

14. Тараненко Е.А. Вирусные гепатиты (Hepatitis virosa) [Текст]. // Тезисы и доклады Международной конференции «Интегративная медицина» – К.: Алтимед, 2009. – с.35-39.
15. Kuzmuk V.V. Beitrag zum Entwurf von Ablaufsteuerungen. TH Karl-Marx-Stadt, Dissrtationschrift, Dr.-Ing., 1980. – 103 S.
16. Кузьмук В.В. Методика алгоритмического описания и моделирования параллельных процессов управления [Текст]. / В.В. Кузьмук.– К.: Наукова думка, 1981. – 56 с.
17. Кузьмук В.В. Сети Петри, параллельные алгоритмы и модели мультипроцессорных систем [Текст]. / В.В. Кузьмук, В.В. Васильев. – К: Наукова думка, 1990 – 216 с.
18. Кузьмук В.В. Модифицированные сети Петри и устройства моделирования параллельных процессов [Текст]. Монография. / В.В. Кузьмук, О.А. Супруненко. – К.: Маклаут, 2010. – 252с.

*У статті розглядається аналіз і порівняння протоколів передачі даних від сенсорних вузлів у WSN. Наведені загальні оцінки цих протоколів, що дозволяють здійснити вибір одного з них на етапі модельного проектування*

*Ключові слова: бездротова сенсорна мережа (БСС)*

*В статье рассматривается анализ и сравнение протоколов передачи данных от сенсорных узлов в БСС. Даны общие оценки этих протоколов, позволяющие осуществить выбор одного из них на этапе модельного проектирования*

*Ключевые слова: беспроводная сенсорная сеть (БСС)*

*In the article, examine analysis and comparison of data transfer protocols from sensor nodes in WSN. Given general rating of these protocols allows to choose one of them at the stage of model design*

*Keywords: wireless sensor network (WSN)*

УДК 004.057.4

# АНАЛИЗ ПРОТОКОЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ОТ УЗЛОВ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

**В. А. Иваненко**

Аспирантка

Кафедра «Сети связи»

Харьковский национальный университет

радиоэлектроники

пр. Ленина, 14, г. Харьков, 61166

E-mail: zlata\_ne@bk.ru

## 1. Введение

С появлением в начале 2000-х годов нового направления – беспроводных сенсорных сетей (БСС, Wireless Sensor Network – WSN) – исследователи, занимающиеся этим вопросом, предполагали, что в недалеком будущем эта технология приобретет глобальные масштабы. Современный мир представлялся им воплощением фантастических рассказов – огромное количество доступной и оперативной информации от миллиардов датчиков, находящихся повсюду – в теле человека, в почве, зданиях, в каждом устройстве и т.п. Спустя десятилетие стало очевидно, что WSN является перспективной, но проблемной технологией.

Основной преградой на пути ее развития является сложность проектирования за счет того, что каждая отдельная сенсорная сеть нуждается в инди-

видуальном подходе с большим количеством промежуточных этапов. Например, выбор расположения ретрансляторов производится на основе результатов натурного моделирования, связанного с проведением многочисленных экспериментов, замеров напряженности электромагнитного поля, что существенно повышает трудоемкость и стоимость процесса развертывания сенсорной сети. По сути, построение эффективной WSN производится экспериментальным путем.

Очевидно, что этот недостаток явился в связи с отсутствием обобщенного подхода к проектированию сенсорных сетей. Решение этой задачи на практическом уровне позволит в значительной степени снизить трудозатраты и финансовые расходы при внедрении систем мониторинга по принципам WSN.

Вторым фактором, препятствующем глобализации сенсорных сетей является то, что WSN – это

ad hoc сеть [1] – децентрализованная самоорганизующаяся беспроводная сеть, не имеющая постоянной структуры, следовательно, маршрутизация производится динамически на основании связности сети. Таким образом, существует множество альтернативных маршрутов передачи, причем, в связи с мобильностью узлов и изменением физических параметров среды, каналы передачи могут появляться и исчезать в любой момент времени, т.е. WSN характеризуется постоянным изменением топологии. Это делает невозможным использование тех же протоколов маршрутизации, которые используются в классических сетях.

Проблема создания специализированных протоколов до сих пор актуальна и активно исследуется. На сегодняшний день разработаны протоколы маршрутизации и распространения данных специально для WSN, в которых вопрос энергоэффективности является одним из приоритетных. Эти протоколы отличаются в зависимости от применения и сетевой архитектуры. Таким образом, задача оценки и сравнения протоколов маршрутизации в целях существенного упрощения реализации сенсорной сети, является актуальной. Для более комплексного подхода к рационализации проектирования WSN есть необходимость рассмотреть также MAC-уровень и физический уровень модели OSI, особенности которых могут существенно повлиять на эффективность WSN и ее ресурс (время эксплуатации).

**2. Анализ протоколов передачи данных в WSN**

Построение классических сетей характеризуется большим количеством этапов от идеи до готовой функциональной системы.

Упрощенно, эти этапы можно разделить на:

- 1) проектирование:
  - выяснение начальных условий – числа узлов, условий среды, критериев выбора и т.д.;
  - выбор технологий, спецификаций, протоколов и алгоритмов;
  - моделирование;
  - проверка и устранение недостатков;
- 2) реализация:
  - монтаж согласно проекту;
  - тестовая эксплуатация;
  - устранение недостатков;
  - эксплуатация.

Построение WSN проходит аналогичные этапы.

Рассмотрим детальнее этап выбора технологий, спецификаций, протоколов и алгоритмов.

Для каждого уровня имеется большое количество протоколов. Рассмотрим основные, которые наиболее часто используются.

Данная классификация имеет разделение протоколов по уровням модели OSI. Базовый принцип модели OSI – технологии, используемые на каждом из уровней, не зависят от технологий, используемых на других уровнях, что упрощает выбор протоколов.

Рассмотрим особенности каждого уровня и протоколов, относящихся к ним.

**Физический уровень** – самый нижний уровень модели предназначен непосредственно для передачи

потока данных. Он осуществляет передачу электрических или оптических сигналов в кабель или в радиоэфир и, соответственно, их приём и преобразование в биты данных в соответствии с методами кодирования цифровых сигналов. В WSN на физическом уровне широко используется стандарт IEEE 802.15.4. Он обеспечивает достаточную скорость передачи и экономию энергопотребления за счет разбиения сети на пикосети – это так называемая ad hoc (децентрализованная) система, в которой несколько независимых устройств могут непосредственно взаимодействовать друг с другом. Размеры пикосети, как правило, не превышают 10 м. Основные требования к ней – высокая скорость передачи данных, простая инфраструктура, легкость установления соединения и вхождения в сеть, наличие средств защиты данных и предоставление для определенных типов данных гарантированных параметров передачи (гарантия качества обслуживания, QoS – Quality of Service). [2].

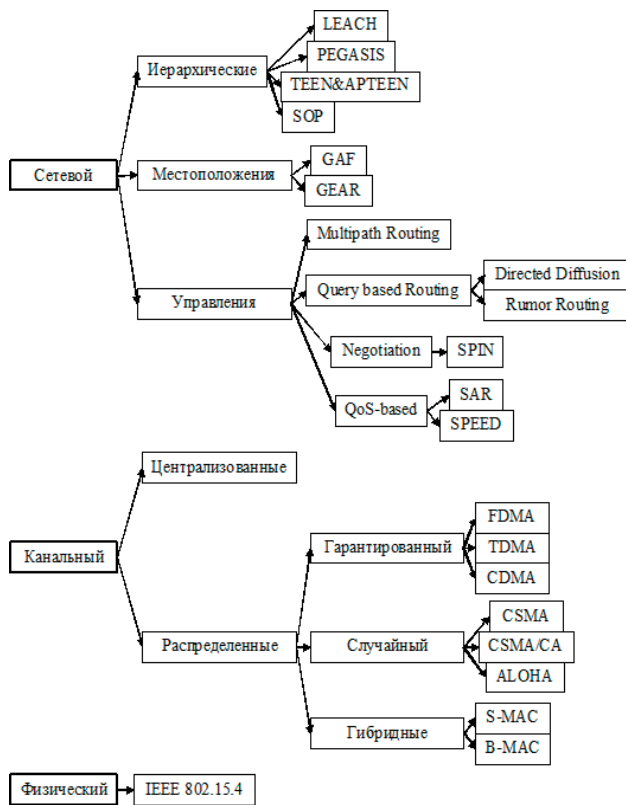


Рис. 1. Классификация основных протоколов передачи данных в WSN

WSN рассчитаны на длительный срок эксплуатации (до 10 лет). При таких сроках большое влияние оказывает изменение физической среды (в основном на каналы связи) – это и появление преград, что ведет за собой изменение условий распространения радиоволн (появление дополнительных многолучевости, затуханий или вовсе невозможность преодолеть преграду), и изменение температуры, влажности, ионизации, мощности шума, и возникновение новых источников помех, и т.п. Все это предполагает наличие гибкости параметров узлов и алгоритмов сети, т.е. возможность контролировать изменения окружающей среды и реагировать на них.

**Канальный уровень** – предназначен для обеспечения взаимодействия сетей на физическом уровне и контроля возникающих ошибок. Полученные с физического уровня данные он упаковывает в кадры, проверяет на целостность, если нужно, исправляет ошибки (формирует повторный запрос поврежденного кадра) и отправляет на сетевой уровень. Канальный уровень может взаимодействовать с одним или несколькими физическими уровнями, контролируя и управляя этим взаимодействием.

Спецификация IEEE 802 разделяет этот уровень на два подуровня – MAC (Media Access Control) регулирует доступ к разделяемой физической среде, LLC (Logical Link Control) обеспечивает обслуживание сетевого уровня [3]. В WSN для управления доступом к среде передачи (MAC-уровень) чаще всего используются распределенные протоколы: «по расписанию» и основанные на конкуренции. Примером протокола по расписанию (гарантированного доступа) является TDMA (Time Division Multiple Access - Множественный доступ с временным разделением), а конкурентного (случайного) – CSMA (Carrier Sense Multiple Access - Множественный доступ с контролем несущей). На их примере рассмотрим сравнение протоколов по расписанию и конкурентных (табл. 1), обеспечивающих системные требования к WSN (параметры).

Как видно из табл. 1, каждый из протоколов имеет свои достоинства и недостатки. Выбор протоколов канального уровня проектировщиком производится исходя из начальных условий с учетом критериев выбора для эффективного функционирования сети.

Гибридные протоколы представляют собой комбинирование основных достоинств протоколов «по расписанию» (TDMA) и «конкурентных» протоколов (CSMA).

**Сетевой уровень** - предназначен для определения пути передачи данных. Он отвечает за трансляцию логических адресов и имён в физические, определение кратчайших (эффективных) маршрутов, коммутацию и маршрутизацию, отслеживание неполадок и коллизий в сети. Протоколы сетевого уровня маршрутизируют данные от источника к получателю.

**Таблица 1**

Сравнение CSMA и TDMA в сенсорных сетях

Параметр	TDMA	CSMA
Масштабируемость	Плохо	Хорошо
Адаптивность	Плохо	Хорошо
Высокая плотность	Лучше	Плохо
Низкая плотность	Плохо	Лучше
Задержки	Хорошо	Плохо
Энергетическая эффективность	Хорошо	Плохо
Энергия для синхронизации	Плохо	Хорошо
Пропускная способность	Хорошо при многих источниках	Хорошо для одного источника
Multihop пропускная способность	Плохо	Лучше
Использование канала	Равны	Равны
Сложность алгоритмов передачи	Плохо	Хорошо
«Справедливость»	Хорошо	Плохо

Несмотря на то, что приведенные оценки мобильности, потребляемой мощности, согласованности,

**Таблица 2**

Анализ протоколов маршрутизации

	Мобильность	Потребляемая мощность	Согласованность	Агрегация данных	Локализация	QoS	Сложность структуры	Масштабируемость	Множественность путей
<b>SPIN</b>	Возможна	Ограничена	Да	Да	Нет	Нет	Низкая	Ограничена	Да
<b>Directed Diffusion</b>	Ограничена	Ограничена	Да	Да	Да	Нет	Низкая	Ограничена	Да
<b>Rumor Routing</b>	Очень ограничена	Не определена	Нет	Да	Нет	Нет	Низкая	Хорошая	Нет
<b>LEACH</b>	Фиксированные БС	Максимальна	Нет	Да	Да	Нет	Главные узлы кластера	Хорошая	Нет
<b>TEEN &amp; APTEEN</b>	Фиксированные БС	Максимальна	Нет	Да	Да	Нет	Главные узлы кластера	Хорошая	Нет
<b>PEGASIS</b>	Фиксированные БС	Максимальна	Нет	Нет	Да	Нет	Низкая	Хорошая	Нет
<b>SOP</b>	Нет	Не определена	Нет	Нет	Нет	Нет	Низкая	Низкая	Нет
<b>GAF</b>	Ограничена	Ограничена	Нет	Нет	Нет	Нет	Низкая	Хорошая	Нет
<b>GEAR</b>	Ограничена	Ограничена	Нет	Нет	Нет	Нет	Низкая	Ограниченна	Нет
<b>SAR</b>	Нет	Не определена	Да	Да	Нет	Да	Средняя	Ограничена	Нет
<b>SPEED</b>	Нет	Не определена	Нет	Нет	Нет	Да	Средняя	Ограничена	Нет

агрегации данных, локализации, качества услуг, сложности структуры, масштабируемости и множественности путей носят неопределенный характер (низкая, хорошая, ограниченная и т.п.) и не оперируют конкретными числовыми значениями, данные оценки позволяют на этапе эскизного проектирования сети осуществить выбор одного из протоколов (или их соответствующие комбинации) в качестве первого приближения.

---

### 3. Заключение

---

Анализ протоколов передачи данных, использующихся в WSN, ориентирован на выбор одного из протоколов (или их комбинаций) в целях эффективного решения задачи сети мониторинга и контроля в виду отсутствия общего алгоритма построения

сенсорных сетей. К сожалению, при переходе к сети конкретного применения общих оценок (низкая, хорошая, ограниченная и т.п.) недостаточно и выводы по конкретной ситуации могут явиться определяющими (на что разработчики сетей часто обращали свое внимание).

Маршрутизация в WSN является новой областью исследований, с ограниченным, но быстро растущим набором результатов исследований. Они нацелены на попытку продлить срок службы сенсорной сети без ущерба доставки данных.

Как видно из табл. 1 и табл. 2 протоколы сетевого и канального уровней имеют ряд преимуществ и недостатков, эффективно решают одно или несколько требований за счет ухудшения показателей других. Это обращает пристальное внимание исследователей на создание наиболее оптимальных и отвечающих требованиям WSN протоколов.

---

### Литература

1. Шахнович И. Персональные беспроводные сети стандартов IEEE 802.15.3 и 802.15.4 / И. Шахнович // Электроника наука технология бизнес, №6. – 2004 г.
2. Jiang Q. Routing Protocols for Sensor Networks / Q. Jiang, D. Manivannan // IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC'04). - 2004.
3. Heinzelman W. Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks / W. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan // IEEE Proceedings of the IEEE International Conference on System Sciences. - 2000.
4. Lindsey S. PEGASIS: Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems / S. Lindsey, C. S. Raghavendra // IEEE Aerospace Conference. - 2002.
5. Manjeshwar A. TEEN: A Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks / A. Manjeshwar, D. P. Agrawal // Proceedings of the 1st International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing (with IPDPS'01). - 2001.
6. Manjeshwar A. APTEEN: a hybrid protocol for efficient routing and comprehensive information retrieval in wireless sensor networks / A. Manjeshwar, D. P. Agrawal // Proceedings of the International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'02). - 2002.
7. Kulik J. Negotiation-Based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks / J. Kulik, W. Heinzelman, H. Balakrishnan // Wireless Networks, Vol. 8, pp. 169-185. - 2002.
8. Intanagonwiwat C. Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking / C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. S. Heidemann, F. Silva // IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 11, no. 1, pp. 2-16. - 2003.
9. Braginsky D. Rumor Routing Algorithm For Sensor Networks / D. Braginsky, D. Estrin // In the Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA'02). - 2002.