

УДК 621.391

Исследование особенностей реализации алгоритмов доступа к среде в мобильных самоорганизующихся сетях связи

Бахтин А.А.*, Волков А.С.*, Баскаков А.Е.***

Национальный исследовательский университет

«Московский институт электронной техники», площадь Шокина, 1,

Москва, Зеленоград, 124498, Россия

**e-mail: bah@miee.ru*

***e-mail: leshvol@mail.ru*

****e-mail: ab.zhelp@ya.ru*

Аннотация

С учетом тенденций развития мобильных самоорганизующихся сетей связи, в течение последующих нескольких лет увеличится количество технологий и систем связи, использующих принцип построения сетевой инфраструктуры без использования базовой станции, следовательно, выявляется все больше задач, которые должны быть решены на канальном уровне разрабатываемой системы связи. Отсутствие базовой станции в топологии сети создает задачу построения маршрута доставки сообщений [1]. Мобильность узлов сети накладывает дополнительные ограничения на систему связи, поскольку возникает задача передачи служебных и информационных кадров в условиях непостоянного соединения между узлами. В данной статье рассмотрены основные положения известных алгоритмов доступа к среде: возможных для

реализации в мобильных самоорганизующихся сетях и разработанных специально для вышеуказанных сетей связи. Выполнено исследование их эффективности путем моделирования данных алгоритмов в программной среде Network Simulator 3. На основе проведенной работы указаны рекомендации по разработке алгоритма доступа к среде для мобильных самоорганизующихся сетей и поставлены задачи к дальнейшим исследованиям.

Ключевые слова: уровень Media Access Control (MAC), алгоритм доступа к среде, режим Ad-Hoc.

С учетом тенденций развития мобильных самоорганизующихся сетей связи, в течении последующих нескольких лет увеличится количество технологий и систем связи, использующих принцип построения сетевой инфраструктуры без использования базовой станции. Повышенный интерес к разработке таких систем наблюдается в сферах малой авиации, беспилотных летательных аппаратов, автомобильного транспорта, специализированной наземной связи и др. Использование технологии мобильных самоорганизующихся сетей связи позволит расширить зону обслуживания сети за счет передачи сообщений, а именно их ретрансляции абонентами данной сети независимо от их основного назначения [2]. Такой подход основан на основном принципе построения сетей связи с переменной топологией – динамическим построением маршрутов в сети связи. Очевидно, что перестройка топологии сети и

маршрутов внутри нее производится динамически при передвижении отдельных узлов сети, таким образом, каждое устройство сети может двигаться независимо от других, в любом направлении, следовательно, будет достаточно часто устанавливать и разрывать отдельные соединения с соседними узлами. При разработке вышеуказанной системы связи стоит учитывать не только важность построения маршрутов сети, то есть сетевой уровень, но и нижестоящие уровни. Рассмотрим подробнее роль канального уровня такой системы. Роль канального уровня в системах связи, а именно MAC-подуровня, состоит в организации коллективного доступа к радиоканалу. Соответственно нерациональная организация коллективного доступа к радиоканалу или заполнение сети служебными запросами может снизить скорость передачи пакетов в сети или вовсе остановить ее работу независимо от других уровней. Таким образом, на канальном уровне узлов мобильной самоорганизующейся сети должен быть использован алгоритм доступа к среде, обеспечивающий эффективное использование ресурсов в условиях постоянно изменяющейся топологии и количества узлов сети.

Анализ существующих алгоритмов доступа к среде

Одним из наиболее распространенных алгоритмов доступа к среде является алгоритм CSMA\CA, описанный в стандарте 802.11. При использовании данного алгоритма, перед передачей информационного сообщения, узел сети инициирует отправку управляющего кадра RTS (Request To Send – запрос на отправку), если канал связи свободен - целевой абонент отвечает отправителю CTS кадром (Clear To Send –

разрешение отправки), в противном случае отправка сообщения откладывается. Помимо отправителя CTS кадр получают и все устройства в сети, находящиеся в зоне радиовидимости целевого узла, на основе получения этого кадра узлы откладывают передачу данных. Если передача сообщения прошла успешно, узлу-отправителю посылается служебный сигнал ACK, подтверждающий успешную передачу. Использование данного алгоритма решает проблему скрытого узла (рис.1), возникающую при одновременной попытке передачи сообщений двумя или более узлами сети, не находящимися в прямой радиовидимости [3-5]. Таким образом, узел-ретранслятор получает сигнал от узлов, не находящихся в прямой радиовидимости, в результате чего узел не получит сообщения ни от одного из передающих узлов.

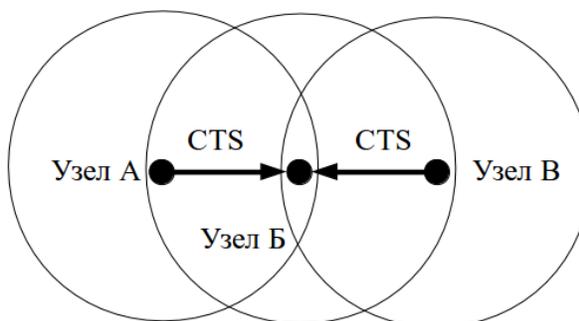


Рисунок 1 – Проблема скрытого узла

Предшественником алгоритма доступа к среде CSMA\CA является алгоритм МАСА (множественный доступ с избеганием коллизий), основное отличие этих алгоритмов заключается в использовании дополнительного служебного кадра ACK, подтверждающего успешное получение сообщения, то есть в алгоритме МАСА данное подтверждение не реализовано. На рис.2 представлена передача информационного

сообщения узлом А к узлу Б, используя вышеуказанные алгоритмы доступа к среде. [6, 7].

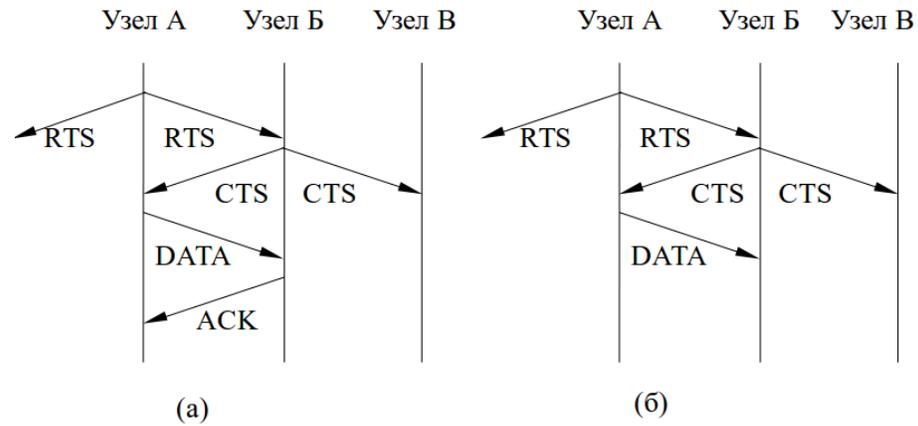


Рисунок 2 – Сравнение режимов работы алгоритмов доступа к среде CSMA\CA (а) и MACA (б)

Рассмотренные алгоритмы основаны на принципе передачи служебных кадров перед передачей каждого сообщения для избегания коллизий, следовательно, в условиях работы мобильных самоорганизующихся сетей такой подход создает три основные проблемы:

- возможная недоставка кадров из-за потери соединения с узлом во время его передвижения;
- увеличивающийся с ростом узлов поток служебных кадров;
- невозможность одновременного использования канала для служебных и информационных кадров.

Для решения данных проблем был разработан алгоритм доступа к среде ММАС (multichannel multiple access – многоканальный множественный доступ). Принцип

работы ММАС основан на наличии двух или более каналов связи у каждого узла в сети: отдельных каналов связи для передачи служебных и информационных кадров. Такой подход позволяет устранить проблему недоставки служебного кадра при передаче информационного и наоборот, поскольку каждый из типов кадров обрабатывается отдельно в своем канале, но увеличивает энергопотребление узлов сети, так как количество каналов в них, а соответственно количество приемо-передающих трактов и требуемых вычислительных ресурсов, увеличивается [8].

По вышеуказанной причине был разработан протокол доступа к среде LCM MAC, который наследует принцип разделения служебных кадров от информационных, но использует лишь один канал связи. Принцип работы алгоритма LCM MAC заключается во временном разделении канала связи, то есть поочередной передаче служебных и информационных кадров в строго ограниченных временных окнах (рис.3) [9].

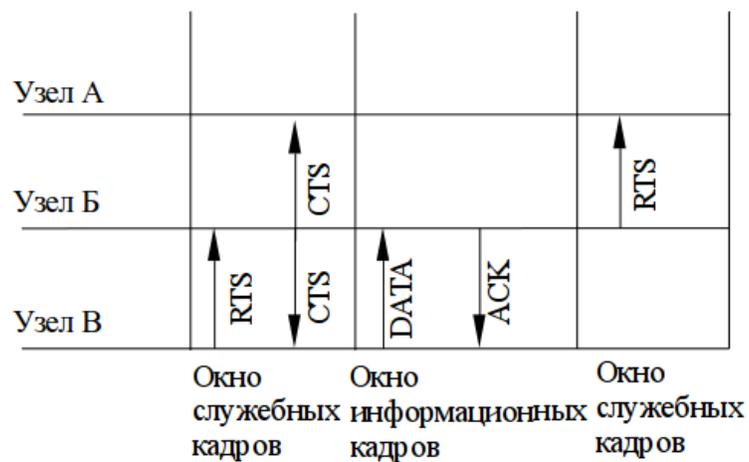


Рисунок 3 – Принцип работы алгоритма доступа к среде LCM MAC

Использование алгоритма LCM MAC вносит дополнительную задачу синхронизации абонентских узлов для корректного приема кадров каждого типа. Так как узлы в мобильной самоорганизующейся сети работают в условиях отсутствия базовой станции и их тактовые сигналы не согласованы между собой, следовательно, два узла могут прослушивать служебный и информационный слоты в разное время [10, 11].

Моделирование рассмотренных протоколов в программной среде

Network Simulator 3

Для разработки усовершенствованного алгоритма доступа к среде было проведено моделирование рассмотренных ранее алгоритмов, с целью выявления пригодности и оценки их эффективности экспериментальным способом. В качестве исследуемых параметров (характеристик), выбраны: пропускная способность, скорость доставки пакетов и задержка по всему маршруту.

Моделирование было выполнено в программной среде имитационного моделирования Network Simulator 3, представляющей собой сетевой симулятор дискретных событий, предназначенный для исследовательских и образовательных целей.

При проведении моделирования алгоритмов доступа к среде в мобильных самоорганизующихся сетях связи использовались следующие условия:

- Область моделирования – 1000x1000 метров;

- количество узлов – 5-30 с шагом 5;
- тип траффика – CBR;
- длина пакета данных – 512 байт;
- MAC протокол: CSMA, MACA, LCM MAC, ММАС;
- протокол маршрутизации – DSR;
- первоначальное положение узлов – случайное;
- время моделирования – 130 секунд.

На рис.4 показан график зависимости средней задержки по всему маршруту от количества узлов в сети, для алгоритма CSMA\CA данная задержка составила от 1 до 9 секунд, что является лучшим результатом из рассматриваемых алгоритмов доступа к среде. Для алгоритмов MACA, LCM MAC и ММАС среднее значение задержки выше, это обуславливается повышенным количеством служебных кадров при столкновении с проблемой скрытого узла и попытке ее решения путем ограничения доступа к среде, когда один из соседних узлов начинает передачу.

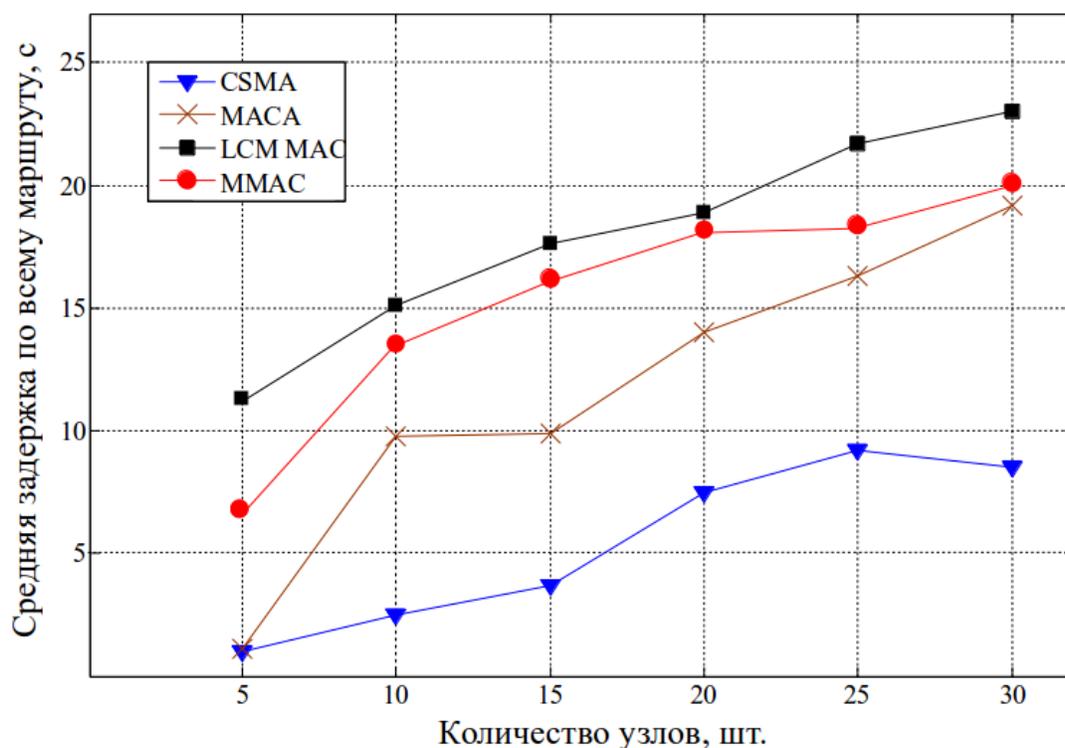


Рисунок 4 – График зависимости средней задержки по всему маршруту от количества узлов в сети

На рис.5 представлен график зависимости пропускной способности сети от количества узлов. Из графика следует, что алгоритм MMAC предоставляет наивысшую пропускную способность сети: 2450 бит/с при 5 узлах и 1380 бит/с при 30, это можно объяснить использованием двух различных каналов для служебных и информационных сообщений, таким образом, данный алгоритм менее подвержен влиянию проблемы перегруженности сети служебными кадрами. Обратный эффект наблюдается на примере алгоритма MACA, увеличение количества узлов значительно снижает пропускную способность сети из-за переполнения RTS-CTS кадрами. При тесте с 25 узлами в сети, алгоритм CSMA\CA показал лучший результат чем LCM MAC, но данный момент объясняется случайными положением узлов на начальный

период времени и передачи информационных сообщений, так как в остальных пяти тестах данный факт не подтвердился.

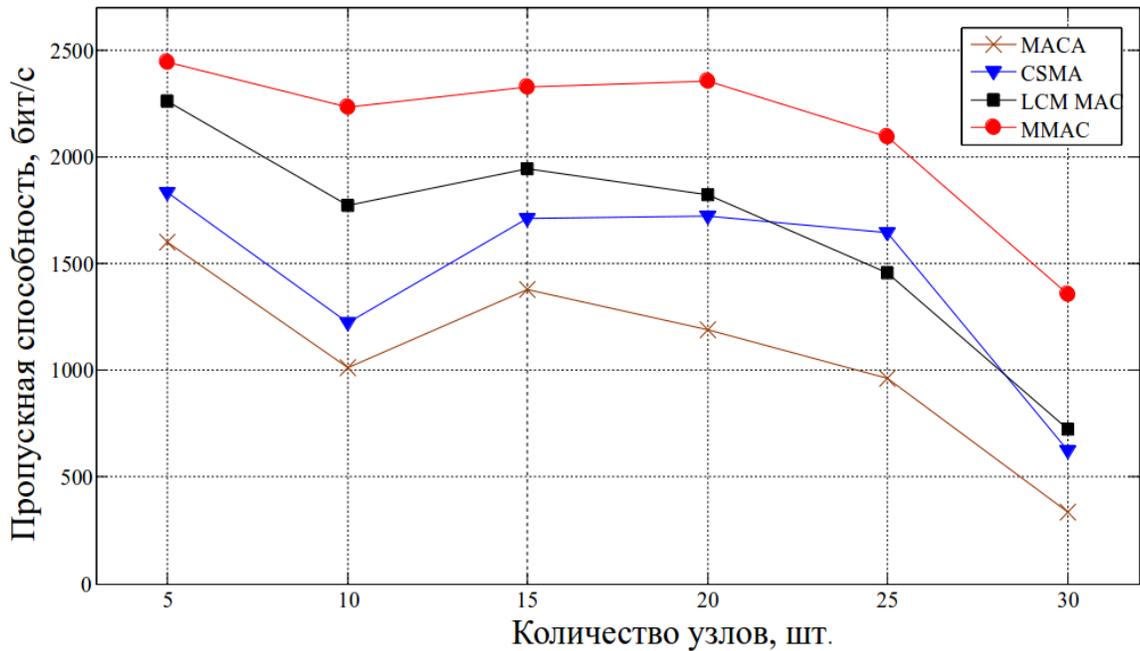


Рисунок 5 – График зависимости пропускной способности сети от количества узлов

На рис.6 представлена зависимость коэффициента доставки пакетов от количества узлов в сети. Наибольший процент успешно доставленных пакетов – от 55 до 93% показал алгоритм MMAC, LCM MAC показал похожий результат: от 47 до 76%, но моделирование без учета синхронизации с использованием данного алгоритма не дало результатов из-за описанной ранее проблемы несоответствия тактовых сигналов отдельных узлов. Худшим алгоритмом доступа к среде в данном тесте является MACA, коэффициент доставки пакетов которого при 30 узлах в сети упал до

10%, что объясняется переполнением канала служебными кадрами, следовательно, невозможностью доставки информационных сообщений.

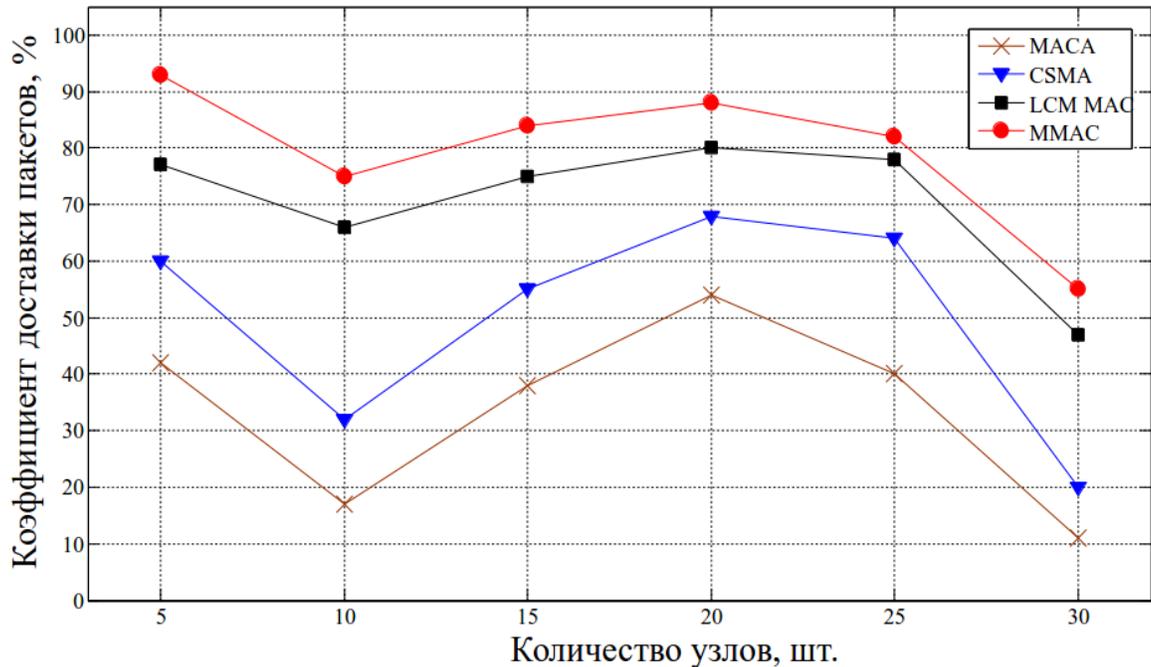


Рисунок 6 – График зависимости коэффициента доставки пакетов от количества узлов

Анализ результатов моделирования показал, что алгоритмы доступа к среде MMAC и LCM MAC показывают лучший коэффициент доставки пакетов и пропускную способность сети в сравнении с алгоритмами MOCA и CSMA\CA (в среднем на 20% и 500бит/с соответственно), но из их описания очевидно, что они требуют больше ресурсов на свою реализацию, а именно использование нескольких каналов связи на одном устройстве и синхронизации узлов для первого и второго алгоритмов соответственно. Стоит отметить, что рассматриваемые алгоритмы доступа к среде не предусматривают использования сторонней информации о качестве сигнала, полученной с соседних уровней модели OSI, то есть межуровневого взаимодействия.

Получение такой информации могло бы существенно повлиять на работу сети в целом. На основе вышесказанного следует, что актуальной задачей исследования и разработки мобильной самоорганизующейся системы связи, а именно ее канального уровня, является решение ряда задач:

- переполнение канала служебными сообщениями;
- значительное снижение пропускной способности сети при повышении количества узлов;
- недоставка пакетов при увеличении количества узлов;
- невозможность одновременного прослушивания служебных сообщений и передачи информационных сообщений без использования дополнительных каналов;
- незадействованная информация с других уровней модели OSI.

Выводы

В статье представлены основные положения и принципы работы известных алгоритмов доступа к среде для мобильных самоорганизующихся сетей связи. Указаны недостатки отдельно взятых алгоритмов и их функциональные особенности. Проведено моделирование рассмотренных алгоритмов в среде имитационного моделирования Network Simulator 3. Результаты моделирования показали эффективность применения рассмотренных алгоритмов в мобильных

самоорганизующихся сетях и позволили поставить задачу на дальнейшее исследование и разработку алгоритма доступа к среде передачи данных.

Библиографический список

1. Tariq S. Mac algorithms in wireless networks // Applications, Issues and Comparisons. Umea University, Sweden, 2005, pp. 1 – 61.
2. Wu S. L. et al. A new multi-channel MAC protocol with on-demand channel assignment for multi-hop mobile ad hoc networks // Proceedings of International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks, I-SPAN 2000, 2000, pp. 232 - 237.
3. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Amendment 4: Further Higher Data Rate in the 2.4 GHz Band // IEEE Std 802.11g-2003 (Amendment to IEEE Std 802.11), 1999 Edition).
4. Wang X., Kar K. Throughput modelling and fairness issues in CSMA/CA based ad-hoc networks. INFOCOM 2005 // 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings of IEEE, 2005, vol. 1, pp. 23 - 34.
5. Jamieson K., Balakrishnan H., Tay Y. C. Sift: A MAC protocol for event-driven wireless sensor networks // EWSN, 2006, vol. 6, pp. 260 - 275.
6. Bharghavan V., Demers A., Shenkar S., Zhang L. MACAW: a media access protocol for wireless LAN's // Proceedings of the SIGCOMM 94 Conference of Communications architectures, protocols and applications, 1994, pp. 212 - 225.

7. Karn P. MACA-a new channel access method for packet radio // ARRL/CRRL Amateur radio 9th computer networking conference, 1990, vol. 140, pp. 134 - 140.
8. So J., Vaidya N.H. Multi-channel mac for ad hoc networks: handling multi-channel hidden terminals using a single transceiver // Proceedings of the 5th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing. Tokyo, 24-26 May 2004, pp. 222 - 233.
9. Timmers M. et al. A distributed multichannel MAC protocol for cognitive radio networks with primary user recognition. Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, 2007. CrownCom 2007 // 2nd International Conference on IEEE, USA, August 2007, pp. 216 - 223.
10. Богданов А.С., Шевцов В.А. Выбор способа синхронизации в имитационной модели адаптивных алгоритмов определения местоположения и управления // Труды МАИ. 2015. № 84. URL: <http://trudy.mai.ru/published.php?ID=63136>
11. Semenova A., Simonova O., Omelyanchuk E. On Connectivity Maintenance Problems in Planetary Robotics MANET // International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies, ICCICCT-2015, Kumaracoil, India, 18-19 December 2015, pp. 621 - 625.