

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДАЧИ МУЛЬТИМЕДИЙНОГО ТРАФИКА В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ ZIGBEE

Бождай А. С.¹, Гудков А. А.², Гудков П. А.², Курилов Л. С.², Кревский И. Г.¹

¹ГОУ ВПО «Российский государственный университет инновационных технологий и предпринимательства», Москва, Россия (107078, г. Москва, ул. Новая Басманная, дом 9)

²ГОУ ВПО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия (440026, Пенза, ул. Красная, 40), e-mail: bam@pnzgu.ru

В данной статье приводятся результаты экспериментальных исследований процессов передачи мультимедийного трафика в сетях с динамически адаптирующейся архитектурой. Рассматриваются структура разработанного прототипа коммуникационной системы с голосовой передачей данных, способного работать в беспроводных сенсорных сетях стандарта ZigBee, а также измеренные значения реальных рабочих характеристик системы в процессе передачи голосовых потоков в режиме полудуплексной связи. Значимость работы определяется необходимостью выполнения процедур идентификации персонала во многих сферах человеческой деятельности, в связи с чем предлагается передавать данные для идентификации посредством сетей ZigBee, получая тем самым дешевые решения для цифровой интерком-связи в пределах нескольких помещений, для трансляции голосовых команд внутри мобильной группы исполнителей, для организации переговорных устройств и многих других сфер применения.

Ключевые слова: мультимедийный трафик, ZigBee, сенсорные сети.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF VOICE STREAMING OVER WIRELESS SENSOR NETWORKS

Bozhday A. S.¹, Gudkov A. A.², Gudkov P. A.², Kurilov L. S.², Krevsky I. G.¹

¹Russian State University for Innovation Technologies and Business, Moscow, Russia (107078, Moscow, street Novaja Basmannaja, 9)

²Penza State University, Penza, Russia (440026, Penza, street Krasnaja, 40), e-mail: bam@pnzgu.ru

We describe the experimental investigations results of multimedia traffic retransmission and routing over sensor networks. The structure of the developed prototype communication system is considered, which is capable to operate in the wireless sensor ZigBee networks. Also we describe the measured values of the actual system performance in the transmission of voice streams in half-duplex mode of communication. The importance of work is determined by the need to perform procedures for the identification and authorization of staff in many areas of human activity. It is proposed to transfer the identifying data through ZigBee network, thereby obtaining a cheap solution for digital intercom call systems within a few rooms, for the broadcast voice commands within the mobile group of performers, for the organization of communication devices, and many other applications.

Key words: voice over sensor networks, ZigBee.

В связи с возросшим уровнем информатизации современного общества, всё более актуальными становятся проблемы передачи мультимедийного трафика в беспроводных сенсорных сетях ZigBee. Например, областью применения сетей стандарта ZigBee для передачи голосовых потоков могут быть дешевые решения для цифровой интерком-связи в пределах нескольких помещений, для трансляции голосовых команд внутри мобильной группы исполнителей, для организации переговорных устройств (типа домофона) и т.п. [2,6,7].

Авторами были проведены исследования, целью которых была разработка практической реализации прототипа коммуникационной системы с голосовой передачей, способной

работать в беспроводных сенсорных сетях (БСС) стандарта ZigBee [1], а также измерение реальных рабочих характеристик системы в процессе передачи голосовых потоков в режиме полудуплексной связи.

Значимость работы определяется необходимостью выполнения процедур идентификации персонала во многих сферах человеческой деятельности. С развитием процессов автоматизации и компьютеризации направление информационной безопасности и контроля доступа становится стратегически важным даже в отношении тех предприятий, чья деятельность напрямую не связана с информационными технологиями. Это может относиться как к контролю доступа на некоторую территорию, так и доступа к определенной информации. Биометрические системы контроля доступа в настоящее время являются наиболее перспективными, что подтверждается повсеместным внедрением биометрических электронных паспортов. Актуальность работы подтверждается также широким распространением беспроводных мобильных телекоммуникационных технологий, на основе которых осуществляется передача данных в разрабатываемой системе.

Для практической реализации и проведения экспериментов был создан испытательный лабораторный стенд на основе отладочных комплектов из беспроводных сенсорных модулей ZigBee компании Texas Instruments. Кроме этого были проанализированы характеристики нескольких различных модулей разных производителей на основе разных чипов ZigBee [8]. Как наиболее удовлетворяющие условиям экспериментальных исследований, были выбраны модули Texas Instruments на базе чипа CC2480 [3-5], обладающие наилучшими показателями среди рассмотренных, такими, как реальная пропускная способность канала передачи, ценовой диапазон, удобство эксплуатации, гибкость архитектуры, простота и универсальность программирования и т.д.

Структура разработанного прототипа системы коммуникации в БСС стандарта ZigBee представлена на рис. 1. Данный рисунок иллюстрирует процесс передачи речевого трафика при помощи средств беспроводной маршрутизации модулей ZigBee.

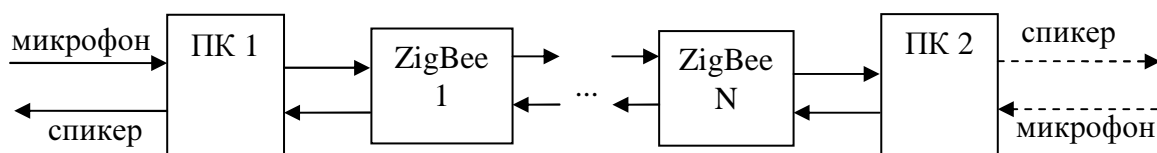


Рисунок 1. Структура системы коммуникации в БСС

В качестве источника аудиопотока используется микрофон, подключенный к персональному компьютеру (ПК). Также к ПК через порт USB подключен модуль ZigBee, и запущено приложение, которое непосредственно принимает сигнал с микрофона, сжимает его и передает через первый модуль ZigBee в радиоканал. Одновременно принимается сигнал, поступающий из модуля ZigBee, декодируется и воспроизводится в реальном

времени на спикер (либо наушники). Передаваемые по радиоэфиру данные с оцифрованной речью ретранслируются сетью ZigBee от одного модуля к другому таким образом, что организуется виртуальная цепь передачи от источника к приемнику сигнала. На обратном конце образованной линии связи приемный модуль ZigBee передает данные на ПК, которые тот аналогичным образом декодирует и воспроизводит.

Вместо ПК может использоваться любое другое оконечное устройство обработки сигналов, например, КПК, коммуникатор, смартфон или специализированный программируемый терминал, интегрирующий функции аудио ввода-вывода и пакетной передачи данных (такой, как IP-телефон).

Удаленный модуль ZigBee может также разворачивать входящий к нему сигнал и передавать его по цепочке модулей обратно, имитируя двухстороннюю голосовую связь (рис. 2). Таким образом, тот аудиопоток, который вышел от источника сигнала, им же и принимается. Данный режим с образованием петли обратной передачи используется в тестовых целях.

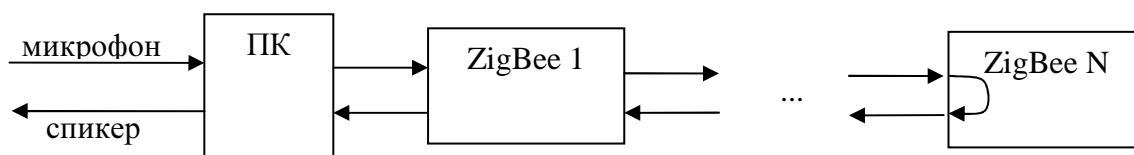


Рисунок 2. Структура используемого тестового стенда

Аудиоданные принимаются с микрофона в формате PCM с дискретизацией 8 кГц и квантованием 16 бит, что позволяет передавать речь в телефонном диапазоне частот от 0,3 до 3,4 кГц. Оцифрованная речь подается на вход кодека, преобразующего стандартный аудиопоток в последовательность сжатых кадров, содержащих не изменения уровня сигнала на временной оси, а параметры речевой модели голосового тракта для синтезируемой речи на определенный временной промежуток (фрейм), за счет чего достигается значительное сжатие исходных аудиоданных. Для кодирования используется низкоскоростной (low-bitrate) кодек OpenLPC, который является бесплатно распространяемым (по лицензии GPL). В связи с высокой степенью сжатия качество речи данного вокодера невысокое. Причина выбора такого решения обоснована ниже.

Далее, поток данных с выхода кодека передается в процедуру фрагментации, где он разбивается на фрагменты (блоки фиксированной длины). Один блок данных соответствует одному радиопакету, размер блока может варьироваться (задается при компиляции). Затем блоки оформляются в виде пакетов, ставятся в очередь и последовательно передаются в модуль ZigBee для отправки по адресу назначения (т.е. модулю-получателю). Модули ZigBee осуществляют доставку и ретрансляцию пакетов по сети. Конечный в цепочке передачи модуль-получатель осуществляет прием пакетов, которые он направляет основному

приложению. Приложение на ПК выполняет обратные операции: временную синхронизацию, дефрагментацию принятых пакетов (обратную сборку), направляет полученный входной поток на декодер, данные с выхода декодера поступают на оконечное устройство воспроизведения, которое воспринимает эти данные как один непрерывный аудиопоток.

Протокол обмена данными между ПК и модулем ZigBee эмулирует работу по COM-порту через UART (асинхронный приемо-передатчик). Данные передаются пакетами переменной длины. Длина пакета указывается в заголовке пакета.

В связи с тем, что структура сети ZigBee использует иерархический подход для определения функциональности узлов, требуется по-разному инициализировать модули и организовывать их работу, в зависимости от их функционального назначения. Необходимо правильно сконфигурировать сетевые узлы, распределив между ними роли координатора, маршрутизаторов и оконечных устройств. Какие-либо принципиальные ограничения для запуска приложения речевой коммуникации на узлах различного типа отсутствуют.

Путем практических измерений было выяснено, что максимальная скорость передачи данных между модулями ZigBee зависит от размера радиопакета (см. диаграмму на рис. 3). По горизонтальной оси диаграммы отложен размер пакета в байтах, эти значения кратны 7 байтам, так как размер одного фрейма на выходе кодера составляет 7 байт. По вертикальной оси указан битрейт в кбит/с.

На практике удалось достигнуть максимальную скорость в 2,2 кбит/с. При дальнейшем увеличении размера радиопакета (42 байта и выше) происходят сбои в передаче данных, хотя согласно документации для модулей Texas Instruments размер пакета может быть до 128 байт. Измерения проводились в условиях максимальной близости модулей ZigBee, т.е. в зоне уверенного приема и при отсутствии воздействия внешних факторов (радиопомех, интерференции, теневых зон и т.д.). В связи с описанным ограничением по пропускной способности канала связи и был выбран в качестве основного речевого кодека низкоскоростной вокодер OpenLPC, чей диапазон скоростей (1,4/1,8 кбит/с) удовлетворяет требованиям среды передачи, однако качество речи невысокое. Улучшение качества речи предполагает соответствующее увеличение скорости передачи данных, что возможно лишь при доступности более широкополосного канала радиосвязи.

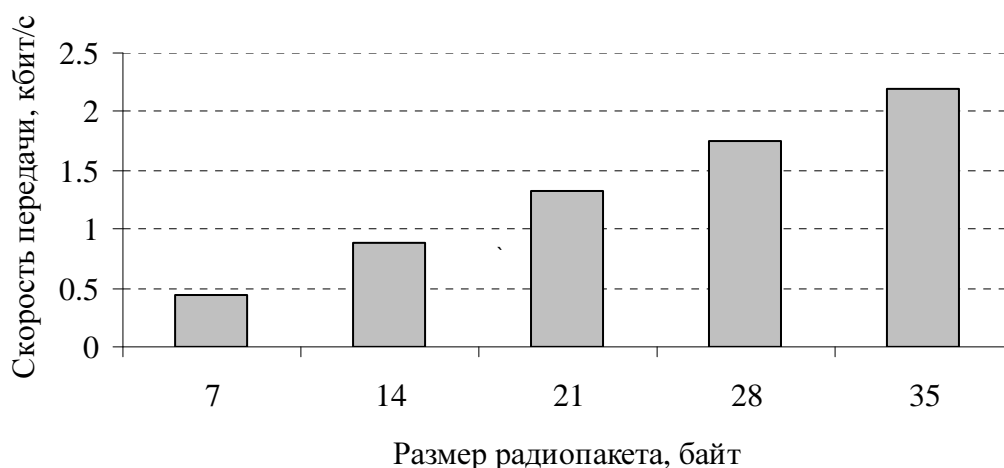


Рисунок 3. Зависимость скорости передачи данных от размера радиопакета

На рис. 4 представлены также результаты измерения временных характеристик взаимодействия (задержек) модулей ZigBee в процессе передачи голосовых данных. Измерения производились в тестовом режиме на цепочке из двух модулей, один из которых был подключен к ПК и обеспечивал передачу и прием (регистрацию) речевого потока, а другой образовал «петлю», т.е. разворачивал поступающий входной поток на выход.

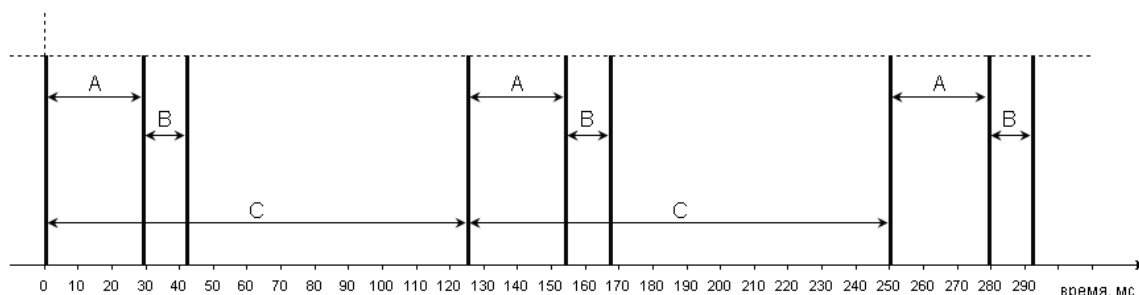


Рисунок 4. Временные характеристики взаимодействия модулей ZigBee

На временной диаграмме показаны следующие интервалы:

- А – время передачи одного радиопакета (35 байт) с модуля, связанного с ПК, на удаленный модуль (29 ± 4 мс).
- В – время передачи данных в обратном направлении (13 ± 1 мс).
- С – время между двумя передачами данных (126 ± 4 мс), сюда также входит время передачи данных через UART.

Практическая реализация приложения речевой коммуникации для использования его совместно с модулями ZigBee и проведенные исследования характеристик его работы подтвердили реальную применимость сетей стандарта ZigBee для обмена голосовыми

сообщениями. Наряду с основными функциями, для которых были предназначены БСС класса ZigBee (сбор и ретрансляция сенсорной информации с датчиков), они также вполне способны транслировать мультимедийную нагрузку в виде сжатых речевых потоков.

Однако можно сделать следующие выводы о существенных ограничениях голосовой связи в таких сетях:

1. Сравнительно низкое качество речи по сравнению с традиционными средствами доставки голосового контента, такими, как обычная проводная телефония, мобильная сотовая связь и т.д.
2. Наличие ограничений на возможность полноценной дуплексной связи, когда осуществляется ретрансляция голосовых потоков одновременно в обе стороны.
3. Наличие ограничений по числу одновременно установленных соединений, в связи с очень низкой пропускной способностью сети.
4. Существенные задержки при передаче речевого трафика, накладываемые характером взаимодействия узлов, а именно технологией обмена в ad-hoc сетях, основанной на multihop-маршрутизации.

Таким образом, область применения сетей стандарта ZigBee для передачи голосовых потоков является довольно специфической. Они применимы там, где невысоки требования к качеству речи и невысокие нагрузки на саму сеть, но существенным фактором является низкая стоимость, высокая автономность, простота и надежность эксплуатации.

Список литературы

1. Бождай А. С. Встраиваемая система идентификации по голосовым биометрическим показателям / Бождай А. С., Гудков П. А., Гудков А. А. // Открытое образование. – 2011. – №2 (85). – С. 181-184.
2. Brunelli L. B. D. Analysis of audio streaming capability of zigbee networks / L. B. D. Brunelli, M. Maggiorotti and F. L. Bellifemi // Wireless sensor networks: 5th European conference, EWSN-2008, Bologna, Italy. – 2008. – Vol. 4913.
3. CC2480 Data Sheet (from Texas Instruments documentation). Code of document: SWRS074.
4. CC2480 Developer's Guide (from Texas Instruments documentation). Code of document: SWRA176.
5. CC2480 Interface Specification (from Texas Instruments documentation). Code of document: SWRA175.
6. Li L. Qvs: Quality-aware voice streaming for wireless sensor networks / L. Li, G. Xing, L. Sun, Y. Liu // Technical Report MSU-CSE-09-9, Computer Science and Engineering, Michigan State University, East Lansing, Michigan, 2009.

7. Mangharam R. Voice over sensor networks / R. Mangharam, A. Rowe, R. Rajkumar, R. Suzuki // RTSS'06: Proceedings of the 27th IEEE International Real-Time Systems Symposium. IEEE Computer Society – 2006.
8. ZigBee Alliance (2006). ZigBee Specification 2006, <http://www.zigbee.org>.

Рецензенты:

Бершадский Александр Моисеевич, д.т.н., профессор, зав. кафедрой САПР, Пензенский государственный университет, Пенза.

Финогеев Алексей Германович, д.т.н., профессор кафедры «Информационные системы» ПРЦВШ – филиала РГУИТП, Пенза.