
- [25] L. Wu, Y. Wang, J. Gao, X. Li, «Deep adaptive feature embedding with local sample distributions for person re-identification», *Pattern Recognition* 73 (2018) 275–288.
- [26] J. Xu, R. Zhao, F. Zhu, H. Wang, W. Ouyang, «Attention-aware compositional network for person re-identification», in: *The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2018.
- [27] I. Goodfellow, J. Pouget-Abadie, M. Mirza, B. Xu, D. Warde-Farley, S. Ozair, A. Courville, Y. Bengio, «Generative adversarial nets», in *Advances in neural information processing systems*, 2014, pp. 2672–2680.
- [28] E. Yaghoubi, D. Borza, SV Aruna Kumar, J. C. Neves, «Human attribute recognition – a comprehensive survey», *Applied Sciences* 10(16):5608, 2020.

Відомості про авторів

Квстний Роман Наумович – доктор технічних наук, професор, зав. кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій Вінницького національного технічного університету.

Маслій Роман Васильович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій Вінницького національного технічного університету.

Кириленко Олександр Михайлович – аспірант кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій Вінницького національного технічного університету.

Г. Н. Кветный, Р. В. Маслий, А. М. Кириленко

ИССЛЕДОВАНИЕ АТРИБУТОВ ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ ЗАДАЧИ ПОВТОРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Винницкий национальный технический университет, Винница

R. N. Kvyetnyy, R. V. Maslii, O. M. Kyrylenko

RESEARCH OF HUMAN ATTRIBUTES FOR THE TASK OF RE-IDENTIFICATION

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia

УДК: 004.7.032.26

О. О. Семенова, А. О. Семенов, О. О. Войцеховська
**ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ
 У ПРОЦЕДУРІ ВЕРТИКАЛЬНОГО ХЕНДОВЕРУ**

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Анотація. Розгортання сучасних гетерогенних мереж, де передаються різні типи трафіку із мобільних станцій, котрі рухаються із досить високою швидкістю, призвело до підвищення вимог до якості операції вертикального хендверу. Процедура передачі обслуговування, або хендвер, є ключовим механізмом, що дозволяє рухомим абонентам безшовно пересуватися по мережі. При цьому, через вплив великої кількості параметрів та характеристик мережі, традиційні схеми прийняття рішень, які працюють із врахуванням тільки одного критерію є неефективними. Тому постає задача розроблення такого механізму хендверу, що враховував би декілька параметрів та давав змогу здійснювати інтелектуальний хендвер. Однією з перспективних галузей сучасної техніки є штучні нейронні мережі. Важливою властивістю нейронних мереж є паралельне оброблення інформації великою кількістю нейронів одночасно. Типовими задачами, котрі можна розв'язати за допомогою нейронних мереж є: керування, кодування та декодування інформації, класифікація, прогнозування, автоматизація процесу ухвалення рішень, розпізнавання образів тощо. Нейронні мережі застосовуються у системах безпроводного зв'язку при розв'язанні таких задач: контроль доступу, передача обслуговування, розподіл каналів, прогнозування трафіку, адаптивна маршрутизація, прогнозування характеристик поширення сигналу, визначення місцезнаходження мобільної станції. У роботі запропоновано використовувати нейронну мережу у інтелектуальному алгоритмі багатокритеріального вертикального хендверу. Після створення програмного або апаратного рішення нейронної мережі необхідно створити математичну модель та виконати навчання мережі. Пропонована у даній роботі нейронна мережа представляє собою багатопартийний перцептрон. Проведено моделювання роботи нейронної мережі у програмі Matlab.

Ключові слова: безпроводний зв'язок, хендвер, нейронна мережа.

Аннотация. Развертывание современных гетерогенных сетей, в которых передается трафик разных типов от мобильных станций, движущихся с достаточно высокой скоростью, привело к повышению требований к качеству операции вертикального хэндовера. Процедура передачи обслуживания или хэндовер – это ключевой механизм, благодаря которому абоненты могут бесшовно передвигаться по сети. При этом, из-за влияния большого количества параметров и характеристик сети, традиционные схемы принятия решений, работающие с учетом только одного критерия, являются неэффективными. Поэтому возникает задача разработки такого механизма хэндовера, который учитывал бы несколько параметров и реализовывал операцию интеллектуального хэндовера. Одной из перспективных отраслей современной техники являются искусственные нейронные сети. Важным свойством нейронных сетей является возможность параллельной обработки информации большим количеством нейронов одновременно. Типичные задачи, которые решаются с помощью нейронных сетей – это: управление, кодирование и декодирование информации, классификация, прогнозирование, автоматизация процесса принятия решений, распознавание образов и тому подобное. Нейронные сети применяются в системах беспроводной связи при решении следующих задач: контроль доступа, передача обслуживания, распределение каналов, прогнозирование трафика, адаптивная маршрутизация, прогнозирование характеристик распространения сигнала, определение местоположения мобильных станций. В работе предложено использовать нейронную сеть в интеллектуальном алгоритме многокритериального вертикального хэндовера. После создания программного или аппаратного решения нейронной сети необходимо создать математическую модель и обучить сеть. Предлагаемая в данной работе нейронная сеть представляет собой многослойный перцептрон. Проведено моделирование работы нейронной сети в программе Matlab.

Ключевые слова. беспроводная связь, хэндовер, нейронная сеть.

Abstract. The deployment of modern heterogeneous networks transmitting different types of traffic from mobile stations, which move at a quite high speed, has led to increased requirements for the quality of vertical handover operation. The handover procedure or handover is a key mechanism that allows mobile subscribers to move seamlessly across the network. At the same time, due to the influence of a large number of parameters and characteristics of the network, traditional decision-making schemes that work with only one criterion are ineffective. Therefore, there is a task to develop a handover mechanism taking into account several parameters and providing the intelligent handover. One of the promising fields of modern technology is artificial neural networks. An important feature of neural networks is the parallel processing of information by a large number of neurons at the same time. Typical tasks that can be solved using neural networks are: control, encoding and decoding of information, classification, forecasting, automation of a decision-making process, pattern recognition and more. Neural networks are used in wireless communication systems to solve the following tasks: access control, handover, channel allocation, traffic forecasting, adaptive routing, signal propagation prediction, mobile station location. The paper proposes to utilize a neural network in the intelligent algorithm of multicriterial vertical handover. After creating a software or hardware solution for the neural network, a mathematical model must be created and the network training must be performed. The neural network proposed in this paper is a multilayer perceptron. Simulation of the neural network operation in Matlab program was performed.

Key words: wireless communication, handover, neural network

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2020-49-3-14-21>.

Вступ

Через стрімкий розвиток систем безпроводного зв'язку та їх широке впровадження на одній території можуть функціонувати одразу декілька мереж зв'язку, обслуговуючи при цьому велику кількість користувачів одночасно. В той же час, забезпечення показників якості обслуговування користувачів визначається технічними характеристиками системи та параметрами навантаження у ній. При цьому, за наявності декількох мереж безпроводного зв'язку при можливому їх одночасному використанні основною проблемою для належного обслуговування користувача є реалізація оптимального алгоритму швидкого та плавного перемикання між різними мережами, тобто здійснення процедури вертикального хендверу. Хендвер представляє собою процес передачі управління з'єднанням від однієї базової станції до іншої [1]. Якщо відбувається передача обслуговування абонента між сусідніми стільниками однієї без-

провідної мережі, то хендовер називається горизонтальним. У випадку передачі обслуговування абонента між різними сегментами гетерогенних мереж, побудованими за різними безпровідними технологіями, хендовер називається вертикальним [2].

Актуальність

У процедурі вертикального хендоверу найбільш складною задачею є мінімізація втрат переданих даних і скорочення часу переривання зв'язку. Всі алгоритми вертикального хендовера можна класифікувати за використовуваними критеріями прийняття рішень та методами оброблення цих критеріїв [3]:

1) У алгоритмах на основі рівня потужності сигналу (RSSI) головним критерієм вибору мережі є величина потужності сигналу. При цьому значення RSSI нової мережі порівнюється із відповідним параметром поточної мережі. Це найпростіший спосіб здійснення хендоверу, але його недоліком є незбалансованість навантаження і можливість переривання зв'язку.

2) У алгоритмах на основі величини пропускної здатності головним критерієм вибору мережі є величина пропускної здатності нової мережі. Недоліком є додаткова затримка у процесі збору інформації.

3) У алгоритмах на основі витрат головним критерієм вибору мережі є вартість нової мережі. Недоліком є висока складність.

Розглянуті традиційні схеми прийняття рішення на основі одного лише критерію мають невисоку ефективність через неоднорідності параметрів та характеристик мережі безпровідного зв'язку.

Мета

Таким чином, метою даної роботи є підвищення ефективності функціонування гетерогенних мереж безпровідного зв'язку шляхом розроблення багатокритеріального алгоритму прийняття рішення стосовно здійснення вертикального хендовера.

Задачі

1. Визначити критерії для прийняття рішення стосовно здійснення хендоверу.
2. Розробити структурну схему пристрою, що формує рішення стосовно здійснення хендовера.
3. Промодельовати роботу запропонованого пристрою.

Алгоритм вертикального хендоверу

Процедура хендовера може бути ініційована за таких умов: вихід за межі зони покриття безпровідної мережі, можливості покращення показників якості обслуговування, при зміні пріоритетів абонента.

Процедура вертикального хендовера складається із трьох етапів: ініціалізації, прийняття рішення, здійснення операції хендовера [4]. На першому етапі визначаються наявні мережі та збирається інформація, необхідна для прийняття рішення відносно ініціалізації хендовера – навантаження у мережах, наявність вільних каналів, швидкість руху мобільного абонента, рівень потужності сигналу, пріоритет тощо. Вхідними даними можуть бути такі: параметри абонента (переваги, бюджет, місцезнаходження, швидкість пересування), параметри мережі (якість обслуговування, завантаженість, безпека, вартість), параметри каналу зв'язку (рівень потужності сигналу, співвідношення сигнал/шум, рівень бітових помилок, затримка), параметри мобільної станції (споживана потужність, рівень заряду акумулятора). На етапі прийняття рішення визначається момент для здійснення хендовера та мережа, куди буде переключено мобільну станцію. Також тут відбувається оброблення вхідних параметрів та їх агрегація у критерій для вибору мережі призначення. На етапі здійснення хендовера відбувається безпосередня передача сеансу зв'язку на обрану мережу.

При прийнятті рішення потрібно визначити найкращу мережу доступу та прийняти рішення в конкретний момент часу – здійснювати передачу обслуговування чи ні. При цьому, однією з головних задач є правильний вибір мережі. У деяких випадках мобільний абонент може рухатися досить швидко, тому алгоритми, що забезпечують етап прийняття рішення, також повинні бути швидкими і видати рішення, близьке до реального часу [5]. Взагалі, мобільність є ключовим фактором для повсюдного доступу до мережі. З іншого боку, деякі алгоритми прийняття рішення обробляють багато параметрів, до яких відносяться вимоги до якості обслуговування або точності прийнятих рішень, що передбачає велику кількість математичних обчислень. Тому постає необхідність пошуку компромісу між великою обчислювальною потужністю та обмеженим часом на прийняття рішення відгуку, особливо з урахуванням того факту, що багато мобільних пристроїв оснащені низькопродуктивними процесорами.

Існуючі алгоритми прийняття рішення стосовно здійснення хендоверу можна розділити на два класи за способом обробки вхідних параметрів – математичний та інтелектуальний, причому інтелектуальні алгоритми обробляють більшу кількість вхідних параметрів, ніж математичні [6].

Інтелектуальні методи оброблення параметрів найчастіше базуються на нечітких контролерах, нейронних мережах, генетичних алгоритмах. Застосування схеми хендоверу на основі нечіткого контролера дозволяє обробляти результати неточних вимірювань, що добре підходить для особливостей безпровідного зв'язку [7]. Застосування схеми хендоверу на основі нейронних мереж дозволяє обрати

найкращу доступну безпроводну мережу спираючись на налаштування абонента, можливості пристрою та функції мережі [8]. Застосування схем хендверу на основі генетичних алгоритмів дозволяє оцінити ймовірності успішної передачі у гетерогенних мережах, що призводить до збільшення продуктивності мережі [9].

Таким чином, підвищити ефективність та якість систем безпроводного зв'язку можна шляхом застосування інтелектуальних алгоритмів у процедурі вертикального хендверу. Оскільки у порівнянні із нечіткими контролерами та генетичними алгоритмами штучні нейронні мережі здатні швидко обробляти великий обсяг даних [10], пропонується розробити інтелектуальний алгоритм прийняття рішення стосовно вертикального хендверу на базі нейронної мережі.

Пропонований алгоритм інтелектуального хендверу подано на рис.1.

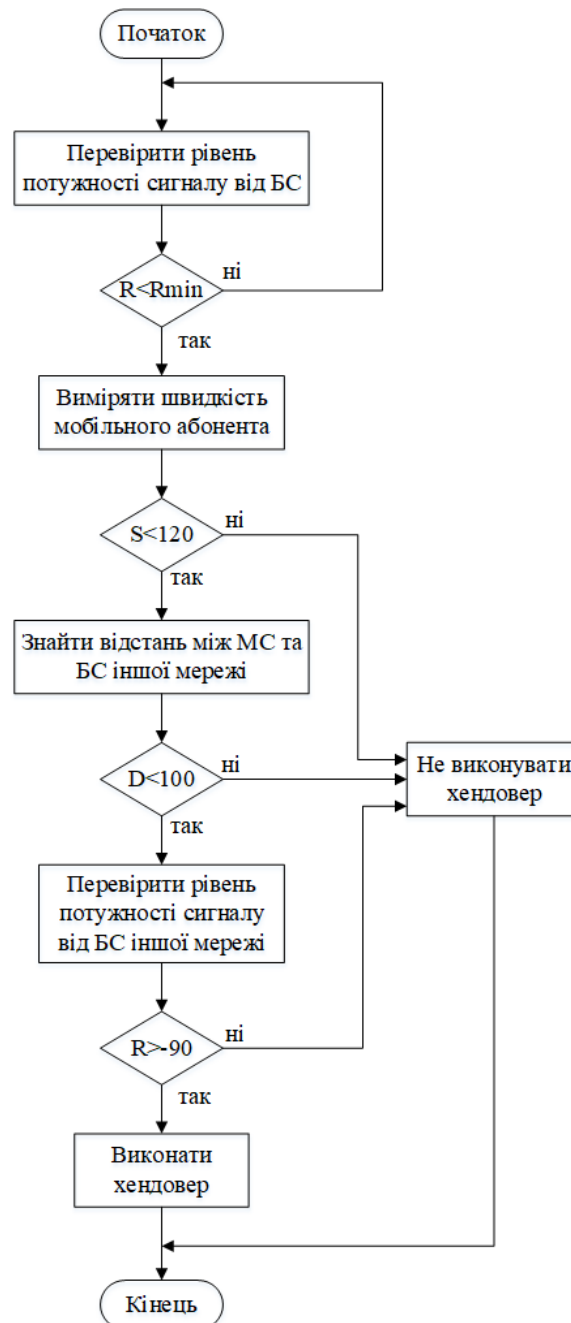


Рисунок 1 – Алгоритм інтелектуального хендверу

Нейронна мережа

Розробка схеми прийняття рішення стосовно операції хендвера на базі нейронної мережі складається із таких етапів:

- вибирається структура нейронної мережі і алгоритм її навчання;
- виконується навчання нейронної мережі на основі зібраних даних;
- навчена нейронна мережа тестується, перевіряється адекватність отриманих оцінок.

Зазвичай для розв'язання подібних задач застосовують нейронні мережі, які відносяться до класу універсальних апроксиматорів, це радіально-базисна мережа та багатошаровий перцептрон.

У якості вхідних величин нейронної мережі пропонується використати такі три параметри безпровідної мережі із зазначеними діапазонами можливих значень:

- рівень потужності сигналу (-90...-40дБм);
- відстань між мобільною станцією та базовою станцією або точкою доступу (0...100м);
- швидкість руху мобільного абонента (0...120км/год).

Окрім того, можна застосовувати такі додаткові параметри як доступна смуга частот, безпечність зв'язку, вартість, енергоспоживання.

Пропонована нейронна мережа (рис. 2) представляє собою багатошаровий перцептрон. Вхідний шар складається з трьох нейронів x_i , $i=1...3$. Прихований шар складається з дев'яти нейронів y_j , $j=1...9$. Вихідний шар складається з одного нейрону z . Вхідні та приховані нейрони з'єднані синапсами із ваговими коефіцієнтами w_{ij} , приховані та вихідні нейрони з'єднані синапсами із ваговими коефіцієнтами v_{jn} . На входи нейронів вхідного шару надходять такі сигнали: R – значення рівня потужності сигналу від нової базової станції, на яку планується переключити мобільного абонента, D – відстань від мобільного абонента до нової базової станції, S – швидкість руху мобільного абонента. Кожен вхідний нейрон x_i передає отримане значення, помножене із відповідним ваговим коефіцієнтом, всім нейронам прихованого шару.

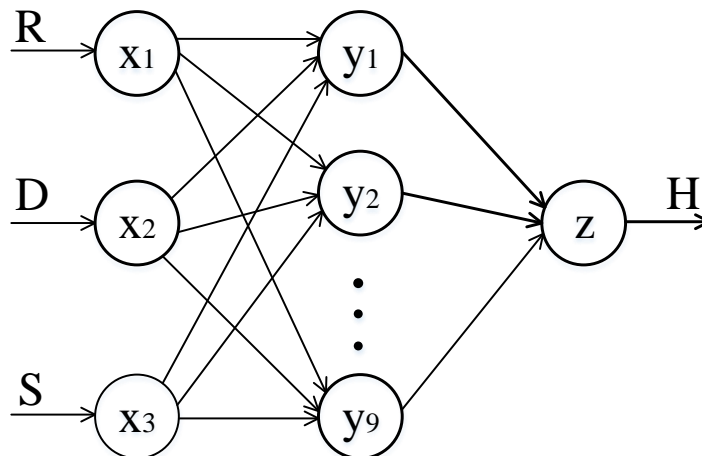


Рисунок 2 – Нейронна мережа

Моделювання

Роботу розробленої нейронної мережі було промодельовано у програмі Matlab. На рис. 3 подано вікно процесу навчання розробленої нейронної мережі згідно обраних вхідних даних. Як видно з графіку похибки навчання (рис.4.), навчання є успішним. На рис. 5 подано графік регресії, з якого видно хорошу кореляцію між вхідними та очікуваними значеннями.

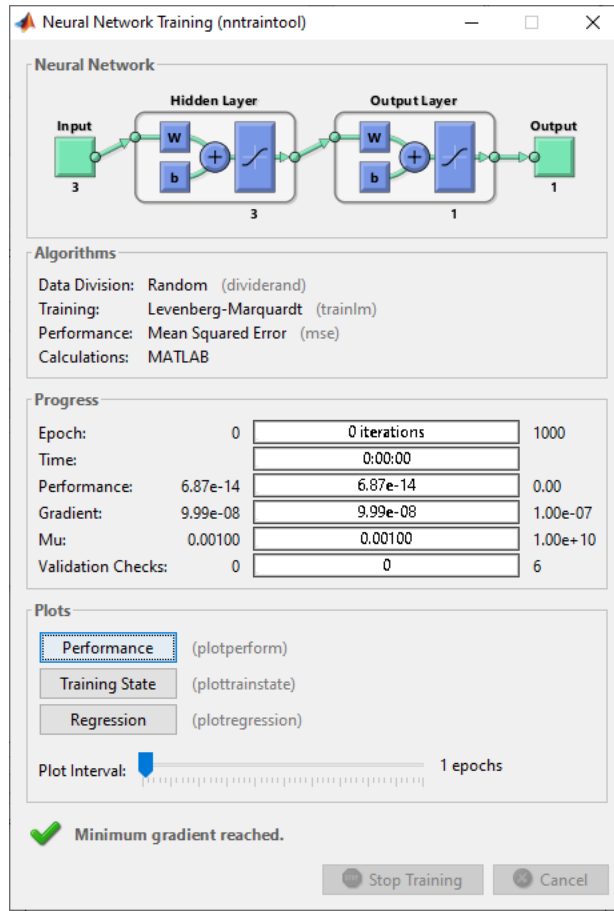


Рисунок 3 – Процес навчання мережі

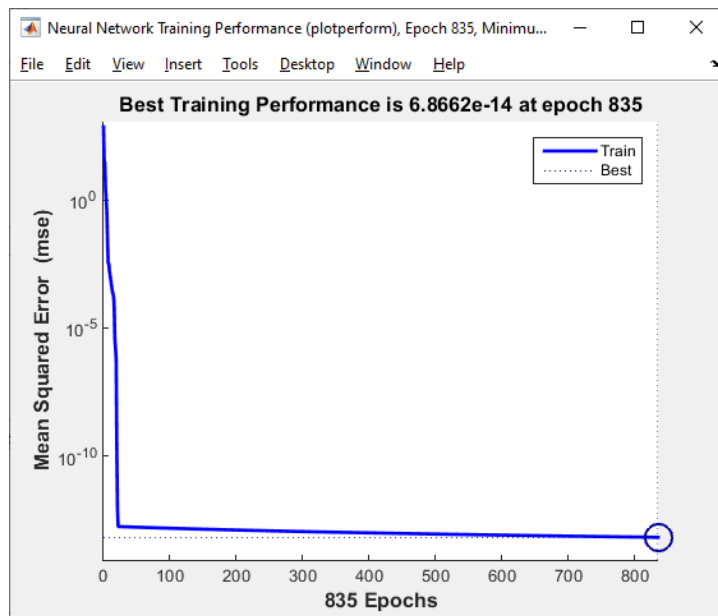


Рисунок 4 – Графік похибки навчання

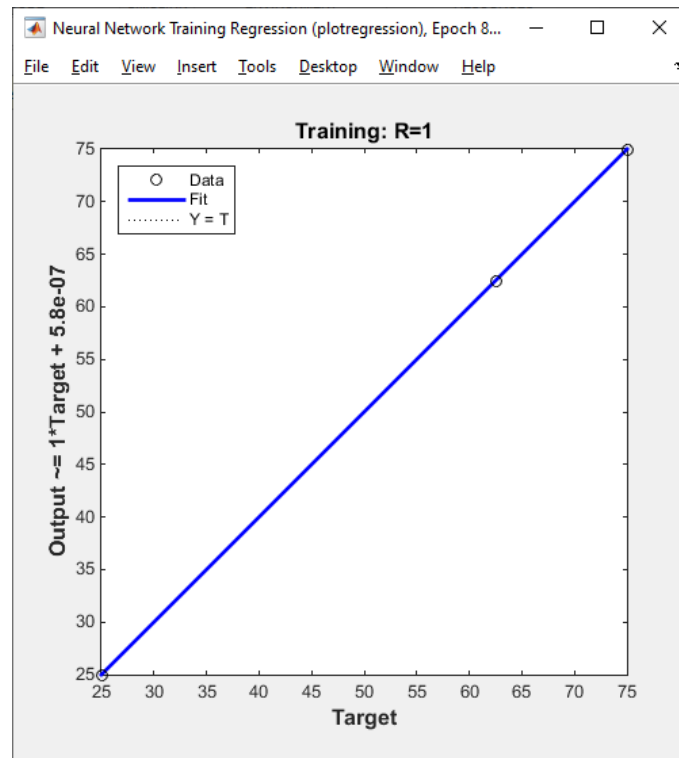


Рисунок 5 – Графік регресії

Висновки

1. У роботі запропоновано алгоритм прийняття рішення стосовно здійснення інтелектуального вертикального хендвера на базі нейронної мережі, який можна використовувати у гетерогенних безпроводних мережах для покращення ефективності їх роботи шляхом оптимізації процедури вертикального хендвера.
2. Обґрунтовано архітектуру нейронної мережі.
3. Проведено моделювання у програмі Matlab.

Список літератури

- [1] A. M. Aibinu, A. J. Onumanyi, A. P. Adedigba, M. Ipinoyomi, T. A. Folorunso, M. J. E. Salami, «Development of hybrid artificial intelligent based handover decision algorithm», *Engineering Science and Technology an International Journal*, V. 20(2), pp. 381–390, February. 2017. doi: 10.1016/j.jestch.2017.01.005.
- [2] А. Р. Масюк, І. Б. Стрихалюк, М. В. Брич, І. О. Кагало, Г. В. Бешлей, «Алгоритм інтелектуального вертикального хендверу в гетерогенній мобільній мережі на основі хмарних обчислень», *Вісн. Нац. ун-ту «Львів. Політехніка»*. № 874, с. 110–121, 2017.
- [3] Р. А. Кирюшкин, В. В. Курдеча, «Мультикритеріальний метод вертикального хендвера», *Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції. Перспективи телекомунікації*, Київ, 2016.
- [4] Ionut Bosoanca, Anca Vargatu, «An Overview of Vertical Handoff Decision Algorithms in NGWNS and a new Scheme for Providing Optimized Performance in Heterogeneous Wireless Networks», *Informatica Economica*, V. 15(1), pp. 5–21, 2011.
- [5] Shidrokh Goudarzi, Wan Haslina Hassan, Seyed Ahmad Soleymani, Mohammad Hossein Anisi, «Hybridisation of genetic algorithm with simulated annealing for vertical-handover in heterogeneous wireless networks», *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, V. 24, N. 1/2, pp. 4–21, January. 2017.
- [6] А. Д. Гришаева, В. Я. Воропаева, «Выбор параметров и разработка критерия оптимизации для процедуры вертикального хендвера», *Збірник наукових праць XIII Міжнародної науково-технічної конференції аспірантів і студентів. Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих*, Донецьк, 2013, с. 39–41.

- [7] M. T. Islam et al., «Vertical handover decision using fuzzy logic in a heterogeneous environment», in *2013 International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV)*, Dhaka, 2013, pp. 1–3. doi: 10.1109/ICIEV.2013.6572621.
- [8] Mahmood Adnan, Hushairi Zen, Al-Khalid Othman, «Vertical Handover Decision Processes for Fourth Generation Heterogeneous Wireless Networks», *Asian Journal of Applied Sciences*, V. 1, Is. 5, pp. 229–235, December. 2013.
- [9] M. Saravanan, A. Prithiviraj, «Genetic based approach to Optimize the Vertical Handover performance among Heterogeneous Network», in *Proceedings of the International Conference on Intelligent Computing Systems (ICICS 2017)*, Salem, India, 2017, pp. 80–84.
- [10] Saeed Alsamhi, Navin Rajput, «Neural Network in Intelligent Handoff for QoS in HAP and Terrestrial Systems», *International Journal of Materials Science and Engineering*, V. 2(2), pp.141–146, December. 2014. doi: 10.12720/ijmse.2.2.141–146.
- Стаття надійшла: 14.11.2020.

References

- [1] M. Aibinu, A. J. Onumanyi, A. P. Adedigba, M. Ipinoyomi, T. A. Folorunso, M. J. E. Salami, «Development of hybrid artificial intelligent based handover decision algorithm», *Engineering Science and Technology an International Journal*, V. 20(2), pp. 381–390, February. 2017. doi: 10.1016/j.jestch.2017.01.005.
- [2] R. Masyuk, I. B. Strykhalyuk, M. V. Brych, I. O. Kahalo, H. V. Beshley, «Alhorytm intelektualnoho vertykalnoho khendoveru v heterohenniy mobilniy mrezhi na osnovi khmarnykh obchyslen», *Visn. Nats. un-tu «Lviv. Politekhnik»*. № 874, s. 110–121, 2017.
- [3] R. A. Kyryushkyn, V. V. Kurdecha, «Mulykryterialnyy metod vertykalnoho khendovera», *Zbirnyk materialiv Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi. Perspektyvy telekomunikatsiy*, Kyiv, 2016.
- [4] Ionut Bosoanca, Anca Vargatu, «An Overview of Vertical Handoff Decision Algorithms in NGWNs and a new Scheme for Providing Optimized Performance in Heterogeneous Wireless Networks», *Informatica Economica*, V. 15(1), pp. 5–21, 2011.
- [5] Shidrokh Goudarzi, Wan Haslina Hassan, Seyed Ahmad Soleymani, Mohammad Hossein Anisi, «Hybridisation of genetic algorithm with simulated annealing for vertical-handover in heterogeneous wireless networks», *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, V. 24, N. 1/2, pp. 4–21, January. 2017.
- [6] A. D. Hryshaeva, V. YA. Voropayeva, «Vybir parametriv ta rozrobka kryteriyiv optymizatsiyi dlya protsedur vertykalnoho khendovera», *Zbirnyk naukovykh prats KHIII Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi aspirantiv ta studentiv. Avtomatyzatsiya tekhnolohichnykh obyektiv ta protsesiv. Poshuk molodykh*, Donetsk, 2013, s. 39–41.
- [7] M. T. Islam et al., «Vertical handover decision using fuzzy logic in a heterogeneous environment», in *2013 International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV)*, Dhaka, 2013, pp. 1–3. doi: 10.1109/ICIEV.2013.6572621.
- [8] Mahmood Adnan, Hushairi Zen, Al-Khalid Othman, «Vertical Handover Decision Processes for Fourth Generation Heterogeneous Wireless Networks», *Asian Journal of Applied Sciences*, V. 1, Is. 5, pp. 229–235, December. 2013.
- [9] M. Saravanan, A. Prithiviraj, «Genetic based approach to Optimize the Vertical Handover performance among Heterogeneous Network», in *Proceedings of the International Conference on Intelligent Computing Systems (ICICS 2017)*, Salem, India, 2017, pp. 80–84.
- [10] Saeed Alsamhi, Navin Rajput, «Neural Network in Intelligent Handoff for QoS in HAP and Terrestrial Systems», *International Journal of Materials Science and Engineering*, V. 2(2), pp.141–146, December. 2014. doi: 10.12720/ijmse.2.2.141–146.

Відомості про авторів

Семенова Олена Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри телекомунікаційних систем та телебачення Вінницького національного технічного університету.

Семенов Андрій Олександрович – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри радіотехніки Вінницького національного технічного університету.

Войцеховська Ольга Олександрівна – аспірантка, асистент кафедри системного аналізу та інформаційних технологій Вінницького національного технічного університету.

Е. А. Семёнова, А. А. Семёнов, О. А. Войцеховская

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В ПРОЦЕДУРЕ
ВЕРТИКАЛЬНОГО ХЭНДОВЕРА**

Винницкий национальный технический университет, Винница

O. O. Semenova, A. O. Semenov, O. O. Voitsekhovska

**USING A NEURAL NETWORK FOR THE VERTICAL
HANDOVER PROCEDURE**

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia

УДК 004.855.5

І. Я. Співак, С. Я. Крепич

ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ВПЛИВУ МОТИВАЦІЇ ПРАЦІ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ДІЯЛЬНОСТІ

Західноукраїнський національний університет, Тернопіль

Анотація. Ефективне виконання роботи працівником визначається трьома чинниками: мотивацією (бажанням працівника виконувати свою роботу), робочим середовищем (ресурсами, які компанія виділяє для покращення виконання поставлених завдань) та спроможністю (можливістю працівника виконати поставлене перед ним завдання). Оскільки мотивація – це сукупність чинників, які спричиняють поведінку людей в залежності до впливаючих на них факторів, то ціль менеджера по роботі з персоналом максимально мотивувати працівника для виконання його прямих обов'язків та бути зацікавленим у своїй роботі, а також мінімізувати ймовірність виникнення ситуації, коли працівник не справляється з виконанням своїх обов'язків. Тому постає питання розробки системи оцінювання, яка здатна виявити ефективність роботи працівника на фірмі за його рівнем мотивації, а також покращити цей показник за допомогою впливу зовнішніх факторів на мотиваційний рівень працівника. На основі формалізованих критеріїв ефективності праці, які утворюють три групи мотиваційних чинників розроблено метод оцінювання ефективності праці, який дозволяє керівництву оцінити рівень вмотивованості кожного працівника.

Ключові слова: мотивація, ефективність, оцінювання.

Анотация. Эффективное выполнение работы определяется тремя факторами: мотивацией (желанием работника выполнять свою работу), рабочей средой (ресурсами, которые компания выделяет для улучшения выполнения поставленных задач) и способностью (возможностью работника выполнить поставленную перед ним задачу). Поскольку мотивация - это совокупность факторов, которые вызывают поведение людей в зависимости от влияющих на них факторов, то цель менеджера по работе с персоналом максимально мотивировать работника для выполнения его прямых обязанностей и быть заинтересованным в своей работе, а также минимизировать вероятность возникновения ситуации, когда работник не справляется с выполнением своих обязанностей. Поэтому возникает вопрос разработки системы оценивания, которая способна выявить эффективность труда работника на фирме за его уровнем мотивации, а также улучшить этот показатель с помощью влияния внешних факторов на мотивационный уровень работника. На основе формализованных критериев эффективности труда, которые образуют три группы мотивационных факторов, разработан метод оценивания эффективности труда, который позволяет руководству оценить уровень мотивированности каждого работника.

Ключевые слова: мотивация, эффективность, оценивание.

Abstract. Effective performance of work by an employee is determined by three factors: motivation (employee's desire to perform their work), work environment (resources that the company allocates to improve the tasks) and ability (ability of the employee to perform the task). Since motivation is a set of factors that cause people's behavior depending on the factors influencing them, the goal of the HR manager is to motivate the employee to perform his direct duties and be interested in his work, as well as to minimize the probability of the situation when the employee fails to perform his duties. Therefore, the question arises of developing an evaluation system that can identify the effectiveness of the employee in the firm by his level of motivation, as well as improve this indicator through the influence of external factors on the motivational level of the employee. Based on formalized criteria of work efficiency, which form three groups of motivating factors, a method of evaluation work efficiency has been developed, which allows management to evaluate the level of motivation of each employee.

Key words: motivation, effectiveness, evaluation.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2020-49-3-22-29>.

Вступ

Мотиваційний процес для кожної конкретної людини є унікальним та фактично непередбачуваним, на кожному людину є різний ступінь впливу однакових мотиваційних методів та залежності дії одних мотивів від інших. Кожна людина має свої цілі та амбіції, тому, в залежності від них, у одних людей прагнення досягнення успішних результатів буде сильним, у інших воно може бути слабким.

Актуальність

Мотиваційний процес в своїй основі розвивається з виникнення потреби та пошуку шляхів її задоволення [1-3]. Потреба є визначальним компонентом людської діяльності. Тільки через втілення потреби в конкретний предмет діяльність набуває чіткого напрямку, що спонукає до активності. Успішне функціонування системи управління персоналом неможливо здійснювати без вирішення проблеми мотивації трудової діяльності, тому мотивація працівників швидко стає одним з найважливіших показників оцінки рівня задоволеності роботою. Для формування та ефективного функціонування трудового потенціалу необхідно володіти інформацією про оцінку його потреб та мотивів, що змінюються в часі під впливом зовнішніх та внутрішніх чинників на фірмі. Мотивування працівників має вирішальне значення для збереження цінного таланту, оскільки менш вмотивовані працівники частіше залишають роботу. За даними багатьох досліджень [4], співробітники, які, виконуючи свою роботу, отримують мотиваційні бонуси залишаються відданими своєму роботодавцю. Це призводить до досягнення більших бізнес-цілей та сприяє просуванню вперед.

Мета

На основі формалізованих показників ефективності праці оцінити вплив мотивації кожного окремого працівника на ефективність його праці шляхом аналізу вагомості його потреб (матеріальних, соціальних та психологічних).

Задачі

1. За результатами опитування працівників визначається узагальнена оцінка по всіх критеріях для кожного працівника, що дасть можливість керівнику зробити висновок про рівень їх задоволення умовами праці.

$$Y_i = \sum_{i=1}^n x_i w_i \quad (1)$$

де x_i – виставлена працівником оцінка по одному з показників; w_i – вага впливу конкретного показника на рівень ефективності роботи.

В силу суб'єктивізму виставлення оцінок пропонується ваги критеріїв x_i представляти в інтервальному вигляді. Звідси формула (1) набуде вигляду:

$$[Y_i] = \sum_{i=1}^n [x_i] \cdot w_i \quad (2)$$

де $[x_i] = [x_{\min i}; x_{\max i}]$, $x_{\min i} = x_i - \delta \cdot x_i$; $x_{\max i} = x_i + \delta \cdot x_i$; δ – відсоток впливу суб'єктивності при оцінюванні кожним працівником; $[Y_i] = [Y_{\min i}; Y_{\max i}]$ – верхня та нижня межа оцінки рівня ефективності роботи працівника [5].

2. Узгодженість виставлених оцінок керівником та працівником.

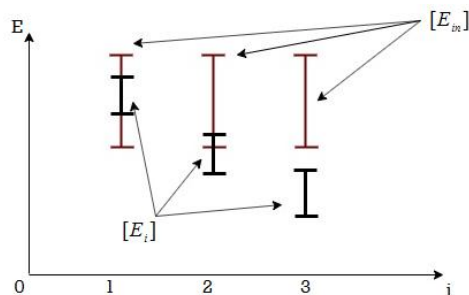


Рисунок 1 – Узгодженість виставлених інтервальних оцінок керівником та працівником

3. Для усунення неузгодженості в оцінках пропонується пройти анкетування на вплив мотиваційних чинників на покращення ефективності їх роботи [6]. Результатом анкетування є крива показників ефективності в залежності від впливу мотиваційних чинників:

$$K_Q = \frac{\sum^m Q_m}{m} * w_m + \frac{\sum^s Q_s}{s} * w_s + \frac{\sum^p Q_p}{p} * w_p$$

$$K_{PO} = \frac{\sum^m PO_m}{m} * w_m + \frac{\sum^s PO_s}{s} * w_s + \frac{\sum^p PO_p}{p} * w_p,$$

$$K_I = \frac{\sum^m I_m}{m} * w_m + \frac{\sum^s I_s}{s} * w_s + \frac{\sum^p I_p}{p} * w_p, \quad (3)$$

$$K_S = \frac{\sum^m S_m}{m} * w_m + \frac{\sum^s S_s}{s} * w_s + \frac{\sum^p S_p}{p} * w_p,$$

$$K_R = \frac{\sum^m R_m}{m} * w_m + \frac{\sum^s R_s}{s} * w_s + \frac{\sum^p R_p}{p} * w_p,$$

де $w_m = 0,5$ – ваговий коефіцієнт впливу матеріальних чинників, він є найбільшим, оскільки вибір роботи залежить в першу чергу від рівня оплати праці;

$w_p = 0,3$ – ваговий коефіцієнт впливу психологічних чинників, який відповідає за комфортні умови праці;

$w_s = 0,2$ – ваговий коефіцієнт впливу соціальних чинників, в період низького розвитку економіки, забезпечення соціальних потреб, в багатьох випадках, не є першочерговим.

Розв'язання задач

На основі попередньо описаного методу була розроблена програмна система «М.Е.Т.» – Motivation Efficiency Test, головне вікно якої представлено на рис. 2.

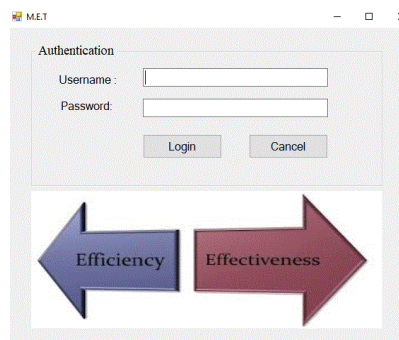


Рисунок 2 – Форма авторизації програмної системи «М.Е.Т.»

Порядок визначення та аналізу впливу мотиваційних чинників працівників на ефективність їх роботи наступний:

1) Проведення керівником або менеджером по персоналу автоматизованого опитування кожного працівника стосовно його бачення якості своєї роботи відповідно до розробленої анкети.

Weight factor	w_i	Efficiency	Criteria	Weight criteria
	0,3	Qualification Q	1. Completely satisfied (10) 2. More satisfied than not (6-9) 3. More dissatisfied than so (1-5) 4. Completely dissatisfied (0)	10 8 6 4 2 0
	0,05	Participating in organisations public life PO	1. Completely satisfied (10) 2. More satisfied than not (6-9) 3. More dissatisfied than so (1-5) 4. Completely dissatisfied (0)	10 8 6 4 2 0
	0,2	Initiative I	1. Completely satisfied (10) 2. More satisfied than not (6-9) 3. More dissatisfied than so (1-5) 4. Completely dissatisfied (0)	10 8 6 4 2 0
	0,15	Sociability S	1. Completely satisfied (10) 2. More satisfied than not (6-9) 3. More dissatisfied than so (1-5) 4. Completely dissatisfied (0)	10 8 6 4 2 0
	0,3	Resultativity R	1. Completely satisfied (10) 2. More satisfied than not (6-9) 3. More dissatisfied than so (1-5) 4. Completely dissatisfied (0)	10 8 6 4 2 0

Рисунок 3 – Оцінювання працівниками рівня якості своєї роботи

У крайній лівій колонці вказані вагові фактори w_i , які у сумі не можуть перевищувати одиницю. Адміністратор системи розподіляє ці вагові фактори в залежності до потреб фірми та критеріїв оцінювання користувачів системи. Наступна колонка відповідає за показники ефективності роботи працівників. Третя колонка відповідає за критерії оцінювання працівника за шкалою оцінювання від 0 до 10, де 0 – це найменше та 10 – найбільше. У цій шкалі у нас присутні наступні можливі результати:

- повністю задоволений – (10);
- більше задоволений, ніж ні – (6-9);
- більше незадоволений, ніж так – (1-5);
- повністю незадоволений – (0).

У крайній правій колонці присутня вертикальна доріжка вибору оцінки. Користувач (працівник) вибирає потрібний бал, який вважає необхідним для конкретного критерію оцінювання та, натиснувши кнопку, зберігає результат для подальшого їх опрацювання менеджером компанії.

2) Перегляд результатів, сформованих за формулою опитування користувачів (див. рис. 3). Такий результат складається з двох частин: перша – у вигляді діаграми, де наочно видні інтервальні оцінки кожного працівника (сині прямокутники на діаграмі); друга – визначення працівників, які задовольняють оцінками, заданим фірмою. Таблиці на формі формуються відповідно до узгоджених оцінок \hat{E}_i та \tilde{E}_i .

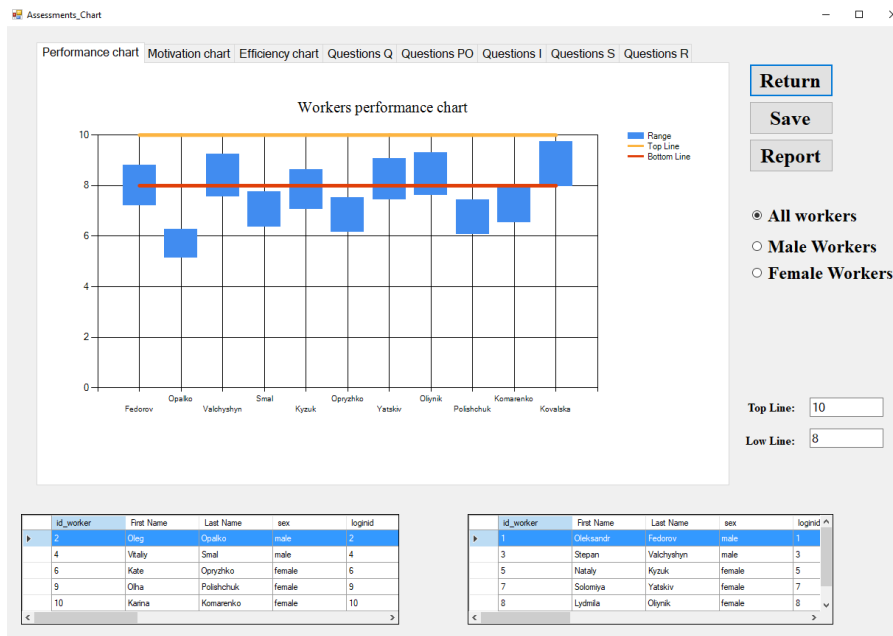


Рисунок 4 – Вікно перегляду результатів

На даному рисунку з графіка ми наочно бачимо результати усіх користувачів, які пройшли задане їм опитування. На відмітці 8 – у нас нижня межа та на відмітці 10 – верхня межа (задані фірмою). Всі працівники, які увійшли у вказані рамки нижньої та верхньої межі, не потребують подальшого опрацювання, так як вони ефективно виконують свою роботу та є вмотивовані і надалі це робити.

Під графіком у нас є дві таблиці з працівниками. Ліва таблиця відображає тих працівників, коефіцієнти ефективності яких менше мінімальної межі прохідності, тобто менше 8. Це ті працівники, ефективність роботи яких настільки низька, що з ними необхідно працювати першочергово на рахунок покращення їхньої мотивації. Права таблиця відображає працівників, коефіцієнт ефективності яких перетинає мінімальну межу. Це працівники, які на достатньому рівні ефективності своєї роботи, але керівнику необхідно звернути увагу на те, наскільки цей рівень достатній для задоволення потреб фірми та визначити доцільність мотивування цих працівників. Наприклад, візьмемо працівника, нижня межа коефіцієнта ефективності якого 7.97 і верхня – 8.64. Його коефіцієнт ефективності відхиляється від входження в задані межі всього на 0.03, що показує достатню вмотивованість працівника. Також візьмемо людину, межі коефіцієнта ефективності якого становлять від 7.07 до 8.04. Знаючи що 8 – це мінімальна межа, робиться висновок про необхідність детального пропрацювання мотиваційних чинників впливу на ефективність роботи працівника для збільшення його коефіцієнта ефективності і потрапляння в задані межі.

Наступний крок – відображення показників ефективності кожного окремого працівника певної категорії (згідно узгодженості оцінок) (див. рис. 5).

З отриманого графіка ми можемо зробити висновок, які саме коефіцієнти ефективності найбільше вплинули на кінцевий результат оцінювання, тобто за рахунок яких коефіцієнтів відбулося або ні включення у визначений (встановлений фірмою) інтервал.

На наступному етапі працівникам, які потрапили у таблицю із незадовільними результатами пропонується пройти анкетування на вплив мотиваційних чинників на покращення ефективності їх роботи. Для цього розробляється анкета із мотиваційними чинниками, важливість яких для себе працівник має оцінити по шкалі від 0 до 10. Мотиваційні чинники формуються відповідно до трьох категорій: матеріальні, соціальні та психологічні [4].

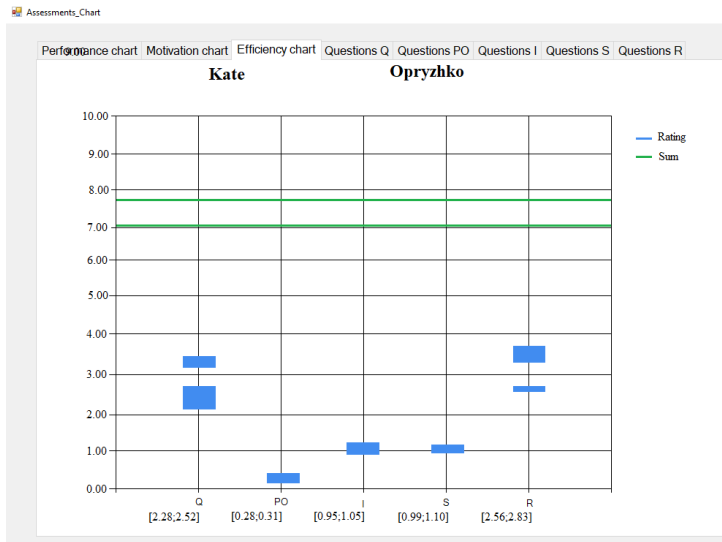


Рисунок 5 – Графік ефективності працівника

Наступним кроком необхідно розподілити мотиваційні чинники (потреби) по трьох блоках, з яких користувач (працівник) визначає для себе по степеню важливості. В системі передбачено внесення адміністратором такої кількості чинників, яку він вважає доцільною, але вибрати для тестування можна не більше п'яти, також є можливість їх редагування (див. рис. 6).

Category	Factor	Select	Clear
Material	1. Bonuses	Select	Clear
	2. Company car	Select	Clear
	3. [Redacted]	Select	Clear
	4. [Redacted]	Select	Clear
	5. Allowance for the position	Select	Clear
Social	1. [Redacted]	Select	Clear
	2. [Redacted]	Select	Clear
	3. [Redacted]	Select	Clear
	4. Social activity significance	Select	Clear
	5. Participation in the leadership and team work	Select	Clear
Psychological	1. [Redacted]	Select	Clear
	2. Convenience of working conditions	Select	Clear
	3. Flexible working schedule	Select	Clear
	4. Communication	Select	Clear
	5. Cultural events	Select	Clear

Рисунок 6 – Формування чинників мотивації по блоках

4) Формування, на основі анкетування, кривої показників ефективності в залежності від впливу мотиваційних чинників (див. рис. 7).

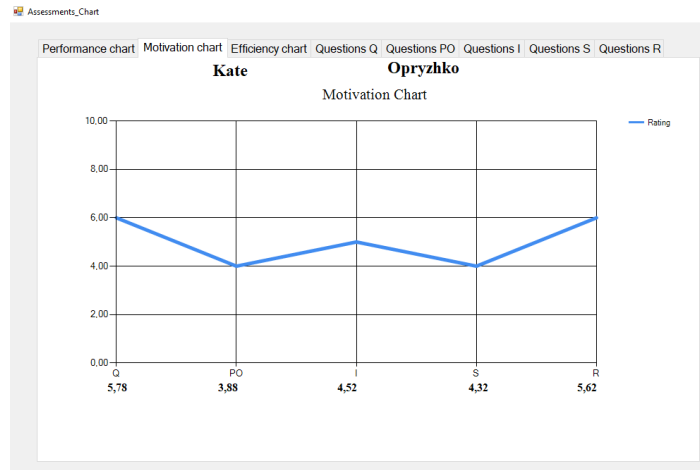


Рисунок 7 – Крива показників ефективності з врахуванням мотиваційних чинників

5) Наступним кроком є аналіз кривої мотивації. Натиснувши, наприклад, "Question Q" відкриється вкладка із виставленими мотиваційними оцінками, які мають вплив саме на показник кваліфікації (Q) (див. рис. 8).

Category	Factor	Rating	Selected
Material	Salary	5,00	<input type="checkbox"/>
	Allowance for the position	5,00	<input type="checkbox"/>
	Extra pay for years of service	5,00	<input type="checkbox"/>
	Overpayment	7,00	<input type="checkbox"/>
	Bonuses	7,00	<input checked="" type="checkbox"/>
Social	Certification training	8,00	<input checked="" type="checkbox"/>
	opportunity to take perspective	5,00	<input type="checkbox"/>
	Social status	7,00	<input type="checkbox"/>
	Social activity significance	6,00	<input type="checkbox"/>
	Participation in the leadership and team work	4,00	<input type="checkbox"/>
Psychological	Cultural events	2,00	<input type="checkbox"/>
	Communication	5,00	<input type="checkbox"/>
	Flexible working schedule	5,00	<input type="checkbox"/>
	Convenience of working conditions	8,00	<input type="checkbox"/>
	Business relationship with the administration	7,00	<input checked="" type="checkbox"/>

Рисунок 8 – Вікно для аналізу впливу мотиваційних чинників на показник кваліфікації (Q)

У лівій частині є три блоки по 5 чинників (потреб), які оцінював працівник. Вони відображаються в різних кольорах для легшого зрозуміння: який чинник має найбільший вплив на ефективність (від 0 до 10). Відображення в кольорах відбувається за наступними критеріями: червоний колір (0-5), жовтий колір (6-8) та зелений колір (9-10). Навпроти кожного чинника відображається оцінка працівника. Керівник, відмічає на формі відповідей чинники, які є найбільш вагові для працівника і які він, як керівник, може реалізувати. Дана інформація зберігається, і на її основі створюється звіт по працівниках, мотивацію яких керівник хоче підвищити або покращити (див. рис. 9).

This is an automated report regarding: Opryzhko Kate.

Motivation steps:

- 1. Bonuses (Material)
- 1. Certification training (Social)
- 1. Business relationship with the administrator (Psychological)

Рисунок 9 – Звіт про працівника

У звітності працівника відображаються наступні деталі: ім'я та прізвище працівника; категорія, у якій вибране мотиваційна потреба; потреба, яка найбільше мотивує працівника.

Після формування мотиваційної картини працівника, керівник приймає відповідні рішення, яким чином можна вмотивувати працівника для покращення його роботи. Наприклад, з матеріальної сторони, він може вмотивувати бонусами у вигляді грошової нагороди за виконану роботу (премія чи добавка до зарплати за понаднормову роботу); з соціальної сторони – профінансувати або компенсувати певну частину коштів на додаткове навчання від компанії. Це можуть бути як і курси в середині компанії, так і підвищення кваліфікації за її межами. Дивлячись на психологічну сторону можна зробити висновок, що працівнику важлива внутрішня атмосфера в компанії і налагодження бізнес-стосунків зі своїм керівництвом.

Висновки

1. Програмна система вирішує проблему оцінювання впливу мотивації на ефективність праці як окремо взятого працівника, так і колективу за рахунок аналізу кривих їх вмотивованості.

2. Проведення оцінювання відбувалось шляхом двоетапного залучення (автоматизованого) працівників для визначення та оцінювання вагомості своїх потреб.

3. Для керівників великих компаній даний підхід для оцінювання рівня впливу мотивації на ефективну роботу працівників можна розглядати і з точки зору створення психологічного портрету працівника, який дасть змогу усвідомити особисті цілі працівника, зрозуміти й адекватно оцінювати працівників, своєчасно і оптимально приймати рішення.

Список літератури

- [1] А. П. Егоршин, *Мотивация трудовой деятельности: учеб. Пособ.* Н. Новгород, Россия: НИМБ, 2003.
- [2] А. Я. Кибанов, И. А. Баткаев, Е. А. Митрофанова, М. В. Ловчева, *Мотивация и стимулирование трудовой деятельности: учеб.* М., Россия: ИНФРА-М, 2010.
- [3] D. McGregor, *The Human Side of Enterprise.* N. Y., USA: McGraw-Hill, 2005.
- [4] Employee Engagement – References and Materials [Електронний ресурс] // Supervisory Development Program – Режим доступу: <https://supervising.umn.edu/module-5-employee-engagement/employee-engagement-references-and-materials>.
- [5] А. О. Азарова, О. А. Ковальчук, *Математичні моделі та методи управління мотивацією персоналу: монографія.* Вінниця, Україна: ВНТУ, 2014.
- [6] S. Krepych, I. Spivak and R. Krepych, «Research of the agree of experts' evaluations in the estimation of software systems», in *International Conference "Advanced Computer Information Technologies*, Czech Republic, Ceske Budejovice, 2018, pp.203-206.
- [7] I. Spivak, S. Krepych, S. Spivak and O. Fedorov, «Approach to estimate the level of influence of motivation on the effectiveness of employees9, depending on their needs», in *3rd International Conference Advanced information and communication technologies*, Lviv, 2019, pp.46-49.

Стаття надійшла: 10.10.2020.

References

- [1] P. Egorshin, *Motivation of work activity: textbook.* N. Novgorod, Rossiya: NIMB, 2003.
- [2] A.Ya Kibanov, E. A. Mitrofanova, M. V. Lovcheva, *Motivation and stimulation of labor activity: tbook.* M., Rossiya: INFRA-M, 2010.
- [3] D. McGregor, *The Human Side of Enterprise.* N. Y., USA: McGraw-Hill, 2005.
- [4] Employee Engagement - References and Materials [Electronic resource] // Supervisory Development Program – Access mode: <https://supervising.umn.edu/module-5-employee-engagement/employee-engagement-references-and-materials>.
- [5] A. O. Azarova, O. A. Kovalchuk, *Mathematical models and methods of personnel motivation management: monograph.* Vinnitsa, Ukrayina: VNTU, 2014.
- [6] S. Krepych, I. Spivak and R. Krepych, «Research of the agree of experts' evaluations in the estimation of software systems», in *International Conference "Advanced Computer Information Technologies*, Czech Republic, Ceske Budejovice, 2018, pp.203-206.
- [7] I. Spivak, S. Krepych, S. Spivak and O. Fedorov, «Approach to estimate the level of influence of motivation on the effectiveness of employees9, depending on their needs», in *3rd International Conference Advanced information and communication technologies*, Lviv, 2019, pp.46-49.

Відомості про авторів

Співак Ірина Ярославівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університета.

Крепич Світлана Ярославівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук
Західноукраїнського національного університета.

И. Я. Спивак, С. Я. Крепыч

**ОЦЕНИВАНИЕ УРОВНЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ МОТИВАЦИИ
ТРУДА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Западноукраинский национальный университет, Тернополь

I. Ya. Spivak, S. Ya. Krepych

**EVALUATION OF THE LEVEL OF INFLUENCE OF LABOR
MOTIVATION ON THE EFFICIENCY OF ACTIVITY**

West Ukrainian National University, Ternopil

УДК 004.63

О. М. Ткаченко, Я. О. Тютюнник, П. В. Чирва, В. Л. Комаров

СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ЗВУКОВИХ СИГНАЛІВ НЕМОВЛЕННЄВОГО ПОХОДЖЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. Дана робота присвячена розробці програмного забезпечення, яке дало б змогу проводити розпізнавання звукових сигналів немовленнєвого походження. У статті проведений огляд існуючих на сьогоднішній день систем розпізнавання звуків, визначено їх переваги та недоліки. Приводиться список найбільш поширених алгоритмів, які можуть бути використанні для процесу навчання моделі та класифікації звуків. Більш детально розглядається модель гаусівського змішаного розподілу, яка і використовується для опису моделей звуків. Наводиться опис процесу розпізнавання звукових сигналів та їх подальша класифікація. Дана програма може використовуватись для аудіодетекції сигналів, наявних у базі даних. Продукт може використовуватись як самостійно, так і входити до складу програмно-апаратних комплексів відповідного призначення. Використання засобів мови програмування C++ дозволило зробити його ефективним та зберегти швидкодію. Також наводиться статистика результатів розпізнавання та робиться висновок щодо ефективності системи.

Ключові слова: розпізнавання звуків немовленнєвого походження, Гаусівська змішана модель, класифікація, технології машинного навчання, системи розпізнавання звуків.

Аннотация. Данная работа посвящена разработке программного обеспечения, которое позволило бы проводить распознавание звуковых сигналов неречевых происхождения. В статье проведен обзор существующих на сегодняшний день систем распознавания звуков выделены их преимущества и недостатки. Приводится список наиболее распространенных алгоритмов, которые могут быть использованы для процесса обучения модели и классификации звуков. Более подробно рассматривается модель гауссовского смешанного распределения, которая и используется для описания моделей звуков. Приводится описание процесса распознавания звуковых сигналов и их дальнейшая классификация. Данная программа может использоваться для аудiodетекции сигналов имеющихся в базе данных. Продукт может использоваться как самостоятельно, так и входит в состав программно-аппаратных комплексов соответствующего назначения. Использование средств языка программирования C++ позволило сделать его эффективным и сохранить быстродействие. Также приводится статистика результатов распознавания и делается вывод об эффективности системы.

Ключевые слова: распознавания звуков неречевых происхождения, гауссовской смешанная модель, классификация, технологии машинного обучения, системы распознавания звуков.

Abstract. This work is devoted to the development of software that would allow the recognition of sound signals of non-speech origin. The article reviews the current sound recognition systems, identifies their advantages and disadvantages. The list of the most widespread algorithms which can be used for process of training of model and classification of sounds is resulted. The Gaussian mixed distribution model, which is used to describe the program's sound models, is considered in more detail. An overview of the process of recognition of sound signals and their further classification is given. This program can be used for audio detection of signals that are available in the database. The product can be used on its own or included in other more advanced recognition systems. Using the tools of the C++ programming language allowed to make it efficient and maintain speed. Statistics of recognition results are also given and a conclusion on the efficiency of the system is made.

Keywords: recognition of sounds of non-speech origin, Gaussian mixed model, classification, machine learning technologies, sound recognition systems.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2020-49-3-30-36>.

Вступ

Передумовою стрімкого розвитку голосових технологій є значне збільшення обчислювальних можливостей при значному зменшенні габаритів електронних обчислювальних пристроїв. Також варто відзначити розвиток математичних методів, що дозволяють виконати необхідну обробку аудіосигналу шляхом виділення з нього інформативних ознак.

Тема ідентифікації звукових сигналів є популярною на сьогоднішній день. Багато задач виникає при бажанні використати голосові команди для взаємодії з мобільними телефонами та іншою електронікою. Для прикладу, введення голосових команд для отримання інформації з мережі Інтернету, прокладання маршруту руху транспортного засобу, надиктовка тексту повідомлення голосом замість того щоб набирати його на клавіатурі. З розвитком функцій розумного будинку, з'явилася можливість управління домашньою, офісною технікою за допомогою електронних пристроїв голосовими командами. Все це знаходить широкого застосування в сучасному світі.

Також існують системи розпізнавання звуків, за допомогою яких робиться внесок у безпековий компонент нашого буття. Якщо покрити мережу міста мікрофонами та мати можливість розпізнавати постріли, крики про допомогу чи інші підозрілі звуки, поліція зможе вчасно реагувати на них. Точно визначивши джерело звуку можна навіть сказати поверх будинку та квартиру, де відбулася неправомірна ситуація.

Застосування таких систем суттєво поліпшує те, що прийнято називати «якістю життя». Проте в них усіх є свої недоліки, що проявляються в вузькій спеціалізації, закритості програмних продуктів та високій ціні. Таким чином можна стверджувати, що тема дослідження є на сьогоднішній день актуальною.

О. М. Ткаченко, Я. О. Тютюнник, П. В. Чирва, В. Л. Комаров, 2020

Мета

Метою дослідження є підвищення ймовірності коректного розпізнавання сигналів звукового походження за рахунок вибору і налаштування моделі та розробки алгоритмів і програмного забезпечення, яке за допомогою підготовленої бази звукових сигналів буде проводити їх класифікацію.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- провести аналіз існуючих на ринку систем розпізнавання звуку;
- дослідити існуючі моделі класифікації та визначити модель, яка найкраще підходить для розпізнавання звукового сигналу;
- дослідити сучасні інструменти, які дозволять реалізувати на практиці обрану модель класифікації;
- розробити програмне забезпечення;
- провести тестування розробленого програмного забезпечення.

Існуючі системи розпізнавання звуків

На сьогоднішній день є доволі великий та різноманітний асортимент програм, метою яких є розпізнавання звуків. Кожна з них має як свої недоліки, так і переваги. Слід зазначити, що усі вони є спеціалізовані під конкретний розв'язок певної задачі і не можуть бути використанні для інших цілей. Велику частину з них складають системи розпізнавання музичних файлів та системи розпізнавання мови людини. Найбільш відомими прикладами серед таких програм є Siri, Google Assistant, та Shazam. Також слід окремо згадати систему, яка дає змогу виявляти постріли у міському середовищі. Вона має назву ShotSpotter. Нижче буде детальніше розказано про кожен із систем.

ShotSpotter – це система, яка має змогу виявляти та передавати інформацію про розташування стрільби з вогнепальної зброї з використанням різних типів датчиків, таких як акустичні, оптичні та інші, а також комбінації таких датчиків. Данна система використовується правоохоронними органами та приватними підприємствами для визначення джерела та напрямку. Також система може визначати тип пострілу.

Siri – це персональний помічник від компанії Apple. Вона є частиною операційної системи iOS, на базі якої працюють телефони, комп'ютери та планшети вищезгаданої компанії. Основне її завдання – це спілкування з людиною. Комп'ютер може давати інформацію користувачеві у подібному на людський форматі. В свою чергу користувач має змогу їй відповідати голосом та давати відповідні команди. Відбувається ніби спілкування схоже між двома людьми. Варто зазначити, що Siri є результатом роботи досліджень, які накопичувалися більше сорока років.

Google Assistant представляє з себе хмарний сервіс який виконує функції персонального асистента. За великим рахунком він є прямим конкурентом Siri та виконує подібні функції. Розроблений віртуальний асистент корпорацією Google. Сьогодні, продукт знаходиться на такому рівні, що може безпомилково розпізнавати мову людини та вести прямий діалог між машиною та живою людиною. Сервіс є дуже цікавим і корисним. Однак основним його завданням є розпізнавання мови і заточений він саме під ці задачі. Він не підходить для розпізнавання будь яких звуків.

Shazam – це ще один дуже корисний сервіс. Він допомагає знаходити музичні композиції по фрагменту з пісні. Якщо дати йому декілька секунд звучання будь якої частини музичної композиції, неважливо, якої саме частини та неважливо чи є в ньому спів виконавця, він знайде його у своїй базі та видасть користувачеві назву твору та усю інформацію про нього. Для цього Shazam створює спеціальну сигнатуру, що є ніби відбитком пальців, якщо проводити аналогію з людиною.

Якщо підводити підсумок то можна зазначити що існує багато систем розпізнавання звукових сигналів, проте кожна з них є вузькоспеціалізованою. Тобто кожна система може виконувати тільки задачі своєї області. Усі ці системи розроблялись приватними компаніями і відповідно усі вони є закритими технологіями. Данну характеристику можна віднести до основного недоліку наявних програм.

Вибір моделі для класифікації звуку

Алгоритми машинного навчання. Машинне навчання англійською Machine learning або ML – це окрема частина в області штучного інтелекту, а саме, набір алгоритмів та методів для побудови системи, яка буде мати змогу вчитись на власному досвіді [2]. Для навчання система обробляє великі масиви вхідних даних і має знайти у них закономірності. Саме те як система буде знаходити закономірності і описується різними методами навчання. Це сукупність алгоритмів, що дозволяють комп'ютеру робити правильні висновки на підставі даних. Варто зазначити, що у програми немає жорстко заданої логіки. Тобто машина отримує на вхід параметризовані дані та сама має знайти закономірності між ними у процесі роботи алгоритму навчання. Саме це вигідно відрізняє нейронні мережі від звичайних програм. Там де людина не зможе фізично обробити великі об'єми інформації нейромережа буде це робити. Людині не потрібно її задалегідь програмувати. Усе необхідне вона зробить сама у процесі навчання.

Загалом процес навчання можна поділити на два типи [3]:

- навчання з учителем;

- навчання без учителя.

Відмінність полягає в тому, що на вхід системи яка навчається з учителем подаються параметризовані данні та вказується правильна відповідь. Це дозволяє системі підлаштовувати правила для класифікації таким чином, щоб отримати найкращий результат. В той же час на вхід системи яка навчається без учителя подаються тільки параметризовані данні. Такі системи часто використовуються тоді коли ми самі не знаємо правильної відповіді заздалегідь. Система розподіляє усі данні на вказане число кластерів, використовуючи принцип найбільшої подібності.

У процесі розпізнавання звуків буде використано явище класифікації. Класифікація – це процес у нейронній мережі який присвячений розв'язанню наступної задачі: у нас в наявності є множина об'єктів які деяким чином потрібно поділити на класи [4]. Також у нас в наявності є обмежена множина об'єктів, для яких відомо, до якого класу вони відносяться. Цю множину називають навчальною вибіркою. Класова ж приналежність інших об'єктів не відома. Вимагається побудувати такий алгоритм, що буде здатним класифікувати будь-який об'єкт початкової множини.

Задача класифікації відноситься до розділу навчання з учителем. Для цього у нас мають бути зразки кожного класу – об'єкти, про які заздалегідь відомо до якого класу вони належать. Для класифікації та розпізнавання звуку може бути використана більшість існуючих алгоритмів машинного навчання, які в змозі розв'язувати задачу класифікації. Основний список методів, який можна використати для задачі класифікації:

- метод опорних векторів;
- логістична регресія;
- метод k-найближчих сусідів;
- GMM класифікатор;
- наївний байєсівський класифікатор;
- дерева рішень.

На основі проведеного аналізу та результатів попередніх досліджень для навчання системи та подальшого розпізнавання було обрано класифікатор на основі Гаусовських змішаних моделей.

GMM класифікатор. Модель Гаусової суміші (англ. Gaussian Mixture Models) є імовірнісною моделлю. Вона базується на припущенні, що всі об'єкти, які належать до певних класів, утворюються з суміші скінченної кількості гаусових розподілів з невідомими параметрами [5].

Назва моделі «Змішана» полягає в тому, що дані виглядають мультимодально, тобто існує більше одного «піку» в розподілі даних. Спроби встановити мультимодальний розподіл з унімодальною (однією «піковою») моделлю, як правило призведуть до поганого результату. Це відбувається через зміщення спільного центру до області де спільних точок взагалі може не бути. Це явище можна спостерігати на рис. 1 (ліворуч). Оскільки існує багато простих розподілів які є одномодальними, очевидним способом моделювання мультимодального розподілу було б припущення, що він генерується множиною одномодальних розподілів. Таким чином, моделювання мультимодальних даних як суміші багатьох одномодальних гаусових розподілів має інтуїтивний сенс. Крім того, GMM підтримують багато теоретичних та обчислювальних переваг моделей Гаусса, що робить їх практичними для ефективного моделювання дуже великих наборів даних.

Обрана модель GMM для даних класів зразків звуків дозволяє краще описати кожен звук який буде занесено в базу. В подальшому це дасть можливість краще відрізнити зразки різних звуків, що призведе до поліпшення їх розпізнавання.

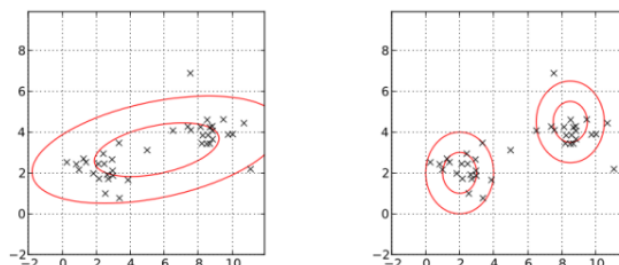


Рисунок 1 – Унімодальна та мультимодальна модель класу

Аудіодетекція звукового сигналу

Починається процес розпізнавання з перетворення акустичного сигналу в цифрову форму. Для цього використовуються методи аналогово-цифрового перетворення. На виході ми отримуємо звукові фрагменти у wav форматі. Далі, із звукового фрагменту, за допомогою спеціального математичного перетво-

рення виділяються певний набір параметрів. Тривалість кожного фрагменту складає 10 мс. Сам процес називається параметризація. На рис. 2 можна побачити загальну схему аудіодетекції звукового сигналу.

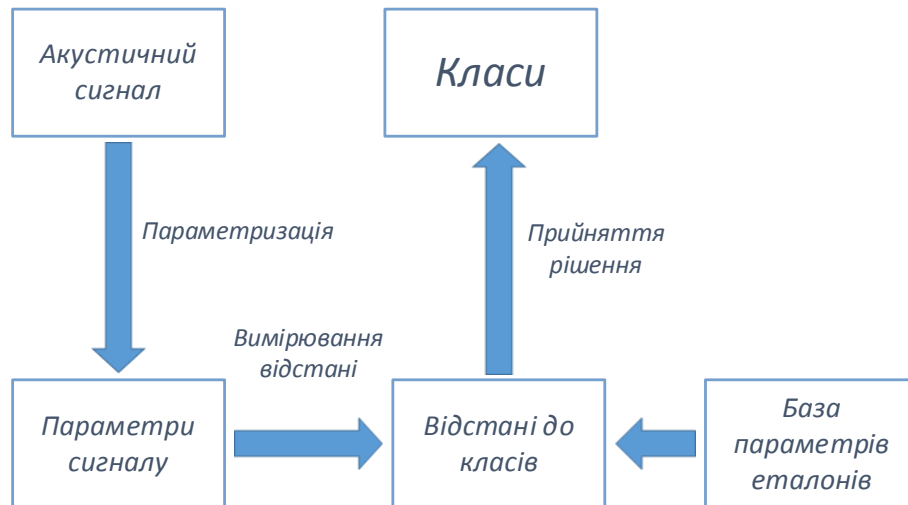


Рисунок 2 – Схема аудіодетекції звукового сигналу

На другому етапі розпізнавання відбувається вимірювання відстані до наявних шаблонних моделей, які є у базі. Так після першого етапу у нас є в наявності параметри фрейму, які ми можемо подати на вхід навченої моделі і вона нам видасть відстань до кожного класу, який наявний у базі. Данна відстань є імовірнісною характеристикою приналежності фрейму до класу.

Останнім етапом розпізнавання є процес прийняття рішення. Так як у нас є в наявності відстані до кожної моделі класу в базі ми можемо порівняти їх та визначити якій з них належить фрейм який проходить перевірку. Проте процес прийняття рішення зводиться до більш складної процедури ніж простий вибір найбільш імовірного значення. Так варто враховувати мінімальну кількість фреймів яка необхідна для ідентифікації певного звуку, попередні фрейми які проходили розпізнавання, можливість розмиття значення відстані, шляхом знаходження середнього серед певної кількості фреймів ті інші додаткові параметри. Після цього ми можемо віднести фрейм до певного класу, або констатувати що він не є схожим на жоден звук з бази.

Обробка аудіосигналу для отримання параметрів моделі. Параметризація аудіосигналу має на меті виділити в звуковому файлі інформацію, яка є значущою для задачі розпізнавання звуків. Данні ознаки будуть використані для створення шаблонних класів, а у подальшому для порівняння з ними вхідних фреймів. Загалом, важко сказати які з ознак краще підходять для задачі розпізнавання звуків. Вибір певного набору ознак встановлюється шляхом емпіричного підбору із подальшою перевіркою результатів та їх порівнянням [1].

Був використаний підхід за якого великий звуковий файл розбивається на маленькі частинки – фрейми. Тривалість фрейму вибирається в межах 5-20 мс. Передбачається, що параметри сигналу на таких малих проміжках змінюються не суттєво. Експериментальним шляхом було встановлено, що для даного підходу в розпізнаванні краще всього підходять кепстральні коефіцієнти.

Ми будемо використовувати підхід за якого кепстральні коефіцієнти будуються на основі лінійного передбачення. За допомогою методу лінійного передбачення можна апроксимувати поточний відлік застосовуючи лінійну комбінацією певної кількості попередніх відліків (1).

$$x_n \approx \sum_{k=1}^p a_k x_{n-k}, \quad (1)$$

За допомогою рекурсивного алгоритму Дарбіна ми можемо знайти коефіцієнти лінійного передбачення. В подальшому на їх основі розраховуються кепстральні коефіцієнти [4]. Варто зазначити, що в теорії таких коефіцієнтів може бути навіть більше ніж коефіцієнтів лінійного передбачення (2).

$$x_n = \begin{cases} a_n + \sum_{k=1}^{n-1} \frac{k}{n} c_k a_{n-k}, & 1 \leq n \leq p; \\ \sum_{k=n-p}^{n-1} \frac{k}{n} c_k a_{n-k}, & n > p. \end{cases} \quad (2)$$

У нашому випадку ми будемо використовувати 10 коефіцієнтів лінійного передбачення. На їх основі буде згенеровано 10 кепстральних коефіцієнтів.

Процес класифікації. Вектор із ознаками фрейму, у нашому випадку це набір кепстральних коефіцієнтів, який ми отримуємо після стадії параметризації, використовується для побудови шаблонних моделей та для порівняння з наявними в базі моделями. Для процесу розпізнавання ми маємо визначити спосіб за яким буде обчислюватись ступінь подібності зразка, який проходить перевірку, з одним або декількома шаблонами. Данна ступінь подібності являє собою певну метрику наближеності вхідного зразка до наявних класів. Найпоширенішими способами обчислення метрики є наступні:

- манхетенська відстань;
- евклідова відстань;
- відстань Махалонобіса;

Для обрахунку відстані в Гаусових змішаних моделях найчастіше використовують останню. Її формула наведена нижче. У цій формулі W^{-1} є матрицею коваріації.

$$d(x, y) = (x - y)^T * W^{-1} * (x - y). \quad (3)$$

Програма, яка буде порівнювати вхідний вектор із моделями які наявні в базі, для кожної моделі буде генеруватись число, яке показує наближеність фрейму до неї. Можна сказати, що чим це число є більшим – тим більшою є ймовірність того, що вектор є приналежним до даного класу.

Так, на рис. 3 наводиться порівняння відстаней до наявних у базі моделей. База, з якою проводиться порівняння, налічує 8 зразків звуків. До неї входять спів пташки, звуки пострілу з автомата, пістолета, рушниці, реактивної пускової установки а також крик людини, звук гуркоту трактора та тиші. Для порівняння з шаблонними зразками подається один фрейм який є частиною звуку роботи трактора. Як бачимо система його розпізнала найкраще. Наближеність до моделі звуку трактора склала 8,67.

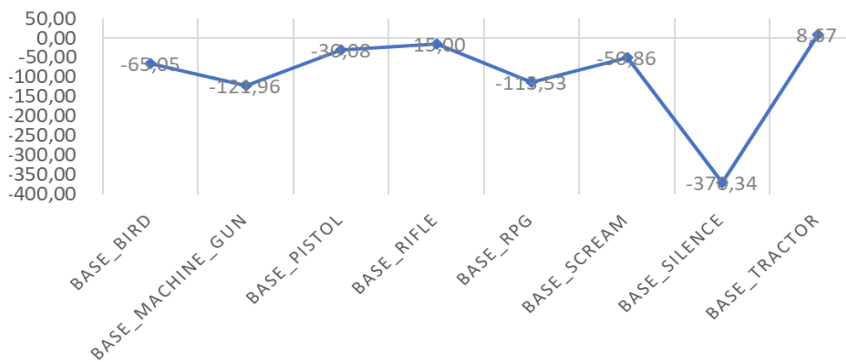


Рисунок 3 – Порівняння відстаней до наявних у базі моделей

На рисунку вище наведена ситуація за якої досить легко можна ідентифікувати приналежність вхідного вектора до певного класу. Проте існують ситуації коли результати не такі очевидні. Скажімо може виникати співпадіння одразу з декількома класами або і взагалі співпадіння з класом який не є істинним для фрейму. Тут вступає в дію розроблений алгоритм прийняття рішення. У ньому ми знаходимо середнє значення відстані із 30 послідовних фреймів, і тільки після цього приймаємо рішення про віднесення першого із них до певної моделі. Цей прийом дає змогу уникнути ситуації випадкових співпадінь.

Огляд результатів. Для тестування розробленої системи був згенерований файл тривалістю 26 секунд у якому були зібрані усі звуки які наявні у базі а також звук шуму, який там відсутній. Детальна інформація про результати розпізнавання наведена у табл. 1.

Таблиця 1 – Результати розпізнавання тестового звуку

№	Назва звуку	Усього фреймів	Розпізнано	Не розпізнано	Відсоток розпізнавання
1	Тиша	52	30	22	58%
2	Спів пташки	310	195	115	63%
3	Тиша	53	34	19	64%
4	Рушниця	157	83	74	53%
5	Тиша	38	19	19	50%
6	Пістолет	90	40	50	44%
7	Тиша	70	45	25	64%
8	Автомат	120	92	28	77%
9	Тиша	90	55	35	61%
10	Трактор	792	639	153	81%
11	Тиша	84	62	22	74%
12	Спів пташки	62	59	3	95%
13	Пістолет	82	45	37	55%
14	Тиша	131	101	30	77%
15	Шум	400	0	400	0%

Варто зазначити, що для створення тестового файлу бралися зразки звуків, які не використовувалися для навчання моделей. Як видно із результатів розпізнавання, кожен звук був правильно розпізнаний та вірно віднесений до своєї моделі. Загальний відсоток розпізнавання становить 65%. Особливістю результатів є те, що при переході від одного зразка звуку до іншого втрачається точність розпізнавання. Це є очікувано, так як для розпізнавання фрейму ми накопичуємо послідовність із 30 фреймів і при граничних значеннях правильно розпізнані фрейми нівелюється дуже низькими значеннями неправильних.

Висновки

Підсумком виконання даного дослідження стала розробка програмного забезпечення, яке дає можливість розпізнавати сигнали немовленнєвого походження. Висока продуктивність та надійність системи досягається за рахунок її реалізації мовою програмування C++ в середовищі Visual Studio.

Розпізнавання звуків, так як і багатьох інших моделей розпізнавання, зводиться до вибору моделі яка буде представляти дані та алгоритмів машинного навчання і способу класифікації. За допомогою Гаусівських змішаних моделей ми описуємо шаблонні класи більш точно у мультимодальному форматі, ніж якби ми це робили за допомогою звичайних розподілів унімодально. За параметри моделі, що передаються на вхід системи розпізнавання, було використано кепстральні коефіцієнти. Їх вибір обумовлений попередніми дослідженнями.

Було проведено тестування розробленого продукту, що підтвердило ефективність розпізнавання звуків, наявних в базі. Усі звуки, які проходили перевірку були правильно віднесені до своїх шаблонних моделей. Загальний відсоток правильного розпізнавання фреймів склав 65%.

Розроблене програмне забезпечення може працювати, як самостійно на базі підготовленої бази даних звуків, так і може бути інтегроване у інші системи розпізнавання звуків немовленнєвого походження.

Список літератури

- [1] Я. О. Тютюнник, Д. С. Чорний, О. М. Ткаченко, «Програмні засоби для аудіодетекції звукових сигналів немовленнєвого походження», у *Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. Молодь в науці, 11–30 травня. 2019 р.*, Вінниця, 2019, с. 1–2.
 - [2] С. И. Николенко, А. А. Кадурич, Е. О. Архангельская, *Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей*. СПб, Россия: Питер, 2018.
 - [3] P. Domingos, P. Pazzani, «On the optimality of the simple Bayesian classifier under zeroone loss», *Machine Learning*, №29, с. 103–137, 1997.
 - [4] T. Hastie, R. Tibshirani, F. Jerome, *The elements of statistical learning*. Stanford, California, USA: Springer, 2008.
 - [5] Richard Duda, *Pattern Classification*. New York, USA: WileyInterscience, 2004.
- Стаття надійшла: 19.11.2020.

References

- [1] Ya. O. Tyutyunyk, D. S. Chorny, O. M. Tkachenko, «Prohramni zasoby dlia audiodetektsii zvukovykh syhnaliv nemovlennievoho pokhodzhennia», u *Materialy Vseukr. nauk.-prakt. konf. Molod v nauksi, 11–30 travnia. 2019 r.*, Vinnytsia, 2019, s. 1–2.

- [2] S. I. Nikolenko, A. A. Kadurin, E. O. Arhangel'skaja, *Glubokoe obuchenie. Pogruzhenie v mir nejronnyh setej*. SPb, Rossija: Piter, 2018.
- [3] P. Domingos, P. Pazzani, «On the optimality of the simple Bayesian classifier under zeroone loss», *Machine Learning*, №29, с. 103–137, 1997.
- [4] T. Hastie, R. Tibshirani, F. Jerome, *The elements of statistical learning*. Stanford, California, USA: Springer, 2008.
- [5] Richard Duda, *Pattern Classification*. New York, USA: WileyInterscience, 2004.

Відомості про авторів

Ткаченко Олександр Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету.

Тютюнник Ярослав Олександрович – магістр кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету.

Чирва Павло Васильович – аспірант кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету.

Комаров Володимир Леонідович – аспірант кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету.

О. М. Ткаченко, Я. А. Тютюнник, П. В. Чирва, В. Л. Комаров

СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ НЕРЕЧЕВЫХ ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Винницкий национальный технический университет, Винница

O. M. Tkachenko, Ya. O. Tiutiunny, P. V. Chyrva, V. L. Komarov

RECOGNITION SYSTEM FOR SOUND SIGNALS OF NON- SPEECH ORIGIN

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia

КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ І КОМПОНЕНТИ

УДК 681.325.5

О. Д. Азаров, О. І. Черняк, О. Я. Стахов

АЦП ПОРОЗРЯДНО-СЛІДКУВАЛЬНОГО
ВРІВНОВАЖЕННЯ З ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. У статті подано інформаційні і структурні аспекти, покладені в основу організації аналого-цифрового перетворювача, що працює у режимах як слідкувального, так і порозрядного врівноваження. При організації слідкувального врівноваження можуть відбуватись значні перепади вхідного сигналу. Тому у таких випадках для пришвидшення виходу АЦП на слідкувальний режим авторами пропонується тимчасово переводити його у режим порозрядного аналого-цифрового перетворення. Для пришвидшення перетворення у слідкувальному режимі використовується запропонований авторами швидкодіючий реверсивний лічильник у системі числення з ваговою надлишковістю. АЦП також працює у цій системі числення. Наведено часову діаграму режимів роботи порозрядно-слідкувального АЦП у СЧВН. Описано структурну організацію даного перетворювача. Розроблено і наведено блок-схему вироблення блоком керування керуючих сигналів для роботи запропонованого АЦП. Використання запропонованого авторами рішення дозволить розширити сферу застосування слідкувальних АЦП.

Ключові слова: аналого-цифрове перетворення, слідкувальне аналого-цифрове перетворення, системи числення з ваговою надлишковістю, швидкодіючий лічильник.

Аннотация. В статье представлены информационные и структурные аспекты, положенные в основу организации аналого-цифрового преобразователя, работающего в режимах как следящего, так и поразрядного уравнивания. При организации следящего уравнивания могут происходить значительные перепады входного сигнала. Поэтому в таких случаях для ускорения выхода АЦП на следящий режим предлагается временно переводить его в режим поразрядного аналого-цифрового преобразования. Для ускорения преобразования в следящем режиме используется предложенный авторами быстродействующий реверсивный счетчик в системе счисления с весовой избыточностью. АЦП также работает в этой системе счисления. Приведена временная диаграмма режимов работы поразрядно-следящего АЦП в СЧВН. Описана структурная организация данного преобразователя. Разработана и приведена блок-схема выработки блоком-управления управляющих сигналов для работы предложенного АЦП. Использование предложенного авторами решения позволит расширить сферу применения следящих АЦП.

Ключевые слова: аналого-цифровое преобразование, следящее аналого-цифровое преобразование, системы счисления с весовой избыточностью, быстродействующий счетчик.

Abstract. The article presents the informational and structural aspects underlying the organization of an analog-to-digital converter operating in both tracking and bitwise balancing modes. When organizing tracking balancing significant differences in the input signal can occur. Therefore, in such cases, in order to accelerate the ADC output to the tracking mode, it is proposed by the authors to temporarily transfer it to the bitwise analog-to-digital conversion mode. To speed up the conversion in the tracking mode, the authors use the high-speed reverse counter in the number system with weight redundancy proposed by the authors. The time diagram of the operation modes of bitwise-tracking ADC in the SCHVN is given. The structural organization of this converter is described. A block diagram of the development of the control unit for the control signals for the operation of the proposed ADC is developed and presented. Using the solution proposed by the authors will expand the scope of the tracking ADCs.

Keywords: analog-to-digital conversion, tracking analog-to-digital conversion, number systems with weight redundancy, high-speed counter.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2020-49-3-37-44>.

Вступ

АЦП широко використовуються в інформаційно-вимірювальних системах та системах збирання й обробки аналогових і цифрових сигналів. Найбільш відомими і розповсюдженими є АЦП порозрядного кодування, які побудовані з використанням традиційної двійкової системи числення [1]. Досягнення більш високої продуктивності таких АЦП потребує вирішення задачі компенсації динамічних похибок [2]. Одним з відомих підходів, запропонованих з цією метою, є використання системи числення з ваговою надлишковістю [1-5]. Серед вказаних похибок важливою складовою є динамічна похибка другого роду, яка з'являється при зміні вхідного аналогового сигналу під час АЦ-перетворення. Суть даної похибки полягає у тому, що до точного отримання одного цифрового значення необхідно, щоб за час його формування аналоговий сигнал змінювався менше ніж на вагу молодшого розряду. Відомо публікації, в яких пропонується ефективно компенсувати динамічної похибки другого роду в порозрядних АЦП за рахунок використання вагової надлишковості [6]. Описаний підхід дозволяє практично на порядок підвищити швидкодію такого АЦП по відношенню до АЦП у двійковій системі числення. При порозрядному перетворенні отримання одного цифрового відліку у n-розрядному АЦП відбувається за n тактів врівноваження. Протягом даного часу аналоговий сигнал не повинен значно змінюватись. Це призводить до обмеження частотного діапазону вхідного сигналу.

Використання слідкувального АЦП можливо лише у тому випадку, якщо вхідний сигнал протягом такту врівноваження змінюється не більше, ніж на величину, що відповідає одиниці молодшого розряду коду [1]. Тобто, коли виконується співвідношення

$$|A(t + \Delta t) - A(t)| < A_1, \quad (1)$$

де $A(t)$ – значення аналогового сигналу на вході АЦП у момент часу t ;

Δt – час, витрачений на один такт АЦ-перетворення;

A_1 – величина аналогового сигналу, що відповідає одиниці молодшого розряду коду.

У випадку, якщо наведена вище умова виконується, результатом аналого-цифрового перетворення сигналу $A(t+\Delta t)$ буде код $C(t+\Delta t)$, значення якого визначається через значення попереднього коду $C(t)$ за таким виразом:

$$C(t + \Delta t) = \begin{cases} C(t) \text{ якщо } |A(t + \Delta t) - A(t)| < U_{\text{оп}} \cdot w^{-(n-1)}; \\ C(t) + 1 \text{ якщо } A(t + \Delta t) - A(t) \geq U_{\text{оп}} \cdot w^{-(n-1)}; \\ C(t) - 1 \text{ якщо } A(t + \Delta t) - A(t) \leq -U_{\text{оп}} \cdot w^{-(n-1)}. \end{cases}$$

Це означає, що наступний код можна отримати відніманням або додаванням одиниці до попереднього коду. Відомо АЦП слідкувального типу, у яких використовують для перетворення не регістр послідовного наближення, а реверсивний лічильник. У таких АЦП врівноважування відбувається за один такт лічби, який витрачається на віднімання чи додавання одиниці. Це дозволяє значно підвищити швидкодню аналого-цифрового перетворення для тих сигналів, що протягом часу Δt змінюються не більше ніж на одиницю молодшого розряду.

Отже, перевага АЦП слідкувального типу полягає у більш високій швидкості перетворення за рахунок використання реверсивних лічильників, тобто у зменшенні часу перетворення Δt . За цей час аналоговий сигнал зазнає незначної зміни, тому час на його врівноважування буде значно меншим ніж той, що затрачено на зміну стану лічильника, оскільки у лічильнику при цьому відбувається розповсюдження перенесення. Таким чином, підвищення швидкодії реверсивного лічильника у складі слідкувального АЦП дозволить у цілому підвищити його швидкодню. Це обґрунтовує важливість підвищення швидкодії лічильників, що працюють у складі аналого-цифрових перетворювачів, оскільки дозволяє суттєво зменшити час Δt перетворення одного відліку, протягом якого повинно виконуватись обмеження на швидкість зміни аналогового сигналу (1). Зменшення часу перетворення одного відліку дозволяє здійснювати слідкувальне АЦ-перетворення для сигналів більш високої частоти і таким чином розширити галузі використання слідкувальних АЦП.

Актуальність

Відомо наукові праці авторів, в яких опубліковано основи теорії систем числення з ваговою надлишковістю (СЧВН) [2-7], призначених для побудови на їх основі високоефективних цифро-аналогових і аналого-цифрових перетворювачів. Також відомо публікації авторів з ряду практичних реалізацій АЦП і ЦАП у цих системах числення. Крім того, авторами запропоновано принципи, методи і пристрої для повнофункціональної побітової арифметики в АМ-системах числення, які підмножиною СЧВН [8-16]. На основі запропонованого підходу до виконання арифметичних операцій розроблено методи швидкої лічби у СЧВН. Авторами опубліковано наукові праці, у яких запропоновано варіанти практичної реалізації швидкодючих лічильників у таких системах числення, що можуть використовуватись у аналого-цифрових перетворювачах слідкувального типу [17, 18]. Це створює передумови для розробки порозрядно-слідкувальних АЦП з використанням швидкодючих лічильників у системах числення з ваговою надлишковістю. У даній статті розглядається приклад порозрядно-слідкувального АЦП у системі числення на основі 1-послідовності Фібоначчі.

Мета

Метою даної розробки є розробка порозрядно-слідкувального АЦП у СЧВН з можливістю переходу до режиму порозрядного перетворення при значному зміні амплітуди вхідного сигналу.

Задачі:

- розглянути особливості порозрядно-слідкувального АЦ-перетворення та запропонувати метод його організації;
- розробити структуру, що реалізує даний метод;
- розробити алгоритм роботи блоку керування для забезпечення роботи порозрядно-слідкувального АЦП.

Вирішення задач

Запропонований авторами метод використовує системи числення з ваговою надлишковістю як для перетворення аналогових сигналів, так і для цифрової обробки їх кодів. При організації перетворення за даним методом у процесі кодування аналогового сигналу спочатку встановлюється режим порозрядного врівноваження, який потрібен для швидкого виходу на режим слідкувального врівноваження. У подаль-

шому встановлюється режим слідкувального врівноваження, при якому використовується швидкодіючий лічильник. У разі значної зміни аналогового сигналу знову здійснюється короточасний перехід до порозрядного врівноважування, після чого знову за можливості встановлюється слідкувальний режим. В залежності від режиму перетворення по-різному формується вихідний код Свих. У режимі порозрядного врівноваження він дорівнює коду у регістрі порозрядного наближення $S_{вих} = S_p$. У режимі слідкувального врівноваження код на виході АЦП визначається станом швидкодіючого лічильника $S_{вих} = S_l$. На рис. 1 показано послідовність зміни режимів порозрядно-слідкувального АЦП у процесі кодування аналогового сигналу, який може зазнавати різких змін амплітуди.

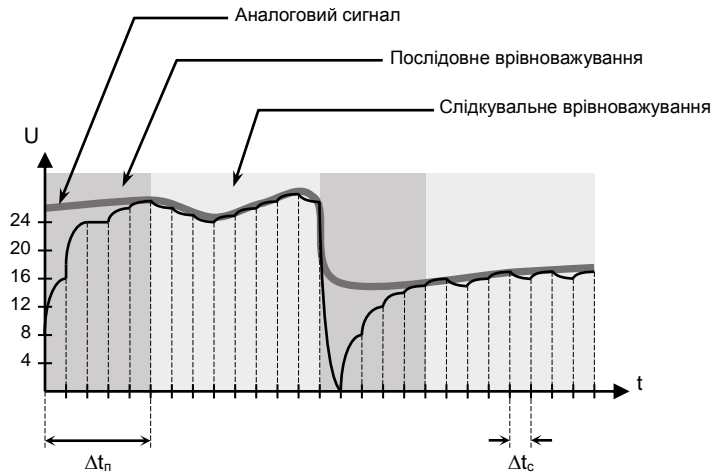


Рисунок 1 – Графік 5-розрядного порозрядно-слідкувального АЦП-перетворення

Якщо відбувається перехід з режиму порозрядного наближення у слідкувальний режим, то код регістра послідовного наближення переписується у реверсивний лічильник. Отже, режим порозрядного врівноваження фактично слугує для швидкого виходу на режим слідкувального перетворення. Схема структурної організації порозрядно-слідкувального АЦП зображена на рис. 2.

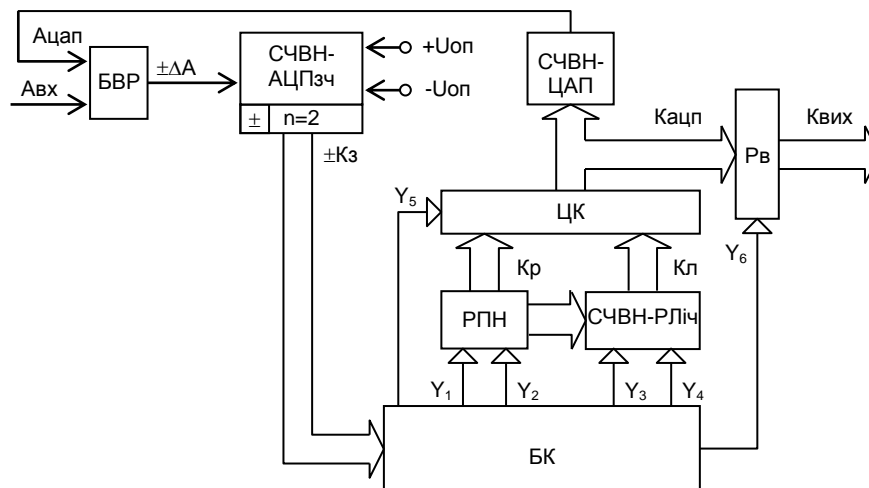


Рисунок 2 – Структурна організація порозрядно-слідкувального АЦП у СЧВН

Представлений на даному рисунку АЦП містить БК – блок керування, БВР – блок визначення різниці аналогових сигналів, ЦАП у СЧВН, СЧВН-АЦПзч – АЦП зчитування у СЧВН на два розряди, РПН – регістр послідовного наближення, СЧВН-РЛіч – реверсивний лічильник у СЧВН, цифровий комутатор ЦК та вихідний регістр Рв.

Використання СЧВН при побудові АЦП дозволяє навіть при відхиленні ваг розрядів у допустимому діапазоні коректно виконувати кодування аналогових сигналів, чого не може забезпечити АЦП на основі класичної двійкової системи числення. Це можна показати за допомогою так званої характеристики перетворення ЦАП у структурі АЦП, що являє собою графік, по осі абсцис якого розташовані коди у порядку зростання їх значень у двійковій системі числення, а по осі ординат розташовані значення цих ко-

дів у відповідній системі числення. Характеристика перетворення наглядно демонструє можливість кодування аналогових сигналів для різних систем числення при зміні ваг розрядів. У деякій системі числення можливо коректне представлення аналогового сигналу у певному діапазоні значень, якщо на характеристиці перетворення кожному значенню на осі ординат можна поставити у відповідність хоча б одне значення на осі абсцис.

На рис. 3 представлено характеристики перетворення двійкового ЦАП. На рис. 3а зображена характеристика з ідеальними вагами розрядів. На рис. 3б зображена характеристика перетворення двійкового ЦАП, у якого 3-й розряд має вагу не 8, а 10. З рисунка видно, що для значень аналогової величини 8 і 9 у даному випадку не існує відповідних кодів комбінацій.

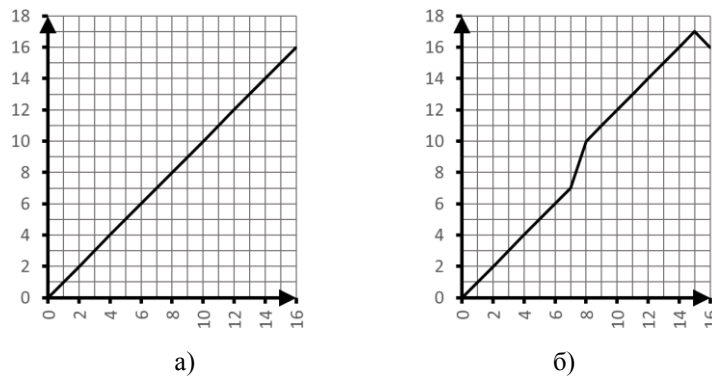


Рисунок 3 – Характеристика перетворення двійкового ЦАП
а) з ідеальними вагами розрядів,
б) при відхиленні ваги 3-го розряду на +2

На рис. 4 представлено характеристики перетворення фібоначієвого ЦАП. На рис. 4а зображена характеристика з ідеальними вагами розрядів. На рис. 4б зображена характеристика перетворення фібоначієвого ЦАП, у якого 3-й розряд має вагу не 5, а 7. З рисунка видно, що для кожного значення аналогової величини у даному випадку існує хоча б одна відповідна кодова комбінація.

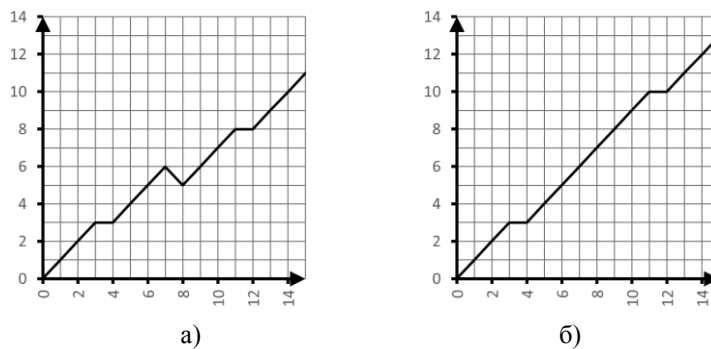


Рисунок 4 – Характеристика перетворення СЧВН-ЦАП
а) з ідеальними вагами розрядів,
б) при відхиленні ваги 3-го розряду на +2

Отже, відхилення ваг розрядів у ЦАП з ваговою надлишковістю у певних межах не призводить до неможливості його роботи у складі АЦП, у той час, коли будь-яке відхилення ваг двійкового ЦАП робить неможливим його використання для аналого-цифрового перетворення сигналів.

Розглянемо основні аспекти роботи запропонованого послідовно-слідкувального АЦП на основі СЧВН. При поданні на вхід АЦП аналогового сигналу $A_{вх}$ він поступає на вхід блока визначення різниці. БВР встановлює на своєму виході аналоговий сигнал $\pm \Delta A$, який дорівнює різниці аналогових сигналів $A_{вх}$ і $A_{цап}$. СЧВН-ЦАП призначений для перетворення у аналоговий сигнал $A_{цап}$ коду, який поступає з виходу цифрового комутатора. БК отримує з СЧВН-АЦП_{зч} код $\pm K_3$ сигналу $\pm \Delta A$ і встановлює на своєму виході керуючі сигнали Y_1 - Y_5 . РПН встановлює СЧВН-код K_p амплітуди аналогового сигналу $A_{вх}$ у режимі послідовного наближення. СЧВН-РЛіч формує СЧВН-код K_l амплітуди аналогового сигналу $A_{вх}$ у слідкувальному режимі. ЦК перемикає на свій вихід K_p або K_l і формує вихідний код $K_{вих}$, який поступає на вхід Рв. Блок-схема роботи блоку керування представлена на рис. 5.

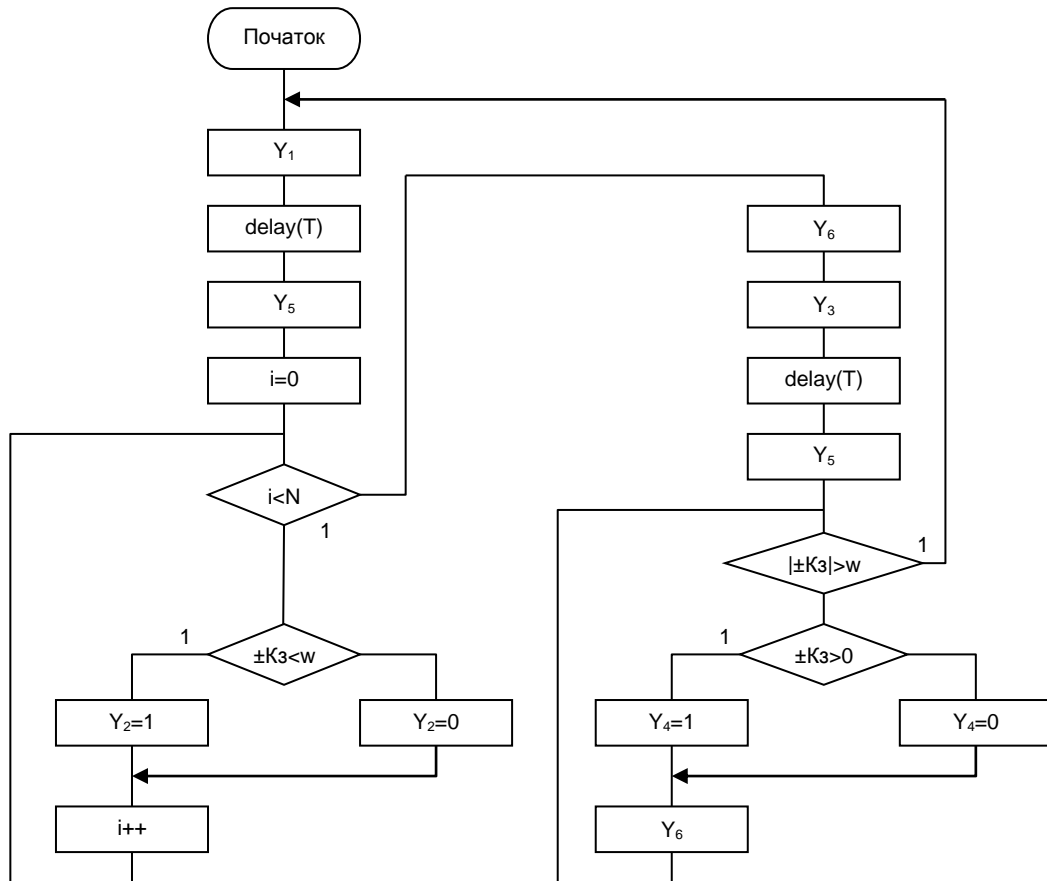


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритму роботи БК

Порозрядно-слідкувальний АЦП, схема якого представлена на рис. 2, працює у такий спосіб. БК генерує керуючі сигнали у відповідності з алгоритмом, який зображено на рис. 3. Одразу після вмикання АЦП він генерує сигнал Y_1 , який встановлює у нуль розряди регістра послідовного наближення. Після цього ним генерується керуючий сигнал Y_5 , який поступає на вхід ЦК і переводить його у режим комутації на свій вихід коду K_r з виходу РПН. РПН, починаючи зі старших, встановлює свої розряди в 0 або в 1 в залежності від керуючого сигналу Y_2 , який формується блоком керування і залежить від коду $\pm K_3$, що надходить з виходу СЧВН-АЦПз. Після завершення циклу послідовного перетворення АЦП переходить у режим слідкувального перетворення. При цьому за допомогою керуючого сигналу Y_3 відбувається запис коду з виходу РПН у СЧВН-РЛіч. Одночасно керуючий сигнал Y_5 встановлюється в одиничне значення і перемикає ЦК у режим комутації коду з виходу СЧВН-РЛіч на вхід СЧВН-ЦАП і на вхід P_v . Тобто, у режимі слідкувального врівноваження $K_{вих} = K_{л}$. Якщо у цьому режимі амплітуда вхідного сигналу $A_{вх}$ значно змінюється, то БК знову переходить у режим порозрядного врівноваження.

Таким чином, у запропонованому АЦП встановлення режиму порозрядного врівноваження на початку роботи і у випадку значної зміни амплітуди вхідного сигналу дозволяє набагато швидше виходити на слідкувальний режим. Якщо у цих випадках використовувати лічильник, то для виходу на слідкувальний режим потрібно буде приблизно α^n тактів (де α – це співвідношення між вагами сусідніх розрядів системи числення з ваговою надлишковістю, n – розрядність аналого-цифрового перетворювача). Введення режиму порозрядного врівноваження дозволяє виходити на режим слідкувального врівноваження всього за n – тактів. У режимі послідовного перетворення використання СЧВН в АЦП дозволяє на порядок підвищити його швидкодню за рахунок компенсації динамічної похибки другого роду. Використання швидкодіючого СЧВН-лічильника дозволяє підвищити швидкість слідкувального врівноваження приблизно в n разів порівняно із слідкувальним АЦП у класичній двійковій системі числення.

Висновки

У даній статті описано запропонований авторами метод побудови порозрядно-слідкувального аналого-цифрового перетворювача у СЧВН, у якому встановлюється режим порозрядного або слідкувального врівноваження в залежності від величини зміни вхідного аналогового сигналу. У режимі слідкувального врівноваження використовується розроблений авторами реверсивний СЧВН-лічильник, який

дозволяє значно підвищити швидкість перетворення вхідного аналогового сигналу. У статті описано суть методу та представлена схема структурної організації запропонованого АЦП. Описано роботу даного АЦП в обох режимах перетворення та надана блок-схема алгоритму роботи блоку керування. За рахунок використання СЧВН запропонований АЦП має більшу швидкість як у режимі слідкувального, так і в режимі порозрядного врівноваження у порівнянні з використанням класичної двійкової системи числення. Крім того, порозрядно-слідкувальний АЦП має значно менший час виходу на режим слідкувального врівноваження, ніж слідкувальний АЦП. Вказані переваги дозволяють розширити діапазон сигналів, для яких застосовується аналого-цифрове врівноваження та покращити метрологічні характеристики АЦП.

Список літератури

- [1] У. Титце, К. Шенк, *Полупроводниковая схемотехника. 12-е изд. Том II: Пер. с нем.* М., Россия: ДМК Пресс, 2007, 942 с.
- [2] В. В. Островерхов, *Динамические погрешности аналого-цифровых преобразователей.* Л.: «Энергия», 1975, 176 с.
- [3] О. Д. Азаров, *Основи теорії аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення: монографія.* Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ, 2004, 260 с.
- [4] О. Д. Азаров, *Аналого-цифрове порозрядне перетворення на основі систем числення з ваговою надлишковістю: монографія.* Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ, 2010, 186 с.
- [5] Л. В. Крупельницький, О. Д. Азаров, *Аналого-цифрові пристрої систем, що самокоригуються, для вимірювань і оброблення низькочастотних сигналів: монографія.* Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ, 2005, 167 с.
- [6] О. Д. Азаров, М. Ю. Шабатура, О. Г. Муращенко, «Динамічні похибки II роду в АЦП прискореного порозрядного наближення з ваговою надлишковістю», *Наукові праці ВНТУ*, №3, 10 с., 2010.
- [7] О. Д. Азаров, *Аналого-цифрове порозрядне перетворення на основі систем числення з ваговою надлишковістю: монографія.* Вінниця, Україна: ВНТУ, 2010, 232 с.
- [8] А. Д. Азаров, А. И. Черняк, «Полнофункциональная побитовая обработка результатов аналогоцифрового преобразования», у *Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації: Третя міжнародна наук.-практ. конф.* Вінниця, 2011, с. 208–209.
- [9] О. Д. Азаров, О. І. Черняк, П. О. Черняк, «Системи числення з адитивними та мультиплікативними співвідношеннями між вагами розрядів», *Вісник ВПП*, №1, с. 58–64, 2001.
- [10] О. Д. Азаров, О. І. Черняк, «Аналіз витрат обладнання пристроїв побітової арифметики у системі числення золотої 1-пропорції», *Проблеми інформатизації та управління*, Київ : НАУ, № 2(38), с. 5–9, 2012.
- [11] О. Д. Азаров, О. І. Черняк, «Обмеження адитивних співвідношень при порозрядній потоковій обробці в АМ-системах числення», *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, Вип. 3(31), с. 67–71, 2014.
- [12] О. Д. Азаров, О. І. Черняк, О. Г. Муращенко, «Порозрядне додавання в АМ-системах числення на основі адитивних перетворень», *Проблеми інформатизації та управління*, Вип. 1(45), с. 1421, 2014.
- [13] О. Д. Азаров, О. І. Черняк, «Визначення довжини перенесення при додаванні в системах числення з адитивними та мультиплікативними співвідношеннями між вагами розрядів», *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація*, Випуск 74, с. 401–407, 2004.
- [14] О. Д. Азаров, О. І. Черняк, «Розрядність пристроїв порозрядного додавання в АМ-системах числення», *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*, № 4, 2010. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/233>.
- [15] О. Д. Азаров, О. І. Черняк, «Структурна організація побітового додавання і віднімання кодів золотої 1-пропорції з урахуванням знаків», *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, № 3(22), с. 13–16, 2011.
- [16] О. Д. Азаров, О. І. Черняк, «Структурна організація побітового множення і ділення кодів золотої пропорції», *Проблеми інформатизації та управління*, Вип. 3(21), с. 5–13, 2007.
- [17] Olexiy D. Azarov, Sergii V. Pavlov, Olexandr I. Chernyak, Igor D. Ivasyuk, Waldemar Wójcik, and Aigul Syzdykpayeva, «Principles of fast count in modified Fibonacci numerical system», *Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*, 2018, 1080829 (1 October 2018). doi.org/10.1117/12.2501565.
- [18] О. Д. Азаров, О. І. Черняк, «Метод побудови швидкодіючих фібоначчієвих лічильників», *Проблеми інформатизації та управління*, №2(46), с. 5–8, 2014.

Стаття надійшла: 16.10.2020.

References

- [1] U. Tyttse, K. Shenk, *Poluprovodnykovaia skhemotekhnika*. 12-e yzd. Tom II: Per. s nem. M., Rossyia: DMK Press, 2007, 942 s.
- [2] V. V. Ostroverhov, *Dinamicheskie pogreshnosti analogo-cifrovyyh preobrazovatelej*. L.: «Jenergiya», 1975, 176 s.
- [3] O. D. Azarov, *Osnovy teorii analoho-tsyfrovoho peretvorennia na osnovi nadlyshkovykh pozytsiinykh system chyslennia: monohrafiia*. Vinnytsia, Ukraina: UNIVERSUM, 2004, 260 s.
- [4] O. D. Azarov, *Analoho-tsyfrove porozriadne peretvorennia na osnovi system chyslennia z vahovoiu nadlyshkovistiu: monohrafiia*. Vinnytsia, Ukraina: UNIVERSUM, 2010, 186 s.
- [5] L. V. Krupelnytskyi, O. D. Azarov, *Analoho-tsyfrovii prystroi system, shcho samokoryhuiutsia, dlia vymiriuvan i obrobliannia nyzkochastotnykh syhnaliv: monohrafiia*. Vinnytsia, Ukraina: UNIVERSUM, 2005, 167 s.
- [6] O. D. Azarov, M. Yu. Shabatura, O. H. Murashchenko, «Dynamichni pokhybky II rodu v ATsP pryskorenoho porozriadnogo nablyzhennia z vahovoiu nadlyshkovistiu», *Naukovi pratsi VNTU*, № 3, 10 s., 2010.
- [7] O. D. Azarov, *Analoho-tsyfrove porozriadne peretvorennia na osnovi system chyslennia z vahovoiu nadlyshkovistiu: monohrafiia*. Vinnytsia, Ukraina: VNTU, 2010, 232 s.
- [8] A. D. Azarov, A. Y. Cherniak, «Polnofunktsionalnaia pobytovaia obrabotka rezultatov analohot-syfrovoho preobrazovannia», u *Metody ta zasoby koduvannia, zakhystu y ushchilnennia informatsii: Tretia mizhnarodna nauk.-prakt. konf.* Vinnytsia, 2011, s. 208–209.
- [9] O. D. Azarov, O. I. Cherniak, P. O. Cherniak, «Systemy chyslennia z adytyvnymy ta multiplykatyvnyymi spivvidnoshenniamy mizh vahamy rozriadiv», *Visnyk VPI*, №1, s. 58–64, 2001.
- [10] O. D. Azarov, O. I. Cherniak, «Analiz vytrat obladnannia prystroiv pobitovoi aryfimytyky u systemi chyslennia zolotoi 1-proporsii», *Problemy informatyzatsii ta upravlinnia*, Kyiv: NAU, № 2(38), s. 5–9, 2012.
- [11] O. D. Azarov, O. I. Cherniak, «Obmezheniia adytyvnykh spivvidnoshen pry porozriadnii potokovii obrobtsi v AM-systemakh chyslennia», *Informatsiini tekhnologii ta kompiuterna inzheneriia*, Vyp. 3(31), s. 67-71, 2014.
- [12] O. D. Azarov, O. I. Cherniak, O. H. Murashchenko, «Porozriadne dodavannia v AM-systemakh chyslennia na osnovi adytyvnykh peretvoren», *Problemy informatyzatsii ta upravlinnia*, Vyp. 1(45), s. 1421, 2014.
- [13] O. D. Azarov, O. I. Cherniak, «Vyznachennia dovzhyny perenesennia pry dodavanni v systemakh chyslennia z adytyvnymy ta multiplykatyvnyymi spivvidnoshenniamy mizh vahamy rozriadiv», *Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnogo tekhnichnogo universytetu. Serii: Obchysliuvalna tekhnika ta avtomatyzatsiia*, Vypusk 74, s. 401–407, 2004.
- [14] O. D. Azarov, O. I. Cherniak, «Rozriadnist prystroiv porozriadnogo dodavannia v AM-systemakh chyslennia», *Naukovi pratsi Vinnytskoho natsionalnogo tekhnichnogo universytetu*, № 4, 2010. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/233>.
- [15] O. D. Azarov, O. I. Cherniak, «Strukturna orhanizatsiia pobitovoho dodavannia i vidnimannia kodiv zolotoi 1-proporsii z urakhuvanniam znakiv», *Informatsiini tekhnologii ta kompiuterna inzheneriia*, № 3(22), s. 13–16, 2011.
- [16] O. D. Azarov, O. I. Cherniak, «Strukturna orhanizatsiia pobitovoho mnozhennia i dilennia kodiv zolotoi proporsii», *Problemy informatyzatsii ta upravlinnia*, Vyp. 3(21), s. 5–13, 2007.
- [17] Olexiy D. Azarov, Sergii V. Pavlov, Olexandr I. Chernyak, Igor D. Ivasyuk, Waldemar Wójcik, and Aigul Syzdykpayeva, «Principles of fast count in modified Fibonacci numerical system», *Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*, 2018, 1080829 (1 October 2018). doi.org/10.1117/12.2501565.
- [18] O. D. Azarov, O. I. Cherniak, «Metod pobudovy shvydkodiiuchykh fibonachchievykh lichylnykyv», *Problemy informatyzatsii ta upravlinnia*, №2(46), s. 5–8, 2014.

Відомості про авторів

Азаров Олексій Дмитрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету.

Черняк Олександр Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету.

Стахов Олексій Ярославович – аспірант кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету.

А. Д. Азаров, А. И. Черняк, А. Я. Стахов

**АЦП ПОРОЗРЯДНО-СЛЕДЯЩЕГО УРАВНОВЕШИВАННЯ
С ВЕСОВОЙ ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ**

Винницкий национальный технический университет, Винница

O. D. Azarov, O. I. Chernyak, O. Y. Stahov

**TRACKING AND BITWISE BALANCING ADC WITH
WEIGHT REDUNDANCY**

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia

УДК 004.272.25

Т. Б. Мартинюк, А. С. Васюра, М. А. Очкуров, А. В. Шепотайло РЕАЛІЗАЦІЙНА МОДЕЛЬ АДАПТИВНОГО СУМАТОРА ДЛЯ НЕЙРОПОДІБНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Анотація. Одним з перспективних напрямків використання нейротехнологій є робототехніка, а саме, системи технічного зору і системи керування для мобільних роботів різного застосування. Зокрема однією з базових задач для цих систем у складі автономних роботів є задача розпізнавання об'єктів і визначення контурів перешкод на шляху пересування мобільних роботів у недетермінованому середовищі. Для компактної та надійної реалізації базових вузлів цих систем немає альтернативи застосуванню нейромережових технологій з орієнтацією на перспективні сучасні засоби (ПЛИС). При цьому необхідно враховувати одночасне сприйняття візуальної інформації, що потребує, у свою чергу, паралельної просторово-розподіленої обробки значних масивів інформації. В роботі запропоновано структуру адаптивного суматора, що входить до складу штучних нейронів, які є базовими нейроподібними елементами нейромереж різного типу. Запропонований конвеєрний підсумовуючий пристрій має розширені функціональні можливості, оскільки моделює роботу адаптивного суматора у складі формального нейрона з формуванням результату обробки з урахуванням зовнішнього зміщення зі знаком, а також виконує одночасно паралельне підсумовування чисел векторного масиву вхідних даних з формуванням їх суми. Запропонований адаптивний суматор має регулярну структуру, що складається з $(n+1)$ комірок майже з однаковим набором вузлів та зв'язків між ними, а також реалізує просторово-розподілений процес паралельної обробки над n вхідними елементами векторного масиву. Все це дозволяє спростити процес розміщення адаптивного суматора у мікросхемі ПЛИС. Орієнтація на потужні у функціональному і технологічному відношенні мікросхеми ПЛИС дозволяє отримати компактні та повнофункціональні нейроструктури різного призначення, необхідність в яких вкрай важлива у системах керування мобільних роботів.

Ключові слова: адаптивний суматор, багатооперадне підсумовування, нейроподібні елементи, нейротехнології.

Аннотация. Одним из перспективных направлений использования нейротехнологий является робототехника, а именно, системы технического зрения и системы управления для мобильных роботов различного применения. В частности одной из базовых задач для этих систем в составе автономных роботов является задача распознавания объектов и определения контуров препятствий на пути передвижения мобильных роботов в недетерминированной среде. Для компактной и надежной реализации базовых узлов этих систем нет альтернативы применению нейросетевых технологий с ориентацией на перспективные современные средства (ПЛИС). При этом необходимо учитывать одновременное восприятие визуальной информации, что требует, в свою очередь, параллельной пространственно-распределенной обработки больших массивов информации. В работе предложена структура адаптивного суматора в составе искусственных нейронов, которые являются базовыми нейроподобными элементами нейросетей разного типа. Предложенное конвейерное суммирующее устройство имеет расширенные функциональные возможности, поскольку моделирует работу адаптивного суматора в составе формального нейрона с формированием результата обработки с учетом внешнего смещения со знаком, а также выполняет одновременно параллельное суммирование чисел векторного массива входных данных с формированием их суммы. Предложенный адаптивный суматор имеет регулярную структуру, состоящую из $(n+1)$ ячеек почти с одинаковым набором узлов и связей между ними, а также реализует пространственно-распределенный процесс параллельной обработки над n входными элементами векторного массива. Все это позволяет упростить процесс размещения адаптивного суматора в микросхеме ПЛИС. Ориентация на мощные в функциональном и технологическом отношении микросхемы ПЛИС позволяет получить компактные и полнофункциональные нейроструктуры различного назначения, потребность в которых крайне важна в системах управления мобильных роботов.

Ключевые слова: адаптивный суматор, многооперадное суммирование, нейроподобные элементы, нейротехнологии.

Abstract. One of the promising areas for the use of neurotechnologies is robotics, namely, systems of technical vision and control systems for mobile robots of various applications. In particular, one of the basic tasks for these systems as part of autonomous robots is the task of object recognizing and determining of the obstacles contours in the movement of mobile robots in a non-deterministic environment. For a compact and reliable implementation of the basic units of these systems, there is no alternative) the use of neural network technologies with to focusing on perspective modern tools (FPGA). It is necessary to take into account the simultaneous perception of visual information, which requires, in turn, parallel spatially distributed processing of large amounts of information. The work proposes the structure of the adaptive adder in composition of artificial neurons, which are basic neural-like elements of different types of neural networks. The proposed pipeline summing device has advanced functionality, as it simulates the operation of the adaptive adder in the formal neuron with the formation of the result of processing taking into account the external bias with the sign, and also performs parallel summation of vector array numbers with the formation of their sum. The proposed adaptive adder has a regular structure consisting of $(n+1)$ cells with almost the same set of units and connections between them, and also implements a spatially distributed process of parallel processing over n input elements of the vector array. All this simplifies the process of placing the adaptive adder in the FPGA chip. The orientation on functionally and technologically powerful FPGA chips allows to get compact and full-featured neurostructures for various purposes, the need for which is extremely important in the control systems of mobile robots.

Key words: adaptive adder, multioperand summation, neural-like elements, neurotechnologies.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2020-49-3-45-53>.

Вступ

Підвищення рівня інтелектуалізації в такій прикладній галузі, як робототехніка напряму пов'язане не тільки з широким застосуванням нейро- і фаззи-технологій [1], але й із залученням спеціалізованих нейрочипів та плат розширення [2]. А це, у свою чергу, потребує розробку апаратних нейрообчислювачів, які ефективно застосовуються у системах життєзабезпечення «розумних» електронних будинків, нейромережових контролерах, в інтелектуальних системах динамічного керування мобільними роботами [3]. Отже, поєднання досягнень в галузі нейротехнологій із системами технічного зору дозволить створити роботизовану систему з можливостями візуального зчитування зорової інформації та інтелектуального аналізу даних [3].

Актуальність

Для автономної роботи мобільного робота у недетермінованому середовищі необхідно визначитись з такими базовими задачами [4]: а) прокласти маршрут пересування; б) розпізнати і визначити контури перешкод.

Саме для другої базової задачі (розпізнавання об'єктів) перспективним напрямком є застосування нейрообчислювачів для їх компактної та надійної апаратної реалізації. Аналіз базових нейрооперацій [5] та відповідної номенклатури базових компонентів [6] при апаратній реалізації нейрообчислювачів у складі системи керування мобільними роботами показав, що однією з найбільш вагомих є операція скалярного добутку векторів, яка реалізується відповідно на паралельних помножувачах та на паралельному багатовхідному суматорі. Отже, вирішення задачі побудови паралельного адаптивного суматора, здатного одночасно підсумовувати векторний масив чисел, є актуальним.

Мета

Метою роботи є вдосконалення реалізаційної моделі адаптивного суматора для нейроподібних елементів з орієнтацією на створення нейрочипа.

Постановка задачі

Відомо системні вимоги, що висувуються до штучних нейроелементів [7,8]:

- а) конструктивна простота і придатність до реалізації в інтегральному вигляді з об'ємом в мільйони елементів;
- б) розгалуження входів (аналогів дендритів) для організації дендритних дерев до 2 тис. входів;
- в) навантажувальна спроможність виходу (аналога аксона) до необхідної кількості під'єднувальних входів;
- г) швидкодія спрацювання до 10-2000 Гц (не менше, ніж у біологічного нейрона);
- д) споживна потужність мінімально можлива в одиницях мкВт (у біологічного нейрона 0.5-4 нВт/нейрон).

Наведені системні вимоги до побудови штучних нейронів дозволять в подальшому збільшити та розширити функціональні потужності штучних нейромереж (ШНМ).

Отже, з огляду на поставлену мету роботи актуальною задачею є розробка та реалізація такого методу багатооперандного підсумовування векторного масиву чисел, який би забезпечив високий рівень паралельної просторово-розподіленої обробки, а також можливість суміщення декількох нейрооперацій.

Такі можливості є у методу різницево-зрізової обробки елементів векторного масиву чисел, який базується на SM-перетворенні [9]. Цей підхід дозволяє не тільки виконати паралельне багатооперандне підсумовування [10], але й одночасно реалізувати порогову обробку, тобто задіяти порогову функцію активації [11,12]. Все це дозволяє побудувати модель багатофункціонального нейроподібного елемента для інтелектуальних систем [13,15], запропонувати його апаратну реалізацію [16,17], а також визначити конкретні приклади застосування [12,18]. Ефективність різницево-зрізової обробки векторного масиву чисел досліджено в роботі [19], а сам процес мультиобробки за різницевими зрізами описано на мові систем алгоритмічних алгебр (САА) Глушкова у роботі [20].

Разом с тим, при створенні моделі паралельного багатооперандного суматора не було враховано зміщення (bias) на одному з його входів, яке дозволяє вивести вихідний сигнал суматора з нульового стану [21], а також не визначено знак зміщення, який може бути як додатним, так і від'ємним.

Якщо мати за мету створення базової моделі нейроподібного елемента, то цей недолік потрібно усунути.

Адаптивний суматор на базі конвексної різницево-зрізової обробки масиву чисел

Структурну схему адаптивного суматора представлено на рис.1, де вказано вхідні та вихідні сигнали. На рис. 2 наведено функціональну схему трьох комірок адаптивного суматора з додатковою коміркою для врахування сигналу зміщення зі знаком. Кожна i -та комірка містить суматор SM+, суматор-віднімач SM-, мініматор MIN, три регістри RGR, RGN, RGM, D-тригер, мультиплексор MX і комутатор SW. Додаткова (n+1)-а комірка містить регістр RGR, суматор-віднімач SM-, суматор SM+, мультиплексор MX, D-тригер і комутатор SW [22].

Запропонований адаптивний суматор реалізує процес паралельної обробки, суть якого полягає в тому, що підсумовування n чисел a_i зводиться до обчислення і підсумовування N часткових сум, де N – кількість різноманітних вхідних величин a_i , тобто математична модель цього процесу має вигляд:

$$S = \sum_{i=1}^n a_i = \sum_{j=1}^N q_j p_j, \quad (1)$$

де q_j – загальна значуща (мінімальна) частина всіх чисел a_i ; p_j – кратність загальної частини; j – j -й цикл обробки.

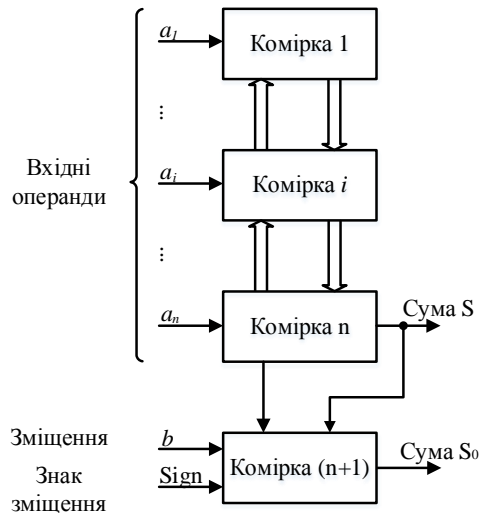


Рисунок 1 – Структурна схема адаптивного суматора

Уточнення даної математичної моделі (1) з урахуванням зовнішнього зміщення b зі знаком має вигляд:

$$S_0 = S \pm b = \sum_{j=1}^N q_j p_j \pm b. \quad (2)$$

В результаті алгоритм паралельного багатооперандного підсумовування, реалізований адаптивним суматором, має таку послідовність кроків.

Крок 1. Записується векторний масив A_0 чисел $a_{i,0}$ та зовнішнє зміщення b , фіксується його знак Sign.

Крок 2. Визначається загальна значуща (мінімальна) частина всіх доданків у j -му циклі, тобто

$$q_j = \min \{a_{i,j-1}\}_{i=1}^n, \quad (3)$$

де $a_{i,0}$ – i -й доданок на вході пристрою, $j=1, \dots, N$, де N – кількість циклів обробки.

Перевіряється умова

$$q_j = 0. \quad (4)$$

Якщо умова виконується, то перехід до кроку 5, в іншому випадку – до кроку 3.

Крок 3. Виділяється зріз різниць A_j , тобто сукупність величин різниці всіх доданків $(j-1)$ -го циклу з їхньою загальною частиною q_j , тобто

$$A_j = \{a_{i,j}\}_{i=1}^n = \{a_{i,j-1} - q_j\}_{i=1}^n. \quad (5)$$

В подальшому отриманий зріз різниць A_j є вхідною множиною доданків для наступного $(j+1)$ -го циклу.

Крок 4. Формується часткова сума S_j , як кратне загальної частини q_j , де кратність p_j визначається кількістю додатних і нульових доданків j -го циклу:

$$S_j = q_j p_j. \quad (6)$$

Одночасно підсумовуються часткові суми S_1, \dots, S_j , які отримані на попередніх j -х циклах:

$$S_k = \sum_{j=1}^k S_j. \quad (7)$$

Перехід до кроку 2.

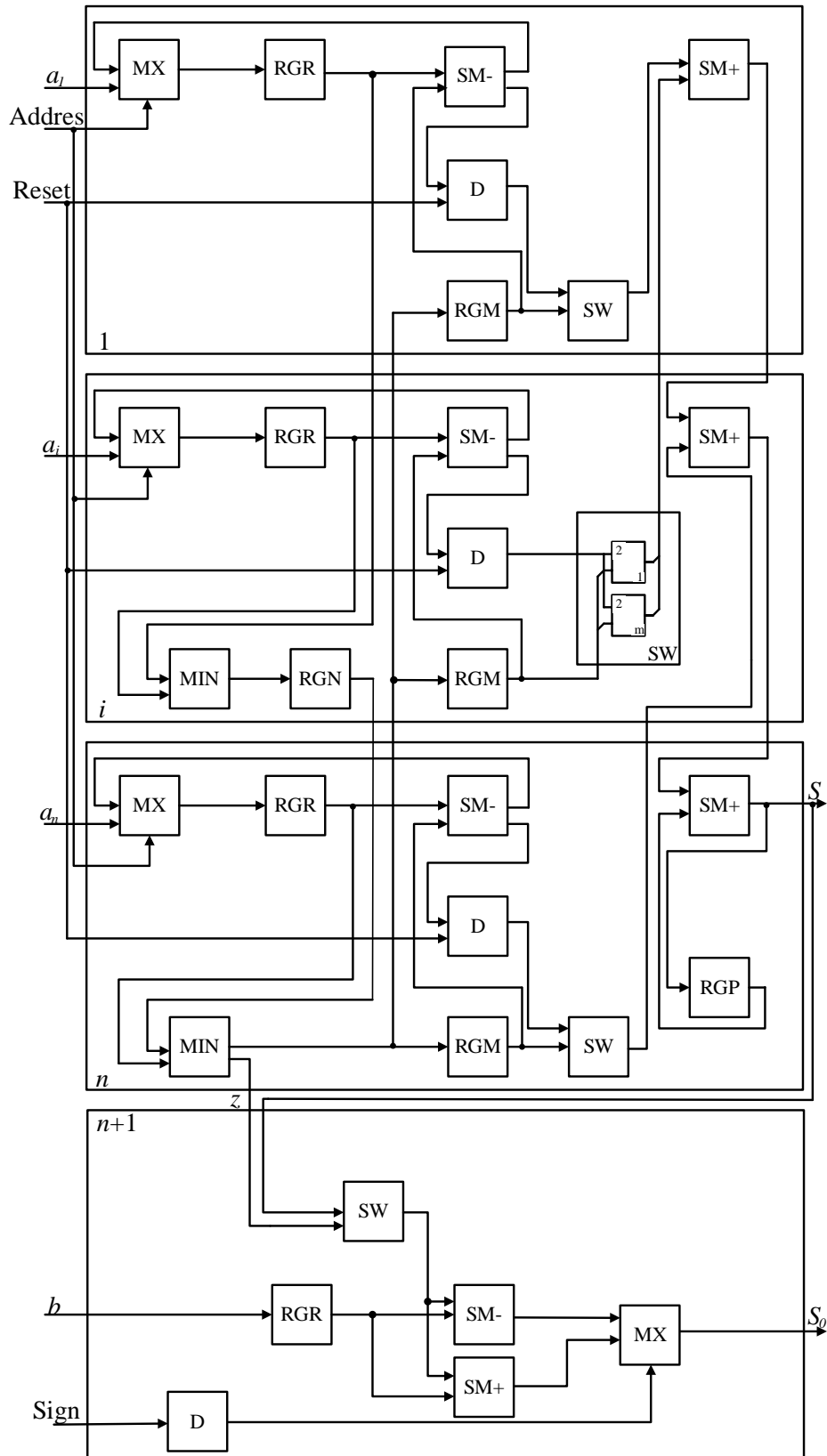


Рисунок 2 – Функціональна схема адаптивного суматора

Крок 5. Виконується врахування зовнішнього зміщення b зі знаком у вигляді (2) для результату S_0 , оскільки остаточний результат суми S (1) формується в процесі накопичення часткових сум (7) всіх N циклів підсумовування.

Цикл обробки складають кроки 2-4, а кількість циклів N процесу підсумовування n чисел a_i у цьому алгоритмі має «плаваючий» характер і залежить від наявності R груп із кількістю m_r повторюваних чисел у початковому масиві A_0 . Таким чином, максимальна, мінімальна і середня кількості циклів алгоритму визначаються таким чином, враховуючи дію на кроці 5:

$$\begin{aligned} N_{max} &= n + 1, \\ N_{min} &= 1 + 1, \\ N_{ссп} &= n - \sum_{r=1}^R (m_r - 1) + 1. \end{aligned} \quad (8)$$

Максимальна кількість циклів відповідає обробці масиву, що складається з n різноманітних за величиною чисел, а мінімальна – коли масив складають n однакових за величиною чисел a_i .

Особливості процесу функціонування адаптивного суматора

При виконанні кроку 1 наведеного алгоритму в адаптивному суматорі (рис.2) задіяно мультиплексор MX та регістр RGR в усіх n комірках паралельно для даних a_1, \dots, a_n та регістр RGR і D-тригер у додатковій $(n+1)$ -й комірці для зміщення b та його знака Sign. Дію, що виконується на кроці 2, реалізує мініматор MIN в усіх комірках, крім першої, а результат (3) послідовно записується в регістри RGN та RGM усіх n комірок.

Для перевірки умови (4) задіяно вихід ознаки нуля Z мініматора MIN старшої n -ої комірки. Результат (5), що отримують на кроці 3 у суматорі-віднімачі SM-, фіксують у регістрі RGR через мультиплексор MX в кожній із n комірок. Результат (6) та їх накопичення (7) на кроці 4 формуються у суматорі SM+ послідовно у всіх n комірках із залученням вмісту регістра RGM, комутатора SW та стану D-тригера.

Крім того, результат накопичення (7) у кожному циклі запам'ятовується у регістрі RGP старшої n -ої комірки, на виході суматора SM+ якої після появи сигналу за умови (4) формується остаточна сума S (1) і спрацьовує додаткова $(n+1)$ -а комірка.

На кроці 5 у додатковій $(n+1)$ -ій комірці задіяно комутатор SW, регістр RGR, вміст D-тригера та обидва суматори SM- і SM+. В залежності від знака Sign зміщення b результат S_0 (2) формується на виході мультиплексора MX додаткової $(n+1)$ -ої комірки або з виходу суматора-віднімача SM-, або від суматора SM+.

У табл. 1 показано приклад обробки векторного масиву чисел $\{13, 8, 3, 11\}$ з урахуванням зміщення $b=17$ та його знака, а саме, наведено часткові суми S_j , накопичені суми S_k , показано процес формування різницевого зрізу A_j і результату S_0 для конкретних значень знака зовнішнього зміщення b . У табл. 1 знак «-» серед елементів $a_{i,j}$ різницевого зрізу A_j вказує на від'ємне значення цих елементів.

Отже, адаптивний суматор може виконувати не тільки паралельне підсумовування операндів (чисел a_i векторного масиву A_0) за різницевими зрізами A_j , але й формувати їх загальну суму S та суму S_0 з урахуванням величини зовнішнього зміщення b зі знаком.

Апаратна реалізація адаптивного суматора

Структура наведеного адаптивного суматора з трьох основних комірок (без додаткової $(n+1)$ -ої комірки на рис. 2) була «розміщена» у ПЛІС фірми ALTERA типу EP1K100FC256-3, що показало такі результати: максимальний об'єм пам'яті, яка використовується для компіляції, склав 50.314 Kb, а зайнята частка кристалу склала ~1% [23]. В результаті можна розраховувати на розміщення у мікросхемі ПЛІС адаптивного суматора, що містить 20-60 основних комірок.

Адаптивний суматор з відповідною структурою для порогової обробки, що містить крім основних комірок (рис. 1) ще додаткову комірку меншої складності [12], було розміщено у ПЛІС фірми Xilinx типу CPLD XC95288 XL-6-BG256, що показало заповнення кристалу на 28% та використання 28 виведень з 192 можливих [12].

Використовуючи в подальшому не тільки наведений адаптивний суматор, але й групу помножувачів, а також використовуючи мікросхеми ПЛІС з більшою логічною ємністю кристалу (наприклад, сімейства Spartan або Virtex) можна побудувати повнофункціональну, потужну та

високопродуктивну обчислювальну систему як складову нейроструктур різного призначення [12,16,18,23].

Разом з тим, в останні роки активно задіюється альтернативний підхід до побудови складових у системах керування та прийняття рішень, а саме використання мікропроцесорної техніки для реалізації, наприклад, роботизованих маніпуляторів [24] та мобільних роботів [25]. Все це свідчить про зростаючий інтерес до використання штучного інтелекту в прикладній робототехніці.

Таблиця 1 – Приклад підсумовування масиву чисел

Елементи $a_{i,j}$ різницевого зрізів	Різницеві зрізи A_j					
	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
$a_{1,j}$	13	10	5	2	0	-
$a_{2,j}$	8	5	0	-	-	-
$a_{3,j}$	3	0	-	-	-	-
$a_{4,j}$	11	8	3	0	-	-
Цикл обробки	0	1	2	3	4	5
Найменше число q_j	0	3	5	3	2	0
Часткова сума S_j	0	$3 \times 4 = 12$	$5 \times 3 = 15$	$3 \times 2 = 6$	$2 \times 1 = 2$	0
Накопичена сума S_k	0	$0 + 12 = 12$	$12 + 15 = 27$	$27 + 6 = 33$	$33 + 2 = 35$	$35 + 0 = 35$
Зміщення b	17	17	17	17	17	17
Результат S_0 (знак "-")	0	0	0	0	0	$35 - 17 = 18$
Результат S_0 (знак "+")	0	0	0	0	0	$35 + 17 = 52$

Висновки

1. Аналіз останніх публікацій із застосування нейротехнологій для рішення практичних задач показав постійне і швидке зростання їх частки у розвитку і впровадженні технологій штучного інтелекту у різні галузі науки і техніки. Зокрема, це стосується систем технічного зору та систем керування мобільних роботів.

2. Використаний як базовий конвеєрний підсумовуючий пристрій має розширені функціональні можливості, оскільки моделює роботу адаптивного суматора у складі формального нейрона з формуванням результату обробки з урахуванням зовнішнього зміщення зі знаком, а також виконує одночасно паралельне підсумовування чисел векторного масиву вхідних даних з формуванням їх суми.

3. Запропонований адаптивний суматор має регулярну структуру, що складається з $(n+1)$ комірок майже з однаковим набором вузлів та зв'язків між ними, а також реалізує просторово-розподілений процес паралельної обробки над n вхідними елементами векторного масиву. Все це дозволяє спростити процес розміщення адаптивного суматора у мікросхемі ПЛІС.

4. Орієнтація та потужні у функціональному і технологічному відношенні мікросхеми ПЛІС дозволяє отримати компактні та повнофункціональні нейроструктури різного призначення, необхідність в яких вкрай важлива у системах керування мобільних роботів.

Список літератури

- [1] М. Т. Джонс, *Программирование искусственного интеллекта*, пер. с англ. М.: Россия: ДМК Пресс, 2004.
- [2] П. І. Кравець, В. М. Шимкович, О. І. Николин, «Нейромережева система машинного бачення з апаратно-програмною реалізацією на ПЛІС», *Науковий журнал «Молодий вчений»*, № 5 (20), с. 47–50. 2015.
- [3] А. В. Гаврилов, В. В. Губарев, К. Х. Джо, Х. Х. Ли, «Архитектура гибридной интеллектуальной системы управления мобильного робота», *Вестник НТТУ*, № 2, с. 3–13. 2004.
- [4] А. И. Корендяев, Б. Л. Саламандра, Л. И. Тывес, *Теоретические основы робототехники*. М., Россия: Наука, 2006.
- [5] Т. Б. Мартинюк, А. В. Кожем'яко, Н. О. Денисюк, Т. Ю. Позднякова, «Аналіз операційного базису для нейромережевих інтелектуальних систем», *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, № 2 (33), с. 83-87. 2015.
- [6] Т. Б. Мартинюк, А. В. Кожем'яко, Л. М. Куперштейн, О. С. Безкрєвний, «Операційно-елементний базис для інтелектуальних систем», *Вісник Хмельницького національного університету*, №6, с. 37–44. 2019.

- [7] С. А. Василецький, О. К. Колесницький, «Математичне та комп'ютерне моделювання оптоелектронного частотно-динамічного нейронного елемента», *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 2, с. 96–101. 2001.
- [8] Neural Network-Systems Techniques and Applications, Algorithms and Architectures, Edited by Cornelius T. Leondes, Academic Press, 465 pp. 1998.
- [9] Т. Б. Мартынюк, В. В. Хомюк, «Особенности математической модели дискретного SM-преобразования», *Математичні машини і системи*, № 4, с.145–155. 2010.
- [10] L. Timchenko, M. Grudin, T. Martynuk, A. Kozhemyako, «Parallel Transformation», *Управляющие системы и машины*, №5, с. 93-95. 1998.
- [11] Т. Б. Мартынюк, Л. Куперштейн, А. Кожемяко, *Аспекты разностно-срезовой обработки данных в нейроструктурах*. LAMBERT Academic Publishing, 2018.
- [12] А. С. Васюра, Т. Б. Мартынюк, Л. М. Куперштейн *Методи та засоби нейроподібної обробки даних для систем керування*. Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ –Вінниця, 2008.
- [13] Т. Б. Мартынюк, «Модель порогового нейрона на основе параллельной обработки по разностным срезам», *Кибернетика и системный анализ*, №4, с. 78–89. 2005.
- [14] В. П. Кожемяко, Т. Б. Мартынюк, Л. М. Куперштейн, «Модель “быстрого нейрона” с обработкой данных по принципу разностных срезов», *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, №2 (18), с. 87–98. 2009.
- [15] T. Martyniuk, A. Kozhemiako, A. Buda, L. Kupershtein, «The model of multifunctional neural element of intelligent systems», *Education-Technology-Computer science, Main problems of informatics and information education: Scientific annual №4/2013/part 2*. Rzeszow, Poland: pp. 366–371. 2013.
- [16] Т. Б. Мартынюк, Л. И. Тимченко, Л. М. Куперштейн, «Аппаратная реализация модели формального нейрона», *Электронное моделирование*, Т. 32, № 4, с. 35-47. 2010.
- [17] Т. Б. Мартынюк, А. В. Кожемяко, В. В. Хомюк, «Модели систолических массивов для обработки векторных данных по разностным срезам», *Управляющие системы и машины*, № 5, с. 46–55. 2009.
- [18] Т. Б. Мартынюк, А. В. Кожемяко, Н. В. Фофанова, О.М. Наконечный, «Адаптивный суматор для системы керування роботом», *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 2 (10), с. 96–101. 2005.
- [19] Т. Б. Мартынюк, Л. И. Тимченко, А. В. Кожемяко, Л. М. Куперштейн, «Эффективность посрезовой обработки векторных массивов данных», *Математичні машини і системи*, № 2, с. 60–67. 2017.
- [20] Т. Б. Мартынюк, В. В. Хомюк, «Мультиобработка массивов данных по разностным срезам», *Кибернетика и системный анализ*, № 6, с. 132–137. 2011.
- [21] В. В. Круглов, В. В. Борисов, *Искусственные нейронные сети. Теория и практика*, 2-е изд. М., Россия: Горячая линия – Телеком, 2002.
- [22] Т. Б. Мартынюк, А. В. Кожемяко, Л. М. Куперштейн і А. В. Шепотайло, «Конвеєрний підсумовуючий пристрій», *Патент України G06G7/14. №142771 U*, МПК (2006.01): 25.06.2020.
- [23] Т. Б. Мартынюк, А. В. Кожемяко, *Систоличні структури для багатооперандної обробки векторних даних*. Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007.
- [24] В. В. Кораблев, В. А. Кораблев, «Использование искусственного интеллекта в прикладной робототехнике», на 2-й Міжнар. наук.-техн. конф. *Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи) «ОІ-2015»*, Черкаси, 2015, с. 213–214.
- [25] В. Абабий, В. Судачевский, М. Подубный, Г. Сафонов «Система мобильных роботов для поиска источников йонизирующей радиации», на 2-й Міжнар. наук.-техн. конф. *Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи) «ОІ-2015»*, Черкаси, 2015, с.163–164.
- Стаття надійшла: 13.10.2020.

References

- [1] M. T. Dzhons, *Programmierung des künstlichen Intellekts*, per. s angl. M.: Rossiya: DMK Press, 2004.
- [2] P. I. Kravets, V. M. Shimkovich, O. I. Nikolin, «Neyromerezheva sistema mashinnogo bachennya z aparatno-programnoyu realizatsieyu na PLIS», *Naukoviy zhurnal «Molodiy vcheniy»*, № 5 (20), s. 47–50. 2015.
- [3] A. V. Gavrilov, V. V. Gubarev, K. H. Dzhо, H. H. Li, «Arhitektura gibridnoy intellektualnoy sistemyi upravleniya mobilnoy robota», *Vestnik NTTU*, № 2, s. 3–13. 2004.

- [4] A. I. Korendyasev, B. L. Salamandra, L. I. Tyives, *Teoreticheskie osnovy robototekhniki*. M., Rossiya: Nauka, 2006.
- [5] T. B. Martyniuk, A. V. Kozhemiako, N. O. Denisyuk, T. Yu. Pozdnyakova, «Analiz operatsiynogo bazisu dlya neyromerezhevih intelektualnih sistem», *Informatsiyni tehnologi ta kompyuterna inzheneriya*, № 2 (33), s. 83–87. 2015.
- [6] T. B. Martyniuk, A. V. Kozhemiako, L. M. Kupershteyn, O. S. Bezkrivnyy, «Operatsiyno-elementniy bazis dlya intelektualnih sistem», *Visnik Hmel'nitskogo natsionalnogo universitetu*, № 6, s. 37–44. 2019.
- [7] S. A. Vasiletskiy, O. K. Kolesnitskiy, «Matematichne ta kompyuterne modelyuvannya optoelektronnogo chastotno-dinamichnogo neyronnogo elementa», *Optiko-elektronni Informatsiyno-energetichni tehnologi*, № 2, s. 96–101. 2001.
- [8] *Neural Network-Systems Techniques and Applications, Algorithms and Architectures*, Edited by Cornelius T. Leondes, Academic Press, 465 pp. 1998.
- [9] T. B. Martyniuk, V. V. Homyuk, «Osobennosti matematicheskoy modeli diskretnogo SM-preobrazovaniya», *Matematichni mashini i sistemi*, № 4, s.145–155. 2010.
- [10] L. Timchenko, M. Grudin, T. Martyniuk, A. Kozhemiako, «Parallel Transformation», *Upravlyayushchie sistemi i mashiny*, № 5, s. 93–95. 1998.
- [11] T. B. Martyniuk, L. Kupershteyn, A. Kozhemiako, *Aspekty raznostno-srezovoy obrabotki daniy v neyrostrukturah*. LAMBERT Academic Publishing, 2018.
- [12] A. S. Vasyura, T. B. Martyniuk, L. M. Kupershteyn *Metodi ta zasobi neyropodibnoi obrabotki daniy dlya sistem keruvannya*. Vinnitsya, Ukraïna: UNIVERSUM – Vinnitsya, 2008.
- [13] T. B. Martyniuk, «Model porogovogo neyrona na osnove parallelnoy obrabotki po raznostnyim srezam», *Kibernetika i sistemnyi analiz*, № 4, s. 78–89. 2005.
- [14] V. P. Kozhemiako, T. B. Martyniuk, L. M. Kupershteyn, «Model "byistrogo neyrona" s obrabotkoy daniy po printsipu raznostnyih srezov», *Optiko-elektronni Informatsiyno-energetichni tehnologi*, № 2 (18), s. 87–98. 2009.
- [15] T. Martyniuk, A. Kozhemiako, A. Buda, L. Kupershtein, «The model of multifunctional neural element of intelligent systems», *Education-Technology-Computer science, Main problems of informatics and information education: Scientific annual №4/2013/part 2*. Rzeszow, Poland: pp. 366–371. 2013.
- [16] T. B. Martyniuk, L. I. Timchenko, L. M. Kupershteyn, «Apparatnaya realizatsiya modeli formalnogo neyrona», *Elektronnoe modelirovanie*, T. 32, № 4, s. 35–47. 2010.
- [17] T. B. Martyniuk, A. V. Kozhemiako, V. V. Homyuk, «Modeli sistolicheskikh massivov dlya obrabotki vektornykh daniy po raznostnyim srezam», *Upravlyayushchie sistemi i mashiny*, № 5, s. 46–55. 2009.
- [18] T. B. Martyniuk, A. V. Kozhemiako, N. V. Fofanova, O.M. Nakonechniy, «Adaptivniy sumator dlya sistemi keruvannya robotom», *Optiko-elektronni Informatsiyno-energetichni tehnologi*, № 2 (10), s. 96–101. 2005.
- [19] T. B. Martyniuk, L. I. Timchenko, A. V. Kozhemiako, L. M. Kupershteyn, «Effektivnost posrezovoy obrabotki vektornykh massivov daniy», *Matematichni mashini i sistemi*, № 2, s. 60-67. 2017.
- [20] T. B. Martyniuk, V. V. Homyuk, «Multiobrabotka massivov daniy po raznostnyim srezam», *Kibernetika i sistemnyi analiz*, № 6, s. 132–137. 2011.
- [21] V. V. Kruglov, V. V. Borisov, *Iskusstvennyye neyronnyye seti. Teoriya i praktika*, 2-e izd. M., Rossiya: Goryachaya liniya – Telekom, 2002.
- [22] T. B. Martyniuk, A. V. Kozhemiako, L. M. Kupershteyn I A. V. Shepotailo, «Konveerniy pidsumovuyuchiy pristray», *Patent Ukraïni G06G7/14. №142771 U*,
- [23] T. B. Martyniuk, A. V. Kozhemiako, *Sistolschni strukturi dlya bagatooperandnoi obrabotki vektornykh daniy*. Vinnitsya, Ukraïna: UNIVERSUM-Vinnitsya, 2007.
- [24] V. V. Korablev, V. A. Korablev, «Ispolzovanie iskusstvennogo intellekta v prikladnoy robototekhnike», na 2-y Mizhnar. nauk.-tehn. konf. *Obchislyvalniy Intelekt (rezultati, problemi, perspektivi) «OI-2015»*, Cherkasi, 2015, s.213–214.
- [25] V. Ababiy, V. Sudachevskiy, M. Podubnyiy, G. Safonov «Sistema mobilnykh robotov dlya poiska istochnikov yoniziruyushey radiatsiy», na 2-y Mizhnar. nauk.-tehn. konf. *Obchislyvalniy Intelekt (rezultati, problemi, perspektivi) «OI-2015»*, Cherkasi, 2015, s. 163–164.

Відомості про авторів

Мартинюк Тетяна Борисівна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету.

Васюра Анатолій Степанович – кандидат технічних наук, професор кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій Вінницького національного технічного університету.

Очкуров Микола Андрійович – старший викладач кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету.

Шепотайло Артур Вікторович – магістр факультету комп'ютерних систем і автоматики Вінницького національного технічного університету.

Т. Б. Мартынюк, А. С. Васюра, Н. А. Очкуров, А. В. Шепотайло,
**РЕАЛИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АДАПТИВНОГО
СУММАТОРА ДЛЯ НЕЙРОПОДОБНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Винницкий национальный технический университет, Винница

T. B. Martyniuk, A. S. Vasura, M. A. Ochukurov, A. V. Shepotailo,
**REALIZATION MODEL OF ADAPTIVE SUMMATOR FOR
NEURAL-LIKE ELEMENTS**

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia

УДК 004.925

О. Н. Романюк, М. С. Курінний, О. О. Дудник, А. В. Снігур, С. О. Романюк

МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДУ А-БУФЕРА ДЛЯ
ЗГЛАДЖУВАННЯ ТРИВИМІРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Анотація. Згідно з методом А-буфера для антиаліазингу тривимірних зображень використовується динамічний список фрагментів полігонів, які покривають піксел. Метод А-буфера використовує менший об'єм пам'яті порівняно із методами додаткової вибірки, однак необхідність динамічного розподілу пам'яті ускладнює його апаратну реалізацію у системах комп'ютерної графіки. При використанні фіксованої кількості фрагментів на один піксел зображення спрощується апаратна реалізація методу А-буфера, однак пам'ять використовується неефективно, оскільки кількість фрагментів для розрахунку інтенсивності кольору пікселя може суттєво відрізнятися для різних пікселів. Було запропоновано використати комбінований статично-динамічний принцип організації пам'яті, який полягає у введенні загального буфера фрагментів. Розроблено нові модифікації методу А-буфера, у яких використано:

- комбінований статично-динамічний підхід до організації пам'яті, який полягає у введенні загального буфера для зберігання надлишкових фрагментів. Запропонована модифікація має більш просту апаратну реалізацію порівняно з динамічним розподілом пам'яті та потребує менших обсягів пам'яті для зберігання фрагментів полігонів ніж фіксований розподіл;

- новий підхід до зменшення похибки обчислень інтенсивності кольору, яка має місце внаслідок відкидання фрагментів полігонів, яким не вистачило місця у буфері фрагментів. Суть підходу полягає у тому, що два найбільш віддалені від спостерігача фрагменти об'єднуються у один.

Розроблено структурну схему підсистеми растеризації тривимірних графічних об'єктів, у якій використано модифікований метод А-буфера. Розроблено комп'ютерну програму для моделювання та тестування методів згладжування, основаних на методі Абуфера. Моделювання показало, що використання запропонованого принципу розподілу пам'яті дозволяє зменшити у 1,3-3,1 рази об'єми пам'яті, необхідні для згладжування тривимірних зображень за методом А-буфера, порівняно із фіксованим розподілом пам'яті. Результати моделювання показали, що запропоноване рішення, основане на комбінуванні надлишкових фрагментів, забезпечує менше значення нормованої середньоквадратичної похибки порівняно з підходом, у якому надлишкові фрагменти відкидаються. При використанні нового методу до обробки фрагментів полігонів, згладжування навіть складних сцен за методом А-буфера можливо виконувати з використанням лише трьох фрагментів на один піксель зображення, що дозволяє зменшити об'єми пам'яті, необхідні для зберігання фрагментів полігонів.

Ключові слова: ефект аліазингу, крайовий антиаліазинг, растеризація, метод А-буфера, статично-динамічна організація пам'яті, інтенсивність кольору.

Аннотация. Согласно метода А-буфера для антиалиазинга трехмерных изображений используется динамический список фрагментов полигонов, которые покрывают пиксел. Метод А-буфера использует меньший объем памяти по сравнению с методами дополнительной выборки, однако необходимость динамического распределения памяти усложняет его аппаратную реализацию в системах компьютерной графики. При использовании фиксированного количества фрагментов на один пиксел изображения упрощается аппаратная реализация метода А-буфера, однако память используется неэффективно, поскольку количество фрагментов для расчета интенсивности цвета пикселя может существенно отличаться для разных точек. Было предложено использовать комбинированный статически- динамический принцип организации памяти, который заключается во введении общего буфера фрагментов. Разработаны новые модификации метода А-буфера, в которых использованы:

- комбинированный статически- динамический подход к организации памяти, который заключается во введении общего буфера для хранения избыточных фрагментов. Предложенная модификация имеет более простую аппаратную реализацию по сравнению с динамическим распределением памяти и требует меньших объемов памяти для хранения фрагментов полигонов чем фиксированное распределение;

- новый подход к уменьшению погрешности вычислений интенсивности цвета, которая имеет место в результате отбрасывания фрагментов полигонов, которым не хватило места в буфере фрагментов. Суть подхода заключается в том, что два наиболее удаленные от наблюдателя фрагменты объединяются в один.

Разработана структурная схема подсистемы растеризации трехмерных графических объектов, в которой использовано модифицированный метод А-буфера. Разработана компьютерная программа для моделирования и тестирования методов сглаживания, основанных на методе Абуфера. Моделирование показало, что использование предложенного принципа распределения памяти позволяет уменьшить в 1,3-3,1 раза объемы памяти, необходимые для сглаживания трехмерных изображений методом А-буфера, по сравнению с фиксированным распределением памяти. Результаты моделирования показали, что предложенное решение, основанное на комбинировании избыточных фрагментов, обеспечивает меньшее значение нормированной средноквадратической погрешности по сравнению с подходом, в котором избыточные фрагменты отбрасываются. При использовании нового метода к обработке фрагментов полигонов, сглаживание даже сложных сцен по методу А-буфера можно выполнять с использованием только трех фрагментов на один пиксель изображения, что позволяет уменьшить объемы памяти, необходимые для хранения фрагментов полигонов.

Ключевые слова: алиазинг, краевой антиалиазинг, растеризация, метод А-буфера, статически-динамическая организация памяти, интенсивность цвета.

Abstract. According to the A-buffer method, a dynamic list of polygon fragments that cover a pixel is used for antialiasing of three-dimensional images. The A-buffer method uses less memory than the additional sampling method, but the need for dynamic memory allocation complicates its hardware implementation in computer graphics systems. Using a fixed number of fragments per pixel of the image simplifies the hardware implementation of the A-buffer method, but memory is used inefficiently because the number of fragments to calculate the pixel color intensity can differ significantly for different pixels. It was proposed to use a combined static-dynamic principle of memory organization, which is to introduce a common fragment buffer. New modifications of the A-buffer method have been developed, which use:

- a combined static-dynamic approach to memory organization, which consists in the introduction of a common buffer for storing redundant fragments. The proposed modification has a simpler hardware implementation compared to dynamic memory allocation and requires less memory to store fragments of polygons than a fixed allocation;

- a new approach to reducing the error of color intensity calculations, which occurs due to the rejection of fragments of polygons that did not have enough space in the fragment buffer. The essence of the approach is that the two most distant fragments from the observer are combined into one.

The block diagram of the rasterization subsystem of three-dimensional graphic objects is developed, in which the modified A-buffer method is used. A computer program for modeling and testing smoothing methods based on the A-buffer method has been developed. The simulation showed that the use of the proposed principle of memory allocation allows to reduce by 1.3-3.1 times the amount of memory required for smoothing three-dimensional images using the A-buffer method, compared with fixed memory allocation. The simulation results showed that the proposed solution, based on the combination of redundant fragments, provides a smaller value of the normalized standard error compared to the approach in which excess fragments are discarded. When using the new method to process polygon fragments, smoothing even complex scenes with the A-buffer method can be performed using only three fragments per pixel of the image, which reduces the amount of memory required to store fragments of polygons.

Key words: aliasing effect, edge antialiasing, rasterization, A-buffer method, static-dynamic memory organization, color intensity.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2020-49-3-54-65>.

Вступ

Підвищення інформативності комп'ютерної графіки досягають за рахунок формування зображень, які точно відтворюють конструктивні та візуальні особливості об'єкту [1-3]. При формуванні таких зображень необхідно відображати графічні сцени з великою деталізацією, тому на даному етапі розвитку комп'ютерної графіки особлива увага приділяється не лише швидкодії формування графічних зображень, але і їх якості.

Ефект аліаїзingu [3-7] суттєво впливає на якість і реалістичність сформованого зображення, тому для забезпечення реалістичності синтезованих зображень у системах комп'ютерної графіки використовують спеціальні методи та засоби усунення ступінчастого ефекту.

При згладжуванні тривимірних зображень, окрім площі частини піксела, яка покривається графічним об'єктом, на інтенсивність кольору піксела впливає розташування полігонів по відношенню до спостерігача [8-11]. Тому для антиаліаїзingu тривимірних трикутників необхідно видалення невидимих поверхонь на рівні піксела. На даному етапі розвитку комп'ютерної графіки найбільш перспективним методом антиаліаїзingu тривимірних зображень вважається метод А-буфера [7, 11-13]. Метод А-буфера використовує менший обсяг пам'яті порівняно із методами додаткової вибірки, однак необхідність динамічного розподілу пам'яті ускладнює його апаратну реалізацію.

Основні роботи по вдосконаленню методу А-буфера направлені на розробку нових способів організації зберігання фрагментів полігонів, які б дозволили спростити апаратну реалізацію та зменшити обсяги додаткової пам'яті.

Актуальність

При використанні фіксованої кількості фрагментів на один піксел зображення спрощується апаратна реалізація методу А-буфера, однак пам'ять використовується неефективно, оскільки кількість фрагментів для розрахунку інтенсивності кольору піксела може суттєво відрізнятись для різних пікселів. Тому доцільно використати комбінований статично-динамічний принцип організації пам'яті, який полягає у введенні загального буфера фрагментів.

На інтенсивність кольору піксела впливає розташування полігонів по відношенню до спостерігача [8, 10, 13, 14]. Тому для антиаліаїзingu тривимірних трикутників необхідно видалення невидимих поверхонь на рівні піксела.

Е. Катмул [15] запропонував точний метод усунення ступінчастого ефекту та видалення невидимих поверхонь, оснований на методі скануючого рядка [16]. Для усунення аліаїзingu використовується квадратна модель піксела [4]. Всі полігони, які покривають піксел, відсікаються до меж піксела. Визначається видимість кожного зі сформованих фрагментів за допомогою сортування по глибині. Значення інтенсивності кольору кожного видимого фрагмента множиться на його площу та додається до результуючої інтенсивності кольору піксела. Даний метод потребує сортування полігонів перед кожним рендерингом [1] сцени та використовує відносно складну процедуру відсікання, що обумовлює його велику обчислювальну складність.

У методі А-буфера [17] замість точного визначення площі покриття використовуються бітові маски. Для визначення площі фрагментів полігонів піксел задається бітовою маскою розмірами 4 на 8. Площі субпіксельних фрагментів обчислюються за допомогою булевої операції нерівнозначності. Формування фінальної маски фрагмента полігона з бітових масок його ребер зображено на рис. 1.

За методом А-буфера в пам'яті зберігаються пов'язані списки фрагментів полігонів всередині кожного піксела. Фрагменти сортуються за значенням z-координати для підтримки правильного відображення прозорих поверхонь. При перекритті по z-координаті різних фрагментів та належності їх до одного об'єкту, вони об'єднуються в один елемент.

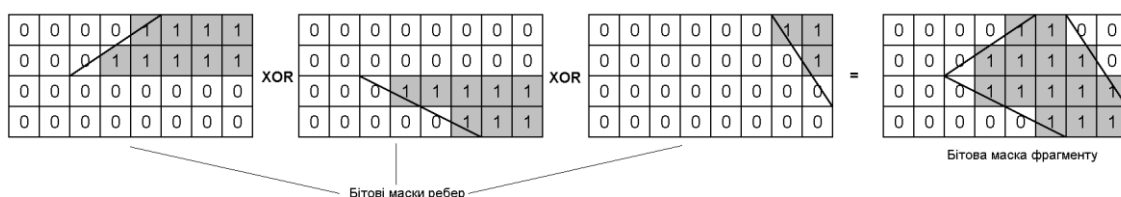


Рисунок 1 – Утворення маски фрагмента полігона з бітових масок його ребер

Для кожного фрагмента окрім мінімального значення z-координати зберігається також максимальне значення глибини. Для фрагментів, що перетинаються (рис 1.12), розрахунок видимої частини виконується за формулою [17]:

$$Vis_{front} = \frac{Z_{max_next} - Z_{min_front}}{(Z_{max} - Z_{min})_{front} + (Z_{max} - Z_{min})_{next}}, \quad (1)$$

де Vis_{front} – коефіцієнт, що визначає, яка частина найближчого до спостерігача фрагмента не закрита від спостерігача; Z_{max_front} , Z_{min_front} – відповідно максимальне та мінімальне значення z-координати ближнього фрагмента; Z_{max_next} , Z_{min_next} – відповідно максимальне та мінімальне значення z-координати наступного фрагмента.

Кінцева інтенсивність кольору області перетину знаходиться за виразами [17]:

$$\alpha = Vis_{front} \cdot Opacity_{front} + (1 - Vis_{front}) \cdot Opacity_{next},$$

$$I = \alpha \cdot I_{front} + (1 - \alpha) \cdot I_{next},$$

де $Opacity_{front}$ – коефіцієнт прозорості фронтального фрагмента; $Opacity_{next}$ – коефіцієнт прозорості наступного фрагмента; I_{front} – інтенсивність кольору фронтального фрагмента; I_{next} – інтенсивність кольору наступного фрагмента.

Формула (1) справедлива для випадку, коли фрагменти, які перекриваються по z-координаті, нахилені протилежно. Це складає лише окремий випадок, тому метод А-буфера може генерувати зображення з артефактами у місцях перетину поверхонь [16, 18].

Для отримання результуючого кольору пікселя розглядаються всі фрагменти, починаючи з найближчого до спостерігача. Використовуючи субпіксельні бітові маски визначається внесок кожного фрагмента у кінцевій інтенсивності кольору пікселя.

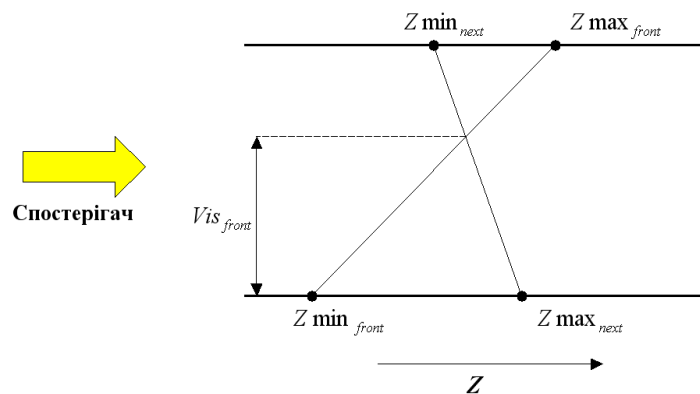


Рисунок 2 – Визначення видимої частини для фрагментів, що перетинаються

У методі А-буфера важко спрогнозувати необхідні об'єми пам'яті, адже не можливо заздалегідь визначити, до яких розмірів може зрости список фрагментів полігонів [13, 18]. Крім того, обчислювальні витрати на формування одного пікселя зображення залежать від складності сцени і не можуть бути передбачені. Вказані недоліки ускладнюють апаратну реалізацію методу А-буфера.

А. Шилінг [18] запропонував для підвищення якості згладжування окрім бітової маски зберігати точне значення площі пікселя, що покривається полігоном. Однак кількість випадків, для яких можна застосувати точне значення площі, є обмеженою.

У роботі [11] запропоновано використовувати лише фіксований об'єм пам'яті для зберігання фрагментів полігонів, що покривають піксел. Фрагменти, для збереження яких не вистачає місця в пам'яті, відкидаються [11]. Даний підхід дозволяє спростити апаратну реалізацію методу А-буфера, однак призводить до появи артефактів при візуалізації сцен зі складною геометрією [13]. Інший підхід полягає у тому, що для зберігання надлишкових фрагментів додатково використовується системна пам'ять [19].

Основним недоліком даного підходу є збільшене навантаження на системну шину, обумовлене необхідністю передачі надлишкових фрагментів.

С. Уінер [13] запропонував модифікацію методу А-буфера, яка полягає у тому, що для випадку, коли в пам'яті не вистачає місця для зберігання фрагментів полігонів, виконуються додаткові проходи для комбінування надлишкових фрагментів. Основним недоліком такого підходу є зниження швидкості формування зображення, обумовлене необхідністю виконувати додаткові проходи для розрахунку геометрії сцени.

Аналіз показав, що основні роботи щодо вдосконалення методу А-буфера направлені на розробку нових підходів до зменшення об'ємів пам'яті, необхідних для зберігання фрагментів полігонів.

Мета

Метою даної розробки є модифікація методу А-буфера за рахунок розробки нових підходів до зменшення об'ємів пам'яті, необхідних для зберігання фрагментів полігонів.

Розв'язання задач

У класичному методі А-буфера використовується наближений підхід для видалення невидимих поверхонь всередині пікселя, який призводить до появи артефактів для поверхонь, які перетинаються або дотикаються [11,15]. Пропонується новий підхід до видалення невидимих поверхонь, який правильно розраховує видимість для всіх випадків взаємного розташування полігонів всередині пікселя. При цьому використовуються бітові маски видимості. Кожен біт маски видимості визначає, який з двох полігонів в заданій точці є ближчим до спостерігача. Розглянемо формування маски видимості.

Для кожного фрагмента полігона пропонується зберігати значення координати z у центрі пікселя та значення приростів координати z вздовж осі x і y . У більшості графічних систем зазначені параметри використовуються при растеризації полігонів, отже їх не потрібно буде обчислювати додатково. Значення координати z у точці, яка розташована в середині пікселя, знаходиться за формулами:

$$z_A(x_u + a, y_u + b) = a \cdot \Delta z_{x,A} + b \cdot \Delta z_{y,A} + z_{u,A}, \quad z_B(x_u + a, y_u + b) = a \cdot \Delta z_{x,B} + b \cdot \Delta z_{y,B} + z_{u,B}.$$

Значення біта маски видимості, який відповідає дискретній точці з координатами $(x_u + a, y_u + b)$, можна розрахувати за виразом:

$$M_\epsilon(x_u + a, y_u + b) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } z_A(a, b) - z_B(a, b) \geq 0; \\ 0, & \text{якщо } z_A(a, b) - z_B(a, b) < 0. \end{cases} \quad (2)$$

Біт маски видимості, що розрахована згідно з останнім виразом, дорівнює одиниці для точок, у яких фрагмент A є ближчим до спостерігача порівняно з фрагментом B . Запишемо вираз для розрахунок різниці значень координат z двох фрагментів полігонів у заданій точці:

$$\begin{aligned} z_A(a, b) - z_B(a, b) &= a \cdot \Delta z_{x,A} + b \cdot \Delta z_{y,A} + z_{u,A} - a \cdot \Delta z_{x,B} - b \cdot \Delta z_{y,B} - z_{u,B} = \\ &= a(\Delta z_{x,A} - \Delta z_{x,B}) + b(\Delta z_{y,A} - \Delta z_{y,B}) + (z_{u,A} - z_{u,B}). \end{aligned}$$

Як видно з останнього виразу, вибір значень a та b кратними степені двійки дозволяє значно спростити апаратну реалізацію обчислення масок видимості, оскільки при цьому операція множення замінюється операцією додавання та зсуву.

Для визначення видимості фрагмента полігона його бітова маска покриття модифікується у відповідно до з маски видимості. Якщо задана точка покрита полігоном B (відповідний біт маски покриття дорівнює одиниці) і в даній точці полігон B ближчий до спостерігача (відповідний біт маски видимості дорівнює нулю), і дана точка покрита полігоном A , то відповідний біт маски покриття фрагмента A встановлюється рівним нулю. Зазначена перевірка може бути записана з використанням булевих операцій:

$$M_A = M_A \cdot \overline{M_A \cdot M_B \cdot M_{вид}}.$$

Для фрагмента B булевий вираз модифікації маски покриття має вигляд:

$$M_B = M_B \cdot \overline{M_A \cdot M_B} \cdot M_{вид} .$$

Розглянемо процедуру обробки фрагментів при використанні масок видимості.

Під час растеризації формується фрагмент полігона, який містить такі параметри: бітову маску покриття [10]; інтенсивність кольору полігона; значення координати z полігона у точці, яка розташована в центрі пікселя; значення приростів координати z вздовж осі x та y . Разом зазначені параметри задають просторове положення фрагмента полігона, який відсічено до меж пікселя, та його внесок у інтенсивність кольору пікселя.

Якщо буфер фрагментів порожній, то новоутворений фрагмент записується до буфера фрагментів.

У випадку, коли в буфері фрагментів присутні раніше сформовані фрагменти, відбувається порівняння нового фрагмента з кожним із існуючих. Для цього виконується формування маски видимості за виразами (2). Бітова маска покриття кожного з фрагментів, що перевіряються, модифікується відповідно з процедурою, що була описана вище.

Якщо після перетворень бітова маска покриття нового фрагмента стала рівною нулю, то новий фрагмент повністю закритий від спостерігача існуючим фрагментом і виключається з подальших обчислень. У випадку, коли після перетворень бітова маска покриття існуючого фрагмента стала рівною нулю, існуючий фрагмент видаляється з буфера фрагментів.

Після того, як новий фрагмент було порівняно з усіма існуючим фрагментами, він записується в буфер фрагментів. Місце для запису фрагмента обирається таким чином, щоб усі фрагменти були відсортовані за значенням $z_{ц}$ у порядку зростання.

Після того, як у буфер було додано всі фрагменти, виконується розрахунок інтенсивності кольору пікселя за формулою:

$$I_p = \frac{\sum_{i=1}^n I_i \cdot K_i}{K_{заг}} ,$$

де n – кількість згенерованих фрагментів, I_i – інтенсивність кольору i -го фрагмента, K_i – кількість одиничних бітів у масці покриття i -го фрагмента, $K_{заг}$ – загальна кількість біт у масці покриття.

Як видно з опису процедури обробки фрагментів, використання масок видимості дозволяє на ранній стадії визначати фрагменти, які можуть бути виключені з подальших обчислень, що зменшує об'єми пам'яті необхідної для зберігання фрагментів.

У роботі [11] було запропоновано використати фіксовану кількість фрагментів на один піксел. Ті фрагменти, для яких не вистачило місця в буфері фрагментів, відкидаються. При цьому виконується сортування та відкидаються найвіддаленіші від спостерігача фрагменти з меншою площею покриття. Для зменшення похибки обчислень перед видаленням фрагмента проводиться розрахунок кольору пікселя з урахуванням усіх наявних фрагментів. Такий підхід має просту апаратну реалізацію, однак приводить до появи артефактів у випадках, коли для пікселя згенеровано фрагментів більше ніж виділено пам'яті для їх зберігання.

Пропонується новий підхід до зменшення похибки обчислень інтенсивності кольору, яка має місце внаслідок відкидання фрагментів полігонів, яким не вистачило місця у буфері фрагментів. Суть підходу полягає у тому, що два найбільш віддалені від спостерігача фрагменти об'єднуються у один. Розглянемо процедуру формування нового фрагмента.

Нехай задано два фрагменти A і B , які найбільш віддалені від спостерігача. Фрагмент A розташовано ближче до спостерігача порівняно з фрагментом B . Маска покриття нового фрагмента утворюється додаванням масок покриття вихідних фрагментів.

Значення координати z нового фрагмента у центрі пікселя обирається таким чином, щоб воно було ближчим до значення координати $z_{ц}$ фрагмента, який має більшу площу покриття пікселя.

Значення $z_{ц}$ визначається за формулою:

$$z_y = z_{y,A} + (z_{y,B} - z_{y,A}) \frac{K_B}{K_{заг}}$$

де $z_{y,A}$, $z_{y,B}$ – відповідно значення координати z фрагментів A і B у центрі піксела, K_B – кількість одиничних бітів у масці покриття піксела фрагмента B , $K_{заг}$ – загальна кількість бітів у масці покриття.

Фрагменти полігона, які мають менше абсолютне значення приростів координати z , як правило, мають більшу площу покриття [13], а отже є більш інформативними, тому для нового фрагмента обираються прирости Δz_x і Δz_y вихідних фрагментів з меншим абсолютним значенням. Значення Δz_x і Δz_y нового фрагмента розраховуються за формулою:

$$\Delta z_x = \begin{cases} \Delta z_{x,B}, & \text{якщо } |\Delta z_{x,A}| \geq |\Delta z_{x,B}|; \\ \Delta z_{x,A}, & \text{якщо } |\Delta z_{x,A}| < |\Delta z_{x,B}|. \end{cases}$$

Значення інтенсивності кольору нового фрагмента розраховується за значеннями інтенсивностей кольору вихідних фрагментів пропорційно до площі покриття піксела кожним фрагментом:

$$I = \frac{(I_A \cdot K_A + I_B \cdot K_B)}{K_{заг}}$$

При формуванні зображення за методом А-буфера кількість фрагментів, які сформовані для різних пікселів, може суттєво відрізнятись. Тому не можливо заздалегідь визначити об'єми пам'яті, які необхідно мати для зберігання фрагментів полігонів, що ускладнює апаратну реалізацію методу. При виділенні фіксованої кількості пам'яті на кожен піксел [11] апаратна реалізація суттєво спрощується, однак пам'ять використовується неефективно, оскільки для частини пікселів фрагментів генерується менше, ніж виділено пам'яті, а для іншої частини пікселів – більше.

Пропонується використати комбінований статично-динамічний принцип організації пам'яті, який має просту апаратну реалізацію та дозволяє більш ефективно використати пам'ять, що виділяється для зберігання фрагментів полігонів. Він полягає у тому, що крім основного буфера фрагментів, виділяється загальний буфер фрагментів (рис. 3).

В основному буфері фрагментів на кожен піксел виділяється блок пам'яті фіксованого розміру для зберігання $N_{осн}$ фрагментів полігонів та $N_{доод}$ адрес, які визначають номер фрагмента у загальному буфері фрагментів. Для загального буфера фрагментів виділяється фіксований блок пам'яті для зберігання $N_{заг}$ фрагментів.

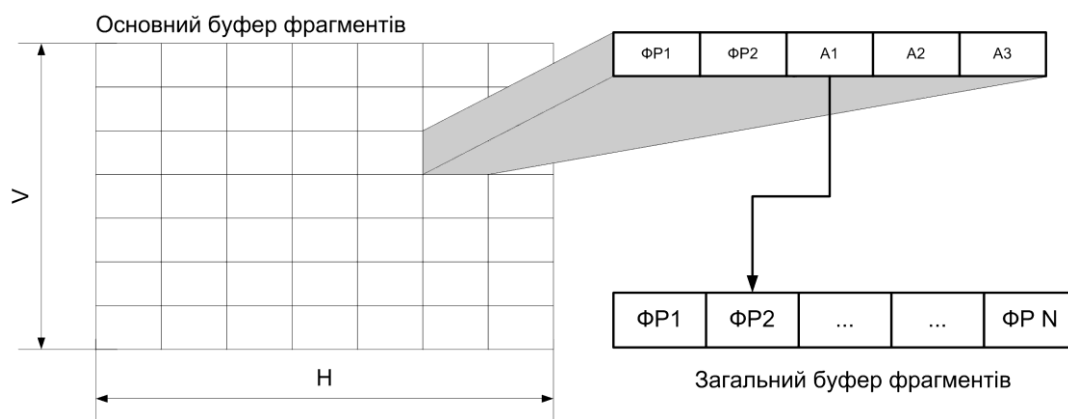


Рисунок 3 – Розподіл пам'яті при використанні загального буфера фрагментів

Якщо кількість фрагментів, які згенеровано для даного пікселя перевищує $N_{осн}$, то надлишкові фрагменти зберігаються в загальному буфері фрагментів. У випадку, коли кількість фрагментів перевищила $N_{осн} + N_{доод}$ або загальний буфер фрагментів повністю заповнений, то виконується комбінування надлишкових фрагментів згідно з процедурою, що була описана раніше.

Запропонований підхід порівняно з фіксованим розподілом пам'яті дозволяє більш ефективно використати оперативну пам'ять за рахунок того, що місце у загальному буфері фрагментів виділяється лише для «складних» пікселів, які потребують великої кількості фрагментів для визначення інтенсивності кольору.

Оцінімо різницю між об'ємами пам'яті, які потрібні для формування зображення з використанням загального буфера фрагментів, і при фіксованому розподілу пам'яті. Кількість фрагментів на один буфер для фіксованого розподілу пам'яті приймемо рівною:

$$N_{фікс} = N_{осн} + N_{доод}$$

Об'єм пам'яті, який виділяється для формування зображення з використанням загального буфера можна знайти за формулою:

$$M_{заг.б.} = H \cdot V (N_{осн} M_{фр} + N_{доод} M_{адр}) + N_{заг} M_{фр},$$

де $M_{фр}$ – об'єм пам'яті, необхідний для зберігання одного фрагмента; $M_{адр}$ – об'єм пам'яті, необхідний для зберігання адреси фрагмента у додатковому буфері; H, V – відповідно розмір зображення по горизонталі та вертикалі.

Об'єм пам'яті для формування зображення з використанням фіксованого розподілу пам'яті знаходимо за формулою:

$$M_{фікс} = H \cdot V \cdot N_{фікс} \cdot M_{фр}$$

З урахуванням останніх виразів отримуємо формулу для визначення різниці між об'ємами пам'яті:

$$\begin{aligned} M_{фікс} - M_{заг.б.} &= H \cdot V \cdot N_{фікс} \cdot M_{фр} - H \cdot V (N_{осн} M_{фр} + N_{доод} M_{адр}) + N_{заг} M_{фр} = \\ &= H \cdot V \cdot N_{доод} (M_{фр} - M_{адр}) - N_{заг} M_{фр} \end{aligned}$$

З останнього виразу випливає, що економія пам'яті залежить від розміру загального буфера фрагментів; різниці між об'ємами пам'яті, які необхідні для зберігання фрагмента полігона та адреса фрагмента у загальному буфері, та кількості додаткових фрагментів $N_{доод}$.

Для тестування запропонованих модифікацій методу А-буфера розроблені програмні засоби для моделювання та тестування методів згладжування, які основані на методі А-буфера.

Оцінювання якості згладжування проводилось шляхом порівняння із зображенням, яке було отримано методом А-буфера з необмеженим буфером фрагментів. Візуальна відмінність між двома зображеннями оцінювалася за нормованою середньоквадратичною похибкою (NMSE) [1].

Найчастіше в якості базової фігури використовується фігура «x-wing» [11, 13, 18]. Останнім часом для тестування також додатково використовують моделі з високою щільністю триангуляційної сітки (35-40 тис. трикутників) і моделі підвищеної деталізації (понад 100 тис. трикутників).

На рис. 4 зображено типові тестові фігури, які було використано для тестування розроблених методів антиаліазингу.

Для моделювання та тестування запропонованих модифікацій методу А-буфера розроблено програмний, інтерфейс якого наведено на рис. Оцінювання якості згладжування проводилось шляхом порівняння із зображенням, яке було отримано методом А-буфера з необмеженим буфером фрагментів. Візуальна відмінність між двома зображеннями оцінювалася за нормованою середньоквадратичною похибкою (NMSE).

Для моделювання та тестування запропонованих модифікацій методу А-буфера розроблено програмний, інтерфейс якого наведено на рис. Оцінювання якості згладжування проводилось шляхом порівняння із зображенням, яке було отримано методом А-буфера з необмеженим буфером фрагментів.

Візуальна відмінність між двома зображеннями оцінювалася за нормованою середньоквадратичною похибкою (NMSE) [1].

Комп'ютерну програму для моделювання та тестування методів згладжування, основаних на методі Абуфера, виконує такі функції: формування тривимірних графічних об'єктів у статичному та динамічному режимах із згладжуванням з використанням обраної модифікації методу Абуфера або без згладжування з використанням методу Z буфера; визначення за NMSE візуальних відмінностей між двома зображеннями, сформованими за різними методами; визначення об'єму пам'яті основного та загального буфера фрагментів; визначення статистики складності сцени по глибині та побудова графіка, який відображає кількість фрагментів, яка була використана для формування кожного пікселя; генерація синтетичних сцен різного ступеня складності для оцінювання якості згладжування складних та простих сцен; визначення загальної кількості трикутників у триангуляційній сітці, якою задано графічний об'єкт.

При тестуванні виконувалось формування зображення трьох тестових об'єктів (рис. 4). Кількість фрагментів, яка виділяється на один піксель зображення, змінювалась від одного до восьми. В якості еталонного зображення було використано зображення, що отримано за методом А-буфера з необмеженим буфером фрагментів, який забезпечує виконання антиаліазингу з максимальною точністю. Результати моделювання показали, що підхід, оснований на комбінуванні надлишкових фрагментів, забезпечує менше значення NMSE порівняно з підходом, у якому надлишкові фрагменти відкидаються. При використанні нового методу до обробки фрагментів полігонів, згладжування навіть складних сцен за методом А-буфера можливо виконувати з використанням лише трьох фрагментів на один піксель зображення, що дозволяє зменшити об'єми пам'яті, необхідні для зберігання фрагментів полігонів.

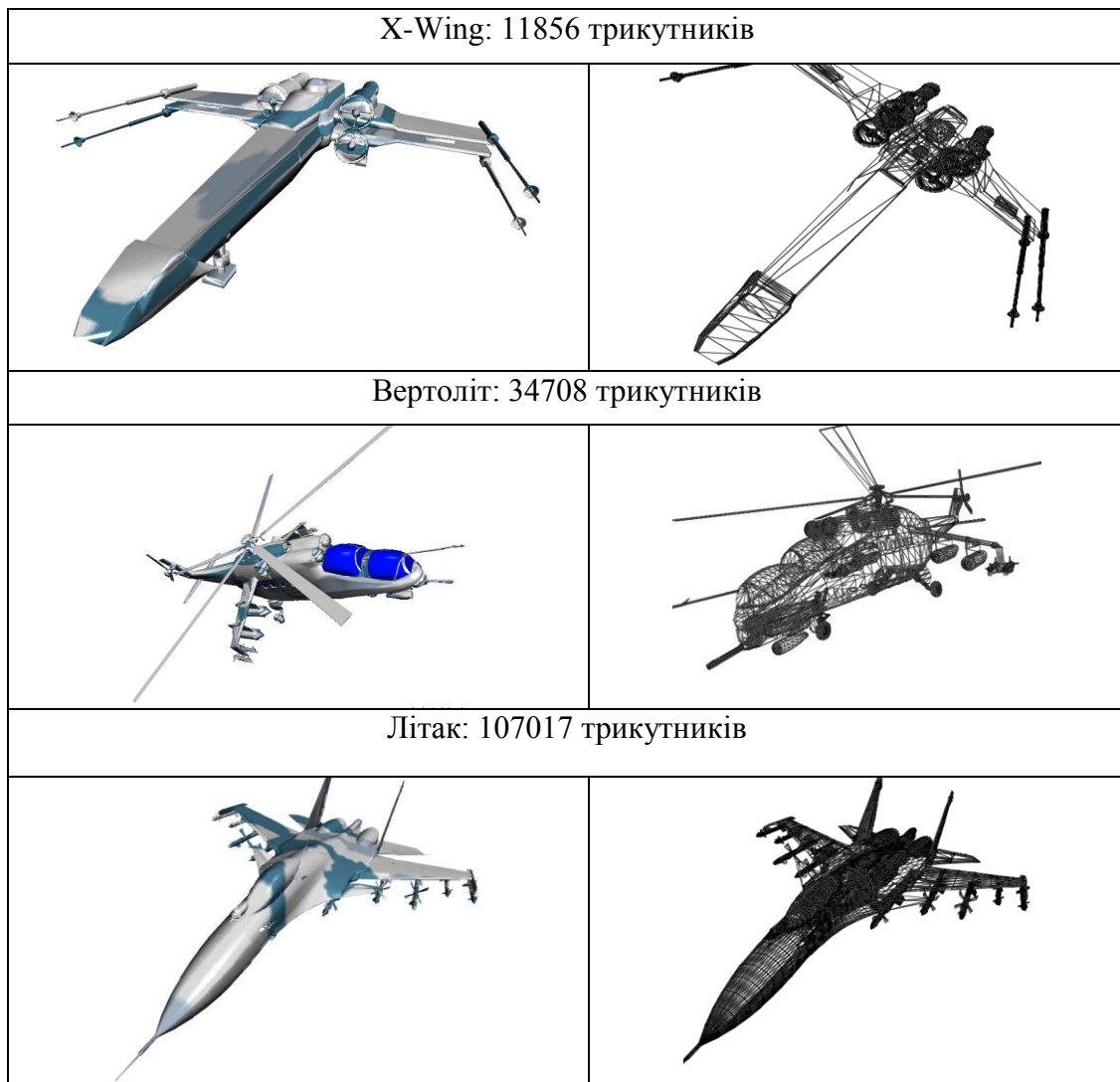


Рисунок 4 – Типові тестові фігури

Інтерфейс користувача програмного модуля тестування методів згладжування наведено на рис. 5.

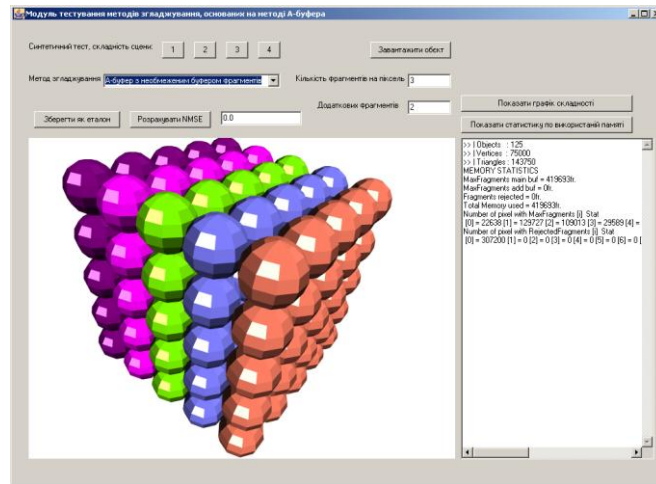


Рисунок 5 – Інтерфейс користувача програмного модуля тестування методів згладжування

Проведено комп'ютерне моделювання для оцінки об'ємів пам'яті, необхідних для згладжування тривимірних зображень за методом А-буфера з використанням загального буфера фрагментів. У ході моделювання виконувалось формування тестової сцени для різних значень параметрів $N_{осн}$, $N_{доп}$ і $N_{заг}$, визначалось максимальну кількість фрагментів, яку було записано в загальний буфер фрагментів. При тестуванні використовувалась сцена, яка характеризується підвищеною складністю, для найбільш поширеного випадку [18] завдання параметрів фрагмента полігона: 16 розрядів – для бітової маски покриття, по 8 розрядів – для інтенсивностей кольору, по 24 розряди – для значень z_u , Δz_x та Δz_y .

Як показало моделювання, використання запропонованого принципу розподілу пам'яті дозволяє зменшити у 1,3÷3,1 рази об'єми пам'яті, необхідні для згладжування тривимірних зображень за методом А-буфера, порівняно із фіксованим розподілом пам'яті. При цьому запропонований принцип характеризується простою апаратної реалізації.

На рис. 6 наведено підсистему растеризації тривимірних графічних об'єктів у якій використано модифікований метод А-буфера, розроблений у розділі 3. Підсистема включає блоки: сортування вершин – БСВ; визначення приростів координат – ВПК; визначення координат - ВК; визначення маски покриття – ВМП; зафарбовування та текстурування – ЗТ; формування нового фрагмента – ФНФ; розрахунку масок глибини – РМГ; розрахунку інтенсивності кольору – РІК; визначення адреси – ВА; блок керування – БК; кешування фрагментів – КФ; основного буфера фрагментів – ОБФ; загального буфера фрагментів – ЗБФ; об'єднання фрагментів – ОФ.

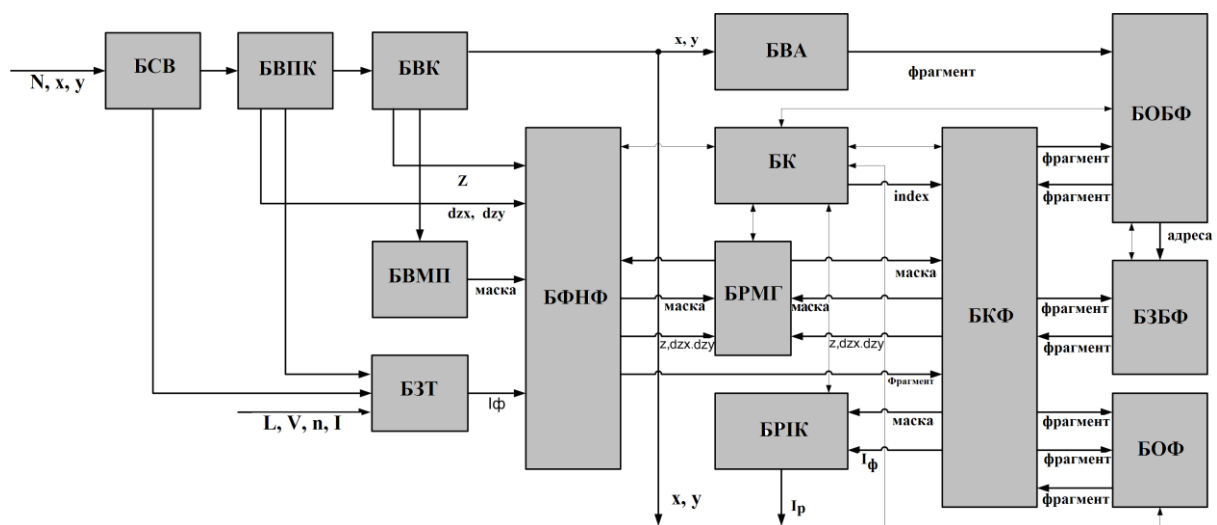


Рисунок 6 – Структурна схема підсистеми растеризації тривимірних графічних об'єктів, у якій використано модифікований метод А-буфера

У БСВ проводиться аналіз вершин вихідного трикутника з метою визначення вершин провідних і непровідних ребер. У БВК у кожному такті визначається адреса потокової точки полігону. У БВМП визначається маска покриття пікселя трикутником. У БЗТ розраховується інтенсивність кольору потокової точки трикутника з використанням обраного методу зафарбовування та текстурування. У БФНФ формується новий фрагмент полігону. Блок БВА визначає адресу у блоці БОБФ, по якій зберігається список фрагментів полігону для потокового пікселя. пристої інтенсивностей кольору, по яким у БВК визначаються інтенсивності кольору внутрішніх точок трикутника та його ребер.

Фрагменти, сгенеровані для потокового пікселя (x, y) з основного та загального буфера фрагментів завантажуються в БКФ. У БФМГ з використанням даних про глибину та масок покриття визначається розташування фрагмента у списку вже згенерованих фрагментів. $N_{осн}$ фрагментів зберігаються у БОБФ, якщо фрагментів більше ніж $N_{осн}$, то в БОБФ зберігається $N_{доод}$ адрес, які визначають розташування додаткових фрагментів у загальному буфері. У випадку, якщо сгенеровано більше ніж $N_{осн} + N_{доод}$ фрагментів, у БОФ два найбільш віддалені від спостерігача фрагменти об'єднуються в один.

Висновки

При використанні фіксованої кількості фрагментів на один піксел зображення спрощується апаратна реалізація методу А-буфера, однак пам'ять використовується неефективно, оскільки кількість фрагментів для розрахунку інтенсивності кольору пікселя може суттєво відрізнятись для різних пікселів.

Запропоновано використати комбінований статично-динамічний принцип організації пам'яті, який полягає у введенні загального буфера фрагментів. В основному буфері фрагментів на кожен піксел виділяється блок пам'яті фіксованого розміру для зберігання $N_{осн}$ фрагментів полігонів і $N_{доод}$ адрес, які визначають номер фрагмента у загальному буфері фрагментів. Для загального буфера фрагментів виділяється фіксований блок пам'яті для зберігання $N_{заг}$ фрагментів. Якщо кількість фрагментів, які згенеровано для даного пікселя, перевищує $N_{осн}$, то надлишкові фрагменти зберігаються в загальному буфері фрагментів.

Запропонована модифікація методу антиаліазингу має більш просту апаратну реалізацію порівняно з динамічним розподілом пам'яті та потребує у 1,3÷2,6 разів менших об'ємів пам'яті для зберігання фрагментів полігонів порівняно з фіксованим розподілом.

Для зменшення похибки обчислень інтенсивності кольору, яка має місце внаслідок відкидання фрагментів полігонів, яким не вистачило місця у буфері фрагментів, запропоновано два найбільш віддалені від спостерігача фрагменти об'єднувати у один. При використанні такого підходу підвищується якість згладжування у випадку зберігання обмеженої кількості фрагментів полігонів на один піксел зображення.

Список літератури

- [1] О. Н. Романюк, та А. В. Чорний, *Високопродуктивні методи та засоби зафарбовування тривимірних графічних об'єктів*, Вінниця, Україна: УНІВЕСУМ-Вінниця, 2006.
- [2] О. Н. Романюк, «Метод підвищення реалістичності відтворення тривимірних графічних об'єктів», *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, №1 (8). с. 269–272. 2016.
- [3] О. Н. Романюк, *Комп'ютерна графіка. Навчальний посібник*. Вінниця: УНІВЕСУМ-Вінниця, 2001.
- [4] О. Н. Романюк, та М. С. Курінний, «Математичні моделі пікселів для задач антиаліазингу», *Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту*, № 3, с. 35–47. 2002.
- [5] S. O. Romanyuk, O. N. Romanyuk, S. V. Pavlov, and O. V. Melnyk, «Method of anti-aliasing with the use of the new pixel model», *Proc. SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications*, 2015.
- [6] О. Н. Романюк, та М. С. Курінний, «Антиаліазинг зображення кривих другого порядку, заданих загальним рівнянням», *Ресстрація, зберігання і обробка даних*, т. 8, № 3, с. 11–19, 2007.
- [7] С. И. Вяткин, Б. С. Долговесов, и Б. С. Мазурок, «Эффективный метод растривания изображений для компьютерных систем визуализации реального времени», *Автометрия*, № 5, с. 34–52. 1993.
- [8] А. Н. Романюк, и А. В. Черный, «Алгоритмы удаления невидимых поверхностей», *Компьютеры+Программы*, № 6. с. 26 – 29. 2000.
- [9] С. И. Вяткин, Б. С. Долговесов, и Б. С. Мазурок, «Эффективный метод растривания изображений для компьютерных систем визуализации реального времени», *Автометрия*, № 5, с. 34–52. 1993.
- [10] L. C. Carpenter, «The A-buffer, an Anti-aliased Hidden Surface Method», *Computer Graphics*, vol. 18, no.3, pp. 103–108. 1984.

- [11] P. Norman, and Chun-Fa Chang, «An Economical Hardware Technique for High-Quality Antialiasing and Transparency», in *Proceedings of the 1999 Eurographics SIGGRAPH Workshop on Graphics Hardware*, 1999, pp. 85–93.
- [12] М. В. Михайлюк, и В. Н. Решетников, «Визуализация трехмерных сцен в реальном режиме времени», *Программные продукты и системы*, № 1, с. 12–16. 1999.
- [13] S. Winner, M. Kelley, and B. Pease, «Hardware accelerated rendering of antialiasing using a modified A-buffer algorithm», in *Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '97)*, 1997, pp. 307–316.
- [14] A Schilling, and W Straßer, «Algorithm and Hardware Architecture for an Improved A-Buffer», in *Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '93)*, 1993, pp. 85–91.
- [15] E. Catmull, «A hidden-surface algorithm with anti-aliasing», in *Proceedings of SIGGRAPH 78*, 1978, pp. 6–11.
- [16] Д. Херн, и М. П. Бейкер, *Компьютерная графика и стандарт OpenGL*, Москва, Россия: Издательский дом «Вильямс», 2007.
- [17] L. C. Carpent, «The A-buffer, an Anti-aliased Hidden Surface Method», *Computer Graphics*, vol. 18, no. 3, pp. 103–108. 1984.
- [18] C. M. Wittenbrink, «R-buffer: A pointerless A-buffer hardware architecture», in *Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, 2001, pp. 73 – 80.
- [19] G. Westheimer, «The spatial sense of the eye», *Invest. Ophthalm. Vis. Sci.*, Vol. 18, pp. 893–912. 1979.
Стаття надійшла: 02.11.2020.

References

- [1] О. Н. Романыук, та А. В. Чорнуу, *Vysokoproduktyvni metody ta zasoby zafarbovuvannya tryvymirnykh hrafichnykh obyektiv*, Vinnytsya, Ukrayina: UNIVESUM-Vinnytsya, 2006.
- [2] О. Н. Романыук, «Metod pidvyshchennya realistychnosti vidtvorennya tryvymirnykh hrafichnykh obyektiv», *Informatsiyni tekhnolohiyi ta komp'yuterna inzheneriya*, № 1 (8). s. 269–272. 2016.
- [3] О. Н. Романыук, *Kompyuterna hrafika. Navchalnyy posibnyk*. Vinnytsya: UNIVESUM-Vinnytsya, 2001.
- [4] О. Н. Романыук, та М. С. Куринный, «Математични модели пікселів для задач антиаліазингу», *Visnyk Zhytomyrskoho inzhenerno-tekhnolohichnoho instytutu*, № 3, s. 35–47. 2002.
- [5] S. O. Romanyuk, O. N. Romanyuk, S. V. Pavlov, and O. V. Melnyk, «Method of anti-aliasing with the use of the new pixel model», *Proc. SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications*, 2015.
- [6] О. Н. Романыук, та М. С. Куринный, «Antyaliayzynch zobrazhennya kryvykh druhoho porядku, zadanykh zahal'nym rivnyanniam», *Reyestratsiya, zberihannya i obrobka danykh*, t. 8, № 3, s. 11–19. 2007.
- [7] S. I. Vjatkin, B. S. Dolgovesov, i B. S. Mazurok, «Jeffektivnyj metod rastrirovaniya izobra-zhenij dlja komp'yuternyh sistem vizualizacii real'nogo vremeni», *Avtometrija*, № 5, с. 34–52. 1993
- [8] А. Н. Романыук, у А. В. Черный, «Alhorytmy udalenyia nevydymykh poverkhnostey», *Kompyutery+Prohrammy*, № 6. s. 26–29. 2000.
- [9] S. I. Vjatkin, B. S. Dolgovesov, i B. S. Mazurok, «Jeffektivnyj metod rastrirovaniya izobra-zhenij dlja komp'yuternyh sistem vizualizacii real'nogo vremeni», *Avtometrija*. № 5, s. 34–52. 1993.
- [10] L. C. Carpenter, «The A-buffer, an Anti-aliased Hidden Surface Method», *Computer Graphics*, vol. 18, no.3, pp.103–108. 1984.
- [11] P. Norman, and Chun-Fa Chang, «An Economical Hardware Technique for High-Quality Antialiasing and Transparency», in *Proceedings of the 1999 Eurographics SIGGRAPH Workshop on Graphics Hardware*. 1999, pp.85–93.
- [12] М. В. Мыхайлюк, у В. Н. Решетников, «Vyuzalyzatsyya trekhmernykh stsen v real'nom rezhyme vremeni», *Prohrammnye produkty y systemy*, № 1, s.12-16. 1999.
- [13] S. Winner, M. Kelley, and B. Pease, «Hardware accelerated rendering of antialiasing using a modified A-buffer algorithm», in *Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '97)*, 1997. pp. 307–316.
- [14] [A Schilling, and W Straßer, «Algorithm and Hardware Architecture for an Improved A-Buffer», in *Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '93)*, 1993, pp. 85 – 91.
- [15] E. Catmull, «A hidden-surface algorithm with anti-aliasing», in *Proceedings of SIGGRAPH 78*, 1978. pp. 6–11.
- [16] D. Khern, y M. P. Beyker, *Kompyuternaya hrafyka y standart OpenGL*, Moskva, Rossyya: Yzdatelsky dom «Vylyams», 2007.
- [17] L. C. Carpent, «The A-buffer, an Anti-aliased Hidden Surface Method», *Computer Graphics*,

vol. 18, no. 3, pp. 103–108, 1984.

[18] C. M. Wittenbrink, R-buffer: A pointerless A-buffer hardware architecture, in *Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, 2001. pp. 73–80.

[19] G. Westheimer, «The spatial sense of the eye», *Invest. Ophthal. Vis. Sci.*, Vol. 18, pp. 893–912. 1979.

Відомості про авторів

Романюк Олександр Никифорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри програмного забезпечення Вінницького національного технічного університету.

Курінний Михайло Сергійович – кандидат технічних наук, директор ПП «РАДІОНЕТ».

Дудник Олександр Олександрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення Вінницького національного технічного університету.

Снігур Анатолій Васильович – кандидат технічних наук, доцент кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету.

Романюк Сергій Олександрович – кандидат технічних наук, підприємець.

О. Н. Романюк, М. С. Куренной, О. О. Дудник, А. В. Снігур,
С. О. Романюк

МОДИФИКАЦІЯ МЕТОДА А-БУФЕРА ДЛЯ СГЛАЖИВАННЯ ТРЕХМЕРНИХ ІЗОБРАЖЕНЬ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

O. N. Romanyuk, M. S. Kurennoy, O.O. Dudnik, A.V. Snigur, S. O. Romanyuk

MODIFICATION OF A-BUFFER METHOD FOR SMOOTHING THREE-DIMENSIONAL IMAGES

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ

УДК 00491

М. П. Дивак, А. М. Мельник, О. А. Папа

**МАТЕМАТИЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОДУЛЯ ПРИКЛАДНИХ
ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ ДЛЯ НАДАННЯ
АДМІНІСТРАТИВНИХ ПОСЛУГ ЩОДО ПРОВЕДЕННЯ
ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ**

Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль

Анотація. Останнім часом одним із найважливіших напрямів діяльності місцевих органів влади в Україні стало надання адміністративних послуг. Одним із визначальних чинників процесу створення ефективних ЦНАП та підвищення якості надання адміністративних послуг. Використання інтелектуальних методів обробки даних дозволить підвищити якість надання послуг, а також значно прискорити надання адміністративних послуг для громадян. Основними завданнями статті є аналіз проблем якісного інформаційного забезпечення функціонування систем, які використовуються в Центрах надання адміністративних послуг; створення математичного та алгоритмічного забезпечення для оцінки подібності документів та послуг; реалізація інтелектуального модуля обробки інформації для прикладних програмних систем. Результатами статті є: метод метод оцінки подібності адміністративних послуг ґрунтується на кластеризації документів, що оперують поняттям відстані між об'єктами (реквізитами), які формують їх структуру; вдосконалений метод пошуку оптимальних наборів документів в наведеному графі при відповідних заданих обмеженнях в частині адаптації «алгоритму мурашиних колоній» в заданій предметній області; вдосконала схема реалізації пошуку послуг (документів) у вигляді дерева в частині реалізації алгоритму видалення послуг з документами, що дублюються. Дані напрацювання можуть бути реалізовані як надбудова до сучасних рішень і ефективно використовуватися в інформаційних системах надання адміністративних послуг.

Ключові слова: центр надання адміністративних послуг, інтелектуальний модуль, слабкоструктурована інформація, класифікація документів

Аннотация. В последнее время одним из важнейших направлений деятельности местных органов власти в Украине стало предоставление административных услуг. Одним из основных факторов процесса создания эффективных ЦНАП и повышения качества предоставления административных услуг. Использование интеллектуальных методов обработки данных позволит повысить качество предоставления услуг, а также значительно ускорит предоставление административных услуг для граждан. Основными задачами статьи является анализ проблем качественного информационного обеспечения функционирования систем, используемых в центрах предоставления административных услуг; Создание математического и алгоритмического обеспечения для оценки сходства документов и услуг; реализация интеллектуального модуля обработки информации для прикладных программных систем. Результатами статьи являются: метод метод оценки сходства административных услуг основывается на кластеризации документов, оперирующим понятием расстояния между объектами (реквизитами), которые формируют их структуру; усовершенствованный метод поиска оптимальных наборов документов в направленном графе при соответствующих заданных ограничениях в части адаптации «алгоритма муравьиных колоний» в заданной предметной области; усовершенствованная схема реализации поиска услуг (документов) в виде дерева в части реализации алгоритма удаления услуг с документами, дублируются. Данные наработки могут быть реализованы как надстройка к современным решениям и эффективно использоваться в информационных системах предоставления административных услуг.

Ключевые слова: центр предоставления административных услуг, интеллектуальный модуль, слабоструктурированная информация, классификация документов

Abstract. Recently, one of the most important activities of local authorities in Ukraine has been the provision of administrative services. One of the determining factors in the process of creating effective CNAPs and improving the quality of administrative services. The use of intelligent data processing methods will improve the quality of service provision, as well as significantly accelerate the provision of administrative services to citizens. The main objectives of the article are to analyze the problems of quality information support for the functioning of systems used in the Centers for administrative services; creation of mathematical and algorithmic software to assess the similarity of documents and services; implementation of an intelligent information processing module for application software systems. The results of the article are: the method method of assessing the similarity of administrative services is based on the clustering of documents that operate on the concept of distance between objects (details) that form their structure; improved method of finding the optimal sets of documents in the directional graph with the appropriate given restrictions in terms of adaptation of the "algorithm of ant colonies" in a given subject area; improved scheme for implementing the search for services (documents) in the form of a tree in terms of implementing the algorithm for deleting services with duplicate documents. These developments can be implemented as an add-on to modern solutions and effectively used in information systems for administrative services.

Key words: center for administrative services, intelligent module, poorly structured information, classification of documents.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2020-49-3-66-76>.

Вступ

Створення цифрових системи надання адміністративних послуг на сьогоднішній день є одним із основних світових трендів.

В багаточисленних працях, а також на таких веб-ресурсах наведено як основні вимоги так і конкретні реалізації зазначених систем. Нажаль функціонування кожної з них вимагає певних навиків цифрової грамотності користувача.

Для цього переважно створюються мобільні додатки, які наближають до сервісів велику кількість користувачів. Разом з тим такі системи не зменшують часу надання послуг, оскільки залежно від законодавства кожної країни вимагають достатньої обізнаності користувача щодо особливостей отримання тих чи інших послуг.

Універсальним розв'язком цієї проблеми є створення простих інтелектуальних модулів, які б слугували порадиниками користувачу при отриманні тієї чи іншої послуги. Основою для цих модулів можуть слугувати знання експертів з цієї чи іншої галузі надання послуг.

Для створення таких послуг потрібно сформулювати чіткий набір правил, які при запитах користувача могли б сформувати рекомендації щодо прискорення виконання тих чи інших етапів і процедур надання адміністративних послуг.

Прикладом такої системи слугує створена авторами цієї статті система центру надання адміністративних послуг Тернопільської міської ради, яка містить універсальні інтелектуальні модулі, наприклад для виконання послуг щодо екологічної експертизи при створенні виробничих підприємств або розширенні їх діяльності.

Актуальність

Останнім часом одним із найважливіших напрямів діяльності місцевих органів влади в Україні стало надання адміністративних послуг. За нещодавній період було створено понад 800 центрів надання адміністративних послуг (ЦНАП) [1].

Одним із визначальних чинників процесу створення ефективних ЦНАП та підвищення якості надання адміністративних послуг є використання сучасних інформаційних технологій. Ефективна інформаційна система надання адміністративних послуг дасть змогу одержувати об'єктивну інформацію щодо якості надання послуг; до того ж, така система може стати основою для оперативного ухвалення управлінських рішень з метою реального поліпшення та наближення рівня якості послуг до потреб замовників [1]. Використання інтелектуальних методів обробки даних дозволить підвищити якість надання послуг, а також значно прискорити надання адміністративних послуг для громадян.

Мета

Метою дослідження статті є підвищення ефективності функціонування інформаційної системи центру надання адміністративних послуг за рахунок реалізації математичного та програмного забезпечення інтелектуального модуля обробки інформації. Для досягнення поставленої у роботі мети необхідно розв'язати такі завдання:

- провести аналіз сучасних інформаційних систем, які використовуються в центрах надання інформаційних послуг та виділити основні проблемні напрямки, які виникають в процесі їх діяльності;
- вдосконалити метод пошуку оптимальних наборів документів який базується на основі «мурашиних алгоритмів»;
- запропонувати метод автоматичного фільтрування подібних послуг та відповідних документів в рамках досліджуваної предметної області;
- реалізувати схему роботи інтелектуального модуля обробки інформації як надбудову до сучасних програмних рішень;
- здійснити програмну реалізацію запропонованих методів пошуку оптимального набору документів та автоматичного фільтрування подібних послуг;
- провести тестування інтелектуального модуля та виконати аналіз одержаних результатів.

Задачі

1. Аналіз проблем якісного інформаційного забезпечення функціонування систем, які використовуються в Центрах надання адміністративних послуг.
2. Створення математичного та алгоритмічного забезпечення для оцінки подібності документів та послуг.
3. Реалізація інтелектуального модуля обробки інформації для прикладних програмних систем.

Розв'язання задач

На сьогодні центри надання адміністративних послуг є мережею з великою кількістю вузлів (послуг) та зв'язків (документів), що робить процес класифікації та пошуку відповідних адміністративних послуг в системі досить складним. Кожен користувач, вибираючи відповідну послугу, зіштовхується із проблемою – які саме види послуг із отриманого списку і в якій послідовності необхідно опрацювати документи для найповнішого формування відповідного пакету документів та найшвидшої та оптимальної обробки інформаційних запитів. На рис. 1 представлено процес отримання видачі дозволу на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря.

Процес аналіз структури документів та послідовності реалізації відповідних кроків є досить складним, а тому вимагає застосування методів інтелектуального аналізу даних.

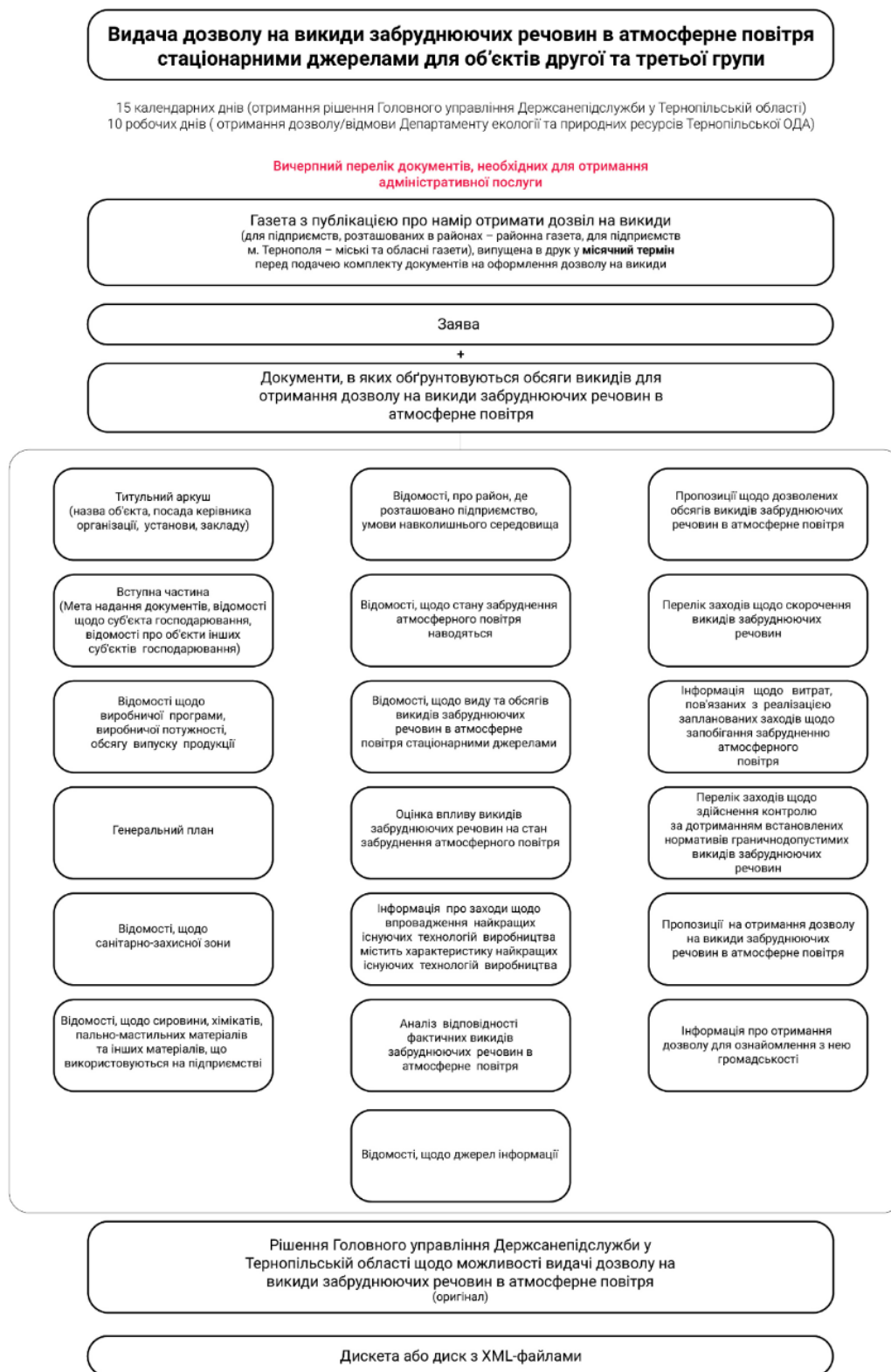


Рисунок 1 – Приклад реалізації схеми отримання видачі дозволу на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря

Описана проблема може бути визначена як проблема пошуку оптимальних наборів документів, яка може бути транспонована в проблему пошуку оптимальних наборів документів в наведеному графі при відповідно заданих обмеженнях.

Для пошуку оптимальних наборів документів при виборі відповідних адміністративних послуг пропонується виористати підхід, який базується на основі «мурашиних алгоритмів» [2].

Під контентною повнотою C деякого набору послуг d представимо деяку величину, яка є сумою контентних повнот усіх послуг, що входять в базовий набір адміністративних послуг:

$$C_p^n = \sum_{j=1}^{n-1} c_j, \quad (1)$$

де n – кількість послуг (вершин графу), c_j – контентна повнота деякої адміністративної послуги.

Нехай в результаті формування відповідно інформаційного запиту Q сформовано структурну модель у вигляді графу G , що відображає взаємозв'язки між документами, які отримані в результаті відповідного пошуку. Необхідно сформувати такий набір послуг, який охоплював би максимальну кількість документів, контентна повнота якого була б максимальною, а контентна повнота документів, що не відповідають запиту – мінімальною.

В загальному випадку задача може бути представлена наступним чином:

$$Search C \text{ with } n \rightarrow \max, C_k^n \rightarrow \max, C_{k_{uninformative}}^n \rightarrow \min \quad (2)$$

Відношення (2) є класичним представленням пошуку оптимальних шляхів обходу в направлених графах. Розглянемо специфіку застосування методу мурашиних колоній в рамках досліджуваної предметної області.

Опис методу. Моделювання поведінки мурах пов'язане з розподілом феромону на шляху – ребрі графу. Ймовірність того, що мураха піде по конкретному ребру пропорційна кількості феромону на цьому ребрі, а кількість феромону, що відкладається на шляху, пропорційна «відстані» між двома документами. В якості міри відстані може бути обрана будь-яка із загальновідомих [2]. Таким чином, чим «ближчими» будуть два документи, тим більше феромону буде відкладено на ребрі, що їх з'єднує, і відповідно, тим більше мурах буде рухатися по даному маршруту. Для попередження знаходження локально оптимальних рішень необхідно додати зворотній зв'язок у вигляді випарування феромону. Це дасть змогу отримати стійке оптимальне рішення.

Розглянемо правила поведінки мурах:

1. Мурахи можуть рухатися по ребрах декілька разів, але це може спонукати до дублювання фрагментів шляху. В спірних моментах (вузлах, документах) мурахи повинні віддавати перевагу тим ребрам, які вони ще не відвідали. Позначимо через $M_{i,ant}$, перелік документів, які ще не проходила комаха ant, що знаходиться на i -й послугі.

2. Видимість визначається як евристичне бажання комахи відвідати документ j , якщо він формує послугу i . Даний показник обчислюємо як обернено пропорційну величину до значення «відстані» між документами і відповідних послуг. Для цього використаємо критерій χ^2 Пірсона [3]:

$$\chi^2 = n_1 n_2 \sum_{i=1}^k \frac{1}{m_{1,i} + m_{2,i}} \left(\frac{m_{1,i}}{n_1} - \frac{m_{2,i}}{n_2} \right)^2, \quad (3)$$

де n_1 – об'єм першого документу, n_2 – об'єм другого документу, $m_{1,i}$ – частота i -го признаку в першому послугі, $m_{2,i}$ – частота i -го признаку в другій послугі.

3. «Нюх» мурах визначається їх здатністю відчувати запах феромону, що підтверджує бажання відвідати документ j із послуги i на основі досвіду інших мурах. Кількість феромону на ребрі (i, j) в певний момент часу t позначимо як $W_{i,j}(t)$.

Таким чином, на основі описаних правил запишемо відношення ймовірності переходу ant –ої мурахи з послуги i в послугу j :

$$\left\{ \begin{array}{l} Probability_{ij,ant}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha * [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l=1}^{J_{i,ant}} [\tau_{il}(t)]^\alpha * [\eta_{il}]^\beta}, j \in J_{i,ant}, \\ Probability_{ij,ant}(t) = 0, j \notin J_{i,ant}. \end{array} \right. \quad (4)$$

Параметри α і β визначаються експериментально.

Величина феромону, що відкладе мураха ant на ребрі (i, j), перейшовши з послуги i на послугу j, визначається таким чином:

$$\Delta W_{ij,ant}(t) = \begin{cases} F_{P_{ant}(t)}, (i, j) \in P_{ant}(t), \\ 0, (i, j) \notin P_{ant}(t), \end{cases} \quad (5)$$

де $P_{ant}(t)$ – шлях, що пройшла мураха ant на момент часу t, $F_{P_{ant}(t)}$ – числова величина оптимальності шляху p.

Числова величина оптимальності шляху розраховується на основі оптимізаційної функції

$$F_p = n_p C_p v_p, \quad (6)$$

де n_p – кількість документів, що входять в маршрут p, C_p – контентна повнота (1) маршруту p, v_p – середня швидкість зміни контентної повноти із врахуванням порядкового номеру документу в маршруті p, що обчислюється за формулою:

$$v_p = \frac{\sum_{l=1}^{n_k-1} \frac{(l+1)i}{\sum_{j=1}^{l+1} i_j}}{n_p - 1} \quad (7)$$

Випаровування феромону обчислюється за наступною формулою:

$$\begin{aligned} W_{ij}(t+1) &= (1-p) * W_{ij}(t) + \Delta W_{ij}(t), \\ \Delta \tau_{ij}(t) &= \sum_{k=1}^m \Delta W_{ij,k}(t), \end{aligned} \quad (8)$$

де $p \in [0;1]$ – коефіцієнт випаровування, m – кількість мурах (послуг).

В результаті ми отримуємо модифікований метод мурашинних колоній та його адаптивне представлення та застосування в сфері пошуку документів та відповідних адміністративних послуг в процесі функціонування інформаційних систем ЦНАП.

В процесі аналізу результатів пошуку адміністративних послуг з використанням інформаційних систем ЦНАП виникає проблема автоматичного фільтрування подібних послуг та відповідних документів. Це дозволить значно пришвидшити результати такої обробки [3-5].

Поняття подібності адміністративних послуг можна описати через кластеризацію документів, що оперують поняттям відстані між об'єктами (реквізитами), які формують структуру цих документів. Відстань між такими об'єктами можна знаходити за допомогою критерію χ^2 Пірсона, який описаний відношенням (3). Відповідно, коефіцієнт подібності можна обчислювати як

$$S_{p_1, p_2} = 1 / \chi^2 \quad (9)$$

Під подібністю адміністративних послуг будемо розуміти ступінь дублювання даних, що вони містять:

$$Similarity(Service_1, Service_2) = Data_1 \cup Data_2 \quad (10)$$

Під індексом подібності будемо розуміти числову характеристику подібності, причому повному дублюванню даних буде відповідати значення 1, відповідно 0 - послугам, що повністю відрізняються.

Нехай S_1 і S_2 – дві адміністративні послуги, для яких необхідно визначити їх подібність, o_1 і o_2 – набір унікальних ознак відповідних послуг [4]. Під унікальними ознаками мається на увазі набір ознак, що не повторюються в межах однієї послуги. В якості таких ознак будемо використовувати елементи інформаційного наповнення, а саме текстові описи, документи. Загальний набір ознак O (11) утворюється шляхом об'єднання набору ознак послуг, що порівнюються. Ознаки, що повторюються, також видаляються з набору:

$$O = o_1 \cup o_2, \text{count}(O) \leq \text{count}(o_1) + \text{count}(o_2) \quad (11)$$

Коефіцієнт дублювання даних i -ї послуги в j -й будемо обчислювати за допомогою відношення

$$W_{s_i(s_j)} = \frac{\text{count}(o_i) + \text{count}(o_j) - \text{count}(O)}{\text{count}(o_i)} \quad (12)$$

Загальний коефіцієнт даних, що дублюється в послугах p_1 і p_2 будемо обчислювати за допомогою виразу

$$W_{s_i,s_j} = \frac{\text{count}(o_i) + \text{count}(o_j) - \text{count}(O)}{\text{count}(o_i) + \text{count}(o_j)} \quad (13)$$

а коефіцієнт подібності відповідно як

$$\text{Similarity}_{s_i,s_j} = 2W_{s_i,s_j}, \text{Similarity}_{i,j} \in [0,1], \quad (14)$$

Відповідно відстань між послугами може бути обчислена за допомогою виразу

$$D_{p_i,p_j} = \frac{1}{\text{Similarity}_{s_i,s_j}} \quad (15)$$

Таким чином, коефіцієнт подібності враховує невідповідність наборів документів, а відстань між послугами є певним чином обмеженою, так як коефіцієнт подібності може змінюватися лише в діапазоні від 0 до 1. Таким чином вирішується проблема розмірності відстані і подібності.

Алгоритм видалення послуг з документами, що дублюються представлено на рис. 2. Дані методи можуть бути реалізовані як надбудова до сучасних рішень і ефективно використовуватися в інформаційних системах надання адміністративних послуг.

1. На першому кроці користувач вводить пошуковий запит, система видає результати – набір послуг S .

2. Аналізуються перші n документів для адміністративних послуг: вони розбиваються на блоки, оцінюються за допомогою регресійної моделі, інформаційний шум «відкидається». На виході отримуємо n документів, які складаються лише з основних документів для шуканої послуги.

3. Обчислюються коефіцієнти подібності між документами. Всі документи, що дублюються в рамках послуг, видаляються з результуючого набору (в залежності від методу видалення).

4. На виході отримуємо набір послуг з документами, інформація в яких не дублюється.

Дані методи та алгоритми можуть бути реалізовані як надбудова до сучасних рішень і ефективно використовуватися у власних програмних розробках.

Схема реалізації інтелектуального модуля

Інтелектуальний модуль виконує деревовидний пошук документів – від загального до конкретного [6-8]. Проводиться заглиблення у нижчі рівні здійснюваного пошуку. На рис. 3 представлено схему реалізації пошуку документів у вигляді дерева.

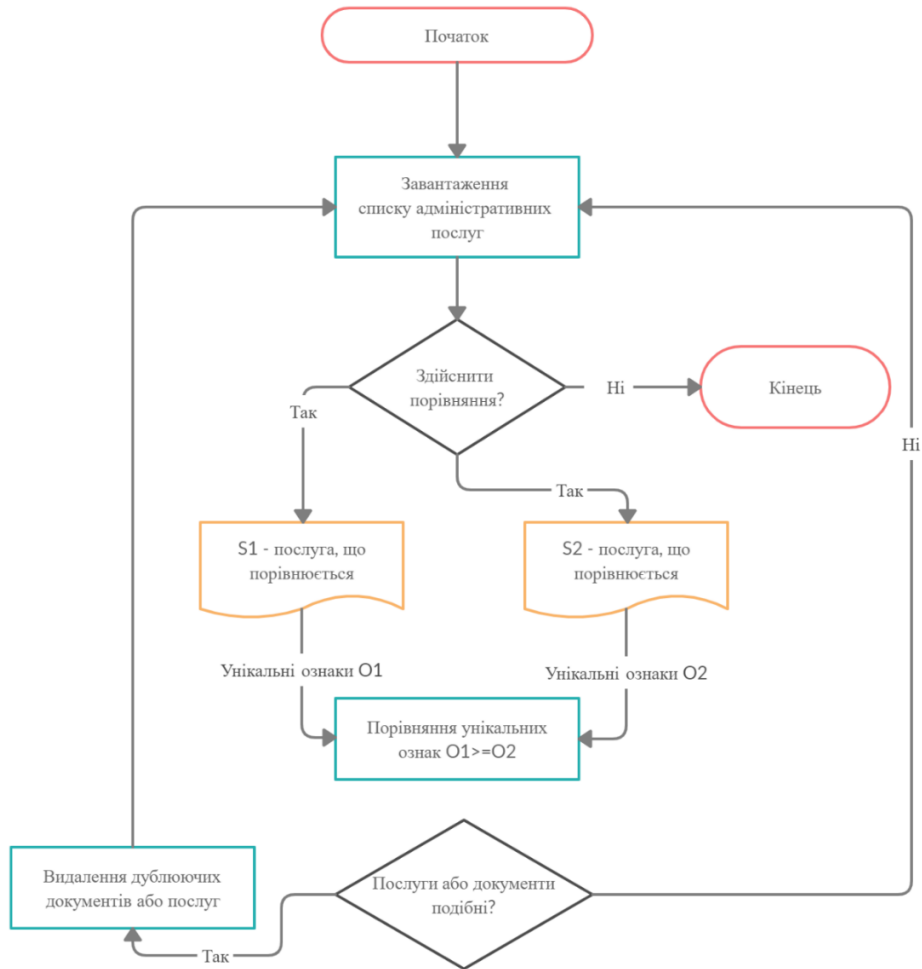


Рисунок 2 – Схема видалення дублюючих документів та послуг в процесі формування пошуково запиту на адміністративні послуги

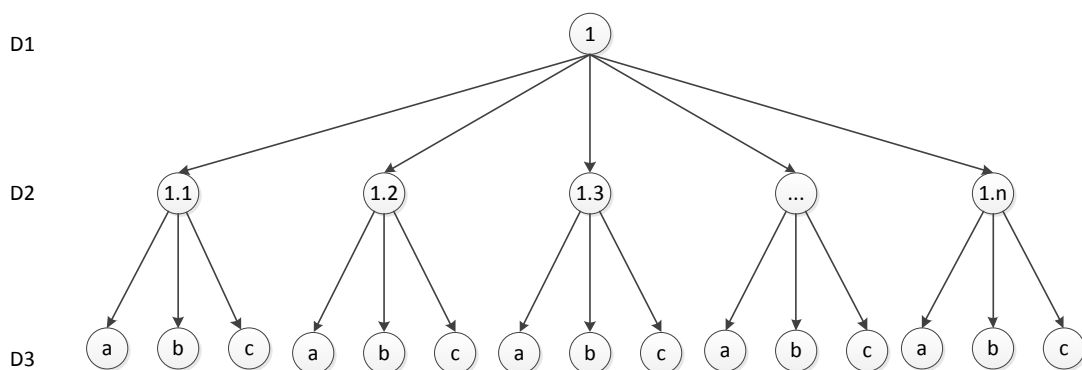


Рисунок 3 – Схема пошуку документів у вигляді деревовидного представлення

Для того, щоб із пошукових результатів обрати шуканий варіант потрібно виконати наступну послідовність кроків D, де:

D_1 – результати пошуку в конкретному розділі адміністративних послуг.

D_2 – знайдена інформація під час пошуку

D_3 – на третьому рівні знаходяться: а) розділи за якими переходить користувач; б) документи або текст, які відносяться до результатів пошуку; в) відсоток адекватності пошуку.

Спочатку користувач заповнює поля пошуку, вибирає відповідні атрибути і при натисненні на кнопку «Знайти адміністративну послугу» відбувається відправлення даних на сервер, де відбувається формування словників вибраних елементів із надісланих даних. На основі згенерованої інформації відбувається безпосереднє формування запиту, його аналіз та розбиття на деталізовані структури. На кожному вузлі відбувається порівняння виконуваного запиту із статистичною інформацією по запропонованому алгоритму.

Після виконання пошуку на вузлах через менеджер бази даних документів виконується повернення набору даних, де вже виконується об'єднання результатів і відповідно надсилаються агреговані результати до сторінки формування запиту на адміністративну послугу, де користувач може у зручному вигляді переглядати знайдені результати та виконувати подальші маніпуляції із знайденими документами [9,10].

Експериментальні дослідження

Експериментальні дослідження проводилися на прикладі Центру надання адміністративних послуг в м. Тернопіль. На рис. 4 представлено приклад реалізації алгоритму оцінки подібності адміністративних послуг.

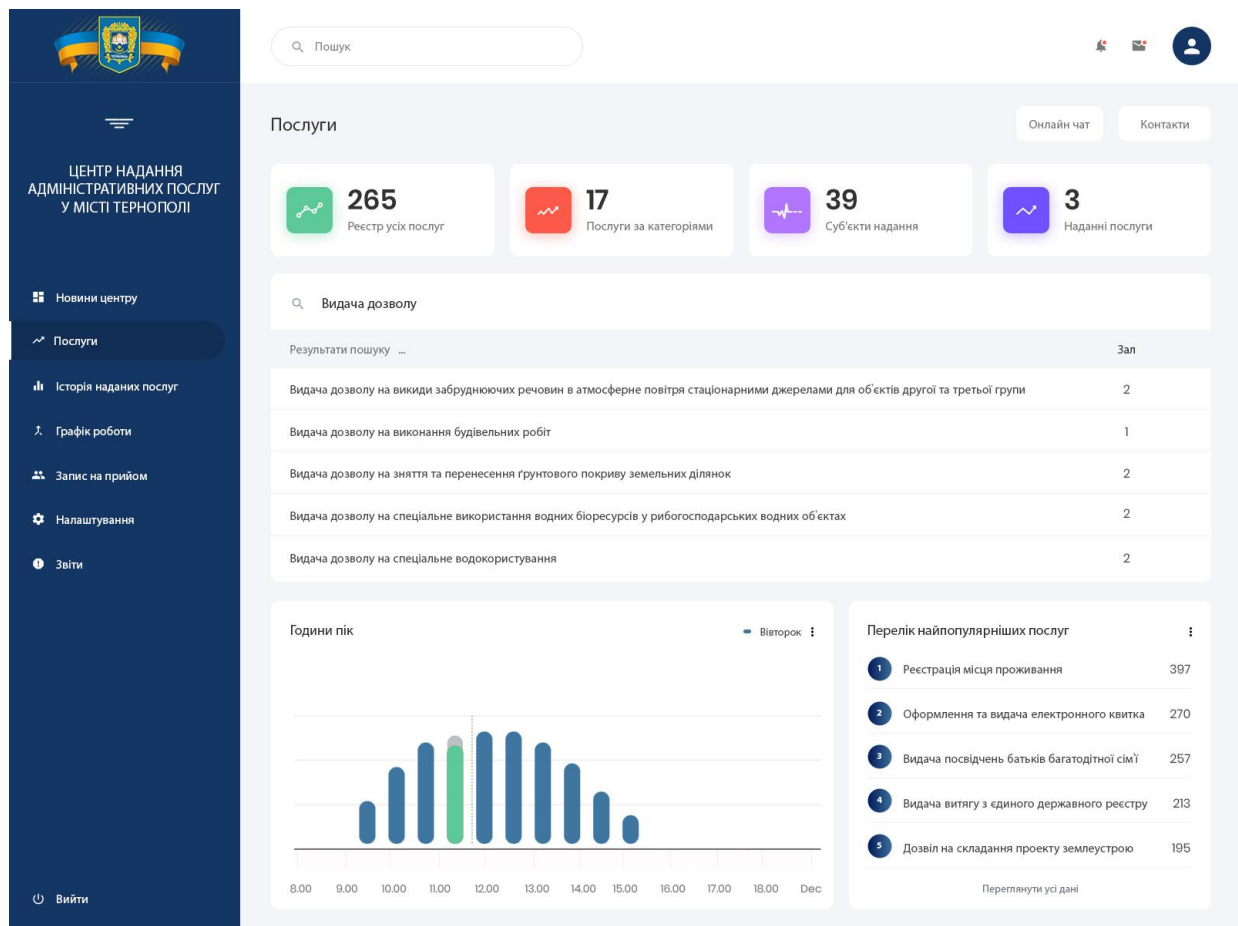


Рисунок 4 – Приклад реалізації оцінки подібності адміністративних послуг

На рис. 5 представлено приклад формування структури документів для адміністративної послуги «Видача дозволу на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами для об'єктів другої та третьої групи».

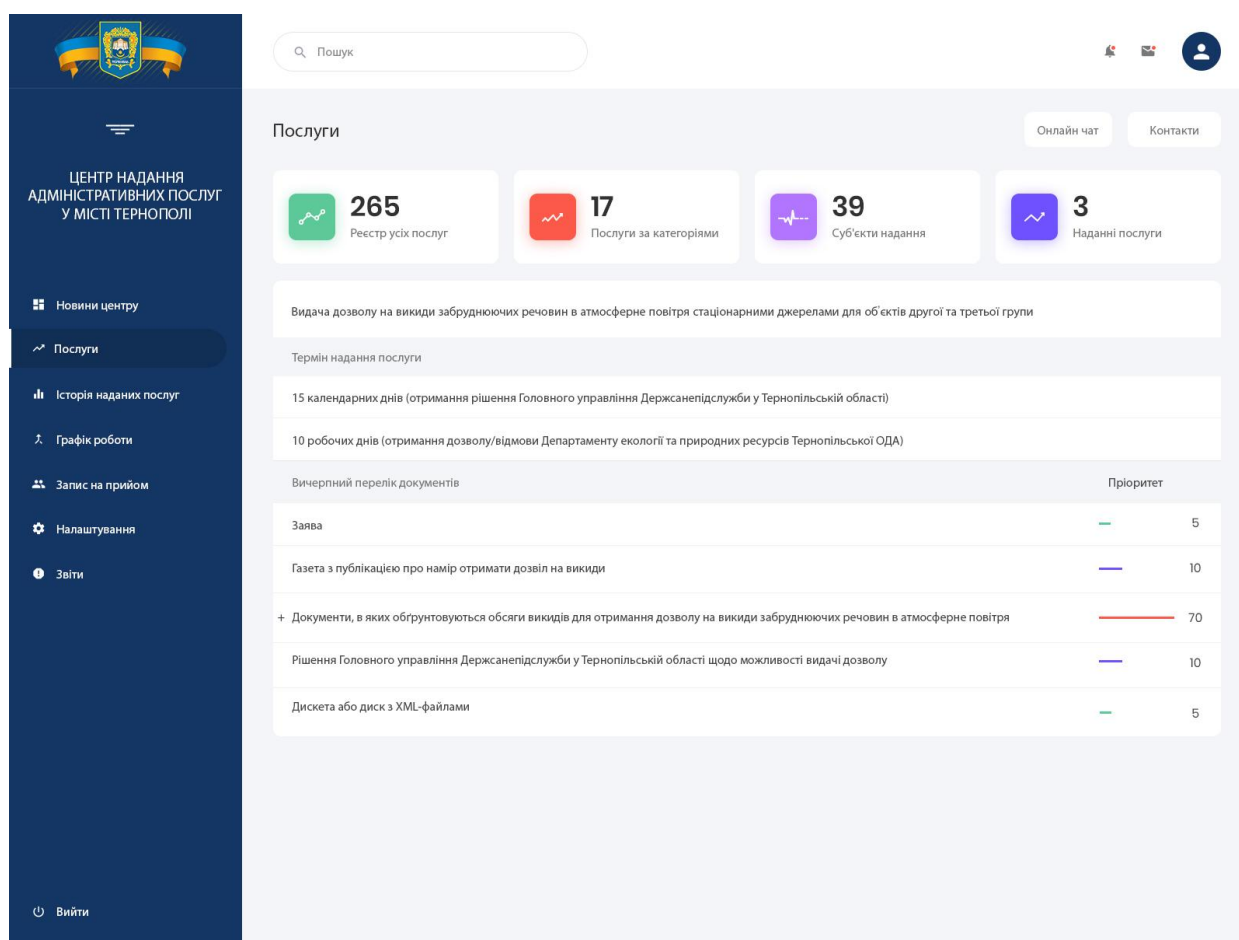


Рисунок 5 – Інтерфейс інтелектуального модуля обробки інформації для системи центру надання адміністративних послуг

Отримана структура документів сформована з використанням інтелектуального модуля обробки інформації і є більш інформативною та простішою для пересічних користувачів.

Висновки

Результатом статті є підвищення ефективності функціонування інформаційної системи центру надання адміністративних послуг за рахунок реалізації математичного та програмного забезпечення інтелектуального модуля обробки інформації.

В роботі було реалізовано інтелектуальний модуль обробки інформації, який базується на використанні методу пошуку оптимальних наборів документів за рахунок адаптації «алгоритму мурашиних колоній» в рамках досліджуваної предметної області.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- вперше запропоновано метод оцінки подібності адміністративних послуг. Запропонований у даній роботі метод оцінки подібності адміністративних послуг ґрунтується на кластеризації документів, що оперують поняттям відстані між об'єктами (реквізитами), які формують їх структуру;

- вдосконалено метод пошуку оптимальних наборів документів в наведеному графі при відповідних заданих обмеженнях в частині адаптації «алгоритму мурашиних колоній» в заданій предметній області;

- вдосконалено схему реалізації пошуку послуг (документів) у вигляді дерева в частині реалізації алгоритму видалення послуг з документами, що дублюються.

Дані методи можуть бути реалізовані як надбудова до сучасних рішень і ефективно використовуватися в інформаційних системах надання адміністративних послуг.

Список літератури

- [1] І. Бригілевич, *Діяльність ЦНАП та оцінка якості надання адміністративних послуг*. м. Київ, Україна, 2017, 40 с.
- [2] Dorigo, Marco & Stützle, Thomas. (2010). *Ant Colony Optimization: Overview and Recent Advances*. 10.1007/978-1-4419-1665-5_8.

- [3] В. А. Тарловский, Н. Ф. Хайрова, «Использование семантико-ориентированного лингвистического процессора для добывания новых знаний из потока документов корпоративной информационной системы», *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*, № 67, с. 132–138. 2010.
- [4] В. М. Дубовой, О. Ю. Краковецкий, О. В. Глонь, «Метод оцінки подібності веб-сторінок», *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 2 (16), с. 5–9. 2008.
- [5] Люгер, Джордж, Ф., *Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. 4-е издание.: Пер. с англ.* М., Россия: Издательский дом «Вильямс», 2005, 864 с.
- [6] А. М. Мельник, О. З. Миць, «Підвищення ефективності пошуку документів в інтернет із врахуванням подібності веб-сторінок», в *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: матеріали III Всеукр. шк.-семінару молодих вчен. і студ. ACIT'2013 [м. Тернопіль, 17-18 трав. 2013 р.]*, Тернопіль: ТНЕУ, 2013, с. 212.
- [7] О. О. Лисенко, Р. І. Кокітко, «Модель аналізу неструктурованої інформації для побудови бази знань корпоративної інформаційної системи», в *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: матеріали III Всеукр. шк.-семінару молодих вчен. і студ. ACIT'2013 [м. Тернопіль, 17-18 трав. 2013 р.]*, Тернопіль: ТНЕУ, 2013, с. 211.
- [8] M. Susla, R. Pasichnyk, A. Melnyk, N. Pasichnyk, O. Vasyukiv and O. Androshchuk, «Formalization of Scientific Researches Results in Corporate Knowledge Bases As a Tool of Their Accumulation», *2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, Degendorf, Germany, 2020, pp. 488-491, doi: 10.1109/ACIT49673.2020.9208863.
- [9] A. Kovbasisty, A. Melnyk, M. Dyvak, V. Brych and I. Spivak, «Method for detection of non-relevant and wrong information based on content analysis of web resources», *2017 XIIIth International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)*, Lviv, 2017, pp. 154–156. doi: 10.1109/MEMSTECH.2017.7937555.
- [10] A. Pukas, A. Simak, O. Syrnyk, L. Horal, V. Shyjko and O. Papa, «Software Module for Data Correctness and Completeness Control in the Academic Staff Performance Appraisal System», *2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, Ceske Budejovice, Czech Republic, 2019, pp. 277–280. doi: 10.1109/ACITT.2019.8779999.

Стаття надійшла: 12.11.2020

References

- [1] I. Bryhilevych, *Dialnist TsNAP ta otsinka yakosti nadannia administratyvnykh posluh*. m. Kyiv, Ukrayina, 2017, 40 s.
- [2] Dorigo, Marco & Stützle, Thomas. (2010). *Ant Colony Optimization: Overview and Recent Advances*. 10.1007/978-1-4419-1665-5_8.
- [3] В. А. Тарловский, Н. Ф. Хайрова, «Использование семантико-ориентированного лингвистического процессора для добывания новых знаний из потока документов корпоративной информационной системы», *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*, № 67, с. 132–138. 2010.
- [4] В. М. Дубовой, О. Ю. Краковецкий, О. В. Глонь, «Метод оцінки подібності веб-сторінок», *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, №2 (16), с. 5–9. 2008.
- [5] Lyuger, Dzhordzh, F., *Iskusstvennyy intellekt: strategii i metody reshennya slozhnykh problem 4-e izdanie.: Per. s angl.* M. Rossiya: Izdatelskiy dom «Vilyame», 2005, 864 s.
- [6] А. М. Мельник, О. З. Миць, «Підвищення ефективності пошуку документів в інтернет із врахуванням подібності веб-сторінок», в *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: матеріали III Всеукр. шк.-семінару молодих вчен. і студ. ASIT2013 [м. Тернопіль, 17-18 трав. 2013 р.]*, Тернопіль: ТНЕУ, 2013, с. 212.
- [7] О. О. Лисенко, Р. І. Кокітко, «Модель аналізу неструктурованої інформації для побудови бази знань корпоративної інформаційної системи», в *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: матеріали III Всеукр. шк.-семінару молодих вчен. і студ. ASIT2013 [м. Тернопіль, 17-18 трав. 2013 р.]*, Тернопіль: ТНЕУ, 2013, с. 211.
- [8] M. Susla, R. Pasichnyk, A. Melnyk, N. Pasichnyk, O. Vasyukiv and O. Androshchuk, «Formalization of Scientific Researches Results in Corporate Knowledge Bases As a Tool of Their Accumulation», *2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, Degendorf, Germany, 2020, pp. 488-491. doi: 10.1109/ACIT49673.2020.9208863.
- [9] A. Kovbasisty, A. Melnyk, M. Dyvak, V. Brych and I. Spivak, «Method for detection of non-relevant and wrong information based on content analysis of web resources», *2017 XIIIth International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)*, Lviv, 2017, pp. 154–156. doi: 10.1109/MEMSTECH.2017.7937555.
- [10] A. Pukas, A. Simak, O. Syrnyk, L. Horal, V. Shyjko and O. Papa, «Software Module for Data Correctness and Completeness Control in the Academic Staff Performance Appraisal System», *2019 9th*

International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Ceske Budejovice, Czech Republic, 2019, pp. 277–280. doi: 10.1109/ACITT.2019.8779999.

Відомості про авторів

Дивак Микола Петрович – доктор технічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки, декан факультету комп'ютерних інформаційних технологій Західноукраїнського національного університету.

Мельник Андрій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету.

Папа Олександр Андрійович – аспірант, викладач кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету.

Н. П. Дивак, А. Н. Мельник, А. А. Папа

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОДУЛЯ ПРИКЛАДНЫХ
ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ
АДМИНИСТРАТИВНЫХ УСЛУГ ПО ПРОВЕДЕНИЮ
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ**

Западноукраинский национальный университет, Тернополь

M. P. Dyvak, A. M. Melnyk, O. A. Papa

**MATHEMATICAL AND SOFTWARE OF THE
INTELLECTUAL MODULE OF APPLIED SOFTWARE
SYSTEMS FOR THE PROVISION OF ADMINISTRATIVE
SERVICES CONCERNING**

West Ukrainian National University, Ternopil

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Найновіші правила оформлення і подання статей знаходяться на сайті журналу
<http://itce.vntu.edu.ua/>