

УДК 681.325

О. І. Прокопов, студ.

ВИМІРЮВАННЯ ОЦІНОК ПЕРІОДОГРАМ ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНИХ СИГНАЛІВ

Запропоновано модифікацію алгоритму організації обчислень результатів вимірювання оцінок періодограм інтерференційних сигналів з підвищенням роздільної здатності, який зменшує в P разів час обчислення, де P набуває значення від 10 до 50.

Вступ

Висока чутливість і точність інтерференційних приладів, реалізація безконтактного контролю об'єктів визначають збільшення ролі інтерферометрії в сучасних високих технологіях. Інтерференційні методи вимірювання, основані на кількісному оцінюванні форми зондуючого хвильового фронту, є основними у контролі форми поверхні матеріалів [1]. Обробка інтерференційних сигналів хвильового фронту проводиться частотними методами цифрової обробки для визначення значень інтерференційних екстремумів частоти на оптико-електронних вимірювально-обчислювальних комплексах за допомогою стандартних програм спектральної обробки. Цифрова обробка інтерференційних сигналів потребує визначення спектральних складових дискретним перетворенням Фур'є (ДПФ) чи алгоритмом швидкого перетворення (ШПФ). Велика кількість арифметичних операцій розрахунку спектральних оцінок не дає можливості проводити ці розрахунки з потрібною роздільною здатністю в реальному часі на спеціальних стендах [1]. Забезпечити підвищену роздільну здатність спектральних оцінок можна за рахунок операцій усереднення спектральних складових зі збільшенням часу спостережень [2]. Існуючі стендові вимірювальні комплекси, реалізовані на базі мікропроцесорних пристроїв, мають в своєму складі контролери типу MC2721 та АЦП1107ПВ2, які не дають можливості провести потрібні розрахунки спектральних характеристик з підвищенням роздільної здатності в реальному часі. Перехід до стендів закордонного виробництва потребує багато коштів.

Метою роботи є пошук алгоритму послідовності організації обчислень усереднення спектральних оцінок періодограм з підвищенням роздільної здатності інтерференційних сигналів у реальному часі.

Постановка задачі

Підвищена роздільна здатність (ПРЗ) спектральних оцінок періодограм зростає зі збільшенням часу спостережень і подальшим усередненням спектральних характеристик. Із ПРЗ частоти сигналів можуть бути визначені, як би близько вони не знаходились і якими б слабкими (відносно фоновому шуму) вони не були [2]. Операція усереднення спектрів сигналів проводиться за час спостереження. Така організація послідовності обчислень потребує багато часу на розрахунки, тому що необхідно обчислити P -ДПФ L -точкових послідовностей відліків, де P приймає значення від 10 до 50, а L — від 32 до 2048, що не дає можливості проводити обчислення в реальному часі. Змінюючи послідовність виконання алгоритму обчислень, можна скоротити кількість операцій, що зменшить час розрахунку характеристик інтерференційних сигналів з необхідною роздільною здатністю.

Основною задачею є збільшення швидкодії обчислень інтерференційних характеристик зі збереженням підвищеної роздільної можливості. Для цього потрібно провести модифікацію алгоритму послідовності обчислень, щоб скоротити кількість операцій і збільшити швидкість обробки інтерференційних сигналів. Це дасть можливість проводити вимірювання у реальному часі.

Технічна сутність

Розглянемо усереднення спектральних характеристик дискретного перетворення Фур'є з метою ПРЗ спектра сигналу [2]:

$$F(f) = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P x_i(f), \quad (1)$$

де $x_i(f)$ — дискретне перетворення Фур'є вектора вхідного сигналу; P — кількість інтервалів спостережень на проміжку часу спостережень. Час спостереження згідно з виразом (1) дорівнює $PL\Delta t$.

Обмеженням застосування цього методу [2] в системах реального часу є велика кількість операцій обчислення, так як потрібно провести обчислення P -ДПФ L -точкових послідовностей відліків, де P приймає значення від 10 до 50, а L змінюється від 32 до 2048 [3].

Нехай Δf — спектральна роздільна здатність. Якщо позначити через L число елементів розділення, що аналізуються за частотою, а B — частотний діапазон спектра сигналу, то $L = \frac{B}{\Delta f}$. Згідно з виразом (1) потрібно виконати P - L -крапкових швидких перетворень Фур'є (ШПФ) і провести їх усереднення.

Застосування методу ПРЗ в системах реального часу вимагає пошуку інших, ефективніших модифікацій послідовностей обчислень. Головною процедурою обчислень в цьому методі є ДПФ чи його швидкий алгоритм.

Розглянемо дискретне перетворення Фур'є сигналу $r(t)$:

$$x(l\Delta f_d) = \frac{1}{L} \sum_{i=i_0}^{i_0+L-1} r(i\Delta t) W_L^{il}, \quad (2)$$

де $W_L = \exp\left\{-j \frac{2\pi}{L}\right\}$; $l = 0, 1, 2, \dots, L-1$; $j = \sqrt{-1}$; $\Delta f = \frac{2\pi}{\Delta t}$; $\Delta t = \frac{1}{f_d}$, f_d — частота дискретизації сигналу $r(t)$.

Знайдемо дискретне перетворення Фур'є за час спостереження $PL\Delta t$. ПРЗ визначається довжиною ділянки, на якій аналізується сигнал: $L\Delta t$, $2L\Delta t, \dots, PL\Delta t$.

Запишемо вираз дискретного перетворення Фур'є на інтервалі часу $PL\Delta t$

$$X(k\Delta f) = \sum_{i=0}^{PL-1} r(i\Delta t) W_{PL}^{ik}, \quad (3)$$

де k — змінюється від $0, 1, \dots, PL-1$; $W_{PL} = \exp\left\{-j \frac{2\pi}{PL}\right\}$; $r(i\Delta t)$ — відліки часового сигналу.

Згідно з виразом (3) роздільна здатність частотної осі збільшена в P разів зі збільшенням часу спостережень. Зважаючи на властивість множника обертання [3]

$$W_{PL}^{Pl} = \exp\left\{-j \frac{2\pi Pl}{PL}\right\} = \exp\left\{-j \frac{2\pi l}{L}\right\},$$

знайдемо тільки L значень спектральних коефіцієнтів в проріджених вузлах частотної сітки розміром PL :

$$x(lP * \Delta f) = \frac{1}{PL} \sum_{i=0}^{PL-1} r(i\Delta t) W_{PL}^{iPl}. \quad (4)$$

Враховуючи властивість періодичності множника обертання W_{PL}^{Pl} , вираз (4) можна подати у вигляді подвійної суми, зробивши заміну змінних $i = pL + l$, де $p = 0, 1, \dots, P-1$:

$$X(lP * \Delta f) = \frac{1}{L} \sum_{l=0}^{L-1} W_L^l \frac{1}{P} \sum_{p=0}^{P-1} r(pL + l) \Delta t, \quad (5)$$

де l змінюється від $0, 1, \dots, L-1$.

Обчислення значень спектральних складових за виразом (5) для всіх значень спектральних коефіцієнтів можна виконати у два етапи. На першому етапі здійснюється усереднення суми значень проріджених відліків, а на другому етапі проводиться ШПФ сум проріджених відліків. Обчислю-

ючи внутрішню суму за виразом (5) першого етапу, необхідно виконати операцію усереднення суми проріджених відліків сигналу.

Виграш в обсязі обчислень виникає за рахунок того, що проводиться операція ШПФ тільки один раз над прорідженими усередненими відліками сигналів у часовій області. За виразом (1) потрібно провести P обчислень ШПФ. Кількісно виграш в обсязі обчислень порівняно з алгоритмом усереднення періодограм (1) можливо визначити за виразом

$$\frac{V_n}{V} = \frac{P \frac{L}{2} \log L}{\frac{L}{2} \log L} \approx P,$$

де V_n — обсяг обчислень методом усереднення періодограм; V — обсяг обчислень за алгоритмом модифікації послідовності обчислень, представлених виразом (5), де обчислюється тільки одна процедура ШПФ з кількістю операцій $\frac{L}{2} \log L$ [4].

Висновки

Згідно із запропонованим алгоритмом організації послідовності обчислень час обробки результатів порівняно з методом ПРЗ, запропонованим в [2], зменшується в P разів, де P приймає значення від 10 до 50. Зменшення часу розрахунків в P разів дає можливість використовувати запропонований алгоритм організації послідовності обчислень в системах реального масштабу часу з проведенням швидкого перетворення Фур'є один раз після закінчення накопичення сум проріджених часових відліків на збільшеному часовому інтервалі спостережень $PL\Delta t$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Васильев В. Н. Компьютерная обработка сигналов в приложении к интерферометрическим системам / В. Н. Васильев, И. П. Гуров. — СПб., 1998. — 240 с.
2. Сверхбольшие интегральные схемы и современная обработка сигналов / под. ред. Гуна С., Уайтхауса Х., Кайлата Т. — М.: Радио и связь, 1989. — 472 с.
3. Рабинер Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л. Рабинер, Б. Гоулд. — М.: Мир, 1978. — 848 с.
4. Романюк Ю. А. Основы цифровой обработки сигналов / Ю. А. Романюк. — В 3-х ч. Ч.1. Свойство и преобразование дискретных сигналов: уч. пособ. — МФТИ, 2005. — 332 с.

Рекомендована кафедрою захисту інформації

Стаття надійшла до редакції 11.11.10

Рекомендована до друку 16.11.10

Прокопов Олександр Ігорович — студент фізичного факультету.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ