

## ПРОБЛЕМА ГОЛОДАНИЯ СЕТЕВЫХ ПОТОКОВ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

Л.И. Худогова

Томский политехнический университет

[likhud@tpu.ru](mailto:likhud@tpu.ru)

### Введение

В настоящее время беспроводные сенсорные сети (wireless sensor networks) получают все более широкое применение, как в промышленности, так и в повседневной жизни. Простота развертывания, относительно низкая стоимость, возможность установки сетей на огромных площадях, полное отсутствие кабелей и высокая надежность сделали беспроводные сенсорные сети наилучшим инструментом построения распределенных систем сбора данных, управления и мониторинга.

Среди технологий, используемых для передачи данных в беспроводных сенсорных сетях, наибольшую популярность завоевала технология Wi-Fi, основанная на стандарте связи IEEE 802.11. В частности, его модификация IEEE 802.11s позволяет создавать иерархические беспроводные ad hoc (самоорганизующиеся) сети с мобильными и статическими узлами (multi-hop, mesh-сети).

В сетях стандарта IEEE 802.11 на MAC-уровне реализуется сетевой протокол Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance (CSMA/CA), в котором каждая станция «прослушивает» канал перед попыткой передачи данных для того, чтобы избежать одновременной передачи по одному и тому же каналу. Если канал уже занят, станция откладывает передачу на определенный отрезок времени, после чего повторяет попытку. Таким образом, за счёт снижения вероятности коллизий и многочисленных повторных попыток передачи достигается значительное улучшение производительности сети.

Данный метод работает эффективно в случае, если все станции (узлы сети) находятся в области передачи (Transmission range) относительно друг друга. Однако в mesh-сетях узлы зачастую находятся вне области передачи других узлов. Поэтому информация о состоянии канала, поступающая на такой узел, будет неполной, т.к. он не сможет «услышать» передачу с других, «скрытых» узлов. В результате этого возможность получения доступа к каналу становится неравномерной среди узлов сети, и возникает явление, называемое голоданием сетевых потоков – ситуация, когда часть потоков «захватывает» весь канал, в то время как пропускная способность других потоков близка или равна нулю.

### Исследование проблемы и путей ее решения

В целях решения проблемы «скрытых узлов» стандартом IEEE 802.11 рекомендуется использовать механизм RTS/CTS (Request To Send/Clear To

Send) [1]. Узел перед отправкой информации посылает кадр RTS (запрос на отправку), резервируя таким образом канал. Принимающий узел отвечает кадром CTS (разрешение отправки). После получения CTS-кадра узел-отправитель посылает кадр данных (DATA) и, если требуется, кадр подтверждения (ACK). Короткий межкадровый интервал SIFS между передаваемыми кадрами не дает другим станциям получить доступ к среде. Любой другой узел, получивший CTS-кадр, должен отложить отправку информации, пока среда не будет свободной на протяжении временного интервала DIFS (если последний кадр узла был передан успешно) или EIFS (если при передаче последнего кадра от данного узла была зафиксирована ошибка и узел передает кадр повторно). Количество времени, которое должен ожидать другой узел перед попыткой доступа к каналу, записано в кадрах RTS и CTS. Процедура отсрочки выполняется каждый раз после попытки передачи. При этом обновляется значение вектора распределения сети (NAV) – таймера обратного отсчета, отражающего ближайший период времени, когда среда будет занята. Алгоритм работы RTS/CTS представлен на Рис. 1.

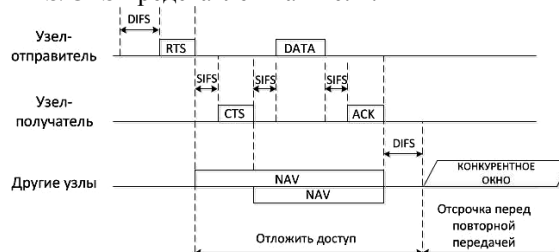


Рис. 1. Механизм RTS/CTS

К преимуществам использования механизма RTS/CTS можно также отнести то, что узел, отправивший RTS и не получивший CTS, экономит время и передает заново только короткий кадр RTS вместо большого кадра данных. Однако даже при использовании RTS/CTS для различных узлов наблюдается неравномерное распределение способности зарезервировать канал, и, как следствие, пропускная способность потоков также варьируется от максимально возможной до нулевой [2].

Для защиты потоков от голодания можно воспользоваться разными способами. Одним из путей решения является модификация протокола MAC-уровня. Так, в работе [3] авторы предлагают внести изменения в механизм предварительного обмена сообщения на MAC-уровне, а работа [4] посвящена повышению эффективности использова-

ния полосы пропускания в MAC-протоколе IEEE 802.11 посредством эффекта захвата частоты на физическом уровне. Тем не менее, несмотря на предлагаемые исправления в MAC-протоколе, призванные улучшить пропускную способность потоков, в multi-hop ad hoc сетях может по-прежнему наблюдаться голодание вследствие конкуренции, возникающей из-за зависимости от расположения узла в пространстве, и механизма отсрочки передачи.

В работе [5] предлагается на MAC-уровне использовать разработанный авторами алгоритм FBEB. Данный алгоритм позволяет увеличить использование канала голодающими потоками в 7 раз, однако вместе с тем общая пропускная способность падает на 20 %. Предложенный алгоритм применим лишь при краткосрочных сеансах передачи.

Другим вариантом уменьшения явления голодания потоков может быть обмен кадрами RTS/CTS между узлом и шлюзом. При необходимости передать сообщение узел посылает кадр RTS не на узел-приемник, а на шлюз. Т.к. все узлы получают кадр CTS, отправленный шлюзом, они откладывают передачу до тех пор, пока среда не освободится. Недостаток этого метода заключается в том, что параллельная передача по другим потокам не может быть выполнена, а следовательно, пропускная способность и скорость работы сети значительно падают.

Третьим способом решения проблемы является использование нескольких каналов для передачи с разных узлов, как предложено в [6]. Каждому каналу назначен конкретный радиointерфейс, что позволяет исключить ситуацию, когда все потоки конкурируют за один канал. Однако эффективность такого решения, в частности, количественные показатели энергетических и временных затрат на переключение между каналами, должны быть тщательно оценены, как и возможность реализации в mesh-сети с большим количеством узлов.

Самым эффективным направлением, на наш взгляд, является разработка маршрутных алгоритмов для протокола транспортного уровня, позволяющих снизить активность одних потоков и повысить активность других, не теряя при этом в пропускной способности. Хотя многие авторы утверждают, что изменения, вносимые лишь на транспортном уровне без изменения MAC-протокола, не смогут решить проблему голодания, исследования показали, что такое решение может быть найдено. В частности, в работе [7] демонстрируется согласованный алгоритм отслеживания перегрузок, позволяющий значительно снизить неравномерность распределения пропускной способности канала, который, однако, не учитывает влияния «скрытых узлов». Таким образом, дальнейшим предметом исследований станет раз-

работка алгоритма, позволяющего решить проблему голодания потоков, учитывая при этом «скрытые узлы» и сохраняя высокую пропускную способность сети.

### Заключение

Беспроводные сенсорные сети, использующие стандарт IEEE 802.11 при передаче данных, подвержены явлению голодания, при котором пропускная способность одних сетевых потоков, полностью «захвативших» канал передачи данных, максимальна, в то время как другие потоки не могут пробиться к «занятому» каналу и «голодают», а их пропускная способность близка к нулю. Данная проблема рассматривалась во многих работах. По результатам проведенных исследований литературных источников были определены возможные пути решения проблемы. К наиболее перспективным способам относятся модификация протокола на MAC-уровне, организация передачи кадров шлюзу, а не узлу-получателю, использование многоканальной среды передачи, а также модификация протокола транспортного уровня.

### Литература

1. IEEE 802.11-2012, IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks – Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE Computer Society, 2012.
2. A. Lyakhov, I. Pustogarov, A. Safonov, M. Yakimov. Starvation effect study in IEEE 802.11 mesh network. Third IEEE International Workshop on Enabling Technologies and Standards for Wireless Mesh Networking, Macao, China, Oct. 12, 2009.
3. V. Bharghavan, A. Demers, S. Shenker, L. Zhang, MACAW: a media access protocol for wireless LAN's, in: Proceedings of SIGCOMM '94, London, UK, September 1994.
4. M. Cesana, D. Maniezzo, P. Bergamo, M. Gerla. Interference aware (IA) MAC: an enhancement to IEEE802.11b DCF, in: Proceedings of IEEE VTC'03, Orlando, Florida, USA, October 2003.
5. Ronasi K., Gopalakrishnan S., Wong V. Flow starvation mitigation for wireless mesh networks. Dept. of Electr. & Comput. Eng., Univ. of British Columbia, Vancouver, 2009.
6. Yanyan Yang, Yunhuai Liu, Qian Zhang and Lionel M. Ni, "Level the Buffer Wall: Fair Channel Assignment in Wireless Sensor Networks," (PDF), in Computer Communications (ComCom), 33(12): 1370-1379, 2010.
7. A. Raniwala, D. Pradipta, and S. Sharma. End-to-end flow fairness over IEEE 802.11-based wireless mesh networks, in Proc. of IEEE Infocom, Anchorage, AK, May 2007. свободный.