

**МЕТОД МУЛЬТИБАЗИСНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО КОСИНУСНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є СИГНАЛІВ**

Проаналізовано методи опрацювання сигналів. Розглянуто математичну модель мультибазисно-спектрального косинусного перетворення сигналів, з можливістю використання різних теоретико-числових базисів. Запропоновано алгоритм обчислення автокореляційної функції на основі вхідного масиву, який ґрунтується на алгоритмі дискретного перетворення Фур'є. Запропонований метод характеризується розширеними функціональними можливостями завдяки тому, що обчислення спектра може відбуватися у базисах Фур'є, Радемахера, Кресентсона та ін. Крім того, виконання модульних операцій реалізується на основі логічних модульних матриць множення та додавання, які можуть бути реалізовані програмно або апаратно і виконуються в базисі Хаара-Кресентсона протягом двох мікротактів, що істотно підвищує швидкість спектрального аналізу випадкових процесів

**Ключові слова:** спектральне косинусне перетворення, спецпроцесори, теоретико-числові базиси, аналіз Фур'є, спектральні кореляції.

**Вступ.** Сучасні методи спектрального перетворення Фур'є широко використовують для оброблення сигналів обчислювальної техніки. Відомий спосіб обчислення спектрів на основі дискретного швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) [1]. Цей спосіб характеризується підвищеною швидкістю визначення спектра з обчислювальною складністю  $N \cdot \log_2 N$  множень. Недоліком цього способу є виконання математичних операцій над двійковими представленнями комплексних чисел.

Близьким до відомого способу є спосіб обчислення спектрів, що ґрунтується на алгоритмі дискретного косинусного перетворення Фур'є згідно з подвійним z-перетворенням кореляційної функції випадкового процесу за теоремою Віннера-Хінчина [2].

**Мета роботи** полягає в тому, що вхідний аналоговий випадковий процес шляхом дискретизації в часі і квантування по амплітуді перетворюється у дискретні цифрові відліки  $x(nT)$ , на основі яких обчислюється автокореляційна функція.

**Постановка проблеми.** Значні функціональні обмеження обчислювальних процесів перетворення Фур'є та слабка збіжність рядів Фур'є привели до розвитку та успішного застосування інших ТЧБ для обчислення спектрів сигналів. При цьому для вдосконалення характеристик спецпроцесорів потрібно розв'язати задачу сумісного застосування теорії кореляційних функцій та базисних функцій різних ТЧБ шляхом адаптації базисних функцій до асимптотики кореляційних функцій досліджуваних сигналів [3-8].

Крім того, виклад теорії кореляційних функцій у джерелах інформації стосується майже виключно мультиплікативної форми автокореляційної функції, яка серед інших формул не характеризується найкращими показниками у плані реалізації кореляційних спецпроцесорів із мінімаксними характеристиками. Наявність різних аналітичних виразів для обчислення кореляційних фун-

кцій, а також відомі аналітичні зв'язки між ними створює відповідну теоретичну базу для побудови нового класу дискретних перетворень Фур'є на основі комбінації типів кореляційної функції і різних типів ТЧБ

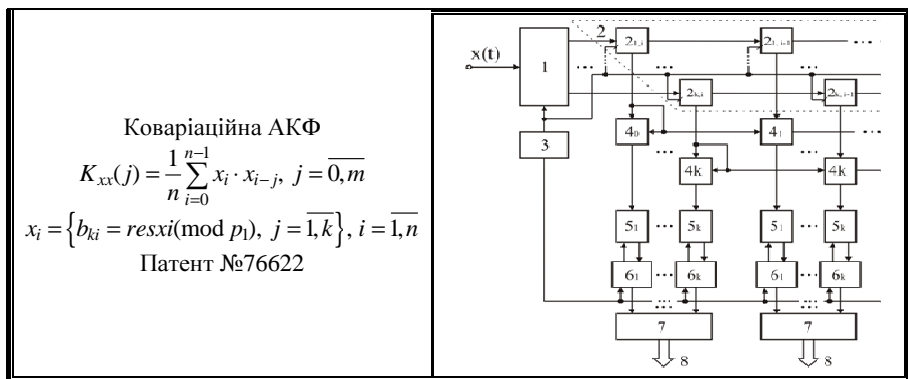
**Теорія дискретного косинусного перетворення Фур'є.**

Кореляційний аналіз сигналів може виконуватись на базі різних авто- та взаємкореляційних функцій, проте найвищою швидкістю та найменшою апаратною складністю характеризуються кореляційні спецпроцесори визначення знакової функції у ТЧБ Хаара [20]. Аналітику та структуру спецпроцесів реалізації компонентів  $X(t)$  викладено у таблиці.

**Табл. Архітектура унітарних спецпроцесорів**

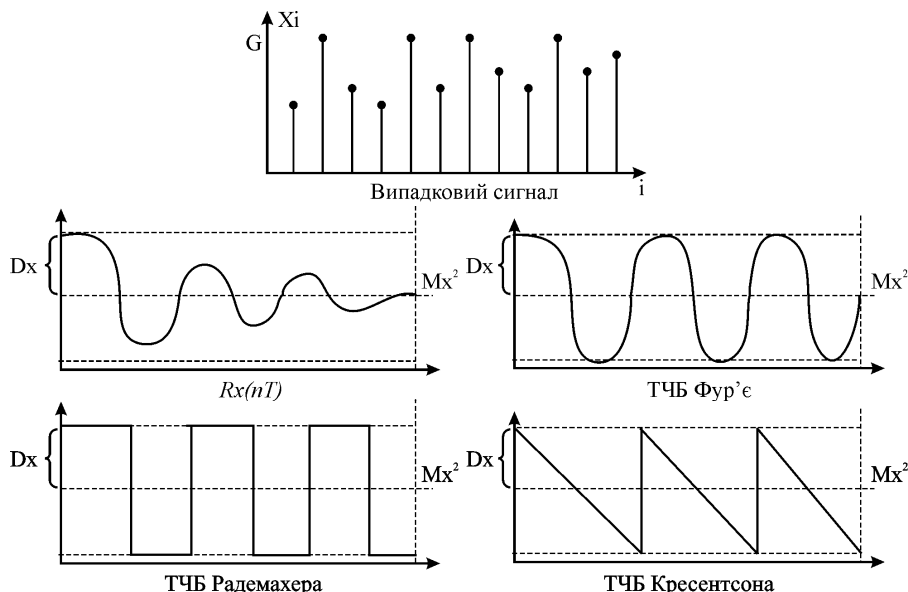
| Аналітичний вираз функцій кореляції   | Структура спецпроцесора |
|---|-------------------------|
| <p>Знакова</p> $B_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{sign}(z_i) \cdot \text{sign}(z_{i+j}),$ $\text{sign } z_i = \begin{cases} +1, z_i \geq 0 \\ -1, z_i < 0 \end{cases}$ <p>Патент № 70338</p> |                         |
| <p>Структурна</p> $C_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{i+j})^2$ <p>Авторське свідоцтво № 1282160</p>   |                         |
| <p>Модульна</p> $C_{xy}(0) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n  x_i - y_i $ <p>Авторське свідоцтво № 1686433</p>   |                         |
| <p>Коваріаційна</p> $K_{xx}(j) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i \cdot x_{i+j},$ <p>Патент № 73320</p>   |                         |

<sup>1</sup> Наук. керівник: проф. Я.М. Николайчук, д-р техн. наук – Тернопільський НЕУ



Викладена інформаційна технологія застосування теорії косинусного спектрального перетворення на основі різних аналітичних виразів автокореляційних функцій та ортогональних базисних функцій ТЧБ Радемахера, Хаара та Крестенсона створює основу розроблення та побудови високопродуктивних спецпроцесорів спектрального опрацювання сигналів

Граф математичних перетворень дискретного обчислення спектра косинусним перетворенням зображено на рис. 1.



**Рис. 1. Математичне перетворення дискретного обчислення спектра косинусним перетворенням**

Вхідні аналогові сигнали  $x(t)$  в АЦП дискретуються в часі, квантуються по амплітуді і перетворюються у цифрові розрядно-позиційні коди Хаара по кожному взаємопростому модулю системи залишкових класів (СЗК) базису Крестенсона.

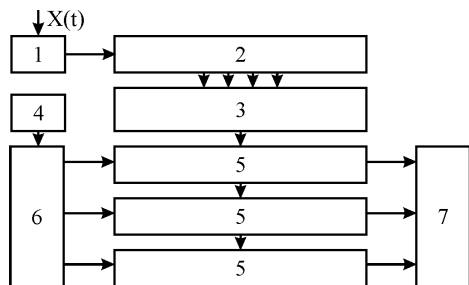
Отримувані коди записуються в багаторозрядний регістр зсуву, де формується масив поточних даних  $(x_i, x_{i-1}, \dots, x_{i-m})$ , де  $m$  – число точок, а  $k$  – число модулів СЗК автоковаріаційної функції, на основі яких у режимі on-line в матричних модульних перемножувачах обчислюються добутки  $C_j = x_i \cdot x_{i-j}(\text{mod}(p))$ , які додатково перемножуються в модульних перемножувачах  $S = C_j \cdot W_j \text{mod}(p)$  з цифровими кодами відповідних точок базисних ортогональних функцій, які зберігаються в пам'яті. Отримані добутки послідовно додаються в матричних модульних суматорах та накопичувальному суматорі, вихідний код якого представляє цифрове значення спектра спектральної щільності в базисі Крестенсона, дешифрується у двійковий код базису Радемахера, який подається на відповідну вихідну шину.

Поставлена задача вирішується завдяки тому, що спосіб дискретного обчислення спектра на основі косинусного перетворення згідно з теоремою Вінера-Хінчина, виконується на основі цифрових значень автоковаріаційної функції, які обчислюються у процесі формування цифрових відліків, представлених у кодах системи залишкових класів теоретико-числового базису Хаара-Крестенсона, а оцінка спектра визначається шляхом обчислення коефіцієнтів взаємоковаріації між оцінкою дискретної автоковаріаційної функції та набором відповідно узгоджених ортогональних функцій Фур'є, Хаара, Радемахера, Крестенсона та ін. з визначеною дисперсією та математичним сподіванням.

Суть пояснюється тим, що при визначенні спектру випадкового процесу у заданому теоретико-числовому базисі, цифрові відліки аналогового процесу представляються у кодах ТЧБ Хаара-Крестенсона, які запам'ятовуються в пам'яті, паралельно виконуються модульні операції множення та додавання у системі залишкових класів над цифровими значеннями залишків по модулю автоковаріаційної функції та відповідних залишків по модулю цифрових відліків ортогональних функцій різних ТЧБ. Такий принцип представлення та опрацювання цифрових кодів випадкових процесів забезпечує високу швидкість виконання арифметичних операцій над залишками цифрових відліків у базисі Хаара-Крестенсона, а також розширення функціональних можливостей обчислення спектрів у різних заданих ТЧБ. При цьому досягається висока швидкість обчислення спектра, оскільки математичні операції над цифровими відліками аналогово-цифрового процесу виконуються у режимі on-line паралельно з операціями аналого-цифрового перетворення даних. Внаслідок цифрові значення спектральної щільності будуть отримуватися у кінці вибірки з незначною затримкою, яка визначається невеликим числом мікротактів матричних вихідних суматорів.

Метод ілюструється кресленням, на рис. 2 зображено функціональну схему реалізації способу.

**Висновки.** Запропоновані методи математичного моделювання спектрального косинусного перетворення характеризуються широкими функціональними можливостями завдяки тому, що обчислення спектра може відбуватися у базисах Фур'є, Радемахера, Крестенсона та ін. А також істотно підвищується швидкість спектрального аналізу випадкових процесів під час виконання модульних операцій, які реалізуються на основі логічних модульних матриць множення та додавання, які можна реалізувати як апаратно, так і програмно, які виконуються за два мікротакти в базисі Хаара-Крестенсона.



**Рис. 2. Функціональна схема реалізації методу:**  $x(t)$  – вхідний аналоговий випадковий процес; 1 – аналого-цифровий перетворювач, який формує цифрові коди  $X_i(N - C)$  у базисі Хаара-Крестсона; 2 – багаторозрядний регістр зсуву, у якому запам'ятовуються зсунуті у часі цифрові відліки; 3 – обчислювач дискретної оцінки автоковаріаційної функції  $K_{xx}(j) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i \cdot x_{i-j}$ ; 4 – шина задання коду системи ортогональних функцій  $w$  в відповідного ТЧБ; 5 – пам'ять цифрових значень ортогональних функцій  $w$ , представлених у кодах Хаара-Крестсона; 6 – обчислювач коефіцієнта взаємоковаріації між автоковаріаційною функцією  $K_{xx}(j)$  і ортогональною функцією  $w(j)$  заданого в ТЧБ; 7 – вихідні шини кодів спектра косинусного (парного) перетворення у різних ТЧБ

**Література**

1. Наконечний А.Й. Цифрова обробка сигналів : навч. посібн. / А.Й. Наконечний, Р.А. Наконечний, В.А. Павлиш. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2010. – С. 73-75.
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов : учебн. пособ. – Изд. 2-ое, [перераб. и доп.]. – СПб. : Изд-во БХВ-Петербург, 2006. – С. 91-93
3. Харкевич А.А. Спектры и анализ / А.А. Харкевич. – М. : Изд-во "Физмат"гиз, 1980. – 246 с.
4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко. – СПб. : Изд-во "Питер", 2002. – 608 с: ил.
5. Реалізація суматорів та перемножувачів у базисі Хаара-Крестсона. (патент 76622 матриці перемноження та сумування по модулю).
6. Бебих Н. В. Взаимная спектрально-корреляционная обработка сигналов в различных ортогональных базисах / Н.В. Бебих, А.И. Денисов // Известия вузов. – Сер.: Радиоэлектроника. – 1983. – Т. 26, № 3. – С. 54-60.
7. Николайчук Я.М. Коды поля Галуа: теория та застосування : монографія / Я.М. Николайчук. – Тернопіль : Вид-во "Тернограф", 2012. – 575 с.
8. Залманзон Л.А. Преобразования Фурье, Уолша и Хаара / Л.А. Залманзон. – М. : Изд-во "Наука", 1989. – 496 с.
9. Харкевич А.А. Спектры и анализ / А.А. Харкевич. – М. : Изд-во "Физмат", 1980. – 246 с.
10. Наконечний А.Й. Цифрова обробка сигналів : навч. посібн. / А.Й. Наконечний, Р.А. Наконечний, В.А. Павлиш. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2010. – 368 с.

**Пих В.Я. Метод мультибазисного спектрального косинусного преобразования Фурье сигналов**

Проанализированы методы обработки сигналов. Рассмотрена математическая модель мультибазисно-спектрального косинусного преобразования сигналов, с возможностью использования различных теоретико-числовых базисов. Предложен алгоритм вычисления автокорреляционной функции на основе входного массива, основанный на алгоритме дискретного преобразования Фурье. Предложенный метод характеризуется расширенными функциональными возможностями за счет того, что вычисления могут происходить в базисах Фурье, Радемахера, Крестсона и др. Кроме того, выполнение модульных операций реализуется на основе логических модульных матриц умножения

и сложения, которые могут быть реализованы программно или аппаратно, и выполняются в базисе Хаара-Крестсона в течение двух микротактов, что существенно повышает быстрдействие спектрального анализа случайных процессов

**Ключевые слова:** спектральное косинусное преобразование, спецпроцессора, теоретико-числовые базисы, анализ Фурье, спектральные корреляции.

**Pich V.Ya. The Basic Method of Multispectral Cosine Transform of Fourier Signals**

The methods of signal processing are analysed. The mathematical model of multispectral cosine transform of signals with the possibility of using different theoretical and numerical bases is studied. The algorithm for calculating the autocorrelation function with the input panel core, that is based on Fourier transform of discrete algorithm. The proposed method is characterized by advanced functionality due to the fact that as the basic functions that are presented in modulo residues, spectrum in the basis of Fourier, Rademacher, Kresentson and others can be respectively calculated. Besides, the implementation of modular operations can be performed on the basis of logical modular matrix multiplication and addition that can be performed in hardware or software and executed in Haar Kresentson's base within 2 microacts that significantly increases the speed of spectral analysis of random processes.

**Keywords:** spectral cosine transform, special processors, number-theoretic bases, Fourier analysis, spectral correlation.

УДК 004.021

Магістрант В.Р. Парацук;

доц. Т.О. Коротеєва, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"

**АЛГОРИТМ КЛАСИФІКАЦІЇ ФІЗИЧНИХ АКТИВНОСТЕЙ ЛЮДИНИ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ У МОБІЛЬНОМУ ДОДАТКУ**

Досліджено методи визначення фізичної активності людини за допомогою смартфонів. Серед основних переваг використання смартфонів для контролю повсякденної активності людини є їх переносимість, практичність та невеликий розмір. Ці пристрої можуть нагромаджувати, обробляти й аналізувати корисну інформацію з необроблених даних сенсорів, що є зручно у цьому контексті.

На основі зібраних даних акселерометра розроблено алгоритм класифікації, що може бути використаним для створення мобільного додатку, враховуючи його обмежені ресурси. Оцінку алгоритму проведено за допомогою методів штучного інтелекту, де алгоритм спочатку навчається, а пізніше тестується. Таке тестування здійснено на основі відкритого набору даних прискорення поясу. Отримано алгоритм з точністю визначення 86 %, що свідчить про те, що такий алгоритм може бути використаним для створення мобільного додатку.

**Ключові слова:** фізична активність людини, моніторинг, мобільний телефон, смартфон, класифікація, набір даних, алгоритм, Weka Workbench, акселерометр, гіроскоп.

**Вступ.** Визначення активності людини за допомогою сенсорів, що знаходяться поруч з тілом, стало важливим напрямком досліджень, спрямованих на створення або вдосконалення інноваційних додатків, що забезпечують моніторинг активності. Можливість запису та розпізнавання індивідуальних повсякденних активностей має важливе значення для визначення ступеня функціональної ефективності та загального рівня активності людини [1].

Один із найбільш часто використовуваних підходів для моніторингу фізичної активності людини ґрунтується на системах відеозапису. Ці методи не є практичними, потребують величезних пристроїв і можуть використовуватись