

М. Е. Макаrchук – магистрант кафедры компьютерной математики и программирования

А. А. Ключарев (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

АЛГОРИТМЫ ЦИФРОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

Цифровая обработка сигналов является одной из новейших и самых мощных технологий, которая активно внедрилась в широкий круг областей науки и техники: коммуникации, метеорология, радиолокация и гидролокация, медицинская визуализация изображений, цифровое аудио- и телевизионное вещание, разведка нефтяных и газовых месторождений, и многих других.

Один из самых важных вопросов – это цифровая обработка сигнала в реальном масштабе времени, которая применяется во многих системах мониторинга. При работе в таких системах необходимо синхронизировать исполнение программ с внешними физическими процессами.

Цифровая фильтрация является наиболее важной частью цифровой обработки сигналов. Процесс проектирования цифровых фильтров состоит из тех же этапов, что и процесс проектирования аналоговых фильтров. Сначала формулируются требования к желаемым характеристикам фильтра, по которым затем рассчитываются параметры фильтра. Амплитудная и фазовая характеристики формируются аналогично аналоговым фильтрам. Линейный стационарный цифровой фильтр характеризуется передаточной функцией. Передаточная функция может описать, как фильтр будет реагировать на входной сигнал. Таким образом, проектирование фильтра состоит из постановки задачи (например, фильтр восьмого порядка, фильтр нижних частот с конкретной частотой среза), а затем производится расчет передаточной функции, которая определяет характеристики фильтра.

Передаточная функция фильтра имеет вид

$$H(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_N z^{-N}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_M z^{-M}}$$

где порядок фильтра – большее N или M . В данном случае это формула фильтра с Бесконечной импульсной характеристикой. Если знаменатель равен единице, то получаем формулу фильтра с конечной импульсной характеристикой.

Цифровые фильтры проектируются с учетом эффектов квантования. Квантование данных называют их представление с помощью конечного числа двоичных разрядов. Эта процедура сопровождается внесением в структуру фильтра ошибок, источниками которых являются:

1. Аналого-цифровой преобразователь, вносящий в каждый момент времени n ошибку квантования, равную разности между дискретным $x(n)$ и цифровым $\hat{x}(n)$ сигналами, называемую шумом АЦП.

2. Умножители, отображающие в структуре цифрового фильтра операцию умножения.

При умножении двух чисел с фиксированной точкой, представленных в формате слова с b значащими битами, произведение будет содержать $2b$ значащих битов, и при его сохранении в ячейке памяти (в формате слова) потребуется округление (усечение) до b значащих битов, что эквивалентно квантованию. Тем самым, в каждый момент времени n вносится ошибка квантования, называемая собственным шумом.

3. Квантование коэффициентов передаточной функции цифрового фильтра.

На этапе синтеза коэффициенты передаточной функции цифрового фильтра рассчитываются с максимальной точностью – представляются числами условно бесконечной разрядности. Однако в структуре цифрового фильтра они заменяются квантованными коэффициентами, тем самым вносится ошибка квантования коэффициентов, влияющая на характеристики цифровых фильтров. [1]

При моделировании фильтра низких частот Чебышева без использования квантования коэффициентов и с использованием – можно сравнить насколько расходятся результаты:

1) 16-разрядное квантование (2^{16}) обеспечивает 65536 уровней квантования отсчетов аналогового сигнала. Чем больше разрядность слова, тем шире динамический диапазон, меньше нелинейные искажения и шум, выше разрешающая способность по уровню.

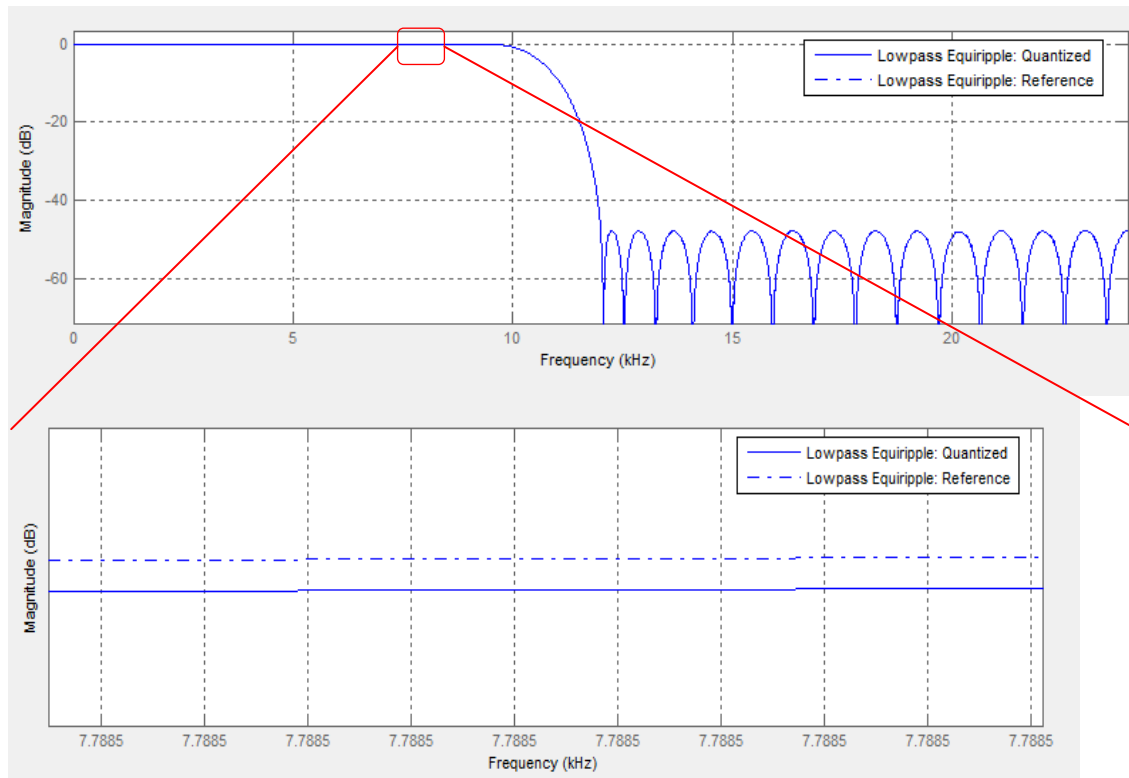


Рис. 1

Они накладываются друг на друга, с небольшой погрешностью, видимой только при очень большом увеличении.

2) При разрядности слова = 8 (2^8 , то есть 256 уровней квантования отсчетов аналогового сигнала).

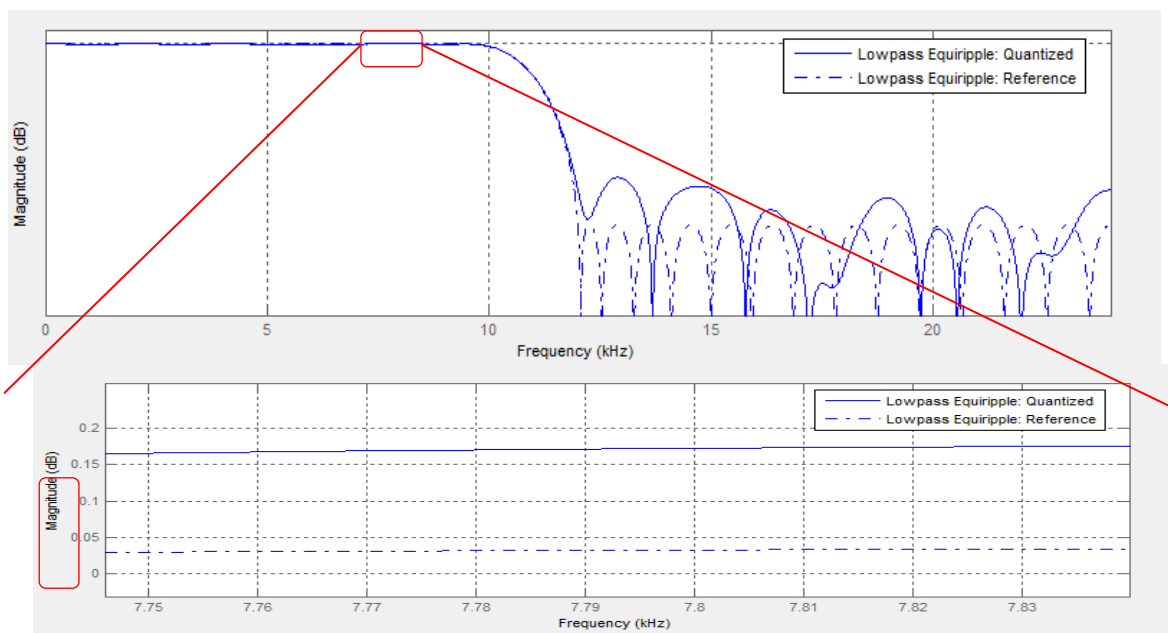


Рис. 2

На этом примере уже более четко видно, как расходится АЧХ квантованного фильтра и эталонного.

Если при 16 разрядах расхождение было незначительным, то при 8-ми оно становится уже более чем на 0,1 dB в полосе пропускания.

3) При разрядности слова = 4 (2^4 , то есть 16 уровней квантования отсчетов аналогового сигнала).

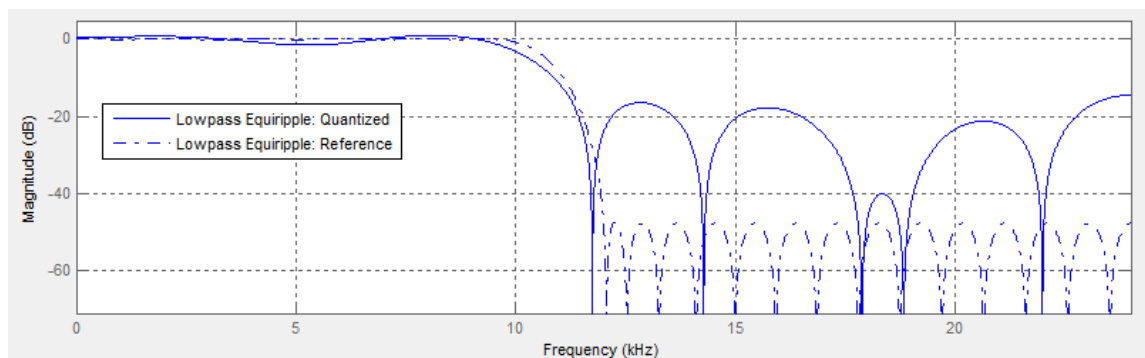


Рис. 3

Третий пример четко показывает, какие ошибки и погрешности можно допустить при неправильном уровне квантования. Если взять в полосе пропускания расхождение не более единицы – то такой фильтр не будет удовлетворять условиям (расхождение ≈ 1.6).

Чтобы обеспечить быстроедействие системы реального масштаба времени, с большим потоком данных, необходимо иметь достаточно мощную систему и обрабатывать потоки информации параллельно. Именно для этих целей компания Nvidia создала архитектуру Compute Unified Device Architecture (CUDA – программно-аппаратная вычислительная архитектура). С помощью системы, построенной на архитектуре CUDA можно выполнять квантование сигнала и коэффициентов с наибольшей разрядностью слова за время, в разы меньшее, которое потребовалось бы системе без архитектуры CUDA [2].

Библиографический список

1. Солонина, А. И., Арбузов С.М. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в Matlab / Солонина, А. И., Арбузов С.М. - СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 816 с.: ил. – (Учебное пособие)
2. Nvidia.ru Параллельное программирование и вычислительная платформа | Cuda | Nvidia | www.nvidia.ru/object/cuda_home_new_ru.html