

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

А. С. Полочанский, К. С. Мулярчик

*Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь
e-mail: daltondooling@gmail.com, k.mulyarchik@gmail.com*

Дано определение понятию «качество обслуживания» для беспроводных сенсорных сетей. Выделены характеристики качества обслуживания с учетом особенностей беспроводных сенсорных сетей. Выявлена взаимосвязь характеристик качества обслуживания с технологиями различных уровней сетевой модели, проанализировано влияние используемых технологий на значения связанных с ними характеристик качества обслуживания. Определены классы задач, решаемых посредством беспроводных сенсорных сетей, и соответствующие им требования к качеству обслуживания. Исследованы характеристики качества обслуживания для модели натальной компьютерной сети с использованием эмулятора Castalia 3.2.

Ключевые слова: беспроводная сенсорная сеть; качество обслуживания; натальная компьютерная сеть; MAC-протокол.

QUALITY OF SERVICE CHARACTERISTICS ANALYSIS IN WIRELESS SENSOR NETWORKS

A. S. Polochanskiy, K. S. Mulyarchik

*Belarusian State University
Minsk, Belarus*

Quality of service definition for wireless sensor networks was given. Quality of service characteristics were defined considering wireless sensor networks features. Quality of service characteristics dependency on technologies at different network model layers was determined. Wireless sensor networks classes of problems and corresponding quality of service requirements were defined. Quality of service characteristics were analyzed using Castalia 3.2 body area network model.

Keywords: wireless sensor network; quality of service; body area network; MAC-protocol.

ВВЕДЕНИЕ

Рост потребности в оперативном получении информации о состоянии искусственных и природных объектов, оборудования, процессов, значительный рост количества таких объектов, а также развитие микроэлектроники и технологий беспроводной связи привели к возникновению особого класса телекоммуникационных систем – беспроводных сенсорных сетей. Беспроводная сенсорная сеть состоит из множества рас-

пределенных узлов (датчиков) с автономными источниками питания, способных измерять состояние окружающей среды и взаимодействовать с исполнительными устройствами. Данные, собранные узлами сети, обрабатываются и пересылаются на другие узлы или на базовую станцию. Иногда узлы сети способны сами взаимодействовать с окружающей средой посредством исполнительных устройств, например, при фиксации низкой температуры включать обогреватель, регулировать освещенность в помещении и т.п. Сенсорные сети могут быть применимы для контроля экологических параметров окружающей среды, для выявления неполадок в автоматизированных механизмах на производстве, для решения задач распознавания и во многих других областях. Миниатюризация датчиков, увеличение их вычислительных способностей, а также разработка новых алгоритмов их взаимодействия приводят к развитию и внедрению беспроводных сенсорных сетей в повседневную жизнь.

АРХИТЕКТУРА БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

Физический уровень беспроводных сенсорных сетей, а также протокол доступа к каналу описаны в стандарте IEEE 802.15.4, на базе которого построены такие протоколы, как ZigBee, WirelessHART, описывающие также и верхние уровни сетевой модели.

Существует множество MAC-протоколов для беспроводных сенсорных сетей (S-MAC, T-MAC, TRAMA, SS-TDMA и др.). Поскольку основным критерием эффективности MAC-протоколов в беспроводных сенсорных сетях является энергетическая эффективность, в протоколах канального уровня должно быть минимизировано количество системных данных, а также количество передаваемых пакетов, содержащих избыточные данные.

Основная задача протоколов сетевого уровня – обеспечить передачу пакетов, удовлетворяя при этом заданным характеристикам или ограничениям (например, при минимальных суммарных затратах энергии сети и равномерном использовании всех узлов сети). Среди протоколов маршрутизации можно выделить такие классы протоколов, как протоколы с множественными маршрутами (multipath based – Directed Diffusion), протоколы на основе запросов (query based – Rumour, ACQUIRE), на основе переговоров (negotiation based – SPIN), кластерные протоколы (LEACH, TEEN, APTEEN), протоколы с обеспечением качества обслуживания (QoS based – SPEED) и другие [1].

КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

Качество обслуживания (Quality of service – QoS) вводится в сетях для определения способности сети соответствовать заданным требованиям и характеристикам. Качество обслуживания определяет, может ли сеть предоставить необходимый сервис по передаче данных при заданных условиях. Другими словами, качество обслуживания является интегральной характеристикой и описывается набором параметров. В классических сетях в качестве таких параметров используют полосу пропускания, задержки при передаче пакетов, джиттер или разброс задержки, а также вероятность доставки пакета.

В отличие от классических сетей беспроводные сенсорные сети предоставляют сервис не только по передаче данных, но также и по сбору и их обработке. Соответственно качество обслуживания в беспроводных сенсорных сетях и его показатели также будут отличаться от классического представления [2].

К характеристикам качества обслуживания в беспроводных сенсорных сетях относят такие параметры как: задержка, пропускная способность, потери, время жизни сети, покрытие заданной области, устойчивость к изменению топологии [3].

Параметры качества обслуживания зачастую связаны между собой. В табл. 1 приведены факторы, влияющие на характеристики качества обслуживания, относящиеся к тому или иному уровню сетевой модели [4]:

Таблица 1

Взаимосвязь характеристик качества обслуживания с различными факторами реализации сетевой модели

Характеристика качества обслуживания	Физический уровень	Канальный уровень	Сетевой уровень
Задержка	Способ кодировки	Расписание доступа к каналу	Время определения маршрута, длина пути
Пропускная способность	Размер сообщений	Синхронизация доступа к каналу, избыточные пакеты	Маршрутизация по нескольким путям, дополнительные данные маршрутизации в пакете, кластеризация
Потери	Уровень шума	Коллизии	Тупиковые маршруты, заикливания
Время жизни сети	Способ кодировки, мощность передачи	Время активного/пассивного режимов, повторная передача пакетов	Использование одних и тех же узлов при построении маршрута, кластеризация
Покрытие	Мощность передачи	-	-
Устойчивость	Мощность передачи	Период смены режимов	Динамическая маршрутизация, кластеризация

В табл. 2 приведены приоритетные показатели качества обслуживания для выделенных классов задач беспроводных сенсорных сетей по топологии сети и по модели передачи данных:

Таблица 2

Приоритетные показатели качества обслуживания для различных классов задач беспроводных сенсорных сетей

	Сети со статичными узлами	Сети с мобильными узлами
Периодическое измерение показателя	Время жизни	Время жизни
Постоянное измерение показателя	Задержка, пропускная способность	Устойчивость, задержка
Детектирование события	Гарантия доставки (надежность) за предсказуемый период времени	Устойчивость, потери
Измерение показателя по запросу	Потери, задержка	Устойчивость, потери

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЛЯ НАТЕЛЬНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ

Для исследования параметров качества обслуживания беспроводных сенсорных сетей использовался симулятор беспроводных сенсорных сетей Castalia 3.2. Цель исследования заключалась в оценке параметров качества обслуживания в зависимости от используемых MAC-протоколов и их параметров на примере модели натальной компьютерной сети (Body Area Network). Модель представляет собой шесть узлов беспроводной сенсорной сети, размещенных на отдельных участках человеческого тела. Пять узлов с заданной периодичностью отправляют пакеты данных в шестой. Расстояние между узлами не определено, вместо этого задана карта потерь, которая определяет, сколько мощности теряется при передаче от одного узла другому. Кроме того, для беспроводного канала задана временная зависимость потерь. Таким образом моделируется мобильность узлов. Настройки системы моделирования позволяют отключить эту опцию, чтобы исследовать сеть в «чистом» канале с неподвижными узлами.

При моделировании заданы следующие параметры: время симуляции – $t_{sim} = 51c$, из которой $1c$ отводится для настройки узлов, размер пакета $s_p = 100$ байт, размер заголовка пакета $s_h = 5$ байт, пропускная способность канала связи – 1024 КБ/с. При исследовании проводилось сравнение трех MAC-протоколов – T-MAC, ZigBeeMAC и BaselineMAC. BaselineMAC является реализацией стандарта IEEE 802.15.6 [5], разработанного специально для натальных компьютерных сетей. В зависимости от выбора протокола и их параметров был проведен анализ параметров качества обслуживания – задержки, потерь и энергопотребления.

Все моделирования проводились для пяти наборов данных, чтобы уменьшить влияние случайных эффектов, таких как замирания в канале связи, различное время запуска узлов, случайные значения параметров, влияющих на работу MAC-протоколов и прочее.

В ходе исследования были определены оптимальные для данной модели значения скорости передачи пакетов $r_p = 20$ пакетов/с и мощности передачи $p_t = -12$ дБм исходя из значений потерь, времени доставки и энергопотребления.

В ходе моделирования с использованием протокола ZigBee были рассмотрены два режима работы – с использованием GTS (Guaranteed Time Slot) и без. Каждый фрейм в данной симуляции состоит из 16 слотов. При использовании GTS каждому из 5 узлов выделяются 3 слота, в течении которых узел получает доступ к каналу. При выключенном режиме GTS доступ ко всем слотам предоставляется на основе конкуренции.

Исследования показали, что при использовании GTS большинство пакетов доставляется в пределах одного фрейма (120 мс для данной симуляции). Однако незначительное количество пакетов доходит с большим опозданием, что вызвано переполнением буфера и «напрасным» ожиданием. С увеличением скорости передачи количество пакетов, доставленных с большой задержкой будет расти. Таким образом необходимо выбирать режим работы протокола в зависимости от приоритетных задач и заданных параметров. Включение GTS увеличивает надежность передачи, за счет того, что количество пакетов, потерянных в результате коллизий уменьшается. Однако GTS не влияет на количество пакетов, потерянных в результате помех в канале связи.

Энергопотребление меньше при включенном GTS, т.к. передающие узлы прослушивают канал только в течении выделенного времени. Среднее значение потреб-

ленной энергии по всем узлам при включенном GTS – 0,038 Дж, в то время как при выключенном – 0,061 Дж.

Моделирование с использованием протокола BaselineMAC было проведено в двух режимах – с варьированием количества слотов, предназначенных для доступа по расписанию и произвольного доступа и с варьированием количества попыток пересылок пакета в случае неудачи.

В ходе исследования было выявлено, что увеличение количества слотов, предназначенных для случайного доступа, ведет к уменьшению задержки для данной скорости передачи пакетов, также уменьшается энергопотребление, а заметных различий в потерях не наблюдается, не считая небольшого роста числа коллизий. Увеличение количества попыток передачи данных ведет к увеличению задержки доставки пакета. При единственной попытке переслать (по умолчанию протокол пытается дважды) задержка в большинстве случаев минимальна, однако в случае неудачи данные будут потеряны. При повторных передачах данных увеличивается вероятность коллизий за счет увеличения числа пакетов в сети. Это говорит о том, что при повторной передаче данных необходимо контролировать доступ к каналу и отдавать предпочтение доступу по расписанию перед произвольным доступом.

В завершение исследований было проведено сравнение трех протоколов с настройками, показавшими наилучшие результаты для данной симуляции. Сравнивались протоколы TMAC, ZigBeeMAC с GTS и BaselineMAC с количеством повторных передач данных 2 и конфигурацией фрейма, при которой 15 слотов отводится для доступа по расписанию и 17 – для произвольного доступа.

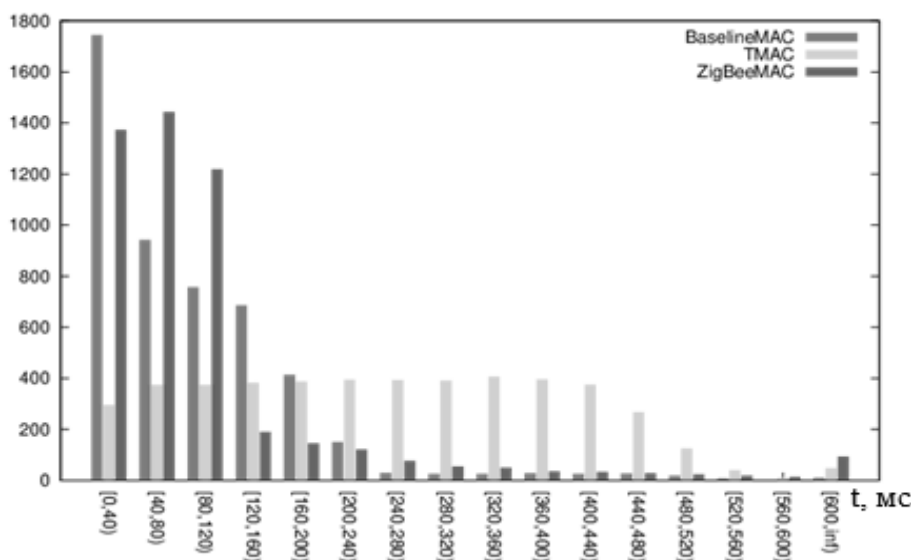


Рис. 1. Гистограмма количества доставленных пакетов за разные промежутки времени для разных MAC-протоколов

BaselineMAC и ZigBeeMAC конкурируют между собой по задержке доставки, большинство пакетов ZigBee доставляет в пределах 120 мс, однако не следует забывать о пакетах, доставка которых задерживается на длительное время. В TMAC задержка распределена практически равномерно в пределах полусекунды, однако если для приложения важна скорость доставки, применять этот протокол не целесообразно.

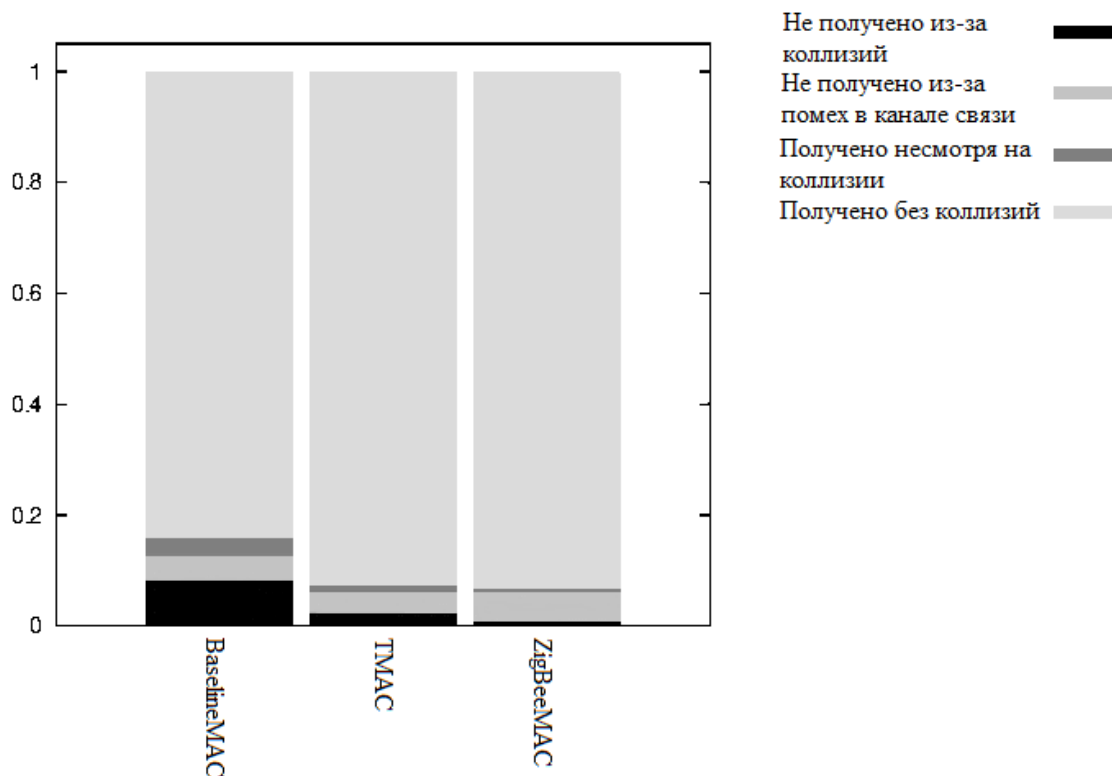


Рис. 2. Отношение доставленных пакетов к потерянным для разных MAC-протоколов

В отношении надежности передачи ZigBee выглядит наиболее подходящим протоколом, практически не уступает ему TMAC. За счет повторной генерации пакетов в BaselineMAC количество коллизий больше, чем у других протоколов. Таким образом для данного приложения BaselineMAC – быстрый, но не самый надежный протокол.

В завершение было рассмотрено среднее энергопотребление по узлам для сравниваемых протоколов (табл. 3). Наиболее экономным оказался ZigBee, а наименее – BaselineMAC протокол.

Таблица 3

Энергопотребление узлов для разных MAC-протоколов

Протокол	ZigBeeMAC	TMAC	BaselineMAC
Энергопотребление, Дж	0,038	0,059	0,073

Исследуемая задача с применением натальной компьютерной сети может быть отнесена к тому классу задач, где наибольшее значение имеет скорость доставки пакетов. Если речь идет о мониторинге состояния пациента, важно обнаружить отклонения

от нормы с минимальной задержкой и принять соответствующие меры. Для таких приложений ZigBeeMAC и BaselineMAC протоколы являются наиболее подходящими, а если учесть энергопотребление и надежность доставки, то предпочтение следует отдать протоколу ZigBeeMAC.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Xia F. QoS challenges and opportunities in wireless sensor/actuator networks // *Sensors*. 2008. V. 8. № 2. P. 1099–1110.
2. Balen J., Zagar D., Martinovic G. Quality of service in wireless sensor networks: a survey and related patents // *Recent Patents on Computer Science*. 2011. V.4. P. 188–202.
3. Wang Y., Liu X., Yin J. Requirements of quality of service in wireless sensor network // *Proceedings of the International Conference on Networking, International Conference on Systems and International Conference on Mobile Communications and Learning Technologies*. Washington, DC, USA. 2006.
4. Ramassamy C., Fouchal H., Hunel P. Impact of application layers over wireless sensor networks // *Lecture Notes in Informatics*. Bonn, Germany. 2012.
5. Ullah S., Mohaisen M., M. A. Alnuem. A Review of IEEE 802.15.6 MAC, PHY, and Security Specifications // *International J. of Distributed Sensor Networks*. 2013. V.9. № 4.