

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МОДЕЛЮВАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ

на правах рукопису

КРАВЕЦЬ Світлана Юріївна

РОЗРОБКА МЕТОДІВ ПОВУДОВИ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ
ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ СПЕКТРАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ
ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ В БАЗИСІ РОЗРЯДНИХ ФУНКЦІЙ.

05.13.08 - обчислювальні машини, системи та мережі,
елементи і пристрої обчислювальної техніки
та систем керування

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Київ - 1995

Дисертація

ЛННБ України ім.В.Стефаніка

Робота виконана в Інституті
НАН України



00761628 (U)

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор,
Євдокимов Віктор Федорович

Науковий консультант:

кандидат технічних наук
Мохор Володимир Володимирович

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук
Романцов Володимир Петрович,

кандидат технічних наук
Труш Олександр Іванович

Провідна організація:

Інститут проблем реєстрації
інформації НАН України

Захист відбудеться 18 грудня 1995 р. о 14 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.91.01 в конференц-залі Інституту проблем моделювання в енергетиці НАН України (252680, м. Київ-164, вул. Генерала Наумова, 15).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці інституту.

Автореферат разісланий "27" листопада 1995 р.

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради Д 01.91.01

к. т. н.

Е. П. Семегіна

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Методи цифрової обробки сигналів складають основу важливих розробок в області фізики, електроніки й електротехніці, особливо в системах зв'язку, радіолокації, контрольно-виміривальному приладобудуванні і системах автоматичного управління. Одним із основних напрямків в області обробки інформації в теперішній час є спектральні перетворення на основі швидкого перетворення Фур'є, а також оптимальні ортогональні перетворення, які в загальному випадку відмінні від тригонометричних розкладів і вживаються для підвищення ефективності обробки даних у відповідності з заданим критерієм оптимальності. Перевага спектральних методів визначається їх ефективними згладжувчими властивостями, декореляційев коефіцієнтів розкладу, можливістю виконання аналізу в реальному масштабі часу, простим виглядом функцій традиційних базисів. Складний характер скінченно-дискретного перетворення Фур'є, який приводить до збільшення похибок при аналізі спектру в результаті ефектів розтікання і накладання частот при цифровій обробці сигналів, привели дослідників до ідеї застосування інших базисних систем функцій, відмінних від комплексно-експоненціального базису Фур'є. Останнім часом дослідники знайшли додаткові можливості, скриті в теорії спектральних перетворень, що дозволило успішно застосовувати системи нетригонометричних функцій, таких як системи функцій Уолша-Адамара, Хаара, Вілленкіна-Крестенсона, та інших. При цьому важливе значення мають двоїчно-ортогональні базиси типу функцій Радемахера, Уолша, перевага яких в порівнянні з іншими базисами полягає у натурально-машинному поданні базисних функцій, подібність до дискретного зображення сигналів при цифровій обробці, поданням аналогових та дискретних властивостей, важливих при аналого-цифровому перетворенні, економне використання ресурсів ЕОМ. Надання сигналам вигляду рядів в подібних

ортогональних базисах являє собою перспективний напрямок в теорії обробки інформації.

Одними з найбільш близькими до двійкового представлення інформації є так звані "розрядні функції", які виявляють собою двійкові послідовності певного чину. У відповідності з цим, питання, що пов'язані з використанням різноманітних систем розрядних функцій як базису спектрального перетворення, є актуальними. Особливо це стосується питань підвищення ефективності алгоритмів, які використовують спектральний апарат теорії розрядних функцій, зокрема необхідність розв'язання задач і створення методів швидких розрядних перетворень.

Таким чином, метою цієї роботи є дослідження властивостей різних систем розрядних функцій і розробка на їх основі методів, алгоритмів, програм та пристроїв для вирішення задач швидкого спектрального перетворення дискретних сигналів.

Для досягнення поставленої мети необхідно було розв'язати такі основні завдання:

1. Провести аналіз властивостей базисних систем, які використовуються в загальній теорії ортогональних перетворень.

2. Дослідити властивості систем складних розрядних функцій щодо можливості їх використання для розробки швидких спектральних розрядних перетворень і власне їх розробити.

3. Розробити алгоритми і програми швидких перетворень відносно дискретних двійкових сигналів.

4. В базисах розрядних функцій розробити методи побудови пристроїв спектральної обробки інформації.

НАУКОВА НОВИНА

1. На основі загальної теорії ортогональних перетворень встановлені властивості розрядних базисних систем і визначені критерії їх вибору.

2. Розроблені способи факторизації матриць систем

складних розрядних функцій і відповідні до них обчислювальні процедури швидких перетворень в різних системах розрядних базисних функцій. Одержані при цьому процедури швидких розрядних перетворень характеризуються алгоритмічною простотою і єдністю представлення їх у векторно-матричній формі для різних порядків вихідної матриці перетворень.

НА ЗАХИСТ ВИНОСЯТЬСЯ

1. Алгоритми побудови швидких перетворень на основі розрядних функцій.

2. На основі підходу до формування графів, що описують алгоритмічний процес, запропоновані схеми пристроїв швидкого розрядного перетворення.

ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ РОБОТИ базується на таких результатах:

1. Розроблено програмне забезпечення, яке дозволило генерувати системи складних розрядних функцій в різних логічних базисах

2. Розроблені алгоритми і програми, які дозволяють проводити спектральну обробку інформації на основі швидких розрядних перетворень.

3. На основі теоретичних принципів та алгоритмів, розроблених в роботі, запропоновані схеми пристроїв, які характеризуються високою інформаційною продуктивністю і реалізують цифрову обробку поступової інформації за допомогою швидких розрядних перетворень.

Основні результати, одержані при виконанні роботи, а також конкретно розроблені обчислювальні пристрої впроваджуються в Інституті проблем моделювання в енергетиці НАН України і в суміжних з ним організаціях при розробці спеціалізованих систем обробки інформації.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Для вирішення задач, поставлених в дисертаційній роботі, використовувався апарат лінійної алгебри, теорія розрядних перетворень, алгебра логіки, спектральний аналіз.

АПРОВАЦІЯ РОБОТИ. Основні матеріали роботи доповіда-

лись на річних науково-технічних конференціях по результатах науково-дослідної діяльності Інституту (Київ, 1984-1985 роках), Міжнародній науково-технічній конференції "Цифрова обробка сигналів" (м. Ярославль, 1984 р.), на I Міжнародній науково-технічній конференції "Математичне моделювання в електротехніці й електроенергетиці" (м. Львів, 1985 р.). Основні результати роботи відображені в 4-х опублікованих роботах.

ОСОБИСТИЙ ВНЕСОК АВТОРА полягає в дослідженні властивостей складних розрядних функцій (робота 1,3);

в розробці алгоритмів швидких перетворень в базисі розрядних функцій (робота 2);

в розробці програмних комплексів, які дають можливість генерувати розрядні функції і розраховувати спектральні характеристики сигналів в базисі складних розрядних функцій;

в розрахунках і побудовах схем обчислювальних пристроїв на основі одержаних алгоритмів (робота 4).

Усі основні положення та результати дисертаційної роботи, які виносяться автором на захист, були отримані самостійно.

СТРУКТУРА ТА ОБ'ЄМ ДИСЕРТАЦІЇ.

Дисертація складається з вступу, трьох розділів, заключення, додатка та списку літератури, який складається із 85 найменувань. Вона містить 146 сторінок машинописного тексту та 39 ілюстрацій.

ЗМІСТ РОБОТИ.

У вступі приведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та задачі роботи, а також перелічено основні результати та положення, які виносяться на захист.

У першому розділі наведені результати аналізу існуючих спектральних методів перетворень і обробки сигналів. Головну увагу приділено теорії розрядних перетворень. Проаналізовано

властивості простих розрядних функцій і показано, що їх система не є повною для відтворення об'єктів в просторі L^2 з заданих точність. З метою підвищення точності апроксимації використовуються повні системи складних розрядних функцій, для яких наведені конструктивні методи формування цих систем.

Побудовані на основі простих розрядних функцій (ПРФ), системи складних розрядних функцій (СРФ) є повними, лінійно незалежними системами, для одержання яких використовуються різні функції алгебри логіки, що якнайчастіше вживаються у цифровій техніці. Ці базиси є дійсними, цілочисельними, характеризуються скінченим числом цілих значень відліків базисних функцій, на інтервалі визначення приймають два значення: 0 чи 1. При цьому було одержано велику кількість таких систем в залежності від порядку проходження окремих функцій в системі. Для спрощення були розглянуті лише упорядкування за Пелі, Адамаром та Хармутом. Вказано, що системи складних розрядних функцій мають назви у відповідності з назвами логічних функцій.

Прості розрядні функції $X^{(k)}(x)$ мають вигляд:

$$X^{(k)}(x) = \frac{1}{2} [1 - r_j(x)],$$

де $r_j(x)$ - функції Радемахера, $x \in [0,1]$, $k=0,1, \dots$

Системи СРФ будуються як на основі власне ПРФ, так і на

основі інверсних ПРФ $\overline{X^{(k)}}(x)$, де $\overline{X^{(k)}}(x) = 1 - X^{(k)}(x)$.

Так, системи складних розрядних функцій $\{P_1(x)\}$, при упорядкуванні за Пелі, будуть визначатися співвідношенням:

$$P_1(x) = \bigwedge_{k=1}^{\alpha} [X^{(k)}(x)]^{l_k},$$

де α - задана кількість ПРФ,

l_k - значення відповідного розряду в номері функції,

$l=1,2, \dots, (2^\alpha - 1)$ - номер функції в системі,

\wedge - означає операцію "кон'юнкція", якщо будується система

складних розрядних функцій за базисом кон'юнкції, або "диз'юнкція" - якщо будується система за базисом диз'юнкції, і так далі.

Система СРФ, що впорядкована за Адамаром $\{A_1(x)\}$, може бути одержана з системи, впорядкованої за Пелі, шляхом інверсії номерів функцій - записом розрядів двійкового подання номеру 1 в зворотньому порядку. При цьому:

$$A_1(x) = \bigwedge_{k=1}^{\alpha} [X(x)]^{1_{\alpha-k+1}} \quad (k)$$

Система СРФ, що впорядкована за Хармутом $\{H_1(x)\}$, також може бути одержана з системи СРФ, впорядкованої за Пелі. При цьому номер відповідної функції в системі Пелі буде дорівнювати коду Грея двійкового розкладу заданого номера функції в системі Хармута. Якщо k -й розряд коду Грея двійкового зображення $l=1, l_2 \dots l_{\alpha}$ позначити як $\langle l_k \rangle$, то

$$H_1(x) = \bigwedge_{k=1}^{\alpha} [X(x)]^{\langle l_k \rangle} \quad (k)$$

Проведений аналіз показав, що актуальними задачами в розробці швидких методів розрядних перетворень є:

- дослідження властивостей базисних розрядних систем;
- розробка теоретичної основи побудови швидких методів перетворень в базисах розрядних функцій;
- розробка алгоритмів швидких перетворень відносно дискретних двійкових сигналів.

В другому розділі показано, що найбільш вживаний алгоритм ортогоналізації Грама-Шмідта не може бути застосованим до систем складних розрядних функцій, оскільки не дає однозначного результату. Приведені результати дослідження властивостей систем базисних функцій, побудованих на основі простих розрядних функцій. Описані методи одержання спектральних характеристик одномірних сигналів з використанням розрядних перетворень.

З метою ортогоналізації систем СРФ проведено доповнення їх такими системами Φ , для яких справедливе співвідношення

ортогональності :

$$Q\Phi^T = Q^T\Phi = E$$

При цьому система $\Phi = (Q^T)^{-1}$ має назву біортогональної системи щодо Q .

В задачах обробки інформації найбільш прийнятнов є матрична форма запису. В цьому випадку формули прямого і оберненого розрядних перетворень мають вигляд:

$$\begin{aligned}\vec{z} &= Q^T(N)\vec{f} \\ \vec{f} &= \Phi(N)\vec{z},\end{aligned}$$

де \vec{f} , \vec{z} -вектори-колонки:

$$\begin{aligned}\vec{f} &= |f(0), f(1), \dots, f(N-1)|^T \\ \vec{z} &= |c(0), c(1), \dots, c(N-1)|^T,\end{aligned}$$

$\Phi(N)$ - матриця біортогонального доповнення N -го порядку, Q^T -матриця, транспонована по відношенню до матриць систем СРФ, розміром $N \times N$.

Використовуючи факт, що швидкі перетворення для систем СРФ можуть бути одержані шляхом розкладу їх матриць розміром $2^n \times 2^n$ в добуток n матриць $\Phi^{(k)}$ з незначнов кількістю членів, відмінних від нуля, обчислення вектора \vec{f} може бути представлено у вигляді:

$$\vec{f} = \Phi^{(n)} \Phi^{(n-1)} \dots \Phi^{(1)} \vec{z}.$$

або у вигляді послідовності перетворень:

$$\begin{aligned}\vec{f}_1 &= \Phi^{(1)} \vec{z} \\ \vec{f}_2 &= \Phi^{(2)} \vec{z} \\ &\dots\end{aligned}$$

$$\vec{f} = \vec{f}_n = \Phi^{(n)} \vec{f}_{n-1}.$$

де $\vec{f}_1, \vec{f}_2, \dots, \vec{f}_{n-1}$ - послідовність векторів, одержаних в результаті лінійних перетворень з матрицями $\Phi^{(1)}, \Phi^{(2)}, \dots, \Phi^{(n)}$.

В результаті проведених досліджень встановлена можливість представлення матриць систем СРФ у вигляді звичайного добутку розріджених матриць, що дає змогу використовувати

методи швидких ортогональних перетворень.

При цьому системи СРФ любого порядку, впорядковані за Адамаром, можуть бути представлені слідувачим образом:

$$Q_1(N) = [I_{N/2} \bar{\otimes} Q(2)]^N$$

$$Q_1(N) = [I_{N/2} \tilde{\otimes} Q(2)]^N$$

$$Q_1(N) = [F(N)P(N)]^N$$

$$Q_1(N) = [P(N)F(N)]^N,$$

де, наприклад, для кон'юнктивної системи

$$Q_1(1) = [1]; Q_1(2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1 \end{bmatrix},$$

n - символ звичайного добутку n однакових матриць порядку N ,
 $I_{N/2}$ - одинична матриця порядку $N/2$,

$F(N) = I_{2^{n-1}} \otimes Q_1(2)$; $P(N)$ - матриця перестановки,

$\bar{\otimes}$ - кронекеровські добутки по строкам,

$\tilde{\otimes}$ - кронекеровські добутки по колонкам.

Матриці систем СРФ, впорядкованих за Пелі, можуть бути наведені у вигляді:

$$Q_1(2^N) = Q_1(2^{N-1}) \bar{\otimes} Q_1(2)$$

$$Q_1(2^N) = Q_1(2^{N-1}) \tilde{\otimes} Q_1(2)$$

$$Q_1(N) = \prod_{j=1}^n I_{2^{(j-1)}} \otimes (I_{2^{(n-j)}} \tilde{\otimes} Q_1(2))$$

$$Q_1(N) = \prod_{j=1}^n I_{2^{(n-j)}} \otimes (Q_1(2) \tilde{\otimes} I_{2^{(j-1)}}),$$

при цьому $Q_1(2)$ має такий же вигляд, що і для матриць систем СРФ, впорядкованих за Адамаром.

Третій розділ присвячений апаратній реалізації спектрального перетворення сигналів в базисі розрядних функцій.

При паралельній обробці інформації на основі розрядних

функцій у реальному масштабі часу виявляється можливою реалізація пристрою, який виконує обчислення лише блоками.

Вибір типу графа швидкого перетворення суттєво впливає на принципи і структуру побудови спеціалізованих пристроїв обробки інформації. Створення таких пристроїв на основі математичного апарату розрядних функцій дає змогу вирішити наступні основні задачі: досягти спрощення структурної схеми при одночасному підвищенні швидкодії.

Спрощення функціональної схеми пристроїв обробки спектральних сигналів можливо досягти шляхом якнайменшого вклучення в схему таких елементів як комутатор, регістр зміщення, лічильник тактових імпульсів, суматор-відлічувач, а підвищення швидкодії - завдяки одночасній паралельній їх обробці в блоках обчислень, які, в свою чергу, більшість мають кільцеву структуру.

В роботі наведено окремий випадок реалізації пристрою обробки спектральних сигналів на основі швидких розрядних перетворень, який складається з блоку попередньої обробки, регістрів зміщення та блоку завершальної обробки. Блок попередньої обробки являє собою багатоступеневий паралельно-конвеєрний пристрій, перша ступінь якого вклучає $N/4$ (N -розмірність перетворення) паралельних чотирьоточкових розрядних вузлів перетворень. Кожний з цих вузлів, в свою чергу, складається з чотирьох двоточкових елементів перетворення. Зв'язки між блоками дають змогу здійснювати одночасну обробку N вхідних величин і передавати результати обчислень на наступну ступінь.

Максимальна швидкодія такого пристрою буде визначатися за формулою

$$v = R (1 + \log_2 N),$$

де R - швидкість знаходження інформації,

$n = \log_2 N$ - кількість стадій перетворень при врахуванні зчитування інформації з елементів регістрів зміщення.

Швидкодія функціонування такої схеми буде визначатися в пер-

шу чергу величин R .

Такого типу пристрої можуть бути використані для спектрального і кореляційного аналізу випадкових процесів, в цифровій фільтрації, при стисненні інформації, в техніці зв'язку, для збільшення швидкодії окремих схем обробки інформації комп'ютерними методами.

У додатку наведені програми реалізації алгоритму швидких перетворень і спектрального зображення сигналів в базисі розрядних функцій, написані мовою Паскаль 7.0, які можуть бути використані при розв'язанні практичних задач спектральної обробки інформації.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ.

Головне значення цієї роботи полягає в тому, що одержані результати дають змогу визначити нові підходи до побудови спеціалізованих обчислювальних пристроїв на основі швидких методів обчислення зображення сигналів в області розрядних спектрів.

Одержані в роботі основні результати, полягають ось у чому:

1. Виявлені особливості систем складних розрядних функцій, завдяки яким виявляється можливим реалізувати швидкі розрядні перетворення.

2. Розроблені методи швидких розрядних перетворень, які можуть служити основою для побудови нових швидкодіючих алгоритмів і спеціалізованих обчислювальних пристроїв, які їх реалізують. Одержано велику кількість графів швидких перетворень, що дає змогу реалізувати відповідне число можливих варіантів побудови спеціалізованих пристроїв, які виконуватимуть ці перетворення.

3. Розроблені алгоритми та програми реалізації швидких перетворень і спектрального представлення сигналів в базисі розрядних функцій.

4. Створені методи побудови обчислювальних пристроїв, які виконують спектральну обробку інформації в базисі розрядних функцій.

5. На основі реалізації швидкого перетворення розрядних функцій запропоновано схему пристрою обробки інформації, яка характеризується більш високими значеннями швидкодії в порівнянні з існуючими аналогами.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ В РОБОТАХ:

1. Давиденко А. Н., Кравец С. Ю., Мохор В. В. Об особенностях использования различных логических базисов при построении математических моделей нелинейных объектов на основе сложных разрядных функций // Электрон. моделирование. - 1995, Т. 17 - №2, С. 75-79.
2. Факторизация матриц разрядных преобразований / Давиденко А. Н., Кравец С. Ю., Мохор В. В.; К., 1995.- 7 с.- Деп. ГНТБ Украины 04.04.95, №678-Укр95.
3. Особенности систем базисных функций, построенных на основе простых разрядных функций / Давиденко А. Н., Кравец С. Ю., Мохор В. В.; К., 1995.- 7 с.- Деп. в ГНТБ Украины 04.04.95, №677-Укр95.
4. Давиденко А. М., Кравец С. Ю., Мохор В. В. Моделирование нелинейных зависимостей разрядными функциями. Тезисы I Международной конференции "Математичне моделювання в електротехніці й електроенергетиці". - Львів. - 1995. - С. 19-20.

Кравец С. Ю. Разработка методов построения специализированных вычислительных устройств спектрального преобразования и обработки информации в базисе разрядных функций.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.08 - Вычислительные машины, системы и сети, элементы и устройства вычислительной техники и систем управления, Институт проблем моделирования в энергетике НАН Украины, Киев, 1995.

Защищаются 4 работы, которые содержат теоретические исследования, связанные с применением разрядных функций в спектральной теории обработки информации. Установлено, что системы сложных разрядных функций обладают свойством регулярности, позволяющим реализовать быстрые разрядные преобразования. На основе теоретических принципов и алгоритмов, разработанных в работе, реализованы схемы вычислительных устройств, которые могут быть использованы при построении аппаратуры спектральной обработки информации в базисе разрядных функций.

Kravets S. Ju. The development of methods for special computing device construction for spectral transforming and data processing on digital function basis. Dissertation for scientific degree contest of the technical sciences candidate on speciality 05.13.08 - Computer complexes, systems and networks, computing elements and devices and elements and devices of control systems, the Institute for Modelling Problems in Energetics National Academy of Science of Ukraine, Kiev, 1995.

Four works, which contain theoretical investigations concerning with application of digit functions in the spectral theory of data processing. It was determined that systems of complex digit functions are regular. This makes possible a realization of fast digit transforms. The schemes of computing devices, which can be used for construction of

the apparatus for spectral processing of information in the basis of digital functions were realized on the basis of theoretical principles and algorithms developed in this work.

Ключові слова: пристрої обробки інформації, спектральна обробка інформації, методи розрядних перетворень, розрядні функції.

Куца

ЛІНБ ім. В. Стефаника
АН України

440728

The apparatus for spectral processing of information in the
 basis of digital functions were realized on the basis of
 theoretical principles and algorithms developed in this
 work, and the experimental results are given in the
 following sections.

1. INTRODUCTION. The purpose of this work is to develop
 a method for the spectral processing of information in the
 basis of digital functions. The method is based on the
 use of digital functions and the results are given in the
 following sections.

2. THEORETICAL PRINCIPLES AND ALGORITHMS. The theoretical
 principles and algorithms for the spectral processing of
 information in the basis of digital functions are given in
 this section. The method is based on the use of digital
 functions and the results are given in the following
 sections.

3. EXPERIMENTAL RESULTS. The experimental results for the
 spectral processing of information in the basis of digital
 functions are given in this section. The results show
 that the method is effective and the results are given
 in the following sections.

4. CONCLUSIONS. The conclusions of this work are
 given in this section. The method is effective and the
 results are given in the following sections.

THE INSTITUTE OF ELECTRONICS AND ELECTROPHYSICS
 OF THE ACADEMY OF SCIENCES OF THE USSR