

УДК 681.324

ВЫДЕЛЕНИЕ РЕСУРСОВ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ТСП-ПОТОКОВ В AD НОС СЕТЯХ С ДИНАМИЧЕСКИМ TDMA

Д.Н. Фахриев, старший научный сотрудник ЗАО «Телум»; fakhriev@telum.ru

Е.М. Быков, научный сотрудник ЗАО «Телум»; bikov@telum.ru

Ключевые слова: *ad hoc сети, метод множественного доступа с временным разделением (TDMA), ТСП.*

Введение. ТСП [1] — это транспортный протокол, гарантирующий целостность передаваемых пакетов данных и обеспечивающий последовательную доставку передаваемых пакетов, повторную передачу неуспешно доставленных пакетов, а также эффективный контроль за перегрузкой маршрутизаторов вдоль пути передачи потока данных (congestion control). Теоретически ТСП не должен зависеть от нижележащих протоколов передачи данных, однако в действительности механизм его работы значительно оптимизирован для использования в проводных сетях передачи данных. В то же время эффективность работы ТСП в беспроводных ad hoc сетях достаточно низка.

Мобильная ad hoc сеть (MANET — Mobile Ad hoc Network) — это беспроводная децентрализованная самоорганизующаяся сеть, состоящая из множества мобильных устройств (узлов сети). Наиболее часто для построения ad hoc сетей используется протокол IEEE 802.11 [2]. Он основан на схеме случайного доступа CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance), которая одновременно проста в реализации и достаточно эффективна при передаче асинхронных пакетов данных.

Однако при передаче потоковых данных метод случайного доступа неэффективен. Так, в [3–6] и др. показано, насколько плохо в сетях MANET, построенных на базе протокола 802.11, поддерживается передача ТСП-потоков. Одной из основных проблем является то, что использование на канальном уровне схемы случайного доступа не может гарантировать отсутствие коллизий, что ведет к потере передаваемых пакетов и падению скорости передачи ТСП.

Для повышения эффективности передачи потоковых данных в ad hoc сетях вместо случайного доступа может применяться динамический детерминированный доступ с временным разделением (TDMA). В этом случае, прежде чем начать передачу данных, станция должна зарезервировать ресурсы (временные слоты) канала, благодаря чему гарантируется отсутствие коллизий с другими станциями сети. Примерами протоколов динамического детерминированного доступа являются USAP [7], FPRP [8], МССА [9] и др. Важно отметить, что все эти протоколы описывают только механизм резервирования ресурсов и не рассматривают задачу определения количества ресурсов, которое должно быть выделено на каждой станции сети для эффективной передачи ТСП-потоков.

Очевидно, что для эффективной передачи станции должны подстраиваться под ТСП и динамически изменять количество выделенных для передачи слотов. Однако задача усложняется, поскольку сам протокол ТСП постоянно подстраивает интенсивность передачи под доступные ресурсы канала. Если пропускная способность ограничена на каком-то участке маршрута передачи потока, то ТСП соответствующим образом ограничит скорость передачи

всего потока. Таким образом, при разработке алгоритма выделения слотов необходимо быть уверенным, что он не будет противоречить механизму подстройки скорости передачи протокола ТСП. В худшем случае такое противоречие может привести к постоянным резким изменениям ТСП-окна и, как следствие, к низкой средней скорости передачи потока.

В статье представлен распределенный эвристический алгоритм разделения ресурсов между станциями, передающими ТСП-потоки, в многошаговых ad hoc сетях с динамическим TDMA. Алгоритм нацелен на решение следующих задач:

- максимизировать суммарную пропускную способность всей сети;
- не ограничивать скорость передачи ТСП-потоков при наличии свободных для выделения ресурсов;
- не выделять для ТСП-потока больше ресурсов, чем требуется;
- обеспечивать честное разделение доступной пропускной способности сети между различными передаваемыми ТСП-потоками.

Метод детерминированного доступа с динамическим TDMA. На рис. 1 представлен пример временной структуры канала с динамическим TDMA. Все время работы сети делится на последовательность кадров, каждый из которых разделяется на два логических канала: служебный и информационный.

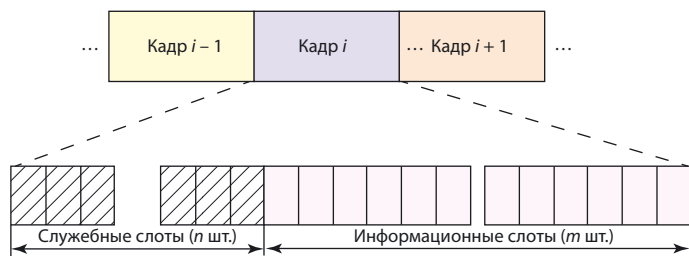


Рис. 1

Служебный канал состоит из n служебных слотов, используемых станциями для передачи служебной информации. Каждый слот закреплен за одной из станций сети, давая ей возможность раз в кадр передать пакет служебной информации.

Информационный канал состоит из m информационных слотов, которые могут динамически резервироваться станциями для передачи абонентских данных. В общем случае станции могут использовать любой протокол резервирования, например USAP [7], FPRP [8], МССА [9] и др. Здесь для определенности предполагаем, что станции используют протокол резервирования USAP. Согласно этому протоколу каждая станция i периодически рассылает в своем служебном слоте битовые карты с информацией о резервированиях, установленных в информационных слотах:

- $ST_i(s)$: 1 — если станция i передает данные в слоте s , 0 — в противном случае;
- $SR_i(s)$: 1 — если станция i принимает в слоте s данные от одной из соседних станций, 0 — в противном случае;
- $NT_i(s)$: 1 — если у станции i есть соседи, которые передают данные в слоте s , 0 — в противном случае.

Все станции сети рассылают эти карты всем соседям, благодаря чему каждая станция знает список всех зарезервированных и свободных (не зарезервированных никакой другой станцией в ее двухшаговом окружении) слотов. Важно отметить, что протокол USAP решает проблему скрытых станций, так как удовлетворяет условиям, достаточным для отсутствия коллизий передачи: станция никогда не находится одновременно не только в состоянии приема и передачи в одном и том же слоте, но и в состоянии приема в слоте, в котором одновременно передают два и более ее соседа.

Алгоритм определения требуемого количества ресурсов. В предлагаемом алгоритме определение необходимого количества зарезервированных на станции слотов основывается на статистике использования уже зарезервированных станцией слотов.

Рассмотрим станцию, в которой для передачи TCP-потоков зарезервировано k слотов. Периодически (каждые f кадров) станция должна собирать статистику использования этих слотов. В конце каждого такого периода станция должна решить, нужно ли ей изменить количество выделенных слотов. Это решение основано на сравнении двух значений:

- D_{real} — количество (в байтах) переданных данных за f кадров;
- $D_{theor} = fkd_{slot}$ — количество (в байтах) информации, которая теоретически могла быть отправлена за f кадров. Здесь d_{slot} — количество информации, которое может быть передано за один слот.

Если количество информации переданной за f кадров может быть теоретически передано за $k-2$ слота (т.е. $D_{real} < f(k-2)d_{slot}$), то станция должна освободить один из зарезервированных слотов. Если же $D_{real} \geq f(k-1)d_{slot}$, то станция должна зарезервировать себе один дополнительный слот. В противном случае станция оставляет текущее количество зарезервированных слотов.

Другими словами, правило определения требуемого количества слотов: каждая станция должна стремиться к тому, чтобы иметь на один слот больше, чем она в действительности использует для передачи TCP-потоков. Это правило позволяет избежать искусственного ограничения скорости передачи TCP-потоков. В то же время достаточно консервативное правило изменения требуемого количества выделенных слотов (± 1) необходимо для того, чтобы механизм подстройки скорости передачи TCP успевал сходиться (подстраиваться под доступные для передачи ресурсы).

В случае, когда станция решила зарезервировать один дополнительный слот, может оказаться, что свободных слотов больше нет. В этом случае требуется механизм вытеснения резервирований, который бы позволил станции зарезервировать слот, уже занятый (зарезервированный) другой станцией сети. В то же время необходимо, чтобы этот механизм обеспечивал честность разделения ресурсов между разными TCP-потоками.

Для реализации механизма вытеснения резервирований предлагается расширить протокол резервирования, добавив понятие «приоритета резервирования». Приоритеты всех слотов, зарезервированных одной станцией, равны и определяются двумя числами: l — количество передаваемых TCP-потоков, k — количество слотов, выделенных для

передачи этих потоков. Каждая станция должна рассылать своим соседям приоритет каждого зарезервированного слота. Так, в случае использования протокола USAP приоритет должен быть добавлен в рассылаемые элементы служебной информации: ST_i , SR_i и NT_i .

Рассмотрим случай, когда необходимо сравнить приоритет двух резервирований станций А и В. Пусть приоритет этих резервирований составляет (k_a, l_a) и (k_b, l_b) . Тогда приоритет (k_a, l_a) больше приоритета (k_b, l_b) , если верно неравенство:

$$\left| \frac{k_a}{l_a} - K \right| + \left| \frac{k_b}{l_b} - K \right| > \left| \frac{k_a + 1}{l_a} - K \right| + \left| \frac{k_b - 1}{l_b} - K \right|,$$

где $K = \frac{k_a + k_b}{l_a + l_b}$.

Таким образом, станция А может вытеснить один зарезервированный станцией В слот, если это действие приблизит состояние, когда обе станции имеют одинаковое количество зарезервированных слотов в расчете на один передаваемый TCP-поток. Важно отметить, что вышеупомянутое правило исключает возникновение «ping-pong» эффекта, при котором вытеснение слота тут же приводит к необходимости его обратного вытеснения.

Результаты имитационного моделирования работы алгоритма. Имитационная модель представленного алгоритма была реализована в симуляторе ns-3 [11]. На рис. 2 изображены сценарии моделирования работы представленного алгоритма.

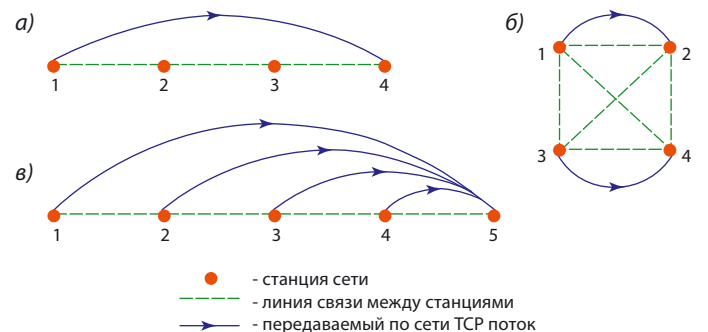


Рис. 2

В таблице приведены используемые при моделировании параметры системы.

Параметр	Значение
Длительность кадра	110 мс
Длительность служебного слота	1 мс
Длительность информационного слота	1 мс
Количество служебных слотов в кадре n	10
Количество информационных слотов в кадре m	100
Размер служебного слота	110 байт
Размер информационного слота	110 байт
Общая скорость передачи во всех информационных слотах	800 кбит/с
Период сбора статистики использования зарезервированных слотов f	20 кадров

На рис. 3 представлен результат моделирования работы алгоритма в сценарии трехшаговой цепочки станций

(рис. 2, а). Максимально достижимой скоростью передачи в этом сценарии является 1/3 от общей скорости передачи во всех информационных слотах, так как для отсутствия коллизий требуется, чтобы станции 1, 2 и 3 не передавали в одних и тех же слотах. Из рисунков видно, что разработанный алгоритм позволяет эффективно выделять ресурсы канала и стабилизирует скорость передачи ТСП-потока по многошаговому маршруту (алгоритм сходится).

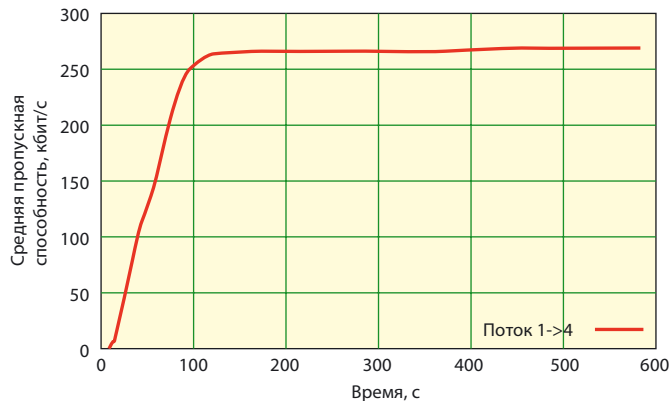


Рис. 3

На рис. 4 представлены результаты моделирования в сценарии, изображенном на рис. 2, б. Основным требованием к работе алгоритма в этом сценарии является честность разделения ресурсов между двумя ТСП-потоками. Видно, что к моменту старта второго потока, все доступные ресурсы зарезервированы первым потоком. Однако затем второй поток начинает вытеснять резервирования первого потока, и в результате скорость передачи двух потоков выравнивается.

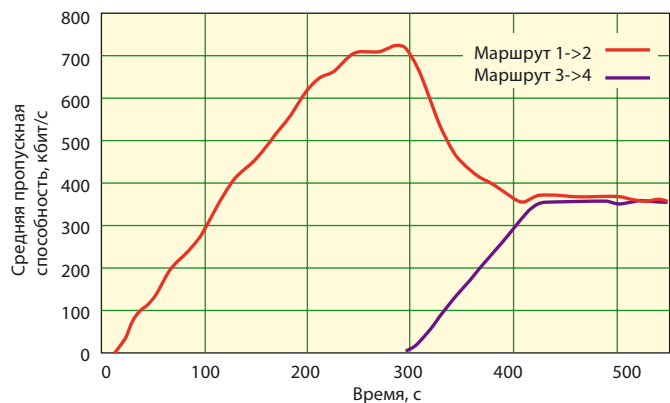


Рис. 4

На рис. 5 и 6 представлены результаты моделирования в сценарии, изображенном на рис. 2, в. Из рис. 5 видно, что больше всего слотов выделяется на станции 4, через которую проходят все передаваемые потоки, затем на станции 3 (проходят только 3 потока) и т.д. Важно отметить, что станция 5 также имеет выделенные слоты, необходимые для передачи ТСП-подтверждений. Рис. 6 показывает, что в итоге алгоритм обеспечивает честное разделение пропускной способности между ТСП-потоками.

На рис. 7 приведены результаты сравнения эффективности работы разработанного алгоритма с централизованным алгоритмом [10] и алгоритм случайного доступа (CSMA/CA) в сценарии, изображенном на рис. 2, в. Видно, что производительность работы разработанного алгоритма близка к идеальной, достижимой при использовании централизованного алгоритма.

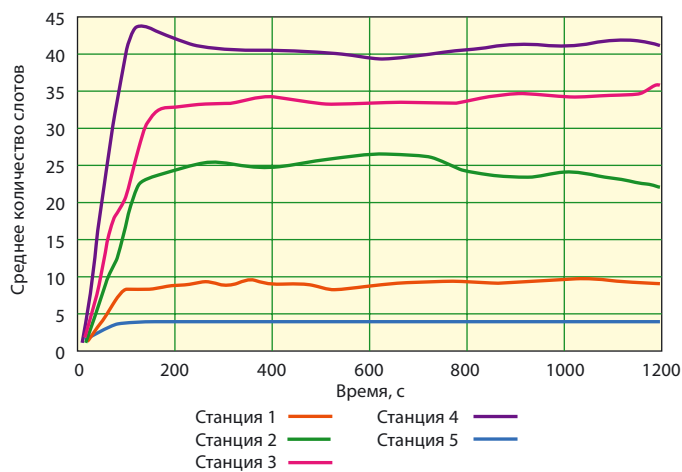


Рис. 5

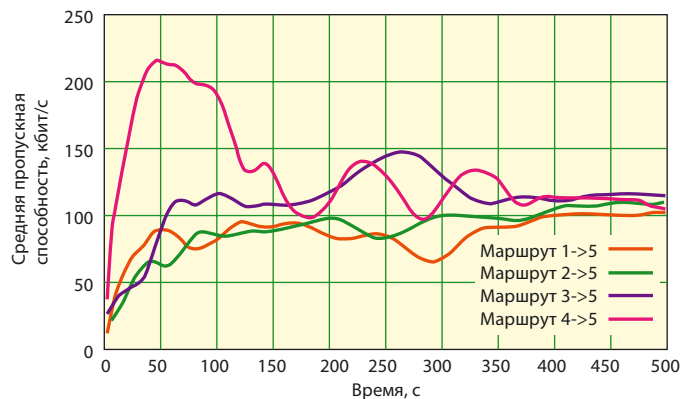


Рис. 6

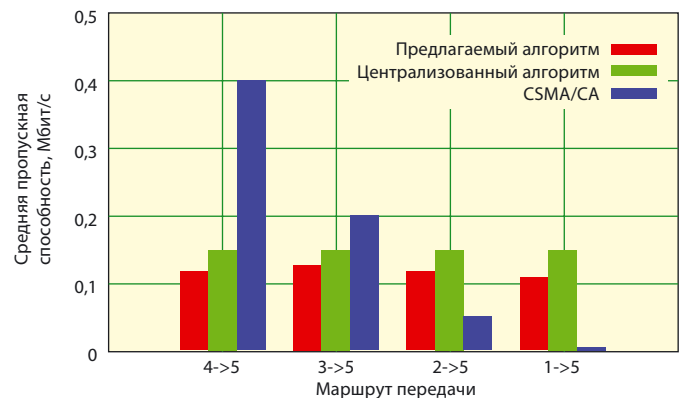


Рис. 7

ванного алгоритма. В то же время применение CSMA/CA не позволяет обеспечить честность разделения ресурсов между потоками: скорость потока резко падает с увеличением длины маршрута его передачи.

Заключение. Представленный распределенный эвристический алгоритм определения требуемого количества ресурсов для передачи ТСП-потоков в многошаговых ad hoc сетях с динамическим TDMA позволяет адаптивно подстраивать количество слотов, зарезервированных для передачи на каждой станции, основываясь на текущей статистике их использования.

Результаты моделирования работы алгоритма показывают, что разработанный алгоритм дает возможность эффективно использовать ресурсы канала, а также обеспечивает честность их распределения между различными ТСП-потоками.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Postel J.** RFC 793: Transmission control protocol; September 1981 // Status: Standard.— 2003.
2. **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.— 2012.
3. **Fu Z., Meng X., Lu S.** How Bad TCP Can Perform in Mobile Ad Hoc Networks // ISCC.— 2002.— P. 298–303.
4. **Fu Z., Luo H., Zerfos P. et. al.** The Impact of Multihop Wireless Channel on TCP Performance // IEEE Transactions on Mobile Computing.— March 2005.— Vol. 4, Issue 2.— P. 209–221.
5. **Holland G., Vaidya N.** Analysis of TCP performance over mobile ad hoc networks // Wireless Networks.— March 2002.— Vol. 8, Issue 2/3.— P. 275–288.
6. **Bansal S., Shorey R., Kherani A. A.** Performance of tcp and udp protocols in multi-hop multi-rate wireless networks // WCNC.— March 2004.— Vol.1.— P. 231–236.
7. **David Young C.** USAP multiple access: dynamic resource allocation for mobile — multihop multichannel wireless networking // Military Communications Conference Proceedings, MILCOM.— 1999.— Vol.1.— P. 271–275.
8. **Zhu C., Corson M.S.** A five-phase reservation protocol (FPRP) for mobile ad hoc networks // INFOCOM'98. Seventeenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies.— March 1998.— Vol.1 — P.322–331.
9. **802.11s-2011.** 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 Amendment 10: Mesh Networking.— 2011.
10. **Tung L., Sun Y. et. al.** TCP-sleek Channel Access Scheduling for Multi-hop Mesh Networks // IWCMC'09.— 2009.— P. 360–364.
11. <http://www.nsnam.org/>

Получено 30.07.13

ИНФОРМАЦИЯ

ПРОГРАММА CISCO RESEARCH СТАРТОВАЛА В РОССИИ

Одной из приоритетных задач Cisco в России является развитие научных связей с университетами и исследовательскими учреждениями. В поддержку научной сферы России мировой вендор начинает в нашей стране долгосрочную международную программу исследований Cisco Research, нацеленную на разработку новых технологий, развитие инноваций и привлечение наиболее перспективных специалистов технического профиля к совместным научно-исследовательским работам. Проект предусматривает финансовую поддержку со стороны Cisco.

Участие российских образовательных и научно-исследовательских учреждений в программе Cisco Research станет очередным проектом Центра инноваций Cisco — это подразделение компании отвечает за инженерные разработки и развитие инновационных программ в поддержку модернизации экономики России. В центре уже сформирована инженерная группа, функционирует Центр технологий Cisco в Гиперкубе Сколково и организован конкурс для стартапов «Премия инноваций Сколково при поддержке Cisco I-PRIZE».

В 2011 г. менеджмент компании Cisco, руководствуясь новой, динамичной корпоративной стратегией, из более чем 30 приоритетных направлений исследований оставил пять: решения и технологии для совместной работы; центры обработки данных, виртуализация и облачные технологии; мобильность; сетевая и информационная безопасность; видеотехнологии. В рамках деятельности Cisco по созданию интеллектуальной инфраструктуры городов и крупных населенных пунктов российским ученым и исследователям будет предложено заняться разработкой решений по направлению «Видеоаналитика».

Видеоаналитика, функциональность которой открывает новые возможности для обеспечения физической безопасности людей и ведения бизнеса, улучшает качество жизни потребителей. Российским ученым в качестве предмета исследования предлагается проблема наблюдения за несколькими объектами с помощью группы стационарных видеокамер. Ожидается, что работы в этом направлении позволят точно отслеживать перемещения людей как в поле зрения одной камеры, так и между камерами, создавать, моделировать и описывать маршруты их движения и устанавливать факты аномального поведения. Подать заявку на конкурс по видеоаналитике может любой российский вуз, если он обладает достаточными компетенциями.

«CiscoResearch, наряду с программой Сетевой академии Cisco, станет еще одним элементом нашего сотрудничества с образовательными и научными учреждениями России, — сказал директор компании Cisco по взаимодействию с органами государственной власти РФ **М. Пахомов**. — Данная инициатива вытекает из договоренностей о поддержке инновационного развития российской экономики, достигнутых в июне 2010 г. на встрече главы нашей компании Джона Чемберса с Президентом РФ Д. Медведевым. Теперь и российские университеты смогут участвовать в совместных исследованиях с Cisco. В качестве приоритета мы рассматриваем тематику видеоаналитики, соответствующую задачам нашей инженерной группы, работающей в Центре инноваций Cisco».

Директор глобальной программы Cisco Research **С. Фрейзер** отметил: «Мы активно развиваем партнерство с научными учреждениями как на территории Северной Америки, так и во всем мире.

Программа Cisco Research уже действует во многих странах, и мы рады предложить сотрудничество в области видеоаналитики российским исследователям. Реализуя различные инициативы в поддержку инноваций в России, мы убедились в высоком потенциале страны в области информационных технологий. Мы надеемся, что российские образовательные и научно-исследовательские учреждения примут активное участие в совместных исследовательских проектах, а сама наша программа будет способствовать развитию партнерства между российскими университетами и вузами других стран, уже работающими с нашей компанией».

Гранты, которые выделяются только университетам и научно-исследовательским учреждениям, или исследовательские контракты будут предложены по результатам рассмотрения конкурсных заявок. Конкурс по видеоаналитике строго детерминирован по срокам: до 31 октября предлагается подать предварительные, в один-два абзаца, конкурсные заявки и до 15 декабря — финальные. Ознакомиться с условиями конкурса и подать заявку можно на веб-странице <http://www.cisco.com/research>.

Cisco Research реализуется в 21 стране мира на базе лабораторий университетов и научно-исследовательских институтов. В рамках программы Cisco сотрудничает с десятками вузов, в том числе со Стэнфордским, Бостонским, Массачусетским технологическим университетами, Университетом Карнеги-Мэллона, Лондонским университетом королевы Марии, Технологическим университетом Южного Китая, Открытым университетом Израиля и др.

Присоединение России к команде исследователей Cisco С. Фрейзер назвал знаковым событием, подчеркивающим высокий авторитет российской науки в мире.