

О проекте
 Новости
 В работе
 ChipNews
 ИМЭ
 Подписка
 Новости рынка
 Рубрикатор
 Форум
 Ссылки
 Реклама

ПОИСК:

НАЙТИ

Список рассылки:

Имя: _____
 E-mail: _____

ДОБАВИТЬ

ОПРОСЫ:

Работает ли сайт?
 Работает
 Не работает
 Не разобратьсья
 ГОЛОСОВАТЬ

Результат опроса

Н. Семенов

MATLAB для DSP. Моделирование приемника DTMF. Часть 1

Введение

Настоящая статья — очередная публикация в рамках проекта "MATLAB для DSP", посвящена важнейшему инструменту пакета MATLAB — средствам имитационного моделирования Simulink. Как и в предыдущей публикации, мы рассмотрим конкретный пример, и обсудим особенности применения Simulink.

Пример связан с проектированием очень распространенного в средствах телефонии прибора — приёмника тонального вызова DTMF. Реализуемый средствами цифровой обработки сигналов (обычно на ЦПОС) приёмник должен удовлетворять жестким требованиям стандарта и при этом быть предельно экономным по производительности и затратам памяти. Не случайно по этой причине в литературе обсуждаются различные варианты алгоритмов DTMF и способы их реализации. Мы рассмотрим одно из новых предложений по данному вопросу.

После краткого изложения рекомендации по DTMF и нового алгоритма в статье приводится функциональная схема приёмника. По ней из библиотеки Simulink выбираются стандартные блоки, необходимые для построения модели, и определяются их параметры. Затем проводится первый этап моделирования, после чего вносятся необходимые коррективы. Моделирование и коррекции осуществляются до тех пор, пока на стандартном тестовом материале не получатся необходимые результаты.

Следует особо подчеркнуть, что финальная модель является достаточной для построения реальных приёмников DTMF.

Описание моделируемой системы

Практическая задача приёма DTMF очень часто становится актуальной в задачах телекоммуникации, так как сигнал DTMF является пока единственным средством надёжной доставки информации от конечного пользователя через аналоговую телекоммуникационную сеть до устройства обработки. Сам сигнал DTMF является суммой отрезков двух гармонических колебаний, частоты которых соответствуют номеру строки и столбцу цифры номеронабирателя обычного телефона. Соответствие частот номерам строки и колонок показано на рис. 1.



Рис. 1. Соответствие частот и символов

Для уверенного приёма такого сигнала на сам сигнал и на его приёмник накладываются ограничения, определённые в спецификациях ITU-T (таблица).

Таблица

Точность генерации частоты	Принимать при отклонении меньше 1,5%. Не принимать при отклонении больше 3%
Длительность сигнала	Принимать сигнал длиной 40 мс. Не принимать сигнал короче 23 мс.
Разрывы сигнала	Сигнал DTMF, прерванный паузой < 10 мс, считать одним символом
Пауза между сигналами	Пауза не менее 40 мс является разделителем между двумя сигналами DTMF
Амплитуда сигнала	Наименьшая амплитуда сигнала, которую должен детектировать приемник, -26 дБм
Соотношение сигнал/шум	Наихудшее соотношение сигнал/шум - 15 дБ
Твист	Приемник должен работать при прямом твисте 8 дБ и обратном - 4 дБ. (Твистом называют разницу между амплитудами двух основных частот сигнала DTMF)
Срабатывание на человеческую речь	Приемник должен нормально функционировать в присутствии речи без ложных срабатываний

В данной статье обсуждается новый алгоритм приёма DTMF, построенный на подсчёте периода функциональной схемы, так как сигнал DTMF является пока единственным средством надёжной доставки информации от конечного пользователя через аналоговую телекоммуникационную сеть до устройства обработки. Сам сигнал DTMF является суммой отрезков двух гармонических колебаний, частоты которых соответствуют номеру строки и столбцу цифры номеронабирателя обычного телефона. Соответствие частот номерам строки и колонок показано на рис. 2.



Рис. 2. Функциональная схема приёмника DTMF

Сначала происходит децимация сигнала с 8 до 4 кГц (блок "Децимация сигнала"). Это снижает дисперсию шума на 1/2, что позволяет увеличить эффективный динамический диапазон. Далее полученный сигнал подается на два режекторных фильтра (блоки "Адаптивная режекция") и на блок оценки интенсивности сигнала. Передаточные функции режекторных фильтров имеют следующий вид:

$$H(z) = 1 - \cos(2 * p * f_0/4000) * z^{-1} + z^{-2}$$

Нули передаточной функции расположены на единичной окружности. При такой форме H(z) легко менять параметры фильтра с помощью одного коэффициента. Режекторные фильтры позволяют вырезать узкую полосу частот. Если сигнал есть сумма отрезков двух гармонических колебаний, их можно разделить по двум ветвям алгоритма и оценить частоту каждого, вычислив их периоды, используя принцип перехода через "ноль". Для практической реализации удобно рассматривать период сигнала как число целых интервалов дискретизации за один период сигнала либо дробная часть, получаемая при линейной интерполяции сигнала между двумя отсчетами (рис. 3).



Рис. 3. Дискретизация сигнала

В случае попадания этой частоты в один из заданных интервалов в одном из каналов, происходит перерасчёт параметров режекторного фильтра в другом канале. Таким образом система из двух режекторных фильтров придет в устойчивое состояние только тогда, когда в каждой ветви из сигнала останется только по одной гармонической составляющей.

Блок оценки интенсивности сигнала отвечает за принятие решения, есть ли в данный момент резкий скачок интенсивности сигнала или нет. При SNR = 15 дБ и более такой скачок при приходе очередной цифры DTMF можно легко выделить, сравнивая интенсивность сигнала с порогом срабатывания. Для оценки интенсивности используется сглаживающий фильтр, уравнение "выход" которого имеет следующий вид:

$$y(n) = a * y(n - 1) + (1 - a) * |s(n)|,$$

где y(n) — сигнал на выходе фильтра, а s(n) — входной сигнал. Параметр a берётся равным 0,95.

Логический блок принимает решение о наличии новой цифры и обеспечивает соответствие приёма спецификации ITU-T.

Принцип его работы следующий: если блок оценки интенсивности определил наличие сигнала и цифра, определяющаяся после оценки частоты двух компонент сигнала, не меняются в течение 5 мс, начинается вычисление длительности сигнала цифры. Если после этого сигнал пропадёт на время, меньше 10 мс, то подсчёт времени сигнала продолжается после его восстановления. Принятой считается цифра, суммарная длительность которой не менее 23 мс, и после которой была пауза более 10 мс.

Моделирование функциональных блоков

Построение блок-схемы модели

Для более полного соответствия модели описанному выше приёмнику DTMF, удобно создавать функциональную схему в виде той же блок-схемы, что и в описании приёмника, а затем заполнять эти блоки необходимым содержимым. Пакет Simulink содержит в своей библиотеке всё необходимое для этого.

Блок подсистемы

При двойном щелчке мышью на этом блоке происходит открытие нового окна подсистемы. Но, как видно из изображения блока, у него нет ни входов, ни выходов. Для того, чтобы добавить их, необходимо вставить в каждую подсистему соответствующие блоки входов и выходов, а также назвать их удобными для понимания именами. Подробное описание работы со стандартными блоками пакета Simulink было описано в [4].

Входы и выходы подсистемы

Если в подсистему вставить нужное количество входов и выходов, то они тут же появятся и на изображении блока подсистемы.

На основании вышеизложенного можно построить "скелет" будущей модели, показанный на рис. 4.

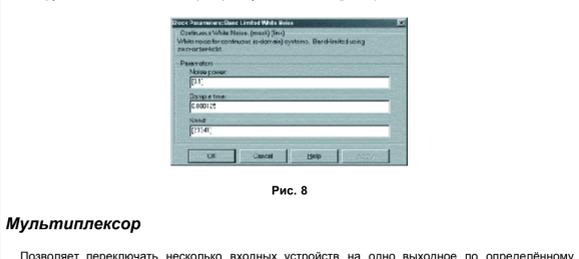


Рис. 4. Блок-схема модуля DTMF-приёмника

Все блоки этой модели соответствуют блокам структурной схемы приёмника DTMF, показанной на рис. 2, и даже расположены в соответствии с ней. Дополнительными элементами являются только источник сигнала и индикатор принятой цифры. Для подтверждения авторских прав и автоматического хранения даты последней модификации можно воспользоваться соответствующим блоком из пакета Simulink.

Заполнение блока "DTMF Generator"

Для удобства моделирования полезно сделать этот блок таким, чтобы можно было:

- генерировать сигнал с заданными свойствами;
- брать сигнал из файла;
- брать сигнал из рабочей области MATLAB.

Для этого потребуются следующие стандартные блоки пакета Simulink.

Блок считывания сигнала из файла

Файл, имя которого указано в виде параметра, должен быть файлом данных в формате системы MATLAB.

Этот блок позволяет считывать данные прямо из mat-файла, что очень удобно для тестирования системы на реальных данных. Для наглядности достаточно дважды щёлкнуть по нему левой клавишей мыши, после чего появится следующее диалоговое окно, показанное на рис. 5.



Рис. 5

Как видно на рис. 6, в второй — интервал времени между отсчетами сигнала, из которого будут считываться данные, а в первой — интервал времени между ветвями сигнала.

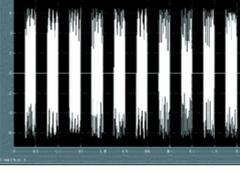


Рис. 6

Блок считывания сигнала из рабочей области MATLAB

Этот блок предназначен для использования данных, находящихся в рабочей области MATLAB, то есть уже загруженных в память.

Настройка блока (рис. 6) состоит из следующих полей:

- имя переменной, в которой есть данные о времени и значении сигнала;
- интервал дискретизации;
- флажок, выставляемый при необходимости интерполировать данные, если временные метки в переменной и модели не совпадают;
- флажок, выставляемый при необходимости удерживать последнее значение после окончания данных.

Блок генератора сигналов

Этот блок позволяет генерировать синусоидальный сигнал, меандр или пилообразный сигнал и позволяет задавать частоту в Гц (рис. 7).

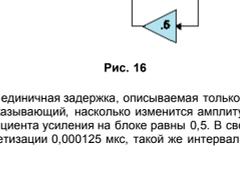


Рис. 7

Блок генератора белого шума

Генератор белого шума, спектр которого ограничен половиной частоты дискретизации, позволяет моделировать шумовую компоненту сигнала.

В качестве параметров шума задаётся мощность процесса, интервал дискретизации и индицирующее значение для генератора случайных чисел (рис. 8).



Рис. 8

Мультиплексор

Позволяет переключать несколько входных устройств на одно выходное по определённому правилу.

Основной параметр, необходимый для работы мультиплексора — количество переключаемых входов (рис. 9).



Рис. 9

В нашем случае, число переключаемых входов равно 4, а верхний вход является управляющим. На него должно быть подано целевое число, определяющее номер входа, который в данный момент должен быть подключен к выходу.

Генератор заданной повторяющейся последовательности

Он нужен для определения, в какой момент времени какой из генераторов будет использоваться.

В качестве параметров задаются временные метки и значения сигнала в них (рис. 10).

Рис. 10

При заданных параметрах для этого блока функциональная схема получается результат (который для удобства пользования также виден на графическом изображении блока), показанный на рис. 11.

Рис. 11. Осциллограмма на выходе генератора повторяющейся последовательности

Сначала реализуем генерацию всех цифр DTMF с помощью генераторов, как это показано на рис. 12.

Рис. 12. Генератор цифр DTMF

Здесь с помощью мультиплексора, имеющего 17 входов (16 цифр + пауза), происходит переключение одной из цифр или паузы на выходной порт DTMF. Этим процессом управляет генератор заданной последовательности, в параметрах которого задано время переключения и значение, которое нужно в это время удерживать.

На основании вышеизложенного, построим универсальный генератор сигнала, который генерирует сигнал с заданными параметрами. Сформируем его с помощью процессом заданной мощности, позволяет брать сигнал из файла или из рабочей области MATLAB. Пример такого блока показан на рис. 13. На нём для увеличения наглядности всё то, что было на рис. 12, собрано в виде подблока. Чтобы сделать подблок, нужно выделить с помощью мыши нужный фрагмент, а затем в меню "Edit" выбрать "Create Subsystem" или нажать "Ctrl-G". Альтернативным вариантом является создание подсистем, как это было показано при построении блок-схемы модели.

Рис. 13. Универсальный генератор сигналов

Для выбора способа генерации сигнала достаточно изменить значение сигнала, подаваемого на верхний (управляющий) вход мультиплексора, тогда на его выход попадёт сигнал с входа, номер которого соответствует значению константы. Как видно из рис. 13, запись константы "1" приведёт к воспроизведению сигнала из файла; запись константы "2" — сигнала из памяти MATLAB, если кто-то загрузил туда эти данные; и запись "3" — получение сигнала DTMF с помощью настраиваемых генераторов. Для подавления шума в сигнал нужно изменить параметры генератора шума, сделав нулевой его мощность. Чтобы увидеть осциллограмму сигнала на выходе Out1, достаточно дважды щёлкнуть мышью на блоке осциллографа, чтобы на экране появилась окошко с экраном осцилло-графа, и запустить симуляцию. При этом на экране осциллографа при выбранных параметрах будет сигнал, показанный на рис. 14.

Рис. 14. Осциллограмма сигнала на выходе Out1

Заполнение блока "Decimation by 2"

Этот блок — блок децимации сигнала. Для его реализации можно воспользоваться готовым блоком цифрового фильтра.

Для настройки этого блока необходимо задать коэффициенты передаточной функции фильтра (числителя и знаменателя) и интервал дискретизации (рис. 15).

Рис. 15

Для наглядности удобно воспользоваться стандартной формой представления фильтра, изображенной на рис. 16.

Рис. 16

Новых блоков здесь два: единичная задержка, описываемая только интервалом дискретизации, и коэффициент усиления, показывающий, насколько изменится амплитуда сигнала при прохождении данного блока. Оба коэффициента усиления на блоке равны 0,5. В свистках входного блока ("In1") установлен интервал дискретизации 0,000125 мкс, такой же интервал указан и в параметрах блока единичной задержки ("1/z").

Литература

1. Дьяконов В.П., Абрамченко И.В. MATLAB 5.0/5.3. — М.: Ноллидж. — 1999. — 633 с.
2. Гутьяев А.К. Имитационное моделирование в среде Windows. — СПб.: КОРОНА принт. — 1999. — 288 с.
3. Егоренков Д.П., Фрадков А.Л., Харламов В.Ю. Основы математического моделирования. 2-е изд., доп. — СПб.: БИТ. — 1996. — 197 с.
4. Анохин В.В. MATLAB для DSP. Моделирование аналого-цифрового преобразования // ChipNews. — 2000. — № 2. — С. 3-7. — № 3. — С. 26-29.
5. Amey A., Deosthali, Shawn R., McCaslin, Brian L., Evans, A Low-Complexity ITU-Compliant Dual Tone Multiple Frequency Detector, draft, <http://signal.ece.utexas.edu>.

E-mail: nick@rts.lonliss.ru