

ЦИФРОВОЙ ВОЛНОВОД: ОБОБЩЕНИЕ АЛГОРИТМА КАРПЛУСА-СТРОНГА ДЛЯ ЦИФРОВОГО СИНТЕЗА МУЗЫКАЛЬНЫХ ЗВУКОВ

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

Герасимович Н.Ю., Залесский В.П., Коминч В.В.

Вашкевич М.И. – к.т.н., доцент

В настоящее время потребность в методах синтеза звука неуклонно растёт. Это связано с улучшением качества звука в различных электронных музыкальных инструментах. Одним из многих методов синтеза является цифровой волновод. Цифровой волновод позволяет решить волновое уравнение, не теряя данные, необходимые для последующего синтеза звука. Благодаря этому цифровые волноводы являются важной и порой незаменимой частью современных техник физического моделирования звука.

Волновое уравнение выглядит следующим образом:

$$y(m, n) = y^+(m - n) + y^-(m + n)$$

В этом уравнении y^+, y^- - профили бегущих волн (“+” – бегущая вправо, “-” - бегущая влево волна). Из этих данных становится понятно, что вычисление волнового уравнения в момент времени n в некоторой заданной точке это суммирование двух запаздывающих одинаковых волн, бегущих в разные стороны. Решение данного волнового уравнения называется цифровой волновод. Метод цифрового волновода представляет собой обобщение алгоритма Карплуса-Стронга.

Алгоритм Карплуса-Стронга позволяет синтезировать звук, напоминающий гитарную струну. Алгоритм работает за счёт пропускания коротких сигналов через линию задержки и фильтры, моделирующий поведение музыкального инструмента. В 1982г. А. Стронг и К. Карплус определили, что алгоритм в физическом смысле аналогичен записи отклонений струны в фиксированной точке с течением времени, а фильтр характеризует потерю струной энергии за один период. Они разработали улучшенную версию алгоритма (блок-схема представлена на рисунке 1), позволяющую синтезировать помимо гитары, духовые и скрипковые инструменты. Идея алгоритма была обобщена до метода цифрового волновода, который является эффективной математической моделью реальной среды распространения звуковых волн.

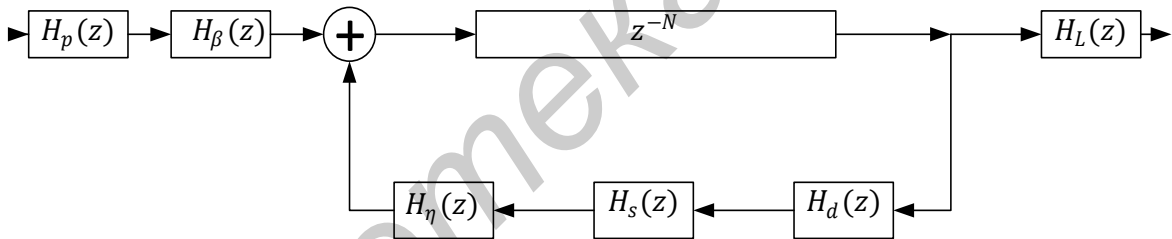


Рис. 1 – Блок-схема улучшенного алгоритма Карплуса-Стронга

$$H_p(z) = \frac{1-p}{1-pz^{-1}} \text{— фильтр, моделирующий направление медиатора;}$$

$$H_\beta(z) = 1 - z^{-(\beta N + \frac{1}{2})} \text{— гребенчатый фильтр, моделирующий позицию медиатора;}$$

$H_d(z)$ - фильтр, моделирующий затухание струны;

$H_s(z)$ - фазовый фильтр, моделирующий жёсткость струны;

$$H_\eta(z) = \frac{\eta(N) - z^{-1}}{1 - \eta(N)z^{-1}} \text{— фазовый фильтр первого порядка, моделирующий настройку струны;}$$

$$H_L(z) = \frac{1-R_L}{1-R_L z^{-1}} \text{— фильтр динамического уровня;}$$

N – период частоты основного тона струны (в отсчётах);

β – нормализованное положение захвата, которое лежит в пределах от 0 до 1;

p – значение 0 для одного направления выбора, $0 < d < 1$ для противоположного направления;

$$R_L = e^{-\pi L T} \text{ (L - требуемая ширина полосы, Гц);}$$

T – интервал отсчётов;

$$\eta \in \left[-\frac{1}{11}, \frac{2}{3}\right] \text{— параметр настройки задержек отсчётов в данном диапазоне.}$$

Метод цифрового волновода впервые был использован в первом цифровом синтезаторе "Yamaha - VL1" 1994 года выпуска. С момента своего открытия и до сих пор метод используется в современных синтезаторах передовых компаний, таких как "Yamaha", Korg, Sakewalkи т.д.

Список использованных источников:

1. David A. Jaffe and Julius O. Smith Extensions of the Karplus-Strong Plucked-String Algorithm – Computer Music Journal, Vol.7, No.2 (Summer, 1983), pp. 56-59
2. Kevin Karplus and Alex Strong, Digital Synthesis of Plucked-String and Drum Timbres – Computer Music Journal, Vol.7, No.2 (Summer, 1983), pp.43-55
3. Блок-схема улучшенного алгоритма Карплуса-Стронга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ccrma.stanford.edu/realsimple/faust_strings/Extended_Karplus_Strong_Algorithm.html

ПРИМЕНЕНИЕ ОТЛАДОЧНОЙ ПЛАТЫ ZEDBOARD ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ 8-ТОЧЕЧНОГО БПФ НА ОСНОВЕ ЛЕСТНИЧНОЙ СХЕМЫ

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

Качинский В.М.

Станкевич А.В. – к.т.н., доцент

В настоящее время среди различных применений встраиваемых вычислительных систем реального времени важное место занимают системы цифровой обработки сигналов (ЦОС). Они широко используются при проектировании различных компонентов систем мультимедиа, таких как кодирование аудио- и речевых сигналов, шумоподавление, а также в ряде других приложений.

Одним из основных алгоритмов, используемых при построении встраиваемых вычислительных систем обработки мультимедиа данных, является алгоритм дискретного преобразования Фурье (ДПФ). Однако реализация ДПФ требует выполнения большого количества операций. Так, при длине выборки сигнала N прямое вычисление ДПФ требует N^2 комплексных умножений и такого же количества сложений. Поэтому на практике используют различные алгоритмы быстрого вычисления ДПФ, например, алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ), которые позволяют существенно уменьшить вычислительную сложность реализации ДПФ. Для вычисления ДПФ были разработаны различные эффективные схемы, использующие преимущества свойств симметрии и периодичности значений $e^{j2\pi k/N}$, такие как БПФ по основанию 2, БПФ по основанию 4 и БПФ по расщепленному основанию [1].

В настоящее время одним из основных компонентов при построении встраиваемых вычислительных систем обработки мультимедиа данных являются программируемые логические схемы с архитектурой FPGA, которые обеспечивают высокую производительность и гибкость структурной организации при реализации алгоритмов ЦОС [2].

При проектировании встраиваемых цифровых систем, работающих в реальном масштабе времени, особое внимание уделяется таким показателям как скорость вычислений, аппаратные затраты, сложность алгоритмов выполнения арифметических операций. Поэтому большинство систем такого класса выполняется на основе арифметики с фиксированной запятой, которая позволяет получить хорошие значения приведенных выше показателей. Во многих приложениях используется свойство обратимости ДПФ для того, чтобы можно было выполнять полную реконструкцию сигнала. Однако использование фиксированной запятой приводит к нарушению свойства обратимости, так как выполняется квантование коэффициентов ДПФ. Такая проблема отсутствует при вычислениях с плавающей запятой, однако операции в арифметике с плавающей запятой сложны в реализации [2, 3].

Одним из путей решения данной проблемы является использование лестничных структур при реализации алгоритмов БПФ в системах мультимедиа [2, 3]. Использование лестничных структур позволяет при использовании фиксированной запятой (целочисленной арифметики) выполнять восстановление сигнала без потерь, и кроме того уменьшить необходимое для реализации алгоритмов количество арифметических операций. Пример лестничной схемы для выполнения операции комплексного умножения представлен на рисунке 1 [3].

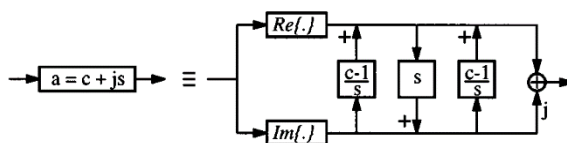


Рис.1 – Пример лестничной схемы для выполнения операции комплексного умножения