

1. Силин А.П. // УФН, 1985, т.147, N 3, 485. 2. Херман М. Полупроводниковые сверхрешетки. М., 1989. 3. Smith D.L., Mailhiot C. // Rev. Mod. Phys., 1990. V.62, N 1, 173. 4. Андо А., Фаулер А., Стерн Ф. Электронные свойства двумерных систем. М., 1985. 5. Б.Я. Венгрин, П.П. Костробій, П.П. Петров // Вісник ДУ "Львівська політехніка", 1999 №382. С.61-67.

УДК 681.325.5

Н.В. Дорош, Г.Л. Кучмій

ДУ "Львівська політехніка", кафедра електронних приладів

АЛГОРИТМИ ШВИДКИХ СПЕКТРАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ДЛЯ СПЕЦПРОЦЕСОРНИХ ВІС

© Н.В. Дорош, Г.Л. Кучмій, 2000

Розглянуто алгоритми і результати моделювання спеціалізованих процесорів, які призначені для реалізації алгоритмів спектральних перетворень в різних базисах ортогональних функцій (Фур'є, Уолша, Хаара, Адамара). Показано можливість створення універсального мікропроцесора для спектрального аналізу сигналів.

The algorithms and results of modelling of specialised processors wich realise algorithms of fast spectral transformations in different basis of ortogonal functions (Furrier, Walsh, Haar, Hadamar) are considered in the paper. The possibility of creation of universal microprocessor unit for signal spectral analysis is presented.

Проектування надвеликих процесорних схем (compute processing units) в інтегральному виконанні є однією з актуальних та складних проблем сучасної мікроелектроніки. Основна увага провідних фірм світу звернена на проблеми розробки мікропроцесорних схем універсального типу для комп'ютерних систем та мереж. Однак існує потреба у створенні мікропроцесорних елементів спеціального призначення (SCPU) для використання у складі спеціалізованої апаратури для цифрової обробки сигналів, спектрального аналізу та ін. [1].

Одним з основних алгоритмів, які використовуються у таких системах, є алгоритми дискретного (швидкого) перетворення Фур'є - ШПФ (Fast Fourier Transform). Існують спеціалізовані мікропроцесорні комплекти інтегральних схем, які призначені для реалізації цього алгоритму, але вони не дозволяють виконувати спектральні перетворення великої розмірності і не забезпечують можливості роботи апаратури у реальному часі. Спектральні перетворення сигналів можна проводити також в інших базисах ортогональних функцій (Уолша, Хаара, Адамара), які мають прямокутну форму і найбільше підходять для обробки цифровими методами. Різні алгоритми швидких перетворень (Fast Fourier Transform – FFT, Fast Walsh Transform – FWT, Fast Haar Transform – FHT) відрізняються організацією та працемісткістю обчислень, але структура всіх алгоритмів має єдину основу, що дозволяє побудувати узагальнену схему обчислень, яка показана на рис. 1 у вигляді графа швидкого перетворення Уолша-Хаара-Фур'є (FWT-FHT-FFT).

Алгоритм має ітераційну структуру. Кількість ітерацій залежить від розмірності перетворення N ($i = 1, 2, \dots, \log N$). Результати обчислень на кожній з ітерацій $x_i(j)$ та спектральні коефіцієнти $s(j)$ залежать від вагових коефіцієнтів S_{ij} , що визначаються базисом функції.

Для алгоритму швидкого перетворення Уолша (FWT) вагові коефіцієнти $S_{ij}^W = 1$ ($i = 1, 2, \dots, \log N$) і базова операція містить тільки операції додавання/віднімання.

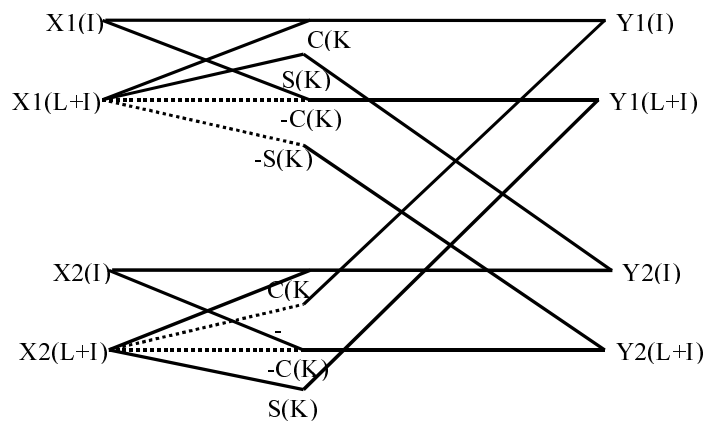
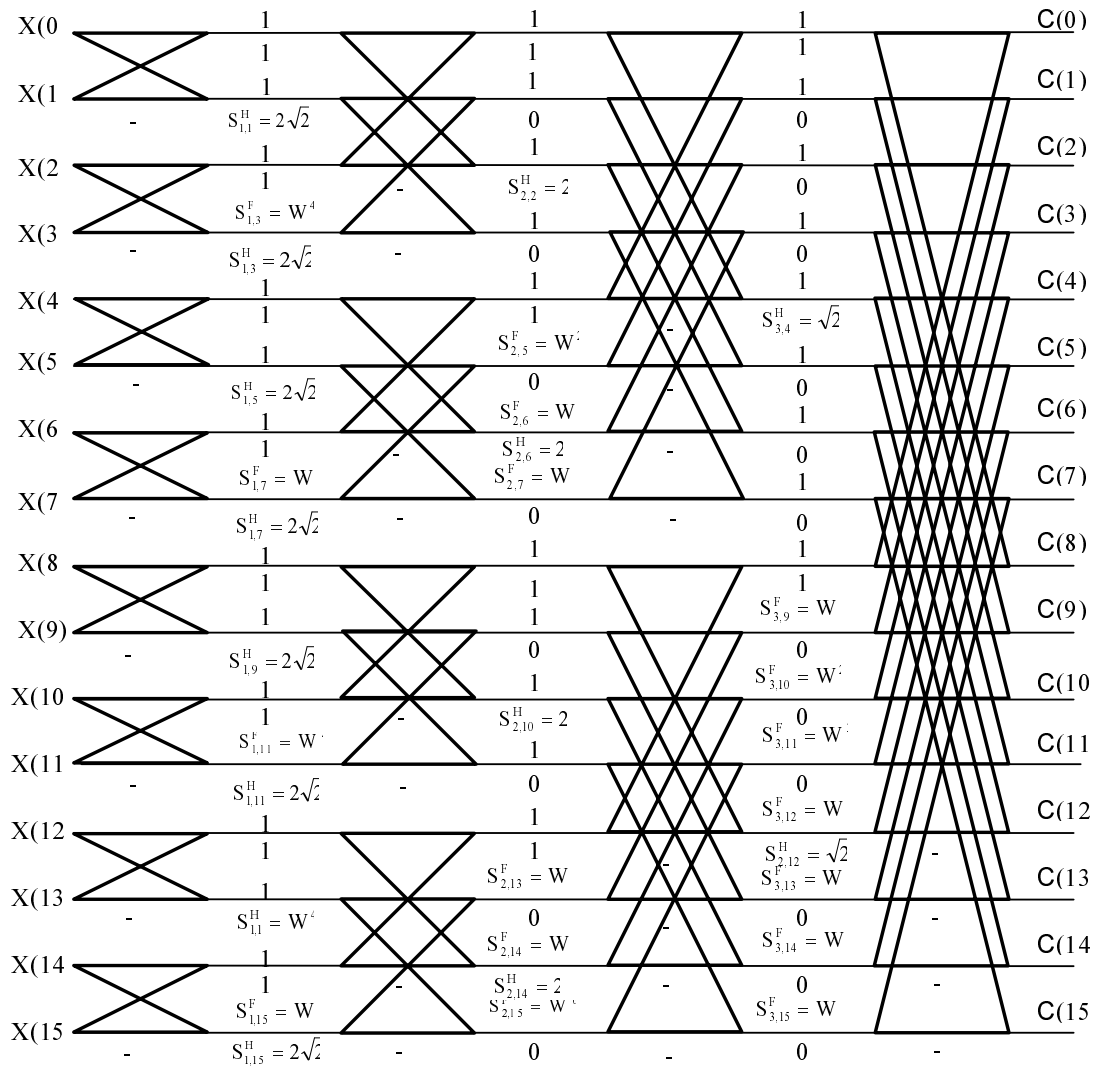


Рис. 1. Структура універсального алгоритму швидкого перетворення Фур'є-Уолша-Хаара

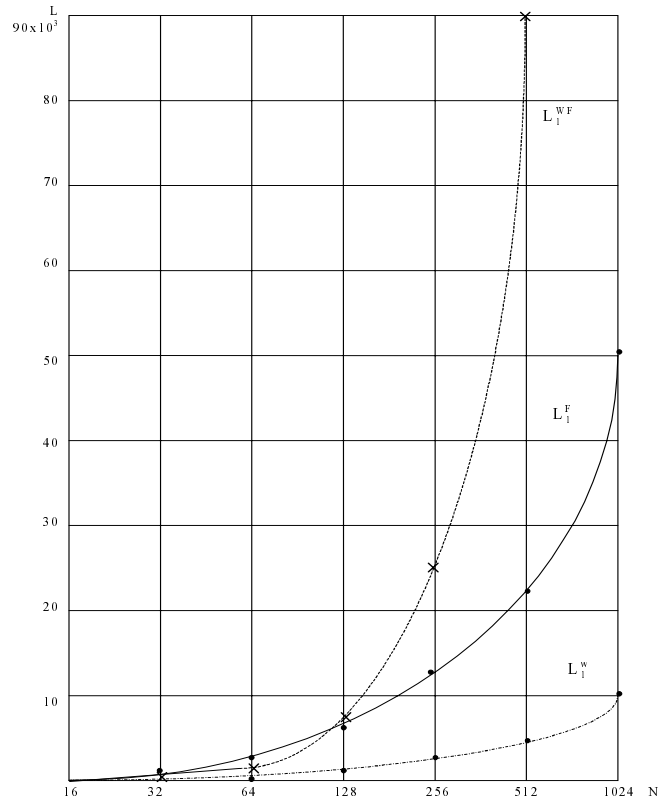


Рис. 2. Залежності обчислювальних затрат для реалізації алгоритму ($L = f(N)$)

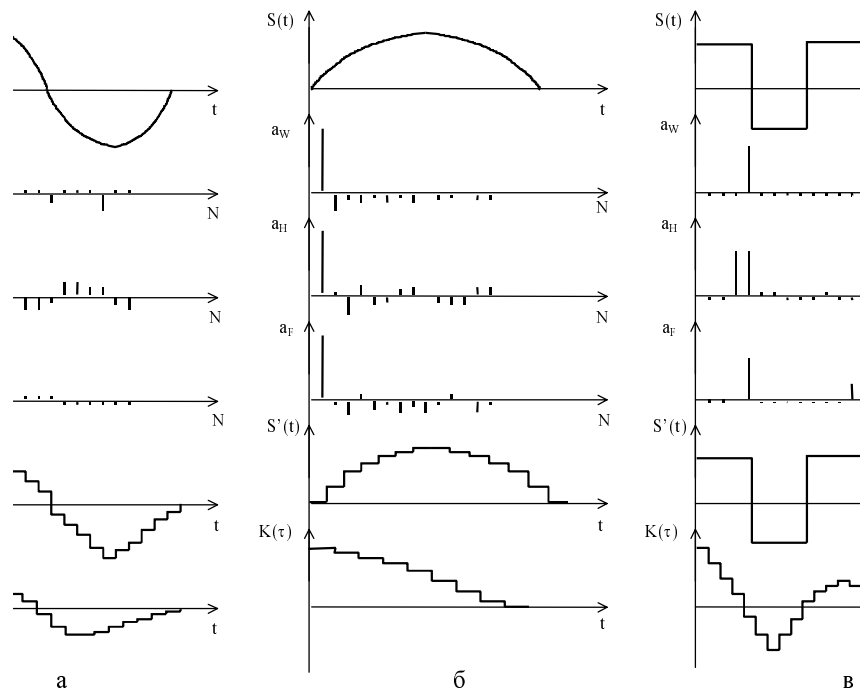


Рис. 3. Результати обчислення спектральних коефіцієнтів і базисів швидкого зворотного перетворення Фур'є-Уолша-Хаара

Вагові коефіцієнти швидкого перетворення Хаара (ФНТ) $S_{i,j}^H = a^K$, де $a = \sqrt{2}$, $i = 1, 2, \dots, \log N$; $j = 2^{i-1} \cdot (2 \cdot p + S)$; де $p = 0, 1, 2, \dots, (N/2^i - 1)$, $K = S \cdot (\log N - i)$; $S = 0, 1$. Для решти j коефіцієнти $S_{i,j}^H = 0$, тобто структура графа ФНТ буде розрідженою.

Для алгоритму швидкого перетворення FFT вагові коефіцієнти $S_{i,j}^F$ можна отримати із співвідношення $S_{i,j}^W = W^K$, де

$$W = e^{-j2\pi/N}, i = \log N/2 - n + m;$$

$$n = 0, 1, 2 \dots \log N/4; m = 0, 1, 2 \dots n;$$

$$K = 2^n + 1 \cdot 2^{n+1}; \quad l = 0, 1, 2 \dots (N/2^{K+2} - 1);$$

$$j = 2^m \cdot \left[\frac{N}{2^{n+1}} + 2 \cdot l + 1 \right] + p \cdot 2^{i+1} = 2 \cdot \left[\frac{N}{2^{n+1}} \cdot (1 + 2 \cdot p) + 2 \cdot l + 1 \right];$$

$$p = 0, 1, 2, \dots, (N/2^{i+1} - 1).$$

При $K = 0$; $S_{i,j}^F = 1$.

У даному алгоритмі FFT відліки на вході мають бути попередньо переставлені відповідно із двійковою інверсією їх номерів. Тоді спектральні коефіцієнти $s^F(j)$ будуть обчислені у натуральному вигляді.

Результати моделювання показали, що об'єм обчислювальних затрат на реалізацію цих алгоритмів в базисі Уолша зменшується у декілька разів порівняно з Фур'є - аналізом.

На рис. 2 наведені графічні залежності, які показують обчислювальні затрати, які потрібні на реалізацію кожного з алгоритмів з використанням FFT, FWT, ФНТ при різних значеннях розмірності перетворення N . Відповідно під час роботи в базисі Уолша будуть і найменші затрати пам'яті для збереження вагових коефіцієнтів.

Проведено моделювання алгоритмів роботи SCPU - блоків, які реалізують алгоритми швидкого перетворення в базисах Уолша-Хаара-Фур'є та алгоритмів енергетичного виявлення сигналів у спектральній ділянці з використанням FFT та FTW - перетворень.

Моделювання проводили за допомогою ПП MathCAD для різної розмірності перетворення N . Окремі підпрограми були написані мовою TurboPascal 7.0, або безпосередньо у машинних кодах мікропроцесора.

На рис. 3 показані результати розрахунку спектральних коефіцієнтів і результати зворотного синтезу сигналів у базисах Уолша, Хаара і Фур'є.

Незважаючи на обчислювальні та функціональні особливості, структура різних швидких перетворень має єдину основу. Це дає можливість створити уніфіковану (узагальнену) схему обчислення FFT, FWT, ФНТ і розробити універсальний мікропроцесорний елемент для спектрального аналізу [2].

Також можливо доповнити схему спектрального аналізатора блоком адаптації, що дозволить визначити базис, оптимальний для сигналу, що досліджується (за мінімумом середньоквадратичної похибки апроксимації і кількості вагових коефіцієнтів). Це розширить функціональні можливості SCPU та дозволить підвищити точність аналізу та синтезу сигналів.

В даній роботі подано алгоритми і результати моделювання спеціалізованих процесорів, які реалізують алгоритми швидких спектральних перетворень в різних базисах ортогональних функцій (Уолша, Хаара, Фур'є, Адамара). Показана можливість створення універсального мікропроцесорного блоку для спектрального аналізу сигналів.

1. В.В. Корнеев, А.В. Киселев. *Современные микропроцессоры*. М., 1998.
 2. А.С. №1141420 (СССР). *Устройство для выполнения быстрого преобразования Уолша* // Н.В.Бибих, А.И.Денисов, А.А.Саурин. 23.02.85. *Бюл. изобрет.* 1985. №7.

УДК 533.37

Я.С.Буджак

ДУ "Львівська політехніка", кафедра напівпровідникової електроніки

ДО ПИТАННЯ ПРО НЕРІВНОВАЖНУ СТАТИСТИКУ ГАЗУ НОСІЇВ ЗАРЯДІВ У КРИСТАЛАХ

© Я.С.Буджак, 2000

Альтернативно до методу кінетичного рівняння Больцмана обґрунтовується нерівноважна статистика газу носіїв зарядів і розраховуються деякі важливі термодинамічні та кінетичні властивості кристалів з довільним законом дисперсії.

Alternatively to a method of Boltzman kinetic equation non-equilibrium statistics of charge carriers vapour is discussed. Some important thermodynamic and kinetic properties of crystals with arbitrary law of dispersion are calculated.

Кристал – це складна термодинамічна система, яка складається з великої кількості N_A структурних частинок, які розташовані у вузлах кристалічної ґратки і великої кількості частинок газу носіїв зарядів N (Фермі-газу), які можуть хаотично або направлено рухатись між вузлами ґратки.

Сукупність носіїв зарядів у кристалах (Фермі-газ) належить до великих канонічних ансамблів із змінним числом частинок. Такий ансамбль характеризується хімічним потенціалом μ і, якщо кристал вивести із стану термодинамічної рівноваги, то цей ансамбль характеризує всі його кінетичні властивості.

Статистична сума великого канонічного нерівноважного ансамблю частинок, враховуючи спінове виродження, дорівнює [1]

$$Z_{BE} = \prod_{\vec{k}} (1 + \exp(\mu + \Delta\epsilon_{\vec{k}} - \epsilon_{\vec{k}}) / kT)^2 \quad (1)$$

У цій формулі \vec{k} – це хвильовий вектор носія заряду, який відіграє роль квантового числа, $\epsilon_{\vec{k}}$ – закон дисперсії носіїв зарядів, а $\Delta\epsilon_{\vec{k}}$ – це деяка зміна енергії однієї частинки під дією збурень, які виводять кристал із стану термодинамічної рівноваги, а за відсутності таких збурень $\Delta\epsilon_{\vec{k}}=0$. Значення $\Delta\epsilon_{\vec{k}}$ розраховане в роботах [1-6].

Такий ансамбль характеризується великим термодинамічним потенціалом Гіббса

$$\Omega = -kT \ln Z_{BE} = -2kT \sum_{\vec{k}} \ln (1 + \exp(\mu + \Delta\epsilon_{\vec{k}} - \epsilon_{\vec{k}}) / kT) \quad (2)$$

Далі, користуючись формалізмом статистичної термодинаміки, розрахуємо загальну кількість частинок N цього ансамблю, його ентропію S , внутрішню енергію U та вільну енергію F