

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ФИЛЬТРОВ-ДЕЦИМАТОРОВ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Костенюк П.Д., Арлович С.В., Козел Д.И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Печень Т.М. – старший преподаватель

Рассматривается реализация КИХ фильтров и их преимущество, а также алгоритм работы фильтров. Предложена архитектура фильтра с коэффициентом децимации более 2 для случая блочных данных.

Цифровой фильтр-ресеплер с конечной импульсной характеристикой (КИХ) - это фильтр, импульсная характеристика которого или ответ на любой вход с конечной длиной, имеет конечную длительность, так как он оканчивается на ноль за конечное время. КИХ-фильтр может использоваться для реализации практически любого вида частотной характеристики в цифровом виде. [1].

При реализации КИХ-фильтров в программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС), их возможности могут существенно ограничиваться некоторыми ресурсами ПЛИС. Наиболее «дефицитным» обычно оказывается такой ресурс как умножители (англ. multiplier's).

Из-за нехватки умножителей разработчикам приходится применять более дорогостоящие ПЛИС, снижать порядок фильтра, уменьшать их количество доступных номиналов цифровых полос, что в итоге негативно сказывается на технических характеристиках конечного продукта.

Для оптимизации структуры КИХ-дециматоров необходимо выполнить следующие итерации:
– Вычислить соответствующие коэффициенты КИХ-фильтра и порядка цифрового фильтра.
Характеристика классического КИХ фильтра может быть представлена в виде:

$$y(n) = \sum_{i=0}^n b_i x(n-i) \quad (1)$$

где n - порядок фильтра,
 b_i – коэффициент фильтра.

Структурная схема нерекурсивного КИХ-фильтра показана на рисунке 1.

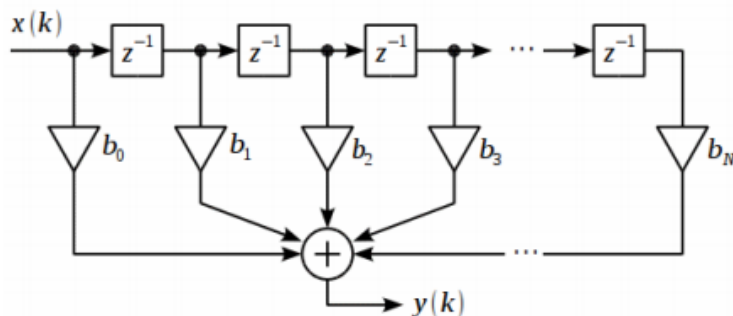


Рисунок 1 – Структурная схема нерекурсивного КИХ-фильтра

КИХ фильтр порядка n содержит n линий задержки и $n+1$ коэффициент. Если коэффициент $b_0 = 1$, то получим КИХ фильтр порядка n , у которого умножение на $b_0 = 1$ будет тривиальным.

Импульсная характеристика КИХ-фильтра всегда конечна и полностью совпадает с коэффициентами фильтра. Массив таких фильтров позволяет реализовать m различных номиналов цифровых полос, где m – любое целое число.

– Оценить потребность в ресурсах типа умножители для такого массива фильтров:

$$M = (n + 1) \times m \quad (2)$$

– Рассмотреть в качестве альтернативного решения архитектуру буферного КИХ фильтра-дециматора, приведенную на рисунке 2.

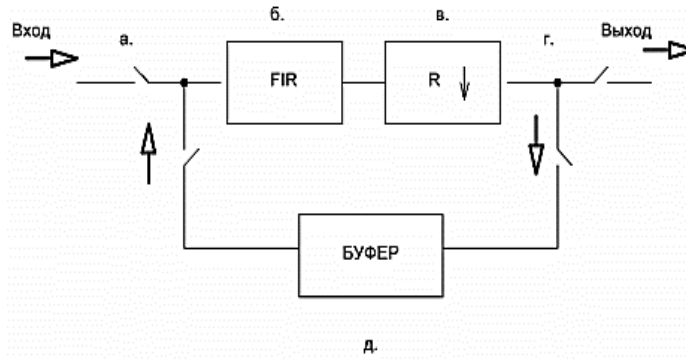


Рисунок 2 – Структурная схема буферного КИХ фильтра

где а – входной логический переключатель; б – полуполосный (halfband) КИХ фильтр; в – блок децимации с коэффициентом $R=2$; г – выходной логический переключатель; д – буфер.

Входными данными для такого фильтра могут быть отсчеты цифрового сигнала, предварительно преобразованного на 0 Гц.

– Оценить схему обработки данных таким фильтром.

1. Данные поступают во входной логический переключатель, а) рис.1. и перенаправляются на вход КИХ фильтра б), который предназначен, прежде всего, для устранения алиасинга во входном сигнале при децимации.

2. После фильтрации тактовая частота сигнала уменьшается вдвое с помощью дециматора в).

3. После децимации данные поступают в выходной коммутатор г). В случае, если необходимая полоса сигнала не достигнута, данные перенаправляются в буфер г).

4. После заполнения буфер возвращает блок данных через входной коммутатор а), для следующей итерации по сужению полосы.

5. Итерации 2-4 повторяются до достижения необходимой полосы сигнала. Очевидно, что для блочных данных, за счет циклической структуры обработки сигнала, можно реализовать на одном фильтре любые коэффициенты децимации кратные $2k$, где $k = 1, 2, 3, \dots$

– Рассмотреть дополнительные возможности по оптимизации требований КИХ фильтра к количеству умножителей, необходимых для его реализации в современных программируемых логических интегральных схемах.

Для анализа необходимо ввести следующие ограничения в структуру фильтра: пусть каждый второй коэффициент фильтра равен нулю и коэффициенты фильтра симметричны относительно центрального коэффициента.

– Учесть при проектировании фильтра необходимым и достаточным условием равенства нулю каждого второго коэффициента является полуполосность фильтра, то есть симметричность значений частоты среза (W_{pass}) и частоты заграждения (W_{stop}), относительно половины частоты дискретизации ($F_s/2$) [2].

– При реализации буфера фильтра необходимо учитывать следующую важную особенность, что КИХ фильтр – это нерекурсивный фильтр или фильтр свертки. КИХ фильтры выполняют свертку своих коэффициентов с последовательностью входных отсчетов данных, при этом результирующий объем данных возрастает по формуле:

$$K = K_D + K_{\Phi} - 1 \quad (3)$$

где K — количество элементов в выходной последовательности;

K_D — количество входных отсчетов данных;

K_{Φ} — количество коэффициентов фильтра.

При этом первые $K_{\Phi} - 1$ отсчетов выходной последовательности не являются валидными.

Таким образом, у предложенной архитектуры существует некоторые ограничения на применение, а именно: фильтр может эффективно применяться с коэффициентом децимации более 2 только с блочными данными; коэффициенты децимации могут быть только числами кратными $2k$; фильтр имеет относительно «жесткую» структуру, а именно, равенство нулю каждого второго коэффициента и симметричность коэффициентов относительно центрального коэффициента.

Список использованных источников:

1. Карбушов, Ч.С. Разработка КИХ-фильтра с использованием распределенной арифметической архитектуры // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы V Международной научной конференции. – 2017.
2. Steven W. Smith, The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, Second Edition, 1999, California Technical Publishing, P.O. Box 502407, San Diego, CA 92150.