

3. Cassereao A new class unitary transforms for image processing // Cambtge, MA. May. 1985.
4. Malvar H.S. Lapped orthogonal transform for efficient transform/subband coding // IEEE ASSP. 1990. Vol.18. No. 6. С. 969-978.
5. Яцимирський М.М. Хамарні К.Д. Швидкі алгоритми косинусного-синусного перетворень для систолчних структур// Інформаційні технології і системи. 1998. №1/2. С.190-194.
6. Лашко О.Л. Яцимирський М.М. Ефективні алгоритми модульованого перетворення з перекриттям, // Моделювання та інформаційні технології. К. 2000. №5 . С.160-165.

УДК 621.372.542: 376.56

ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ РЕКУРСИВНОГО АЛГОРИТМУ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

© Олександр Тимченко

Українська академія друкарства, м. Львів, вул. Підголюско, 19

Розглянуто рекурсивний алгоритм обчислення миттєвого спектра. Знайдено області його ефективного застосування і визначено переваги порівняно з традиційними методами та алгоритмом швидкого перетворення Фур'є. Наведено приклад реалізації алгоритму.

The recursive algorithm of an evaluation of an instantaneous spectrum is considered. The areas of its effective utilization are found and the advantages on a comparison with conventional methods and algorithm of fast Fourier transformation are defined. The example of realization of algorithm is shown.

Використання рекурсивних підходів до цілого ряду алгоритмів цифрової обробки сигналів (ЦОС) дають змогу підвищити їх ефективність і досягти кращих показників, ніж дають традиційні системи [1]. Насамперед це алгоритми, які дозволяють легко провести розпаралелювання обробки і організувати рекурсивні обчислення, наприклад, цифрову фільтрацію або кореляційний аналіз. Водночас алгоритми швидкого перетворення Фур'є (ШПФ), незважаючи на їх надзвичайно високу ефективність, не мають простих методів розпаралелювання і рекурсивних реалізацій, а відомі конвеєрні структури ШПФ доволі громіздкі [2]. Оскільки особливо складні алгоритми ЦОС застосовуються до аналізу нестационарних сигналів, таких, як сигнали мови або рухомих зображень, то розробка алгоритмів функціонування і методів побудови систем спектрального аналізу на основі рекурсивних підходів актуальні.

Покажемо на прикладі обчислення миттєвого спектра, як застосування рекурсивних підходів нерідко дає змогу суттєво підвищити ефективність систем спектрального аналізу нестационарних сигналів.

Миттєвий спектр $\{\hat{G}(k, n)\}$, $k \in \{0, N-1\}$, $n > 0$ вхідного сигналу $\{x_n\}$, $n > 0$ можна подати так [3]

$$\hat{G}(k, n) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_{n+i} e^{-j2\pi ki/N}, \quad (1)$$

де N - апертура часового вікна; k - номер спектральної складової, які розділені інтервалом частот; $\Delta f = T^{-1}/N$, T^{-1} - частота дискретизації.

Запишемо рекурсивний алгоритм обчислення (1), тобто його значення $\hat{G}(k, n+1)$ для $n+1$ -го відліку вхідного сигналу через попереднє значення $\hat{G}(k, n)$. Маємо

$$\hat{G}(k, n+1) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_{n+i+1} e^{-j2\pi ki/N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{n+i} e^{-j2\pi k(i-1)/N}$$

Здійснимо еквівалентні перетворення отриманого виразу. Винесемо постійне значення з-під знаку суми

$$\hat{G}(k, n+1) = \frac{e^{j2\pi k/N}}{N} \sum_{i=1}^N x_{n+i} e^{-j2\pi ki/N} \quad (2)$$

Введемо в (2) додаткові члени послідовності вхідних відліків, тобто

$$\begin{aligned} \hat{G}(k, n+1) &= \frac{e^{j2\pi k/N}}{N} \left[\sum_{i=1}^{N-1} x_{n+i} e^{-j2\pi ki/N} + x_n - x_n + x_{n+N} e^{-j2\pi k} \right] = \\ &= \frac{e^{j2\pi k/N}}{N} \left[\sum_{i=0}^{N-1} x_{n+i} e^{-j2\pi ki/N} - x_n + x_{n+N} e^{-j2\pi k} \right]. \end{aligned} \quad (3)$$

Порівнюючи (3) з (1), остаточно отримуємо

$$\hat{G}(k, n+1) = \frac{e^{j2\pi k/N}}{N} \left[N\hat{G}(k, n+1) - x_n + x_{n+N} \right]. \quad (4)$$

При зсуві на один відлік вхідного сигналу одержимо конвексний (неперервний) алгоритм обчислення спектра вхідного дискретизованого сигналу.

Обчислення $\{\hat{G}(k, n)\}$, $k \in \{0, N-1\}$, $n > 0$ за допомогою (4) має ряд суттєвих переваг, які не знаходять достатнього виявлення у відомих системах. Застосування виразу (4) в ряді випадків дає змогу підвищити ефективність апаратури, навіть порівняно з алгоритмами швидкого перетворення Фур'є.

Порівняємо швидкодію алгоритмів (1), (4) з алгоритмом ШПФ для ряду особливих застосувань.

Розрахунок N спектральних складових миттєвого спектра із використанням N відліків сигналу $\{x_n\}$, $n > 0$ за формулою (1) вимагає незалежно від попереднього значення спектра $\{\hat{G}(k, n)\}$ виконання N^2 операцій виду "перемноження плюс додавання". Цей самий результат реалізується за допомогою алгоритму ШПФ при виконанні значно меншої кількості $2N \log_2 N$ вказаних операцій [4]. При застосуванні рекурсивного алгоритму (4) кількість цих операцій становить величину qN , де q - кількість зсувів між сусідніми часовими вікнами. Тому навіть порівняно з ШПФ, не кажучи вже про традиційне обчислення за (1), маємо переваги в швидкодії процесорів спектрального аналізу за умови, що часовий зсув вікон

$$n < 2 \log_2 N .$$

Очевидно, що із зростанням N і зменшенням перевага зростає, причому максимальне її значення становить $2 \log_2 N$ при $n = 1$. Тому, наприклад, для $N = 2^{10}$ рекурсивний алгоритм (4) кращий за алгоритм ШПФ вже при $n < 20$.

Інший приклад. Часто, наприклад, при побудові адаптивних фільтрів в частотній області, швидкому спектральному оцінюванню, немає необхідності в обчисленні всіх N спектральних складових, як при ШПФ. В такому разі є можливість підвищити ефективність рекурсії (4) порівняно з попереднім випадком. Порівняння числа вказаних операцій дає нерівність

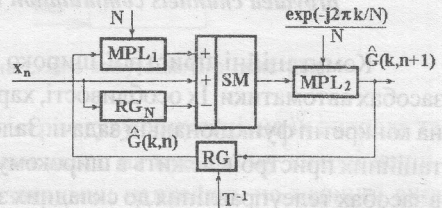
$$Mn < 2N \cdot \log_2 N ,$$

де $M < N$ - кількість необхідних спектральних складових. Наприклад, для $M = 128$, $N = 1024$ рекурсивний алгоритм кращий за ШПФ вже при часовому зсуві ковзного вікна на $n < 2N \log_2 N / M = 160$ відліків. Це дає можливість реалізувати адаптивні алгоритми спектрального аналізу в реальному часі.

Зазначимо ще одну особливість застосування виразу (4). При часовому зсуві на $n_2 - n_1 > 1$ відліків застосування ШПФ дає два значення спектральної густини $\{\hat{G}(k, n_1)\}$, $\{\hat{G}(k, n_2)\}$, в той час як алгоритм (4) дає всі проміжні значення $\{\hat{G}(k, n)\}$, $n = n_1, n_2$, тобто здійснюється тонкий аналіз спектра сигналу, що необхідно, наприклад, для аналізу сигналів мови.

Реалізацію обчислень послідовності відліків $\{\hat{G}(k, n)\}$, $n > 0$, $k = \text{const}$ зручно виконувати безпосередньо за (4). Структурна схема процесора показана на рисунку, де $MPL_{1,2}$ - перемножувачі, SM - алгебраїчний суматор, RG - регістр, RG_N - регістр затримки на N відліків вхідного сигналу. Якщо $N = 2^m$, $m > 0$ множення на $1/N$ відповідає зсуву двійкового подання сигналу на m бітів в бік молодших розрядів. Програмна реалізація також не є складною і може виконуватись на основі однокристальних мікро-ЕОМ [5].

Отже, рекурсивний алгоритм обчислення миттєвого спектра характеризується високою швидкістю, низькими апаратними затратами і дає змогу здійснювати спектральний аналіз нестационарних сигналів в режимі реального часу.



Структурна схема процесора для обчислення миттєвого дискретного

1. Тимченко О.В. Різницеві методи цифрової фільтрації. Львів, 1999.
2. Кухарев Г.А. и др. Системные процессоры для обработки сигналов / Г.А. Кухарев, А.Ю. Тропченко, В.П. Шмерко. - Минск, 1988.
3. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. М., 1989.
4. Яцимирський М.М. Швидкі алгоритми ортогональних тригонометричних перетворень. Львів, 1997.
5. Стрепко І.Т., Тимченко О.В., Дурняк Б.В. Проектування систем керування на однокристальних мікроЕОМ. К., 1998.

УДК 621.385

КОМУТАЦІЙНИЙ ПРИСТРІЙ ІЗ ЗАДАНОЮ ЧЕРГОВІСТЮ КОМУТАЦІЇ КАНАЛІВ

© Ярослав Парамуд

НУ "Львівська політехніка", м. Львів, вул. С. Бандери, 12

Запропоновано структурну схему та описано принципи функціонування комутаційного пристрою, який автономно забезпечує комутацію каналів із заданою черговістю.

Block scheme and functioning features of commutation apparatus independently provided channels commutation with given order is described.

Комутаційні пристрої широко застосовуються в комп'ютерних системах та засобах автоматизації. Їх особливості, характеристики, схемотехнічні рішення орієнтовані на конкретні функціональні задачі. Залежно від функціональних задач складність комутаційних пристроїв лежить в широкому діапазоні - від простих з невеликою швидкістю в засобах телеуправління до складних з пропускну здатністю на рівні декількох Гбайт/с у масових паралельних комп'ютерних системах [1].

Даний комутаційний пристрій призначений для автономної комутації N каналів із заданою черговістю. Він може використовуватися в системах малої та середньої швидкодії. Структурна схема пристрою розроблена на основі технічних рішень [2] та наведена на рис. 1.

Черговість комутації каналів $1, \dots, N$, яка відповідає послідовості формування сигналів Вихід 1, ..., Вихід N , задається блоком кодування черговості комутації (БКЧК). Цей блок доцільно реалізовувати як матрицю перемикачів логічних "0" та "1" розмірністю