

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний економічний університет

АЛБАНСЬКИЙ ІВАН БОГДАНОВИЧ

УДК 681.325

**КОРЕЛЯЦІЙНІ СПЕЦПРОЦЕСОРИ ОПРАЦЮВАННЯ ЦИФРОВИХ ДАНИХ В
КОДОВИХ СИСТЕМАХ РІЗНИХ ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВИХ БАЗИСІВ**

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Тернопіль – 2013

Дисертація є рукопис.

Робота виконана у 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
Дрозд Олександр Валентинович,
Одеський національний політехнічний університет,
професор кафедри комп'ютерних інтелектуальних систем
і мереж;

доктор технічних наук, професор
Кожем'яко Володимир Прокопович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри лазерної і оптоелектронної техніки.

Захист відбудеться « 28 » листопада 2013р. о 16⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К.58.082.02 у Тернопільському національному економічному університеті за адресою: 46020, м. Тернопіль, бульв. Т. Шевченка, 9, (корпус 10, конференц-зал).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Тернопільського національного економічного університету за адресою: 46020, м. Тернопіль, вул. Бережанська, 4.

Автореферат розіслано « 28 » жовтня 2013р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради

Яцків В.В.

Актуальність теми. Спецпроцесори кореляційного опрацювання даних та цифрових інформаційних потоків знаходять широке застосування в якості перетворювачів потоків інформації, аналізаторів, фільтрів та цифрових приймачів у модемах телекомунікаційних комп'ютерних систем. Процедури цифрової згортки та кореляційного опрацювання сигналів є базовими в цифровій томографії, а також застосовуються для швидкодіючого розпізнавання зображень.

Сучасні мікроелектронні процесорні платформи, а також кристали програмовано-логічних матриць (ПЛМ) створюють необхідні умови успішної реалізації високонадійних швидкодіючих процесорів названого класу. Особливу увагу дослідників в даний час привертають алгоритми та спецпроцесори кореляційного опрацювання даних, які реалізуються в різних теоретико-числових базисах (ТЧБ): унітарному, Хаара, Радемахера, Крестенсона та Галуа.

У створення та розвиток теорії кореляційного аналізу сигналів на основі різних кореляційних функцій значний внесок зробили відомі вчені: А.Н. Колмогоров, Е.С. Вентцель, Ф.Г. Ланге, Г.Я. Мирский, Е.І. Цветков, М.Г. Серебряніков, А.А. Первозванський, Я.М. та відомі іноземні вчені R. Kenefic, J. Varchak, A. Bell, D. DeFatta. Практичну реалізацію у вигляді кореляційних спецпроцесорів та ефективно застосування в різних галузях знань та промисловості виконали: Ю.І. Грібанов, С.С. Курочкін, А.І. Золотарьов, Я.М. Николайчук, В.П. Кожемяко, О.В. Дрозд, В.П. Тарасенко, С.М. Іщеряков, А.І. Сегін, Б.М. Шевчук. Розробку та тиражування КСП займаються відомі фірми Motorola, Siemens, Analog Devices та інші.

Світова практика реалізації кореляційного аналізу базується на обчисленні близько десяти різних аналітичних функцій наступних типів: знакової, релейної, коваріаційної, кореляційної, структурної, модульної, еквівалентності та деяких інших модифікацій. Таким чином, при використанні найбільш широко застосовуваних ТЧБ: унітарного, Хаара, Радемахера та Крестенсона, для побудови спецпроцесорів кореляційного опрацювання даних на основі названих кореляційних функцій створюється можливість побудови порядку 32 різних архітектур кореляційних спецпроцесорів (КСП), системні характеристики та реалізація компонентів яких недостатньо досліджені і не відображені у спеціалізованих джерелах. При цьому реалізація компонентів структурних схем КСП може виконуватися в різних ТЧБ з метою досягнення системних характеристик, що задовільняють мінімаксним критеріям структурної, апаратної, часової, алгоритмічної та програмної складностей.

Недоліком відомих КСП є те, що переважна більшість теоретичних досліджень методів кореляційного аналізу та мікроелектронної реалізації спецпроцесорів виконуються на основі мультиплікативних функцій коваріації, кореляції та застосування ТЧБ Радемахера. Це привело до суттєвого обмеження можливостей побудови високопродуктивних КСП, в яких комплексно використовуються переваги різних ТЧБ при реалізації їх компонентів. Даний недолік можна пояснити відсутністю розробок КСП у інших ТЧБ, що дають можливість широкого застосування.

Таким чином, актуальною є задача розробки ефективних методів побудови високопродуктивних кореляційних спецпроцесорів опрацювання сигналів у різних ТЧБ, та обґрунтування системних характеристик їх програмно-апаратного виконання на основі сучасних засобів мікроелектроніки, мікропроцесорних платформ та ПЛМ.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дисертаційна робота виконана в межах наукових досліджень кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем факультету комп'ютерних інформаційних технологій Тернопільського національного економічного університету:

- “Розробка теорії та комп'ютерних засобів спеціалізованих комп'ютерних систем на основі теоретико-числових базисів Крестенсона-Галуа” (державний реєстраційний номер 0106U0125530);

- “Розробка алгоритмів функціонування захистів електропередач за коротких замикань на основі теорії кореляційних функцій” (державний реєстраційний номер 0112U008457);

- “Розробка теоретичних засад методів формування та цифрового опрацювання даних у розподілених спеціалізованих комп'ютерних системах” (державний реєстраційний номер 0112U008458).

Мета і завдання дослідження. Метою досліджень є вдосконалення відомих та розробка нових методів побудови кореляційних спецпроцесорів на основі різних кореляційних функцій та ТЧБ, проблемно-орієнтованих до різних сфер застосувань. Для досягнення мети в ході досліджень вирішувалася низка завдань, головними з яких є:

1) провести аналіз існуючого стану побудови та застосування цифрових кореляторів в інформаційних системах та обґрунтувати методи кореляційного аналізу на основі теоретичних засад дискретних функцій автокореляції та різних ТЧБ;

2) вдосконалити методи кореляційного опрацювання сигналів у базисі Радемахера;

3) розробити метод цифрового кореляційного опрацювання даних у базисі Хаара-Крестенсона;

4) розробити критерій оцінки та дослідження інформативності кореляційних спецпроцесорів на основі обчислень різних кореляційних функцій;

5) вдосконалити метод визначення знакової автокореляційної функції в унітарному теоретико-числовому базисі;

6) формалізувати методи автокореляційного опрацювання даних у базисах Радемахера, Хаара та Крестенсона;

7) розробити структурні та схемотехнічні рішення базових компонентів кореляційних спецпроцесорів;

8) розробити та розрахувати характеристики кореляційного спецпроцесора у базисі Хаара-Крестенсона;

9) розробити та реалізувати на програмовано-логічних інтегральних схемах (ПЛІС) високопродуктивного цифрового кореляційного спецпроцесора у базисі Радемахера.

Об'єкт дослідження – процеси формування та цифрового опрацювання даних в кореляційних спецпроцесорах комп'ютерних систем.

Предмет дослідження – методи та програмно-апаратні засоби цифрового кореляційного опрацювання даних, що реалізують методи кодування інформаційних потоків у різних ТЧБ.

Методи дослідження. Основні наукові результати і висновки отримано на основі теорії інформації, теорії сигналів, методів формування та цифрового кореляційного опрацювання даних, прикладної теорії цифрових автоматів, теорії

алгоритмів та результатів експериментальних досліджень. При розробці структур цифрових кореляторів застосовувалися методи аналізу і синтезу обчислювальних пристроїв та імітаційне моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

вперше розроблено:

1) метод кореляційного опрацювання даних на основі автоковаріаційної функції у базисі Радемахера шляхом виконання операції множення у процесі аналого-цифрового перетворення, формування цифрових кодів x_i , їх зсувів, отримання парних добутків $x_i \times x_j$ та їх накоплюючого сумування, який на відміну від відомих дозволяє вилучити зі структури процесорів матричні перемножувачі та зменшити часову і апаратну складність цифрових кореляторів;

2) метод цифрового кореляційного опрацювання даних у базисі Хаара-Крестенсона шляхом кодування вхідних цифрових відліків у системі числення залишкових класів ТЧБ Крестенсона та представлення залишків по модулю у базисі Хаара, який на відміну від відомих дозволяє виконати операції перемноження та сумування парних добутків поточних та зміщених цифрових даних на основі однотактних вентильних матриць і в результаті підвищити швидкодію цифрових кореляторів;

3) критерій оцінки та досліджена інформативність кореляційних спецпроцесорів, що дозволило отримати порівняльні діаграми інформативності кореляційних спецпроцесорів при застосуванні різних аналітичних виразів кореляційних функцій;

вдосконалено:

4) метод визначення знакової автокореляційної функції шляхом представлення результатів в базисі Радемахера, який на відміну від відомих дозволяє спростити алгоритм, підвищити його швидкодію, зменшити апаратну складність та розширити функціональні можливості спецпроцесора;

набула подальшого розвитку:

5) оцінка ефективності існуючих та запропонованих технологій автокореляційного опрацювання даних на основі порівняльного аналізу системних характеристик компонентів кореляційних спецпроцесорів у базисах Радемахера, Хаара та Крестенсона, що дозволило обґрунтувати ефективність їх застосування в мультимедійних процесорах кореляційного аналізу.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані результати є основою для побудови високоефективних програмно-апаратних засобів цифрового кореляційного опрацювання сигналів на основі різних ТЧБ.

Практична значущість дисертаційної роботи полягає в наступному:

1. Розроблені структурні та схемотехнічні рішення аналого-цифрового перетворювача (АЦП), регістрів зсуву, цифрових перемножувачів та накопичуючих суматорів у різних ТЧБ, що дозволило на один, два порядки покращити системні характеристики часової та апаратної складності процесорів.

2. Розроблені кореляційні спецпроцесори рекурентного та паралельного типу у базисі Радемахера та Крестенсона, що дозволило підвищити їх швидкодію за рахунок розпаралелення операцій аналого-цифрового перетворення та зсуву цифрових даних в багаторозрядних регістрах, а також вилучити зі складу кореляторів матричні перемножувачі.

3. Розроблені структури та схемотехнічні рішення високопродуктивних цифрових кореляційних спецпроцесорів у базисах Радемахера, Хаара та Крестенсона, що дозволило покращити характеристики їх апаратної та часової складності і розширити функціональні можливості засобів цифрового кореляційного опрацювання даних.

4. Реалізовано VHDL – проект спецпроцесора кореляційного опрацювання даних на основі коваріаційної функції у базисі Радемахера, який дає змогу зменшити на 40% апаратну складність та в 2-5 разів підвищити швидкодію у залежності від числа рівнів квантування вхідних сигналів.

Використання результатів. Теоретичні і практичні результати дисертаційної роботи використано і впроваджено: у кафедральній науково-дослідницькій роботі “Розробка теорії та комп’ютерних засобів спеціалізованих комп’ютерних систем на основі теоретико-числових базисів Крестенсона-Галуа” (державний реєстраційний номер 0106U0125530); у навчальний процес кафедри спеціалізованих комп’ютерних систем Тернопільського національного економічного університету при вивченні дисциплін “Комп’ютерна логіка”, “Цифрова обробка сигналів та зображення”, “Теорія джерел інформації”, “Спецпроцесори в різних теоретико-числових базисах” (для студентів спеціальностей 8.05010203 – “Спеціалізовані комп’ютерні системи” та 8.05010201 – “Комп’ютерні системи та мережі”); у ТОВ “Енеркон” (м. Київ) при побудові телекомунікаційної системи контролю витoku та несанкціонованого доступу на об’єкті АТ “Прикарпаттранснафто-продукт” для перекачуваних нафтопродуктів.

Практичну цінність одержаних результатів підтверджують відповідні акти впроваджень.

Особистий внесок здобувача. Основний зміст роботи, всі теоретичні та практичні результати, висновки і дослідження, які представлено до захисту, одержані автором самостійно. Роботи [1, 2, 10, 11, 12, 13, 15] опубліковано самостійно. У друкованих працях і публікаціях у співавторстві автору належить: [3] - запропоновано використання різних кореляційних функцій для реалізації алгоритму визначення ентропії джерел інформації; [4] - систематизовані характеристики автокореляційних функцій; [5] - запропонований критерій оцінки системних характеристик кореляційного спецпроцесора; [6] - запропонована структура знакового цифрового корелятора в унітарному ТЧБ; [7] - запропоновано розпаралелення процесів аналого-цифрового перетворення; [8] – запропоновано структура АЦП в базисі Хаара-Крестенсона; [9] – виконаний аналіз характеристик компонентів та архітектур цифрових кореляторів; [14] - систематизовані різні аналітичні вирази дискретних автокореляційних функцій та визначена їх асимптотика; [16] - розроблений критерій інформативності кореляційних функцій; [17] - виконані теоретичні дослідження алгоритмів обчислення різних кореляційних функцій; [18] - отримані аналітичні вирази оцінки швидкодії алгоритмів обчислення кореляційних функцій у базисах Радемахера, Крестенсона та Галуа; [19] - проаналізовані характеристики апаратної та часової складності багаторозрядних регістрів зсуву у базисах Радемахера, Хаара, унітарному та Крестенсона.

Апробація результатів дисертації. Наукові та практичні результати роботи доповідалися і обговорювалися на конференціях та семінарах: міжнародному симпозіумі “Питання оптимізації обчислень” (ПОО -XXXV). - Київ. – 2009р., 2011р.;

проблемно-науковій міжгалузевій конференції “Інформаційні проблеми комп’ютерних систем, юриспруденції, енергетики, економіки, моделювання та управління” (ПНМК). - Бучач, 2009р., 2010р., 2011р., 2012р.; міжнародній конференції “Сучасні комп’ютерні системи та мережі: розробка та використання” (ACSN-2009). – Львів, 2009р.; міжнародній конференції “Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікації, комп’ютерної інженерії” (TCSET’). - Львів-Славсько, 2010р., 2012р.; XI-th International conference “The experience of designing and application of CAD systems in micro-electronics”. - Lviv, 2011; проблемно-науковій міжгалузевій конференції “Юриспруденція та проблеми інформаційного суспільства” (ЮПС - 2011), - Івано-Франківськ-Яремче, 2011р.

Публікації. Результати дисертаційної роботи в повному обсязі опубліковані у 19 друкованих працях автора, з них 5 наукових статей у фахових виданнях (в тому числі - 2 статті одноосібні), 3 патенти України на корисну модель та 11 матеріалів доповідей на науково-технічних конференціях.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 190 сторінок, з яких 148 сторінок основного тексту, що містить 81 рисунки та 27 таблиць. Список використаних джерел поданий на 13 сторінках і містить 131 найменування. Додатки на 19 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** проведений аналіз існуючого стану розробок та застосування цифрових кореляторів в інформаційних комп’ютеризованих системах. Викладені теоретичні засади кореляційного аналізу сигналів в інтегральному вигляді. Проаналізовані характеристики обчислювальної складності алгоритмів визначення автокореляційних функцій у випадку представлення цифрових відліків вхідних сигналів x_i , x_{i+j} у двійковій системі числення ТЧБ Радемахера.

Виконана систематизація характеристик базових компонентів цифрових кореляторів, включаючи АЦП, багаторозрядні регістри зсуву, перемножувачі та накоплюючі суматори. Визначені критерії складності компонентів спецпроцесорів кореляційного опрацювання сигналів, які характеризують часову, апаратну, структурну та алгоритмічну складності згідно SH – моделей, розроблених професором Черкаським М.В.

Показано, що реалізація компонентів цифрових кореляторів має різну складність в залежності від ТЧБ. Систематизовані характеристики ортогональних функції теоретико-числових базисів, які можуть бути ефективно застосовані при створенні цифрових кореляторів. Показано, що перспективними ТЧБ для реалізації компонентів цифрових кореляторів є: унітарний, Хаара, Радемахера та Крестенсона. Виконана постановка дослідження.

Класифіковані та систематизовані системні характеристики і асимптотика дискретних кореляційних функцій (таблиця 1).

Кореляційні функції	
<p>Знакова:</p> $H_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{sign}^0(x_i) \cdot \text{sign}^0(x_{i+j}) \cdot$ <p>Асимптотика:</p>	<p>Релейна:</p> $B_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \cdot \text{sign}^0(x_{i+j}) \cdot$ <p>Асимптотика:</p>
<p>Коваріаційна:</p> $K_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \cdot x_{i+j} \cdot$ <p>Асимптотика:</p>	<p>Кореляційна:</p> $R_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \cdot x_{i+j} \cdot$ <p>Асимптотика:</p>
<p>Нормована кореляційна:</p> $\rho_{xx}(j) = \frac{R_{xx}(j)}{D_x}$ <p>Асимптотика:</p>	<p>Структурна:</p> $C_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{i+j})^2 \cdot$ <p>Асимптотика:</p>
<p>Модульна:</p> $G_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i - x_{i+j} \cdot$ <p>Асимптотика:</p>	<p>Еквівалентності:</p> $F_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tilde{Z}_{xx} \cdot$ <p>Асимптотика:</p>

Аналіз аналітичних виразів кореляційних функцій, які подані в таблиці 1 свідчить, що найменшою алгоритмічною складністю характеризується функція еквівалентності $F_{xx}(j)$, в якій в якості базисної операції згортки використовується операція порівняння модульних значень x_i, \dots, x_{i+j} та сумування менших з них.

У другому розділі проведені дослідження системних характеристик компонентів КСП у різних ТЧБ. Обчислення кореляційних функцій спецпроцесорами у ТЧБ Радемахера найбільшого поширення отримало на основі паралельної базової архітектури, яка у формалізованому вигляді представлена на рисунку 1. На основі систематизації характеристик та критеріїв складності КСП, встановлено наступні базові компоненти: АЦП, багаторозрядні регістри зсуву (БРЗ), квадратори, пристрої

перемноження, накоплюючі суматори та шифратори, які можуть реалізовуватися в різних ТЧБ, що дозволило диференціювати оцінки часової та апаратної складності названих компонентів, а також виконати їх порівняльний аналіз в залежності від діапазону квантування вхідних цифрових даних, об'єму вибірки та числа точок кореляційної функції.

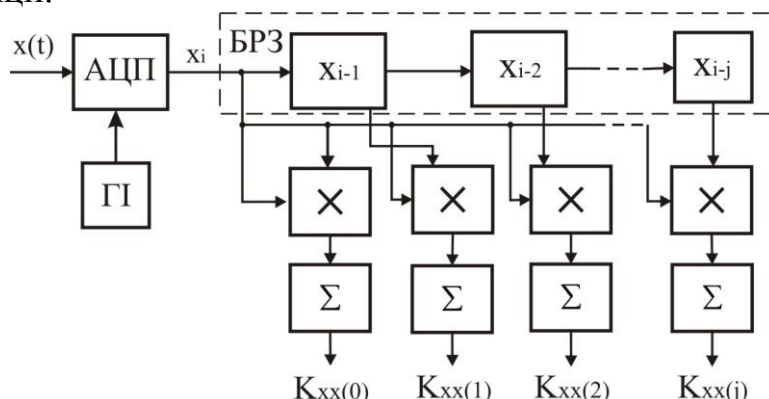


Рисунок 1 - Формалізована архітектура цифрового корелятора

Викладені теоретичні основи кореляційного опрацювання сигналів, які охоплюють вісім аналітичних виразів для розрахунку автокореляційної функції та чотири ТЧБ, що дозволяє реалізувати 32 класифікованих типи спецпроцесорів (таблиця 2). Систематизація архітектури процесорів кореляційного опрацювання даних та характеристик складності SH - моделі дозволяє оцінити критерії граничних системних характеристик такого класу спецпроцесорів, в тому числі процесорів:

- з максимальною швидкодією;
- з мінімальною апаратною, часовою та структурною складністю.

Таблиця 2 - Монобазисні спецпроцесори на основі класифікованих різних кореляційних функцій та ТЧБ

ТЧБ	Дискретні автокореляційні функції							
	$H_{xx}(j)$	$B_{xx}(j)$	$K_{xx}(j)$	$R_{xx}(j)$	$\rho_{xx}(j)$	$C_{xx}(j)$	$G_{xx}(j)$	$F_{xx}(j)$
Унітарний (U)	UH	UB	UK	UR	U ρ	UC	UG	UF
Хаара (H)	HH	HB	HK	HR	H ρ	HC	HG	HF
Радемахера (R)	RH	RB	RK	RR	R ρ	RC	RG	RF
Крестенсона (K)	KH	KB	KK	KR	K ρ	KC	KG	KF

Системні характеристики кореляційних спецпроцесорів описуються функціоналом у вигляді кортежу:

$$S_x = F(W, k, n, m, \Delta, V, M), \quad (1)$$

де W – тип кореляційної функції, k – розрядність АЦП, n – об'єм вибірки, m – число точок кореляційної функції, Δ - точність обчислень, V – швидкодія, M – об'єм пам'яті.

Викладена оцінка ефективності існуючих та запропонованих технологій автокореляційного опрацювання даних на основі порівняльного аналізу системних характеристик компонентів кореляційних спецпроцесорів у ТЧБ Радемахера, Хаара та Крестенсона, що є базовою теоретичною основою для вдосконалення даного класу процесорів з метою їх проблемної орієнтації та досягнення мінімаксних характеристик.

В результаті виконаного дослідження апаратної та часової складності структурних схем мікроелектронних компонентів КСП встановлено (таблиця 3):

1) максимальною апаратною складністю характеризуються паралельні АЦП, цифрові перемножувачі та накоплюючі суматори;

Таблиця 3 - Системні характеристики структурних схем мікроелектронних компонентів КСП

Часова складність	Апаратна складність
АЦП	
<p>(S1-АЦП розгортуючого типу (U – Унітарний), S2-АЦП розгортуючого типу (Н – Хаара), S3-АЦП розгортуючого типу (С – Крестенсона), S4-АЦП розгортуючого типу паралельний (Н – Хаара), S5-АЦП порозрядного зрівноваження (R – Радемахера), S6-Паралельний АЦП (R – Радемахера), S7-Паралельний АЦП (Н – Хаара))</p>	
БРЗ	
<p>Часова складність буде однакою і дорівнюватиме тривалості переключення тригера 2ЛЕ (ЛЕ – логічний елемент)</p>	
Перемножувач	
Суматор	

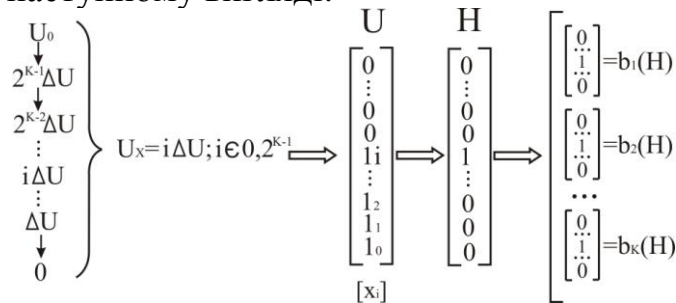
2) мінімальною апаратною складністю характеризуються АЦП розгортуючого типу, БРЗ для обчислення знакових кореляційних функцій та перемножувачі кодів унітарного ТЧБ;

3) найбільш компромісні характеристики часової та апаратної складності мають АЦП послідовного наближення, накоплюючі суматори на основі лічильників та матричні суматори по модулю;

4) мінімальну часову складність мають паралельні АЦП у базисі Хаара та Хаара-Крестенсона, БРЗ та синхронні лічильники.

Отримані результати дослідження є системною основою для створення та проектування мультибазисних КСП, які забезпечують одночасне зниження їх апаратної та часової складності.

Розроблено метод аналого-цифрового перетворення сигналів мультибазисного АЦП Хаара-Крестенсона, що ґрунтується на перетворенні аналогових сигналів у паралельний код Хаара з додатково доповненим компонентом графа перетворення Хаара-Крестенсона у наступному вигляді:



Функціональною перевагою такого АЦП є можливість суттєвого зменшення апаратної та часової складності пристроїв множення та накоплюючих суматорів матричного типу, які виконують операції множення та сумування за один такт, а їх реалізація виконується на вентильних матрицях, що забезпечує суттєве зменшення апаратної складності цифрових кореляторів у базисі Хаара-Крестенсона.

У **третьому розділі** розроблено методи цифрового опрацювання даних на основі різних кореляційних функцій та ТЧБ. Виконана формалізація запропонованих методів обчислення знакової, коваріаційної функції автокореляції в ТЧБ Радемахера, Хаара-Крестенсона та унітарному.

Вперше розроблений та формалізований метод визначення коваріаційної функції кореляції шляхом розпаралелення виконання операцій АЦП, перемноження та їх сумування в накоплюючих суматорах, що дозволило вилучити зі складу кореляційного процесора апаратно-складні та низькошвидкісні операційні пристрої перемноження і покращити характеристики процесорів. В основу методу покладений принцип розпаралелення виконання функцій аналого-цифрового перетворення вхідних сигналів, формування цифрових кодів x_i , їх зсувів, отримання парних добутоків $x_i \cdot x_{i+j}$ та їх накоплюючого сумування S_j . Розроблений метод представлений у вигляді графа функціоналів:

$$F_k \Rightarrow \left\{ \begin{array}{c} F_1[x_i] \\ F_2[x_i \cdot 2^k] \\ F_3[S_j] \end{array} \right\} \Rightarrow F_4(S_j) \Rightarrow F_5(S_j/n) \Rightarrow K_{xx}(j),$$

де F_1 – перетворення аналогового сигналу в цифровий шляхом порозрядного зрівноважування та формування біт-орієнтованого коду цифрового значення x_i у базисі Радемахера; F_2 – формування компонентів добутоків $x_i \cdot 2^k$ шляхом їх зсуву у бік старших розрядів; F_3 – виконання операції сумування компонентів парних добутоків $x_i + x_j$ для всіх точок кореляційної функції; F_4 – накоплююче сумування добутоків $P_{i,j}$ в

комбінаційному або лінійному накоплюючому суматорі $S_j = \sum_{i=1}^n P_{i,j}$; F_5 - ділення отриманої суми S_j на об'єм вибірки n , яке виконується шляхом відкидання молодших розрядів коду S_j (у вигляді $(s_{n-1}, \dots, s_j, \dots, s_0)$).

Розробка даного методу є основою для побудови структури спецпроцесора визначення коваріаційної функції з глибоким розпаралеленням обчислюваних операцій та практичним вилученням зі складу процесора базового модуля цифрового перемножувача. Дослідження апаратної та часової складності кореляційних процесорів створюваного класу викладено у четвертому розділі роботи.

Вперше розроблений та формалізований метод визначення коваріаційної функції кореляції шляхом розпаралелення процесу аналого-цифрового перетворення та застосування теорії модульних операцій у базисі Хаара-Крестенсона шляхом представлення залишків по взаємно простих модулях у кодовій системі Хаара-Крестенсона і виконання арифметичних операцій матрично-модульним способом, що дозволило на 1-2 порядки зменшити часову складність процесорів та знизити їх апаратну складність.

В основу даного методу покладено математичний апарат ТЧБ Крестенсона, який породжує систему числення залишкових класів. Перевагою кодової системи базису Крестенсона є можливість розпаралелення виконання операцій множення та сумування у системі взаємно простих модулів згідно теоретичних засад цілочисельного перетворення залишкових класів.

Формалізація методу обчислення коваріаційної функції описується моделлю у вигляді розгалуженого графа:

$$F_K = F_1[x_i(H)] \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} F_2[b_{1i}(H-C)] \Rightarrow F_3[p_{1i}(H-C)] \Rightarrow F_4[S_{1i}(H-C)] \\ F_2[b_{2i}(H-C)] \Rightarrow F_3[p_{2i}(H-C)] \Rightarrow F_4[S_{2i}(H-C)] \\ \dots \Rightarrow \dots \Rightarrow \dots \\ F_2[b_{vi}(H-C)] \Rightarrow F_3[p_{vi}(H-C)] \Rightarrow F_4[S_{vi}(H-C)] \end{array} \right\} \Rightarrow F_5[N_j(R)] \Rightarrow K_{xx}(j),$$

де F_1 – аналого-цифрове перетворення $x(t)$ в код x_i базису Хаара $x_i(H)$; F_2 – перетворення $x_i(H)$ у системі взаємно простих модулів (p_1, p_2, \dots, p_v) у залишки кодової системи Хаара $b_i \cup(H) = \text{res } x_i(H) \text{ mod } p_v$ для всіх модулів p_v ; F_3 – формування залишків добутків $P_v(H) = \text{res } b_{iv}(H) \cdot b_{i+j}(H) \text{ mod } p_v$; F_4, F_5 – виконання зворотнього цілочисельного перетворення систем залишкових класів ТЧБ Крестенсона $N_j(H-C \rightarrow R)$.

За рахунок обчислення коваріаційної функції на основі представлення цифрових відліків x_i та x_{i-j} базису Хаара-Крестенсона системи залишкових класів реалізуються однотактні перемноження та сумування кодів залишків у вентильних матрицях, що забезпечує максимально високу швидкодію автокорелятора.

Вдосконалено метод обчислення знакової функції автокореляції в унітарному ТЧБ, в результаті чого встановлена послідовність виконання функцій формування центрованих та знакових цифрових даних, які опрацьовуються в названих кореляторах, що дозволило дослідити та оцінити потенціальні характеристики часової та апаратної складності реалізації спецпроцесорів на основі даного методу.

В основу методу покладено обчислення знакової кореляційної функції (таблиця 1), що описується математичною моделлю у вигляді конвеєрного функціоналу:

$$F_H = F_1[x_i] \Rightarrow F_2[M_x] \Rightarrow F_3[x_i] \Rightarrow F_4[\text{sign } x_i] \Rightarrow F_5[M_j(\text{sign } x_i \cdot \text{sign } x_{i+j})] \Rightarrow F_6[S_j] \Rightarrow H_{xx}(j),$$

де F_1, \dots, F_6 – відповідно формалізований опис обчислення знакової кореляційної функції у вигляді послідовності виконання операцій:

F_1 - аналого-цифрове перетворення вхідних сигналів $x(t)$ у цифрові двійкові коди базису Радемахера [90]:

$$\{x_i\} = \overset{\vee}{E}\left[\frac{x(t)}{\delta}\right] = (a_{i,k-1}, a_{i,k-2}, \dots, a_{i,0}), \quad a \in \overline{0,1}, \quad i \in \overline{1, n+m},$$

де $x(t)$ – аналоговий вхідний сигнал; δ - крок квантування вхідних сигналів по амплітуді АЦП у базисі Радемахера; $\overset{\vee}{E}[\bullet]$ - цілочисельна функція з заокругленням до меншого цілого; k – розрядність паралельного АЦП; $n+m$ – об'єм вибірки; m – число точок знакової автокореляційної функції,

F_2 - визначення вибіркового математичного сподівання масиву даних $\{x_i\}$:

$$M_x = \frac{1}{n+m} \sum_{i=1}^n x_i, \quad i \in \overline{1, n+m},$$

F_3 - формування масиву центрованих значень цифрових даних x_i :

$$\{x_i^0\} = \{x_i - M_x\}; \quad i \in \overline{1, n+m},$$

F_4 - формування масиву знакових центрованих значень цифрових даних:

$$x_i \{sign^0 x_i\} = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_i, \dots, Z_n\}, \quad \text{де } Z_i = \begin{cases} 1, x_i^0 \geq 0 \\ -1, x_i^0 < 0 \end{cases}; \quad i \in \overline{1, n+m},$$

F_5 - формування матриці масиву добутоків поточних та затриманих на j тактів

цифрових даних: $\{P_{i,j}\} = \{sign^0 x_i \cdot sign^0 x_{i+j}\} = \begin{pmatrix} P_{1,0} & P_{1,1} & \dots & P_{1,j} & \dots & P_{1,m} \\ P_{2,0} & P_{2,1} & \dots & P_{2,j} & \dots & P_{2,m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{i,0} & P_{i,1} & \dots & P_{i,j} & \dots & P_{i,m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n,0} & P_{n,1} & \dots & P_{n,j} & \dots & P_{n,m} \end{pmatrix},$

$$\text{де } p_{i,j} = \begin{cases} 1, sign^0 x_i \wedge sign^0 x_{i+j} \geq 0 \\ -1, sign^0 x_i > 0 \wedge sign^0 x_{i-j} < 0 \vee sign^0 x_i < 0 \wedge sign^0 x_{i-j} > 0 \end{cases},$$

F_6 - накоплююче сумування знакозмінних бітів парних добутоків $p_{i,j}$:

$$S_j = \sum_{i=1}^n P_{i,j},$$

де S_j – отримується шляхом сумування $p_{i,j}$ в реверсивному двійковому лічильнику згідно алгоритму $L_{R,j} := 0$; $L_{R,j} = L_{R,j} + p_{i,j}$, $i \in \overline{1, n}$, в результаті якого формується код $(S_z, S_{\log_2 n-1}, \dots, S_l, \dots, S_0)$; $S_l \in \overline{1,0}$; S_z - біт знаку точки релейної функції.

Таким чином, встановлено, що метод обчислення знакової кореляційної функції реалізується шляхом послідовного виконання шести функціональних операцій, характеризується конвеєрною залежністю кожної наступної операції по відношенню до попередньої. Найбільш алгоритмічно складними операціями є

функціонали обчислення вибіркового математичного сподівання, центрованих значень та виконання порогових знакових операцій.

Вперше розроблений критерій оцінки та досліджена інформативність алгоритмів обчислення різних кореляційних функцій шляхом визначення відношення числа ненульових компонентів парних добутків $x_i \cdot x_{i+j}$ до їх загального числа у вибірці вхідних цифрових даних, що дозволило побудувати порівняльні діаграми даної оцінки і обґрунтувати переваги інформативності функції еквівалентності, релейної та коваріаційної по відношенню до інших відомих функцій кореляцій.

Оцінка інформативності цифрових алгоритмів кореляційних функцій (див. таблицю 1) здійснюється виявленням нулів в масивах дискретних даних, що впливає на характеристики інформативності та результат цифрового кореляційного опрацювання дискретних відліків на основі різних алгоритмів обчислення кореляційних функцій.

З метою виконання аналізу інформативності дискретних алгоритмів обчислень кореляційних функцій доцільно використати наступні оцінки:

1) Число нульових елементів в решітчатій функції центрованих або трансформованих значень відліків x_i , які приводять до зниження інформативності:

$$N_0[W_{xx}(j)] \leq 2i, Z_i = 0, i \in \overline{1, n},$$

де $Z_i = (x_i \overset{0}{\vee} x_i \overset{0}{\vee} \text{sign } x_i \overset{0}{\vee} Z_i)$; $W_{xx}(j)$ – одна з автокореляційних функцій.

2) Число елементів у вибірці дорівнює числу i – тих значень не трансформованих або трансформованих цифрових відліків випадкового процесу:

$$N_0 = i, Z_i = 0, i \in \overline{1, n}, Z_i = (x_i \overset{0}{\vee} x_i \overset{0}{\vee} \text{sign } x_i \overset{0}{\vee} Z_i),$$

де Z_i – трансформоване значення x_i у виразі кореляційної функції; x_i – центроване значення випадкового процесу; $\text{sign } x_i$ – знакова функція центрованих значень; Z_i – значення "менше з двох" процесів.

При чому:

- число нульових елементів в алгоритмі обчислення кореляційних функцій різних типів відповідає нерівності $N_{ij} \leq 2i$;

- число трансформованих значень вибірки випадкового процесу $N_T = 2N_0$;

- відносне число нульових V_0 та трансформованих V_m елементів в обчисленні кореляційної функції до числа n об'єму вибірки:

$$V_0 = \frac{N_0}{n}, V_m = \frac{N_0}{m}, V_{0T} = \frac{N_T}{n}, V_{mT} = \frac{N_T}{m},$$

звідки інформативність кореляційного процесора можна оцінити за формулами:

$$k_i = n(N_0 + N_T), k_i = \frac{N_0}{n}, k_i^* = 1 - (V_0 + V_T),$$

де k_i – виражає втрату інформативності, обумовлену загальною кількістю нульових елементів в алгоритмі обчислення кореляційної функції при заданому об'ємі вибірки n ; m – число точок окреляційної функції; k_i^* – нормований коефіцієнт інформативності, інваріантний відносно об'єму вибірки; N_0 – число нульових елементів у вибірці; N_T – число трансформованих значень вибірки випадкового процесу.

На діаграмі рисунку 2 приведена інформативність кореляційних функцій.

розглянутих

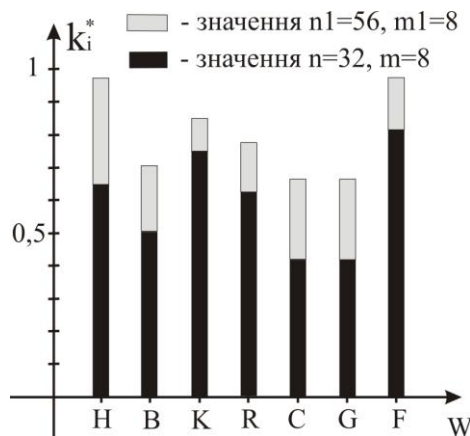


Рисунок 2 - Діаграма інформативності різних алгоритмів обчислення

кореляційних функцій (n – об'єм вибірки, m – число точок кореляційної функції)

Приведені результати дослідження показують, що алгоритми обчислення кореляційної функції характеризуються різною інформативністю, що дозволяє встановити сфери їх застосування в якості компонентів комп'ютерних систем та спецпроцесорів спеціалізованих систем. Висока оцінка ефективності алгоритмів обчислення знакової та нормованої кореляційної функції забезпечує їх ефективне застосування для побудови процесорів спектрального аналізу, та кореляційної функції еквівалентності визначає особливу перспективу її застосування в якості кореляційних та спектральних спецпроцесорів, а також цифрових аналізаторів у Хемінговому просторі.

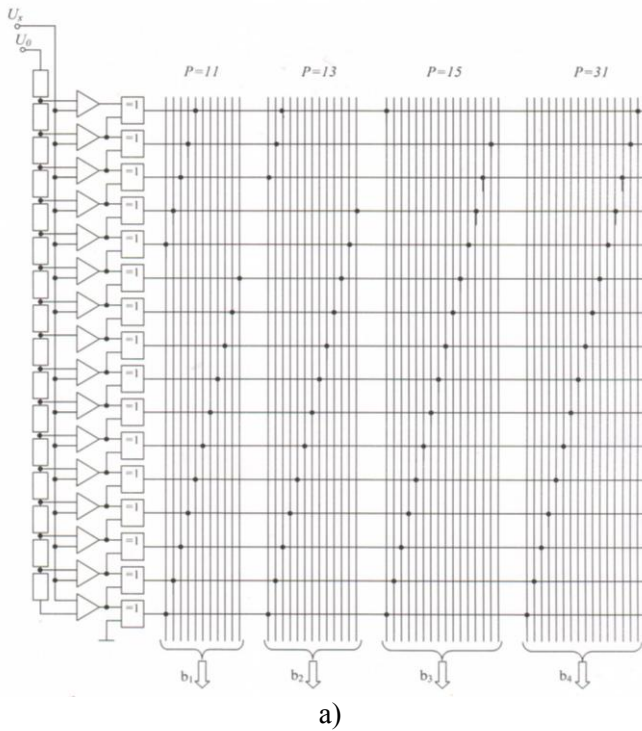
У **четвертому розділі** реалізовано компоненти КСП та опрацювання цифрових даних на низових рівнях комп'ютерних систем. На базі запропонованих у третьому розділі методів розроблено та реалізовано компоненти та структури КСП.

Розроблено АЦП та архітектуру КСП у базисі Хаара-Крестенсона з діапазоном квантування вхідних цифрових даних $2^K=16$, $K=4$ і об'ємом вибірки $n=256$. Наприклад, для набору взаємопростих модулів (P_1, P_2, \dots, P_k) , добуток яких найменше перевищує суму добутків максимальних значень $x_i \cdot x_{i-j}$, тобто

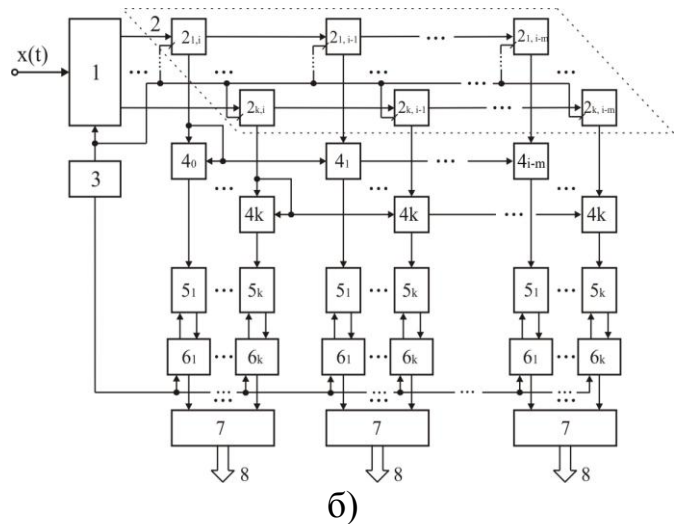
$$\prod_{i=1}^k P_i \geq \sum_{i=1}^{256} x_i \max \cdot x_{i-j} \max, \quad x_i \max = 2^4 - 1 = 15, \quad \text{отже} \quad \sum_{i=1}^{256} 15^2 = 57600.$$

Таким чином, умові даного АЦП відповідає набір взаємопростих модулів: $p_1=11, p_2=13, p_3=15, p_4=31$. Їх добуток рівний $P=11 \cdot 13 \cdot 15 \cdot 31=66495$, що задовільняє діапазон кодування чисел в системі залишкових класів. Структура АЦП для формування вихідних кодів Хаара-Крестенсона для обраного набору модулів має вигляд, показаний на рисунку 3 а), спецпроцесор в ТЧБ Хаара-Крестенсона, що включає АЦП, суматор та перемножувач на основі вентильних матриць, представлений на рисунку 3 б).

Швидкодія автокорелятора не залежить від розрядності АЦП – K , об'єму вибірки – N та числа каналів автокорелятора – M . Матриці модульного перемножувача та суматора реалізуються на основі типових ПЛМ. Таким чином, наприклад, при тактовій частоті спрацювання мікроелектронних вентилів 100 МГц тактова частота виконання операції додавання та множення у класичному кореляторі буде приблизно у 100 разів нижчою, що підтверджує низьку швидкодію класичного корелятора, який працює у двійковій системі числення.



а)



б)

1- АЦП паралельного типу з вихідним кодом базису Хаара, 2 – блок пам'яті, 3 – генератор імпульсів, 4 – вентильні матриці перемноження по модулю, 5 – вентильні матриці сумування по модулю, 6 – регістр пам'яті, 7 – шифратор

Рисунок 3 - Структура аналого-цифрового перетворювача (а), структура спецпроцесора в ТЧБ Хаара-Крестенсона (б)

На основі запропонованого методу у третьому розділі розроблена структура та досліджені технічні характеристики компонентів високопродуктивного спецпроцесора визначення функції коваріації у ТЧБ Радемахера, в якому відсутні апаратно складні пристрої цифрового множення та розпаралелені операції аналого-цифрового перетворення зсуву даних обчислення добутків цифрових відліків та їх сумування в накоплюючих суматорах, що дозволило зменшити на 40% апаратну складність та в 2-5 разів підвищити швидкодню у залежності від числа рівнів квантування вхідних сигналів (рисунок 4).

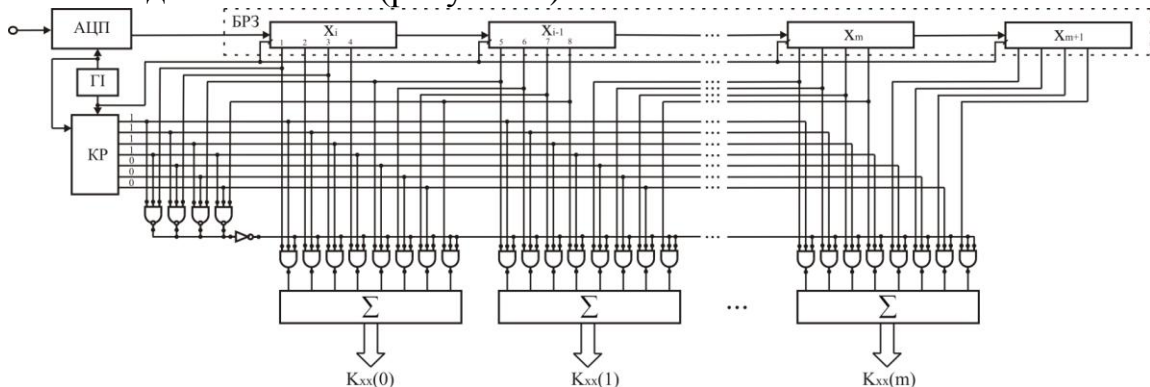


Рисунок 4 - Структурна схема кореляційного процесора на мікроелектронних елементах (АЦП – аналого-цифровий перетворювач, ГІ – генератор імпульсів, КР – комутаційний регістр, БРЗ – багаторозрядний регістр зсуву, Σ - суматор)

За рахунок обчислення коваріаційної функції вдосконаленим багатоканальним цифровим корелятором підвищується його швидкодня порівняно з класичним (див. рисунок 1), оскільки операції множення виконуються синхронно з формуванням бітів, починаючи зі старшого, на виході АЦП послідовного наближення, тобто замість 2^k тактів обчислення класичному методі, а за k тактів у розробленому методі, розширення функціональних можливостей досягається шляхом додаткового визначення, крім дисперсії, математичного сподівання випадкового процесу.

Порівняльна характеристика запропонованих та класичного кореляційних спецпроцесорів опрацювання цифрових даних представлена на діаграмі рисунку 5, з якої видно, що оптимальним корелятором з мінімальною апаратною складністю і максимальною швидкістю є кореляційний спецпроцесор для обчислення коваріаційної функції у базисі Хаара-Крестенсона.

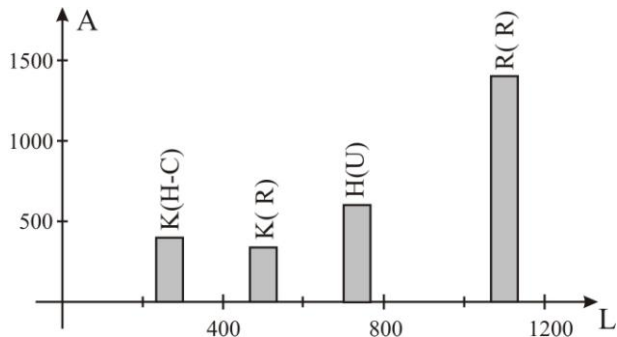


Рисунок 5 - Порівняльна діаграма характеристик апаратної (A) та часової (L) складностей кореляційних спецпроцесорів

На основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблена архітектура та схемотехнічні рішення кореляційного спецпроцесора (див. рисунок 4), реалізовано на основі VHDL – технології (цільовою елементною базою реалізації є Xilinx Spartan-3AN Starter Kit, середовищем реалізації Xilinx Ise 10.3) і впроваджено в технологічному обладнанні для промислового вирішення задачі діагностування витоків у магістральних продуктопроводах (рисунок 6).

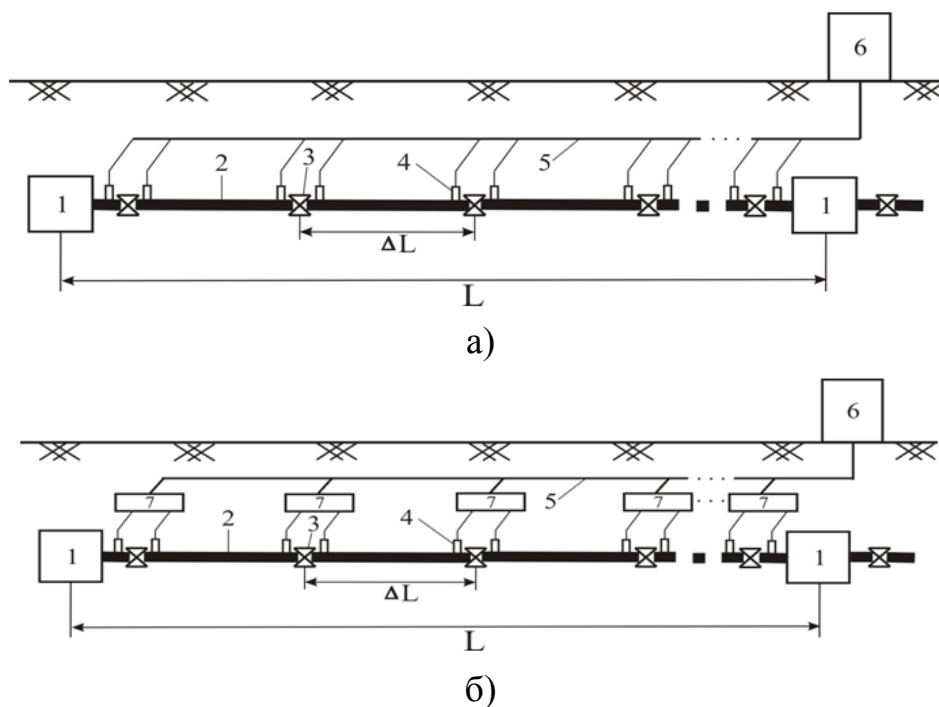


Рисунок 6 - Структура технологічного обладнання комп'ютеризованої системи діагностування витоків на основі кореляційних спецпроцесорів (а) структура базової системи, б) структура пропонованої системи):

1 - ПНП (перекачуюча насосна станція), 2 – магістральний продуктопровід, 3 – дистанційно керована засувка, 4 – сенсор тиску, 5 – кабель ліній зв'язку, 6 – сервер диспетчерського пункту, 7 – високопродуктивний кореляційний спецпроцесор.

У результаті впровадження розроблених методів та створених кореляційних спецпроцесорів досягнуто двократне підвищення інформативності кореляційного опрацювання сигналів сенсорів за рахунок застосування найбільш інформативної кореляційної функції коваріації та підвищення на один порядок швидкодії

опрацювання даних та виявлення витоків в магістральних продуктопроводах. Це значно знизило економічні втрати, обумовлені низькою швидкістю кореляційного опрацювання даних в діючих промислових системах, не оснащених кореляційними спецпроцесорами.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну задачу розробки спецпроцесорів та методів обчислення кореляційних функцій на основі різних ТЧБ. При цьому отримані наступні результати.

1. Виконана систематизація дискретних кореляційних функцій, проаналізована їх аналітика та асимптотика, а також системні характеристики існуючих кореляційних процесорів, в результаті показано, що кореляційні процесори можуть бути реалізовані на основі різних аналітичних виразів кореляційних функцій з різними системними характеристиками часової, апаратної, структурної складності та інформативністю.

2. Формалізовані та досліджені методи аналого-цифрового перетворення сигналів у різних ТЧБ та запропонований новий метод побудови мультибазисного АЦП у базисі Хаара-Крестенсона, який характеризується мінімальною часовою складністю, а представлення цифрових даних у кодовій системі Хаара-Крестенсона забезпечує максимальне зменшення часової складності базових компонентів КСП цифрових перемножувачів на накоплюючих суматорах і знизити їх апаратну складність шляхом виконання операцій множення та сумування по модулю.

3. Виконана формалізація методів обчислення знакової та релейної функції автокореляції в унітарному ТЧБ, в результаті чого встановлена послідовність виконання функцій формування центрованих та знакових цифрових даних, які опрацьовуються в названих кореляторах, що дозволило дослідити та оцінити потенціальні характеристики часової та апаратної складності реалізації спецпроцесорів на основі даних методів.

4. Розроблений та формалізований метод визначення коваріаційної функції кореляції шляхом розпаралелення виконання операцій аналого-цифрового перетворення зсуву даних, перемноження та їх сумування в накоплюючих суматорах, що дозволило вилучити зі складу кореляційного процесора апаратно складні та низькошвидкісні операційні пристрої перемноження і покращити характеристики процесорів.

5. Розроблений та формалізований метод визначення коваріаційної функції кореляції шляхом розпаралелення процесу аналого-цифрового перетворення та застосування теорії модульних операцій у базисі Хаара-Крестенсона шляхом представлення залишків по взаємно простих модулях у кодовій системі Хаара-Крестенсона та виконання арифметичних операцій матрично-модульним способом, що дозволило на один, два порядки зменшити часову складність процесорів та знизити їх апаратну складність.

6. Розроблений критерій оцінки та досліджена інформативність алгоритмів обчислення різних кореляційних функцій шляхом визначення відношення числа ненульових компонентів парних добутків $x_i \cdot x_{i+j}$ до їх загального числа у вибірці вхідних цифрових даних, що дозволило побудувати порівняльні діаграми даної оцінки і обґрунтувати переваги інформативності функції еквівалентності, релейної та коваріаційної по відношенню до інших відомих функцій кореляцій.

7. Розроблена структура та компоненти кореляційного спецпроцесора визначення знакової функції в унітарному ТЧБ, який характеризується регулярністю структури і розширеними функціональними можливостями та зменшеною апаратною складністю по відношенню до існуючих мікроелектронних реалізацій процесорів.

8. Розроблена структура високопродуктивного спецпроцесора визначення функції коваріації, в якому відсутні апаратно складні пристрої цифрового множення та розпаралелені операції аналого-цифрового перетворення зсуву даних обчислення добутків цифрових відліків та їх сумування в накоплюючих суматорах, що дозволило зменшити на 40% апаратну складність та в 2-5 разів підвищити швидкодію у залежності від числа рівнів квантування вхідних сигналів.

9. Реалізована інформаційна технологія визначення функції коваріації у базисі Хаара-Крестенсона, розроблені компоненти та структура високопродуктивного кореляційного спецпроцесора, який характеризується мінімальною часовою складністю та зниженою на 20 % апаратною складністю по відношенню до відомих аналогів.

10. Реалізований на мікропроцесорній платформі та ПЛМ вірець кореляційного спецпроцесора у базисі Радемахера, який впроваджений в якості компонента промислових програмно-апаратних засобів визначення витоків на магістральних продуктопроводах.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Албанський І.Б. Спецпроцесори кореляційної обробки інформації в різних теоретико-числових базисах / І.Б. Албанський // Вісник національного університету “Львівська політехніка”, “Комп’ютерні системи та мережі. - 2010 р. -№688. - С.10-16.

2. Албанський І.Б. Дослідження інформативності алгоритмів процесорів обчислення автокореляційних функцій / Албанський І.Б. // Вісник Тернопільського національного технічного університету. - 2011. - Том 16, №3. – С. 227-235.

3. Николайчук Я.М. Теорія та процесори визначення інформаційної міри ентропії на основі кореляційних функцій / Николайчук Я.М., Погонєць І.О., Воронич А.Р., Албанський І.Б. // Науковий вісник Чернівецького університету. Комп’ютерні системи та компоненти. – 2011р. – Т2. – Випуск 2.– С. 37-45.

4. Ширмовська Н.Г. Застосування кореляційного та кластерного аналізу для ідентифікації передаварійних та аварійних станів процесів буріння / Ширмовська Н.Г., Пітух І.Р., Албанський І.Б., Кулінін О.Л. // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2011. - №3(29). – С.112-117.

5. Албанський І.Б. Дослідження системних характеристик цифрових пристроїв множення реалізованих в різних теоретико-числових базисах/ Албанський І.Б., Волинський О.І.// Науковий журнал. Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – №2. - С. 179-186.

6. Патент на корисну модель 70338 Україна, МПК G06F 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.

7. Патент на корисну модель 73320 Україна, МПК G06F 17/15. Багатоканальний цифровий корелятор. / Я.М.Николайчук, І.Б.Албанський. – Опубл. 25.09.2012, Бюл. №18.

8. Патент на корисну модель 76622 Україна, МПК G06F 17/15 (2006.01). Цифровий автокорелятор./ І.Б. Албанський, Я.М. Николайчук, О.І. Волинський. – Оубл. 10.01.2013, Бюл. №1.
9. Албанський І.Б. Спецпроцесори кореляційної обробки сигналів / І.Б.Албанський, Т.О.Заведюк // Питання оптимізації обчислень (ПОО-XXXV): міжнар. симпозиум: праці. - К., 2009. - Т.1. - С.8-13.
10. Албанський І.Б. Архітектура та структурна складність унітарних спецпроцесорів кореляційної обробки сигналів / Албанський І.Б. // Поступ в науку. Збірник наукових праць Буцацького інституту менеджменту і аудиту. - 2009. - №5. - С.83-86.
11. Albanskiy I.B. The special processors of cross-correlations processing of information diffrent theoretical-digital basis / Albanskiy I.B. // Advanced Computer Systems and Networks: Design and Application. Proceedings of the 6-th International Conference. ACSN - 2009. – Lviv, Ukraine. – 2009. – P. 328.
12. Albanskiy I.B. Methods and facilities of construction of analog-digital coders of the special processors of the cross-correlation working of signals / Albanskiy I.B. // Proc. of the International Conf. TCSET' 2010. – Lviv-Slavsko (Ukraine). – 2010. – P. 294.
13. Албанський І.Б. Дослідження системних характеристик складності кореляційних спецпроцесорів реалізованих у різних ТЧБ / Албанський І.Б. // Поступ в науку. Збірник наукових праць Буцацького інституту менеджменту і аудиту. – Бучач. – 2010. - №6. С 67.
14. Albanskiy I. Multibases special processor module and correlations processing of information flows / Volynskyy O., Humennyi P., Krytskevych O., Puyul V.// XIth International conference “The experience of designing and application of CAD systems in micro-electronics, Lviv, 23-25 february -2011, P.176-177.
15. Албанський І.Б. Дослідження структури та системні характеристики компонентів кореляційного спецпроцесора у базисі Радемахера / Албанський І.Б. // Поступ в науку, Матеріали міжнародної проблемної наукової міжгалузевої конференції “Інформаційні проблеми комп’ютерних систем юриспруденції, енергетики, економіки, моделювання, та управління (ПНМК)” випуск №7 Бучач - 2011, С. 9-12.
16. 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: Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, 2011. С.12-13.
17. Николайчук Я.М. Критерії та оцінки інформативності кореляційних спецпроцесорів / Николайчук Я.М., Албанський І.Б. // Збірник матеріалів проблемно-наукової міжгалузевої конференції «Юриспруденція та проблеми інформаційного суспільства (ЮПІС - 2011)» - Івано-Франківськ, 2011. – С. 112-117.
18. Albanskiy I. Structure and Simulation of Interactive Computer Systems Based on Multibaseses Switching Processors / I. Albanskiy, O.Volynskyy, P. Humennyi, T. Zavedyuk // Proc. of the International Conf. TCSET 2012. – Lviv-Slavsko (Ukraine). – 2012. – P. 260.
19. Албанський І.Б. Аналіз структури та системних характеристик багатокаскадних регістрів зсуву кореляційних процесорів у різних теоретико-

числових базисах /Албанський І.Б., Гайда Л.П. // Поступ в науку. Збірник наукових праць Бучацького інституту менеджменту і аудиту . - Бучач. - 2012. - №8. С. 15-23.

АНОТАЦІЯ

Албанський І.Б. Кореляційні спецпроцесори опрацювання цифрових даних в кодових системах різних теоретико-числових базисів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Тернопільський національний економічний університет, Тернопіль, 2013.

В дисертаційній роботі вперше розроблені методи кореляційного опрацювання даних, отримано аналітичні вирази характеристик часової та апаратної складності високопродуктивних кореляційних спецпроцесорів за умов їх реалізації на основі теоретико-числових базисів (ТЧБ) Радемахера, унітарного, Хаара та Крестенсона, які склали теоретичну основу зменшення часової та апаратної складності програмно-апаратних засобів визначення автокореляційних функцій, що дозволило зменшити в 10-20 разів часову складність та в 5 разів апаратну складність такого класу процесорів. Вперше розроблений критерій оцінки інформативності кореляційних процесорів на основі різних алгоритмів обчислення дискретних кореляційних функцій, що дозволило обґрунтувати вибір найбільш інформативних алгоритмів розрахунку кореляційних характеристик сигналів.

Розроблено високопродуктивні мікроелектронні програмно-апаратні засоби реалізації компонентів кореляційних спецпроцесорів та схемотехнічні рішення при заданих характеристиках процесорів кореляційного опрацювання сигналів. Розроблено VHDL – проект спецпроцесора кореляційного опрацювання даних в ТЧБ Радемахера, що дозволило вилучити апаратно складні пристрої множення, в результаті зменшилася його апаратна складність і збільшилась швидкодія.

Ключові слова: кореляційний аналіз, теоретико-числові базиси унітарний, Радемахера, Хаара, Крестенсона, модулярні операції множення та сумування, система числення залишкових класів, кореляційний спецпроцесор.

АННОТАЦИЯ

Албанский И.Б. Корреляционные спецпроцессора обработки цифровых данных в кодовых системах различных теоретико-числовых базисов .- Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 - компьютерные системы и компоненты. - Тернопольский национальный экономический университет, Тернополь, 2013.

В диссертационные работе впервые разработаны методы корреляционной обработки данных, получены аналитические выражения характеристик временной и аппаратной сложности высокопроизводительных корреляционных спецпроцессоров по их реализации на основе теоретико-числовых базисов (ТЧБ) Радемахера, унитарного, Хаара и Крестенсона, которые составили теоретическую основу уменьшения временной и аппаратной сложности программно-аппаратных средств определения автокорреляционной функций, что позволило уменьшить в 10-20 разов временную сложность и в 5 раз аппаратную сложность такого класса процессоров. Впервые разработан критерий оценки информативности корреляционных процессоров на основе различных алгоритмов вычисления дискретных корреляционных функций, что позволило обосновать выбор наиболее информативных алгоритмов расчета корреляционных характеристик сигналов.

Разработаны корреляционные спецпроцессора рекуррентного и параллельного типа в базе Радемахера и Крестенсона, что позволило повысить их быстродействие за счет распараллеливания операций аналого-цифрового преобразования и сдвига цифровых данных в многоразрядных регистрах, а также исключить из состава коррелятора матричные умножители. Разработаны высокопроизводительные микросистемные программно-аппаратные средства реализации компонентов корреляционных спецпроцессоров и схемотехнические решения при заданных характеристиках процессоров корреляционной обработки сигналов. Разработан VHDL - проект спецпроцессора корреляционной обработки данных в ТЧБ Радемахера, что позволит исключить аппаратно сложные устройства умножения, в результате уменьшилась его аппаратная сложность и увеличилось быстродействие.

Ключевые слова: корреляционный анализ, теоретико-числовые базисы унитарный, Радемахера, Хаара, Крестенсона, модульных операции умножения и суммирования, система счисления остаточных классов, корреляционный спецпроцессор.

ABSTRACT

I.Albansky special correlation processors for processing digital data in different code systems of theoretically-numerical bases. - Manuscript.

Dissertation on acquiring the degree of Ph.D. in specialty 05.13.05 - computer systems and components. - Ternopil National Economic University, Ternopil, 2013.

In this scientific work firstly developed methods of data correlation processing there were also obtained analytical expressions and temporal characteristics of the hardware complexity of special processors for highly- orrelated terms and their implementation on the basis of theoretical and numerical bases of (TNB) Rademacher, unitary, Haar and Krestenson who created the theoretical basis of time reducing and hardware complexity of software and hardware definition of autocorrelation functions , thus reducing time complexity from 10 to 20 times, and to 5 times the hardware complexity of such class processors. We firstly developed the criterion of processors correlation informativeness that is based on different algorithms for computing discrete correlation functions, thus justify the choice of the most informative algorithms that calculate the characteristics correlation of the signals.

A highly performance microelectronic software and hardware components of special processors correlation and circuit-engineering solutions according to the given processor characteristics of correlation signal processing were developed. There was also developed VHDL - special processor design for data correlative processing according to TCHB of Rademacher. This removed the hardware complexity of the devices for multiplication and increased their speed.

Keywords: correlation analysis, number-theoretic unitary bases, Rademacher, Haar, Krestenson, modular multiplication and summation of residual classes calculation system, special correlation processor.