

УДК 621.317.39

І. Д. Прокопов, к. т. н., доц.;

С. М. Марценюк

ВИМІРЮВАННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОТИ ДВИГУНА В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Вступ

Забезпечення надійності роботи двигуна вимагає проведення досліджень роботи двигуна в зоні детонації. Велика кількість обчислювальних операцій розрахунку спектральних характеристик не дає можливості проводити ці розрахунки з потрібною роздільною здатністю в реальному часі на спеціальних стендах [1], [2], [3]. Забезпечити високу роздільну здатність спектральних оцінок можна за рахунок операцій усереднення спектральних складових зі збільшенням часу спостережень [4]. Наявні стендові системи реалізовані на базі мікропроцесорних пристроїв і мають в своєму складі контролери типу MC2721 і АЦП1107ПВ2, які не дають можливість провести потрібні розрахунки спектральних характеристик в реальному часі. Перехід до стендів закордонного виробництва потребує багато коштів.

Тому метою роботи є підвищення продуктивності обчислень усереднення спектральних характеристик роботи двигуна за рахунок запропонованої нової послідовності проведення обчислень.

Постановка задачі

Роздільна здатність (ВРЗ) спектральних оцінок зростає з підвищенням часу спостережень [4]. Тому під час усереднення спектральних характеристик частоти сигналів можуть бути визначені, як би близько вони не знаходились і якими б слабкими (відносно фоновому шуму) вони не були [4]. Операція усереднення спектрів сигналів проводиться шляхом визначення спектральних характеристик методом швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) з подальшим їх усередненням на проміжку часу спостережень. Така послідовність обчислень потребує великої кількості розрахунків та не дає

можливості проводити обчислення в реальному часі. Зміна послідовності обчислень дає можливість зменшити час обчислень усереднених спектральних характеристик.

Технічна сутність

Розглянемо усереднення спектральних характеристик дискретним перетворенням Фур'є для ВРЗІ спектру сигналу [4]

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

де $x_i(f)$ — дискретне перетворення Фур'є вектора вхідного сигналу; P — кількість інтервалів спостережень на проміжку часу T .

Час спостереження згідно з виразом (1) дорівнює PT .

Обмеженням застосування даного методу [4] в системах реального часу є велика кількість операцій обчислення усереднення спектрів.

Нехай Δf — спектральна роздільна здатність. Якщо позначити через L число елементів розділення що аналізуються за частотою (додатних частот), а B -частотний діапазон зміни спектра сигналу, то $L = B/\Delta f$. Якщо спектральний аналіз виконується з періодом $T/2$, то P швидких перетворень Фур'є (ШПФ) L точок повинні обчислюватися за час $T/2$ кожна. Вхідні сигнали вважаються комплексними в смузі частот $(-B, B)$.

Застосування методу високої роздільної здатності [4], який пропонується в системах реального часу, вимагає пошуку інших ефективних обчислювальних послідовностей для можливості проведення обчислень на наявних стендах. Головною процедурою обчислень в даному методі є дискретне перетворення Фур'є і його швидкий алгоритм.

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

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

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

Розглянемо обчислення дискретного перетворення Фур'є за час спостереження PT . ВРЗ означається довжиною ділянки, на якій аналізується спектр. $L\Delta t, 2L\Delta t, \dots, PL\Delta t$.

Запишемо вираз дискретного перетворення Фур'є на інтервалі часу $PL\Delta t$ і знайдемо тільки L значень спектральних коефіцієнтів в тих же вузлах частотної сітки

$$x(l\Delta f) = \sum_{i=0}^{PL-1} r(i\Delta t) W_{PL}^{iPL}. \quad (3)$$

Зважаючи на властивість множника повертання з (2) маємо

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

Перепишемо вираз (3) у вигляді

$$x(l\Delta f) = \frac{1}{PL} \sum_{i=0}^{PL-1} r(i\Delta t) W_L^{iL}. \quad (4)$$

Враховуючи властивість періодичності множника повертання W_L (2), вираз (4) можна представити у вигляді подвійної суми, вводячи заміну $i = pL + l$, де $p = 0, 1, \dots, P-1$.

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

Обчислення значень спектральних складових за виразом (5) для всіх значень спектральних коефіцієнтів можна виконати в два етапи. На першому етапі здійснюється усереднення сумарних значень проріджених відліків, а на другому етапі проводиться ШПФ усереднених проріджених відліків. Під час обчислення внутрішньої суми за виразом (5) першого етапу необхідно виконати операцію усереднення суми проріджених відліків сигналу.

З метою зменшення кількості комірок елементів пам'яті скористаємось ітераційною формулою обчислень усереднення проріджених відліків у вигляді

$$\frac{r(0)_{p=0} + r(0)_{p=1} + r(0)_{p=2} + \dots + r(0)_{p=P-1}}{P} \approx \frac{\frac{r(0)_{p=0} + r(0)_{p=1}}{2} + \dots + r(0)_{p=P-1}}{2}$$

Враховуючи те, що операція ділення на 2 відповідає зсуву на один розряд, замінюємо операцію ділення командою зсуву, яка потребує одного машинного такту мікроконтролера.

Виграш в обсязі обчислень виникає за рахунок того, що проводиться операція ШПФ тільки один раз над прорідженими усередненими відліками. За виразом (1) потрібно провести P обчислень ШПФ. Чисельно виграш в обсязі обчислень порівняно з алгоритмом усереднення періодограм [4] можна представити виразом

$$\frac{V_n}{V} = \frac{(PL/2) \log L}{(L/2) \log L} \approx P,$$

де V_n — обсяг обчислень методом усереднення періодограм; V — обсяг обчислень за алгоритмом, представленим виразом (5), де обчислюється тільки одна процедура ШПФ з кількістю операцій указаних в [6].

Виграш у часі, порівняно з методом ВРЗ запропонованому в [2], збільшується в P разів, де P приймає значення від 20 до 50. Оскільки в системах реального масштабу часу частота дискретизації вхідних відліків залежить від часу обчислення ШПФ для L відліків, то за запропонованим виразом (5) вхідні відліки можуть поступати майже в темпі дискретизатора (здійснюється над прорідженими відліками одна команда додавання та команда зсуву), а швидке перетворення Фур'є проводиться один раз після закінчення накопичення проріджених усереднених відліків на збільшеному часовому інтервалі PT .

Висновки

Запропонована послідовність усереднення спектральних характеристик в P (20...50) разів зменшує обсяг обчислень, що дає можливість проводити розрахунки спектральних характеристик роботи двигуна з високою роздільною здатністю на наявних стендах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Диагностика двигателя. Charles White, ЗАО «Алфамер Паблшин», Россия, 2001. — 420 с.
2. Руководство по электрическому оборудованию автомобилей. A. Tranter, ЗАО «Алфамер Паблшин», Россия, 2001. — 460 с.
3. Ермолов Р. С., Иванов Р. А. Электроизмерительные устройства для диагностики машин и механизмов. — Л.: Энергия, Ленингр. отд. — ние, 1979. — 128 с.
4. Сверхбольшие интегральные схемы и современная обработка сигналов. Под редакцией Гуна С., Уайтхауса Х., Кайлата Т. — М.: Радио и связь, 1989. — 472 с.
5. Оппенгейм А. В., Шафер Р. В. Цифровая обработка сигналов. — М.: Связь, 1979. — 416 с.
6. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. — М.: Мир, 1978. — 848 с.

Рекомендована кафедрою електроніки

Надійшла до редакції 10.04.03
Рекомендована до опублікування 26.06.03

Прокопов Ігор Дмитрович — доцент кафедри електроніки.

Кафедра хімії та екологічної безпеки. Вінницький національний технічний університет.

Марценюк Станіслав Миколайович — викладач Вінницького технічного коледжу.