Додатковою перевагою ПСнК Cypress Semiconductor є наявність у складі середовища розроблення бібліотеки компонент різного рівня складності та ієрархії, починаючи від логічник примітивів до інтерфейсів I2C, SPI, UART, контролерів графічних дисплеїв, що значно спрощують проектування системи кінцевої системи, зменшуючи тим самим час розроблення та виходу продукту на ринок.

Безсумнівно, ПСнК не зможуть замінити СнК у вигляді ASIC, що орієнтовані на високобюджетні проекти із заданими технічними характеристиками. Основними перспективами використання ПСнК є мало- та середньосерійні проекти з обмеженими вимогами до параметрів СнК.

1. Шагурин И. Системы на кристалле. Особенности реализации и перспективы применения // Электронные компоненты, 2009. – №1. – С.37–39. 2. Пахолков Р., Мозолевский В. Современная система на кристалле – основа успешного продукта // Современная электроника, 2007. – № 6. – С.72–74. 3. Корчинский А.П., Бурцева Н.В. Применение программируемых логических интегральных схем в электронной аппаратуре // Електроніка та системи управління. Институт электроники и систем управления, НАУ. – 2009. – №4(22). – С.5–13. 4. Зотов В.Ю. Проектирование встраиваемых микропроцессорных систем на основе ПЛИС фирмы Xilinx. –М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 520 с. 5. PSoC® 3: CY8C38 Family Datasheet – Режим доступу: http://www.cypress.com/?rID=35178

УДК 681.31

І.Б. Албанський
Карпатський державний центр інформаційних засобів і технологій

СПЕЦПРОЦЕСОРИ КОРЕЛЯЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ В РІЗНИХ ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВИХ БАЗИСАХ

Наведено архітектуру мультибазисних процесорів та математичну основу теоретико-числових базисів Радемахера, Крестенсона. Показано переваги та функціональні обмеження процесорів обчислення автоковаріаційних функцій у базисі Радемахера. Обгрунтовані перспективи застосування базису Крестенсона для побудови кореляційних спецпроцесорів.

Present multybazysnyh architecture processors and mathematical foundation of theory-theoretic bases Rademacher Krestensona. The advantages of functional limitations and processor computing functions in the basis avtokovariatsiynyh Rademacher. Reasonable prospects of building a basis for correlation Krestensona special processors.

Вступ. У сучасному світі спецпроцесори кореляційної обробки сигналів знаходять широке застосування як цифрові фільтри та цифрових приймачі у телекомунікаційних комп’ютерних системах. Використовуються також для швидкодіючої обробки зображень розпізнавання образів у цифровій томографії. Основним завданням спецпроцесорів названого призначення було зменшення об’ємів даних і характеристик досліджуваних випадкових процесів. Ця інформаційна технологія полягала у тому, що замість передавання великих масивів даних $\{x_i\},\ i \in 1, n$, де n – об’єм вибірки $0 \le x_i \le 2^k$, k – розрядність бортового АЦП, передаванню підлягав масив даних, як правило, знаковою автокореляційною моделлю. Тому розроблення нових та вдосконалення існуючих спецпроцесорів кореляційного опрацювання даних є актуальним науковим завданням.

Аналіз публікацій і окреслення проблеми. Аналізуючи літературні дані з теорії цифрової обробки інформації, комп’ютерних мереж передавання даних та інших інформаційно напрямавлених дисциплін, які опублікували провідні закордонні спеціалісти Стенфордського, Манчестерського та ін. університетів, а також українські науковці, видно, що переважна більшість аналітики кореляційної обробки сигналів реалізується на основі мультиплікативних функцій [1, 2]. Стандартні засоби програмної реалізації виконані виключно в базисі Радемахера та у двійковій системі числення. Перспективними є алгоритми та спецпросесори кореляції обробки даних, які реалізуються в інших теоретико-числових базисах: унітарному, Хаара, Крестенсона, Крейга, Радемахера, Уолша, Галуа [3, 5, 6].

Серед названих базисів особливо перспективними є базиси Крестенсона та Галуа, які доцільно застосовувати не тільки для побудови окремих монобазисних процесорів, але, як це показано у [2] застосовувати проблемно-орієнтовані та кореляційні мультибазисні процесори (рис. 1).

Особливістю та істотною перевагою таких процесорів є використання як комунікаційного модуля ПКД, яка являє собою асоціативну багатопортову пам'ять з паралельним доступом. Підвищення швидкодії на I–II порядки таких процесорів досягають за рахунок оперативного перерозподілу арифметико-логічних операцій, які максимально використовуються окремими монобазисними модулями процесора. Отже, використання базисів Крестенсона та Галуа можуть бути ефективними для побудови спецпроцесорів кореляційного опрацювання даних.

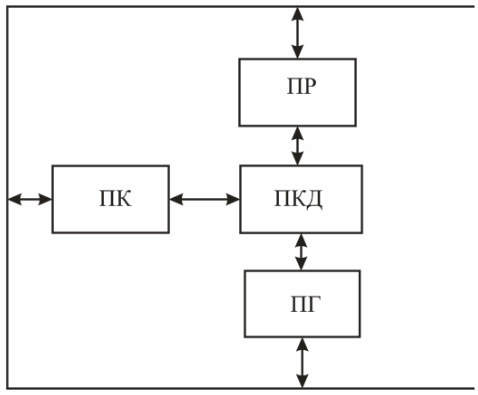

Рис.1. Архітектура мультибазисного спецпроцесора: ПКД – пам'ять колективного доступу; ПР – пам'ять Радемахера; ПК – пам'ять Крестенсона; ПГ – пам'ять Галуа

Мета роботи. Метою роботи є розроблення теорії та схемотехнічних рішень нового класу мультибазисних спецпроцесорів кореляційного опрацювання даних.

Характеристики теоретико-числових базисів, які використовуються для побудови мультибазисних спецпроцесорів. Загальносвітовий досвід створення процесорів для комп’ютерних систем за останні півстоліття поспіль із застосуванням теоретико-числового базису (ТЧБ) Радемахера, з якого випливає двійкова система числення, демонструє тенденції до все ширшого застосування інших ТЧБ, а саме: унітарного, Хаара, Крейга, Крестенсона, Уолша та Галуа. Перспективним напрямком розвитку теорії та технологій побудови універсальних комп’ютерних засобів є реалізація супершвидкодіючих мультибазисних RCG – процесорів на основі базисів Радемахера, Крестенсона і Галуа.

Тенденції розвитку теорії методології та техніки процесорів комп‘ютерних систем обумовлені теоретичним та ідейним насиченням можливостей застосування базису Радемахера для побудови арифметико-логічних компонентів процесорів, до яких ставляться все жорсткіші вимоги щодо швидкодії, покращання регулярності структури та розширення функціональних можливостей.

У табл. 1 наведено характеристики кодових матриць ТЧБ Радемахера, Крестенсона та Галуа, які найбільше використовуються для кодування та цифрової обробки даних у інформаційних системах і мають властивості мінімальної надлишковості відносно наступних базисів унітарного, Хаара, Крейга [3].

У табл. 1: N – діапазон представлених чисел, V – об'єм кодової матриці, n – число інформативних елементів, P_1, $P_2 \ldots P_i \ldots P_m$ – набір взаємопростих модулів СЗК базису Крестенсона, $a_i=P_i-1$. У табл. 1 наведено приклади однакового застосування кодових матриць базисів Радемахера і Крестенсона, а найоптимальнішою матрицею, яка перетворюється на вектор, володіє базис Галуа.

Нормалізована форма системи залишкових класів, запропонова школою проф. Я.М. Николайчука, широко використана в телекомунікаційних процесорах інформаційних систем нафтогазової промисловості [4].

Таблиця 1

Характеристики кодових матриць ТЧБ

Базис	Кодові матриці	N	V
Радемахера	$M_{Rad} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & 1 & 1 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ 1 & 0 & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \ldots & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & \ldots & 1 & 0 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ 1 & 1 & 1 & \ldots & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & \ldots & 1 & 1 \end{vmatrix}$	$n = \frac{\mathrm{N} \cdot \log_2 N}{2}$	$\mathrm{V=N \cdot \log_2 N}$
Крестенсона	$M_{Cres} = \begin{vmatrix} P_1 & P_2 & \ldots & P_n \\ 0 & 0 & \ldots & 0 \\ 1 & 1 & \ldots & 1 \\ 2 & 2 & \ldots & 2 \\ 0 & 3 & \ldots & 3 \\ 1 & 4 & \ldots & 4 \\ 2 & 0 & \ldots & 5 \\ 0 & 1 & \ldots & 6 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_1 & a_2 & \ldots & a_n \end{vmatrix}$	$n = \prod_{i=1}^{m} P_i$	$V = \sum_{i=1}^{m} \log_2 (P_i - 1)$
Галуа	$M_{Gal} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \ldots \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ \ldots \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{vmatrix}$	$n = \frac{N}{2}$	V=N

Глибоке дослідження перспектив модифікацій системи залишкових класів (СЗК) показало, що розроблено досконалу цілочислову та особливо її нормалізовану форму, а також запропоновано розмежовану форму СЗК (табл. 2).

Таблиця 2

Теоретичні положення перетворень СЗК базису Крестенсона

№ з/п	Пряме перетворення форми СЗК	Зворотне перетворення форми СЗК
1.	Цілочислова форма СЗК	
	$N_k = (b_1 b_2 \ldots b_i \ldots b_k)_{(p_1 p_2 \ldots p_i \ldots p_k)}$ $N_k = b_i (\mathrm{mod}\, p_i)$, $N_k = a_i p_i + b_i$, $P = \prod_{i=1}^{k} p_i$; $0 \le N_k \le P$.	$b_i = res N_k (\mathrm{mod}\, p_i)$ $N_k = res \sum_{i=1}^{k} b_i \cdot B_i (\mathrm{mod}\ P)$, $B_i = \frac{P}{p_i} \cdot m_i \equiv 1 (\mathrm{mod}\ P_i)$ ·
2.	Нормалізована форма СЗК	
	$\frac{N_k}{P} = res \sum_{i=1}^{k} \frac{b_i \cdot B_i (\mathrm{mod} P)}{P}$, $[N_k]_0 = res \sum_{i=1}^{k} b_i \cdot \frac{B_i}{P} (\mathrm{mod}\, 1)$, $0 \le [N_k]_0 \le P - 1$; $\frac{B_i}{P} = \frac{1}{p_i}$, $d_p \le \frac{1}{P}, \frac{1}{p_i} = 0.\overbrace{gggg}^{n}\overbrace{gggg}^{d}$,	$[N_k]_0 = res \sum_{i=1}^{k} b_i \cdot \frac{m_i}{p_i} (\mathrm{mod}\, 1)$ $[N_k]_0 = res \sum_{i=1}^{k} [b_i]_0 \cdot m_i (\mathrm{mod} 1)$, $[b_i]_0 = \frac{b_i}{p_i}$, $0 \le [b_i]_0 \le 1$. $N_k = \mathrm{int}[N_k]_0 \cdot P$,
3.	Досконала форма СЗК	
	$[N_k]_0 = res \sum_{i=1}^{k} [b_i]_0 (\mathrm{mod} 1)$.	$b_i = \mathrm{int}\, res [N_k]_0 (\mathrm{mod}\, 1) \cdot P_i$
4.	Розмежована форма СЗК	
	$N_k = N_{1k} + N_{2k} + \ldots + N_{ik} + \ldots + N_{nk}$,	$N_k \to b_1 = (b_{11} + b_{21} + \ldots + b_{r1} + \ldots + b_{n1}) \mathrm{mod} p_1$ $N_k \to b_2 = (b_{12} + b_{22} + \ldots + b_{r2} + \ldots + b_{n2}) \mathrm{mod} p_2$ … $N_k \to b_i = (b_{1i} + b_{2i} + \ldots + b_{ri} + \ldots + b_{ni}) \mathrm{mod} p_i$ … $N_k \to b_k\ b_2 = (b_{1k} + b_{2k} + \ldots + b_{rk} + \ldots + b_{nk}) \mathrm{mod} p_k$.

Загальновідомі чотири форми перетворення залишкових класів [5, 6] ґрунтуються на аналітиці прямих та зворотних перетворень (табл. 2).

У табл. 2.: N_k – число у позиційній системі числення (базисі Радемахера); $(b_1 b_2 \ldots b_i \ldots b_k)$ – представлення числа у СЗК; $(p_1 p_2 \ldots p_i \ldots p_k)$ – набір взаємно простих модулів СЗК; b_i – найменший від'ємний залишок; P – діапазон кодування чисел у СЗК; a_i – ранг; К – число модулів СЗК; B_i – базисні числа СЗК; res – символ операції знаходження найменшого невід'ємного залишку; int – символ операції виділення цілої частини; mod – символ операції за модулем; m_i – ранговий коефіцієнт СЗК; δр – дробова частина у нормалізованій формі СЗК; $[N_k]_0$. $[b_j]_0$ – відповідно число та залишок у нормалізованій формі базису Радемахера.

Важливою характеристикою кожного базису є об'єм його кодової матриці, що визначає характеристики надлишковості представлення інформації:

$$V_i = n_i \cdot m_j\,, \tag{1}$$

де n_j – розрядність числа; m_i – число незалежних кодових значень, відповідно:

$$V_1 = n \cdot n\,, \tag{2}$$

$$V_2 = n \cdot n\,, \tag{3}$$

$$V_3 = n \cdot n / 2\,, \tag{4}$$

$$V_4 = n \cdot \log_2 n\,, \tag{5}$$

$$V_5 = n \cdot \log_2 n\,, \tag{6}$$

$$V_6 = n \cdot \log_2 \prod_{i=1}^{n} P_i\,, \tag{7}$$

$$V_7 = n + \log_2 n\,. \tag{8}$$

Коди поля Галуа за загальною класифікацією належать до підкласу циклічних блокових кодів, які володіють всіма основними властивостями. У блокових кодах послідовність елементарних повідомлень розбиваються на блоки символів (B1, B2, B3, ..., Bn) фіксованої довжини К, кожному з яких відповідає певна комбінація символів кодового слова (b1, b2, b3, ..., bn). Циклічні коди належать до класу систематичних кодів.

Для останніх можна записати відповідний їм аналітичний вираз чи деяке логічне співвідношення, яке визначається правилами створення цих кодів. Найзручнішою формою представлення циклічних кодів є використання алгебраїчного виразу:

$$G(x) = a_{n-1} \times x^{n-1} + a_{n-2} \times x^{n-2} + \ldots + a_1 \times x + a_0\,, \tag{9}$$

де a_0, a_{n-1} – числа, що дорівнюють “0” чи “1”, які визначають відповідні значення розрядів кодових комбінацій.

Отже, дія над циклічними кодами зводиться до дії над відповідними математичними виразами. Коефіцієнти однакових степенів додаються за модулем 2.

Наприклад, у полі Галуа $G\begin{pmatrix}4\\2\end{pmatrix}$ з ключем 1001 послідовність елементів ai, a2,..., a15 має вигляд послідовності елементів 111101011001000, які кодують числа 0, 1, 2, ...,14 за модулем Р=15. Кожний елемент цієї рекурентної послідовності можна описати у вигляді:

$$\begin{gathered} a_1, a_2, a_3, a_4, a_1 \oplus a_4, a_1 \oplus a_2 \oplus a_4, a_1 \oplus a_2 \oplus a_3 \oplus a_4, a_1 \oplus a_2 \oplus a_3, \\ a_2 \oplus a_3 \oplus a_4, a_1 \oplus a_3, a_2 \oplus a_4, a_1 \oplus a_3 \oplus a_4, a_1 \oplus a_2, a_2 \oplus a_3, a_3 \oplus a_4 \end{gathered} \tag{10}$$

Підсумовуючи вищесказане, можна зробити висновок, що базис Галуа забезпечує максимальну упаковку інформації. Найефективніші переваги цього базису можна використати при передаванні інтегральних значень, оскільки при інтегруванні кожне наступне значення збільшується на одиницю, тому передавати каналом зв'язку можна лише один біт. Таку властивість максимальної упаковки інтегральних даних має унітарний базис та базис Галуа, але на відміну від унітарного базису базис Галуа дає змогу контролювати помилки і за появи останньої відновити значення шляхом прийому тієї кількості бітів залежно від розрядності передаваного значення. Оскільки в АСОЕ передається інтегральне значення, то найдоцільніше застосувати базис Галуа.

Архітектура спецпроцесорів у базисі Радемахера. Обчислюють кореляційні функції спецпроцесорів з архітектурою (рис. 2) за аналітичним виразом (11) [7].

$$K_{xx}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \cdot x_{i-j}\,, \quad j = 0,1,2,\ldots, \tag{11}$$

де $M_x = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{4} x_i$ – математичне сподівання; $D_x = \frac{1}{n-1}\sum (x_i - M_x)^2$ – дисперсія.

На рис. 2: - x(t) – вхідний аналоговий сигнал;

- x_i – дискретизований з інтервалом Δt (const) в часі і квантований з інтервалом δ=const у діапазоні $0 \le X_i \le A$ цифровий відлік вхідного сигналу X(t), представлений у базисі Радемахера;

- $x_{i-1}, x_{i-2}, \ldots x_{i-j}$ – затримані в часі цифрові відліки в регістрі зсуву G_j;

- x – матричний перемножувач;

- Σ – цифровий суматор.

Асимптотику кореляційної функції $K_{xx}(j)$ показано на рис. 3.

До недоліків описаного корелятора належать:

– наявність великого числа матриць помножувачів та накопичувальних суматорів, які потребують великої кількості вентилів (елементарних компонентів ПЛМ);

– ненормоване і нецентралізоване отримання характеристик кореляційної функції $K_{xx}(j)$;

– використання процесором операцій у базисі Радемахера.

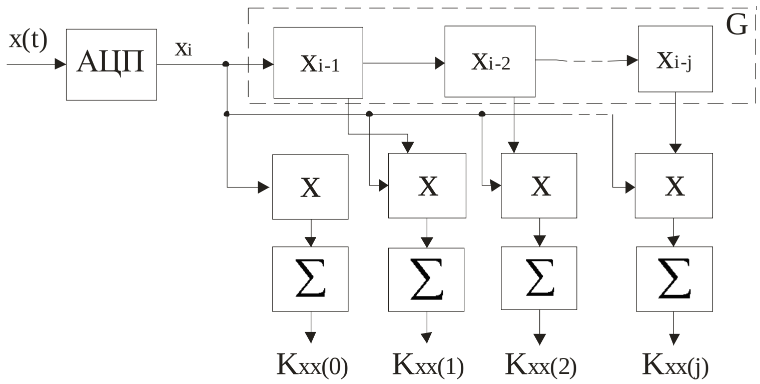

Рис. 2. Архітектура цифрового автокорелятора в базисі Радемахера

Перевагами такої архітектури є:

– високий ступінь паралелізму виконання операцій;

– відносна регулярність архітектури, велика швидкодія та відсутність операції центрування вхідних даних X_j.

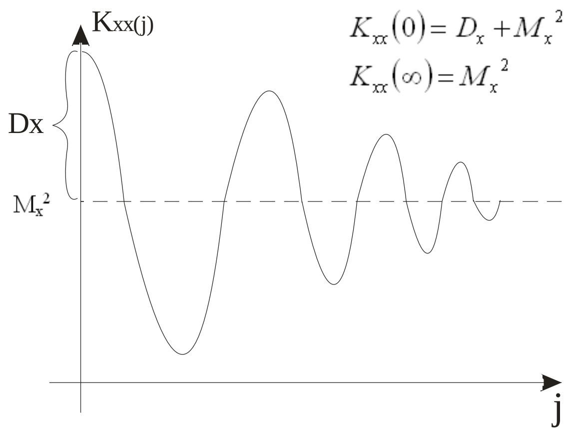

Рис. 3. Асимтотика мультиплікативної кореляційної функції $K_{xx}(j)$

Висновки. Аналіз архітектури спецпроцесорів кореляційної обробки даних показує, що порівняно з базисом Радемахера використання немультиплікативних функцій, а також унітарного ТЧБ дає змогу на один-два порядки знизити структурну та алгоритмічну складність кореляційних спецпроцесорів, а також зменшити габарити та підвищити їх швидкодію та надійність. Можливість реалізації таких спецпроцесорів у вигляді окремих кристалів на ПЛМ та їх масового застосування у комп'ютерних та телекомунікаційних системах потребує глибокого дослідження їх системних характеристик, інформативності та оптимальних умов застосування в конкретних задачах цифрової обробки сигналів.

1. Грибанов Ю.И., Веселова Г.П., Андреев В.Н. Автоматические цифровые корреляторы. – М.: Энергия, 1971. – 240с. 2. Nykolaychuk Y., Krutckevych N., Zastavniy O. Multibases Processors of Two-dimensional Correlation for Noise Immunity of Transfer Information Proc. Of the IEEE International Workshop on Intelligent Data Acqustion and Advanced Computing Systems(IDAACS'2007): Dortmund, Germany. – 2007. – P. 315–317. 3. Николайчук Я.Н. Программные модели распараллеливания измерения, кодирования и передачи сообщений унитарным преобразованием СОК / Я.Н. Николайчук, Б.М. Шевчук, А.А. Попов // Материалы VI Всесоюзной школы-семинара. – Львов, 1987. 4. Николайчук Я.М., Крикун З.Н., Божнев В.П. Представление измерительной информации в нормализованной систеие исчисления остаточних класов // Известия ВУЗов "Нефть и газ". 1976. – № 6. 5. Николайчук Я.М., Волинський О.І., Кулина С.В. Теоретичні основи побудови та структура спец процесорів в базисі Крестенсона // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – № 3. – Т. 1. – С. 85–90. 6. Акушский И.Я. Машинная арифметика в остаточный класах / И.Я. Акушский, Д.И. Юдицкий – М.: Сов. радио, 1978. – 256. 7. Албанський І.Б., Заведюк Т.О. Спецпроцесори кореляційної обробки сигналів // Праці міжнародного симпозіуму "Питання оптимізації обчислень (поо-xxxv)" Т. 1. – К., 2009. – С. 8–13.

УДК 681.3, 621.3

О.Ю. Бочкарьов
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра електронних обчислювальних машин

СТРУКТУРНА АДАПТАЦІЯ АВТОНОМНИХ РОЗПОДІЛЕНИХ ВИМІРЮВАЛЬНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Розглянуто проблему структурної адаптації автономних розподілених вимірювально-обчислювальних систем. Запропоновано узагальнений опис задачі автономних розподілених досліджень та розроблено відповідний метод структурної адаптації.

The problem of structural adaptation of autonomous distributed sensing and computing networks is considered. The generalized approach to description of the problem is proposed. The method of structural adaptation is developed.

Вступ. Сьогодні проблема дослідження та розроблення автономних розподілених вимірювально-обчислювальних систем набуває все більшої актуальності. Враховуючи сучасний стан розвитку обчислювальних технологій та технологій безпровідних мереж (wireless networks), можна зробити висновок про різке збільшення можливостей щодо практичної реалізації автономних розподілених вимірювально-обчислювальних систем [1–12]. Разом з тим останнім часом різко зросла потреба у системах цього класу у зв'язку із загальним зростанням областей та масштабів застосування інформаційних технологій і технологій штучного інтелекту. Тому в статті розглядається актуальна проблема структурної адаптації автономних розподілених вимірювально-обчислювальних систем, вирішення якої дасть змогу підняти їх функціональність на новий якісний рівень.