

*Куракевич М.А.*

*студент магистратуры*

*2 курс, направление «Микропроцессорные системы»*

*Институт информатики и вычислительной техники*

*Россия, г. Красноярск*

*Серегин Ю.Н.*

*доцент кафедры «Информационно-управляющих систем»*

*Сибирский государственный университет науки и технологий*

*имени академика М.Ф. Решетнева*

*Россия, г. Красноярск*

## **АЛГОРИТМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АУДИОДАТЧИКОВ В БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ**

***Аннотация:** Рассмотрено функционирование состоящей из аудиодатчиков беспроводной аудио-сенсорной сети с применением метода смены энергетических схем для максимизации времени работы сети при ограниченной энергии. Представлены результаты моделирования, подтверждающие применимость метода при передаче аудиоданных.*

***Ключевые слова:** беспроводные аудиосенсорные сети, энергетическая схема, пространственно-повторное разделение канала, качество обслуживания, передача аудиоданных.*

***Annotation:** The method of energy distribution changing scheme by wireless audio sensor networks operation is described. A task of life- time maximization is given, and also results of simulation are shown. Assumptions about applicability of proposed method by audio data transfer over Wireless Audio Sensor Networks are made.*

***Key words:** wireless audio sensor networks, energy distribution scheme, spatial channels reuse, quality of service.*

## Введение

Беспроводная аудио-сенсорная сеть (БАСС), рассматриваемая в работе, состоит из стационарных узлов, распределенных случайным образом на ограниченной территории. Узлы имеют одинаковые технические характеристики и ограниченные запасы энергии. Как правило, узел в системе — это датчик, в состав которого входят модуль памяти, приемо-передатчик, источник энергии (батарея) и микрофон. Для передачи данных применяется протокол IEEE 802.15.4, объем памяти датчика не превышает 1 Мб, в качестве источника питания используется элемент типа АА. Датчики являются автономными и объединяются в самоорганизующуюся единую сеть [1, с.294]. В зависимости от организации системы на узлах могут быть одинаковые или разные мощности приемопередатчика. Как правило, в беспроводных сенсорных сетях мощности, выбранные на начальном этапе построения сети, в отличие от предлагаемого метода, остаются неизменными во время работы. Поэтому важным моментом является выбор мощностей на узлах как в начале, так и во время работы сети. Исходя из выбранных параметров происходит построение маршрутов для доставки пакетов с аудиоданными.

Главная характеристика системы датчиков время ее работы, так как с течением времени энергия на узлах постепенно убывает, и сеть перестает выполнять целевую задачу. Моментом выхода из строя сети, в зависимости от области применения, может считаться потеря работоспособности одного датчика или падение показателей качества передачи. В БАСС, где главной задачей является передача множества потоков аудиоданных, время работы сети исчисляется до момента, когда показатель качества обслуживания сети при передаче нескольких потоков аудиоданных опустится ниже заданного порогового уровня  $Q_{th}$ . В свою очередь, данный показатель будет зависеть от временных характеристик (задержек между пакетами на узле получателя, времени доставки пакета, и т. п.), которые связаны с алгоритмом маршрутизации и протоколом доступа к среде, с количеством узлов в сети и плотностью их распределения, количеством потоков в сети, расположением узлов. Таким

образом, решающее влияние на время работы сети оказывает процесс передачи данных и их маршрутизация.

Число датчиков в сети, их расположение и объем данных считаем заданными параметрами (входными данными). Протокол доступа к передающей среде задан стандартом IEEE 802.15.4.

### **Методы передачи данных в басс**

Беспроводные аудио-сенсорные сети являются подклассом беспроводных сенсорных сетей (БСС). В БСС при такой организации сети, когда несколько узлов истоков передают свои данные единственному узлу-стоку, существует проблема “энергетических дырок” — ближайшие к узлу-стоку датчики теряют свою энергию быстрее других и в какой-то момент выходят из строя, выводя из строя всю сеть [2, с.869]. Подобное неравномерное распределение энергии по сети преодолевается энергетической балансировкой для полного израсходования доступной энергии на всех датчиках одновременно. Это происходит индивидуальным подбором емкости батарей и расположением узлов в сети, применением мобильных ретрансляторов или специальных алгоритмов маршрутизации.

Так, в [3, с.641] описана возможность доставки части пакетов близлежащими датчиками к узлу-стоку, а оставшейся части — удаленными узлами напрямую при больших выбранных мощностях на датчиках. Распределение энергетических затрат по сети будет при этом приближаться к идеальному.

Маршрутизация и энергопотребление в сети напрямую связаны с заранее выбранными или выбранными во время работы сети мощностями приемопередатчиков на узлах, так как основная энергия датчика тратится на передачу данных, а выбранные мощности определяют возможные беспроводные связи между узлами. Чем большая мощность выбрана на узле, тем большую энергию он затрачивает при передаче данных [4, с.56]. Однако из этого не следует, что наиболее выгодной стратегией для сохранения энергии на узлах и

увеличения времени работы сети является выбор минимальной мощности приемопередатчиков на узлах.

Проблема выбора дальности связи заключается в том, что данные можно передавать на небольшое расстояние (short-hop routing), отправителя до узла получателя пакеты проходят через множество ретрансляций при минимальных мощностях приемопередатчиков, или на длинные дистанции (long-hop routing), когда за несколько ретрансляций пакеты с данными достигают узла получателя [2, с.873]. Каждый из возможных вариантов передачи имеет свои достоинства и недостатки, однако отсутствует единое мнение о применимости указанных методов.

В работе [5, с.74] исследовалась энергетическая эффективность передачи данных с минимальным (две ретрансляции) и максимальным (30 ретрансляций) числом ретрансляций при разных расстояниях между узлами-ретрансляторами. В результате было выявлено, что наибольшее количество ретрансляций не гарантирует максимальную энергетическую эффективность, так же, как и передача данных с наименьшим количеством ретрансляций. Согласно [6, с.3130] передача данных на длинные дистанции в большинстве случаев является наиболее выигрышной стратегией, поскольку передача при минимальной мощности приемопередатчиков влечет вероятность появления ошибок от узла-источника до узла-получателя, а это приводит к дополнительным энергетическим затратам. Кроме того, передача данных происходит не по прямой линии, являющейся кратчайшей дистанцией и оптимальным путем, а с отклонениями по маршруту, что также приводит к дополнительным энергетическим расходам, но при передаче данных на длинные дистанции — с минимальными.

В работе [7, с.41] предложено при функционировании БАСС использовать метод смены энергетических схем. В этом случае все датчики в системе имеют одинаковый набор мощностей  $p_u = \{p_{u1}, p_{u2}, \dots, p_{un}\}$ , где  $p_{u1} - p_{un}$  — возможные мощности на датчике. В сети имеется  $N$  узлов, на каждый из которых в промежуток времени  $\Delta t$  назначен один из возможных уровней мощности.

Множество назначенных в промежуток времени  $\Delta t$  мощностей на узлах называется энергетической схемой  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ , где  $p_i$  — мощность, потребляемая  $i$ -м узлом сети. Если считать, что каждый узел назначает свою мощность независимо от других узлов, то в сети может быть в общем случае  $V_s = |P_u|^{|N|}$  комбинаций энергетических схем. При этом каждый набор энергетической схемы определяет возможные маршруты доставки пакетов с аудиоданными.

Однако существуют такие наборы, при которых невозможно построить пути для передачи заданных потоков  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ , 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),  $u$  — датчик-исток,  $v$  — датчик-сток. Множество возможных соединений между датчиками в зависимости от применяемой энергетической схемы соответственно равно  $E_s = \{E_1, E_2, \dots, E_g\}$ . Например, невозможно построить соединение, если мощности соседнего узла недостаточно для образования связи  $p_u < p_v$ . Кроме того, маршрут от узла отправителя до узла получателя не должен иметь больших задержек для поддержки заданного критического порога предоставляемого сервиса. Таким образом, остается определенное множество  $V_f$  возможных энергетических схем, которые удовлетворяют исходным условиям функционирования БАСС и связанное с ним множество  $E_f$  - оставшиеся возможные беспроводные связи между узлами.

Поскольку со временем энергия по маршруту передачи данных убывает, настанет момент, когда она окажется ниже порогового значения  $e_{th}$ , • • • котором функционирование узлов прекратится. Если на узлах были назначены разные уровни мощности, а также, если узлы, входящие в данный маршрут передачи данных, использовались на других маршрутах, то распределение энергии окажется неравномерным.

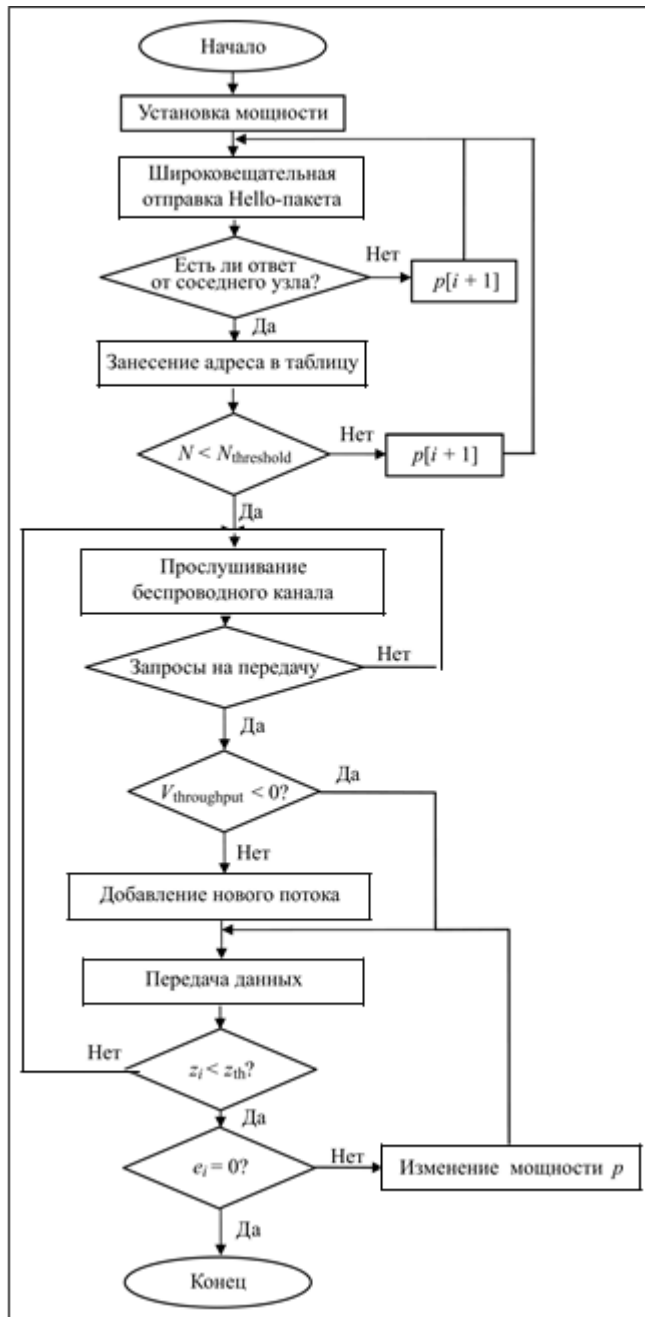
Для оптимального распределения энергии предлагается производить такую смену энергетической схемы сети со временем, которая позволит распределить энергию не только по конкретному маршруту, но и по всей сети передачи данных в целом. Отсюда возникает задача определения

последовательности смены энергетических схем на множестве  $V_f$ , а также времени нахождения сети в них, которая может быть описана и решена в терминах целочисленного линейного программирования [8, с.2].

### **Алгоритм работы узла**

Предлагается следующий алгоритм работы датчика системы (рис. 1). Прежде всего, узел устанавливает минимальную мощность передатчика и отправляет в сеть Hello-пакет для обнаружения соседних устройств. Если через определенный промежуток времени не получен ответ от соседних узлов, увеличивается мощность передатчика ( $p[i + 1]$ ) и снова отправляется Hello-пакет. Адреса обнаруженных узлов заносятся в таблицу маршрутизации узла. Для регулирования количества соседних узлов устанавливается порог  $N_{\text{threshold}}$ , ниже которого продолжается стадия обнаружения соседних узлов.

От узла источника аудиоданных до узла приемника необходимо построить дерево маршрутизации, по которому выбирается маршрут с помощью одного из алгоритмов кратчайшего пути, например, по алгоритму Дейкстры. Если пропускная способность не позволяет подключить новый поток, то данный запрос отклоняется. В момент передачи данных проверяется остаточная энергия узла. Если на узле значение энергии ниже минимально разрешенного для данной схемы, то проверяется нулевой остаток энергии. Если энергии еще достаточно для работы в других режимах, то происходит смена энергетической схемы. В случае окончательного истощения источника энергии датчик прекращает свою работу.



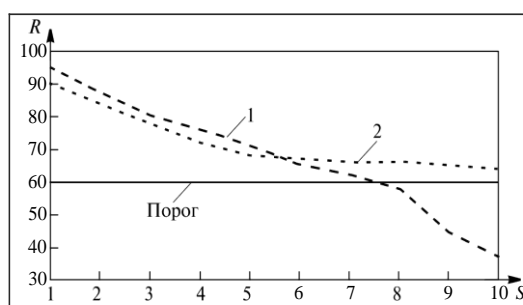
**Рисунок 1. Алгоритм работы датчика**

### **Имитационное моделирование работы басс**

В качестве базовой среды для моделирования был выбран пакет NS-2, поддерживающий все базовые функции эмулирования нижних и верхних уровней модели OSI для сенсорных сетей. Моделировалась работа системы с использованием смены энергетических схем (ЭС), а также без нее. При проведении моделирования узлы размещались в двумерной области размером  $L \times L$  ( $L = 50$  м), расположение узлов выбиралось случайным образом из

равномерного распределения от 0 до L. Также было выбрано несколько узлов в качестве источников и стоков. В сети передавалось 10 потоков аудиоданных со скоростью 16 Кбит/с каждый. Число узлов в сети 20. Приведем некоторые результаты проведенного имитационного моделирования.

На рис. 2 представлен график зависимости качества предоставляемого сервиса от количества потоков в сети без смены ЭС (кривая 1) и со сменой (кривая 2). Видно, что без использования метода разделения канала со сменой мощностей при увеличении числа потоков в сети среднее качество предоставляемого сервиса в сети снижается, и примерно при семи потоках оно становится неприемлемым. 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, искажений, потерь пакетов при передаче, констант аудио-кодеков. С увеличением количества потоков примерно до шести наступает момент, когда предлагаемый метод становится выгодным. 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.



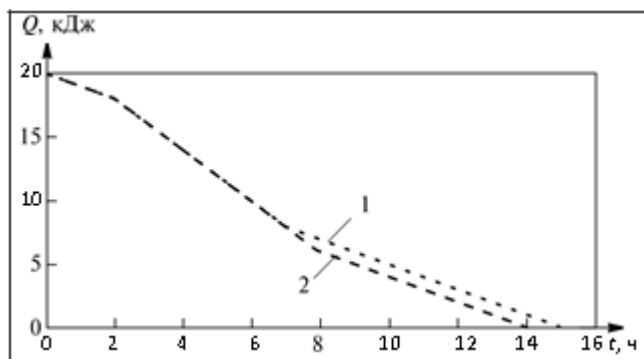
**Рисунок 2. Зависимость качества предоставляемого сервиса от числа потоков в сетях:**

кривая 1 — без смены ЭС; кривая 2 — со сменой ЭС

На рис. 3 представлена зависимость остаточной энергии на узлах от времени работы сети с использованием различных методов передачи аудиоданных: без (кривая 2) и с (кривая 1) изменением мощностей на датчиках



во время работы системы. Видно, что время работы сети со сменой ЭС увеличивается за счет распределения энергетических затрат по всей сети. Сеть со статичной дальностью связи имеет меньшее время работы при большом количестве потоков данных.



**Рисунок 3. Зависимости остаточной энергии на узлах от времени работы в сетях при различных методах передачи аудиоданных:**

кривая 1 — со сменой ЭС; кривая 2 — без смены ЭС

### **Выводы**

Беспроводные сенсорные сети имеют широкую область применения — от мониторинга окружающей среды, здравоохранения и военных целей до систем распознавания и передачи звука. В связи с этим возникают как общие проблемы, так и частные, связанные с исследуемой областью. Например, в БАСС существует проблема качества предоставляемого сервиса при передаче потоков аудиоданных, а в системах распознавания и мониторинга — проблема ограниченности технических ресурсов.

В данной статье рассмотрена проблема выбора мощности на приемопередатчиках, расположенных на сенсорных узлах сети. Обзор литературы выявил двойственность подходов к определению зависящей от выбранной мощности дальности связи на узлах. Как передача данных с множеством ретрансляций, так и передача данных без них имеет свои преимущества и недостатки. Объединение этих подходов позволило предложить новый метод функционирования беспроводной аудио-сенсорной сети с

автономными источниками питания, основанный на использовании энергетических схем, чередующихся во времени.

Проведенное моделирование предлагаемого метода показало его эффективность — увеличение времени работы сети в целом за счет равномерного распределения энергопотребления по сети.

### **Библиографический список:**

1. Карпов И. В., Карпов А. В. Организация передачи и ретрансляции звука в беспроводных сенсорных сетях // В кн.: Новые информационные технологии. Тезисы докладов XVIII Международной студенческой конференции-школы-семинара / Под общ. ред.: В. Н. Азарова, С. А. Митрофанова, Ю. Л. Леохина, Н. С. Титковой. — М.: МИЭМ, 2010. — С. 294—296.
2. Yuhua Liu, Wenwen Dai, Kaihua Xu, Meirong Zheng. A Hybrid Routing Tree to Avoid the Energy Hole Problem in Wireless Sensor Network // Business, Economics, Financial Sciences, and Management. — 2012. — Vol. 143. — P. 869—876.
3. Haenggi M. Energy balancing strategies for Wireless Sensor Networks // Wireless communications: principles and practice. Upper Saddle River. — N. J: Prentice Hall PTR. — 1996. — 641 p.
4. DataSheet: JN5148-001-Myy, NXP Laboratories, UK, 2010.
5. Kheireddine M., Abdellatif R. Short-hops vs. Long-hops-Energy efficiency analysis in Wireless Sensor Networks // Network Security Technologies: Design and Applications. — 2013. — P. 74—83.
6. Haenggi M. Twelve reasons not to route over many short hops // Vehicular Technology Conference, 2004, VTC2004-Fall. — 2004. — Vol. 5. — P. 3130—3134.
7. Восков Л.С., Ефремов С.Г., Карпов И.В. Исследование метода пространственно-повторного разделения канала в беспроводных аудио-сенсорных сетях // Качество. Инновации. Образование. — 2015. — № 9. — С. 41—47. [Voskov L. S., Efremov S. G., Karpov I. V. The research of spatial reuse channel in Wireless Audio Sensor Networks // Quality. Innovation. Education. — 2015. — № 9. — P. 41—47. (In Russian)]

8. 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. — С. 2—9. [Voskov L. S., Efremov S. G. A method for increasing lifetime of wireless sensor networks in data acquisition systems // Sensors and Systems. — 2013. — № 4 (167). — P. 2—9. (In Russian)]
9. Malhotra B., et al. Distributed classification of acoustic targets in wireless audio-sensor networks // Computer Networks. — 2008. — Vol. 52. — P. 2582—2593.
10. Bidong C. Audio recognition with distributed wireless sensor networks: thes.; University of Victoria. — Canada, 2010. — P. 59.
11. 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.