

УДК 621.397

В.М. Иськив, ст. преподаватель

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

iskiv@mail.ru

ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ АЛГОРИТМА ОДНОМЕРНОЙ ЦИФРОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ

Приведены результаты математического моделирования работы устройства подавления шумов в телевизионном видеосигнале, построенного на основе метода одномерной цифровой фильтрации. Построена зависимость выигрыша в отношении сигнал - шум.

В начале 90-х годов XX века состояние вычислительной техники достигло уровня, при котором появилась возможность сначала одномерной, а затем и двумерной цифровой фильтрации статических изображений с целью подавления шумов. Однако результаты обработки были неоднозначными и трудно прогнозируемыми. В настоящее время уровень развития вычислительной техники достиг состояния, при котором можно относительно легко реализовать алгоритм одномерной фильтрации видеосигнала в реальном времени. Для решения вопроса о целесообразности создания подобных устройств необходимо решить следующие задачи: во-первых оценить область применимости подобных устройств и возможный выигрыш в отношении сигнал – шум; во-вторых рассмотреть возможность автоматизации процесса выбора параметров фильтра для достижения максимального качества видеосигнала. Решению этих задач и посвящена данная статья.

Алгоритм одномерной цифровой фильтрации сигнала [1,2] состоит из нескольких этапов. На первом этапе сигнал из аналоговой формы преобразуют в цифровую. Затем на интервале времени, соответствующем одной строке телевизионного изображения, накапливают массив отсчетов сигнала во временной области. Далее над этим массивом производят операцию быстрого преобразования Фурье (БПФ), в результате которой получают массив отсчетов в частотной области. После этого на основе выбранной модели шума значения отсчетов, соответствующих шуму, принимают равными нулю. Далее производят операцию обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ), после чего сигнал преобразуют в аналоговую форму. Если в качестве модели шума принимают гауссовский белый шум, то в рассмотренном алгоритме шумовыми считают те спектральные составляющие, уровень которых не превосходит некоторого наперед заданного, порогового значения. Выбор порогового значения во многом определяет эффективность работы фильтра. При слишком низком пороге окажется подавленной часть спектральных составляющих шума, при слишком высоком – подавится часть спектральных составляющих полезного сигнала. Для оценки требований к выбору порога было проведено численное моделирование работы фильтра в среде пакета MathCAD.

В качестве модели сигнала был принят полный цветовой телевизионный видеосигнал (ПЦТС) одной строки тестового изображения типа «вертикальные цветные полосы», при передаче цветовой информации в стандарте SECAM. Все временные соотношения и уровни сигнала соответствовали требованиям стандарта. Все фронты были аппроксимированы полупериодами косинусоиды, длительность которых равнялась стандартной длительности соответствующего фронта. Частота дискретизации была выбрана равной 16 МГц, что несколько выше стандартной частоты дискретизации. Выбор такой частоты дискретизации был обусловлен тем, что для осуществления операции БПФ объем массива должен соответствовать числу 2 в некоторой степени. При стандартной частоте дискретизации число выборок сигнала за интервал времени одной строки (64 мкс) равно 800, что не удовлетворяет поставленному требованию. При выбранной частоте дискретизации число отсчетов за тот же интервал времени составит 1024, т.е. 2^{10} . Такое число отсчетов может быть использовано для выполнения операции БПФ. Для моделирования погрешностей, вызываемых работой аналого-цифрового преобразователя (АЦП), проводилось масштабирование отсчетов сигнала из диапазона 0...1 (что соответствует диапазону напряжений видеосигнала) в диапазон 0...255 (что соответствует диапазону 8-разрядного АЦП), при этом полученные значения округлялись до целого числа. Кроме того, в соответствии с рекомендацией CCIR-602 сверху и снизу диапазона были оставлены защитные интервалы, и результирующий диапазон изменения сигнала составил 16...235. Для учета погрешностей цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) данные, полученные в результате обратного БПФ, также округлялись до целого числа в том же диапазоне, что и для АЦП, а затем масштабировались в диапазон 0...1 В.

В качестве модели шума был принят гауссовский белый шум, уровень которого задавался в соответствии с заданным отношением сигнал - шум q на входе.

В процессе моделирования работы фильтра входной аналоговый сигнал $U(t)$ преобразовывался в цифровую форму и накапливался массив отсчетов $S_i(t)$ во временной области за интервал одной строки телевизионного изображения. Далее над накопленным массивом производилась операция БПФ. Полученный массив отсчетов $G_j(f)$ в частотной области анализировался, и те составляющие, уровень которых не превышал заданного порогового уровня Z , считались шумовыми и их уровень принимался равным нулю. Скорректированный массив $G_k(f)$ подвергался операции обратного быстрого преобразования Фурье.

Скорректированный массив отсчетов во временной области $S_k(t)$ преобразовывался в аналоговый выходной сигнал $U_k(t)$.

Для анализа влияния фильтра на шум отсчеты $S_i(t)$ входного сигнала суммировались (с учетом знака) с отсчетами шума N_i . Далее полученный массив SN_i подвергался обработке в соответствии с приведенным алгоритмом. После обработки получался скорректированный массив SN_{ki} . В качестве критерия качества работы фильтра был выбран выигрыш B в отношении сигнал - шум

$$B = q_{вх} - q_{вых},$$

где $q_{вх}$ и $q_{вых}$ – отношение сигнал - шум на входе и выходе фильтра, соответственно, выраженные в децибелах.

Отношение сигнал - шум на выходе фильтра определялось в соответствии со следующим алгоритмом: сначала определялась мощность сигнала

$$P_c = \sum_{i=1}^{1024} S_i^2,$$

далее определялась мощность выходного шума

$$P_{кш} = \sum_{i=1}^{1024} (SN_{ki} - S_i)^2,$$

затем – отношение сигнал – шум на выходе

$$q_{вых} = 10 \lg \left(\frac{P_{кш}}{P_c} \right) \text{ дБ},$$

и выигрыш в отношении сигнал – шум $B = q_{вх} - q_{вых}$.

При обработке сигнала в соответствии с рассматриваемым алгоритмом осуществляется подавление всех спектральных составляющих малого уровня, в том числе принадлежащих полезному сигналу. Это означает, что алгоритм вносит в сигнал искажения, которые можно считать шумами обработки фильтра. Для оценки мощности шумов обработки, вносимых фильтром в полезный сигнал, указанной обработке подвергался исходный сигнал без шума. При этом мощность шумов обработки определялась как

$$P_{шо} = \sum_{i=1}^{1024} (S_{ki} - S_i)^2.$$

Кроме того, определялась относительная мощность шумов обработки:

$$K = \frac{P_{шо}}{P_c} 100\%.$$

Зависимость относительной мощности шумов обработки от порога показана на рисунке 1, из которого видно, что при величине порога $z < 0,2$ В (20% от амплитуды полезного сигнала) относительная мощность шумов обработки не превышает $K < 0,5\%$, т. е. предложенный алгоритм обработки практически не вносит искажений в полезный сигнал.

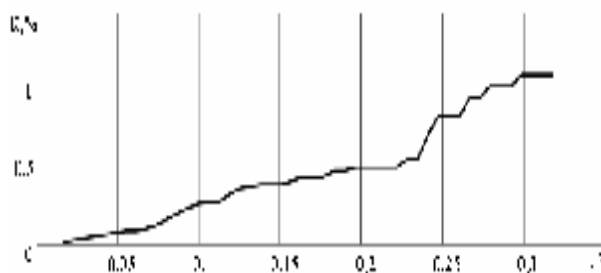


Рисунок 1 – Зависимость относительной мощности шумов обработки от порога

На рисунке 2 показаны результаты моделирования зависимости выигрыша B от порога принятия решения и отношения сигнал - шум на входе фильтра.

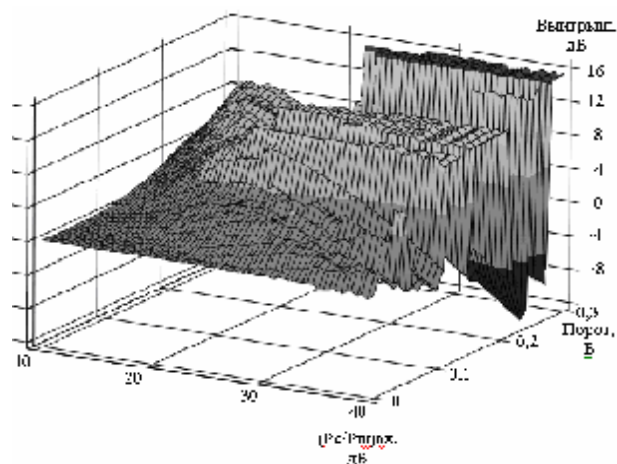


Рисунок 2 – Зависимость выигрыша в отношении сигнал - шум от порога принятия решения и входного отношения сигнал - шум

На рисунке 2 можно выделить две области. Первая область – область гарантированного выигрыша, характеризуется относительно небольшими значениями z и q и монотонным увеличением выигрыша примерно до 7...10 дБ. Во второй области – области риска, появляются участки, в которых, наряду с повышенным уровнем выигрыша (до 15...20 дБ) появляются участки с отрицательным значением выигрыша (до -10 дБ). Таким образом, отношение сигнал - шум на выходе фильтра становится меньше, чем на его входе. Это явление связано с тем, что при больших значениях порогового уровня происходит подавление не только шумовых компонентов, но и спектральных составляющих, относящихся к полезному сигналу. Причем, вследствие дискретного характера спектра телевизионного сигнала зависимость выигрыша от порогового уровня в этой области носит ярко выраженный нелинейный характер. Граница между двумя областями носит неявный характер, однако с некоторой погрешностью, можно получить однозначную зависимость между отношением сигнал-шум на входе и величиной порогового уровня, при которой можно получить максимальное значение гарантированного выигрыша. Наличие этой зависимости позволяет автоматизировать процесс выбора порога по результатам анализа отношения сигнал-шум на входе фильтра или, в первом приближении, по результатам анализа уровня входного сигнала.

Чтобы определить отношение сигнал - шум на входе фильтра необходима информация о мощности входного шума. Для получения этой информации следует произвести измерение уровня мощности смеси сигнала с шумом на входе в узкой полосе частот Δf , находящейся вне полосы частот, занимаемой спектром полезного сигнала. При этом считаем, что на этом интервале частот находятся только шумовые компоненты. Далее необходимо вычислить значение мощности шума в полосе частот Δf_c , занимаемой спектром полезного сигнала. Для этого требуется информация о форме спектра шума. Если в качестве модели принимается гауссовский белый шум, то искомая мощность шума во столько же раз превышает измеренное значение, во сколько раз полоса частот Δf_c больше полосы Δf . При обработке видеосигнала, полученного с частотного детектора (например, в аналоговом спутниковом телевидении), спектр шума имеет параболическую форму, и в этом случае расчет мощности шума несколько сложнее. После получения информации о мощности шума можно вычислить отношение сигнал - шум.

Если на интервале одной строки телевизионного изображения выбирается 1024 отсчета сигнала во временной области, то в результате операции БПФ будет получено 512 отсчетов в частотной области. Расстояние между этими отсчетами равно строчной частоте 15625 Гц. Следовательно, анализ проводится в полосе частот $512 \times 15625 = 8$ МГц при полосе частот видеосигнала не более 6 МГц (для видеосигнала стандарта SECAM). Для определения уровня шума можно использовать отсчеты в частотной области от 6 до 8 МГц. Таким образом, в анализируемом сигнале есть все необходимые данные для реализации алгоритма автоматического выбора порога срабатывания фильтра, нужно только указать форму спектра шума (параболический для ЧМ - сигналов спутникового телевидения или прямоугольный в остальных случаях).

Кроме того, существует еще одна область применения предлагаемого фильтра – это подавление сосредоточенной помехи. При этом необходимо указать частоту этой помехи и перед выполнением операции обратного преобразования Фурье удалить соответствующий отсчет в частотной области.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

- при отношении сигнал - шум на входе фильтра более 35 дБ применение одномерной фильтрации с автоматическим выбором порога, нецелесообразно, поскольку качество входного сигнала и без того достаточно удовлетворительное, а в результате фильтрации качество сигнала может ухудшиться

- при уменьшении отношения сигнал-шум на входе фильтра значение порога следует увеличивать, при этом, также, растет и величина гарантированного выигрыша, изменяясь от 3 дБ при отношении сигнал-шум на входе 25...30 дБ до 8...10 дБ при отношении сигнал-шум на входе около 15 дБ;

— при отношении сигнал - шум на входе менее 10 дБ применение одномерной фильтрации также нецелесообразно, так как отношение сигнал - шум на выходе фильтра даже с учетом выигрыша остается недостаточным для нормального восприятия изображений;

— в области гарантированного выигрыша возможно применение автоматического контроля порогового уровня, обеспечивающего получение максимального значения выигрыша для текущего значения входного отношения сигнал-шум;

— в некоторых случаях может оказаться целесообразным ручной выбор порогового уровня, обеспечивающего большее значение выигрыша для заданного изображения, однако при изменении характера изображения величина полученного выигрыша может существенно уменьшиться;

— возможно достаточно эффективное подавление сосредоточенных помех.

Таким образом, алгоритм одномерной фильтрации может быть применен для обработки телевизионных сигналов с целью повышения качества телевизионного изображения с учетом полученных рекомендаций по выбору порога срабатывания фильтра. При этом величина получаемого выигрыша может быть от 3 до 15 дБ.

Для визуальной оценки качества фильтрации указанного алгоритма было проведено моделирование его работы. При этом в качестве объекта обработки использовали статическое графическое изображение. Результаты моделирования подтвердили правильность предположений. Наилучший эффект был достигнут при обработке изображений, содержащих протяженные участки с равномерной окраской. Худшие результаты были получены при обработке изображений, содержащих большое количество мелких деталей.

Учитывая общий вид сигнала, качественные характеристики полученных результатов могут быть применены и для двумерной фильтрации изображений, а поскольку в этом случае производится более полный учет информации о сигнале, следует ожидать большей величины выигрыша. Вопросы трехмерной фильтрации (с межкадровой обработкой видеосигнала) требуют отдельного рассмотрения, что составляет предмет дальнейших исследований в этом направлении.

Библиографический список

1. Гольденберг Л.М. Цифровая обработка сигналов: Справочник / Л.М. Гольденберг, Б.Д. Матюшкин, М.Н. Поляк. — М.: Радио и связь, 1985. — 312 с..
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений / У. Прэтт: В 3-х ч. Ч. 1. — М.: Мир, 1982. — 210 с.

Поступила в редакцию 22.02.2005 г.