

УДК 621.316

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ КИХ-ФИЛЬТРОВ

Камбалов Е.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Румянцев В.Ю.

КИХ-фильтр (фильтр с конечной импульсной характеристикой), называемый также нерекурсивным, - это фильтр, импульсный отклик которого содержит лишь конечное число ненулевых отсчетов. Такой импульсный отклик всегда абсолютно суммируем, и, следовательно, КИХ-фильтры всегда устойчивы. КИХ-фильтры имеют также то преимущество, что их работу легче понять, как в одномерном, так и в многомерном случае.

БИХ-фильтр (фильтр с бесконечной импульсной характеристикой), или рекурсивный, – это фильтр, входной и выходной сигналы которого удовлетворяют многомерному разностному уравнению конечного порядка. Такие фильтры могут быть как устойчивыми, так и неустойчивыми, однако во многих случаях они оказываются проще в реализации, чем эквивалентные КИХ-фильтры. Синтез двумерного рекурсивного фильтра радикально отличается от синтеза одномерного фильтра. Отчасти это связано с возрастанием сложности обеспечения устойчивости.

Фильтры с нулевой фазой важны для многих приложений цифровой обработки многомерных сигналов. Например, при обработке изображений фильтры с ненулевой фазой могут привести к разрушению линий и границ. Чтобы понять, почему это так, вспомним из нашего обсуждения преобразований Фурье, что любой сигнал можно представить в виде суперпозиции комплексных синусоид. Линейный инвариантный к сдвигу фильтр с нетривиальным частотным откликом будет избирательно усиливать или ослаблять некоторые из этих синусоидальных компонент, а также задерживать некоторые компоненты по отношению к другим. На любой частоте величина задержки зависит от значения фазового отклика. Нелинейный (разовый отклик приводит, таким образом, к рассеянию строго согласованных синусоидальных компонент сигнала, составляющих контрастные точки, линии и границы.

Фильтр с нулевой фазой имеет и другие преимущества. В силу вещественности его частотного отклика упрощается синтез фильтра. К тому же симметрию импульсного отклика фильтра можно использовать при его реализации для уменьшения, требуемого числа умножений.

КИХ-фильтр обладает рядом полезных свойств, из-за которых он иногда более предпочтителен в использовании, чем БИХ-фильтр. Вот некоторые из них:

- КИХ-фильтры устойчивы;
- КИХ-фильтры при реализации не требуют наличия обратной связи;
- фаза КИХ-фильтров может быть сделана линейной.

Реализация любого КИХ-фильтра возможна также с помощью дискретного преобразования Фурье. Этот подход особенно заманчив при реализации фильтров высокого порядка, поскольку имеется ряд алгоритмов быстрого преобразования Фурье, позволяющих эффективно вычислять ДПФ.

Вопросы синтеза и реализации многомерных фильтров тесно связаны между собой. В то время как любой КИХ-фильтр, если только известен его импульсный отклик, можно реализовать с помощью, либо прямой свертки, либо ДПФ, другие (часто весьма эффективные) способы реализации обычно ограничивают класс реализуемых фильтров и требуют специальных алгоритмов синтеза. В этой части мы рассмотрим некоторые из этих специальных алгоритмов синтеза и реализации.

Простейшим из методов реализации является каскадное соединение фильтров. Для тех, кто имеет опыт работы с одномерными фильтрами, отнесение каскадной структуры к специальным способам реализации может показаться странным, однако следует напомнить, что многомерные полиномы обычно не разлагаются на множители. Так что каскадирование многомерных фильтров – это, действительно, весьма специальный способ реализации!

Любой фильтр с импульсным откликом  $h(n_1, n_2)$  можно представить в виде параллельного соединения фильтров с импульсными откликами  $h_1$  и  $h_2$ . В общем случае естественно ожидать, что опорная область для  $h$  будет объединением опорных областей для  $h_1$  и  $h_2$ , однако она может быть и меньше, если два фильтра  $h_1$  и  $h_2$  гасят друг друга. К сожалению, такое разложение редко приводит к сокращению объема вычислений; фактически объем вычислений может увеличиться.

Однако сокращения объема вычислений можно добиться, если наложить на  $h_1$  и  $h_2$  некоторые ограничения, например, если потребовать, чтобы  $h_1$  и  $h_2$  были разделимыми фильтрами. Разделимые фильтры отличаются высокой эффективностью реализации, но с их помощью можно точно аппроксимировать только разделимые импульсные отклики. Однако при параллельном соединении двух разделимых фильтров образуется неразделимый фильтр. Это дает возможность аппроксимации неразделимых переходных характеристик с помощью легко реализуемых фильтров. Эта идея была первоначально предложена Трейтелем и Шэнксом, которые назвали такие фильтры многоступенчатыми разделимыми фильтрами.

При проектировании собственных блок-схем цифровых фильтров необходимо следовать определенным условиям: если в данный момент на входе последовательной цепочки блоков регистр Задержки ( $1/Z$ ) Вы имеет значение координаты  $x[k]$ , то на последующих выходах присутствуют предыдущее ее значения  $x[k-1]$ ,  $x[k-2]$ , ...,  $x[k-m]$ . Обе нижние блок-схемы реализуют на регистрах задержки  $1/Z$  одну  $z$ -ПФ.

#### Литература

1. Антонью, А. Цифровые фильтры: анализ и проектирование / А. Антонью / Под ред. С.А. Поньрко. – М. : Радио и связь, 1983. – 320 с.
2. Реализация цифровых фильтров в микропроцессорных устройствах релейной защиты / Ю.В. Румянцев [и др.] // Энергетика. Изв. высш. учеб. Заведений и энерг. объединений СНГ. – 2016. – Т. 59. – № 5. – С. 397–417.
3. Оппенгейм, Э. Цифровая обработка сигналов / Э. Оппенгейм, Р. Шафер / Под ред. С.Я. Шаца. – М. : Связь, 1979. – 416 с.