

Акустический датчик для беспроводных сенсорных сетей

А.И. Рыжов, А.С. Дмитриев, Л.В. Кузьмин, Н.В. Румянцев, О.В. Евсеев,
Г.К. Мансуров

*Институт радиотехники и электроники (ИРЭ) Российской академии наук,
125009, Москва, ул. Моховая 11, корп.7.*

Введение

Сверхширокополосные (СШП) беспроводные сенсорные сети на основе хаотических радиоимпульсов [1,2] с физической скоростью передачи от трех мегабит/сек и выше наряду с данными об освещенности, температуре, влажности позволяют в принципе непрерывно передавать потоки акустической и видеоинформации.

Необходимым условием реализации этих возможностей является создание соответствующих датчиков, совместимых с беспроводными СШП сенсорными сетями. При создании датчиков такого типа необходимо найти оптимальное сочетание аппаратной и программной частей и тщательно выполнить их обе, с одновременным удовлетворением требований по качеству воспроизведения звука на приемной стороне и уровню энергопотребления.

В докладе представлены результаты разработки акустического датчика со сжатием информации для беспроводной СШП сенсорной сети и его аппаратной реализации.

Структура датчика

Задача построения акустического датчика разделяется на две основные составляющие: аппаратную и программную. Аппаратная часть датчика обеспечивает прием звукового сигнала, преобразовывает его в аналоговый электрический сигнал, пригодный для цифровой обработки и переводит его в цифровую форму. Программная часть управляет работой датчика и реализует алгоритм сжатия речи.

При таком разделении задач каждая из составляющих должна обеспечивать требуемое качество сигнала, передаваемого в сенсорную сеть, а суммарное потребление по току не должно превышать значения в несколько миллиампер, чтобы устройство могло работать продолжительно в составе беспроводной СШП сенсорной сети.

Для решения поставленной задачи предлагается структура датчика, включающая микрофон, внешний 16 битный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и микроконтроллер (рис. 1).

В разработанном датчике на выходе микрофона формируется аналоговый электрический сигнал, соответствующий звуку, поступающему из окружающей среды. Этот сигнал усиливается и оцифровывается внешним 16-разрядным аналогово-цифровым преобразователем (динамический диапазон 96 дБ), частота дискретизации 16 кГц. После этого цифровые данные поступают по интерфейсу SPI (Serial Peripheral Interface) на микроконтроллер акустического датчика. При этом звуковой поток составляет 256 кбит/с (отсчеты 16 бит x 16 кГц). Микроконтроллер осуществляет программное кодирование цифрового речевого сигнала по алгоритму ПАДИКМ. Поток сжимается в 4 раза, до 64 кбит/с. Затем сжатые данные передаются по интерфейсу UART на плату приемопередатчика.

Большинство современных микроконтроллеров имеют встроенные АЦП, но их разрядность, как правило, не превышает 12 бит. Поэтому в датчике используется внешний АЦП.

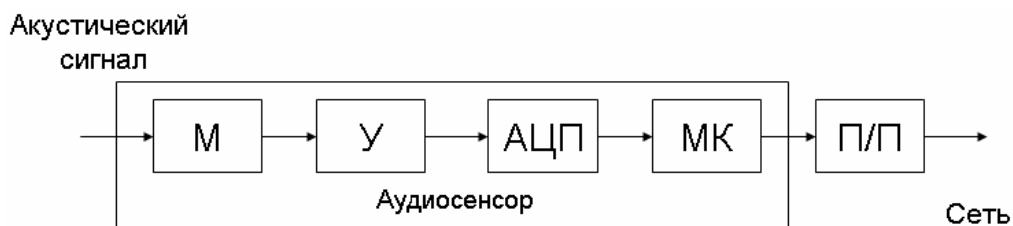


Рис. 1. Схема обработки сигнала в акустическом датчике: М – микрофон, У – усилитель, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, МК – микроконтроллер, П/П – приемопередатчик.

На плате акустического датчика установлен стабилизатор напряжения на 2,3 В, от которого питаются все активные элементы. В среднем, в рабочем режиме устройство потребляет не более 5 мА. Время работы алгоритма сжатия 20-мс кадра – около 13 мс, что оставляет достаточно времени как для дальнейшей обработки сжатых речевых данных (например, шифрования), так и для передачи их на приемное устройство.

В результате оцифровки и сжатия фрагментов звукового сигнала получается блок данных размером 160 байт, к которому добавляются биты данных о начальных условиях, а затем этот пакет передаётся по интерфейсу UART с платы акустического датчика на плату передатчика кодированного звукового сигнала.

Логика работы микроконтроллера

Для сжатия звука в устройстве применен новый алгоритм, в котором блок закодированных данных в каждом пакете является автономным, и его декодирование никак не зависит от потерь или искажений предшествующих пакетов данных - «Пакетная адаптивная дифференциальная импульсно-кодовая модуляция» (ПАДИКМ), разработанный на основе версии алгоритма АДИКМ, предложенной ассоциацией IMA (Interactive Multimedia Association) [3]. Особенностью этой версии является то, что она предназначена для маломощных устройств, оснащенных недорогими микропроцессорами, таких, как переносные гаджеты, различные мультимедийные устройства, игрушки и т.д. Данная версия АДИКМ при достаточно высоком качестве кодирования речи отличается простотой и невысокими требованиями к вычислительным ресурсам. Однако при этом необходимо было учесть, что алгоритм АДИКМ очень чувствителен к таким ошибкам, как потеря блоков отсчетов [4], в результате чего нарушается синхронизация кодера и декодера, что приводит к значительному ухудшению качества воспроизведения звука даже при малой вероятности ошибок.

Обработка речевого сигнала в алгоритме ПАДИКМ на разработанной плате акустического датчика осуществляется следующим образом (см. рис. 2). Съём звуковых данных происходит через интерфейс SPI с АЦП. Считывание данных с АЦП в микроконтроллер запускается по срабатыванию таймера каждые 62.5 мкс (16 кГц). Используемому АЦП необходимо минимум 22 такта для 16-битового преобразования напряжения на микрофоне. По этой причине снятие одного значения АЦП осуществляется путем получения 3 байт данных (24 такта).

Запись снятых аудиоданных происходит в циклический буфер. Обработка речи осуществляется 20-мс фреймами (кадрами). Объем данных при этом составляет: $0,02 \text{ с} \times 16 \text{ кГц} = 320$ отсчетов, объем фрейма 16-битных данных – 640 байт. Сжатие методом ПАДИКМ уменьшает объем данных для передачи в 4 раза до $640/4 = 160$ байт.

Сохранение сжатых данных происходит в циклический буфер отправки, куда так же добавляются 3 байта, содержащие начальные условия для декодера.

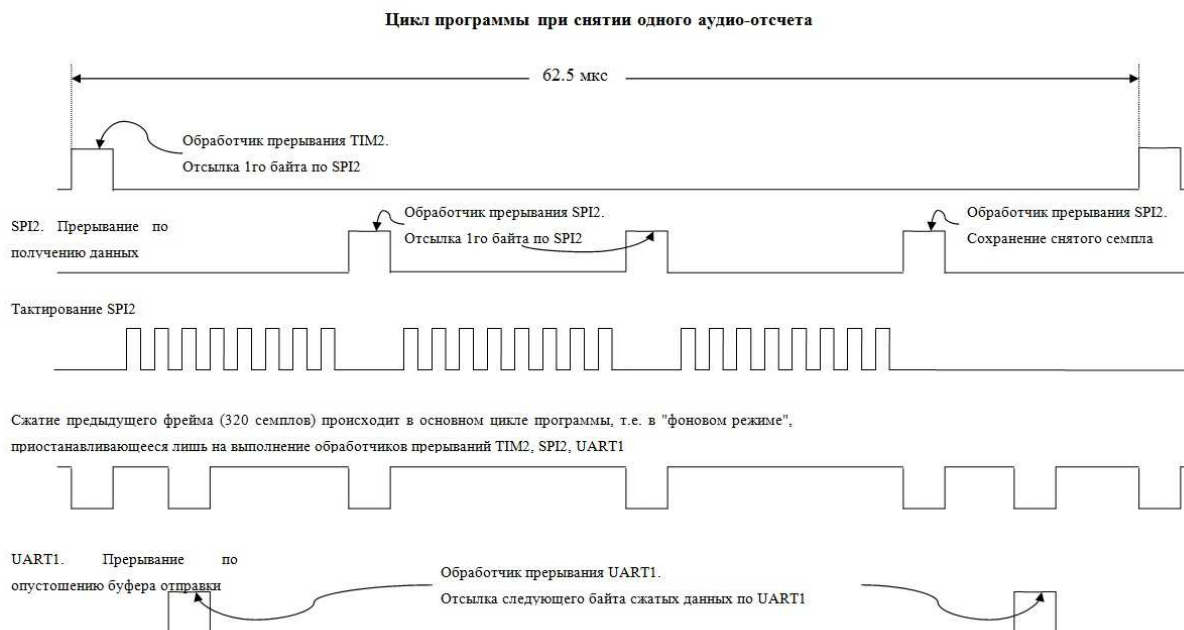


Рис. 2. Цикл работы акустического датчика, осуществляющего сжатие аудиоданных по алгоритму ПАДИКМ

Цикличность аудио-буфера и буфера отправки реализована двумя (для каждого буфера) переменными-указателями записи и чтения.

Отправка сжатых данных из циклического буфера отправки в буфер микроконтроллера приемопередатчика осуществляется побайтно со скоростью 250 кбит/с по универсальному порту UART.

В докладе обсуждаются особенности алгоритма сжатия звука для датчика, проблемы снижения энергопотребления, особенности конструктивной реализации блока модуля (см. рис. 3), практического использования в сетях СШП передачи данных.



Рис. 3. Акустический модуль (сверху) подключен к приемопередающему узлу беспроводной сенсорной сети.

Выводы

Реализация программно-аппаратного решения для акустического датчика, работающего в составе беспроводной сенсорной сети на основе СШП хаотических радиопульсов обеспечила создание законченного конструктива.

Низкое энергопотребление датчика обеспечивается за счет использования малопотребляющих электронных компонентов и нового метода сжатия звука ПАДИКМ, устойчивого к потере блоков данных при пакетной передаче информации в беспроводных сетях.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке программы по выполнению прикладных научных исследований по лоту шифр 2014-14-576-0054 по теме: «Создание программно-аппаратных средств инфокоммуникационной инфраструктуры для малых населенных пунктов на основе подхода сверхширокополосных беспроводных программно-конфигурируемых сетей» (Уникальный идентификатор RFMEFI60414X0036).

Литература

1. Дмитриев А.С., Кяргинский Б.Е., Панас А.И., Старков С.О. // РЭ. 2001. Т. 46. №2. С. 224.
2. Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Клецов А.В. и др. // РЭ. 2008. Т. 53. №10. С. 1278.
3. Recommended Practices for Enhancing Digital Audio Compatibility in Audio Systems. // [Электронный ресурс]. URL:http://www.phatcode.net/res/222/files/ima_adpcm.pdf
4. Финнеран М.Ф. // Электронные компоненты. 2008. №11. С.83.