

Проектування нерекурсивних цифрових фільтрів із використанням пакету програм SCILAB

Батюк А.Я., Паук А.А., Рабик В.Г.

*Факультет електроніки Львівського національного університету
імені Івана Франка, batiuk@electronics.lnu.edu.ua*

This work is devoted to designing of digital FIR-filters in the Scilab environment. The main methods for designing the FIR-filters and the corresponding software are considered in detail.

Цифрова обробка сигналів (ЦОС) використовується в багатьох областях, де інформація представлена в цифровій формі. Однією з найважливіших операцій ЦОС є цифрова фільтрація, яка використовується для усунення завад, розділення декількох сигналів, виділення з сигналів інформації.

Цифрові фільтри (ЦФ) поділяються на два великих класи: нерекурсивні (фільтри з скінченною імпульсною характеристикою - СІХ) і рекурсивні (фільтри з нескінченною імпульсною характеристикою — НІХ).

Процес проектування ЦФ включає в себе наступні етапи: синтез (задання вимог до фільтрів, апроксимацію характеристик фільтру – розрахунок коефіцієнтів передаточної функції або різницевого рівняння, побудову функціональної схеми ЦФ); вибір методу реалізації ЦФ (розробка ефективних алгоритмів обчислень з урахуванням арифметики, що використовується при заданому методі реалізації – плаваюча або фіксована кома); моделювання спроектованого фільтру з допомогою спеціальних програмних засобів; практична реалізація та тестування в реальному часі.

У системах розпізнавання мови, вимірювальних системах важливим є забезпечення лінійності фазових характеристик. Ця вимога виконується при обробці сигналів нерекурсивними ЦФ. Також перевагами СІХ - фільтрів є те, що їх можна реалізувати як за нерекурсивною, так і рекурсивною формою. СІХ - фільтри, реалізовані за нерекурсивною формою, завжди стійкі. До основних недоліків СІХ - фільтрів можна віднести велике число відліків імпульсної характеристики для апроксимації частотних характеристик з крутими схилами та те, що затримка в СІХ - фільтрах з лінійною фазовою характеристикою не завжди рівна цілому числу інтервалів дискретизації.

Нерекурсивні ЦФ описуються різницеvim рівнянням [1, 2]:

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} h(i) \cdot x(n-i), n=0, \dots, N-1, \quad (1)$$

де N_{IN} – розмірність вибірки вхідного сигналу $x(n)$; $h(i)$, $i=0, \dots, N-1$ – коефіцієнти фільтру (імпульсна перехідна характеристика).

Передаточна функція СІХ - фільтру має вигляд [1, 2]:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = Z\{h(n)\} = \sum_{n=0}^{N-1} h(n) \cdot z^{-n}. \quad (2)$$

Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) нерекурсивного фільтру:

$$A(\omega) = \sqrt{\left(\sum_{n=0}^{N-1} h(n) \cdot \sin(n\omega T)\right)^2 + \left(\sum_{n=0}^{N-1} h(n) \cdot \cos(n\omega T)\right)^2}. \quad (3)$$

Фазочастотна характеристика (ФЧХ) нерекурсивного фільтру:

$$\theta(\omega) = \arg[H(e^{j\omega T})] = -\arctg \left(\frac{\sum_{n=0}^{N-1} h(n) \cdot \sin(n\omega T)}{\sum_{n=0}^{N-1} h(n) \cdot \cos(n\omega T)} \right). \quad (4)$$

Умови лінійності ФЧХ СІХ - фільтру [1, 2]:

$$\theta(\omega) = -\tau \cdot \omega, \quad (5)$$

$$\theta(\omega) = \theta_0 - \tau \cdot \omega. \quad (6)$$

де τ - коефіцієнт нахилу ФЧХ; θ_0 - постійна величина.

В загальному випадку синтез нерекурсивного ЦФ полягає в розрахунку його передаточної функції і згідно виразу (2) зводиться до знаходження його імпульсної характеристики. Для синтезу нерекурсивних фільтрів з лінійною ФЧХ використовують наступні методи: метод зважування з допомогою віконних функцій; метод частотної вибірки; метод мінімаксної оптимізації. Розрахунок нерекурсивних ЦФ в середовищі Scilab виконується з допомогою функцій `wfir`, `fsfirlin`, `eqfir` [3].

Функція `wfir` реалізує метод зважування з допомогою усереднюючих вікон. Звертання до цієї функції [3]:

$$[wft, wfm, fr] = \text{wfir}(ftype, forder, cfreq, wtype, fpar).$$

Функція повертає: `wft` - коефіцієнти фільтру в часовій області; `wfm` - АЧХ ЦФ для множини частот `fr`; `fr` - множину нормованих частот з діапазону [0, 0.5]. Аргументи цієї функції: `ftype` - тип фільтру; `forder` - порядок фільтру; `cfreq` - вектор нормованих частот зрізу; `wtype` - тип вікна; `fpar` - подвійний вектор параметрів вікна.

Ця функція дозволяє використання прямокутного ('re'), трикутного ('tr') вікон, вікна Хеммінга ('hm'), вікна Ханна ('hn'), вікна Кайзера ('kr'), вікна Чебишева ('ch'). Необхідну довжину нерекурсивного ЦФ можна оцінити по ширині його перехідної області. Для кожного з вікон це співвідношення є іншим. Так для вікна Хеммінга зв'язок нормованої ширини перехідної області ЦФ з довжиною фільтру виражається виразом [4]:

$$\Delta f = \frac{3.3}{N}, \quad (7)$$

де N - довжина фільтру, а Δf - нормована ширина перехідної смуги. Максимально можливе затухання в смузі непропускання фільтру при

використанні вікна Хеммінга складає порядку 53 дБ, а мінімальна амплітуда нерівномірності в смузі пропускання - біля 0,0194 дБ.

Метод частотної вибірки допускає рекурсивні реалізації СІХ - фільтрів та дозволяє проектувати їх з довільною частотною характеристикою. Він реалізується з допомогою функції `fsfirlin`. Звертання до неї має вигляд [3]:

```
[hst]=fsfirlin(hd, flag).
```

Вихідні параметри функції: `hst` – вектор, що задає апроксимований неперервний відклик для заданої множини частот. Аргументи цієї функції: `hd` – вектор заданої вибірки АЧХ; `flag` – приймає значення 1 або 2, залежно від вибору типу структури ЦФ.

Для розрахунку СІХ-фільтрів, оптимізованих за мінімаксним критерієм, використовується функція `eqfir`. Звертання до цієї функції:

```
[hn]=eqfir(nf, bedge, des, wate).
```

Вихідні параметри функції: `hn` – вектор коефіцієнтів СІХ – фільтру. Аргументи цієї функції: `nf` – ціле число, що задає довжину фільтру; `bedge` – матриця розміром $M \times 2$, що визначає границі кожної зі смуг пропускання фільтру; `des` – вектор, довжиною M , який задає бажане значення амплітуди для кожної смуги частот; `wate` – вектор, довжиною M , який задає допустиму величину похибки для кожної смуги частот.

Розглянуто приклади проектування нерекурсивних ЦФ різних типів з допомогою функцій `wfir`, `fsfirlin` та `eqfir` в середовищі Scilab. Для цього написані скрипти, які дозволяють отримати коефіцієнти фільтру, графіки АЧХ, ФЧХ, імпульсної характеристики, групового часу затримки.

При апаратній реалізації нерекурсивних ЦФ широке поширення отримали програмовані логічні інтегральні схеми (ПЛІС). Отримані в середовищі Scilab коефіцієнти СІХ - фільтру використовуються для його реалізації на основі ПЛІС. Також в роботі використовуються вбудовані засоби САПР Quartus II для реалізації нерекурсивних ЦФ MegaWizard Plugin Manager – FIR Compiler. Проведено порівняння цих двох підходів на конкретних прикладах реалізації ЦФ на основі ПЛІС FPGA сімейства Cyclon III фірми Altera.

Література

1. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л. Рабинер. - М.: Мир, 1978. - 848 с.
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко. - Спб.: Питер, 2002. - 608 с.
3. Signal Processing with Scilab. Scilab Group [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001619/lecciones/descargas/signal.pdf>
4. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание.: - Пер. с англ. / Э. Айфичер - М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. - 992 с.