

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ЧАСТОТНЫХ ФИЛЬТРОВ

С.Ф. Феклин, И.А. Ботыгин
Томский политехнический университет
E-mail: sff1@tpu.ru

Введение

Повседневное использование цифровой техники в различных системах наблюдения и мониторинга, зачастую, связано с получением и обработкой больших объёмов данных. Функционирование технических систем при возникновении любой деградации нередко приводит к неисправным или неработоспособным состояниям, и, как следствие, к нестабильности выполнения требуемых задач. Одной из проблем неисправной работы оборудования является возникновение флуктуаций в выходном потоке данных, что обуславливается наложением на полезный сигнал аддитивных, либо мультипликативных помех. Одним из подходов повышения достоверности измерений является использование различных алгоритмов фильтрации [1, 2]. Если частотные спектры сигнала и помехи различаются, то с применением частотных фильтров можно добиться существенного повышения отношения сигнал/помеха.

Описание приложения

Для проведения экспериментов по исследованию эффективности применения дискретных фильтров было разработано приложение в среде PyCharm на языке программирования Python. Программный интерфейс выполнен с использованием модуля PyQt5 для создания полноценных GUI-систем. В приложении выполняется реализация рекурсивных (КИХ) оконных фильтров, а также рекурсивных (БИХ) фильтров.

Функциональная структура разработанного программного комплекса состоит из четырёх основных частей:

- выбор зашумленного сигнала и алгоритма фильтрации;
- подготовка данных для обработки, построение амплитудно-частотных характеристик;
- проектирование фильтра с требуемыми характеристиками;
- свёртка и вывод обработанного сигнала.

Для проведения программных экспериментов использовались показания регистраторов системы климатического мониторинга, включающие основные метеорологические параметры [3]. В экспериментах использовались данные за период с 16.03.2018 по 16.11.2018 год. Интервал между измерениями составил 60 секунд, количество измерений составило 352800 (рис. 1).

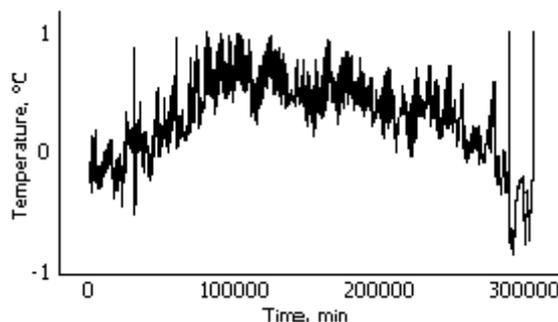


Рис 1. Исходный сигнал в дискретной форме

Нерекурсивная оконная фильтрация строилась на основе свёртки импульсной характеристики идеализированного фильтра со спектром окна. Процедура синтеза оконным методом включает в себя следующие шаги:

- расчёт бесконечной импульсной характеристики идеального фильтра и определение полосы пропускания;
- умножение импульсной характеристики на спадающее к краям окно с целью преобразования её к импульсной характеристике конечного вида;
- сдвиг импульсной характеристики вправо, чтобы её не нулевые значения были только для не отрицательных номеров;
- свёртка полученной частотной характеристики с частотной характеристикой зашумленного сигнала.

В качестве медленно спадающей к краям оконной функции в работе используются окна следующих форм: Хеминга, Блэкмана, Хеннинга, Кайзера, Бартлета и др.

Рекурсивные фильтры строились на основе следующих шагов:

- выбор передаточной функции;
- получение частоты среза, порядка передаточной функции, максимального усиления полосы пропускания;
- определение координат полюсов фильтра.

Сравнительный анализ эффективности применения КИХ- и БИХ-фильтрации

Цифровые КИХ-фильтры имеют постоянную линейную задержку (линейную ФЧХ), это означает, что сигнал на выходе фильтра полностью повторяет сигнал на входе по своим фазовым характеристикам [4]. БИХ-фильтрация имеет нелинейную ФЧХ. В этом случае разные частоты приобретают разные фазовые сдвиги и, соответственно, разные фазовые задержки на выходе фильтра. Необходимо отметить, что

нелинейность фазовой характеристики БИХ-фильтров не позволяет добиваться корректных результатов при когерентной обработке сигналов.

В качестве примера приведён результат фильтрации сигнала с использованием оконной функции Хемминга (рис. 2) с шириной окна: $L = 600$ точек.

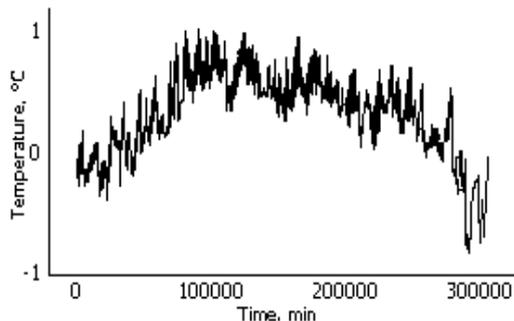


Рис 2. Результат применения ФНЧ с использованием оконной функции Хемминга

Ширина главного лепестка частотной характеристики окна Хэмминга ($\Delta F_0 = 4$) в два раза больше, чем для прямоугольного окна, а уровень боковых лепестков ($\gamma_{max} = -42$ дБ) значительно меньше. Расширение ширины главного лепестка ЛАЧХ соответствует расширению переходной полосы между полосами пропускания и подавления. Значительное расширение ширины главного лепестка приводит к худшему подавлению в полосе непропускания фильтра.

На рисунке 3 представлен результат применения ФНЧ Чебышёва 1-го рода пятого порядка, с шириной полосы пропускания: $W_p = 100$ точек, при частоте дискретизации цифровой системы: $f_s = 1000$ точек, с максимальной пульсацией в полосе пропускания: $RP = 3$ дБ.

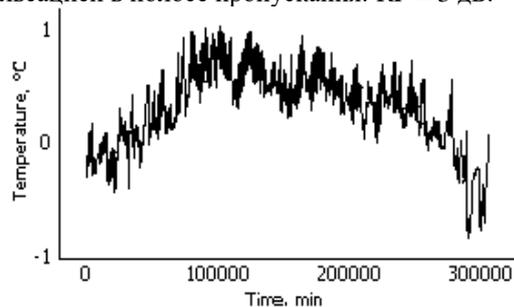


Рис 3. Результат применения ФНЧ Чебышёва 1-го рода

Отличительной особенностью фильтра Чебышёва является более крутой спад амплитудно-частотной характеристики. Это достигается за счёт появления в полосе пропускания (для фильтра 1-го рода) или подавления (для фильтра 2-го рода) существенных пульсаций по сравнению с другими фильтрами. Присутствие таких пульсаций может выступать в качестве одного из основных критериев по выбору данного фильтра. Следовательно, фильтр Чебышёва стоит

применять, если требуется хорошее подавление частот из полосы подавления и, при этом, гладкость АЧХ на частотах полос пропускания и подавления не столь важна.

Заключение

Фазовая характеристика БИХ-фильтра – нелинейная. КИХ-фильтры могут достигать линейности в своих фазовых характеристиках, а значит, не вносят искажения в форму сигнала. При пропускании сигнала через фильтры с постоянной групповой задержкой (линейной ФЧХ) сигнал на выходе полностью повторяет сигнал на входе, т.е. фаза исходного и выходного сигнала совпадает. Нелинейная ФЧХ фильтра искажает сигнал.

Сформированы два основных принципа по выбору того или иного вида фильтрации в зависимости от относительных преимуществ обоих фильтров:

1. Применять БИХ-фильтры, если единственными важными требованиями являются характеристика с резкими срезами и высокая пропускная способность, поскольку БИХ-фильтры (особенно те, в которых использованы эллиптические характеристики) потребуют определения меньшего числа коэффициентов, чем КИХ-фильтры. Кроме того, БИХ-фильтры более предпочтительны для обработки выборок входных сигналов очень большого объема и из-за значительно меньшей задержки, чем у КИХ-фильтров, лучше подходят для обработки в реальном времени.

2. Использовать КИХ-фильтры, если число коэффициентов фильтров не очень велико, когда не существует проблем с машинным временем, когда требуются фильтры с линейной фазой, а также для реализации многоскоростных фильтров, где входной и соответствующий выходной сигналы дискретизированы с разной частотой.

Список использованных источников

1. Лоцманов А.А. Разработка и исследование структур адаптивных систем нелинейных и рекурсивных цифровых фильтров на основе метода наименьших квадратов для повышения показателей качества различных радиотехнических устройств: дис. – Рязань, 2004. – 182 с.
2. Цифровая обработка сигналов // Лаборатория информационных технологий. URL: http://www.itlab.unn.ru/archive/lectures/DSP/DSP_Lectures.pdf (дата обращения: 19.12.2019).
3. Система климатического мониторинга. // IMCES SB RAS 2017. URL: <http://mon.imces.ru> (дата обращения: 19.11.2019).
4. Л. Хаттон. Обработка сейсмических данных [Текст]: теория и практика / М. Уэрдингтон, Дж. Мейкин; пер. с англ. А. Л. Малкина. - М: Мир, 1989. - 214 с.