

## СИНТЕЗ ЦИФРОВЫХ КИХ-ФИЛЬТРОВ БЕЗ УМНОЖИТЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Апальков И.В.<sup>1</sup>, Хрящев В.В.<sup>1</sup>, Нери Ф.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова  
150000, Россия, Ярославль, ул. Советская, 14.

Тел. (0852) 79-77-75. E-mail: [dcslab@uniyar.ac.ru](mailto:dcslab@uniyar.ac.ru)

<sup>2</sup> Политехнический Университет Бари, Италия

E-mail: [neri@deemail.poliba.it](mailto:neri@deemail.poliba.it)

### Введение

Во многих приложениях цифровой обработки сигналов использование фильтров с конечной импульсной характеристикой (КИХ) более предпочтительно, чем схожих с ними по характеристикам фильтров с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ) [1]:

- создание КИХ-фильтров с абсолютно линейной фазой достигается условием на симметрию (антисимметрию) коэффициентов;
- КИХ-фильтры реализованные нерекурсивно по определению устойчивы и не могут иметь осцилляций, вызванных использованием арифметики с конечной длиной слова;
- выходной шум ошибок округления при умножении в КИХ-фильтрах обычно мал;
- чувствительность коэффициентов фильтра к отклонению от идеальных значений также мала.

Однако главный минус обычных КИХ-фильтров состоит в том, что при реализации они требуют значительно большее количество арифметических операций и базовых элементов, таких как умножители, сумматоры и элементы задержки, по сравнению с БИХ-вариантом.

Необходимость в цифровой системе, которая была бы более быстрой и требовала бы меньше ресурсов, привела к появлению различных решений. Один из подходов – отказ от выполнения полных операций умножения, замена их операциями сдвиг/суммирование и решение задач получения приемлемых характеристик цифрового фильтра при заданном числе ненулевых бит в двоичном представлении коэффициентов либо при одновременной минимизации суммарного числа таких бит [2].

Решение этой задачи тесно связано с одновременной оптимизацией как передаточной функции в области дискретных значений коэффициентов, так и структуры цифрового фильтра. Очевидным подходом к решению этой задачи является метод простого округления, согласно которому сначала решается задача в непрерывной области, а затем полученные коэффициенты округляются до требуемой длины слова либо до длины, при которой характеристики цифрового фильтра считаются еще допустимыми. Другой подход заключается в полном переборе возможных дискретных значений коэффициентов. Это единственный метод гарантирующий получение глобального оптимального решения задачи дискретного нелинейного программирования.

Первый метод очень часто приводит к неоптимальным решениям, а второй – не пригоден из-за чрезмерных затрат машинного времени, особенно для цифровых фильтров средних и высоких порядков. В связи с этим были предприняты усилия, направленные на разработку эффективных алгоритмов, приводящих к оптимальным решениям или близким к таковым за приемлемое время [3].

В настоящее время большое число новых или модифицированных алгоритмов обработки сигналов и изображений основаны на интеллектуальных алгоритмах обработки данных. Подобные алгоритмы находят применение в задачах фильтрации сигналов, восстановления изображений, синтезе цифровых фильтров [4-6].

В этой работе рассматривается возможность применения генетических алгоритмов (ГА) для аппроксимации амплитудных характеристик КИХ-фильтров, выполненных без умножителей. Потенциальными преимуществами ГА по сравнению с градиентными и линейно-оценочными методами оптимизации являются: алгоритм работает сразу во всей области определения целевой функции, при правильной настройке параметров алгоритм свободен от попадания в локальный минимум, алгоритму не требуется знание производной целевой функции [6].

### Применение генетических алгоритмов к синтезу фильтров

ГА используют закон естественного отбора более приспособленных особей для оптимизации набора возможных решений. Популяцией в ГА называется набор хромосом, каждая из которых представляет собой строку фиксированной длины, в которой закодировано возможное решение данной оптимизационной задачи. Первым этапом работы ГА является создание начальной популяции, которая обычно представляет собой набор случайных, равных по длине, бинарных строк [7]. Далее каждой хромосоме ставится в соответствие значение функции приспособленности, которое определяет шансы каждой особи поучаствовать в размножении. Процесс оценки и выбора особей для размножения носит название селекция. Очевидно, генетическая информация наиболее приспособленных хромосом должна доминировать в популяции потомков. То есть наиболее приспособленные особи должны иметь большие шансы при размножении. Новые решения формируются с помощью операции кроссовера, выполняемой над особями

родителей. Оператор мутации хотя и используется редко, но крайне важен для того, чтобы поиск оптимального решения не замкнулся бы в области локального минимума [8]. Работа типичного ГА представлена на рис. 1.

Цель рассматриваемой задачи состоит в оптимизации коэффициентов цифрового фильтра в соответствии с заданной характеристикой фильтра. ГА обеспечивает “умный” поиск для определения наилучшего решения. Пусть каждая хромосома в популяции представляет собой набор коэффициентов фильтра, закодированных бинарными последовательностями. Таким образом, каждая особь соответствует цифровому фильтру, описанному через его коэффициенты. Функция приспособленности может быть найдена из технических условий. Она показывает отклонение характеристик конкретной особи от выбранных характеристик.

Коэффициенты фильтра кодируются 16- или 24- элементными бинарными строками, а фильтр кодируется последовательностью таких бинарных строк. Требования к цифровому фильтру обычно определяют в частотной области в виде условий на амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) и/или фазо-частотную характеристику (ФЧХ). Фильтр нижних частот (ФНЧ) будет сохранять сигнал в полосе пропускания  $[0, \omega_p]$  и подавлять его в полосе  $[\omega_s, \pi]$ . Возможные отклонения от идеального уровня обозначим  $\delta_p$  и  $\delta_s$  соответственно.



Рис. 1. Схема работы генетического алгоритма

Функция приспособленности, в случае если АЧХ содержит 128 точек, выглядит следующим образом.

$$F(A) = \sum_{i=1}^{128} \begin{cases} (A_i - U_i)^2, & A_i > U_i \\ (L_i - A_i)^2, & A_i < L_i \\ 0, & L_i \leq A_i \leq U_i \end{cases}$$

где  $U$  и  $L$  – максимальный и минимальный уровни в полосе пропускания и в полосе удержания,  $A$  – АЧХ данной особи.

Результат синтеза КИХ-фильтра без умножителей с параметрами  $\delta_p=0.1$ ,  $\delta_s=0.1$ ,  $\omega_p=0.2$  и  $\omega_s=0.3$  представлен на рисунке 2. Качество найденного решения зависит от количества хромосом, порядка синтезируемого фильтра и параметров ГА. Кроме того, фильтр без умножителей имеет более сложную структуру, обусловленную тем, что каждый элемент умножения заменяется на набор элементов сдвига и сумматоров. В такой ситуации тяжело судить об эффективности фильтра без учета структурной реализации.

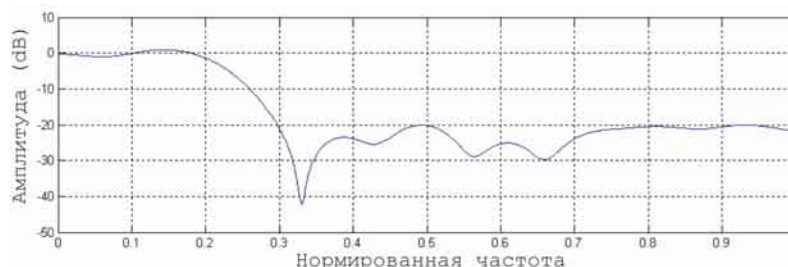


Рис. 2. АЧХ синтезированного КИХ-фильтра без умножителей

### Выводы и будущие исследования

Экспериментальные результаты показали, что ГА могут использоваться для синтеза КИХ-фильтров без умножителей. В отдельных случаях ГА превосходят другие методы синтеза. После создания этого алгоритма появилась возможность получения разных АЧХ, что позволяет строить эффективные системы обработки цифровых сигналов. В генетических алгоритмах существуют отдельные блоки, такие как

селекция, скрещивание и мутация, они могут быть также усовершенствованы. Более того, для создания более точных аппроксимаций АЧХ можно использовать веса для отдельных частей АЧХ, таких как полоса удержания, полоса подавления, переходная полоса.

#### Литература

1. T. Saramaki. Finite Impulse Response Filter Design. Chapter 4 in Handbook for Digital Signal Processing, edited by S. K. Mitra and J. F. Kaiser, John Wiley and Sons, New York, 1993.
2. Мингазин А. Т. Синтез цифровых фильтров для высокоскоростных систем на кристалле // Цифровая обработка сигналов № 2-2004 год.
3. Мингазин А.Т. Синтез передаточных функций цифровых фильтров в области дискретных значений коэффициентов, Электронная техника, 1993, Сер. 10, №1,2, с.3-35.
4. Джонс М. Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях. - М.: ДМК Пресс, 2004.
5. Lee, M. Ahmadi, G.A. Jullien, R.S. Lashkari, and W.C. Miller. Design of 1-D FIR filters with genetic algorithm, in *Proc. IEEE Int. Symp. On Circ. And Syst. (ISCAS)*, III, pp. 295-298, 1999.
6. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004.
7. M. Mitchell. Introduction to Genetic Algorithms, MIT Press 1996.
8. T. Back. Evolutionary Algorithms in Theory and Practice, Oxford University Press, 1996.

