

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ЗАВЕДУК ТЕТЯНА ОЛЕКСІЇВНА

УДК 004.383.3

**АСОЦІАТИВНІ ПРОЦЕСОРИ КОРЕЛЯЦІЙНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ
ОБРАЗІВ**

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Николайчук Ярослав Миколайович,
завідувач кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем
Тернопільського національного економічного університету

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Наконечний Маркіян Володимирович,
доцент кафедри комп'ютеризованих систем автоматичної
інституту комп'ютерних технологій, автоматичної та метрології
Національного університету «Львівська політехніка»

кандидат технічних наук, доцент
Кльоц Юрій Павлович
доцент кафедри системного програмування
Хмельницького національного університету

Захист відбудеться «26» вересня 2014р. о 16³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 035.052.08 у національному університеті «Львівська політехніка» (79013, Львів-13, вул. С. Бандери, 12, ауд. 226 головного корпусу).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розіслано « 22 » серпня 2014 р.

*Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради, д.т.н., проф.*

Луцик Я.Т.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розвиток теорії та оптимізація рішення задач розпізнавання образів в реальному часі є актуальною науковою задачею. Одним з перспективних напрямків теоретичних досліджень та реалізації алгоритмів розпізнавання образів є побудова асоціативних та кореляційних нейропроцесорів опрацювання сигналів у Хеммінговому просторі.

Фундаментальні дослідження по вирішенню даного класу задач провели відомі зарубіжні вчені: Ванга-Мендель, Ф. Розенблатт, Л.А. Заде, Т. Кохонен. Серед українських вчених вагомий вклад у вирішення задач створення високопродуктивних спецпроцесорів опрацювання інформаційних потоків та розпізнавання образів внесли: О.В. Палагін, Н.І. Алішов, В.С. Харченко, А.О. Мельник, В.П. Тарасенко, Я.М. Николайчук, Г.Ф. Кривуля, Р.Б. Дунець, А.В. Дрозд.

Світовий досвід розробки високопродуктивних спецпроцесорів представлений класом асоціативних процесорів, розроблених відомими фірмами: Altera, Analog Devices, Cirrus Logic, Fujitsu, MagnaChip (Hynix), Intel, Motorola, National Semiconductor, MAXIM, Xilinx, Philips, ST Microelectronics, Hewlett-Packard, Texas Instruments.

Теоретичні засади побудови кореляційних спецпроцесорів, які використовуються для опрацювання сигналів та розпізнавання образів в різних теоретико-числових базисах, розроблені науковою школою проф. Я.М. Николайчука: С.М. Іщераков, А.І. Сегін.

Важливі задачі в цьому напрямі у галузі ідентифікації відмов технологічного та комп'ютерного обладнання на основі теорії розпізнавання образів вирішені в наукових працях: О.Г. Івахненко, К.А. Іванов-Муромського, В.А. Головка, В.М. Локазюка, О.В. Поморової, Л.М. Заміховського.

Приклади успішного застосування теорії формальних нейронів та нейромереж для опрацювання сигналів та розпізнавання образів обумовлюють перспективні напрямки розробки такого класу програмно-апаратних засобів та їх реалізацію на основі нейропроцесорів.

Теорія розпізнавання образів широко використовується при створенні засобів цифрового опрацювання та розпізнавання сигналів, що відображено в наукових працях А.Й. Наконечного, В.П. Бабака, Р. Блейхута, Л.В. Вариченка, В.К. Задіраки, А.І. Солонини.

Незважаючи на широкий спектр спеціалізованих процесорів для опрацювання сигналів та цифрових даних, розробку фундаментальних теоретичних основ побудови математичних та структурних моделей штучних нейронів, недостатня увага дослідників приділена встановленню принципів функціонального перетворення нейроном вхідних сигналів у потік вихідних імпульсів. Дана задача є особливо важливою при розпізнаванні імпульсної реакції нейрона на вхідні сигнали, які описані різними аналітичними функціями. Серед названих, актуальною задачею є розпізнавання гармонічних сигналів, що становить предмет дослідження дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Запропоновані методи формування, цифрового опрацювання та розпізнавання образів на основі кореляційного підходу та асоціативних процесорів розроблялись у межах держбюджетної науково-дослідної роботи кафедри Комп'ютерних систем та мереж Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу: "Синтез комп'ютерних систем та розробка програмного забезпечення для об'єктів нафтогазового комплексу" (№ 0111U005890), 2009-2013рр. та госпдоговірної теми кафедри Спеціалізованих комп'ютерних систем Тернопільського національного економічного університету "Розробка алгоритмів функціонування захистів електропередач за коротких замикань на основі теорії кореляційних функцій" (СКС-40-2012, державний реєстраційний номер 0112U008457).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є вдосконалення кореляційних методів опрацювання сигналів та розробка асоціативних спецпроцесорів з нейрокомпонентами, призначених для розпізнавання гармонічних сигналів. Для досягнення мети в ході досліджень вирішувалася низка завдань, головними з яких є:

- 1) провести аналіз світового досвіду розробки методів побудови спецпроцесорів з нейрокомпонентами для розпізнавання гармонічних сигналів;
- 2) дослідити методи розпізнавання образів процесорами з асоціативною пам'яттю;

3) систематизувати кореляційні процесори на основі різних аналітичних виразів обчислення кореляційних функцій, які використовуються для ідентифікації характеристик сигналів;

4) розробити моделі аксона нейрона та динамічного нейрона для опрацювання гармонічних сигналів та методи:

- нейропроцесорного квадратично-імпульсного перетворення сигналів;
- кореляційного опрацювання сигналів з асоціативною нарощуваною пам'яттю;
- передавання інформації в базисі Крестенсона з відмовами окремих нейронів.

5) розробити структурні та принципові рішення спецпроцесорів з нейрокомпонентами для розпізнавання гармонічних сигналів та діагностування станів складних технологічних процесів.

Об'єкт дослідження – процеси формування, імпульсного та асоціативного опрацювання гармонічних сигналів на основі спецпроцесорів з нейрокомпонентами.

Предмет дослідження – методи та засоби опрацювання сигналів на основі асоціативних спецпроцесорів з використанням нейрокомпонентів, що реалізують кореляційне опрацювання в Хеммінговому просторі.

Методи дослідження. Основні наукові результати та висновки отримано на основі теорії інформації, теорії алгоритмів, теорії цифрових автоматів, теорії формальних нейронів та асоціативних нейрокомп'ютерів, методів статистичного, кореляційного опрацювання даних та розпізнавання образів у Хеммінговому просторі, принципів математичного моделювання та теорії джерел інформації.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

Вперше розроблено:

1) метод квадратично-імпульсного перетворення гармонічних сигналів на основі моделі динамічного нейрона, який відрізняється від відомих додатковим введенням операції попереднього опрацювання сигналів шляхом піднесення їх до квадрату, виділення інформативних значень гармонічного сигналу (максимуму, нулю та рівності амплітуди сигналу його значенню похідної), що дозволило шляхом перетворення гармонічного сигналу в імпульсний потік з особливими кореляційними властивостями підвищити ефективність розпізнавання та ідентифікації характеристик гармонічних сигналів;

2) метод кореляційного опрацювання гармонічних сигналів шляхом накопичення інформації з асоціативними ознаками та нарощення пам'яті, що дало змогу розширити функціональні можливості кореляційного розпізнавання образів з елементами адаптації;

3) метод самовідновлюваної системи передавання сигналів на основі моделі біонейронного аксона та залишкової арифметики теоретико-числового базису (ТЧБ) Крестенсона, що в порівнянні з відомими методами мажоритарного дублювання компонентів дозволяє адаптивно передавати заданий об'єм вхідних даних при відмовах окремих нейронів та їх аксонів;

вдосконалено:

4) метод квадратично-імпульсного перетворення гармонічних сигналів динамічним нейроном шляхом оптимізації вагових коефіцієнтів в порогових каналах нейрона, що дозволило покращити відношення сигнал-шум вихідних сигналів нейрона і зменшити вплив бокових пелюсток кореляційної згортки;

отримав подальший розвиток:

5) метод побудови мікроелектронної моделі аксона нейрона, яка емулює функції реальних біологічних систем шляхом формування знакових потенціалів сигналів, які рухаються по аксону.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

1. Розроблена структура пристрою нейропроцесорного квадратично-імпульсного перетворення сигналів, який відрізняється від існуючих аналогів спрощеним алгоритмом та зменшеною апаратною складністю, що дозволило зменшити у 2,5 рази число найбільш складних компараторних компонентів, а також розширити функціональні можливості шляхом ідентифікації синхронізуючих точок в квадратичному синусоїдальному сигналі (нульові, \max/\min і рівності сигналу з його похідною) і в результаті отримати імпульсний потік, який представляє гармонічний сигнал у вигляді знакового сигналу з особливими кореляційними властивостями.

2. Запропонована схемотехнічна реалізація моделі аксона нейрона, як компонента кореляційного нейропроцесора, яка в порівнянні з відомими аналогами відрізняється високим рівнем регулярності архітектури, що дозволило спростити її реалізацію на основі нанотехнологій.

3. Розроблено структуру спецпроцесора для розпізнавання гармонічних сигналів, який відрізняється від існуючих додатковим введенням пристрою формування імпульсів, що містить схему піднесення вхідного сигналу до квадрату і шляхом оптимізації вагових коефіцієнтів в порогових каналах нейрона дозволяє забезпечити однозначну ідентифікацію особливих точок вхідного гармонічного сигналу з покращеним відношенням сигнал-шум на виході нейрона за рахунок мінімізації впливу бокових пелюсток кореляційної згортки.

4. Розроблено асоціативний запам'ятовуючий пристрій кореляційного процесора, який у порівнянні з відомими аналогами характеризується підвищеною швидкістю, зменшеною апаратною складністю та розширеними функціональними можливостями, що досягнуто шляхом його реалізації у вигляді взаємкорелятора, в якому імпульсні коди вхідних гармонічних сигналів кореляційно ідентифікуються з кодами сигналів, які записані в пам'яті, а пам'ять пристрою нарощується реєстрацією неідентифікованих імпульсних кодів вхідних сигналів.

5. Реалізовано в промисловості спосіб та схемотехнічні рішення квадратично-імпульсного перетворення гармонічних сигналів, що дозволило підвищити швидкість реєстрації збурень у високовольтних лініях електропередач та на інтервалі 1-2 періодів промислової частоти розпізнавати накиди і короткі замикання, а також зменшити часову, апаратну складність та розширити функціональні можливості асоціативних спецпроцесорів з нейрокомпонентами.

Теоретичні та практичні результати роботи використано та впроваджено:

1. На кафедрі «Комп'ютерні системи та мережі» Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу при викладанні навчальних дисциплін: «Спеціалізовані комп'ютерні системи» та «Системи передавання даних» для студентів напрямку підготовки 6.050102 – комп'ютерна інженерія (акт від 05.02.2013р.).

2. У межах держбюджетної науково-дослідної роботи кафедри Комп'ютерних систем та мереж Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу: «Синтез комп'ютерних систем та розробка програмного забезпечення для об'єктів нафтогазового комплексу» (номер державної реєстрації 0111U005890) та госпдоговірної теми кафедри Спеціалізованих комп'ютерних систем Тернопільського національного економічного університету «Розробка алгоритмів функціонування захистів електропередач за коротких замикань на основі теорії кореляційних функцій» (СКС-40-2012, державний реєстраційний номер 0112U008457); на підприємстві ВАТ ЕК «Закарпаттяобленерго» у розробках Інституту мікропроцесорних систем керування об'єктами електроенергетики (акт від 25.12.2013р.).

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій. Наукові положення і рекомендації дисертації обґрунтовані коректним використанням математичного апарату, експериментальними дослідженнями, моделюванням та програмно-апаратною реалізацією методів побудови асоціативних спецпроцесорів для розпізнавання образів.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором особисто. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належить: [2] – модель передавання інформації в нейронному пучку, [3] – метод квадратично-імпульсного перетворення сигналів, [4] – запропоновано метод та розроблена функціональна структура спецпроцесора розпізнавання образів з асоціативною нарощуваною пам'яттю, [5] – запропонована структура динамічного нейрона та розраховані коефіцієнти покращення відношення розпізнаного сигналу на основі відношення сигнал-шум [6], [7], [8], [9] – введення квадратора та імпульсного перетворювача в структуру знакового автокорелятора, введення регістра зсуву в структуру пристрою на основі моделі аксона, [10] – досліджена асимптотика функцій автокореляції, [14] – розроблені оцінки Хеммінгового простору для розпізнавання образів, [16] – метод згортки в аксоні нейрона, [17] – опрацювання сигналів на основі квадратично-імпульсного перетворення, [18] – застосування теорії формальних нейронів в задачах розпізнавання образів, [20] – запропонована структура спеціалізованого процесора, [21], [23], [24] – метод опрацювання гармонічних сигналів процесорами з нейроподібними компонентами, [25] – розроблена структура нарощуваної асоціативної пам'яті, [26], [27] – досліджені збурення гармонічних сигналів в системах

електропостачання, [28] – виконано дослідження методів для розпізнавання образів на основі Хеммінгової віддалі.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на проблемно-наукових міжгалузевих конференціях “Інформаційні проблеми комп’ютерних систем, юриспруденції, енергетики, економіки, моделювання та управління” (ПНМК-2009,2010,2011) (Скоморохи, Східниця, Бучач); 4-й Міжнародній науково-технічній конференції ACSN-2009 “Сучасні комп’ютерні системи та мережі: розробка та використання” (Львів, 2009р.); X, XI та XII Міжнародній конференції TCSET’2010, 2012, 2014 “Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science” (Львів-Славське, 2010, 2012, 2014р.); науковій конференції “Інформаційні технології в управлінні складними системами” (Дніпропетровськ, 2011р.); Міжнародній молодіжній математичній школі “Питання оптимізації обчислень” (ПОО – XXXVII) (Велика Ялта, смт. Кацівелі, 2011р.); проблемно-науковій міжгалузевій конференції “Юриспруденція та проблеми інформаційного суспільства” (Яремче, 2011р.); 11-й Міжнародній конференції “The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM 2011)” (Львів, 2011р.); Міжнародній проблемно-науковій міжгалузевій конференції “Інформаційні проблеми комп’ютерних систем, юриспруденції, енергетики, економіки, моделювання та управління (ПНМК-2012)” (Бучач, 2012р.); Міжнародній науковій конференції “Нейросетеві технології і їх застосування” (Краматорськ, 2012р.); Міжнародній науковій конференції “Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта (ISDMCI’2013)” (Євпаторія, 2013р.); Міжнародній науковій конференції “Питання оптимізації обчислень (ПОО-XL)” (Кацівелі, 2013р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції аспірантів, молодих учених і студентів “Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості (ІТОП-2013)” (Івано-Франківськ, 2013р.).

Публікації. Результати дисертаційної роботи в повному обсязі опубліковані у 28 друкованих працях, з них 5 наукових статей у фахових наукових виданнях (в тому числі – одна стаття одноосібна та одна – в міжнародній науково-метричній базі SCOPUS), 4 патенти України (з них 3 на корисну модель).

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 182 сторінки, з них 145 сторінок основного тексту, 69 рисунків, 19 таблиць. Список використаних джерел включає 164 найменування, додатки представлені на 15 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та задачі дослідження, дано характеристику наукової новизни отриманих результатів і практичної значущості роботи, наведено відомості про апробацію результатів та їх впровадження.

У **першому розділі «Методи та засоби побудови асоціативних процесорів розпізнавання образів»** проведений аналіз існуючого стану розробок та застосування асоціативних процесорів розпізнавання образів. Викладені теоретичні засади задач та методів розпізнавання образів.

Виконана систематизація характеристик розпізнавання образів на основі процесорів з асоціативною пам’яттю (АП). Показано, що важливим компонентом такого класу процесорів є пам’ять з асоціативним доступом. Встановлено, що суттєвим недоліком способу організації пам’яті з асоціативним доступом є відсутність функцій нарощення об’єму пам’яті, що обмежує можливості її застосування в задачах адаптивного розпізнавання образів.

Класифіковані та систематизовані системні характеристики відомих цифрових кореляторів, які реалізовані на основі обчислення різних аналітичних виразів кореляційних функцій.

Показано, що розробка кореляційних спецпроцесорів, оснащених асоціативною пам’яттю дозволяє створити на їх основі асоціативні процесори розпізнавання образів, що є актуальною науковою задачею розширення функцій та реалізації процесорів такого класу з асоціативними принципами організації структури.

Досліджені характеристики структур процесорів розпізнавання сигналів на основі нейрокомпонентів та обґрунтовані перспективи їх вдосконалення на основі структури порогової моделі формального нейрона.

На основі проведеного аналізу сучасного стану розробки асоціативних процесорів розпізнавання образів виконана постановка задачі досліджень.

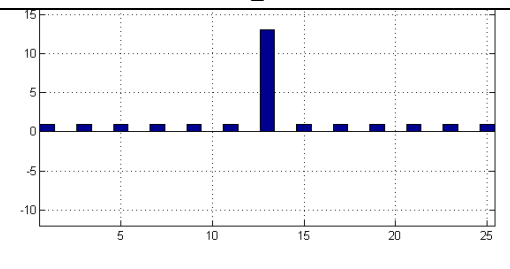
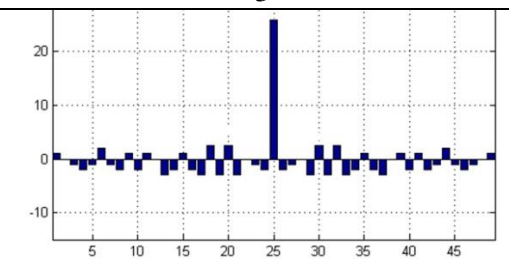
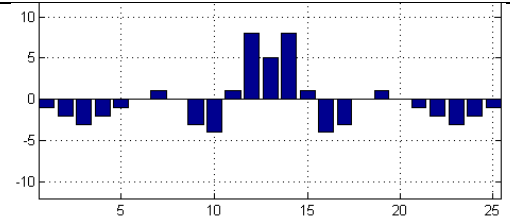
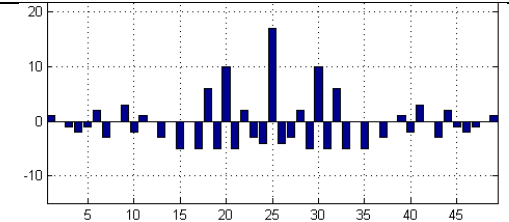
У другому розділі «Дослідження характеристик кореляційних спецпроцесорів для розпізнавання гармонічних сигналів» виконана класифікація оцінок ненормованих дискретних автокореляційних та взаємокореляційних функцій, а також досліджена їх асимптотика. Побудовані графі обчислення автоковаріаційної функції при різних умовах об'єму вибірки даних. Отримані аналітичні вирази центрованих та нормованих оцінок автокореляційних функцій.

Аналіз отриманих аналітичних виразів дозволяє обґрунтувати застосування конкретної автокореляційної функції для реалізації асоціативних процесорів з нейрокомпонентами. При цьому необхідно враховувати, що результати біологічних досліджень показують максимальне наближення імпульсних потоків, які генеруються фізіологічними нейронами у ТЧБ Хаара, тобто сигналами виду (+1, 0, -1). Тому в якості базової кореляційної функції та відповідної структури кореляційного процесора при побудові асоціативних процесорів доцільно використати знакову кореляційну функцію.

Досліджені кореляційні функції шумоподібних сигналів та простих і модифікованих кодів Баркера (111-1-1-11-1-11-100000000000), які належать до класу шумоподібних кодових послідовностей (ШКП), характеризуються особливими кореляційними властивостями і високим відношенням величини головної пелюстки до максимального значення бокових пелюсток. Перевагою такого способу кодування сигналів у вигляді signum-функцій є можливість їх успішного застосування для побудови векторів моделей сигналів, що розпізнаються.

Отримані графіки кореляційних функцій одновимірних відомих та модифікованих кодів Баркера при впливі помилок, які можуть виникати під впливом завад та збурень (таблиця 1).

Таблиця 1 - Графіки кореляційних характеристик ШКП при впливі помилок

К-сть помилок	Одновимірні та модифіковані коди Баркера	
1	2	3
0		
4		

Згідно критерію ефективності

$$\xi_0 = W_{xx}(i) - W_{xx}(j)_{max},$$

де $W_{xx}(i)$, $W_{xx}(j)_{max}$ – відповідно амплітуди головної та максимального бокового пелюстків АКФ побудовані характеристики ефективності ШКП в залежності від кратності помилок.

Таким чином обґрунтована перспектива застосування кореляційної згортки сигналів, характеристики яких наближаються до характеристик ШКП та кодів Баркера, визначають перспективу застосування відповідних перетворень інших видів сигналів, наприклад, гармонічних, у кодові послідовності з особливими кореляційними властивостями та їх опрацювання асоціативними спецпроцесорами з нейрокомпонентами на основі формальних нейронів.

Проведені дослідження часової складності найбільш перспективних для реалізації процесорів розпізнавання образів коваріаційного ($K_{xx}(j)$), структурного ($C_{xx}(j)$) та знакового ($H_{xx}(j)$) кореляторів та побудована діаграма даної оцінки, де показано, що найменшою часовою складністю, а відповідно найбільшою швидкістю характеризується кореляційні процесори обчислення знакової функції.

Вирішення задачі вдосконалення кореляційних методів опрацювання сигналів відкриває базові можливості підвищення ефективності алгоритмів та процесів розпізнавання образів у Хеммінговому просторі, запропонована аналітика яких приведена в таблиці 2, де аббревіатура назви перетворення включає тип кореляційної функції, F^2 - функція еквівалентності в квадратичному просторі, яка має аналогічний характер асимптотики з функцією еквівалентності F_{xx} і також може бути використана для розпізнавання образів; w_l – еталонна модель образу, e_l – ваговий коефіцієнт Хеммінгової віддалі, x_l – випадкова модель образу, який розпізнається (реалізація випадкової моделі).

Таблиця 2 – Аналітичні вирази оцінок Хеммінгової віддалі з врахуванням вагової функції

$$\begin{array}{l}
 XKK = \frac{1}{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} w_l \cdot e_l \cdot x_l \quad X\tilde{F}^2C = \frac{1}{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} (w_l - \hat{z}^2(e_l, x_l))^2 \quad XGG = \frac{1}{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} |w_l - |e_l - x_l|| \\
 XCK = \frac{1}{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} w_l \cdot (e_l - x_l)^2 \quad X\tilde{F}^2C = \frac{1}{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} (w_l - \hat{z}^2(e_l - x_l))^2 \quad XGF\tilde{F} = \frac{1}{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} \hat{z}(w_l, |e_l - x_l|) \\
 X\tilde{F}K = \frac{1}{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} w_l \cdot \hat{z}(e_l, x_l) \quad XKG = \frac{1}{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} |w_l - e_l \cdot x_l| \quad XK\tilde{F} = \frac{1}{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} \hat{z}(w_l, e_l \cdot x_l) \\
 X\tilde{F}K = \frac{1}{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} w_l \cdot \hat{z}(e_l, x_l) \quad XCG = \frac{1}{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} |w_l - (e_l - x_l)^2| \quad XC\tilde{F} = \frac{1}{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} \hat{z}(w_l, (e_l - x_l)^2) \\
 X\tilde{F}^2K = \frac{1}{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} w_l \cdot \hat{z}^2(e_l, x_l) \quad X\tilde{F}G = \frac{1}{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} |w_l - \hat{z}(e_l, x_l)| \quad X\tilde{F}\tilde{F} = \frac{1}{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} \hat{z}(w_l, \hat{z}(e_l, x_l)) \\
 X\tilde{F}^2K = \frac{1}{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} w_l \cdot \hat{z}^2(e_l - x_l) \quad X\tilde{F}G = \frac{1}{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} |w_l - \hat{z}(e_l, x_l)| \quad X\tilde{F}\tilde{F} = \frac{1}{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} \hat{z}(w_l, \hat{z}(e_l, x_l)) \\
 XKG = \frac{1}{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} |w_l - e_l \cdot x_l| \quad X\tilde{F}^2G = \frac{1}{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} |w_l - \hat{z}^2(e_l, x_l)| \quad X\tilde{F}^2\tilde{F} = \frac{1}{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} \hat{z}(w_l, \hat{z}^2(e_l, x_l))
 \end{array}$$

Проведені дослідження широкого класу оцінок Хеммінгової віддалі можуть бути застосовані для розпізнавання ідентифікованих образів (ІО), представлених гармонічними сигналами, що є основою для розробки широкого класу алгоритмів структур спецпроцесорів, призначених для реалізації процесів розпізнавання образів апаратно-програмними засобами.

Досліджені структури та порогові характеристики формальних нейронів на основі найбільш відомих моделей штучних нейронів: Маккалока-Пітса, Хопфілда, Гросберга, динамічних нейронів та моделі нейронів дискретного часу.

Запропонована структура рекурентного динамічного нейрона, виконано дослідження та порівняння характеристик структур відомих найбільш поширених моделей формальних нейронів. Побудована матриця інцидентій оцінки структурної складності нейронів, на основі якої встановлено, що структура запропонованого рекурентного динамічного нейрона характеризується найменшою структурною складністю, що обґрунтовує високу ефективність його застосування для побудови асоціативних кореляційних спецпроцесорів розпізнавання образів.

У третьому розділі «Методи опрацювання та розпізнавання гармонічних сигналів асоціативними процесорами з нейрокомпонентами» виконано дослідження та формалізація реакції нейрона на гармонічний сигнал без попереднього перетворення та з квадратичним перетворенням вхідних гармонічних сигналів.

Показано, що відомий метод побудови моделі імпульсного вектора сигналу, що розпізнається, описується наступною системою рівнянь з операціями диференціювання та ідентифікації особливих точок гармонічного сигналу (рисунок 1).

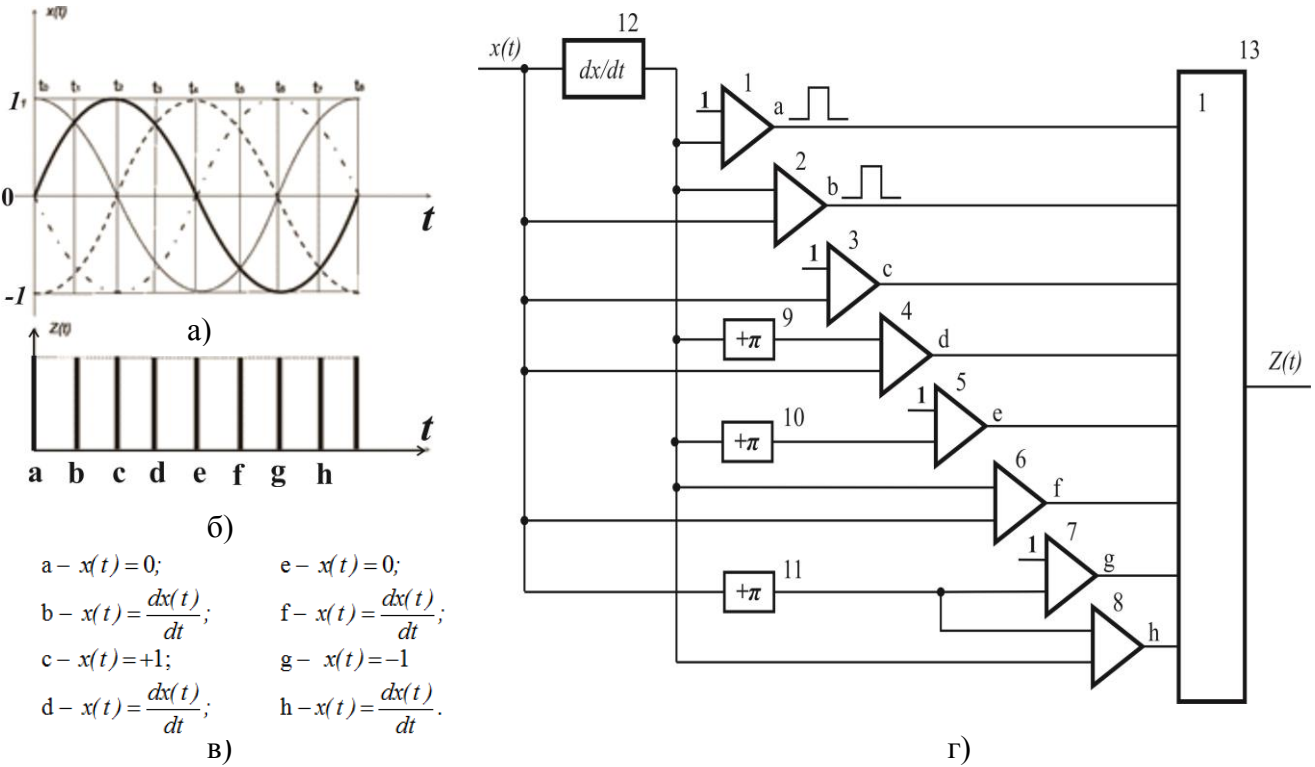


Рисунок 1 Чотирифазний гармонічний сигнал (а), імпульсна реакція нейрона на гармонічний сигнал (б), що описується системою рівнянь з операціями диференціювання та ідентифікації особливих точок гармонічного сигналу (в), структура відомого імпульсного перетворювача гармонічних сигналів

З рисунка 1а,б) видно, що на інтервалі періоду гармонічного сигналу $t=2\pi$, формується пачка з 8 імпульсів, частота яких є пропорційною частоті гармонічного сигналу з однаковим кроком дискретизації.

З метою оцінки апаратної, структурної та часової складності побудована таблиця експертних оцінок складності компонентів імпульсного пристрою згідно SH-моделі та побудована матриця інцидентів. Розрахунок структурної, апаратної та часової складності обчислюється згідно виразів

$$S_V = -E \log_2(E/n \times m); \quad \tilde{S}_V = \sum_{i=1}^l \beta_i P_i; \quad A = \sum_{i=1}^l \alpha_i P_i; \quad \tau_V = \tau_{x(t)} + \tau_{dx/dt} + \tau_{+\pi} + \tau_K + \tau_{JE},$$

звідки згідно експертних оцінок отримаємо $S_V = 10,304$; $\tilde{S}_V = 124,6$; $A = \sum_{i=1}^l \alpha_i P_i = 137,606$; $\tau_V = 11,5v, v = 1нс$.

На рисунку 2 показано діаграму структурної, апаратної та часової складності дослідженої моделі формального нейрона на основі методу та структури перетворювача гармонічних сигналів в імпульсний потік.

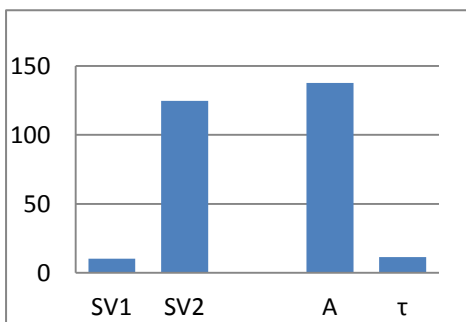


Рисунок 2 Діаграма оцінки структурної (S), апаратної (A) та часової (τ) складності імпульсного перетворювача гармонічних сигналів

Суттєвим недоліком такого методу формування імпульсного потоку на основі порогової схеми пристрою, приведеного на рисунку 1, є обмежені функціональні можливості ідентифікації особливих точок синусоїдального сигналу у зв'язку з тим, що всі імпульси формуються через рівні проміжки часу, а також реалізація такого пристрою характеризується значною структурною та апаратною складністю через наявність великого числа фазовертачів та компараторів, які реагують на особливі точки гармонічного сигналу.

Проведений аналіз формалізації нейрона та його реакції на гармонічний та сукупність гармонічних сигналів відкриває нові можливості побудови дискретних моделей нейрона, які можуть бути ефективно використані для розпізнавання одновимірних інформаційних потоків, які представлені гармонічними сигналами, а також двовимірних зображень та образів шляхом відповідної побудови моделей нейрона.

З метою дослідження адекватності вихідних характеристик імпульсного потоку такого нейроподібного компонента та імпульсних потоків, які формуються на виході рецепторів та первинних чутливих нейронів біологічних систем виконані дослідження їх сигнальних характеристик, в результаті чого встановлено, що серед рецепторів біологічних систем існують такі, що по різному реагують на вхідні гармонічні сигнали. При цьому встановлено, що більшість нейронів збуджуються сигналами строго визначеної частоти, а також є нейрони, які реагують на частотно-модульовані сигнали. Існують також нейрони, які взагалі не реагують на окремі гармоніки, а тільки на ампліудно-модульовані сигнали, а також такі, що реагують тільки на початок або на кінець появи гармонічного сигналу.

Показано, що результатами біологічних досліджень встановлено найбільш активну реакцію рецепторів нейронів на гармонічні сигнали виду $\sin(x)$ та $\sin^2(x)$, що обґрунтовує доцільність розробки моделі та дослідження такого класу імпульсних перетворювачів гармонічних сигналів на основі операцій диференціювання особливих точок гармонічного сигналу $\sin^2(x)$.

У результаті такої постановки задачі вперше розроблений метод квадратично-імпульсного перетворення гармонічних сигналів та виконана його формалізація у вигляді фрейму (1) та функціоналу (2):

$$F_H \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline a & 0 & 0 & b & c & d & 0 & 0 & e & 0 & 0 & f & g & h & 0 & 0 \\ \hline \end{array} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} F_H = F_1[x(t)] \Rightarrow F_2[x(t)^2] \Rightarrow F_3[a] \Rightarrow F_4[0] \Rightarrow F_5[b] \Rightarrow F_6[c] \Rightarrow F_5[d] \Rightarrow \\ \Rightarrow F_4[0] \Rightarrow F_3[e] \Rightarrow F_4[0] \Rightarrow F_5[f] \Rightarrow F_6[g] \Rightarrow F_5[h] \Rightarrow F_4[0] \Rightarrow Z(t), \end{aligned} \quad (2)$$

де F_1, \dots, F_6 – відповідно формалізований опис операцій перетворення та реєстрації особливих точок гармонічного сигналу: F_1 – вхідний аналоговий гармонічний сигнал, $x(t) = \sin x$; F_2 – піднесення вхідного сигналу до квадрату, $x(t)^2 = \sin^2 x$; F_3 – порівняння нульового сигналу з поточним $\sin^2 x - 0 = 0$ та формування порогового значення одиничного імпульсу $Z(t) = 1$; F_4 – формування нульових значень порогової функції $Z(t) = [00]$; F_5 – порівняння поточного сигналу з його похідною $\sin^2 x = \frac{d(\sin^2 x)}{dt}$ та формування порогового значення $Z(t) = 1$; F_6 – порівняння поточного сигналу з максимумом амплітуди при $t_i = \frac{\pi}{4}$, $\sin^2 x = \max$ та формування порогового значення $Z(t) = 1$.

На рисунку 3 приведена реалізація запропонованого методу квадратично-імпульсного порогового перетворення гармонічного сигналу та спрощена структура імпульсного перетворювача гармонічних сигналів (рис. 3б).

Порівняльний розрахунок характеристик відомого та запропонованого патентно-захищеного пристрою виконаний у розділі 4.

Отриманий результат показує, що в нейронних структурах гармонічний синусоїдальний сигнал на вході нейрона на рівні збуджувальних і заторможуючих входів трансформується у квадратичний простір. В результаті такого трансформування двополярні гармонічні сигнали модулюються у квадратичному просторі однополярними логічними імпульсами. Отриманий результат також добре узгоджується з макромоделями біонейронних структур, де показано, що сигнали $\sin^2 x$ є енергетично оптимальними імпульсами активації нейронів.

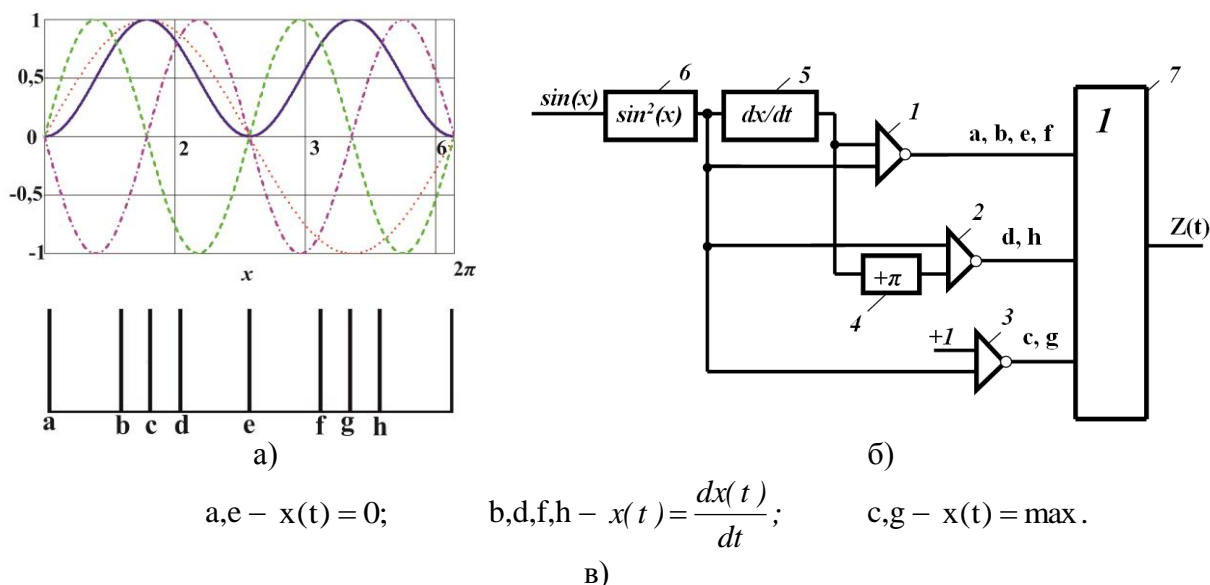


Рисунок 3 Реалізація запропонованого методу квадратично-імпульсного порогового перетворення гармонічного сигналу та спрощена структура імпульсного перетворювача гармонічних сигналів

Аналіз рисунка 3 дозволяє встановити, що імпульсний потік реакцій нейрона на гармонічний сигнал $\sin^2 x$ наближається до семибітної послідовності максимальної довжини (M-сигналу) виду 1110010, а також шумоподібних кодів Баркера.

У результаті виконання перетворень згідно послідовності функціоналів F_1, F_2, \dots на інтервалі кожного періоду вхідного гармонічного сигналу на виході формується біт-орієнтований вектор його еталонної моделі наступного виду:

$$\sin^2 x \left\{ \begin{array}{cccccccc} 111001001110010011100100111001001110010011100100\dots \\ \left\{ \begin{array}{cccccccc} 0 & \dots & 2\pi & \dots & 2\pi & \dots & 2\pi & \dots & 2\pi \end{array} \right\} \end{array} \right.$$

Вперше розроблений метод кореляційного опрацювання сигналів з асоціативною нарощуваною пам'яттю.

Відомий метод кореляційного опрацювання сигналів з асоціативною пам'яттю на основі мережі автокореляції містить рецептор, який формує вихідний сигнал P_0 із його затримкою елементах пам'яті S_1, S_2, \dots у вигляді сигналів P_1, P_2, \dots , причому P_0 автокореляційно порівнюється з затриманими в пам'яті сигналами. Виконана формалізація даного методу.

Недоліком відомого методу є низька ефективність розпізнавання образів, обумовлена наявністю перетворювача імпульсного типу, кількість яких у пачці пропорційна амплітуді вхідного сигналу, а також обмежені функціональні можливості, які обумовлені тим, що даний метод дозволяє виконувати функціональні операції тільки порівняння вхідних сигналів з затриманими в пам'яті та не передбачає нарощення пам'яті неідентифікованими векторами ІО.

Вперше запропонований метод кореляційного опрацювання та розпізнавання сигналів з асоціативною нарощуваною пам'яттю описується наступною послідовністю функціоналів:

$$\begin{aligned} F_{АП} = F_1[x(t)] &\Rightarrow F_2[x(t)^2] \Rightarrow F_3[\text{sign}x_i] \Rightarrow F_4[w_{ij}, j \in \overline{0, m}] \Rightarrow \\ &\Rightarrow F_5 \left[\begin{array}{l} w_{ij} = w_{0j} \\ w_{ij} = w_{1j} \\ \dots \\ w_{ij} = w_{kj} \end{array} \right] \Rightarrow F_6[w_{ij} \neq w_{lj} (l \in \overline{0, k})] \end{aligned}$$

де F_1 – вхідний аналоговий сигнал, $x(t)$; F_2 – піднесення вхідного сигналу до квадрату, $x(t)^2$; F_3 – формування елементів знакової кореляційної функції; $x(t) \rightarrow \text{sign}x_1, \text{sign}x_2, \dots, \text{sign}x_m$; F_4 – формування вектора моделі ідентифікованого сигналу; F_5 – паралельне порівняння вхідного

вектора сигналу w_{ij} з еталонними w_{ij} та іншими зареєстрованими у пам'яті векторами моделі вхідного сигналу; F_6 – формування та реєстрація в нарощуваній АП неідентифікованого вектора вхідного сигналу.

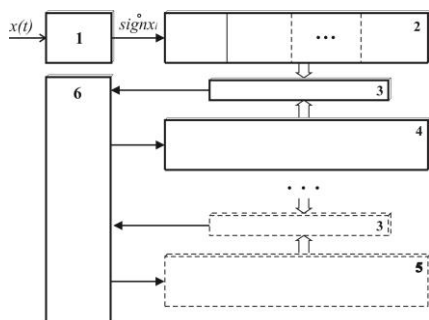


Рисунок 4 Функціональна схема нарощуваної асоціативної пам'яті

На рисунку 4 приведена функціональна схема, яка реалізує запропонований метод, де використані наступні позначення: 1 – вхідний імпульсний перетворювач; 2 – реєстр пам'яті та зсуву векторів моделі ІО; 3 – модулі порівняння векторів поточних та зареєстрованих у пам'яті ІО; 4 – реєстри пам'яті розпізнаних векторів моделі ІО; 5 – елемент нарощуваної пам'яті нерозпізнаних векторів моделі ІО; 6 – адресний модуль нарощуваної асоціативної пам'яті.

Розроблена принципова схема мікроелектронної реалізації запропонованої нарощуваної асоціативної пам'яті.

Запропонований метод кореляційного опрацювання сигналів з асоціативною нарощуваною пам'яттю в порівнянні з відомими аналогами відрізняється розширеними функціональними можливостями у зв'язку з тим, що в процесі розпізнавання образів, які представлені векторними моделями на виході імпульсного перетворювача відбувається нарощення об'єму асоціативної пам'яті у випадку відсутності співпадання поточного вектора моделі вхідного сигналу з векторами, які раніше в попередніх циклах зареєстровані в пам'яті.

Вперше розроблений метод передавання інформації на основі системи залишкових класів теоретико-числового базису Крестенсона з відмовами окремих нейронів, побудована структурна модель передавання інформації в нейронному пучку (рисунок 5а) на основі системи числення залишкових класів та перетворень:

$$[h_j] = res \sum_{i=1}^k [\oplus x_i] (mod P_j), [h_j^*] = res \sum_{i=1}^k \alpha_j \cdot [h_j], [Z_i] = res \sum_{j=1}^k \beta_j \cdot [h_j] (mod P_0),$$

де $[h_j]$ – імпульсний сигнал з числом імпульсів, яке рівне найменшому невід'ємному залишку порогової модульної операції; res – символ порогової операції по модулю P_j ; \oplus , \ominus – входи всіх нейронів $H_0 \div H_k$; α_j – вагові коефіцієнти моделі формального нейрона; β_j та P_0 – відповідно вагові коефіцієнти та пороговий модуль приймального нейрона H_0 .

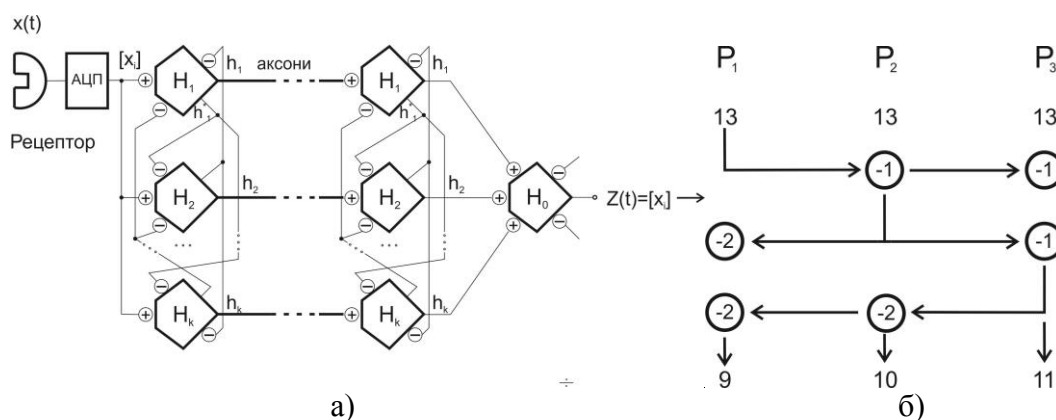


Рисунок 5 Структурна модель передавання інформації в нейронному пучку

Розрахований приклад рішення задачі з числом нейронів $k=3$, системою взаємно-простих модулів $P_1=9, P_2=10, P_3=11$, діапазоном квантування вхідних сигналів $P=P_1 \cdot P_2 \cdot P_3$, тобто $P=990$ та заданого порогу спрацювання нейронів $P_0=13$ в якому показано, що при відмові окремих нейронів під дією взаємних впливів на \oplus , \ominus -входах нейронів формуються нові взаємно-прості порогові значення (3):

$$\begin{array}{lll}
 P_1=0, & P_2=10+1=11, & P_3=11+1=12; \\
 P_2=0, & P_1=9+2=11, & P_3=11+1=12; \\
 P_3=0, & P_1=9+2=11, & P_2=10+2=12.
 \end{array} \quad (3) \quad P^* = \begin{cases} P_2 = 11, & P_3 = 12; \\ P_1 = 11, & P_3 = 12; \\ P_1 = 11, & P_2 = 12, \end{cases} \quad (4)$$

тобто в результаті відмов окремих нейронів, змінюються порогові характеристики нейронів таким чином, що утворюється нова система залишкових класів (СЗК) з модулями (4).

Самовідновлення та самокорекція сигналів при їх передаванні по такому нейронному волокну буде однозначною при діапазоні зміни вхідних сигналів x_i у границях: $0 \leq x_i \leq 131$.

Показано, що для забезпечення однозначного ефекту самовідновлення інформації в нейронних пучках на основі кодування імпульсних вхідних сигналів у ТЧБ Крестенсона, початкова надлишковість модулів системи залишкових класів оцінюється згідно відношення:

$$k_n = \sum_{i=1}^3 \hat{E}[\log_2 P_i] / \sum_{i=1}^2 \hat{E}[\log_2 P_i^*], \quad \text{де } \hat{E}[\cdot] - \text{функція з заокругленням до більшого цілого.}$$

Для розглянутого прикладу рішення задачі $k_n = 1,5$.

У четвертому розділі «Розробка та реалізація асоціативних спецпроцесорів з нейрокомпонентами» запропонована структура пристрою реалізації методу квадратично-імпульсного перетворення з розширеними функціональними можливостями у порівнянні з відомими пристроями, що досягнуто шляхом додаткового введення в його структуру квадратора та зменшення більш, ніж у 2,5 рази числа компараторів, які формують потоки імпульсів в особливих точках гармонічного сигналу $\sin^2(x)$.

Структурна схема, що показана на рисунку 3б), згідно патенту України на винахід містить: 1, 2 і 3 – імпульсні компаратори, 4 – фазоповертач на кут π , 5 – схема диференціювання, 6 – схема піднесення вхідного сигналу до квадрату, 7 – логічний елемент АБО.

Пристрій працює наступним чином – вхідний сигнал $x(t)$ поступає на схему піднесення до квадрату 6, вихідний сигнал якої одночасно подається на вхід схеми диференціювання 5 і на перші входи компараторів 1, 2 і 3, вихідний сигнал схеми диференціювання подається на другий вхід 1-го компаратора і на вхід фазоповертача на кут π 4, вихідний сигнал якого подається на другий вхід компаратора 2, на другий вхід компаратора 3 подається сигнал "логічна одиниця", вихідні сигнали всіх трьох компараторів подаються на вхід логічного елемента АБО, на виході якого формується вихідний сигнал пристрою.

Розрахунок структурної складності запропонованого пристрою виконано згідно матриці інцидентів та аналітичного виразу:

$$S_z = -E \log_2 \frac{E}{n \times m} = E(\log_2(n \times m) - \log_2 E) = 12(\log_2(3 \times 5) - \log_2 12) = 3,864.$$

Уточнений розрахунок структурної складності запропонованого пристрою, його апаратної та часової складності виконані згідно виразів:

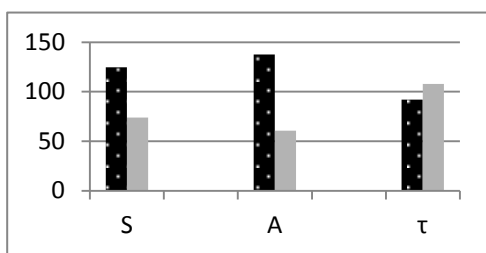
$$\tilde{S}_z = 10 \times 3 + 2 \times 2 + 4 \times 1 + 10 \times 3 + 2 \times 3 = 74.$$

$$A_z = 5 \times 3 + 12 \times 2 + 6 \times 1 + 5 \times 3 + 0,2 \times 3 = 60,6.$$

$$\tau_z = \tau_{x(t)} + \tau_{[2]} + \tau_{dx/dt} + \tau_{+\pi} + \tau_K + \tau_{\text{ЛЕ}} = 0,003 + 2 + 5 + 2,5 + 2 + 2 = 13,5 \nu.$$

По результатах розрахунку структурної, апаратної та часової складностей відомого (рисунок 1г) та запропонованого пристрою побудовані порівняльні діаграми, які представлені на рисунку 6.

Аналіз побудованих діаграм дозволяє встановити відносне зменшення характеристик структурної та апаратної складності запропонованого перетворювача імпульсів, а також зростання часової складності, що не перевищує 18% за рахунок додаткового введення квадратора в структуру пристрою:



$$V_S = \frac{\tilde{S}_Z}{\tilde{S}_V} * 100\% = \frac{74}{124,6} * 100\% = 59,39\%;$$

$$V_A = \frac{A_Z}{A_V} * 100\% = \frac{60,6}{137,606} * 100\% = 44,04\%;$$

$$V_\tau = \frac{\tau_Z}{\tau_V} * 100\% = \frac{13,5}{11,5} * 100\% = 117,39\%.$$

Рисунок 6 Порівняльні діаграми структурної, апаратної та часової складності відомого та запропонованого пристрою формування імпульсів (часова складність представлена з коефіцієнтом підсилення 8)

Виконаний аналіз структурних схем та функціональних можливостей відомих моделей аксона нейрона, реалізованих на аналогових елементах. Вперше запропонована структура моделі аксона нейрона на дискретних мікроелементах (рисунок 7), яка відрізняється від відомих аналогів регулярністю архітектури, високою швидкодією та зменшеною структурною та апаратною складністю.

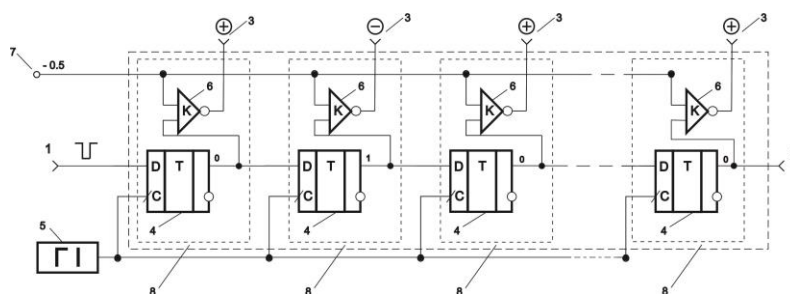


Рисунок 7 Структура моделі аксона нейрона на дискретних мікроелементах

Запропонований пристрій містить: 1 – вхід, 2 – вихід; 3 – сигнальні виходи; 4 – D-тригери; 5 – генератор імпульсів; 6 – імпульсний компаратор; 7 – від’ємний потенціал; 8 – компоненти.

Пристрій працює наступним чином – вхідні сигнали у вигляді позитивних імпульсів поступають на вхід 1 і подаються на D-вхід тригера першого компонента. При поступленні вхідних позитивних імпульсів на вхід пристрою 1 відбувається зсув інформації по фронту наростання сигналів генератора імпульсів 5 в тригерах 4, які з’єднані між собою як операційний пристрій ”регістр зсуву”. В залежності від стану i-го тригера на виході з кожного i-го компаратора 6 формується потенціал, знак якого визначається згідно виразу

$$T_i = \begin{cases} 0; & 0-0.5=-0.5; \\ 1; & 1-0.5=+0.5. \end{cases}$$

У випадку, коли тривалість імпульсу, який поступає на вхід моделі аксона нейрона, перевищує в кілька разів тактову частоту генератора імпульсів 5, на сигнальних виходах моделі аксона нейрона буде рухатись група від’ємних потенціалів, кількість яких відповідатиме числу імпульсів генератора імпульсів 5, що генеруються на інтервалі часу, рівному тривалості вхідного імпульсу.

Розрахунок структурної, апаратної та часової складності запропонованої моделі аксона нейрона виконуємо згідно виразів:

$$\begin{aligned} S_{AN} &= S_\Gamma + S_{-u} + n(S_K + S_T) = \\ &= 3 + 10 + n(10 + 2) = 13 + 12n; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{AN} &= A_\Gamma + A_{-u} + n(A_K + A_T) = \\ &= 5 + 4 + n(5 + 0,5) = 9 + 5,5n; \end{aligned}$$

$$\tau_{AN} = \tau_\Gamma + \tau_T + \tau_K = 4 + 2 + 2 = 8\nu,$$

що показано на рисунку 8.

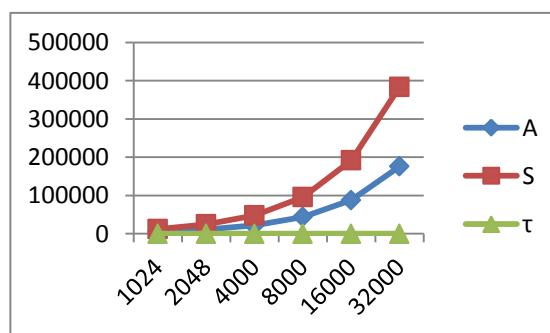


Рисунок 8 Графіки зміни структурної, апаратної та часової складності запропонованої моделі аксона нейрона в залежності від числа компонентів n

Аналіз оцінки часової складності розробленої моделі аксона нейрона показує, що запропонована мікроелектронна модель може працювати на частоті до 125МГц, а тривалість затримки рефракторного періоду в одному компоненті біологічного аксона нейрона складає 5-10мс, то запропонована модель має швидкодію на 2-3 порядки більшу в порівнянні з біологічною моделлю.

На основі запропонованої моделі аксона та динамічного нейрона розроблений спецпроцесор розпізнавання гармонічних сигналів, структура якого, згідно патенту України, показана на рисунку 9 і містить пристрій формування імпульсів – 1, регістр зсуву – 2, шістнадцять вагових коефіцієнтів – 3-18, суматор – 19 та блок порогового нелінійного перетворення – 20.

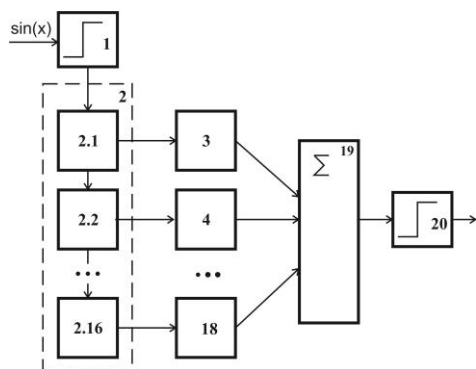


Рисунок 9 Спецпроцесор розпізнавання гармонічних сигналів на основі моделей аксона та динамічного рекурентного нейрона

Спецпроцесор працює наступним чином – вхідний гармонічний сигнал поступає на пристрій формування імпульсів 1, вихідний сигнал якого являє собою дискретний сигнал (послідовність імпульсів), що подається на вхід регістра зсуву 2, побудованого на D-тригерах, вихідні сигнали якого подаються на входи вагових коефіцієнтів 3-18, вихідні сигнали яких подаються на відповідні збуджуючі чи гальмуючі входи суматора 19, сигнал з виходу якого подається на вхід блоку нелінійного перетворення 20, на виході якого формується вихідний імпульсний сигнал.

Формування сигналів, які рухаються по аксонах нейронів у вигляді потенціалів “+” або “-” у запропонованому пристрої представляються у вигляді коду, який формується на виході імпульсного перетворювача 1 - 1 1 1 0 0 1 0 0 1 1 1 0 0 1 0 0, на основі якого шляхом заміни нулів на “+1”, а одиниць – на “-1”, аналогічно, як це виконується для шумоподібних кодів Баркера, отримуємо центрований нормований код векторної моделі вхідного гармонічного сигналу (--- + - - + + - - - + + - + +), який рухається по аксону нейрона.

Таким чином, виконання функцій розпізнавання гармонічних сигналів в нейронній системі описується відповідно до знакової автокореляційної функції згідно виразу:

$$H_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{sign}(x_i) \cdot \text{sign}(x_{i+j}), j \in \overline{0, m}.$$

У результаті опрацювання імпульсного потоку сигналів, який формується на виході перетворювача (рисунок 3б) процесором зі структурою рекурентного динамічного нейрона (рисунок 9), отримується сигнальний імпульсний код, приведений на рисунку 10.

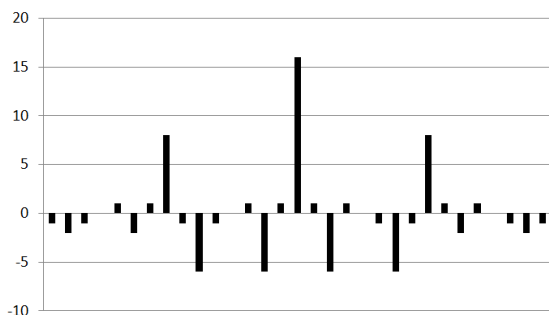


Рисунок 10 Результат згортки сигнального коду, який рухається по аксону нейрона

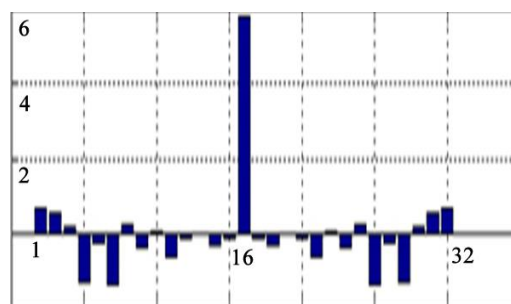


Рисунок 11 Діаграма згортки оптимізованих значень вагових коефіцієнтів α_i

Згортка сигнального коду, яка показана на рисунку 10, отримана в результаті опрацювання гармонічного сигналу з врахуванням одиничних ваг коефіцієнтів у структурі моделі динамічного рекурентного нейрона.

Оптимізація характеристик вихідних сигналів динамічного нейрона, яка забезпечує покращення ефективності розпізнавання образів, виконується згідно критерію:

$$V_H = \frac{H_{xx}(0)}{H_{xx}(j)_{max}}, j \in \overline{1 \pm m}, \quad (5)$$

де $H_{xx}(0)$ – амплітуда головної пелюстки знакової автокореляційної функції в нульовій точці; $H_{xx}(j)_{max}$ – амплітуда найбільшої невід’ємної пелюстки при будь-якому значенні зсуву j , що дозволило покращити в 4 рази це співвідношення у порівнянні з варіантом відсутності оптимізації.

У результаті досліджень та визначень найбільш оптимізованих вагових коефіцієнтів на основі розробленої програми, які задовольняють критерію оптимальності (5), отримана діаграма, показана на рисунку 11.

Запропонована структура багатоканального пристрою для обчислення знакової автокореляційної функції в якості базового компонента асоціативного процесора розпізнавання образів, який відрізняється від відомих аналогів додатковим введенням модуля квадратично-імпульсного перетворення вхідних сигналів, що дозволило розширити його функціональні можливості та підвищити швидкодію (рисунк 12).

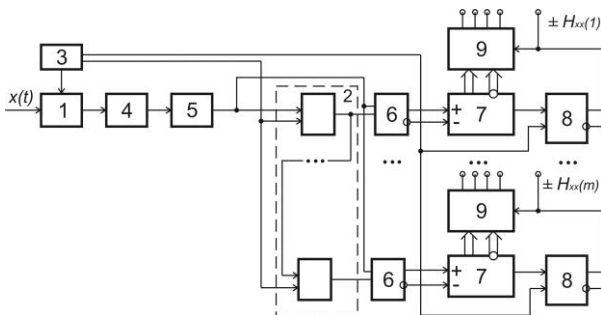


Рисунок 12 Структура багатоканального пристрою для обчислення знакової автокореляційної функції

Пристрій містить аналого-цифровий перетворювач – 1, багатокаскадний регістр зсуву – 2, синхронізатор – 3, квадратор – 4, імпульсний перетворювач – 5, елемент ”виключаюче АБО” – 6, реверсивний лічильник – 7, RS-тригер – 8, мультиплексор – 9.

Пристрій працює наступним чином. Процес обчислення значень знакової функції відбувається за m циклів

вимірювання. На початку m циклів роботи пристрою в кожному каналі відбувається скидання реверсивних лічильників в нульовий стан (на схемі не показано). На початку кожного циклу вимірювання на першому виході синхронізатора 3 формується короткий імпульс, по фронту наростання якого тригери всіх каналів встановлюються в нульовий стан, а по фронту спаду – запускається перетворювач “аналог-код” 1. Одночасно з цим на другому виході синхронізатора 3 формується послідовність імпульсів, яка діє на всьому інтервалі циклу вимірювання, тактуючи зсуви в багатокаскадному регістрі зсуву 2, а також роботу елементів ”виключаюче АБО” 6 (даний зв’язок на схемі не показаний).

У процесі перетворення вимірювання з виходу перетворювача “аналог-код” 1 коди цифрових відліків в квадраторі 4 перетворюються в коди квадратів, а на виході імпульсного перетворювача 5 формується біт-орієнтований інформаційний потік (рисунк 3а). При цьому в кожному каналі на прямих та інверсних виходах логічних елементів ”виключаюче АБО” 6 формуються пакки імпульсів, які відповідають логічним значенням добутків sign-функцій згідно виразів:

$$\left. \begin{array}{l} 0 \oplus 0 = 0 \\ 1 \oplus 1 = 0 \end{array} \right\} \rightarrow +1; \quad \left. \begin{array}{l} 1 \oplus 0 = 1 \\ 0 \oplus 1 = 1 \end{array} \right\} \rightarrow -1.$$

Отримані інформаційні біти поступають відповідно на сумуючі та віднімаючі входи реверсивних лічильників 7, на виході яких формуються коди відповідних сум значень знакової кореляційної функції. У результаті в кінці m -циклів вимірювань стан RS-тригера 8 в кожному каналі визначає знак отриманого результату відповідного каналу: ”0” – результат додатний, ”1” – результат від’ємний. Стан тригера 8 підключений до входу мультиплексора 9, який комує на вихід пристрою прямий або інверсний код накопиченої суми знакової кореляційної функції.

З метою порівняння часової складності розробленого пристрою та відомих кореляційних процесорів визначення коваріаційної та структурної функцій розраховані та дана оцінка згідно виразів:

- обчислювач коваріаційної функції $\tau_{\text{ков.}} = \tau_{\text{АЦП}} + \tau_{\text{БРЗ}} + \tau_x + \tau_{\Sigma}$;
- обчислювач структурної функції $\tau_{\text{структ.}} = \tau_{\text{АЦП}} + \tau_{\text{БРЗ}} + \tau_{\text{ЛЕ}} + \tau_{\text{квадр.}} + \tau_{\text{шифр.}}$;
- обчислювач знакової функції $\tau_{\text{знак.}} = \tau_{\text{АЦП}} + \tau_{\text{БРЗ}} + \tau_{\text{ЛЕ}} + \tau_{\text{ліч.}} + \tau_{\text{T}} + \tau_{\text{МП}}$.

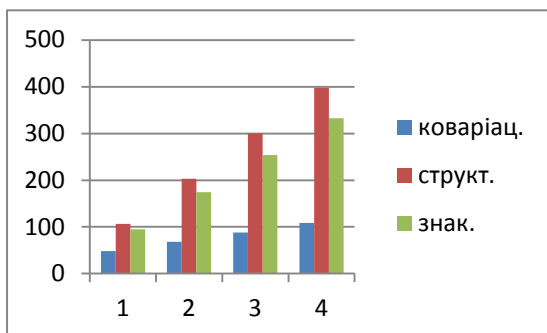


Рисунок 13 Діаграма часової складності кореляційних спецпроцесорів

На основі проведених розрахунків побудована діаграма (рисунок 13) залежності часової складності кореляційних спецпроцесорів в залежності від розрядності k (2, 4, 6, 8) цифрових відліків x_i , при чому для знакового корелятора $k=1$.

$$\tau_{\text{ков.}} = \tau_{\text{АЦП}} + \tau_{\text{БРЗ}} + \tau_x + \tau_{\Sigma}, \quad \tau_{\text{ков.}} = 28,3 + 10k;$$

$$\tau_{\text{структ.}} = 48,6k + 9; \quad \tau_{\text{знак.}} = 39,6k + 16.$$

Результати виконаних теоретичних та експериментальних досліджень використані для реалізації алгоритму та спецпроцесора розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних лініях електропередач. Показано, що при виникненні збурень та перехідних процесів у високовольтних лініях відбувається спотворення гармонічних сигналів, відповідно змінюється характеристика їх згортки на основі квадратично-імпульсного перетворення (рисунок 14).

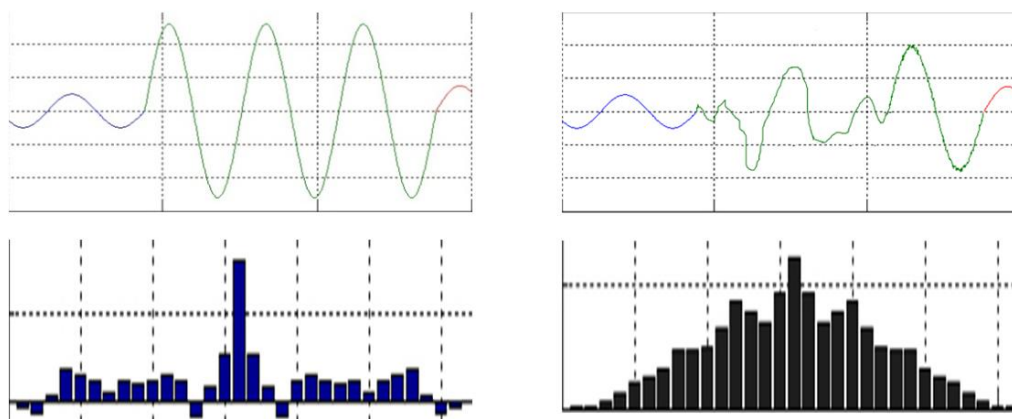


Рисунок 14 Згортка сигналу, отриманого в результаті накиду (а) та короткого замикання (б) на високовольтній лінії електропередач

Виконана верифікація характеристик накидів та коротких замикань у високовольтних лініях електропередач. Реалізовано в промисловості спосіб квадратично-імпульсного перетворення гармонічних сигналів; алгоритм виявлення, розпізнавання та ідентифікації накидів та коротких замикань у високовольтних лініях електропередач; структуру та схемотехнічні рішення мікроелектронної реалізації асоціативного спецпроцесора з нейрокомпонентами для кореляційної згортки квадратично-імпульсних моделей гармонічних сигналів, що дозволило:

- підвищити швидкодію реєстрації збурень у високовольтних лініях електропередач та на інтервалі 1-2 періодів промислової частоти, розпізнавати та ідентифікувати накиди і короткі замикання;
- зменшити часову та апаратну складність та розширити функціональні можливості асоціативних спецпроцесорів з нейрокомпонентами.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну наукову задачу розробки методів та засобів опрацювання сигналів на основі асоціативних спецпроцесорів з використанням нейрокомпонентів,

що реалізують кореляційне опрацювання в Хеммінговому просторі. При цьому отримані наступні результати:

1. Проаналізовано принципи та методи розпізнавання образів, що дозволило обґрунтувати переваги та перспективи застосування кореляційних алгоритмів розпізнавання образів.

2. Досліджена структура, функції та компоненти асоціативних процесорів, які включають модифікації асоціативної пам'яті з паралельним і послідовним доступом, показано їх обмежені функціональні можливості при вирішенні задач розпізнавання образів без нарощення асоціативної пам'яті. Систематизовано та досліджено характеристики кореляційних процесорів, які використовуються для ідентифікації характеристик сигналів, встановлено, що найменшою апаратною складністю характеризуються знакові корелятори.

3. Виконано аналіз структур та функцій процесорів з нейрокомпонентами на основі моделей формального та вейвлет-фаззи-нейронів, показано їх обмежені функціональні можливості, обумовлені тим, що вони характеризуються надлишковою універсальністю і відсутністю адаптації до конкретних типів сигналів та досліджені структури та характеристики моделей формальних нейронів та показана доцільність використання рекурентних динамічних структур нейронів з потоковою затримкою вхідних сигналів

4. Досліджена реакція нейрона на гармонічний сигнал та виконана формалізація його вихідного імпульсного потоку, а також характеристики формування вихідних сигналів рецепторами та первинними чутливими нейронами гармонічних сигналів

5. Вперше запропонований метод квадратично-імпульсного перетворення гармонічних сигналів та його формалізація на основі фреймів функціональних перетворень, який відрізняється від відомого попереднім формуванням квадрату гармонічного сигналу та ідентифікації його особливих точок за допомогою системи компараторів. При цьому досягнуто суттєве спрощення аналітики розпізнавання гармонічних сигналів та утворення на інтервалі одного періоду сигналу імпульсних послідовностей з особливими АКФ.

6. Вперше запропонований метод кореляційного опрацювання та розпізнавання сигналів з асоціативною нарощуваною пам'яттю та виконана його формалізація на основі конвеєра функціоналів з глибоким розпаралеленням процесів розпізнавання векторних моделей гармонічних сигналів

7. Вперше розроблений метод передавання інформації на основі системи залишкових класів теоретико-числового базису Крестенсона з відмовами окремих нейронів та викладені його теоретичні засади, згідно яких показаний приклад передавання повного об'єму інформаційних даних при відмовах окремих нейронів. Отримано аналітичний вираз для розрахунку початкової надлишковості модулів системи залишкових класів

8. Запропонована структура пристрою реалізації методу квадратично-імпульсного перетворення гармонічних сигналів на основі додаткового введення в структуру пристрою квадратора, що дозволило зменшити практично удвічі структурну та апаратну складність пристрою по відношенню до відомих, а також досягти розширення функціональних можливостей шляхом спрощеного виділення особливих точок гармонічного сигналу.

9. Розроблена мікроелектронна модель аксона нейрона, яка у порівнянні з відомими аналогами характеризується зменшеною структурною, апаратною і часовою складністю, на 2 порядки вищою швидкістю, а також регулярною архітектурою, що спрощує її мікроелектронну реалізацію, в тому числі на основі нанотехнологій.

10. Розроблений спецпроцесор розпізнавання гармонічних сигналів на основі моделі аксона та динамічного рекурентного нейрона, побудована його структурна схема та отримані графіки кореляційної згортки вихідних сигналів, які представляють собою вектори вхідних гармонічних сигналів, що розпізнаються, а також згідно запропонованого критерію оптимальності розраховані оптимізовані вагові коефіцієнти, що в порівнянні з відомими аналогами дозволило в 4 рази підвищити відношення величини головної пелюстки до максимального значення пелюстки знакової кореляційної функції.

11. Розроблена структура та схемотехніка багатоканального пристрою для обчислення знакової кореляційної функції та розрахована його часова та апаратна складність. Реалізований

асоціативний спецпроцесор з нейрокомпонентами впроваджений у системі розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних лініях електропередач.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Заведюк Т.О. Методи опрацювання гармонічних сигналів на основі спецпроцесорів з нейроподібними компонентами / Т.О. Заведюк // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Комп’ютерні науки та інформаційні технології”. – Львів. – 2013. – №751. – С. 18-28.
2. Заведюк Т.О. Самовідновлювана система передавання сигналів моделі біонейронного аксона у базисі Крестенсона / Т.О. Заведюк, Я.М. Николайчук, А.Р. Воронич // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький. – 2012. – №4. – С. 137-142.
3. Заведюк Т.О. Метод ідентифікації спотворень гармонічних сигналів на основі дискретного квадратично-імпульсного перетворення / Т.О. Заведюк, Я.М. Николайчук // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький. – 2013. – №6. – С. 130-135.
4. Николайчук Я.М. Методи спектрального косинусного перетворення Фур’є для розпізнавання сигналів у Хеммінговому просторі на основі різних кореляційних функцій та теоретико-числових базисів / Я.М. Николайчук, В.Я. Піх, Т.О. Заведюк, Н.Я. Возна // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Комп’ютерні системи та мережі”. – Львів. – 2013. – №773. – С. 121-131.
5. Николайчук Я.Н. Теория надежной и защищенной передачи данных в сенсорных и локально-региональных сетях / Я.Н. Николайчук, Б.М. Шевчук, А.Р. Воронич, Т.А. Заведюк, В.Н. Гладюк // Международный научно-теоретический журнал «Кибернетика и систем-ный анализ». – Київ. – 2014. – № 2. – С. 161–174.
6. Патент на винахід № 100263, Україна, МПК H03K5/153. Пристрій формування імпульсів / Я. М. Николайчук, Т. О. Заведюк. – Опубл. 10.12.2012; Бюл. № 23.
7. Патент на корисну модель № 70662, Україна, МПК H03K5/153, G06G 7/60. Модель аксона нейрона / Я.М. Николайчук, Т.О.Заведюк. – Опубл. 25.06.2012, Бюл. №12.
8. Патент на корисну модель № 70338, Україна, МПК G 06F 15/00. Багатоканальний пристрій для обчислення знакової функції / Я.М. Николайчук, Т.О.Заведюк, А.Р. Воронич, І.Б. Албанський. – Опубл. 11.06.2012, Бюл. №11.
9. Патент на корисну модель № 82444, Україна, МПК G06G 7/60. Модель нейрона / Я.М. Николайчук, Т.О.Заведюк. – Опубл. 12.08.2013, Бюл. №15.
10. Албанський І.Б. Спецпроцесори кореляційної обробки сигналів / І.Б. Албанський, Т.О. Заведюк // Праці міжнародного симпозіуму ”Питання оптимізації обчислень (ПОО-XXXV)”. – Київ-Кацивелі. – 2009. – Т1. – С. 8-13.
11. Заведюк Т.О. Кореляційні моделі та їх застосування для розпізнавання образів / Т.О. Заведюк // Матеріали проблемно-наукової міжгалузевої конференції “Інформаційні проблеми комп’ютерних систем, юриспруденції, економіки та моделювання (ПНМК-2009)”. – Бучач. – 2009. – №5. – С. 184-189.
12. Zavedyuk T.O. The Modelling and Investigation of the Neuronlike Processor Reaction on the Signals in the Fourier Basis / T.O. Zavedyuk // Proceedings of the 4-th International Conference “Advanced computer systems and networks (ACSN-2009)”. – Lviv. – 2009. – P. 284-286.
13. Zavedyuk T.O. Specifics of recognition of signals are on the basis of correlation neuronlike processor / T.O. Zavedyuk // Proceedings of the X-th International Conference “Modern Problems of radio engineering, telecommunications and computer science (TCSET’2010)”. – Lviv. – 2010. – p. 308.
14. Николайчук Я.М. Структура та функції рекурентного біонейрона для розпізнавання образів у Хеммінговому просторі / Я.М. Николайчук, Т.О. Заведюк // Матеріали міжнародної проблемно-наукової міжгалузевої конференції “Інформаційні проблеми комп’ютерних систем, юриспруденції, енергетики, економіки, моделювання та управління (ПНМК-2010)”. – Бучач. – 2010. – №6. – С. 37-40.
15. Заведюк Т.О. Методи опрацювання та розпізнавання інформації в кореляційних нейропроцесорах / Т.О. Заведюк // Матеріали міжнародної проблемно-наукової міжгалузевої конференції "Інформаційні проблеми комп’ютерних систем, юриспруденції, енергетики, економіки, моделювання та управління (ПНМК-2011)". – Бучач. – 2011. – №7. – С. 73-77.

16. Николайчук Я.М. Теоретичні засади побудови та структурні рішення компонентів нейропроцесорів / Я.М. Николайчук, Т.О. Заведюк //– Сборник докладов научной конференции “Информационные технологии в управлении сложными системами”. – Днепропетровск. – 2011. – С. 143-145.

17. Албанський І.Б. Теорія та алгоритми кореляційного опрацювання сигналів на основі лінійних та нелінійних операторів / І.Б. Албанський, Т.О. Заведюк, Г.Б. Корнійчук // Праці міжнародної молодіжної математичної школи ”Питання оптимізації обчислень (ПОО – XXXVII)”. – Київ-Кацивелі. – 2011. – С. 12-13.

18. Николайчук Л.М. Теорія формальних нейронів, її застосування в задачах розпізнавання образів та побудови інформаційних моделей взаємодії суб’єктів юриспруденції / Л.М. Николайчук, М.Д. Пленюк, Т.О. Заведюк // Праці міжнародної молодіжної математичної школи ”Питання оптимізації обчислень (ПОО – XXXVII)”. – Київ-Кацивелі. – 2011. – С.134-135.

19. Заведюк Т.О. Кореляційні нейропроцесори розпізнавання сигналів / Т.О. Заведюк // Матеріали проблемно-наукової міжгалузевої конференції “Юриспруденція та проблеми інформаційного суспільства (ЮПИС-2011)”. – Яремче. – 2011р. – С.86-87.

20. Zavedyuk T. Specialized data neuroprocessors and diagnostics quasisteady objects based on cluster models / T. Zavedyuk, N. Shyrmovska // Proceedings of the XIth International Conference ”The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM 2011)”. – Lviv. – 2011. – p. 181.

21. Albanskiy I. Theory, topology and building technology of multibasis specialized processors / I. Albanskiy, P. Humennyi, O. Volinskiy, T. Zavedyuk // Proceedings of the XI-th International Conference “Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science (TCSET’2012)”. – Lviv. – 2012. – p. 434.

22. Заведюк Т.О. Методи та спецпроцесори перетворення гармонічних сигналів в імпульсні потоки з особливими автокореляційними функціями / Т.О. Заведюк // Матеріали міжнародної проблемно-наукової міжгалузевої конференції "Інформаційні проблеми комп’ютерних систем, юриспруденції, енергетики, економіки, моделювання та управління (ПНМК-2012)". – Бучач. – 2012. – С. 75-78.

23. Николайчук Я.М. Функції, математичні основи та структура компонентів нейропроцесорів / Я.М. Николайчук, Т.О. Заведюк // Збірник праць міжнародної наукової конференції “Нейросітьові технології і їх застосування”. – Краматорськ. – 2012. – С.113-121.

24. Заведюк Т.О. Методи нейропроцесорного квадратично-імпульсного перетворення гармонічних сигналів та їх розпізнавання. / Т.О. Заведюк, Л.М. Николайчук // Матеріали міжнародної наукової конференції “Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCI’2013)”. – Херсон-Євпаторія. – 2013. – С. 445-447.

25. Николайчук Я.М. Структура та функції кореляційного спецпроцесора для ідентифікації та реєстрації гармонічних сигналів / Я.М. Николайчук, Т.О. Заведюк // Праці міжнародної наукової конференції “Питання оптимізації обчислень (ПОО-XL)”. – Київ-Кацивелі. – 2013. – С. 190-191.

26. Zavedyuk T. The method of detection of transients in power systems based on neural processor square-pulse conversion of harmonic signals / T. Zavedyuk, Y. Nykolaychuk // Proceedings of the 6-th International Conference “Advanced Computer Systems and Networks: Design and Application (ACSN’2013)”. – Lviv. –2013. – P. 171-172.

27. Заведюк Т.О. Метод розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних лініях електропостачання технологічних об’єктів нафтогазової промисловості / Т.О. Заведюк, Я.М. Николайчук // Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції аспірантів, молодих учених і студентів “Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості (ІТОТІ-2013)”. – Івано-Франківськ. – 2013. – С. 84-87.

28. Pikh V. Theory and special processors of spectral cosine Fourier transformation based on various correlation functions in Hamming space / V. Pikh, I. Albanskiy, T. Zavedyuk, G. Korniychuk // Proceedings of the International Conference “Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science (TCSET’2014)”. – Lviv. – 2014. – P. 677-679.

АНОТАЦІЯ

Заведюк Т.О. Асоціативні процесори кореляційного розпізнавання образів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу Міністерства освіти і науки України, Івано-Франківськ, 2014.

В дисертаційній роботі вперше розроблені методи та засоби опрацювання сигналів на основі асоціативних спецпроцесорів з використанням нейрокомпонентів, що реалізують кореляційне опрацювання в Хеммінговому просторі. Виконано аналіз структур та функцій процесорів з нейрокомпонентами на основі різних моделей нейронів. Досліджена реакція нейрона на гармонічний сигнал та виконана формалізація його вихідного імпульсного потоку.

Вперше запропонований метод квадратично-імпульсного перетворення гармонічних сигналів та досягнуто суттєве спрощення аналітики розпізнавання гармонічних сигналів. Вперше запропонований метод кореляційного опрацювання та розпізнавання сигналів з асоціативною нарощуваною пам'яттю. Вперше розроблений метод передавання інформації на основі системи залишкових класів та отримано аналітичний вираз для розрахунку початкової надлишковості модулів.

Запропонована структура пристрою реалізації методу квадратично-імпульсного перетворення гармонічних сигналів на основі додаткового введення в структуру пристрою квадратора, що дозволило зменшити структурну та апаратну складність пристрою по відношенню до відомих. Розроблена мікроелектронна модель аксона нейрона, яка у порівнянні з відомими аналогами характеризується зменшеною структурною, апаратною і часовою складністю. Розроблений спецпроцесор розпізнавання гармонічних сигналів на основі моделі аксона та динамічного рекурентного нейрона. Розроблена структура та схемотехніка багатоканального пристрою для обчислення знакової кореляційної функції та розрахована його часова та апаратна складність. Реалізований асоціативний спецпроцесор з нейрокомпонентами впроваджений у системі розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних лініях електропередач.

Ключові слова: асоціативні процесори, кореляційні функції, асоціативна пам'ять, моделі нейронів, система залишкових класів, гармонічний сигнал.

АННОТАЦИЯ

Заведюк Т.А. Ассоциативные процессоры корреляционного распознавания образов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа Министерства образования и науки Украины, Ивано-Франковск, 2014.

В диссертационной работе впервые разработаны методы и средства обработки сигналов на основе ассоциативных спецпроцессоров с использованием нейрокомпонентов, реализующих корреляционную обработку в Хемминговом пространстве. Проанализированы принципы и методы распознавания образов. Исследована структура, функции и компоненты ассоциативных процессоров, включающие модификации ассоциативной памяти. Систематизированы и исследованы характеристики корреляционных процессоров для идентификации характеристик сигналов, а также получены их сравнительные диаграммы временной и аппаратной сложности. Выполнен анализ структур и функций процессоров с нейрокомпонентами на основе различных моделей нейронов. Исследована реакция нейрона на гармоничный сигнал и выполнена формализация его выходного импульсного потока.

Впервые предложен метод квадратично-импульсного преобразования гармонических сигналов и достигнуто существенное упрощение аналітики распознавания гармонических сигналов. Разработана функциональная схема нейроподобного компонента ассоциативного процессора, который реализовывает квадратично-импульсное преобразование гармонического сигнала в импульсный поток. Впервые предложен метод корреляционной обработки и распознавания

сигналов с ассоциативной наращиваемой памятью. Впервые разработан способ передачи информации на основе системы остаточных классов и получено аналитическое выражение для расчета начальной избыточности модулей.

Предложена структура устройства реализации метода квадратично-импульсного преобразования гармонических сигналов на основе дополнительного введения в структуру устройства квадратора, что позволило уменьшить практически вдвое структурную и аппаратную сложность устройства по отношению к известным, а также достичь расширения функциональных возможностей путем упрощенного выделения особых точек гармонического сигнала. Разработана микроэлектронная модель аксона нейрона, которая по сравнению с известными аналогами характеризуется уменьшенной структурной, аппаратной и временной сложностью, на 2 порядка более высоким быстродействием, а также регулярной архитектурой, что упрощает ее микроэлектронную реализацию, в том числе на основе нанотехнологий. Разработанный спецпроцессор распознавания гармонических сигналов на основе модели аксона и динамического рекуррентного нейрона, а также согласно предложенного критерия оптимальности рассчитаны оптимизированные весовые коэффициенты, что по сравнению с известными аналогами позволило в 4 раза повысить отношение величины главного лепестка до максимального значения лепестка знаковой корреляционной функции. Разработана структура и схемотехника многоканального устройства для вычисления знаковой корреляционной функции и рассчитана его временная и аппаратная сложность. Выполнена верификация предложенного метода распознавания гармонических сигналов при скачках и коротких замыканиях в высоковольтных линиях электропередач на основе экспериментальных данных. Разработан алгоритм и программное обеспечение распознавания скачков и коротких замыканий на интервале одного периода промышленной частоты, а также структура спецпроцессора вычисления порогового значения импульсно-квадратичной функции.

Ключевые слова: ассоциативные процессоры, корреляционные функции, ассоциативная память, модели нейронов, система остаточных классов, гармоничный сигнал.

ABSTRACT

Zavedyuk T.O. Associative processors of correlation pattern recognition. – As the manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.13.05 – computer systems and components. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas of the Ministry of education and science of Ukraine, Ivano-Frankivsk, 2014.

Methods and means of processing of signals based on associative processors with the use of special neural components that implement correlation processing in Hemming space were first developed in the thesis. Structure and function of the processor with neural components based on different models of neurons were analyzed. Response of the neuron to harmonic signal was researched and initial formalization of this neuron's pulse flow was made.

Method of square-pulse conversion of harmonic signals was first proposed and significant simplification of analysts of harmonic signals' recognition was achieved. Method of correlation processing and recognition of signals with associative stackable memory was first proposed. Method of transmitting of information based on system of residual classes was first proposed and analytical expression for primary redundancy of modules was obtained.

Structure of the device which implements the method of square-pulse conversion of harmonic signals based on additional input squarer into the structure of the device was proposed, that allows reducing almost twice structural and hardware complexity of the device comparing with known devices. The developed microelectronic model of neuron's axon is characterized by reducing of structure, hardware and time complexity comparing with the known structural analogues. Special processor for recognition of harmonic signals based on model of axon and dynamic recurrent neuron was developed. The structure and circuitry of multichannel device for computing the sign of the correlation function and its temporal and hardware complexity was calculated. Associative special processor with neural components was embedded in the system of recognition of leap and short circuits in high-voltage power lines.

Keywords: associative processors, correlation functions, associative memory model neuronal system of residual classes, harmonious signal.