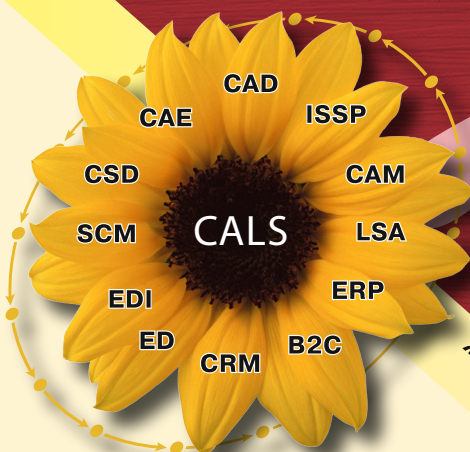
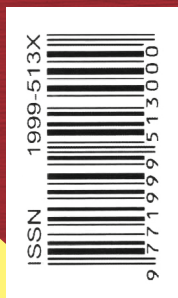


КАЧЕСТВО

ИННОВАЦИИ

ОБРАЗОВАНИЕ

№ 9
2015



журнал в журнале

КАЧЕСТВО и ИПИ (CALS)-технологии

www.quality-journal.ru

Качество • Инновации • Образование • №9-2015

Л.С. Восков, С.Г. Ефремов, И.В. Карпов

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ПРОСТРАНСТВЕННО-ПОВТОРНОГО
РАЗДЕЛЕНИЯ КАНАЛА В БЕСПРОВОДНЫХ
АУДИО-СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ**

В статье исследуется метод пространственно-повторного разделения канала для передачи потоков аудиоданных по беспроводным аудио-сенсорным сетям. Описывается модель сети, на основании которой в дальнейшем проводится моделирование её работы. Приводятся результаты проведенного эксперимента. В заключение делаются выводы о применимости данного метода для передачи потоков аудиоданных.

Ключевые слова: беспроводные аудио-сенсорные сети, пространственно-повторное разделение канала, качество предоставляемого сервиса, передача аудиоданных, моделирование беспроводной аудио-сенсорной сети, энергетическая схема, БСС, модель передачи данных в БСС

Введение

В данной работе исследуется метод пространственно-повторного разделения канала применительно к беспроводным аудио-сенсорным сетям. Как правило, беспроводная аудио-сенсорная сеть состоит из миниатюрных устройств, в состав которых входит микрофон, устройство воспроизведения полученных данных (динамик), микроконтроллер, приемопередающее устройство и не возобновляемый источник электроэнергии (аккумулятор или батарея). В системе может быть 3 типа узлов – узел сток, узел исток, ретранслирующий. Один узел может выступать в роли стока или истока и ретранслирующего узла. Количество устройств в сети – от нескольких десятков до нескольких сотен, вся сеть может распределяться на несколько километров. Подобные системы могут применяться для организации беспроводной аудио-связи в экстренных ситуациях, например, при стихийных бедствиях, обрушении строений, в качестве быстро разворачиваемой системы связи. Основная её задача заключается в передаче аудиоданных по сети – от узлов источников к узлам стокам при помощи ретрансляций через соседние узлы.

Поскольку узлы в системе имеют не возобновляемый источник энергии, а по сети, в отличие от классических беспроводных сенсорных сетей (БСС), где передаются скалярные данные о температуре, давлении и т.п., передаются потоки данных с ограниченными требованиями к передаче, проблема эффективности использования энергетических ресурсов системы также, как и проблема качественной доставки данных (QoS) являются приоритетными. В данной статье уделяется внимание второй проблеме, а именно, проблеме качественной передачи аудиоданных по беспроводным аудио-сенсорным сетям.

Метод пространственно-повторного разделения канала

Как уже было сказано, система может состоять из большого количества узлов, которые распределены на ограниченной территории. Поскольку в сети может быть множество потоков, передающая среда ограничена, а расстояние между узлами исчисляется несколькими метрами, то все это приводит к коллизиям при передаче данных и увеличению времени на их передачу, что сказывается на качестве предоставляемого сервиса.

В работе [1] описывается проблема разделяемого канала передачи данных. Поскольку в протоколе ZigBee, который используется в БСС, не предусмотрено переключение между каналами в рамках одной сети, все устройства в системе используют единственный канал для передачи своих данных. А так как узлы могут располагаться слишком близко друг к другу, возникают задержки при передаче данных из-за коллизий или занятости канала ввиду отсутствия координации между узлами. Из рис. 1 видно, что при использовании метода пространственно-повторного разделения канала увеличивается пропускная способность с 10 до 30 Кбит\с.

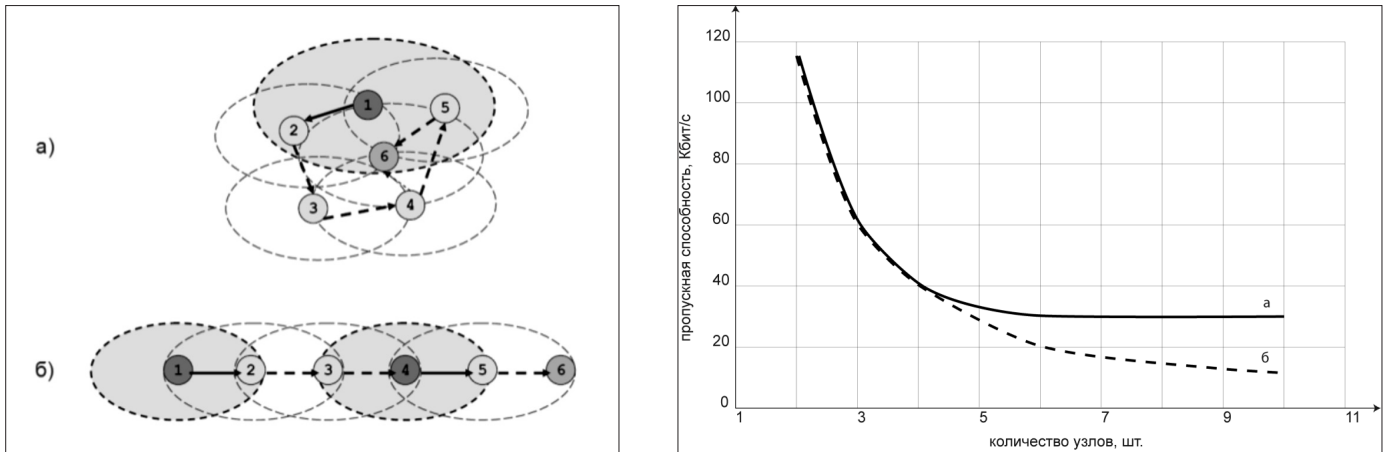


Рис. 1. Сеть с: а) разделяемым, б) пространственно-повторным использованием каналов

Метод пространственно-повторного разделения канала заключается в уменьшении дальности связи (мощности приемопередатчика) узла до такого значения, чтобы минимизировать вероятность появления коллизий при передаче, а также увеличить доступность общего канала на определенной территории (рис. 2а). Иными словами, за счет сокращения радиуса действия узлов, больше устройств могут одновременно участвовать в передаче данных, что увеличивает общую пропускную способность канала.

Само по себе сокращение дальности связи узла без учета коллизий приводит к:

- 1) увеличению количества ретрансляций для доставки данных от источника к стоку;
- 2) увеличению задержки при передаче, поскольку требуется больше времени на получение (доставку) пакетов ретрансляторам;
- 3) увеличению накладных энергетических расходов, поскольку передача данных может идти с отклонениями от маршрута при прямой передаче к точке сбора данных, что также приводит к дополнительным энергетическим затратам;
- 4) увеличение количества ретранслирующих узлов приводит к увеличению вероятности отказа на пути при передаче информации, а также усложняет процесс их координации.

Однако данные условия могут быть не критичны, если передача без пространственно-повторного разделения канала имеет большее время обслуживания (утилизации) пакетов с данными, что приводит к большим энергетическим затратам.

Противоположным решением является увеличение мощности передатчиков на узлах до максимально возможного, с целью сокращения количества ретрансляций от источника до узла стока (рис. 2б). При небольшом количестве потоков данный метод позволяет сократить время на доставку пакетов, что приводит к повышению качества предоставляемого сервиса.

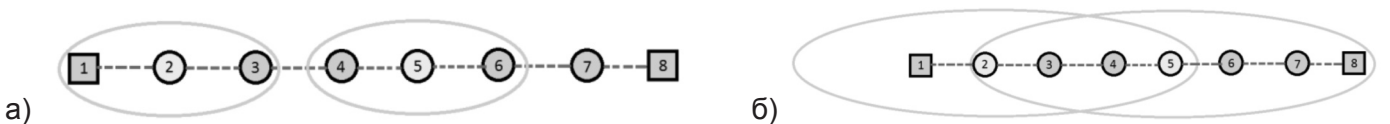


Рис. 2: а) сеть с сокращенным радиусом приемопередатчика, б) сеть с максимальным радиусом приемопередатчика

Как видим, оба варианта имеют свои достоинства и недостатки. С одной стороны, мы увеличиваем маршрут, а с другой, занимаем канал передачи данных. Компромиссом может быть гибридный метод, объединяющий вышеуказанные.

В классических беспроводных сенсорных сетях, когда есть единый узел-сток и множество конечных узлов с данными, существует проблема «энергетических дырок», когда при работе сети быстрее всех

истощаются устройства, находящиеся вблизи узла-стока, что приводит к отказу работы сети. Для решения данной проблемы на ближайших к стоку узлах изменяются мощности приемопередатчиков таким образом, чтобы равномерно распределить энергетическую нагрузку между ними.

По аналогии, для решения проблемы качественной передачи аудиоданных по беспроводным аудио-сенсорным сетям, предлагается по достижению минимального энергетического порога изменить мощности приемопередатчиков на узлах, участвующих в передаче. Установленные на всех узлах мощности в определенный момент времени носят название энергетической схемы. Изменение энергетической схемы предполагает изменение мощностей приемопередатчиков на узлах. Последовательность смены энергетических схем в дальнейшем необходимо рассчитать на основе описанной ниже модели. На рис. 3 видно, что узел 1 имеет небольшую дальность передачи, в отличие от узла 5. Со временем энергия на узле 5 будет наименьшей на пути передачи данных, что может привести к нарушению работы системы. Согласно предлагаемому методу, при достижении минимального уровня энергии на маршруте, система изменит энергетическую схему, и узел 5 окажется с минимальной мощностью приемопередатчика, а узел 1 или 2, например, с максимальной.

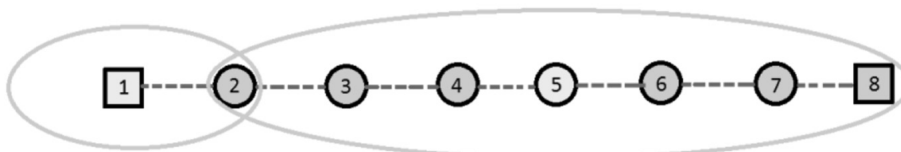


Рис. 3. Сеть с динамическим регулированием дальности связи

Модель беспроводной аудио-сенсорной сети

В рассмотренных работах по беспроводным сенсорным сетям для построения общих моделей используют аппарат теории множеств и теории графов [2, 3, 4]. В данной работе за основу взята модель из работы [3].

Сеть представляет собой неориентированный граф со множеством вершин $V_n = \{1, 2, \dots, n\}$ и множеством ребер $E_n \subseteq V_n \times V_n$, где вершины представляют собой аудио-сенсорные узлы, а ребра – беспроводные соединения между ними.

Также имеется множество потоков аудиоданных для передачи: $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$, где $s_i = (u, v, L_i)$, $u \in V_n, v \in V_n, u \neq v, L_i$ – скорость передачи данных (бит/с).

Введем понятие энергетической схемы, важное для оценки времени жизни сети. Энергетическая схема определяет набор мощностей $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, где p_i – мощность, потребляемая i -м узлом сети. Схема определяет связность сети и, следовательно, маршруты передачи потоков данных. Таким образом, $E_n = f(w), w \in V_s$, где V_s – множество доступных энергетических схем.

С точки зрения качества обслуживания критичным является смена схем, при которой происходит реконфигурация сети. Введем граф G_s для энергетических схем: $G_s = (V_s, E_s)$. С каждым ребром $e \in E_s$ связан набор коэффициентов (k_1, k_2, \dots, k_m) потери качества передаваемых потоков при соответствующей смене схем. Расчет данных коэффициентов является отдельной задачей, не рассматриваемой в настоящей работе.

Таким образом, в общем виде работу аудио-сенсорной сети можно представить в виде четверки:

$$N = (G_s, \Gamma_n, S, \Pi), \quad (1)$$

где G_s – граф энергетических схем; Γ_n – множество сетевых графов, где каждый граф определяется используемой энергетической схемой; S – множество передаваемых по сети аудио-потоков; Π – последовательность применения энергетических схем.

$$G_s = (V_s, E_s); \quad (2)$$

$$\Gamma_n = \{G_n(k), k \in V_s\}; \quad (3)$$

На рисунке 4 представлен график зависимости качества предоставляемого сервиса от количества потоков в сети без метода динамического изменения дальности связи на узлах (пунктирный график) и с ним (точечный). Видно, что без использования метода пространственно-повторного разделения канала со сменой мощностей при увеличении количества потоков в сети среднее качество предоставляемого сервиса в сети снижается, и примерно при семи потоках оно становится неприемлемым [7]. Для оценки качества предоставляемого сервиса использовалась R-оценка (R-фактор), который определяется исходя из количественных показателей QoS, таких как задержка при передаче данных от отправителя до получателя, искажения, потери пакетов при передаче, констант аудиокодексов. С увеличением количества потоков наступает момент, когда предлагаемый метод становится выгодным (примерно при шести). Это объясняется тем, что в сети с заранее определенными мощностями появляются задержки в результате большой нагрузки на передающую среду (единственный канал передачи данных), что является критичным при передаче аудиоданных.

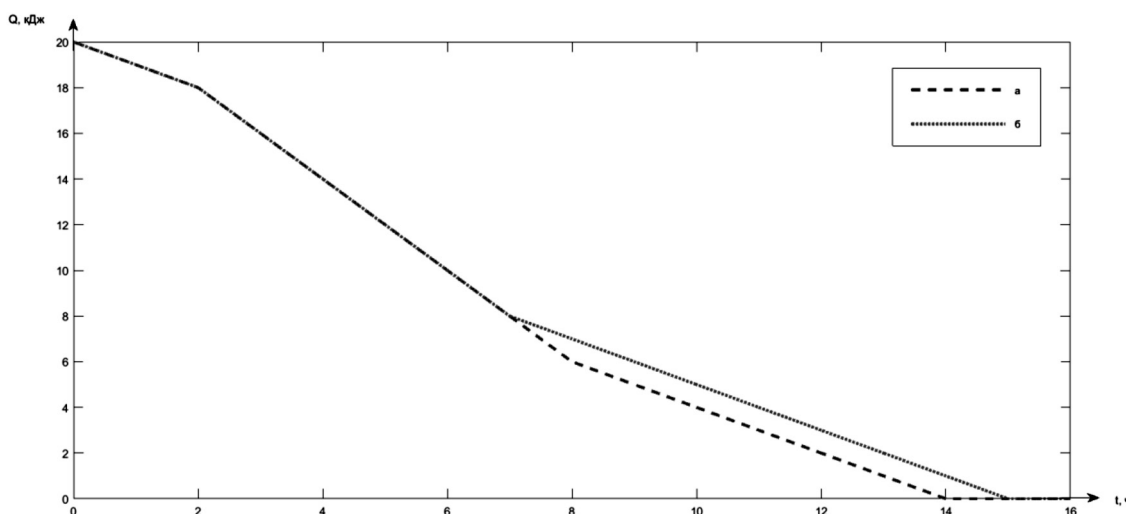


Рис. 5. График остаточной энергии на узлах в зависимости от времени работы в сетях с использованием различных методов передачи аудиоданных: а – без динамического, б – с динамическим

На рисунке 5 представлена зависимость остаточной энергии на узлах от времени работы сети с использованием различных методов передачи аудиоданных: без метода динамического изменения дальности связи на узлах (пунктирный график) и с ним (точечный). Также видно, что время работы сети во втором случае увеличивается за счет распределения энергетических затрат по всей сети. Сеть со статической дальностью связи имеет меньшее время работы при большом количестве потоков данных.

Выводы

Беспроводные сенсорные сети имеют широкую область применения – от мониторинга окружающей среды, задач здравоохранения, в военных целях до систем распознавания и передачи звука [8-10]. В связи с достаточно широкой областью применения возникают как общие проблемы в беспроводных сенсорных сетях, так и частные, связанные с исследуемой областью. Так, например, в беспроводных аудио-сенсорных сетях существует проблема качества предоставляемого сервиса при передаче потоков аудиоданных, а для систем распознавания и мониторинга – проблема ограниченности технических ресурсов.

Рассмотренный метод пространственно-повторного разделения канала со сменой мощностей, применимый для передачи потоков аудиоданных в беспроводных аудио-сенсорных сетях, позволяет увеличить количество одновременно передаваемых потоков по сети с заданным качеством обслуживания, что, в свою очередь, влияет на эффективность передачи аудиоданных. В статье описана модель беспроводной аудио-сенсорной сети, предусматривающая механизм энергетических схем, смена которых позволяет равномерно распределить не только потоки данных, но и энергию.

В результатах проведенного имитационного моделирования показано увеличение качества предоставляемого сервиса и времени работы сети по сравнению с обычной сетью.

Поскольку проблема качества предоставляемого сервиса актуальна не только в беспроводных аудио-сенсорных сетях, но и в сетях с чувствительным к задержкам трафиком, например, в беспроводных сетях с мультимедийным контентом, то данный метод может применяться и в подобных сетях.

Данное научное исследование (проект № 14-05-0064) выполняется при поддержке Программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2015/2016 гг.

Литература:

1. Brunelli D., Maggiorotti M. [et al.], Analysis of audio streaming capability of ZigBee networks // Wireless Sensor Networks, Lecture Notes in Computer Science, 2008, V. 4913. – PP.189-204.
2. Базенков Н.И. Теоретико-игровые алгоритмы формирования децентрализованных беспроводных сетей: дис. канд. технич. наук. Москва, 2014.
3. Ефремов С.Г. Моделирование времени жизни динамически реконфигурируемых сенсорных сетей с мобильным стоком: дис. канд. технич. наук. Москва, 2013.
4. Восков Л.С., Ефремов С.Г. Задача увеличения времени автономной работы беспроводных сенсорных сетей в системах сбора данных и способ ее решения // Датчики и системы. 2013. № 4(167). С. 2-9.
5. Восков Л.С., Галкин А.А. Средства имитационного моделирования отдельных событий и состояний беспроводных сенсорных сетей // Качество. Инновации. Образование. 2010. №6. С. 37-43.
6. McClary D.W., Syrotiuk V.R., Lecuire V. Adaptive audio streaming in mobile ad hoc networks using neural networks // Ad Hoc Networks. 2008. V. 6, № 4. PP. 524–538.
7. Карпов И.В. Беспроводные аудио-сенсорные сети. Качество обслуживания и энергоэффективность // Качество. Инновации. Образование. 2013. №10 (101). С. 47-52.
8. Malhotra B. [et al.]. Distributed classification of acoustic targets in wireless audio-sensor networks // Computer Networks, V. 52, 2008. – PP. 2582-2593.
9. Bidong C. Audio recognition with distributed wireless sensor networks: theses.; University of Victoria – Canada, 2010. – P.59.
10. Kim Y. [et al.]. ViridiScope: Design and implementation of a fine grained power monitoring system for homes // Proceedings of the 11th international conference on Ubiquitous computing, New York, USA, 2009.

Восков Леонид Сергеевич,

канд. техн. наук, профессор, доцент,

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики».

E-mail: voskov@narod.ru

Ефремов Сергей Геннадьевич,

канд. техн. наук,

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики».

E-mail: sefremov@hse.ru,

Карпов Иван Викторович,

аспирант 3 г.о.,

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики».

E-mail: ivakarpov@gmail.com

L.S. Voskov, S.G. Efremov, I.V. Karpov

A STUDY OF CHANNEL SPATIAL REUSE IN WIRELESS AUDIO-SENSOR NETWORKS

In this article we discuss the problem of audio data transmission in sensor networks with predefined QoS. We first give a structure of wireless audio sensor networks, their applications and refer to the two existing problems, associated with such networks: low energy efficiency of data transmission and quality of service (QoS). A method of spatial channel reuse for audio stream transmission is considered as a possible solution. This method reduces the communication range of nodes to the nearest neighbour and hence increases the overall channel throughput by allowing different nodes to transmit audio data simultaneously. Based on this existing method, we propose a new method of spatial channel reuse, characterized by dynamic transmission power during network operation.

We present a model of a wireless audio sensor network in terms of graph theory and set theory. This model takes into account quality of service of audio streams and serves as the basis for carrying out several simulation scenarios. At the end of article the simulation results are given. They reflect the benefits of using the newly proposed method of channel spatial reuse with adjustable power transmission level during audio sensor network operation.

Keywords: *wireless audio-sensor networks, spatial channel reuse, quality of service, audio communication, modelling of wireless audio-sensor network, WSN, data transmission model, energy efficiency, NS-2 simulator*

References:

1. Brunelli D., Maggiorotti M. [et al.]. Analysis of audio streaming capability of ZigBee networks // *Wireless Sensor Networks, Lecture Notes in Computer Science*, 2008, V. 4913, 2008. – PP.189-204.
2. Bazenkov N.I. Teoretiko-igrovye algoritmy formirovaniya decentralizovannyh besprovodnyh setej: dis., Ph.D., Moscow, 2014
3. Efremov S.G. Modelirovanie vremeni zhizni dinamicheski rekonfiguriruemyh sensoryh setej s mobil'nym stokom: dis., Ph.D., Moscow, 2014
4. Voskov L.S., Efremov S.G. Zadacha uvelicheniya vremeni avtonomnoj raboty besprovodnyh sensoryh setej v sistemah sbora dannyh i sposob ee resheniya // *Datchiki i sistemy*. 2013. №4 (167). PP. 2-9.
5. Voskov L.S., Galkin A.A. Sredstva imitacionnogo modelirovaniya otdel'nyh sobytij i sostojanij besprovodnyh sensoryh setej // *Kachestvo. Innovacii. Obrazovanie*. 2010. № 6. PP. 37-43.
6. McClary D.W., Syrotiuk V.R., Lecuire V. Adaptive audio streaming in mobile ad hoc networks using neural networks // *Ad Hoc Networks*. 2008. V. 6, № 4. PP. 524–538.
7. Karpov I.V. Besprovodnye audio-sensornye seti. *Kachestvo obsluzhivaniya i jenergojeffektivnost'* // *Kachestvo. Innovacii. Obrazovanie* // №10 (101), 2013, PP. 47-52.
8. Malhotra B. [et al.]. Distributed classification of acoustic targets in wireless audio-sensor networks // *Computer Networks*, V. 52, 2008. – PP. 2582-2593.
9. Bidong C. Audio recognition with distributed wireless sensor networks: thes.; University of Victoria – Canada, 2010. – P.59.
10. Kim Y. [et al.]. ViridiScope: Design and implementation of a fine grained power monitoring system for homes // *Proceedings of the 11th international conference on Ubiquitous computing*, New York, USA, 2009.

Voskov L.S.,
Ph.D., Professor, National Research University
Higher School of Economics
E-mail: lvoskov@hse.ru

Efremov S. G.,
Ph.D., National Research University Higher
School of Economics,
E-mail: sefremov@hse.ru

Karpov I.V.,
Ph.D. student, National Research University
Higher School of Economics
E-mail: ivakarpov@gmail.com