

## Акустический модуль для узла активной беспроводной сверхширокополосной сети

А.С. Дмитриев<sup>1,2</sup>, В.В. Ицков<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН  
Российская Федерация, 125009, Москва, ул. Моховая, 11, стр. 7, [chaos@cplire.ru](mailto:chaos@cplire.ru)

<sup>2</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)  
Российская Федерация, 141700, г. Долгопрудный, Московская обл., Институтский пер., д.

9

*В докладе описано устройство, принцип работы и характеристики разработанного аудио модуля, который является узлом активной беспроводной сверхширокополосной сети и служит для передачи потока аудиоданных в режиме реального времени.*

*The report discloses characteristics and working principle of the developed audio module. This device works as a node of an active ultra wideband wireless network and serves to transmit the audio data stream in real time.*

### Введение

Беспроводная активная сеть – это структура из отдельных компактных автономных устройств, которая развернута в некоторой области пространства, взаимодействует со средой и имеет свою, обусловленную выполняемой задачей, иерархию связей между узлами сети. В состав активной сети входят узлы один или несколько стоков, в которых собирается и анализируется информация от элементов сети. Узел активной беспроводной сети выполняет функции сенсора или актуатора, то есть он может собирать информацию о среде или воздействовать на нее, и представляет собой устройство, сочетающее в себе передатчик, приемник и управляющее устройство (микроконтроллер), которое обладает достаточной мощностью для организации работы узла и несложных вычислений. Помимо этого, узел обладает набором компонентов для взаимодействия с окружающей средой. Питание каждого участника сети автономно и обеспечивается встроенным источником питания. Обычно радиус действия каждого узла мал по сравнению с размерами сети, поэтому он может связываться только с ближайшими соседями.

В современном мире часто появляется необходимость в подобных беспроводных сетях. Типичными техническими средствами для реализации таких сетей являются приемопередающие устройства, реализующие стандарт IEEE 802.15.4 (ZigBee). Эти устройства обеспечивают низкую скорость передачи данных и низкое энергопотребление. Цель ZigBee — это создание недорогой, самоорганизующейся сети с ячеистой топологией, предназначенной для решения широкого круга задач, таких как оповещение о проникновении или задымлении помещения, организация беспроводной сети управления светом, сбор данных о температуре, средства автоматизации на производстве или в доме. Однако, все чаще возникают ситуации, в которых для полноценного мониторинга среды или управления ею необходимо иметь дело с большими потоками информации. Беспроводные технологии передачи данных, используемые в сетях ZigBee, малоприспособны для этих целей из-за своей низкой пропускной способности. Другие современные беспроводные технологии — WiFi и Bluetooth, даже в своих последних спецификациях (WiFi Direct, Bluetooth 4) также не предназначены для решения подобных задач, в частности из-за большой потребляемой мощности и малого допустимого числа устройств. В силу этих причин в качестве

перспективного направления создания высокоскоростных каналов для сенсорных сетей рассматриваются сверхширокополосные технологии передачи данных. Развитие подобных беспроводных активных сетей требует также разработки разнообразных участников сети, которые способны собирать, обрабатывать и передавать большие потоки данных. О создании одного из таких устройств для сбора и передачи аудиоданных и идет речь в данной работе.

### Структурная схема модуля



Рис.1. Структурная схема акустического модуля

Для работы с потоком аудио данных в реальном времени в каждом узле сети необходим некоторый набор аналоговых и цифровых компонентов, которые позволят обеспечить приемлемое качество звукового сигнала и в то же время низкий уровень энергопотребления. Данные компоненты имеет смысл расположить на отдельной плате - модуле, которая будет соединена с основной платой стандартным для разных модулей интерфейсом. Это позволит обеспечить универсальность каждого узла в сети, появится возможность “на лету” менять его функционал, изменяя только плату модуля. Разрабатываемый акустический модуль позволяет реализовать сеть из устройств, каждое из которых способно к двухстороннему обмену аудиоданными с другими устройствами в сети. Подобная концепция может быть полезна для коммуникации между многими абонентами в труднодоступных местах в условиях необходимости быстрого развертывания беспроводной сетисвязи. Таким образом, акустический модуль должен осуществлять сбор, воспроизведение, обработку, кодирование, прием и передачу в режиме реального времени высококачественного звукового сигнала. Для этого необходимы такие компоненты, как микрофон, усилители аналогового сигнала, фильтр, аналогово-цифровой преобразователь, микроконтроллер, цифро-аналоговый преобразователь, миниатюрный динамический излучатель звука ( в дальнейшем – излучатель), цепи питания. Наличие и качество того или иного компонента определяется решаемыми задачами. Так, например, желаемые характеристики звука определяют наличие аналогово-цифрового и цифро-аналогового преобразователя, а также модель микрофона и излучателя. В данной работе для улучшения качества звукового сигнала, принимаемого с микрофона, был использован высокочувствительный микрофон и качественный аналогово-цифровой преобразователь для него. Параметры воспроизводимого модулем звукового сигнала по большей части определяются характеристиками миниатюрного излучателя, которые в силу его размера ограничивают качество воспроизводимого звука. Поэтому от внешнего цифро-аналогового преобразователя можно отказаться и использовать встроенный в микроконтроллер преобразователь. Структурная схема модуля приведена на рисунке 1.

### **Реализация модуля и его характеристики**

Разработку акустического модуля следует разделить на два основных этапа: программный и аппаратный. Программная часть управляет работой датчика и реализует алгоритм сжатия данных. Аппаратная часть обеспечивает прием и воспроизведение звукового сигнала, его усиление, фильтрацию нужного диапазона частот, преобразование сигнала в цифровую форму.

Важным критерием является энергопотребление устройства. Величина потребления тока определяется техническими решениями и используемой элементной базой, а также степенью сложности программной части и применяемых алгоритмов, которая выражается в количестве операций в секунду и требуемым для этих целей режимом работы (тактовой частотой) микроконтроллера. Определяющим энергопотребление всего модуля в режиме работы только микрофонной части является частота работы микроконтроллера. Для ее минимизации при приемлемых характеристиках обрабатываемого звукового потока был использован алгоритм пакетной адаптивной дифференциальной импульсно-кодовой модуляции (ПАДИКМ).

В разработанном датчике на выходе чувствительного микрофона формируется низковольтный аналоговый аудио сигнал. Этот сигнал фильтруется и усиливается активным НЧ фильтром второго порядка, который был специально рассчитан для этого сенсора. Расчетные характеристики фильтра: усиление - 34 дБ (при 0 Гц), частота среза – 6,3 кГц, крутизна спада за частотой среза – 12дБ/октава. Наличие фильтра кроме ограничения звукового диапазона помогает также избавиться от такого нежелательного эффекта при оцифровке сигнала, как алиасинг. После активного фильтра сигнал оцифровывается внешним 16-разрядным аналогово-цифровым преобразователем (динамический диапазон 96 дБ), частота дискретизации 16 кГц. Затем цифровые данные поступают по интерфейсу SPI (SerialPeripheralInterface) на микроконтроллер акустического датчика. При этом звуковой поток составляет 256 кбит/с (отсчёты 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 SPI на плату приемопередатчика.

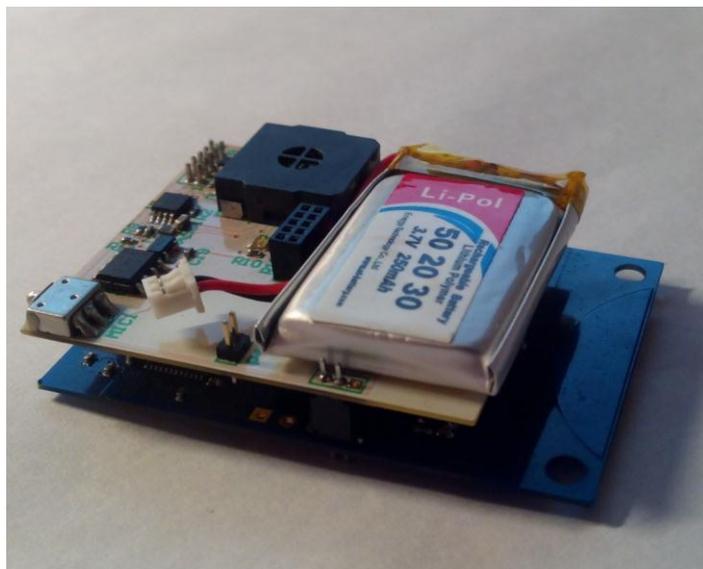
При работе модуля в режиме воспроизведения аудио сигнала сжатые данные в виде пакетов приходят по интерфейсу SPIс платы приемопередатчика на микроконтроллер платы модуля. Микроконтроллер осуществляет декодирование цифрового аудио сигнала посредством обратного алгоритма ПАДИКМ, далее он производит преобразование цифровых данных в аналоговый сигнал на выходе встроенного цифро-аналогового преобразователя с максимальной разрядностью 12 бит. Затем сигнал поступает на усилитель и миниатюрный динамик– излучатель, который способен воспроизводить звуковой сигнал мощностью до 0,7 Вт в диапазоне 400 – 20000 Гц. Излучатель при работе на мощности 0,7 Вт и частоте звукового сигнала в 1 КГц создает на расстоянии 0,1 метр звуковое давление 88 дБА. Для устранения эффекта акустического замыкания на низких частотах 400 – 800 Гц, который проявляется в интерференции волн от передней и задней поверхности мембраны излучателя и ослаблении звукового давления, необходимо акустическое оформление излучателя. Для этого достаточно плотно прикрепить излучатель к передней стенке корпуса устройства. Подобный тип оформления звуковых излучателей называется акустическим экраном. Характеристики данного акустического оформленияизлучателя позволяют разборчиво слышать человеческую речь на расстоянии нескольких метров от устройства в условиях комнаты в городе.

На плате акустического модуля установлены стабилизаторы напряжения на 2,5 В, от которых для минимизации наводок и помех отдельно питаются цифровая и аналоговая часть устройства. В среднем, в режиме сбора и кодирования аудио данных устройство потребляет не более 5 мА. В режиме воспроизведения звука ток может возрастать до 200 мА в пике. Это необходимо для обеспечения приемлемого уровня звукового давления от миниатюрного излучателя.

### **Заключение**

В данном докладе описана разработка и характеристики акустического модуля для узла беспроводной сверхширокополосной сети. Это устройство в связке с приемопередающим модулем позволяет принимать, посылать, собирать, обрабатывать и воспроизводить звуковые сигналы. Акустический модуль является одним из примеров использования высокоскоростного канала обмена данными между узлами сети и своими характеристиками доказывает целесообразность дальнейшего развития беспроводных сверхширокополосных сетей в направлении передачи медиа данных.

*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).*

**Рис. 2. Акустический модуль (сверху) подключен к приемопередающему узлу беспроводной сенсорной сети.**

### **Литература**

1. Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Лазарев В.А., Герасимов М.Ю. // Сверхширокополосная беспроводная самоорганизующаяся прямохаотическая сенсорная сеть, ж. Успехи современной радиоэлектроники, №3, 2013, с. 19-28.
2. Голуб В.С. Сигма-дельта-модуляторы и АЦП // Технология и конструирование в электронной аппаратуре, №4, 2003, с. 35.
3. Yu. Andreyev, A. Dmitriev, E. Efremova and V. Lazarev. // “Ultra Wideband Transceivers Based on Chaotic Pulses and Their Applications to Wireless Body Area

Networks” 2013 Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2013), Santa Fe, USA, pp. 221-224, September 2013.