

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ПІХ ВОЛОДИМИР ЯРОСЛАВОВИЧ



УДК 681.325

**ПРОЦЕСОРИ СПЕКТРАЛЬНОГО КОСИНУСНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ
ФУР'Є НА ОСНОВІ РІЗНИХ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ФУНКЦІЙ ТА
ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВИХ БАЗИСІВ**

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Тернопіль – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу

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
Пастух Олег Анатолійович,
Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, завідувач кафедри радіотехнічних систем;

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

Захист відбудеться «2» липня 2016 р. о 15⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 58.082.02 Тернопільському національному економічному університеті за адресою: 46020, м. Тернопіль, вул. Львівська, 11а (корпус 11, зал засідань вченої ради).

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

Автореферат розісланий 1 червня 2016 р.

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



Яцків В.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми Сучасні досягнення в області мікроелектроніки, мікропроцесорної техніки та розвитку фундаментальних досліджень у теорії та розробці алгоритмів опрацювання інформаційних потоків у різних теоретико-числових базисах (ТЧБ) створюють сприятливі умови для відповідного вдосконалення та покращення системних характеристик високопродуктивних кореляційних та спектральних процесорів.

Важливою науковою задачею при створенні та впровадженні високопродуктивних спектральних процесорів є проблемна орієнтація їх системних характеристик на виконання арифметико-логічних та модульних операцій при цифровому опрацюванні сигналів у комп'ютерних мережах. Актуальним також є підвищення швидкодії рішення задач цифрової томографії, опрацювання оптичних голограм, побудови цифрових фільтрів, моніторингу спектральних характеристик маніпульованих сигналів у системах передавання даних, а також діагностування вібрацій та спектральних характеристик промислового обладнання нафтогазової та інших галузей промисловості.

У багатьох українських та зарубіжних наукових школах даний клас наукових та прикладних задач традиційно вирішується на основі двійкової системи числення ТЧБ Радемахера, що в значній мірі обмежує функціональні можливості процесорів при зростанні алгоритмічної складності обчислювальних задач та підвищенні швидкодії опрацювання інформаційних потоків та сигналів.

Успішне вирішення названого класу задач може бути досягнуто за рахунок розробки математичного апарату опрацювання інформації та створення відповідної архітектури процесорів та алгоритмів опрацювання цифрових даних на основі ТЧБ Хаара, Радемахера, Крестенсона, Уолша та Галуа.

Цьому сприяють сучасні можливості технологій проектування на основі програмованих логічних матриць (ПЛМ), а також на мікропроцесорних платформах відомих фірм Analog Device, Dallas Semiconductor, MAXIM, Altera, Xilinx Intel, Texas Instruments, Motorola та інших.

Перспективним підходом вдосконалення методів побудови високопродуктивних процесорів є використання системи числення ТЧБ Крестенсона, що базується на цілочисельній формі системи залишкових класів (СЗК), яка забезпечує глибоке розпаралелення обчислювальних процесів та відповідне підвищення швидкодії спецпроцесорів.

Основоположниками теорії спектрального аналізу сигналів є відомі зарубіжні вчені: Л. Ейлер, Ш. Фур'є, О. Хінчин, М. Батт, Л. А. Залманзон, Н. Ахмад, К. Рао та інші. Серед українських вчених вагомий вклад у розвиток теорії та методів швидкого спектрального перетворення внесли: А. О. Мельник, Я.М. Николайчук, у тому числі на основі оптико-електронних перетворювачів В.П. Кожемяко та інші.

Таким чином, розробка високопродуктивних процесорів спектрального опрацювання на основі ТЧБ Крестенсона є актуальною науковою задачею, яка дозволяє вирішити завдання покращення системних характеристик обчислювальних засобів, як компонентів сучасних розподілених систем, підвищення ефективності передавання та захисту інформації в комп'ютерних

мережах, а також побудови швидкодіючих спецпроцесорів кореляційного, спектрального та інших застосувань опрацювання інформації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.

Представлені в дисертаційній роботі дослідження виконані в рамках плану наукових досліджень Інституту інформаційних технологій та кафедри комп'ютерних систем та мереж Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу: «Синтез комп'ютерних систем і мереж для об'єктів нафтогазового комплексу і контролю за навколишнім середовищем» (номер державної реєстрації № 31202005B76A); «Синтез комп'ютерних систем та розробка програмного забезпечення для об'єктів нафтогазового комплексу» (номер державної реєстрації № 0111U005890); а також кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Тернопільського національного економічного університету: НДР «Розробка теоретичних засад та алгоритмів ідентифікації запусків потужних електроприводів у високовольтних ЛЕП на основі теорії розпізнавання образів» (номер державної реєстрації 0115U002340).

Усі вказані дослідження проводились за безпосередньою участю автора.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є вдосконалення методів цифрового опрацювання сигналів та розробка високопродуктивних спецпроцесорів спектрального перетворення Фур'є у базисі Хаара-Крестенсона.

Вирішення науково-технічних завдань відповідно до поставленої мети включає наступні завдання:

1) проаналізувати існуючий стан побудови та застосування спектральних спецпроцесорів в інформаційних системах;

2) систематизувати структури, дослідити асимптотику та системні характеристики дискретних автокореляційних функцій, як базових компонентів процесорів косинусного перетворення Фур'є;

3) провести аналіз характеристик кодових матриць ТЧБ: унітарного, Хаара, Радемахера та Крестенсона;

4) розробити метод швидкодіючого аналого-цифрового перетворення сигналів у ТЧБ Хаара-Крестенсона;

5) розробити метод дискретного косинусного перетворення Фур'є на основі адаптації характеристик ортогональних базисних функцій до експериментальної реалізації коваріаційної функції автокореляції;

6) розробити метод генерування ортогональних функцій різних ТЧБ, адаптованих до характеристик функцій кореляції;

7) розробити структуру та мікроелектронні компоненти швидкодіючого АЦП у базисі Хаара-Крестенсона;

8) розробити структуру швидкодіючого спектрального спецпроцесора, з розширеними функціональними можливостями у базисі Хаара-Крестенсона;

9) розробити програмне забезпечення для розрахунку наборів взаємопростих модулів спектральних спецпроцесорів у базисі Хаара-Крестенсона різної розрядності та синтезу компонентів на ПЛІС.

Об'єкт дослідження – процеси цифрового опрацювання сигналів спеціалізованими процесорами спектрального перетворення у базисі Хаара-Крестенсона.

Предмет дослідження – методи та засоби опрацювання сигналів на основі

дискретних спектральних перетворень на основі різних кореляційних функцій та теоретико-числових базисів.

Методи дослідження базуються на використанні теорії інформації, теорії чисел та кодування сигналів, теорії комп'ютерної логіки та теорії опрацювання цифрових даних, комп'ютерного моделювання та схемотехнічного проектування мікроелектронних засобів на кристалі.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в розвитку методів та програмно-апаратних засобів для цифрового спектрального опрацювання сигналів у системі числення залишкових класів теоретико-числового базису Хаара-Крестенсона.

Основні результати і положення, що виносяться на захист, спрямовані на створення нових методів та програмно-апаратних засобів спектрального опрацювання цифрових даних у базисі Хаара-Крестенсона.

1. Вперше розроблено:

1.1 метод швидкодіючого аналого-цифрового перетворення сигналів у кодовій системі Хаара-Крестенсона, який, у порівнянні з відомими аналогами, дозволяє розпаралелити формування кодів залишків у базисі Хаара згідно набору взаємо-простих модулів і не потребує додаткових міжбазисних перетворень Радемахера-Крестенсона для високопродуктивної реалізації модульних операцій множення та додавання цифрових даних у базовому кореляційному модулі спектрального спецпроцесора;

1.2 метод дискретного косинусного перетворення Фур'є на основі адаптації характеристик ортогональних базисних функцій до експериментальної реалізації коваріаційної функції автокореляції що, у порівнянні з відомими методами, дозволило зменшити кількість та спростити складність обчислювальних операцій алгоритму спектрального опрацювання сигналів;

1.3 метод генерування ортогональних функцій різних теоретико-числових базисів, адаптованих до характеристик функцій автокореляції, що дозволило реалізувати їх зберігання табличним способом та вибірку згідно параметрів дисперсії, математичного сподівання та ступеня затухання енергії функції автоковаріації, що дозволило вилучити одну з трьох операцій множення в алгоритмі спектрального перетворення Фур'є.

2. Удосконалено метод формування цифрових значень ортогональних базисних функцій перетворення Фур'є шляхом переставлення їх кодів у системі залишкових класів, що спростило алгоритм спектрального перетворення та підвищило його швидкодію.

3. Отримав подальший розвиток метод обчислення значення спектру для однієї базисної функції шляхом розпаралелення виконання операцій множення діючих та затриманих у часі залишків цифрових відліків вхідного процесу у системі взаємо-простих модулів, множення отриманих залишків добутоків на залишки відповідної ортогональної базисної функції та їх накопичуюче додавання на виході однієї точки спектру, що дозволило, у порівнянні з виконанням аналогічних операцій над двійковими кодами у базисі Радемахера, розпаралелити обчислювальні процеси та підвищити швидкодію визначення спектру.

Практичне значення отриманих результатів.

Розроблена структура швидкодіючого аналого-цифрового перетворювача (АЦП) сигналів на основі кодів Хаара-Крестенсона, який, у порівнянні з відомими аналогами, забезпечує відповідне зменшення часової складності у 2 рази, а апаратної складності у 1.5 рази по відношенню до АЦП паралельного типу у базисі Радемахера.

Розроблена структурна схема спецпроцесора для обчислення спектрального косинусного перетворення Фур'є в системі залишкових класів, який відрізняється від відомих підвищеною на 1-2 порядки швидкодією.

Реалізована та впроваджена у промисловість схемотехнічна структура високопродуктивного спецпроцесора спектрального опрацювання даних, орієнтована на мікроелектронне виконання на кристалі.

Практичні результати роботи використано та впроваджено:

1) у Тернопільському конструкторському бюро радіозв'язку «СТРІЛА» при реалізації програмно-апаратних засобів моніторингу спектральних характеристик маніпульованих сигналів у спеціалізованих низових комп'ютерних мережах (акт від 30.11.2015р.);

3) на кафедрі програмного забезпечення автоматизованих систем Інституту інформаційних технологій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу при викладанні дисципліни «Алгоритми та структура даних» для студентів спеціальності 6.050103 - «Програмна інженерія» (акт від 02.12.2015р.);

4) на кафедрі спеціалізованих комп'ютерних систем Тернопільського національного економічного університету при виконанні НДР «Розробка теоретичних засад та алгоритмів ідентифікації запусків потужних електроприводів у високовольтних ЛЕП на основі теорії розпізнавання образів» державний реєстраційний номер 0115U002340 (акт від 05.12.2015р.).

Особистий внесок здобувача. Основний зміст роботи, наукові положення та результати сформульовано та вирішено автором самостійно. Особистий внесок здобувача полягає в аналізі сучасного стану рішення науково-технічної задачі, розробці основних ідей, методик досліджень, структурних, принципівих та алгоритмічних рішень, організації експериментів, програмного моделювання функцій спектрального спецпроцесора косинусного перетворення Фур'є, а також у розробці необхідного для дослідження програмного забезпечення. У публікаціях, написаних у співавторстві, здобувачеві належить: [8] – обґрунтовано необхідність визначення спектральних характеристик об'єкту управління; [9] – запропоновано метод розрахунку спектру на основі обчислення коефіцієнту взаємкореляції з базисною функцією конкретного ТЧБ; [10] – вперше запропонований новий метод дискретного косинусного перетворення Фур'є на основі кодових матриць ТЧБ та аналітики різних кореляційних функцій; [11] – запропоновано функціональні структури процесорів спектрального перетворення Фур'є; [7] – запропоновано метод формалізації дискретного косинусного перетворення Фур'є у системі залишкових класів; [6] – розроблено набір аналітичних виразів косинусного перетворення Фур'є на основі різних кореляційних та базисних функцій; [12] – розраховані набори модулів системи залишкових класів для спецпроцесорів

базису Крестенсона; [10] – запропонований спосіб зберігання та формування кодів базисних ортогональних функцій у пам'яті; [11] – викладені аналітичні вирази та проаналізована характеристика структур кореляційних обчислювачів; [12] – систематизовані теоретико-числові базиси систем ортогональних функцій які використовуються для розрахунку спектрів сигналів; [13] – запропоновано функціональне розширення структури пристрою на основі генераторів кодів залишків ортогональних функцій у базисі Хаара-Крестенсона; [14] – викладені теоретичні основи спектрального косинусного перетворення Фур'є на основі оцінок різних кореляційних функцій та їх застосування для обчислення спектрів, обґрунтована реалізація такого класу процесорів на мікроелектронних кристалах.

Основні результати дисертації доповідались та обговорювались на: Міжнародній проблемно-науковій міжгалузевій конференції «Інформаційні проблеми комп'ютерних систем, юриспруденції, енергетики, економіки, моделювання та управління». – Бучач-Східниця, 2010; XI-th International conference «The experience of designing and application of CAD systems in micro-electronics». – Lviv- Polyana, 2011, 2015; Міжнародній молодіжній математичній школі «Питання оптимізації обчислень» (ПОО-XXXVII) – Київ, 2011; Проблемно-науковій міжгалузевій конференції «Юриспруденція та проблеми інформаційного суспільства», (ЮПІС – 2011). - Яремча, 2011; Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості» Ів.-Франківськ, 2013; Міжнародній координаційній нараді ISCM-2014. – Тернопіль, 2014; Міжнародній конференції «Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science», TCSET - 2014. – Львів-Славске, 2014; VII-й Міжнародній школі-семінарі «Теорія прийняття рішень». – Ужгород, 2014; II-й Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених і студентів - Івано-Франківськ, 2015.

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 15 друкованих праць, серед яких 4 статті (з них 2 одноосібні), з них 4 у фахових наукових виданнях України, один патент України на корисну модель, співавтор однієї монографії на англійській мові. 9 робіт опубліковано у збірниках матеріалів конференцій, в.т.ч. міжнародних, 2 публікації індексовані наукометричною базою Index Copernicus.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та додатків (170 с.). Основний зміст дисертаційної роботи викладений на 132 сторінках. Дисертація містить 65 рисунків, 29 таблиць та 157 посилання на джерела.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформовані мета й завдання наукових досліджень, сформульована наукова новизна та практичне значення одержаних результатів. Наведені результати реалізації та апробації результатів досліджень.

У першому розділі проведено аналіз світового досвіду розробки сучасного та практичного застосування спецпроцесорів спектральної обробки сигналів, провідними фірмами: Ubiquiti, РФ Explorer, та інш, а також тенденцій вдосконалення такого класу програмно-апаратних компонентів комп'ютерних

мереж та засобів діагностування спектральних характеристик промислових об'єктів.

Важливим об'єктом застосування спектральних аналізаторів є моніторинг спектральних характеристик маніпульованих сигналів у спеціалізованих низових комп'ютерних мережах різних галузей промисловості, у тому числі спеціалізованих мережах спектрального моніторингу автоматики рухомого залізничного складу.

Проведений аналіз показує, що існує обґрунтована необхідність вдосконалення процесорів спектрального аналізу шляхом підвищення їх швидкодії та розширення функціональних можливостей при вирішенні задач спектрального діагностування об'єктів у реальному часі.

Значні функціональні обмеження обчислювальних процесів перетворення Фур'є та слабка збіжність рядів Фур'є призвели до розвитку та успішного застосування інших ТЧБ для обчислення спектрів сигналів. При цьому для вдосконалення характеристик спецпроцесорів необхідно розв'язати задачу сумісного застосування теорії кореляційних функцій та базисних функцій різних ТЧБ шляхом адаптації базисних функцій до асимптотики кореляційних функцій досліджуваних сигналів.

Аналіз архітектури цифрових кореляторів та їх мінімакських системних характеристик стосовно часової та апаратної складності створює основу ефективного застосування цифрових кореляторів шляхом розширення функціональних можливостей для спектрального аналізу та реалізації процесорів дискретного косинусного перетворення Фур'є.

У результаті дослідження цифрових кореляторів як компонентів спектральних спецпроцесорів, встановлено, що в якості базового компонента спектрального процесора доцільно застосувати структуру, яка показана на рис.1.

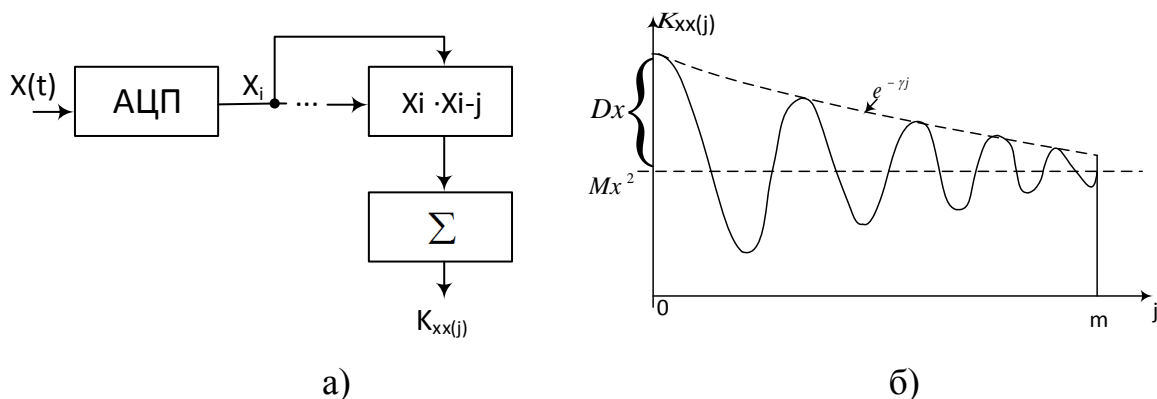


Рисунок 1 – Компонент структури цифрового корелятора (а); асимптотика автоковаріаційної функції (б):

$x(t)$ – вхідний аналоговий сигнал; x_i – дискретизований з інтервалом $\Delta t(const)$ в часі і квантований з інтервалом $\delta = const$ у діапазоні $0 \leq X_i \leq A$ цифровий відлік вхідного сигналу $x(t)$, представлений у базисі Радемахера; $x_{i-1}, x_{i-2}, \dots, x_{i-j}$ – затримані в часі цифрові відліки у регістрі зсуву; $x_i \cdot x_{i-j}$ – матричний перемножувач; Σ – цифровий накопичуючий суматор.

Асимптотика кореляційної функції (рис 1. б) відповідає виразам:

$$K_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \cdot x_{i-j}, \quad j = 0, 1, 2, \dots, \quad K_{xx}(0) = D_x + M_x^2; \quad K_{xx}(\infty) = M_x^2, \quad (1)$$

де: $M_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ - математичне сподівання; $D_x = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - M_x)^2$ - дисперсія;

m - число точок автоковаріаційної функції; $\gamma = \begin{cases} D_x / \sqrt{m}, j = 0 \\ \sqrt{2/m}, j = 1..m \end{cases}$.

Перевагою такого компонента є:

- висока швидкодія АЦП паралельного типу; висока ступінь паралелізму виконання операцій; регулярність структури компонентів та відсутність операції центрування вхідних даних; висока інформативність зумовлена можливістю визначення з асимптотики $K_{xx}(j)$ (1) математичного сподівання M_x та дисперсії D_x вхідних сигналів згідно виразів :

$$M_x = \sqrt{K_{xx}(\infty)}; D_x = K_{xx}(0) - K_{xx}(\infty);$$

- підвищена точність обчислення значень $K_{xx}(j)$, оскільки результати обчислення представлені в квадратичному просторі і асимптотично наближаються до квадрату математичного сподівання, а не до нуля, що забезпечує значно менший об'єм вибірки (n) цифрових даних по відношенню до інших мультиплікативних функцій кореляції.

До функціональних обмежень та недоліків такого кореляційного процесора, реалізованого в базисі Радемахера, належить:

- велика апаратна складність АЦП;
- наявність великої кількості помножувачів та числа суматорів з низькою швидкодією виконання операцій;
- Досліджені характеристики кодових матриць ТЧБ, побудовані діаграми (рис. 2) надлишковості кодування даних у різних системах числення.

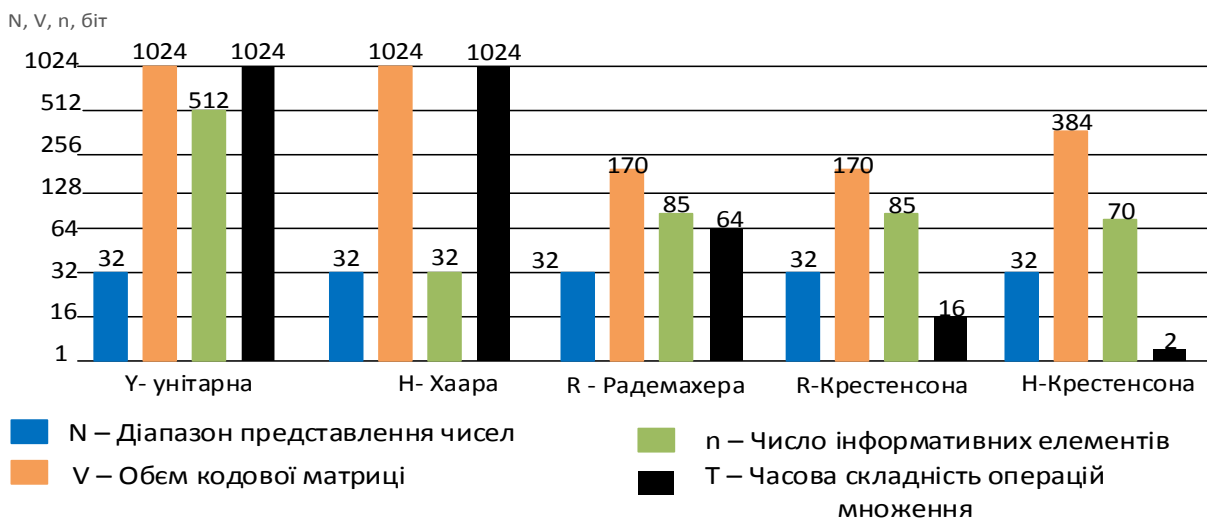


Рисунок 2 - Діаграми характеристик кодових систем ТЧБ.

Аналіз рис. 2 показує, що найбільш надлишковим ТЧБ є унітарний базис, в якого кодова матриця $V = N^2$. Аналогічною надлишковістю характеризується базис Хаара, в якому набагато менше активних елементів у порівнянні з унітарним базисом. ТЧБ Радемахера та Крестенсона характеризуються набагато меншими об'ємами кодових матриць $V = N \log_2 N$. Дані базиси відповідно породжують позиційну двійкову систему числення та непозиційну систему числення залишкових класів.

На основі проведеного аналізу здійснено постановку задачі дисертаційного дослідження.

В другому розділі досліджена аналітика та асимптотика дискретних кореляційних функцій.

Аналіз аналітичних виразів та асимптотики автоковаріаційної функції (АКФ) типу: знакової H_{xx} , релейної P_{xx} , коваріаційної K_{xx} , центрованої кореляційної R_{xx} , нормованої кореляційної ρ_{xx} , структурної C_{xx} , модульної G_{xx} та еквівалентності F_{xx} показує, що існує два типи дзеркальних відображень характеристик АКФ з асимптотикою:

- 1) $H_{xx}, P_{xx}, R_{xx}, \rho_{xx}, KR_{xx}, F_{xx} = 0$ при $j \rightarrow \infty$;
- 2) $C_{xx} = D_x, G_{xx} = M_x$, при $j \rightarrow \infty$.

Дані АКФ характеризуються зменшенням інформативності при зростанні значення j , оскільки відповідно зменшується точність представлення їх цифрових відліків у квадратичному та лінійних просторах.

АКФ ρ_{xx} характеризується найскладнішим алгоритмом обчислення у процесі адаптації до базисної функції перетворення Фур'є, оскільки вимагає послідовного виконання операцій визначення математичного сподівання, центрування, розрахунку дисперсії, обчислення центрованої АКФ R_{xx} та її нормування шляхом ділення на дисперсію D_x . В той же час дана АКФ в результаті вищезгаданих обчислень є нормована і центрована і забезпечує можливість безпосередньо розраховувати спектри згідно косинусного перетворення Фур'є без адаптації ортогональних базисних функцій ТЧБ.

Таким чином, проведений аналіз аналітики та асимптотики різних відомих типів АКФ дозволяє обґрунтувати перспективність застосування коваріаційної АКФ при реалізації алгоритмів спектрального косинусного перетворення Фур'є, а також побудови спеціалізованих процесорів на основі синтезу їх компонентів.

Проведені дослідження характеристик базових компонентів спектральних спецпроцесорів на основі ТЧБ Радемахера, Хаара та Крестенсона, які містять одноканальні АЦП з паралельними вихідними кодами, оцінки часової складності яких приведені на діаграмі (рис. 3) у залежності від розрядності АЦП (S1-АЦП розгортуючого типу (С - Крестенсона); S2- АЦП розгортуючого типу (Н - Хаара); S3-АЦП порозрядного зрівноваження (R - Радемахера); S4- паралельний АЦП (R - Радемахера); S5- паралельний АЦП (Н- Хаара)).

З діаграми див (рис. 3) видно, що максимальною швидкістю і відповідно мінімальною часовою складністю характеризуються паралельні АЦП у базисах Радемахера, Хаара та Крестенсона. Найнижчою швидкістю характеризується АЦП розгортуючого типу. Таким чином, застосування АЦП паралельного типу у базисах Хаара та Крестенсона є обґрунтоване для їх використання в якості компонентів високопродуктивних спектральних спецпроцесорів.

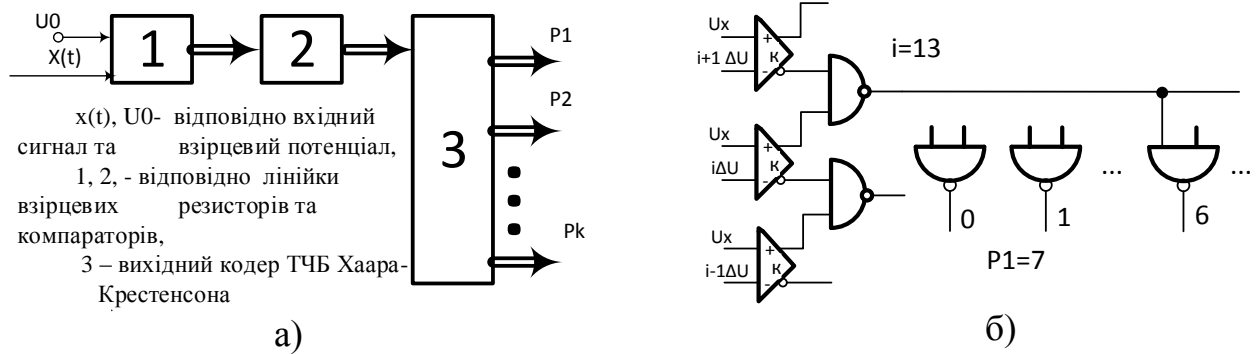


Рисунок 5 – Функціональна та структурна схема i -го компонента швидкодіючого паралельного АЦП Хаара-Крестенсона

На рис. 6 показані порівняльні характеристики часової (а) та апаратної складності (б) відомої та запропонованої реалізації АЦП Хаара-Крестенсона.

Розрахунки виконані на основі виразів: $\tau_1 = \tau_K + \tau_{xor} + \tau_v$; $\tau_2 = \tau_K + \tau_{xor} + \tau_v$; $\tau_3 = \tau_{ПК} + 2\tau_{I-HE} + \tau_v$; $A_1 = 2^{k-1}(R + K + 5ЛЕ + 4V)$; $A_2 = 2^{k-1}(R + K + 5ЛЕ + mV)$; $A_3 = 2^{k-1}(R + ПК + ЛЕ) + \sum_1^m P_i$.

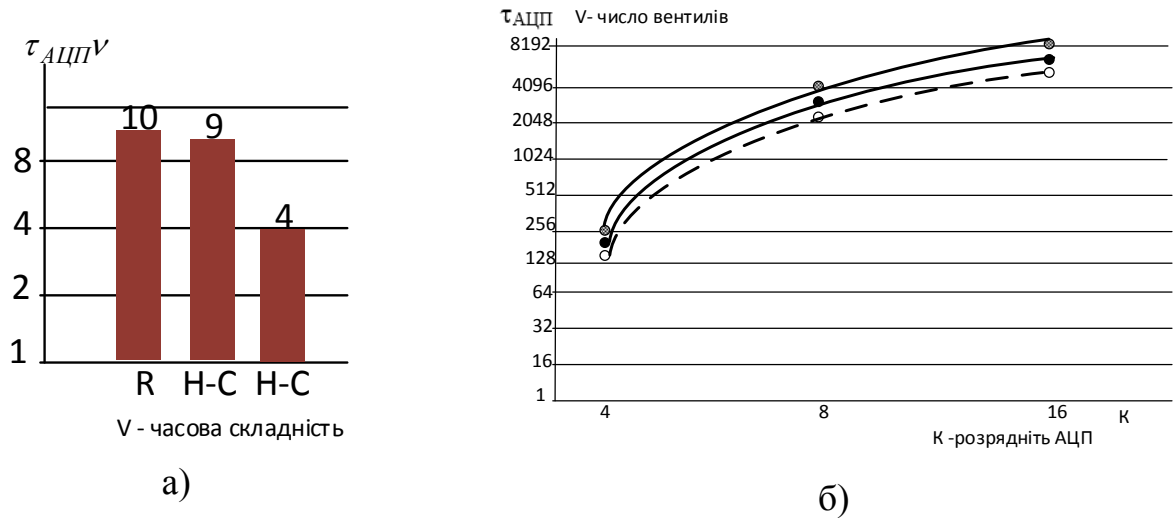


Рисунок 6 – Порівняльні характеристики часової та апаратної складності АЦП Хаара-Крестенсона.

Досліджені апаратна та часова складність реалізації багаторозрядного регістру зсуву (БРЗ) у різних ТЧБ на основі аналітичних виразів:

$$A_R = m \cdot K, \quad A_{RC} = m \cdot \sum_{i=1}^k \hat{E}[\log_2 P_i], \quad A_{HC} = m \cdot \sum_{i=1}^k P_i.$$

Досліджена структура БРЗ, порівняльна діаграма часової та апаратної складності реалізації схемотехніки БРЗ у різних ТЧБ при $k=2, 4, 8$, числі зсувів $m=32$, апаратній складності D-тригера $5v$, часовій складності БРЗ у різних ТЧБ $2v$, ($\tau_{БРЗ}=2v$) наведені на рис. 7.

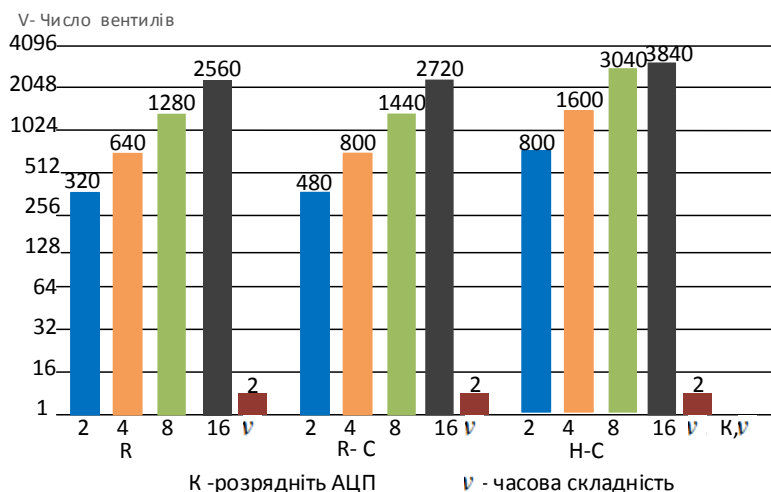


Рисунок 7 – Порівняльні характеристики БРЗ у різних ТЧБ

Важливим компонентом кореляційних та спектральних спецпроцесорів є цифрові перемножувачі. Проаналізована часова та апаратна складність перемножувачів, реалізованих у ТЧБ: унітарному, Радемахера, Хаара, Хаара-Крестенсона, включаючи матричні перемножувачі Брауна та Бута у двійковій системі числення. Результати приведені на рис.8.

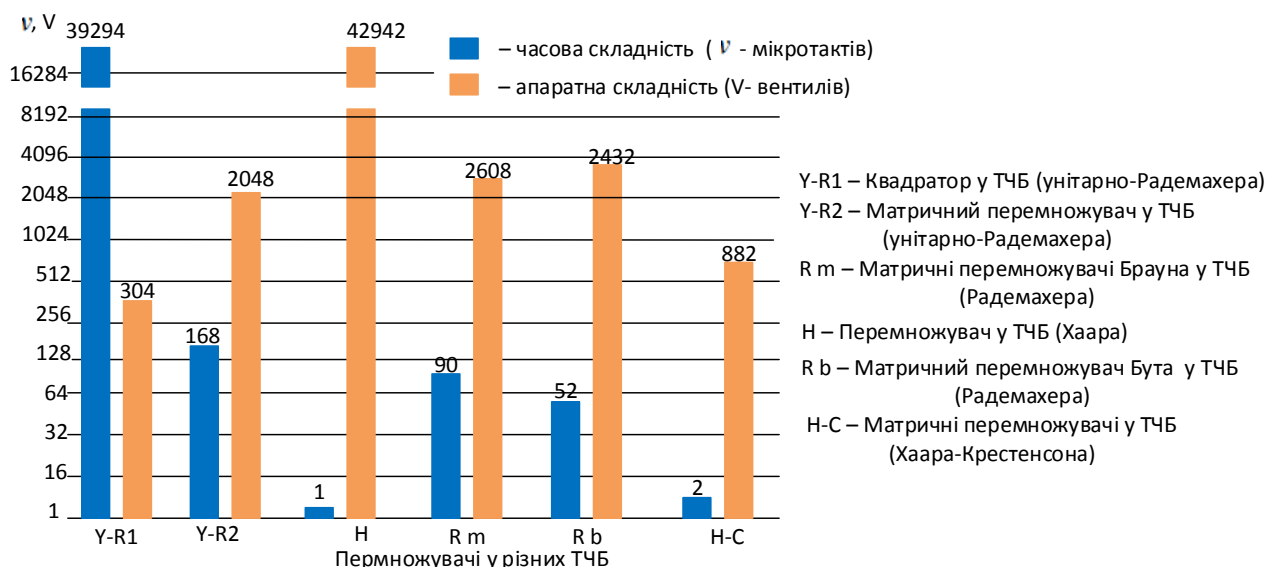


Рисунок 8 - Порівняльна характеристика часової та апаратної складності перемножувачів у різних ТЧБ

Проведені дослідження часової та апаратної складності перемножувачів реалізованих в унітарному, Хаара, Радемахера та Хаара-Крестенсона ТЧБ показує, що високу швидкодію наближену до максимальної забезпечують перемножувачі Хаара-Крестенсона при відносно невисокій апаратній складності. Наприклад, при реалізації перемножувачів 16-розрядних двійкових чисел їх швидкодія у базисі Хаара-Крестенсона перевищує швидкодію перемножувачів базису Радемахера у 45 разів, а швидкодію перемножувачів в унітарному ТЧБ перевищує на 3 порядки.

Виконаний аналіз часової та апаратної складності структурних схем накопичуючих суматорів, які є компонентами цифрового корелятора та входять у склад спектрального процесора при формуванні кінцевого результату оцінки спектру.

На рис. 9 приведені досліджені структури компонентів багаторозрядних

накопичуючих суматорів з однофазними (а) та парафазними (б) переносами у базисі Радемахера та суматорів з відсутніми переносами базису Хаара-Крестенсона (в).

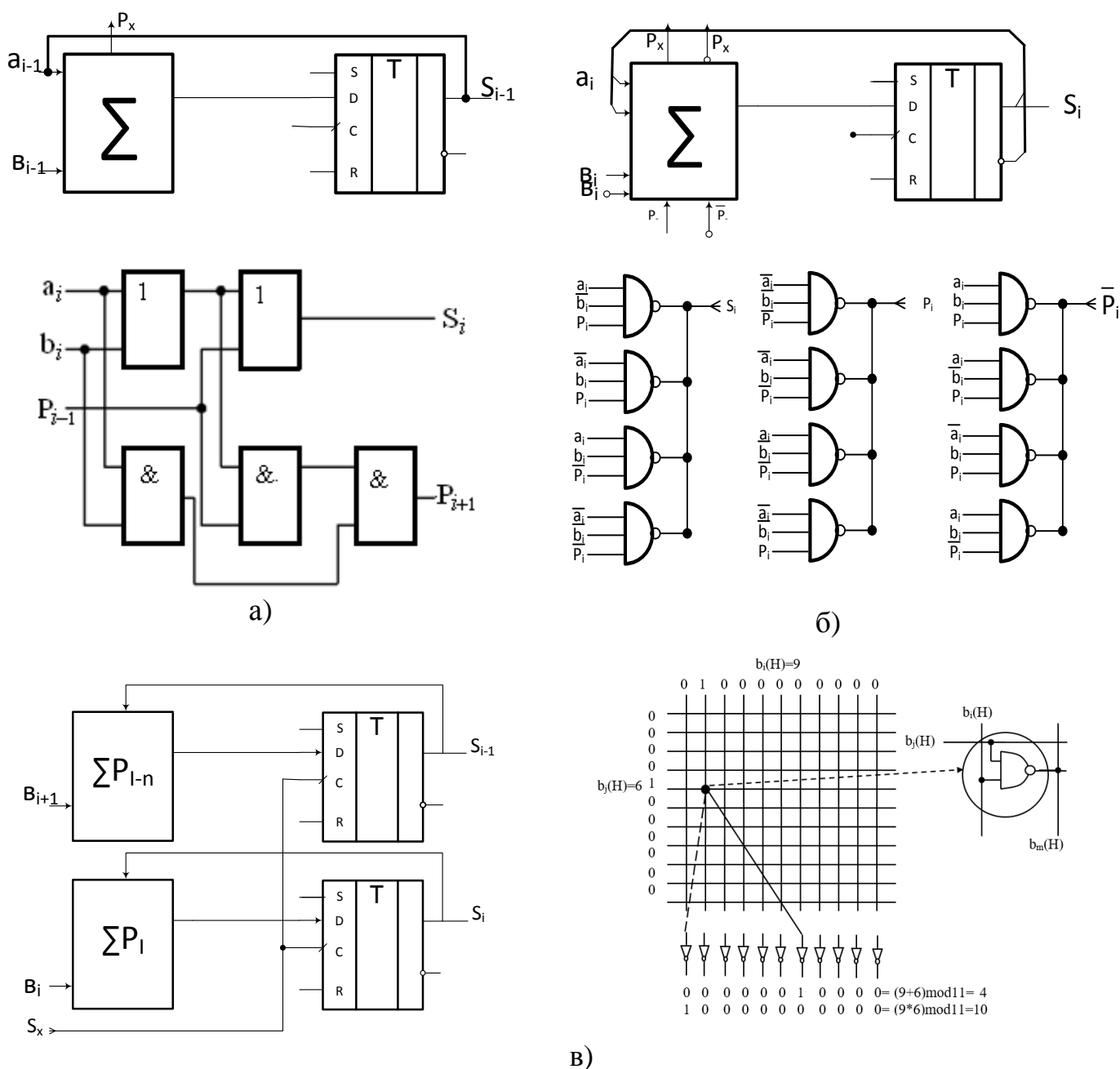


Рисунок 9 – Структури накопичуючих суматорів базисів Радемахера, та Хаара-Крестенсона

Аналіз характеристик часової та апаратної складностей відомих багаторозрядних накопичуючих суматорів у базисі Радемахера та запропонованої реалізації накопичуючого суматора у базисі Хаара-Крестенсона (рис. 10) показує, що часова складність запропонованого рішення є найменшою і складає 3 мікротакти, незалежно від розрядності спектрального спецпроцесора, а апаратна складність зростає в 1,5 рази в залежності від розрядності процесора, при цьому характеризується більш високою регулярністю структури компонентів, що спрощує мікроелектронну реалізацію на ПЛІС.

Виконані дослідження апаратної та часової складності компонентів спектрального спецпроцесора, які реалізовані в базисі Хаара-Крестенсона, включаючи мультибазисний АЦП, матрично-модульні перемножувачі та матрично-модульні накопичуючі суматори, демонструють їх суттєві переваги по швидкодії та

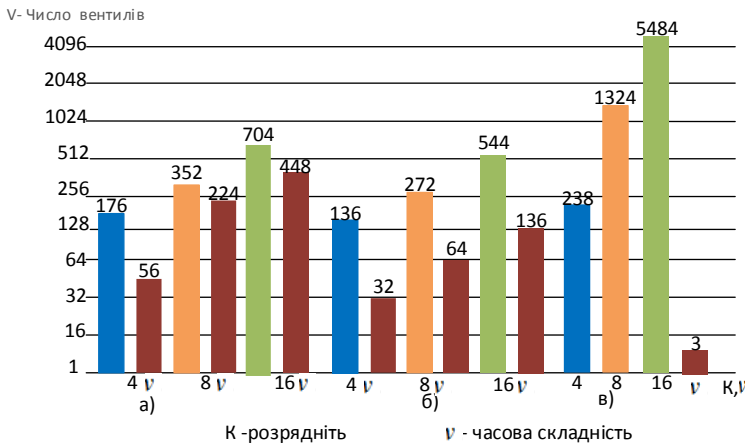


Рисунок 10 – Порівняльна характеристика часової та апаратної складності багаторозрядних суматорів

регулярності архітектури у порівнянні з існуючими рішеннями таких компонентів у двійковій арифметиці базису Радемахера.

В третьому розділі виконані дослідження формалізованого алгоритму обчислення спектрів на основі центрованої нормованої автокореляції, де в конвеєрному режимі ви-

конуються наступні обчислювальні операції над вхідними даними оцифрованого сигналу $\{x_i\}$:

$$K_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \cdot x_{i-j}, ; \Rightarrow M_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ; \Rightarrow \{x_i^\circ\} = \{x_i - M_x\}; \Rightarrow D_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i^\circ)^2 ;$$

$$\Rightarrow R_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^\circ \cdot x_{i+j}^\circ ; \Rightarrow \rho_{xx}(j) = \frac{R_{xx}(j)}{D_x}; j \in \overline{0, m}; \Rightarrow [|\rho_{xx}(j-1) - \rho_{xx}(j)| \leq 0,01; j = m];$$

$$\Rightarrow S(\omega_i) = \frac{1}{m} \sum_{j=i}^m \rho_{xx}(j) \cdot \cos \omega_{ij} \cdot e^{-vj}.$$

Це демонструє значну складність алгоритму такого методу обчислення спектрального косинусного перетворення Фур'є шляхом адаптації коваріаційної функції до нормованої та центрованої базисної функції ТЧБ.

Запропонований метод дискретного косинусного перетворення Фур'є на основі адаптації базисних ортогональних функцій різних ТЧБ до характеристик реалізації функції автокореляції опрацьованих сигналів, згідно аналітичного виразу

$$S(w) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m K_{xx}(j) \cdot \hat{w}(j) - M_x^2,$$

де $K_{xx}(j)$ – функція автоковаріації, $\hat{w}(j)$ – базисна функція ТЧБ, адаптована до реально розрахованої оцінки $K_{xx}(j)$.

Запропонований метод генерування ортогональних функцій різних ТЧБ, адаптованих до характеристики функції автокореляції на основі розрахованих параметрів дисперсії D_x , математичного сподівання M_x та ступеня затухання енергії γ функції автоковаріації $K_{xx}(j)$, згідно виразу: $W_j = (D_x + M_x^2) \cdot \gamma_{-j} \cdot F_{ТЧБ}$, де $F_{ТЧБ}$ – базисні функції. На рис. 11, зображено приклад генерування базисних функцій для різних ТЧБ: а) Фур'є, б) Радемахера, в) Крестенсона, г) Хаара.

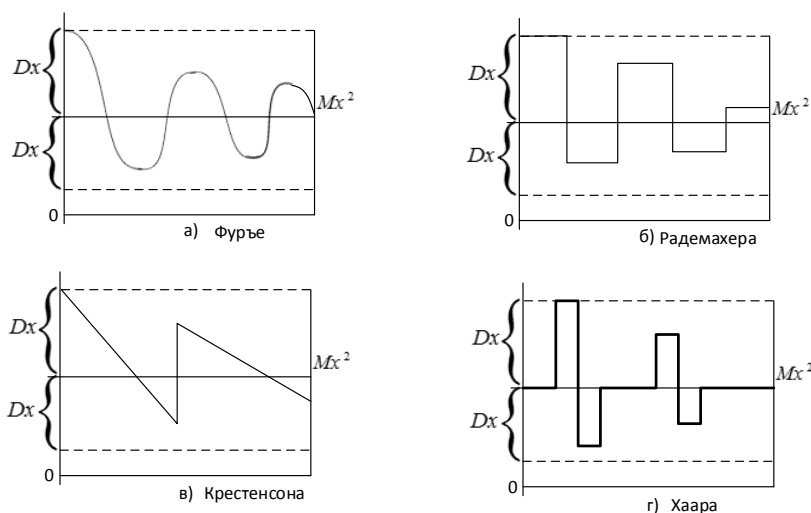


Рисунок 11 – Адаптовані базисні функції різних теоретико-числових базисів

Удосконалено метод формування цифрових значень ортогональних базисних функцій перетворення Фур'є шляхом представлення їх кодів у системі залишкових класів згідно виразу: $W_{lk} = (C_{jl1}, C_{jl2} \dots C_{jlk} \dots C_{jmk})$, де $C_{jlk} = res_{w_j}(\text{mod } P_i)$, що забезпечило реалізацію матрично-модульних операцій у базисі Хаара-Крестенсона при обчисленні спектру.

Отримав подальший розвиток метод обчислення значення спектру для однієї базисної функції шляхом розпаралелення виконання операцій множення діючих та затриманих у часі залишків цифрових відліків вхідного процесу у системі взаємопростих модулів (рис. 12):

$$\begin{array}{l}
 \rightarrow x_i(\text{mod } p_1) = b_{1i} \Rightarrow C_{01} = b_{1i} \cdot b_{1i-0}(\text{mod } p_1) C_{11} = b_{1i} \cdot b_{1i-1}(\text{mod } p_1) C_{m1} = b_{1i} \cdot b_{1i-m}(\text{mod } p_1) \\
 \rightarrow x_i(\text{mod } p_2) = b_{2i} \Rightarrow C_{02} = b_{2i} \cdot b_{2i-0}(\text{mod } p_2) C_{12} = b_{2i} \cdot b_{2i-1}(\text{mod } p_2) C_{m2} = b_{2i} \cdot b_{2i-m}(\text{mod } p_2) \\
 \dots \\
 \rightarrow x_i(\text{mod } p_k) = b_{ki} \Rightarrow C_{0k} = b_{ki} \cdot b_{ki-0}(\text{mod } p_k) C_{1k} = b_{ki} \cdot b_{ki-1}(\text{mod } p_k) C_{mk} = b_{ki} \cdot b_{ki-m}(\text{mod } p_k)
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} \dots \\ \dots \end{array}} \right\} S_0$$

$$\begin{array}{l}
 [C_{01} \cdot W_{00}(\text{mod } p_1) + C_{11} \cdot W_{01}(\text{mod } p_1) \dots C_{m1} \cdot W_{0m}(\text{mod } p_1) = S_{01}] \\
 [C_{02} \cdot W_{02}(\text{mod } p_2) + C_{12} \cdot W_{02}(\text{mod } p_2) \dots C_{m2} \cdot W_{0m}(\text{mod } p_2) = S_{02}] \\
 \dots \\
 [C_{0k} \cdot W_{0k}(\text{mod } p_k) + C_{1k} \cdot W_{0k}(\text{mod } p_k) \dots C_{mk} \cdot W_{0m}(\text{mod } p_k) = S_{0k}]
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} \dots \\ \dots \end{array}} \right\} S_1$$

$$\begin{array}{l}
 \dots \\
 [C_{01} \cdot W_{10}(\text{mod } p_1) + C_{11} \cdot W_{11}(\text{mod } p_1) \dots C_{m1} \cdot W_{1m}(\text{mod } p_1) = S_{11}] \\
 [C_{02} \cdot W_{12}(\text{mod } p_2) + C_{12} \cdot W_{12}(\text{mod } p_2) \dots C_{m2} \cdot W_{1m}(\text{mod } p_2) = S_{12}] \\
 \dots \\
 [C_{0k} \cdot W_{1k}(\text{mod } p_k) + C_{1k} \cdot W_{1k}(\text{mod } p_k) \dots C_{mk} \cdot W_{1m}(\text{mod } p_k) = S_{1k}]
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} \dots \\ \dots \end{array}} \right\} S_1$$

Рисунок 12- Реалізація процесу спектрального косинусного перетворення у базисі Хаара-Крестенсона:

S0- залишки $b_i \cdot b_{i-j}$; $i \in \overline{1, k}$; $j \in \overline{0, m}$; k - число модулів p_i ; m – число значень b_j ;

S1-S1 – число обчислених значень точок спектру; l-число базисних функцій.

Даний алгоритм використовується для реалізації структури спектрального спецпроцесора косинусного перетворення у базисі Хаара-Крестенсона.

Розрядність спектрального спецпроцесора визначається згідно відповідної послідовності модульних обчислень (рис. 13). Покроковий розрахунок модульних обчислень, які відбуваються у спектральному спецпроцесорі, та приклад модулів

приведено у табл. 1.

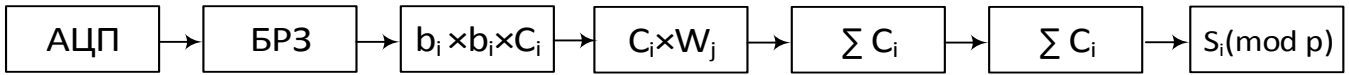


Рисунок 13 - Послідовності модульних обчислень

Таблиця 1 - Залежність розрядності та системи модулів спектрального спецпроцесора від розрядності АЦП.

АЦП біт	БРЗ	$b_i \times b_j \times C_i$	$C_i \times W_j$	ΣC_i	ΣC_i	$S_j(\text{mod } p)$	P_1, P_2, \dots, P_k
k=2	2	4	6	6	6	7	5,7,8
k=4	4	8	12	12	12	13	7,11,13,17,19
K=8	8	16	24	24	24	25	13,19,23,27,29,31,32

У четвертому розділі розроблена структурна схема спецпроцесора для обчислення спектру косинусного перетворення Фур'є у базисі Хаара-Крестенсона (рис. 14), порівняльна діаграма апаратної та часової складності якого в залежності від розрядності представлена на рис. 15.

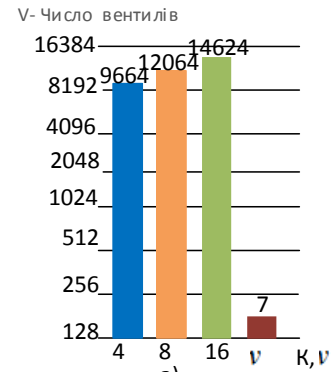
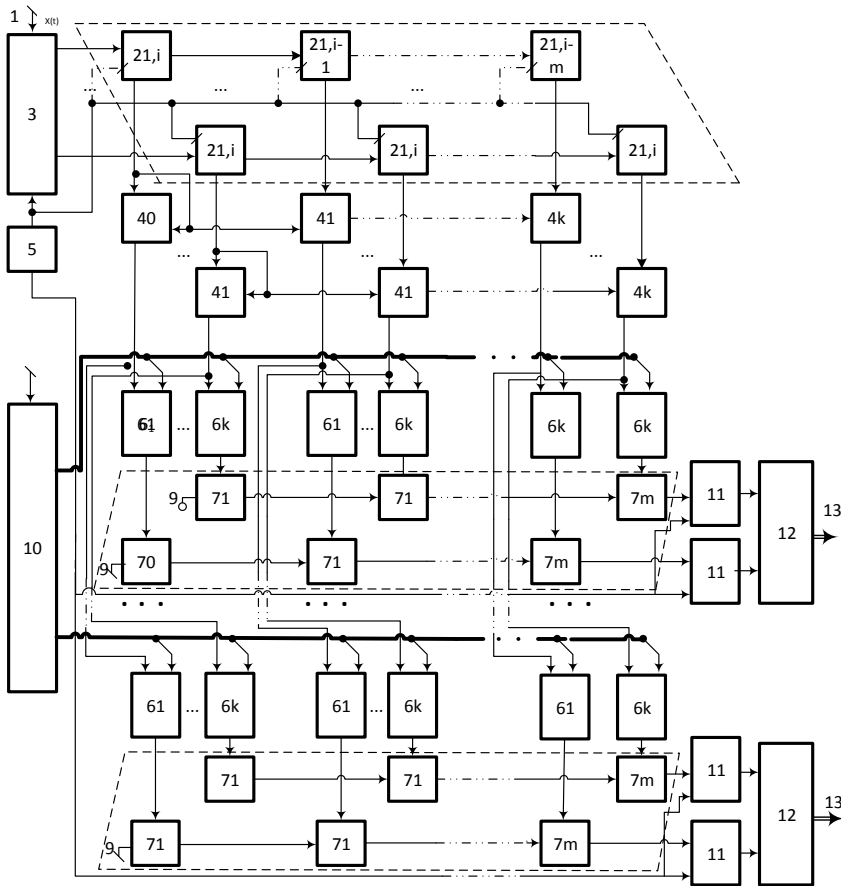


Рисунок 15 – Порівняльна характеристика апаратної та часової складності спектрального спецпроцесора

Рисунок 14 - Структурна схема спецпроцесора обчислення спектру косинусного перетворення Фур'є у базисі Хаара-Крестенсона:

1– вхід аналогового сигналу, 2 – блок пам'яті, 3 – АЦП паралельного типу з вихідним кодом базису Хаара-Крестенсона, 4 – модульні перемножувачі, 5 – генератор імпульсів, 6 – вентильні матриці перемноження по модулю, 7 – модульні матричні суматори, 8 – вхід вибору ТЧБ, 9 – вхід матричного суматора нульового каналу, 10 – пам'ять кодів базисних функцій, 11 – накопичувальний модульний суматор; 12 – дешифратор; 13 – вихідні шини кодів спектру.

У таблиці 2 приведено зростання апаратної складності компонентів в

залежності від розрядності спектрального спецпроцесора.

Таблиця 2 - Апаратна складність компонентів спектрального спецпроцесора при різній розрядності

Розрядність	АЦП	БРЗ	×	×	Σ	нΣ
4	160	5280	6336	7392	8448	9664
8	2560	7680	8736	9792	10848	12064
16	5120	10240	11296	12352	13408	14624

У випадку, коли спектральний спецпроцесор реалізується для однієї базисної функції Фур'є, Радемахера, Крестенсона або Хаара, відповідно, спрощується апаратна складність та зменшується об'єм пам'яті, а також перемножувач базисної функції на добуток залишків реалізується на базі схеми модульного множення з константою, яка має часову складність 1ν , а апаратну складність – рівну сумі логічних елементів модуля P_i .

Для розрахунку взаємо-простих модулів та наборів модулів розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє вибрати оптимальні модулі для різної розрядності процесора, а також їх набори (рис 16).

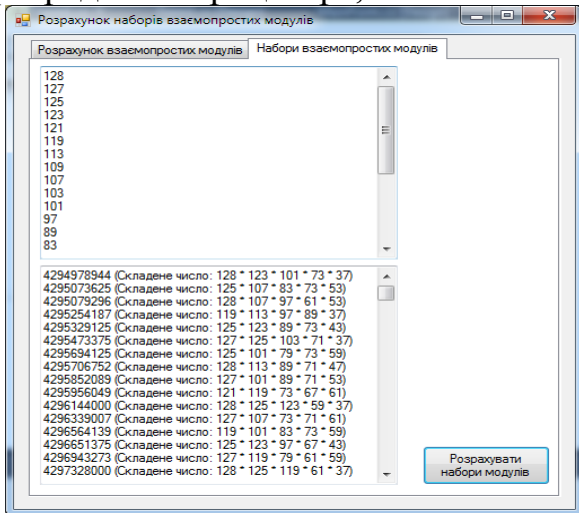


Рисунок 17 – Розрахунок взаємопростих модулів

характеристик $K_{xx}(j)$, мовою C#, синтез утилітів компонентів спектрального спецпроцесора проєктовано програмним комплексом Xilinx Ise 10.3.

У результаті дослідження системних характеристик імплементованих на ПЛІС структурних компонентів спецпроцесора встановлено, що його реалізація характеризується великим рівнем регулярності, що значно спрощує його мікроелектронний синтез.

У додатках подано документи, що підтверджують впровадження результатів наукових досліджень, розроблені програмні продукти розрахунку системи взаємо-простих модулів для спектральних спецпроцесорів різної розрядності, таблиці базисних функцій $W(j)$, адаптованих до

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

На основі проведених досліджень в дисертаційній роботі розв'язано актуальну наукову задачу розробки методів та модульних операцій при цифровому опрацюванні сигналів у спектральних спецпроцесорах, при цьому отримані наступні результати:

1. Виконана систематизація процесорів цифрового спектрального опрацювання сигналів на основі різних архітектур та сфери застосувань у широкому класі задач цифрового опрацювання даних, що дозволило обґрунтувати перспективу розробки та реалізації високопродуктивних спектральних спецпроцесорів у системі числення залишкових класів базису Хаара-Крестенсона. Викладені теоретичні засади спектрального аналізу на основі інтегрального та дискретного перетворень Фур'є, які дозволили оцінити переваги та функціональні обмеження відомих алгоритмів реалізації косинусного перетворень Фур'є, при використанні двійкової системи

числення базису Радемахера. Досліджені структури цифрових кореляторів, які є базовими компонентами спектральних спецпроцесорів косинусного перетворення Фур'є, проаналізовані характеристики кодових систем ортогональних функцій різних теоретико-числових базисів та встановлена ефективність застосування базису Хаара-Крестенсона при реалізації матрично-модульних операцій у компонентах спектральних спецпроцесорів.

2. Розроблено метод швидкодіючого аналого-цифрового перетворення сигналів у кодовій системі Хаара-Крестенсона, який дає змогу розпаралелити формування кодів залишків у базисі Хаара згідно набору взаємо-простих модулів. Застосування такого методу не вимагає додаткових міжбазисних перетворень Радемахера-Крестенсона і забезпечує швидкодіючу реалізацію модульних операцій множення та додавання цифрових даних у базовому кореляційному модулі спектрального спецпроцесора.

3. Запропоновано метод дискретного косинусного перетворення Фур'є на основі адаптації характеристик ортогональних базисних функцій до експериментальної реалізації коваріаційної функції автокореляції, що дозволило спростити складність обчислювальних операцій та зменшити кількість множень в алгоритмі спектрального опрацювання сигналів.

4. Запропоновано метод генерування ортогональних функцій різних теоретико-числових базисів, адаптованих до характеристик експериментально отриманих функцій автокореляції, що дозволило реалізувати їх зберігання табличним способом. Це дало змогу вилучити одну з трьох операцій множення в алгоритмі спектрального перетворення Фур'є та здійснити вибірку цифрових значень базисних функцій згідно параметрів дисперсії, математичного сподівання та ступеня затухання енергії функції автоковаріації.

5. Удосконалено метод формування цифрових значень ортогональних базисних функцій перетворення Фур'є шляхом переставлення їх кодів у системі залишкових класів. Це дозволило спростити та підвищити швидкодію спектрального перетворення з можливістю розпаралелення обчислювальних процесів згідно модульної арифметики.

6. Отримав подальший розвиток метод обчислення значення спектру для однієї базисної функції шляхом розпаралелення виконання операцій множення діючих та затриманих у часі залишків цифрових відліків вхідного процесу у системі взаємо-простих модулів, множення отриманих залишків добутків на залишки відповідної ортогональної базисної функції та їх накопичуюче додавання на виході однієї точки спектру. За рахунок цього зменшується об'єм пам'яті для зберігання кодів базисної функції, а також зменшується апаратна складність перемножувача базисної функції на добуток залишків.

7. Розроблена структура та мікроелектронні компоненти швидкодіючого АЦП у базисі Хаара-Крестенсона на основі застосування парафазних компараторів та заміни апаратно складних логічних елементів ВИКЛЮЧАЮЧЕ АБО елементами І-НЕ у кожному i -тому компоненті АЦП, що дозволило зменшити у 3 рази апаратну складність та підвищити у 2 рази швидкодію АЦП у базисі Радемахера-Крестенсона у порівнянні з АЦП у базисі Радемахера.

8. Розроблена структура спектрального спецпроцесора, який характеризується розширеними функціональними можливостями, які забезпечуються обчисленням спектрів у базисах Фур'є, Радемахера, Хаара та Крестенсона. Підвищення швидкодії

такого спецпроцесора на 2 порядки досягнуто розпаралеленням обчислювальних операцій у матрично-модульних перемножувачах та накопичуючих суматорах, реалізованих на вентильних матрицях у базисі Хаара.

9. Розроблено програмне забезпечення для розрахунку наборів взаємо-простих модулів спектральних спецпроцесорів у базисі Хаара-Крестенсона різної розрядності, проведено синтез компонентів спецпроцесора на ПЛІС фірми Xilinx. Впроваджена у промисловість схемотехнічна структура швидкодіючого спецпроцесора спектрального опрацювання даних орієнтована на мікроелектронне виконання на кристалі.

ПУБЛІКАЦІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. 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. Николайчук, В. Піх, Н. Возна, Т.Заведюк // Вісник національного університету «Львівська політехніка» «Комп'ютерні системи та мережі». – 2013. – №773. – С. 89-98.

2. Піх В. Я. Методи спектрального діагностування технологічних станів квазістаціонарних об'єктів промисловості / В. Я. Піх, Я. М. Николайчук, Б.Б.Круліковський // Науковий Вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу / Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2014. – №2(51). – С.172-178.

3. Піх В. Я. Пристрій для обчислення спектрального косинусного перетворення в залишкових класах / В. Я. Піх, Я.М. Николайчук, В.Л. Кимак, Б. Б. Круліковський // Патент на корисну модель №102807 МПК G06F 17/14 опуб. 25.11.2015, бюл. №22.

4. Піх В. Я. Метод мультибазисного спектрального косинусного перетворення Фур'є сигналів / В. Я. Піх // Науковий вісник НЛТУ України. – 2015. – №25.9. – С.328–333 (індексована наукометричною базою Index Copernicus).

5. Піх В. Я. Метод мультибазисного АЦП Хаара-Крестенсона на основі компараторів з парафазними виходами/ В. Я.Піх // Науковий вісник НЛТУ України. – 2016. – №26.1. – С.370-377(індексована наукометричною базою Index Copernicus).

6. Піх В. Я. Спектральний аналіз інформаційних потоків різних теоретико-числових базисів/ В. Я. Піх // Збірник матеріалів проблемно-наукової міжгалузевої конференції "Юриспруденція та проблеми інформаційного суспільства" – Івано-Франківськ, 2011. – С.65-70.

7. Воронич А. Р. Ентропійні методи формування та цифрового опрацювання сигналів у системах ідентифікації станів квазістаціонарних об'єктів / А. Р. Воронич, І. О. Погонєць, В. Я. Піх // Праці міжнародної молодіжної математичної школи «Питання оптимізації обчислень (ПОО-XXXVII) – Крим, Велика Ялта, см. Кацевелі. – 2011. – С.34-35.

8. Піх В. Я. Методи спектрального косинусного перетворення у нафтогазовій промисловості / В. Я. Піх, Я.М. Николайчук // Збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості» Ів.-Франківськ, 2013. – С.50-51.

9. Піх В. Я. Методи побудови спецпроцесорів спектрального аналізу на основі косинусного перетворення Фур'є / В. Я. Піх, Т. О. Корнійчук // Збірник матеріалів міжнародної координаційної наради ISCM-2014. – Тернопіль, 2014. – С.128-131.

10. Піх В. Я. Метод формалізації дискретного косинусного перетворення Фур'є у системі залишкових класів теоретико-числового базису Крестенсона / В. Я. Піх, В.Л. Кімак, Б.Б. Круліковський // Праці VII міжнародної школи-семінару «Теорія прийняття рішень». – Ужгород, УжНУ, 2014.- С.204-205.

11. 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 TCSET'2014-Lviv, 2014. – Pp.549-551.

12. Pikh V. Computer technologies in information security/ Alishov N., Albanskiy I., Bredelev B., Davletova A., Franko Y., Humenniy P., Ivasyev S., Kasianchuk M., Kimak V., Krulikovskiy B., Kudin A., Liura O., Nykolaichuk L., Pikh V., Pitukh I., Protsiuk H., Segin A., Shvidchenko I., Volynskyy O., Voronych A., Vozna N., Yakymenko I., Yatskiv V., Zastavnyi O., Zavediuk T / edited by V. Zadiraka, Y. Nykolaichuk. -Temopil: "Kart-blansh", 2015- С.287-299.

13. Pikh V. Synthesis of high-performance components of spectral analyzers and special processors for data encryption in Rademacher-Krestenson's theoretical-numerical basis / V.Pikh, V. Kimak, B. Krulikovskiy // Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції “Досвід розробки та застосування приладо-технологічних САПР в мікроелектроніці”: CADSM 2015. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. – С. 182-186.

14. Николайчук Я. М. Високопродуктивні спецпроцесори кореляційного, спектрального та ентропійного опрацювання сигналів / Я. М.Николайчук, В.Я. Піх, А.Р. Воронич // Праці міжнародної наукової школи-семінару „Питання оптимізації обчислень (ПОО-ХЛІІ)”. - Київ: Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, 2011. - С. 34-36.

15. Піх В. Я. Методи спектрального косинусного перетворення у нафтогазовій промисловості / В. Я. Піх, Я. М. Николайчук // матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості» Ів.-Франківськ, 2015. – С.16-18.

АНОТАЦІЇ

Піх В. Я. Процесори спектрального косинусного перетворення фур'є на основі різних кореляційних функцій та теоретико-числових базисів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 - комп'ютерні системи та компоненти. – Тернопільський національний економічний університет Міністерства освіти і науки України, Тернопіль, 2016.

Дисертаційна робота присвячена питанням розробки методів спектрального косинусного перетворення Фур'є на основі різних кореляційних функцій та теоретико-числових базисів. У дисертації проаналізовано існуючий стан побудови та застосування спектральних спецпроцесорів, проведено аналіз характеристик кодових матриць ТЧБ: Унітарного, Хаара, Радемахера та Крестенсона, розроблено структурні рішення та досліджені системні характеристики компонентів спецпроцесора спектрального косинусного перетворення у базисі Хаара-Крестенсона, розроблено метод виконання операцій множення та додавання на основі модульних матриць ТЧБ Хаара-Крестенсона.

Розроблено структурну та функціональну схеми спектрального перетворення в базисі Хаара-Крестенсона, досліджені технічні характеристики компонентів швидкодіючого спецпроцесора визначення функції автоковаріації, в якому реалізується розпаралелення операції аналого-цифрового перетворення зсуву даних в багаторозрядному регістрі зсуву, додавання в накопичувальних суматорах, що дозволило зменшити у два рази апаратну складність і підвищити його швидкодію на 1-2 порядки. Застосування розроблених методів дозволяє підвищити продуктивність засобів спектральної обробки сигналів, зменшити обчислювальну складність та підвищити швидкість визначення спектральних характеристик сигналів.

Ключові слова: спектр, спецпроцесор, теоретико-числові базиси.

Пих В. Я. Процессоры спектрального косинусного преобразования Фурье на основе различных корреляционных функций и 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, образования и науки Украины, Тернополь, 2016.

Диссертация посвящена вопросам разработки методов спектрального косинусного преобразования Фурье на основе различных корреляционных функций и теоретико-числовых базисов.

В диссертации проанализировано существующее состояние построения и применения спектральных спецпроцессоров в информационных системах, формализованы и исследованы методы аналого-цифрового преобразования сигналов в различных ТЧБ и предложен новый метод построения АЦП в базисе Хаара-Крестенсона, который характеризуется меньшей аппаратной сложностью, а представление цифровых данных в кодовой системе Хаара-Крестенсона обеспечивает уменьшение в два раза сложности базовых компонентов КСП цифровых умножителей и накопительных модульных сумматоров.

Впервые предложен метод генерирования ортогональных функций различных теоретико-числовых базисов, адаптированных к характеристикам экспериментальных ковариационных АКФ с учетом затухания их энергии. Разработанный алгоритм и программное обеспечение расчета системы взаимнопростых модулей для спектральных спецпроцессоров разрядностью 4-32 бита.

Впервые разработан и формализован метод дискретного косинусного преобразования Фурье путем распараллеливания процесса аналого-цифрового преобразования и применения теории модульных операций в базисе Хаара-Крестенсона с помощью представления остатков по взаимнопростым модулям в кодовой системе Хаара-Крестенсона и выполнения арифметических операций матрично-модульным способом, что позволило на 1-2 порядка уменьшить временную сложность процессоров и снизить их аппаратную сложность.

Разработана структурная и функциональная схемы спектрального преобразования в базисе Хаара-Крестенсона, исследованы технические характеристики компонентов быстродействующего спецпроцесора определения функции автоковаріації, в котором реализуется распараллеливание операции

аналого-цифрового преобразования сдвига данных в многоуровневом регистре сдвига, суммирования в накопительных сумматорах, что позволило уменьшить в два раза аппаратную сложность и повысить его быстродействие на 1-2 порядка. Применение разработанных методов позволяет повысить производительность специализированных средств спектральной обработки сигналов, уменьшить их вычислительную сложность и повысить скорость определения спектральных характеристик сигналов.

Ключевые слова: спектр, спецпроцессор, теоретико-числовые базисы.

Pikh V.Y. Processors of Spectral Cosine Fourier Transformation Based on Different Correlation Functions and Theoretical and Numerical Bases. – manuscript.

The dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.13.05. – Computer Systems and Components. – Ternopil National Economic University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Ternopil, 2016.

The dissertation is devoted to questions of development the methods of spectral cosine Fourier transformation based on various correlation functions and theoretical and numerical bases. The existing state of the construction and application of spectral special processors in information systems and the characteristics of code matrices TCHB such as

Unitary, Haar, Rademacher and Krestenson had been analyzed in the dissertation. The structural solutions and investigated system characteristics of the special processor components of spectral cosine transformation in the basis of Haar-Krestenson, the method of operations of multiplication and addition based on modular matrices TCHB of Haar-Krestenson.

The structural and functional scheme of spectral transformation in the basis Haar-Krestenson investigated characteristics of components of high-performance special processor function definition covariance, which realizuetsa rozparalelenoho operations analog-to- digital conversion shift data in mnohorozryadnom shift register summing the storage combiners, thus reducing by 40% hardware complexity and increase its speed by 1-2 orders of magnitude. Applications developed methods to improve performance of specialized tools spectral signal processing vechislitelnoyu reduce complexity and increase the speed vechisleniya spectral characteristics of signals.

Keywords: spectra, special processors, theoretical and numerical bases.

Підписано до друку 25.05.2016 р.
Формат 60x84/16. Гарнітура Times.
Папір друк. Друк офсетний.
Умов. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 0,9.
Наклад 100 прим. Зам. № 05/16/3-7

Віддруковано у видавничому центрі "Вектор"
46018, м. Тернопіль, вул. Львівська, 12,
Тел. 8 (0352) 40-08-12

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до державного реєстру видавців, виготівників
і розповсюджувачів видавничої продукції
серія ТР № 46 від 07 березня 2013р.
ФО Осадца Ю.В.