

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний економічний університет

СИДОР АНДРІЙ ІВАНОВИЧ



УДК 004.62:656.072

**МЕТОДИ ТА ПРОЦЕСОРИ РОЗПІЗНАВАННЯ БАГАТОМІРНИХ
ОБРАЗІВ У ХЕММІНГОВОМУ ПРОСТОРИ**

05.13.05 – Комп’ютерні системи та компоненти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Тернопіль – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Тернопільському національному економічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Николайчук Ярослав Миколайович,
Тернопільський національний економічний університет,
завідувач кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Максимович Володимир Миколайович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
завідувач кафедри безпеки інформаційних технологій;

доктор технічних наук, професор
Кондратенко Юрій Пантелійович,
Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
професор кафедри інтелектуальних
інформаційних систем.

Захист відбудеться 5 липня 2019 року о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 58.082.02 у Тернопільському національному економічному університеті за адресою: 46009, м. Тернопіль, вул. Львівська, 11а (корпус 11, зал засідань вченої ради).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Тернопільського національного економічного університету за адресою: 46009, м. Тернопіль, вул. Бережанська, 4.

Автореферат розісланий 4 червня 2019 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
д.т.н., доцент



В.В. Яцків

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розвиток теорії та оптимізація рішення задач розпізнавання образів в реальному масштабі часу є актуальною науковою задачею. Об'єктами досліджень при цьому є одновимірні та багатовимірні параметри технологічних процесів, мовні сигнали, двовимірні зображення, тривимірні об'єкти цифрової голографії, томографії, радіолокації та ін. Одним з перспективних напрямків теоретичних досліджень та реалізації алгоритмів розпізнавання образів є побудова асоціативних та кореляційних спецпроцесорів опрацювання сигналів у Хеммінговому просторі. Комп'ютерне моделювання таких процесів, а також побудова спеціалізованих процесорів розширює можливості успішного вирішення широкого класу задач опрацювання та розпізнавання образів.

Фундаментальні дослідження по вирішенню даного класу задач провели відомі вчені: Р. Хеммінг, Л. Вангта, Дж. Мендель, Л.А. Заде, Ердал Арікан, Роберт Кальдербанк, Майкл Лабі, Тобі Бергер, Аміт Кумар Гупта та Яш Пал Сінгх. Важливий внесок у вирішення задач розробки високопродуктивних спецпроцесорів розпізнавання образів і опрацювання інформаційних потоків здійснено науковцями: О.В. Палагіном, А.О. Мельником, В.П. Тарасенком, Я.М. Николайчуком, Г.Ф. Кривулею, Р.Б. Дунцем, А.В. Дроздом, В.А. Головком.

Актуальною науковою задачею є створення високопродуктивних спецпроцесорів, що визначають Хеммінгову віддаль між двома сигналами $x(t)$ та $y(t)$ або їх цифровими кодами у різних теоретико-числових базисах (ТЧБ).

Науковою школою проф. Я.М. Николайчука розроблені теоретичні основи проектування спецпроцесорів, що використовуються в різних теоретико-числових базисах: Хаара, Крестенсона, Радемахера та Галуа. Фундаментальний внесок в розвиток теорії розпізнавання образів зроблений Хеммінгом та українськими вченими-розробниками теорії та техніки кореляційного опрацювання сигналів: А.Й. Наконечним, В.П. Бабаком, Р. Блейхутом, Л.В. Вариченком, В.К. Задіракою. В той же час, існуючі методи формалізації практично не дозволяють розв'язувати задачі розпізнавання багатомірних образів. Розв'язання такої задачі обмежене швидкістю процесорних засобів, що використовують двійкову систему числення теоретико-числового базису Радемахера. Тому актуальною науково-прикладною задачею є розробка та реалізація швидкодіючих спецпроцесорів розпізнавання образів на основі модульної арифметики залишкових класів та кодових систем Хаара-Крестенсона.

Зв'язок роботи із науковими програмами, планами темами.

Представлені в дисертаційній роботі дослідження виконані згідно плану наукових досліджень на факультеті комп'ютерних інформаційних технологій кафедрою спеціалізованих комп'ютерних систем Тернопільського національного економічного університету за темами:

- кафедри СКС «Розробка теоретичних засад методів формування та цифрового опрацювання даних у розподілених спеціалізованих комп'ютерних системах», державний реєстраційний номер – 0112U008458 (термін виконання: 01.2013 – 12.2018);

- НДР «Розробка теорії, методології та алгоритмів структуризації образно-кластерних моделей моніторингу станів електричних підстанцій високовольтних ЛЕП», державний реєстраційний номер – 0116U006792 (термін виконання: 2017);

- НДР «Авторський нагляд за розробкою схемних рішень та випробувань дослідних взірців пристрою релейного захисту в мережах 6-10 КВ», державний реєстраційний номер – 0117U000141 (термін виконання: 2017).

Участь автора полягала у проведенні дослідження методів розпізнавання образів у Хеммінговому просторі, розробці схемотехнічної реалізації пристрою визначення Хеммінгової віддалі між двома сигналами, розробці методів та алгоритмів розпізнавання збурень у високовольтних лініях електропередач шляхом оцінки Хеммінгової віддалі між характеристиками образно-кластерної моделі у стані норми та виникненні аварійних ситуацій в промисловому обладнанні електричних підстанцій 6-10 кВ, розробці структури спецпроцесора оснащеного АЦП у базисі Хаара-Крестенсона та визначанні інтегрованої модульної різниці згідно квадратичної Евклідової відстані, виконанні аналізу методів розпізнавання багатомірних образів на основі оцінки Хеммінгової віддалі та розробці схемотехнічної реалізації пристроїв визначення Хеммінгової віддалі у теоретико-числових базисах Радемахера та Хаара-Крестенсона.

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження полягає у вдосконаленні методів розпізнавання образів у Хеммінговому просторі та розробці високопродуктивних спецпроцесорів визначення Хеммінгової віддалі у різних теоретико-числових базисах. Для досягнення поставленої мети у дисертаційній роботі необхідно вирішити наступні завдання:

1. Дослідити принципи, теоретичні основи та методи розпізнавання багатомірних образів у Хеммінговому просторі та провести аналіз досвіду розробки спецпроцесорів для розпізнавання образів у Хеммінговому просторі.

2. Розробити метод опрацювання сигналів двовимірного Хеммінгового простору, у вузлах якого існують багатомірні об'єкти на основі кодування решітчастих даних у теоретико-числовому базисі Крестенсона.

3. Розробити метод визначення Хеммінгової віддалі між аналоговими сигналами, шляхом конвеєрного формування цифрових даних сигналів у паралельних унітарних кодах та інвертованих паралельних кодах Хаара.

4. Розробити систему кодування визначення оцінок Хеммінгової віддалі для дорожніх знаків.

5. Удосконалити метод визначення Хеммінгової віддалі образів з різною кількістю інформаційних параметрів.

6. Розвинути метод оцінки Хеммінгової віддалі в одновимірному та двовимірному просторі на основі лінійної та квадратичної Евклідової відстані та аналітики різних взаємкореляційних функцій.

7. Розробити принципові схемотехнічні рішення різницево-модульного квадратора у якості швидкодіючого компонента пристрою визначення Хеммінгової віддалі між двома сигналами у теоретико-числовому базисі Хаара-Крестенсона.

8. Розробити структурні, схемотехнічні рішення, дослідити системні характеристики та реалізувати у мікроелектронному виконанні на ПЛІС пристрій визначення Хеммінгової віддалі між характеристиками образів, заданих кодами теоретико-числового базису Радемахера, та пристрій визначення Хеммінгової віддалі між двома аналоговими сигналами на основі паралельних унітарних кодів.

Об'єктом дослідження є процеси розпізнавання багатомірних образів на

основі методів та спецпроцесорів визначення Хеммінгової віддалі.

Предмет дослідження – методи та засоби опрацювання оцифрованих сигналів високопродуктивними спецпроцесорами розпізнавання образів, що реалізують оцінки Евклідової віддалі у Хеммінговому просторі.

Методи дослідження базуються на використанні теорії інформації для формування кодових портретів розпізнавання образів, теорії чисел для формування оцінок Хеммінгової віддалі між образами та представлення їх інформаційних ознак у системах числення різних теоретико-числових базисів, теорії синтезу та аналізу компонентів та процесорів обчислювальних засобів, комп'ютерної логіки та теорії цифрового опрацювання даних. Розробка технічних засобів здійснюється з використанням методів схемотехніки, мікроелектронного та імітаційного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше розроблені:

1. Метод опрацювання сигналів двовимірного Хеммінгового простору, у вузлах якого існують багатомірні об'єкти на основі кодування решітчастих даних у теоретико-числовому базисі Крестенсона, шляхом кодування багатомірних образів у системі залишкових класів, який забезпечує перетворення представлень багатомірних образів в одномірній системі координат, що, на відміну від відомих методів, створює можливість параметричного опрацювання даних, представлених в багатомірному просторі в кодах одновимірного Хеммінгового простору, що значно підвищує швидкодію обчислень, спрощує методи та процесори розпізнавання багатомірних образів.

2. Метод визначення Хеммінгової віддалі між аналоговими сигналами, шляхом конвеєрного формування цифрових даних сигналів у паралельних унітарних кодах та інвертованих паралельних кодах Хаара, що, у порівнянні з відомими методами, дозволяє зменшити складність обчислень у базисі Радемахера різницево-модульних кодів, а також забезпечує підвищення швидкодії визначення Хеммінгової віддалі.

3. Система кодування та визначення оцінки Хеммінгової віддалі для дорожніх знаків, шляхом експертних оцінок інформативних характеристик ознак дорожніх знаків у вигляді бінарних кодів різної розрядності, на основі яких отримані функціональні характеристики оцінок Хеммінгової віддалі стандартної системи дорожніх знаків, що дозволяє, у порівнянні з відомими методами, автоматизувати процес розпізнавання розширеної системи категорій дорожніх знаків при руху транспортних засобів.

Удосконалено:

1. Метод визначення Хеммінгової віддалі образів з різною кількістю інформаційних параметрів, шляхом запропонованої аналітичної оцінки математичного визначення Хеммінгової віддалі, що, на відміну від відомих методів, дозволяє розширити можливості розпізнавання образів з різною кількістю характеристичних даних.

Отримав подальший розвиток:

1. Метод оцінки Хеммінгової віддалі в одновимірному та двовимірному просторі на основі лінійної та квадратичної Евклідової відстані згідно аналітики різних взаємодіяючих функцій, що, у порівнянні з відомими методами, дозволяє

здійснити розпізнавання образів з меншою обчислювальною складністю.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Розроблена та реалізована система кодування дорожніх знаків на основі оцінок Хеммінгової віддалі, яка, у порівнянні з існуючими системами, характеризується розширенням числа категорій об'єктів для комп'ютеризованого розпізнавання, що дозволило визначити числові оцінки Хеммінгової віддалі класифікованих груп категорій дорожніх знаків: попереджувальні, пріоритету, заборонні, наказові та сервісу. На основі отриманих оцінок встановлено максимальні (11 біт) та мінімальні (1 біт) модульно-різницеві оцінки Хеммінгової віддалі структурних характеристик дорожніх знаків усередині кожної категорії. Це дозволило сформулювати рекомендації щодо покращення структурних ознак державної системи дорожніх знаків, а також удосконалити системні характеристики, апаратну та часову складності спецпроцесорів визначення Хеммінгової віддалі між сигналами.

2. Розроблена та здійснена мікроелектронна реалізація на ПЛІС структури пристрою додавання багаторозрядних двійкових чисел у якості спецпроцесора визначення Хеммінгової віддалі між характеристиками образів, заданих кодами теоретико-числового базису Радемахера, що, у порівнянні з відомими пристроями, характеризується розширеними функціональними можливостями, оскільки забезпечується визначення усередненого значення суми модульних різниць вибірки двох потоків двійкових чисел, незалежно від того, яке з чисел більше або менше.

3. Розроблена функціональна схема та здійснена мікроелектронна реалізація на ПЛІС принципової структури пристрою визначення Хеммінгової віддалі між двома сигналами шляхом конвеєрного перетворення аналогових сигналів у паралельні унітарні коди більшого та меншого амплітудних значень сигналів на основі логічного опрацювання та формування відповідних паралельних інверсних кодів Хаара, дешифрованих у відповідні прямі та інверсні коди базису Радемахера, які додаються між собою та логічною одиницею молодшого розряду накопичуючого багаторозрядного двійкового суматора, що, у порівнянні з відомими пристроями, в унітарному базисі характеризується підвищеною в $2^n / n$ (n – розрядність АЦП) разів швидкодією.

4. Розроблена та здійснена мікроелектронна реалізація різницево-модульного квадратора у якості швидкодіючого компонента пристрою визначення Хеммінгової віддалі між двома сигналами у теоретико-числовому базисі Хаара-Крестенсона згідно квадратичної оцінки Евклідової відстані, який, у порівнянні з відомими пристроями, характеризується підвищеною швидкодією на 1-3 порядки при розрядності представлення аналогових сигналів двійковими кодами в діапазоні 4-12 біт.

Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи використано і впроваджено: в інформаційно-діагностувальній системі моніторингу стану ізоляції високовольтних кабелів у мережах 6-35 кВ “Альтра” у підприємстві ВАТ ЕК «Дніпрообленерго» для розпізнавання збурень у високовольтних лініях електропередач; в Управлінні патрульної поліції в Тернопільській області, для розробки рекомендацій по вдосконаленню системи дорожніх знаків, на кафедрі Спеціалізованих комп'ютерних систем Тернопільського національного економічного університету при викладанні дисциплін: «Цифрова обробка сигналів і зображень», «Низові комп'ютерні системи управління»; на кафедрі Обчислювальної техніки Національного університету водного господарства та природокористування при викладанні дисциплін: «Теорія інформації та

кодування», «Мікропроцесорні системи»; в науково-дослідних роботах кафедри Спеціалізованих комп'ютерних систем Тернопільського національного економічного університету.

Особистий внесок здобувача. Всі наукові і практичні результати роботи одержано автором самостійно й опубліковано, зокрема, в одноосібно підготовлених працях [1, 17]. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, автору належать основні ідеї, теоретична та практична розробка положень, відображених у характеристиці наукової новизни отриманих результатів, а саме: [6, 8, 11, 13, 15] – запропоновано метод опрацювання сигналів двомірного Хеммінгового простору, у вузлах якого існують багатовимірні об'єкти, на основі кодування решітчастих даних у теоретико-числовому базисі Крестенсона; [4, 6, 7, 8, 10, 14] – викладені та досліджені теоретичні основи методів розпізнавання образів у Хеммінговому просторі, здійснені розрахунки та побудовані діаграми розширеної оцінки Хеммінгової віддалі для просторових об'єктів, що дозволило розширити сферу застосування оцінки Хеммінгової віддалі; [3, 8, 16] – запропонована функціональна структура спецпроцесора визначення Хеммінгової віддалі між кодами, представленими в теоретико-числовому базисі унітарному, Радемахера, Хаара, що дозволило вдосконалити принципи визначення Хеммінгової віддалі в різних теоретико-числових базисах; [5, 9, 12] – запропонований спецпроцесор сканування та визначення Хеммінгової віддалі між кодами, представленими у двійковому коді Радемахера, що дозволяє зменшити часову складність в 16 разів, у порівнянні з відомими пристроями; [2, 9] – запропонована кореляційна оцінка Хеммінгової віддалі на основі розрахунку квадратичної евклідової відстані між двома значеннями фазних струмів, зсунутих у часі на половину періоду промислової частоти 50 Гц.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на проблемно-науковій міжгалузевій конференції «Юриспруденція та проблеми інформаційного суспільства (ЮПІС-2016)» (Надвірна-Яремче, 2016); VIII-ій міжнародній школі-семінарі «Теорія прийняття рішень» (Ужгород, 2016); міжнародній науково-практичній конференції молодих науковців, аспірантів та студентів «Інформаційно-обчислювальні технології, автоматика та електроніка» (Рівне, 2016); 14-тій міжнародній конференції «The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM)» (Поляна, Львів, 2017); Всеукраїнській конференції з міжнародною участю «Сучасні комп'ютерні інформаційні технології» (АСІТ) (Тернопіль, 2017); Міжнародній науковій конференції «Питання оптимізації обчислень» (ПОО-XLIV) (Кам'янець-Подільський, 2017); 14-ій міжнародній конференції «Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)» (Львів-Славськ, 2018); Міжнародній науковій конференції «Advanced computer information technologies» (АСІТ) (Ceske Budejovice, Czech Republic, 2018); Проблемно-науковій міжгалузевій конференції «Юриспруденція та проблеми інформаційного суспільства» (ЮПІС 2018) (Надвірна, 2018).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 17 наукових праць, у тому числі: 7 статей у провідних фахових виданнях (одна з них одноосібна), 2 патенти України на корисну модель, співавтор однієї колективної монографії, 8 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій, 3 публікації включено до наукометричної бази

Scopus.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 200 сторінок, у тому числі 150 сторінок основного тексту, 100 рисунків та 55 таблиць, список використаної літератури налічує 161 бібліографічних найменування. Дисертація містить 7 додатків, розміщених на 12 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, сформульовано мету, основні завдання, об'єкт та предмет досліджень, визначено наукову новизну роботи і практичне значення отриманих результатів. Подано відомості про апробацію результатів роботи, особистий внесок автора та його публікації.

У першому розділі дисертаційної роботи виконано аналіз досвіду розробки методів розпізнавання образів у Хеммінговому просторі, який дозволив класифікувати та формалізувати теоретичні основи та особливості застосування метрик Мінковського, Sup-метрики, відстані Махаланобіса, відстані Хеммінга, квадратичної Евклідової відстані та відстані Чебишева. В результаті проведеного теоретичного аналізу показано, що оцінки Хеммінгової віддалі на основі оцінок відстані Евкліда, які розраховуються згідно аналітичних виразів:

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^{\infty} |x_{ik} - x_{jk}|, \quad d_{ij} = \sqrt{\sum (x_{ik} - x_{jk})^2}, \quad (1)$$

характеризуються найбільш простими алгоритмами обчислень і знайшли широке застосування в теорії та методах розпізнавання образів.

Викладені математичні основи теоретичних засад методів розпізнавання образів у Хеммінговому просторі. Досліджені структурні рішення існуючих пристроїв кореляційного опрацювання сигналів у якості компонентів спецпроцесорів розпізнавання багатомірних образів та визначені перспективи розвитку такого класу обчислювальних засобів у залишкових класах теоретико-числового базису Хаара-Крестенсона для опрацювання цифрових даних у комп'ютерних моніторингових системах. Здійснена постановка завдань досліджень.

У другому розділі розроблено метод оцінки Хеммінгової віддалі на основі лінійної та квадратичної Евклідової відстані та аналітики модульної і структурної взаємкореляційних функцій: $G_{xy}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - y_{i+j}|$; $C_{xy}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_{i+j})^2$.

Встановлено, що оцінка модульної взаємкореляційної функції алгоритмічно відповідає оцінці Хеммінгової віддалі згідно лінійної Евклідової відстані, а оцінка структурної взаємкореляційної функції відповідає оцінці квадратичної Евклідової відстані. Проаналізовано теоретичні засади розрахунку спектрів на основі кореляційних функцій у теоретико-числових базисах Фур'є, Радемахера та Крестенсона, які застосовуються для широкого класу задач розпізнавання образів.

На основі проведених теоретичних досліджень розроблено алгоритм удосконаленого методу розпізнавання образів: 1) представлення образу, що розпізнається, у вигляді авто- та взаємкореляційних функцій; 2) здійснення розпізнавання образів на основі обчислень функцій взаємкореляції між

автокореляційною та базисною функцією в теоретико-числових базисах Фур'є, Радемахера та Крестенсона; 3) представлення отриманого аналітичного виразу алгоритмів розпізнавання образів у вигляді спектральних функцій, обчислених на основі різних теоретико-числових базисів; 4) застосування алгоритму Хеммінга у одновимірному та двовимірному Хеммінговому просторі на основі різних взаємокореляційних функцій.

Розроблено метод опрацювання сигналів двовимірному Хеммінговому просторі на основі перетворень модульної арифметики теоретико-числового базису Крестенсона (рис.1), застосування якого дозволяє, незалежно від розрядності характеристик образів, на 1-2 порядки пришвидчити виконання арифметичних операцій додавання, множення та піднесення до квадрату.

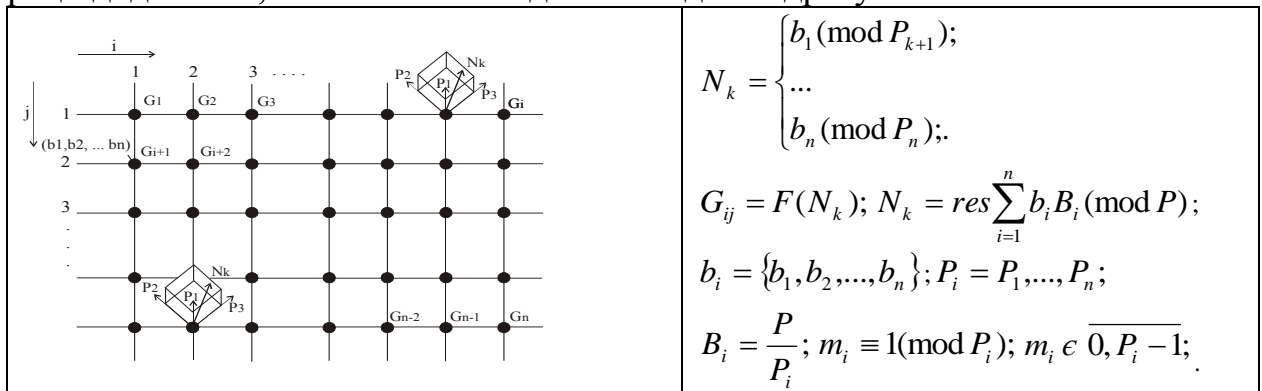


Рисунок 1 – Реалізація методу опрацювання цифрових даних у двовимірному Хеммінговому просторі на основі теорії залишкових класів: N_k – вектор у вигляді двійкового числа, який однозначно представляє характеристики багатомірного образу у вузлах двовимірному Хеммінговому просторі, P_1, P_2, \dots, P_n – набір взаємопростих модулів, m – коди координат вузлів Хеммінгового простору.

Наприклад: необхідно визначити квадрат різниці між двома числами, які можуть бути представлені у діапазоні: $0 \leq x_i \leq 99$, $0 \leq y_i \leq 99$, максимальне значення квадрату їх різниць рівне $99^2 = 9801$. Представимо за дані числа $x_i = 29$, $y_i = 17$, у базисах Радемахера-Крестенсона (RC) та Хаара-Крестенсона (HC) у системі числення залишкових класів з набором модулів: $P_1 = 8$, $P_2 = 9$, $P_3 = 11$, $P_4 = 13$, добуток яких рівний $8 \cdot 9 \cdot 11 \cdot 13 = 10296 > 9801$, тобто у кодах (RC) $x_i = 29_{10} = (5 \ 2 \ 7 \ 3)_{(8,9,11,13)}$, $y_i = 17_{10} = (1 \ 8 \ 6 \ 4)_{(8,9,11,13)}$. При виконанні віднімання цих чисел $(x_i - y_i) = (4 \ 3 \ 1 \ 12)_{(8,9,11,13)}$, $(y_i - x_i) = (4 \ 6 \ 10 \ 1)_{(8,9,11,13)}$ у модульній арифметиці без порівняння їх величини у системі залишкових класів і піднесення до квадрату отриманих різниць отримаємо однакові результати $(x_i - y_i)^2 = (0 \ 0 \ 1 \ 1)_{(8,9,11,13)}$. Запропонований метод дозволив спростити процеси та підвищити швидкодню розпізнавання образів шляхом переводу характеристик багатомірних образів в одновимірний простір.

Розроблено метод визначення Хеммінгової віддалі між характеристиками образів, представлених кодами унітарного ТЧБ, який характеризується найбільш простими алгоритмами оцінки Хеммінгової віддалі на основі визначення суми результатів логічних операцій “Виключаюче АБО” над бітовими послідовностями

унітарних кодів згідно виразу: $c_0 = \sum_{i=0}^{n-1} (a_i \oplus b)$. Розроблена функціональна схема унітарного спецпроцесора визначення Хеммінгової віддалі над кодами характеристик образів, розраховані мінімаксні характеристики його апаратної та часової складності та побудовані відповідні графіки.

Вперше розроблено метод визначення Хеммінгової віддалі між аналоговими сигналами, в якому здійснюється конвеєрне перетворення сигналів у паралельні унітарні коди, коди Хаара, коди Радемахера та накопичення модульних різниць у багаторозрядному двійковому суматорі базису Радемахера. Розроблений метод можна подати у вигляді наступної послідовності функціоналів:

$$F_{SH} = \begin{cases} F_1[S_1] = \begin{cases} F_3[U] \\ F_2[S_2] = \begin{cases} F_4[U] \end{cases} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_5 = F_3[U] \vee F_4[U] \Rightarrow \begin{cases} F_7[H_7] \Rightarrow F_9(R_9) \\ F_6 = F_3[U] \wedge F_4[U] \Rightarrow \begin{cases} F_8[H_8] \Rightarrow F_{10}(R_{10}) \end{cases} \end{cases} \Rightarrow \\ \Rightarrow F_{11}[F_9[R_9] + F_{10}[R_{10}] + 1] \Rightarrow F_{12}[F_{11} + F_{12}] \end{cases} \end{cases}, \quad (2)$$

де F_{SH} – інтегральна оцінка Хеммінгової віддалі між сигналами згідно квадратичної Евклідової відстані $F_{SH} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|$, $0 \leq x_i \leq 2^n$, $0 \leq y_i \leq 2^n$, $M_x = M_y$; F_1, F_2 – відповідні аналогові сигнали: $x(t) = S_1$, $y(t) = S_2$; F_3, F_4 – формування відповідних паралельних унітарних кодів (U– кодів); F_5, F_6 – логічне опрацювання паралельних унітарних кодів вхідних аналогових сигналів та визначення більшого і меншого з них; F_7, F_8 – формування відповідних сигналам S_1 та S_2 паралельних інверсних кодів ТЧБ Хаара; F_9, F_{10} – перетворення коду Хаара, більшого з двох, у прямий двійковий код ТЧБ Радемахера, а меншого з двох кодів Хаара – в інверсний двійковий код базису Радемахера; F_{11} – формування коду суми прямого та інверсного кодів Радемахера з врахуванням одиниці в молодшому розряді суматора; F_{12} – накопичення суми отриманого коду Радемахера при нульовому значенні $F_{12} = 0$ на початку циклу перетворення.

На основі функціоналів (2) розроблений граф-алгоритм перетворень кодів, які реалізують запропонований метод (рис. 2). Запропонований метод дозволив підвищити швидкодію процесорів визначення Хеммінгової віддалі у $2^n/n$ разів, у порівнянні з представленням характеристик образів унітарними кодами, шляхом представлення образів кодом Радемахера з затримкою сигналів у багаторозрядному комбінаційному суматорі на n мікротактів (рис. 3).

Удосконалено метод визначення Хеммінгової віддалі образів з різною кількістю параметрів. При розпізнаванні об'єктів із різною кількістю параметрів (наприклад, різних категорій знаків, для кодування яких використовується різна кількість параметрів) виникає проблемна задача знаходження розширеної оцінки Хеммінгової віддалі. Запропонована модель, яка реалізує умову наступної задачі (рис. 4) та аналітичний вираз для її розв'язку:

$$d = \sum_{j,i=1}^n |x_i - y_j| + \sum_{j=n+1}^m |0 - y_j|, \quad (3)$$

де $i \in \overline{1, n}$, $j \in \overline{1, m}$; n , m – відповідно розрядності кодових представлень характеристик x_i та y_j образів.

Нехай потрібно оцінити на основі формули (3) значення Хеммінгової віддалі між двома образами X та Y, коли число елементів чи ознак є різними, тобто задані масиви даних $\{x_i\}, i \in \overline{1, n}$ та $\{y_j\}, j \in \overline{1, m}$, причому у загальному випадку $n \neq m$.

Для вказаних масивів даних необхідно визначити оцінку сумарної різниці між площами двох двовимірних фігур: наприклад, квадрата – $x_i \Rightarrow \square$, та кола – $y_j \Rightarrow \bigcirc$, причому виконуються наступні умови: $0 \leq y_i = \text{var} \leq 100$, а $x_j = \text{const} = 100$.

6	3	6 > 3	6	3		
0	0	0	0	1	1	
0	0	0	0	1	1	6 3
1	0	1	0	0	1	
1	0	1	0	1	1	1 0 6+4-1
1	0	\Rightarrow	1	0	\Rightarrow	1 1 \Rightarrow 1 0 \Rightarrow
1	1	1	1	1	0	0 1 1+1+0=0
1	1	1	1	1	1	$y_i > x_i < 1+0+0=0 \Rightarrow 3 = x_i - x_j $
1	1	1	1	1	1	$R \quad R \quad 0+0+1=1$
x_i	y_i	$y_i > x_i <$	$\bar{y}_i > \bar{x}_i <$	4	$y_i > \bar{x}_i <$	
U	U	U	U	\bar{H}	\bar{H}	R [R]
1	2	3				5

Рисунок 2 – Метод визначення оцінки Хеммінгової віддалі між аналоговими сигналами



Рисунок 3 – Порівняльна діаграма часової складності спецпроцесорів визначення Хеммінгової віддалі представлені унітарними кодами (t(U)) та кодами Радемахера (t(R))

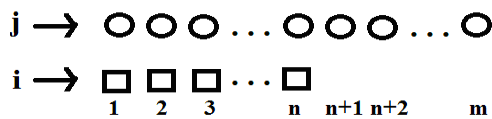


Рисунок 4 – Розпізнавання об’єктів з різною кількістю параметрів

Розроблений метод реалізується послідовністю наступних чотирьох кроків:

Крок 1: розбиваємо всю множину значень на дві незалежні множини. В першу множину ввійдуть всі значення об’єкта, що має меншу кількість параметрів, а також частина значень параметрів другого об’єкта, яка рівна кількості параметрів першого об’єкта. В другу множину ввійде решта параметрів об’єкта з більшим числом об’єктів.

Крок 2: для першої множини знаходимо значення Хеммінгової віддалі, як для стандартних об’єктів з однаковою кількістю параметрів.

Крок 3: для другої множини обчислюємо Хеммінгову віддаль замінивши значення одного з параметрів на “0”.

Крок 4: знаходимо загальну Хеммінгову віддаль, сумуючи отримані значення для першої та другої множини згідно формули (3).

Удосконалений метод дозволив розширити функціональні можливості відповідних спецпроцесорів та сферу застосувань у прикладних задачах розпізнавання образів.

Результати проведених досліджень склали основу розробки відповідних спецпроцесорів розпізнавання образів з покращеними характеристиками апаратної та часової складності у порівнянні з відомими аналогами, а також дозволили розробити

метод розпізнавання дорожніх знаків, шляхом розробки системи кодування характеристик інформативних ознак зображень дорожніх знаків.

У **третьому розділі** розроблений метод оцінки розширеної Хеммінгової віддалі для просторових об'єктів, які базуються на аналізі структурної складності компонентів зображень. Приклад досліджуваних чотирьох просторових об'єктів показано на рисунку 5.

Для розрахунку Хеммінгової віддалі такого класу просторових об'єктів запропоновані чотири способи шляхом кодування наступних характеристик:

- 1) колір, тип, кількість ввігнутих та випуклих графічних компонентів;
- 2) колір, тип, кількість ввігнутих, випуклих, симетрія графічних компонентів;
- 3) колір, кількість та просторове розміщення ввігнутих та випуклих графічних компонентів;
- 4) кількість ввігнутих та випуклих графічних компонентів.

Для кожного способу кодування отримані наступні аналітичні вирази оцінок Хеммінгової віддалі:

$$H_{d_i}(1) = H_k + H_{vv} + H_{vp}; \quad H_{d_i}(2) = H_k + H_{vv} + H_{vp} + H_{as}; \quad H_{d_i}(3) = H_{vp} + H_{vv+} + H_{vv-} + H_k; \quad H_{d_i}(4) = H_{vv} + H_{vp}.$$

На основі даних аналітичних виразів у дисертаційній роботі побудовані діаграми оцінок Хеммінгової віддалі для кожної з шести пар класифікованих чотирьох просторових об'єктів. Отримана узагальнена діаграма показана на рисунку 6

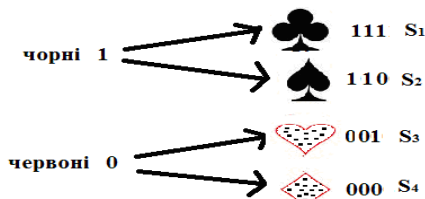


Рисунок 5 – Система кодування символіки та кодів типів просторових об'єктів

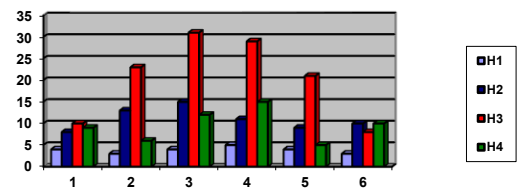


Рисунок 6 – Порівняльна діаграма запропонованих методів визначення Хеммінгової віддалі

Аналіз запропонованих способів кодування атрибутів зображень символів гральних карт дозволив встановити наступні характеристики: 1) перший, другий і четвертий способи характеризуються простими алгоритмами обчислень, але не достатньою різницею оцінок Хеммінгової віддалі; 2) третій спосіб характеризується високою різницею оцінок Хеммінгової віддалі, проте для його кодування необхідно використовувати більшу кількість пам'яті. Запропонований спосіб кодування характеристик просторових об'єктів став основою розробки методів автоматизованого розпізнавання категорій та класів системи дорожніх знаків.

У роботі здійснено аналіз кодування та визначення Хеммінгової віддалі для реалізації розпізнавання дорожніх знаків наступних категорій: попереджувальні, пріоритету, заборонні, наказові та сервісу, на основі запропонованої системи кодування характеристик образів. В основу кодування характеристик дорожніх знаків покладено наступні ознаки відповідних категорій: 1) трикутна форма, наявність ліній, наявність кругів; 2) прямокутні форми, кількість червоних ліній, ліво- та

правосторонні, напрям білої лінії; 3) перетин ліній, кількість елементів, напрям типів ліній; 4) цифри, круги, зображення, колір, лінії; 5) колір, смуги, зображення, елементи; 6) колір, символи, лінії; 7) квадратна форма, символи, колір, розміщення, зображення; 8) коло, колір, зображення, кількість та перетин ліній, прямокутники; 9) тип зображення, колір, кількість елементів; 10) кількість кольорів та лінії, круги, напрям стрілок, прямокутники, символи, зображення; 11) напрям лінії; 12) символ, тип зображення, червоні лінії; 13) символи, кількість елементів, колір, горизонтальні лінії.

У результаті опрацювання характеристик дорожніх знаків, згідно запропонованої класифікації характеристик, для кожної категорії знаків розраховані таблиці Хеммінгової віддалі на основі формули (1), на основі яких побудовані діаграми. Проведений аналіз отриманих діаграм дозволив встановити мінімаксні характеристики оцінок Хеммінгової віддалі та інформативності для різних категорій дорожніх знаків, які розраховані згідно виразу:

$$I_{ij} = \frac{d_{ij}}{k_{ci} + k_{cj}}, \quad (4)$$

де I_{ij} – запропонована оцінка інформативності; d_{ij} – оцінка Хеммінгової віддалі; k_{ci}, k_{cj} – оцінки структурної складності відповідних характеристик образів. Отримані графіки оцінок інформативності на основі виразу (4) для основних категорій дорожніх знаків приведені на рисунку 7.

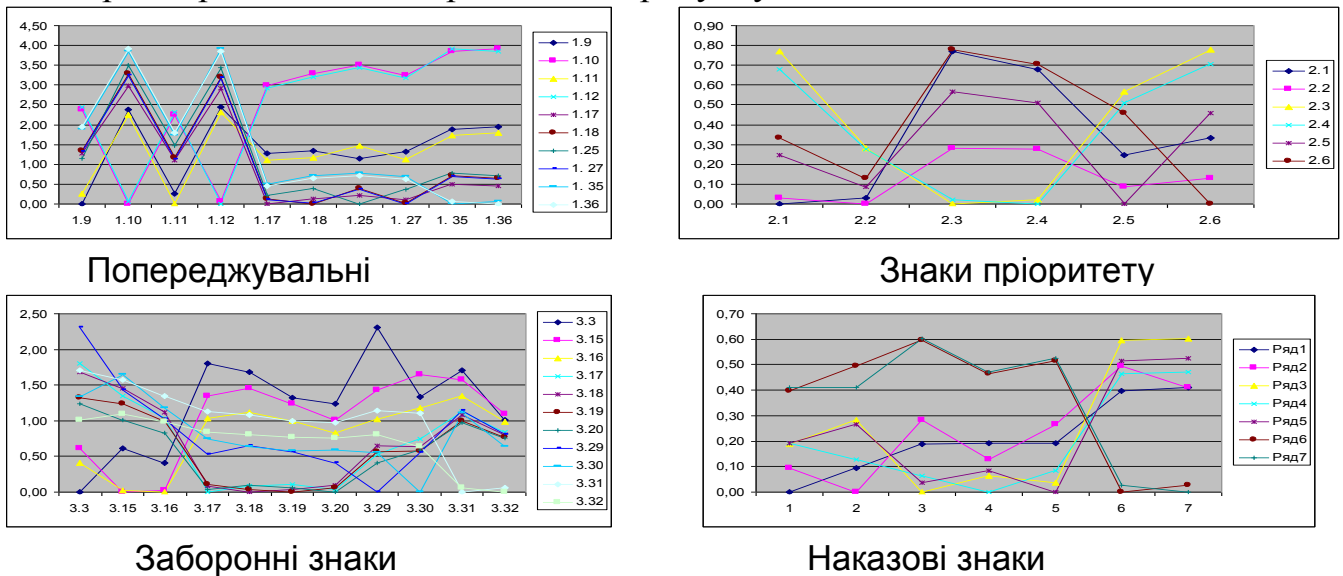


Рисунок 7 – Графіки оцінок інформативності різних категорій дорожніх знаків

Аналіз отриманих результатів дозволив встановити, що серед класифікованих категорій дорожніх знаків є з максимальною оцінкою Хеммінгової віддалі та інформативності у діапазонах: попереджувальні (496 – 4 одиниці; 2,9); заборонні (476 – 14 одиниць; 2,5); сервісу (249 – 32 одиниці; 0,9); пріоритету (29 – 8 одиниць; 0,9); наказові (29 – 4 одиниці; 0,7), що дозволяє з високим рівнем надійності їх розпізнавати в автоматизованому режимі. Проведений аналіз дозволяє встановити в яких категоріях є дорожні знаки з найбільш низькими оцінками Хеммінгової віддалі в категоріях попереджувальних, наказових, пріоритету (4, 4, 8), що можуть бути предметом необхідності вдосконалення їх структури та зображення для підвищення

ефективності їх автоматизованого розпізнавання у процесі руху транспортних засобів. Приклади знаків з мінімальною оцінкою Хеммінгової віддалі показані на рисунку 8.

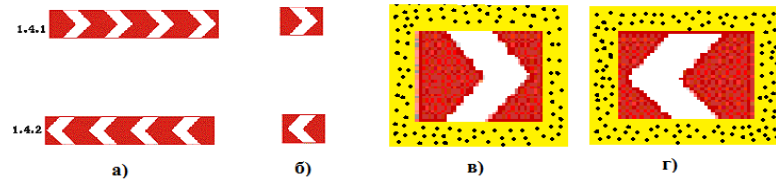


Рисунок 8 – Дорожні знаки попереджувальної категорії, які характеризуються мінімальною оцінкою Хеммінгової віддалі (а, б) та сучасні удосконалені символи таких знаків (в, г).

Аналіз Хеммінгової віддалі між дорожніми знаками (а) та їх вдосконаленими зображеннями (в, г), показує досягнуте підвищення Хеммінгової віддалі між знаками з 64- 67 одиниць до 128-131 одиниць згідно додатково введеної інформативності у вигляді квадрата та жовтого кольору, а символи пар (б-в та б-г) дорожніх знаків зросли до значень оцінок Хеммінгової віддалі від 3 одиниць до 67 одиниць.

Розроблено алгоритми та функціональні схеми спецпроцесорів визначення Хеммінгової віддалі між сигналами та цифровими даними, які характеризуються покращеними системними характеристиками структурної, апаратної та часової складності. Згідно розробленого методу розпізнавання кодових характеристик об'єктів, заданих в унітарних кодах, запропонований алгоритм цифрового опрацювання даних та функціональна структура спецпроцесора, подана на рисунку 9.

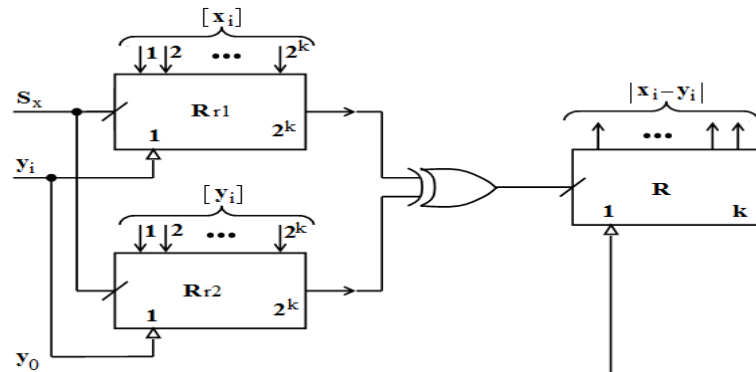


Рисунок 9 – Функціональна схема спецпроцесора визначення Хеммінгової віддалі в унітарному ТЧБ

Спецпроцесор працює згідно наступного алгоритму роботи: 1) присвоєння початкових значень регістрів унітарних кодів; 2) визначення модульної різниці на логічному елементі “Виключаюче АБО” та накопичення суми модульних різниць на лічильнику; 3) вивід оцінки Хеммінгової віддалі.

Функціональна структура спецпроцесора, який реалізує алгоритм визначення Хеммінгової віддалі між двома характеристиками об'єкта, заданими багаторозрядними двійковими кодами базису Радемахера, приведена на рисунку 10.

Розроблений алгоритм роботи такого спецпроцесора реалізується наступною послідовністю обчислювальних операцій:

1. Ввід поточних значень цифрових двійкових кодів базису Радемахера $x_i = (a_{k-1}, \dots, a_1, a_0)$, $y_i = (b_{k-1}, \dots, b_1, b_0)$ і формування прямих та інверсних двійкових кодів $\overline{x_i}$, $\overline{y_i}$.

2. Додавання прямих та доповнюючих кодів цифрових значень x_i та y_i у накопичуючих суматорах 9.1, 9.2.

3. Визначення прямого коду модульної різниці між цифровими значеннями.

4. Накопичення суми модульних різниць у суматорі 3 та регістрі 4.

5. Вивід оцінки Хеммінгової віддалі $|x_i - y_i|$ на вихідній шині 2

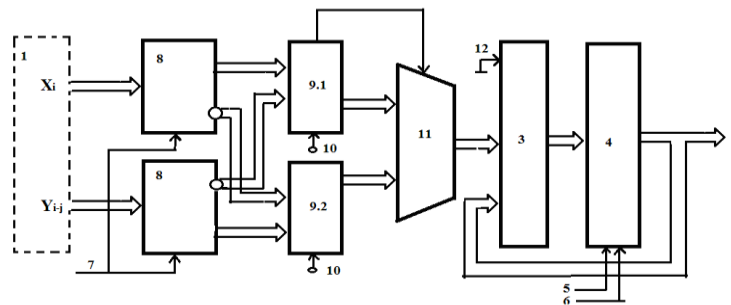


Рисунок 10 – Функціональна схема спецпроцесора визначення Хеммінгової віддалі у ТЧБ Радемахера : 1-вхідна шина двійкових кодів; 8- регістри пам'яті на D-тригерах; 9.1, 9.2-багаторозрядний двійковий суматор; 11-мультиплексор; 3- накопичуючий двійковий суматор; 4- вихідний регістр пам'яті; 2- вихідна шина модульних різниць

Розроблений алгоритм визначення оцінки Хеммінгової віддалі між характеристиками об'єкта із заданими двійковими кодами у загальному випадку характеризується підвищеною швидкістю у $2^n/n$ разів у порівнянні з процесором на основі унітарних кодів.

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень у дисертаційній роботі отримані наступні результати:

1. Здійснений аналіз кодування та визначення Хеммінгової віддалі для реалізації розпізнавання дорожніх знаків різних категорій на основі запропонованої системи кодування характеристик образів, що дозволив комп'ютеризувати процеси автоматизованого розпізнавання під час руху дорожньо-транспортних засобів.

2. Розроблені алгоритми та функціональні схеми спецпроцесорів визначення Хеммінгової віддалі між сигналами та цифровими даними, які характеризуються покращеними системними характеристиками апаратної та часової складності.

В четвертому розділі розроблені схемотехнічні рішення спецпроцесора, який визначає усереднене значення модульних різниць між оцифрованими сигналами (рис. 11).

Пристрій містить: 1, 2 – вхідна та вихідна шини; 3 – два регістри пам'яті, парафазні виходи яких з'єднані з відповідними входами багаторозрядних двійкових суматорів 4, в яких визначаються модульні різниці шляхом додавання прямих та доповнюючих кодів. Коди модульних різниць з виходів мультиплексора 5 поступають на накопичуючий суматор 6, оснащений вихідним регістром 7.

Проведений аналіз системних характеристик розробленого спецпроцесора у залежності від розрядності вхідних кодів та числа накопичень при визначенні

Хеммінгової віддалі. Побудовані діаграми апаратної складності, показані на рисунку 12, розраховані згідно аналітичних виразів:

$$k=8, \quad n=256 \quad A_{\text{ПК}} = 32 \cdot 2 + 8 \cdot 3 + 24 \cdot 7 + 8 \cdot 3 = 280 \nu; \quad A_{\text{ПР}} = 32 \cdot 2 + 8 \cdot 3 + 24 \cdot 13 + 8 \cdot 13 = 504 \nu.$$

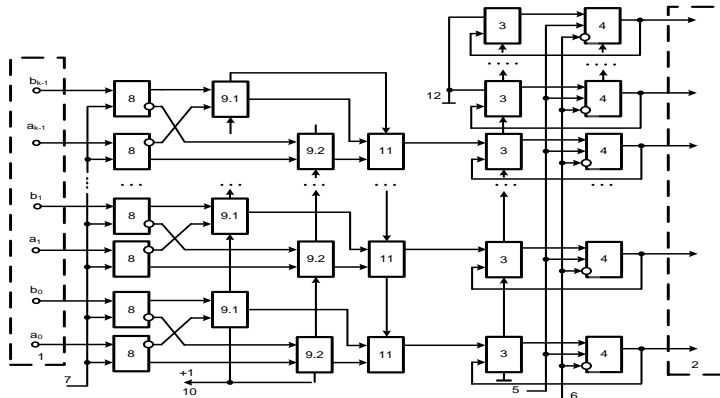


Рисунок 11 – Структурна схема спецпроцесора визначення Хеммінгової віддалі

у ТЧБ Радемахера

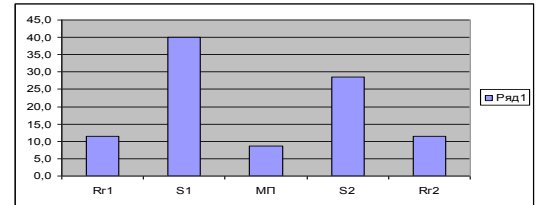


Рисунок 12 – Апаратна складність пристрою додавання двійкових багаторозрядних чисел

Мікроелектронна реалізація на ПЛІС розробленого спецпроцесора зображена на рисунку 13 (а - початок схеми, б - продовження схеми, в – кінець схеми).

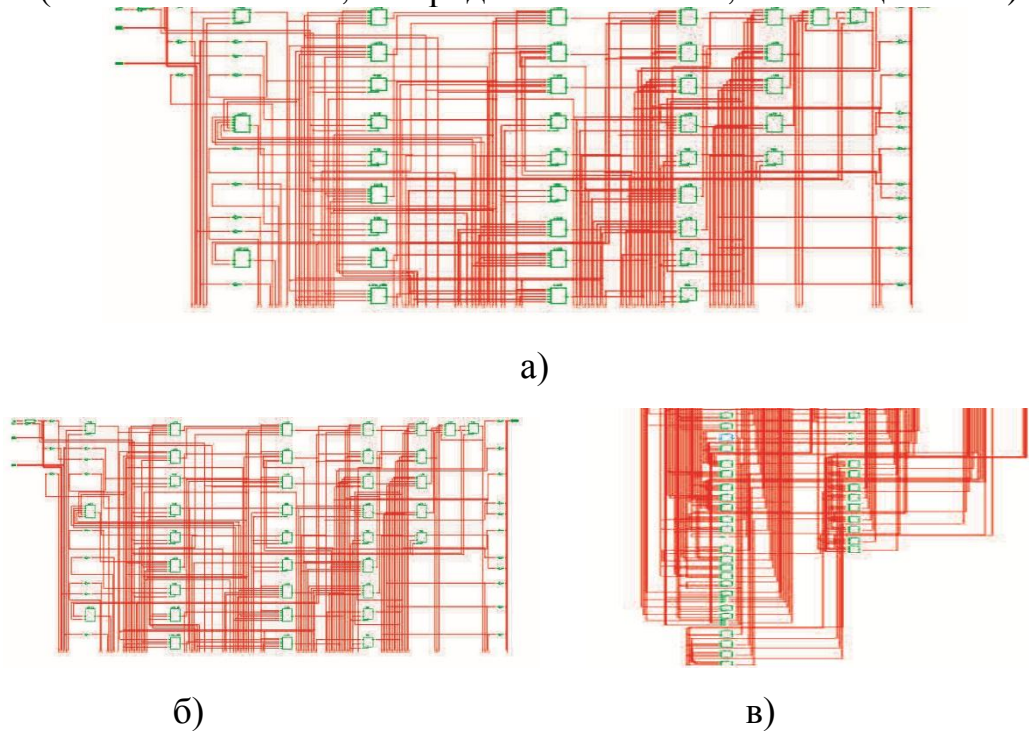


Рисунок 13 – Схема реалізації спецпроцесора визначення Хеммінгової віддалі у ТЧБ Радемахера на ПЛІС.

Розроблений пристрій, що, у порівнянні з відомими пристроями, характеризується розширеними функціональними можливостями, оскільки забезпечується визначення усередненого значення суми модульних різниць вибірки двох потоків двійкових чисел, незалежно від того, яке з чисел більше або менше.

Розроблене структурне рішення спецпроцесора визначення Хеммінгової віддалі між двома сигналами (патент України U. №127093), схемотехнічна реалізація, якого приведена на рисунку 14 (а – початок схеми, б – кінець схеми).

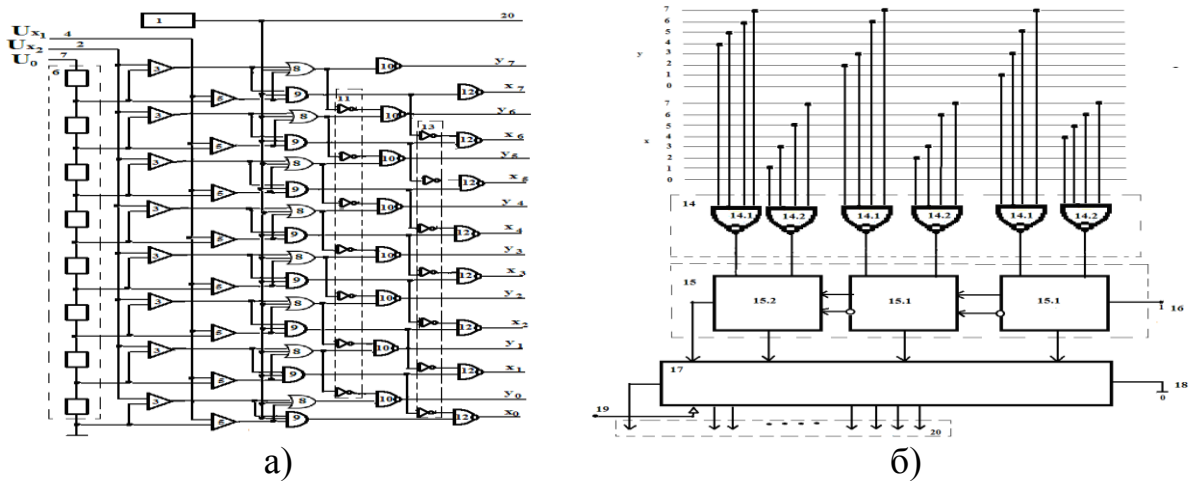


Рисунок 14 – Структурна схема пристрою визначення Хеммінгової віддалі між двома сигналами.

Розроблений спецпроцесор реалізує визначення Хеммінгової віддалі між двома аналоговими сигналами представленими потенціалами U_{x1} та U_{x2} , згідно запропонованого алгоритму (див. рис. 2). Робота спецпроцесора тактується синхронізатором -1 , аналогові сигнали U_{x1} та U_{x2} перетворюються в унітарні коди АЦП паралельного типу, реалізованого на базі прецизійних резисторів та компараторів. Логічними елементами АБО та І формуються відповідні паралельні унітарні коди більшого та меншого з цифрових відліків аналогових сигналів, які на виходах логічних елементів І-НЕ перетворюються у відповідні розрядно-позиційні коди Хаара. Отримані коди поступають у вигляді прямого та доповнюючого кодів x_i та \bar{y}_j поступають на відповідні входи логічних елементів І-НЕ (рис. 14 б)). У швидкодіючому комбінаційному суматорі з парафазними входами та виходами, які забезпечують затримку наскрізних переносів на 1 мікротакт, здійснюється визначення двійкових кодів модульних різниць $|x_i - y_j|$, які накопичуються у суматорі, що оснащений вихідним регістром, у вигляді оцінки Хеммінгової віддалі аналогових сигналів. Розроблений спецпроцесор характеризується наступною апаратною та часовою складністю. Апаратна складність розраховується згідно виразу:

$$A = n \cdot (A_R + 2A_k + 6A_v) + \log_2 n \cdot (2A_v + A_s);$$

$$A = 8 \cdot (1 + 2 \cdot 2 + 6) + 3 \cdot (2 + 8) = 88 + 30 = 118v \text{ (вентилів).}$$

Часова складність (рис. 15) для пристрою визначення Хеммінгової віддалі буде наступною: $\tau = \tau_k + 3\tau_v + t_v + t_s = 2 + 3 + 1 + 5 + 64 = 75$ (мікротактів).

З діаграми видно, що найбільша тривалість затримки сигналів відбувається у накопичуючому суматорі. Тому покращення швидкодії такого класу спецпроцесорів може бути ефективно здійснене на основі інших ТЧБ з модульною арифметикою.

З метою визначення квадратичної Евклідової відстані $d_{ij} = \sum_{i=0}^m (|x_i - y_j|)^2$, згідно запропонованого алгоритму (див. рис. 1) розроблений швидкодіючий компонент спецпроцесора визначення Хеммінгової віддалі, реалізований у кодах ТЧБ Хаара – Крестенсона (рис. 16).

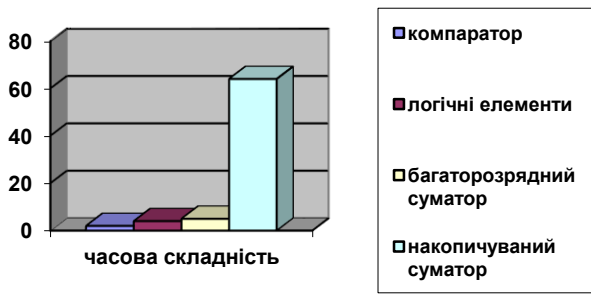


Рисунок 15 - Часова складність пристрою визначення Хеммінгової віддалі між двома сигналами

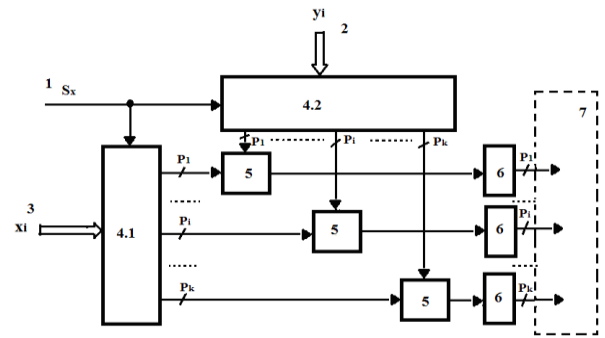


Рисунок 16 - Структурна схема різницево-модульного квадратора (Патент України №132145)

Пристрій працює наступним чином: на початку циклу роботи на першій вхідній шині (1) пристрою формується сигнал синхронізації, по фронту наростання якого у відповідні модульні регістри 4.1, 4.2 записуються коди Хаара-Крестенсона вхідних чисел x_i , y_i . При цьому, на перші та другі входи різницево-модульних матриць 5 поступають коди залишків по модулю P_i у базисі Хаара. Отримані вихідні коди прямих або доповнюючих залишків модульних різниць поступають на входи відповідних логічних модулів рандомізації 6, на виходах яких формуються коди модульних квадратів, які поступають на вихідну шину пристрою 7.

Часова складність, яка визначає швидкодію запропонованого пристрою, розраховується згідно виразу: $\tau_{KB} = \tau_{АЦП} + \tau_T + \tau_M + \tau_P$, де $\tau_T = 2\nu$; $\tau_M = 1\nu$; $\tau_P = 1\nu$ – відповідні затримки сигналів на 2; 1; 1 мікротакти. Отже, загальна затримка сигналів у пристрої, незалежно від розрядності вхідних чисел, складає: $\tau_{KB} = 4 + 2 + 1 + 1 = 8\nu$. Тобто при тактовій частоті роботи вентилів ПЛІС 500 МГц формування вихідних кодів різницевих квадратів буде здійснюватися з частотою 125 МГц, що в порівнянні з відомими пристроями, реалізованими в теоретико-числовому базису Радемахера, при кодуванні вхідних чисел в діапазонах 16, 128, 256, 1024, 2048 підвищення швидкодії складає 12, 125, 179, 625, 1536 разів, що відповідає 1-3 порядкам.

Розроблені спецпроцесори та компоненти визначення Хеммінгової віддалі, згідно лінійної та квадратичної Евклідової відстані, покладені в основу розробки та реалізації пристроїв автоматизованого дистанційного розпізнавання категорій та типів дорожніх знаків у процесі руху транспортних засобів.

ВИСНОВКИ

У роботі розв'язано актуальну науково-технічну задачу, пов'язану з вдосконаленням методів розпізнавання образів у Хеммінговому просторі та розробкою високопродуктивних спецпроцесорів визначення Хеммінгової віддалі у різних теоретико-числових базисах. Зокрема отримано такі результати:

1. У дисертаційній роботі досліджено теоретичні засади методів розпізнавання багатомірних образів у Хеммінговому просторі на основі Евклідової відстані та проведений аналіз спецпроцесорів для розпізнавання образів у Хеммінговому просторі у різних теоретико-числових базисах.

2. Розроблено метод опрацювання сигналів двовимірного Хеммінгового простору, у вузлах якого існують багатомірні об'єкти на основі кодування решітчастих даних у теоретико-числовому базисі Крестенсона, що дозволило здійснювати перетворення багатомірних образів, представлених у двомірному Хеммінговому просторі, в одномірній системі координат, який дозволяє будувати спецпроцесори, швидкодія яких не залежить від розрядності представлених значень, тобто в порівнянні з відомими методами швидкодія зростає на 2-3 порядки.

3. Розроблено метод визначення Хеммінгової віддалі між аналоговими сигналами, шляхом конвеєрного формування цифрових даних сигналів у паралельних унітарних кодах та інвертованих паралельних кодах Хаара, який спрощує операції порівняння характеристик образів та виконання обчислень в різних теоретико-числових базисах, який, у порівнянні з відомими, дозволяє прискорити швидкодію обчислень у $2^n / n$ (n – розрядність АЦП) разів.

4. Розроблено систему кодування та визначення оцінки Хеммінгової віддалі для розширеної категорії, у порівнянні з відомими системами, дорожніх знаків, шляхом експертних оцінок інформативних характеристик дорожніх знаків у вигляді бінарних кодів, яка дозволяє удосконалити та збільшити на 1-2 порядки швидкодію розпізнавання дорожніх знаків, на основі розрахунку Евклідової відстані, та розробити рекомендації покращення інформативних характеристик знаків з найменшими оцінками Хеммінгової віддалі.

5. Удосконалено метод визначення Хеммінгової віддалі образів з різною кількістю інформаційних параметрів, шляхом розширення математичного виразу оцінки Хеммінгової віддалі, що дозволило, у порівнянні з відомими методами, розширити сферу застосування оцінки Хеммінгової віддалі, а також розпізнавати образи з різною кількістю характеристичних ознак.

6. Удосконалено метод оцінки Хеммінгової віддалі в одновимірному та двовимірному просторі на основі Евклідової відстані та аналітики різних взаємкореляційних функцій, який у порівнянні з відомими методами, дозволяє здійснювати розпізнавання образів на основі обчислень функцій взаємкореляції в теоретико-числових базисах: унітарному, Радемахера, Крестенсона та Хаара-Крестенсона.

7. Розроблено принципові схемотехнічні рішення різницево-модульного квадратора у якості швидкодіючого компонента пристрою визначення Хеммінгової віддалі між двома сигналами у теоретико-числовому базисі Хаара-Крестенсона згідно квадратичної оцінки Евклідової відстані, який за рахунок незалежності швидкодії від розрядності вхідних кодів, у порівнянні з відомими пристроями, характеризується підвищеною швидкодією на 1-3 порядки при розрядності представлення аналогових сигналів двійковими кодами в діапазоні 4-12 біт.

8. Розроблено структурні, схемотехнічні рішення, досліджено та реалізовано у мікроелектронному виконанні на ПЛІС компоненти спецпроцесора визначення Хеммінгової віддалі між характеристиками образів, заданих кодами теоретико-числового базису Радемахера, що, у порівнянні з відомими пристроями, характеризується розширеними функціональними можливостями, оскільки забезпечується визначення усередненого значення суми модульних різниць вибірки двох потоків двійкових чисел, незалежно від того, яке з чисел більше або менше, та

пристрою визначення Хеммінгової віддалі між двома сигналами шляхом конвеєрного перетворення аналогових сигналів у паралельні унітарні коди більшого та меншого амплітудного значень сигналів на основі логічного опрацювання, формуванням відповідних паралельних інверсних кодів Хаара, дешифрованих у відповідні прямі та доповнюючі коди базису Радемахера, що у порівнянні з відомими пристроями в унітарному базисі у загальному випадку підвищеною характеризуються в $2^n / n$ (n – розрядність АЦП) разів швидкодією.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Сидор А.І. Метод розпізнавання дорожніх знаків на основі оцінок Хеммінгової віддалі та структурної складності // Науковий вісник НЛТЕУ України. – 2018. – №7. – С.120-125.
2. Сидор А.І., Люра О.П., Николайчук Я.М. Теоретичні засади та задачі розпізнавання гармонічних сигналів та образів на основі оцінки Хеммінгової віддалі // Науковий вісник НЛТЕУ України. – 2018. – №3. – С.131-136.
3. Круліковський Б.Б., Сидор А.І. Методи визначення Хеммінгової віддалі у кодах мультибазисних теоретико-числових перетворень // Науковий вісник Хмельницького національного університету (технічні науки). – 2017 – №2 (247). – С. 181-185.
4. Возна Н.Я., Сидор А.І. Критерій структурної складності та оцінки розширеної Хеммінгової віддалі для просторових об'єктів // Науковий вісник НЛТУ України. – 2017 – №4. – С. 159-165.
5. Трембач Б.Р., Трембач Р.Б, Сидор А.І., Возна Г.В. Структура та системні характеристики спецпроцесорів визначення Хеммінгової віддалі реалізовані в різних теоретико-числових базисах // Збірник наукових праць Математичне та комп'ютерне моделювання (технічні науки). Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка. – 2017 – Випуск 15. – С. 244-249.
6. Круліковський Б.Б., Сидор А.І., Заставний О.М., Николайчук Я.М. Методи та процесори розпізнавання багатомірних образів у Хеммінговому просторі // Науковий вісник НЛТУ України. – 2016. – Вип. 26.3. - С. 361-367.
7. N. Vozna, Y. Nikolaichuk, O. Volynskyi, P. Humennyi, A. Sydor. Methods of Crypto Protection of Color Image Pixels in Different Code Systems // CEUR Workshop Proceedings, ISSN 1613-0073. Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2018, Ceske Budejovice, Czech Republic, 2018. – P.110-113. <http://ceur-ws.org/Vol-2300/Paper27.pdf> (включено до наукометричної бази Scopus).
8. Спеціалізовані комп'ютерні технології в інформатиці / Методи та процесори розпізнавання багатомірних образів у Хеммінговому просторі. С. 629-666. Николайчук Я.М., Сидор А.І.: Монографія за загальною редакцією Я.М. Николайчука. – Тернопіль: «Бескиди», 2017. – 919 с.
9. Сидор А.І., Круліковський Б.Б., Возна Н.Я., Николайчук Я.М. Пристрій визначення Хеммінгової віддалі між двома сигналами. Патент України на корисну модель №127093, Бюл. №13, 2018.
10. Сидор А.І., Возна Н.Я., Николайчук Я.М. Різницево-модульний квадратор. Патент України на корисну модель №132145, Бюл. №3, 2019.
11. Krulikovskiy B., Sydor A., Zastavnyy, O., Nikolaichuk Y. Methods for multidimensional patterns recognition in Hamming space // International Conference The

Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM) Polyana, Lviv, 2017. – P. 195-198. (включено до наукометричної бази Scopus).

12. Trembach B., Sydor A., Trembach R., Kochan R. The Method of Applying Acoustic Signals in Vector and Two-Dimensional Hemming Spaces Given in Cartesian and in Polar Coordinates // 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET) Lviv-Slavske, Ukraine February 20-24, 2018. – P. 108-111. (включено до наукометричної бази Scopus).

13. Сидор А.І., Возна Г.В. Методи кодування даних у Хеммінговому просторі та задачі розпізнавання образів // Проблемно –наукова міжгалузева конференція "Юриспруденція та проблеми інформаційного суспільства ЮПІС-2016", 25-27 квітня 2016 р., Надвірна-Яремче, Україна, 2016. – С.130-134.

14. Сидор А.І., Николайчук Я.М., Возна Г.В. Задача та процесор розпізнавання образів у Хеммінговому просторі // VIII-а міжнародна школа-семинар “Теорія прийняття рішень” Ужгород, 2016. – С. 243-244.

15. Сидор А.І., Возна Г.В. Засоби цифрового опрацювання сигналів в задачах розпізнавання образів та спецпроцесор визначення Хеммінгової віддалі // Матеріали конференції “Інформаційно-обчислювальні технології, автоматика та електроніка”, Рівне, 2016. – С. 165-168.

16. Сидор А.І., Трембач Б.Р., Возна Г.В. Методи ідентифікації джерел акустичних сигналів у двохвимірному Хеммінговому просторі // Всеукраїнська конференція з міжнародною участю “Сучасні комп’ютерні інформаційні технології”(АСІТ) Тернопіль, 2017. – С. 86-89.

17. Сидор А.І. Метод розпізнавання дорожніх знаків категорії “попереджувальні знаки” на основі оцінок Хеммінгової віддалі та структурної складності // Проблемно-наукова міжгалузева конференція «Юриспруденція та проблеми інформаційного суспільства» (ЮПІС 2018), 2018 року, м. Надвірна. – С. 140-146.

АНОТАЦІЯ

Сидор А.І. Методи та процесори розпізнавання багатомірних образів у Хеммінговому просторі. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.13.05 «Комп’ютерні системи та компоненти» – Тернопільський національний економічний університет, Міністерство освіти і науки України, Тернопіль, 2019.

Дисертацію присвячено розробці методів та процесорів розпізнавання багатомірних образів у Хеммінговому просторі. Розроблений метод оцінки Хеммінгової віддалі на основі Евклідової відстані та аналітики різних взаємкореляційних функцій. Розроблено метод опрацювання сигналів двовимірного Хеммінгового простору на основі перетворень модульної арифметики теоретико-числового базису Крестенсона. Розроблено метод визначення Хеммінгової віддалі між характеристиками образів представленими кодами унітарного ТЧБ та метод визначення Хеммінгової віддалі між аналоговими сигналами. Удосконалено метод визначення Хеммінгової віддалі образів з різною кількістю параметрів. Здійснений аналіз кодування та визначення Хеммінгової віддалі для реалізації розпізнавання

дорожніх знаків різних категорій. Розроблені структури та алгоритми роботи удосконалених спецпроцесорів оцінки Хеммінгової віддалі між сигналами та здійснена мікроелектронна реалізація їх компонентів на ПЛІС. Розроблений швидкодіючий спецпроцесор визначення Хеммінгової віддалі між оцифрованими сигналами у теоретико-числовому базисі Хаара-Крестенсона, який у порівнянні з відомими пристроями характеризується підвищеною на 2-3 порядки швидкодією.

Ключові слова: Розпізнавання образів, Хеммінговий простір, спецпроцесори.

АННОТАЦІЯ

Сидор А.И. Методы и процессоры распознавания многомерных образов в Хемминговом пространстве. - Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.13.05 «Компьютерные системы и компоненты» - Тернопольский национальный экономический университет, Министерство образования и науки Украины, Тернополь, 2019.

Диссертация посвящена разработке методов и процессоров распознавания многомерных образов в Хемминговом пространстве. Разработано метод оценки Хеммингового расстояния на основе Евклидова расстояния и аналитики различных взаимокорреляционных функций. Разработан метод обработки сигналов двумерного Хеммингового пространства на основе преобразований модульной арифметики теоретико-числового базиса Крестенсона. Разработано метод определения Хеммингового расстояния между характеристиками образов представленного кодами унитарного ТЧБ и метод определения Хеммингового расстояния между аналоговыми сигналами. Усовершенствован метод определения Хеммингового расстояния образов с разным количеством параметров. Проведено анализ кодирования и определения Хеммингового расстояния для реализации распознавания дорожных знаков различных категорий. Разработаны структуры и алгоритмы работы усовершенствованных спецпроцессоров оценки Хеммингового расстояния между сигналами и осуществлена микроэлектронная реализация их компонентов на ПЛІС. Разработан быстродействующий спецпроцесор определения Хеммингового расстояния между оцифрованными сигналами в теоретико-числовом базисе Хаара-Крестенсона, который по сравнению с известными устройствами характеризуется повышенным на 2-3 порядка быстродействием.

Ключевые слова: Распознавание образов, Хемминговое пространство, спецпроцессоры.

SUMMARY

Sydor A.I. Methods and Processors for Recognizing Multidimensional Images in the Hemming Space. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the candidate of technical sciences degree (philosophy doctor) in specialty 05.13.05 "Computer systems and components" - Ternopil National University of Economics, Ministry of Education and Science of Ukraine, Ternopil, 2019.

The dissertation is devoted to the methods and processors development for the multidimensional images recognition in the Hemming space.

The mathematical bases and prospects of development of theoretical foundations of image recognition methods in the Hemming space are described.

The method of estimating the Hemmingway distance on the basis of the Euclidean distance and analyzes of various interrelation functions is developed. The method for processing signals of a two-dimensional Hemming space on the basis of transformations for the modular arithmetic of the Crescent's theoretic-numeric basis is developed. The method of determining the Hemming distance between the characteristics of images represented by the codes of unitary THB and the method of determining the Hemming distance between the analog signals, the conveyor conversion of signals into parallel unitary codes, Hare codes, and Rademacher codes. The method for determining the Hemming distance of images with different parameter numbers is improved. The analysis of coding and definition Hemmingway distance for implementation of recognition road signs of different categories is carried out.

The developed structures and algorithms of the work of advanced special processors for estimating the Hemming distance between the signals and implemented the microelectronic implementation of their components on the FPGA. The developed high-speed special processor for determining the Hemming distance between the digitized signals in the theoretical-numerical basis of Haar-Krestenson, which are compared with known devices, is characterized by an increasing of 2-3 orders magnitude.

The results of the dissertation research are implemented in the information-diagnostic system for monitoring the state of isolation of high-voltage cables in the networks of 6-35 kV "Altra" in the enterprise of OJSC "EC" Dniprooblenergo ", in the Office of Patrol Police in the Ternopil region, in the scientific-research topics and educational processes of the department of specialized computer systems of the Ternopil National Economic University, and the educational process at the Department of Computer Science at the National University of Water Lords leaf and Nature meters. Exactly.

Keywords: Pattern Recognition, Hemming Space, Special Processors.

Підписано до друку 21.05. 2019 р.
 Формат 60x90/16. Гарнітура Times.
 Папір офсетний. Друк на дублікаторі.
 Умов. друк. арк. 1,0. Обл.-вид. арк. 1,0.
 Зам. № А046-19. Тираж 100 прим.

Видавець та виготовлювач

Тернопільський національний економічний університет
 вул. Львівська, 11, м. Тернопіль, 46009

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
 до Державного реєстру видавців ДК № 3467 від 23.04.2009 р.*

Видавничо-поліграфічний центр «Економічна думка ТНЕУ»
 вул. Бережанська, 2, м. Тернопіль, 46009

тел. (0352) 47-58-72

E-mail: edition@tneu.edu.ua

