

MESH-СЕТИ:**В ОЖИДАНИИ СТАНДАРТА IEEE 802.11s**

Опубликованный десять лет назад стандарт локальных сетей беспроводного доступа IEEE 802.11 (беспроводной Ethernet) оказался настолько удачным, что продолжает развиваться до сих пор. Ему уже давно стало тесно в рамках сотен метров, отведенных локальным сетям. На основе оборудования 802.11 строятся – и вполне успешно – как персональные сети, так и сети городского масштаба. Одним из направлений в развитии стандарта стала технология mesh-сетей, которую разрабатывают в рамках грядущего стандарта IEEE 802.11s. Это тот случай, когда потребности рынка и сами производители обгоняют усилия по стандартизации – стандарта пока нет (но вскоре ожидается), а оборудование и сети уже строятся.

Mesh-сети – новый перспективный класс широкополосных беспроводных сетей передачи мультимедийной информации, который в ближайшие годы найдет широкое применение в локальных и распределенных городских беспроводных сетях (альтернатива WiMAX), в мультимедийных сенсорных сетях и т.д. Один из главных принципов построения mesh-сети – самоорганизации архитектуры, обеспечивающей такие возможности, как топология сети "каждый с каждым"; устойчивость при отказе отдельных компонентов; масштабируемость сети – увеличение зоны информационного покрытия в режиме самоорганизации; динамическая маршрутизацию трафика, контроль состояния сети и т.д. Mesh-сети могут быть стационарными или мобильными (все или часть узлов способны перемещаться). Узлами мобильной сети могут быть карманные ПК, мобильные телефоны и т.п.

Mesh-сети описывает стандарт IEEE 802.11s, который находится на стадии разработки (первая версия ожидается не ранее чем через год). Наиболее новый черновой (draft) вариант стандарта IEEE P802.11s/D2.0 представлен в апреле 2008 года. Однако в данной работе мы будем опираться и на предыдущую версию draft-стандарта IEEE P802.11s/D1.08 (январь 2008) [1], с учетом отдельных аспектов, представленных



В.Вишневецкий, д.т.н., Д.Лаконцев, к.т.н.,
А.Сафонов, С.Шпилев

в предшествующих версиях, – D1.07 (сентябрь 2007), D1.06 (июль 2007) и D1.00 (ноябрь 2006).

ПРОТОКОЛ IEEE 802.11s

В существующих сетях стандарта 802.11 терминальные (абонентские, конечные) станции (STA) связаны с точками доступа (Access Point – AP) и могут взаимодействовать только с ними. AP имеют выход в другие сети (например, Ethernet), но не могут обмениваться информацией друг с другом (рис.1а). В mesh-сети, помимо терминальных станций и точек доступа, присутствуют особые устройства – узлы mesh-сети (Mesh Point – MP), способные взаимодействовать друг с другом и поддерживающие mesh-службы (рис.1б). Одно устройство может совмещать несколько функций. Так, MP, совмещенные с точками доступа, называются точками доступа mesh-сети (Mesh Access Point, MAP). Порталы mesh-сети (Mesh Point Portal, MPP), являясь MP, соединяют mesh-сеть с внешними сетями. Таким образом, mesh-сеть с точки зрения других устройств и протоколов более высокого уровня функционально эквивалентна широкополосной Ethernet-сети, все узлы которой непосредственно соединены на канальном уровне.

Отметим, что изменения в стандарте IEEE 802.11s практически не затрагивают физический уровень. Все нововведения относятся к MAC-подуровню канального уровня. Кроме того, в стандарте 802.11s рассматриваются вопросы маршрутизации пакетов в рамках mesh-сети (фактически – сетевой и транспортный уровни модели OSI), что выходит за изначальные рамки IEEE 802.11. Вопросы маршрутизации пакетов в mesh-сетях мы рассмотрим в следующей публикации, сосредоточившись в данной работе на особенностях MAC-уровня.

Структура пакетов MAC-уровня в mesh-сети (рис.2) аналогична стандартному формату пакетов сетей 802.11 [2]. Формат заголовка MAC-пакета в mesh-сети такой же, как и в стандарте IEEE 802.11 (за исключением поля HT Control (High Throughput Control), предназначенного, видимо, для поддержки оборудования стандарта IEEE 802.11n). Первые

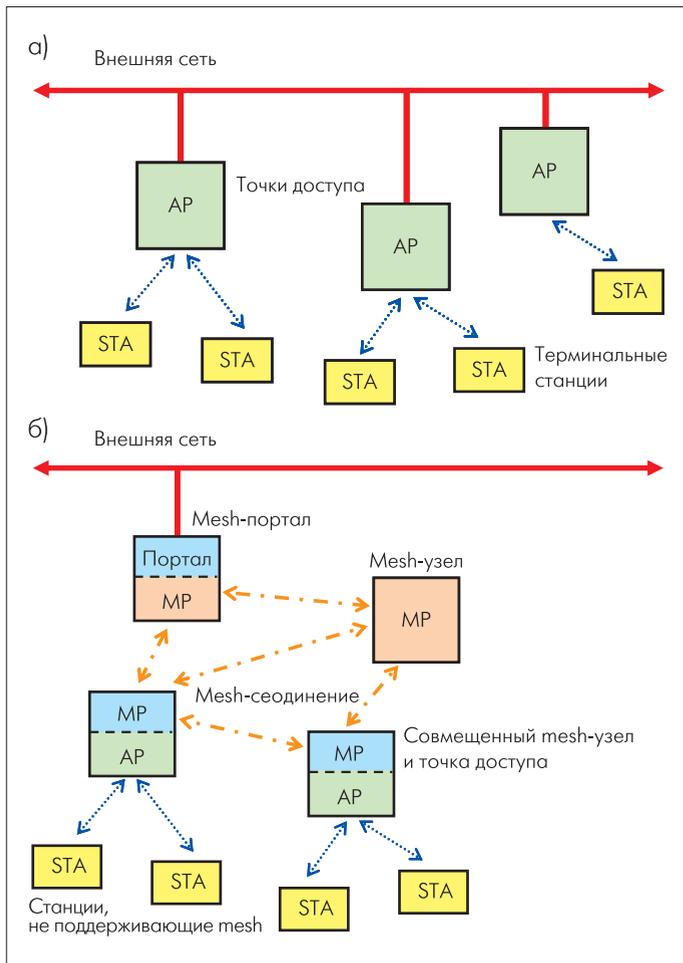


Рис. 1. Архитектура сети 802.11: а) стандартной, б) mesh-сети

три поля заголовка и поле контрольной суммы FCS присутствуют во всех пакетах MAC-уровня.

MAC-пакетов 802.11s отличает mesh-заголовок в начале поля данных. Он присутствует в пакетах данных тогда и только тогда, когда они передаются от mesh-узла к mesh-узлу по установленному соединению, а также присоединя-

ется к управляющим пакетам типа (Multihop Action).

Mesh-заголовок содержит четыре поля. Байт mesh-флагов регулирует обработку mesh-заголовка. Пока используются только первые два бита, которые просто определяют размер расширенного mesh-адреса. Поле "время жизни пакета в mesh-сети" (Mesh Time To Live – TTL) содержит оставшееся максимальное число шагов между узлами, которое может совершить пакет в mesh-сети. Таким образом ограничивается время жизни пакета при многоступенчатой пересылке, что помогает бороться с образованием циклических маршрутов. Номер пакета в последовательности (Mesh Sequence Number) пресекает появление дубликатов пакетов при широкоэмитальной и многоадресной посылке.

Поле расширения mesh-адреса (Mesh Address Extension) может включать дополнительные адреса (Адрес 4–6, каждый по 6 байт), что позволяет mesh-пакетам содержать до 6 адресов. Адрес 4 используется в управляющих пакетах типа Multihop Action (при эстафетной передаче в mesh-сети), поскольку в формате управляющих пакетов MAC-уровня поле Адрес 4 отсутствует. Адреса 5 и 6 служат для передачи адресов конечных отправителя и получателя, если они оба или один из них не являются MP. Это возможно, если через mesh-сеть общаются узлы, находящиеся вне ее. Возможен и случай, когда два MP-устройства взаимодействуют через корневой узел mesh-сети, т.е. используются два отдельных mesh-пути (от отправителя до корневого узла и от корневого узла до получателя).

MDA-РЕЗЕРВИРОВАНИЕ

Детерминированный доступ в mesh-сети (Mesh Deterministic Access – MDA) – это опциональный механизм, позволяющий получать доступ к среде в заранее зарезервированные временные интервалы. Это снижает конкуренцию доступа к среде передачи, что существенно увеличивает вероятность своевременной доставки данных, чувствительных к задержкам (аудио- и видеопотоки, данные с высоким приоритетом и т.п.).

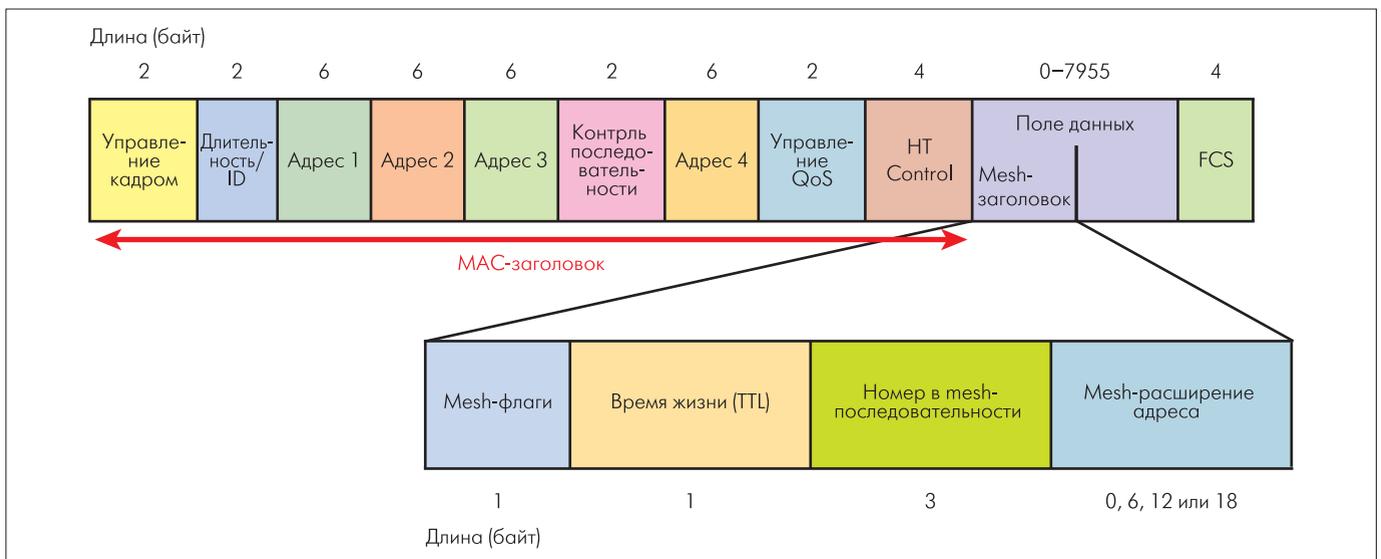


Рис. 2. Формат MAC-кадра с Mesh-заголовком

MDA-соединение возможно только между станциями, поддерживающими данный механизм. MDA-резервирование задает интервалы, в течение которых MDA-станции не пытаются передавать пакеты, чтобы не мешать передаче данных по зарезервированному каналу.

Создание MDA-соединения инициируется узлом-источником, а принимается или отклоняется узлом-адресатом данных. Для установления MDA-соединения устройство выбирает интервалы времени, не занятые другими MDA-соединениями, о которых ему известно. Если достигнут предел допустимого числа MDA-соединений для соседей данного узла, то устройство не создает новое MDA-соединений.

При установлении MDA-соединения узел направляет запрос узлу-адресату, указав, когда и какой длины интервалы он хочет использовать. Получатель запроса выполняет аналогичные проверки о допустимости создания соединения с запрошенными параметрами и шлет ответ – положительный или отрицательный. Если выбранные узлом-источником временные интервалы пересекаются с другими MDA-соединениями, известными получателю, он может предложить альтернативные интервалы времени. Для разрыва MDA-соединения получатель или отправитель посылают специальные информационные элементы (MDAOP Set Teardown information element).

Все устройства, которые знают о существовании MDA-резервирований, обязаны периодически сообщать о них своим соседям (рекламировать) посредством либо информационных элементов MDAOP Advertisements information element, включенных в управляющие пакеты – биконы, либо используя специальные служебные кадры MDA action frame. MDA-узлы хранят список всех резервирований, о которых узнают из рекламных сообщений и в которых участвуют сами.

Отметим, что даже при зарезервированном MDA-интервале доступ к среде передачи происходит на конкурентной основе. При этом учитывается категория подлежащего передаче трафика, для чего используется механизм доступа к каналу с поддержкой дифференцированного качества обслуживания (Enhanced Distributed Channel Access, EDCA).

УСТАНОВКА И УПРАВЛЕНИЕ СОЕДИНЕНИЯМИ В IEEE 802.11s

Совместимость устройств от разных производителей в одной сети обеспечивает концепция профилей. Профиль содержит собственно идентификатор профиля, идентификатор протокола маршрутизации и идентификатор метрики протокола маршрутизации. Устройство способно поддерживать несколько профилей работы, но лишь один из них может быть активным. Обязательный для всех устройств 802.11s профиль использует гибридный беспроводной mesh-протокол маршрутизации (HWMP, Hybrid Wireless Mesh Protocol) и метрику времени передачи в канале (Airtime Link Metric).

Механизм установки соединений основан на периодичес-

кой посылке стандартного сообщения "открыть соединение". В ответ на него может быть получено сообщение "подтверждение соединения" или "закрытие соединения". Соединение между двумя соседними МР считается установленным тогда и только тогда, когда оба МР послали друг другу команды "открыть соединение" и ответили подтверждением соединения (в любой последовательности). Для каждого установленного соединения предусмотрено время жизни, в течение которого оно должно быть использовано либо подтверждено.

СИНХРОНИЗАЦИЯ И БИКОНЫ В IEEE 802.11s

Стандарт IEEE 802.11 поддерживает два режима работы сети: hot spot и ad hoc [3]. В режиме hot spot одна из станций служит точкой доступа, и данные передаются только между ней и другими станциями сети. В режиме ad hoc передача возможна между любыми двумя станциями.

В режиме hot spot точка доступа регулярно рассылает специальные кадры – биконы (beacon), главное назначение которых – синхронизация часов станций и информирования о сервисах и режимах работы точки доступа. Биконы содержат специальное поле Timestamp, в котором записано время, когда первый бит бикона оказывается переданным через радиointерфейс. Timestamp используется при синхронизации часов всех станций [4]. Это важно как для физического, так и для канального уровней. Так, в режиме модуляции с расширением спектра методов частотных скачков (FHSS) необходимо гарантировать, что переключение всех станций на новую частоту происходит одновременно. Также синхронизация важна для режима энергосбережения.

В режиме ad hoc биконы выполняют ту же функцию, что и в hot spot. Но процесс передачи бикона является распределенным, т.е. в нем участвуют все станции. Станция, которая организует сеть ad hoc, задает серию моментов времени – ожидаемым временем передачи бикона (Target Beacon Transmission Time, TBTT). Последовательные моменты TBTT отделены друг от друга равными интервалами времени – бикон-интервалами. В каждый момент TBTT начинается так называемое ATIM-окно (Announcement Traffic Indication Message – сообщение уведомления о трафике), в котором можно передавать только биконы или ATIM-кадры (используются механизмом энергосбережения).

Передача бикона основана на том же механизме конкурентного доступа с контролем несущей, что и при передаче данных. В момент TBTT каждая из станций замораживает счетчик времени отсрочки передачи данных и инициализирует таймер передачи бикона случайно выбранным числом слотов (единица дискретного времени в сети 802.11), равномерно распределенным в интервале от нуля до некоей константы ($2 \cdot aCW_{min}$). Если среда передачи не занята в течение слота, станция декрементирует счетчик таймера. Если одна из станций начинает передачу, другие станции заморажи-



вают свои таймеры на время передачи плюс интервал DIFS. При коллизии (попытке одновременной передаче несколькими станциями) вместо DIFS используется более длинный интервал EIFS. Станция начинает передачу бикона, когда значение ее таймера становится равным нулю. При получении бикона от любой из станций все остальные станции отменяют передачу своих биконов.

Алгоритм посылки биконов, остающийся неизменным в течение десяти лет существования стандарта IEEE 802.11, используется и в стандарте IEEE 802.11s. Именно этот механизм поддерживает глобальную синхронизацию сети, когда все устройства работают по единому времени, привязанному к ожидаемому времени передачи бикона.

Узлы mesh-сети МР могут, но не обязаны поддерживать глобальную синхронизацию в сети. Соответственно, они подразделяются на синхронные и асинхронные МР. Асинхронные МР передают биконы подобно точкам доступа в сетях hot spot. При этом каждая станция независимо от других формирует серию моментов ТВТТ и не корректирует часы при получении биконов. Синхронные МР стараются поддерживать общее для всех время Mesh TSF. Отличие синхронных МР при передаче биконов – если МР получило бикон от соседнего устройства mesh-сети, оно может отменить запланированную передачу собственного бикона, но не обязано это де-

лать, как в ad hoc сети. В mesh-сети одного бикона от случайно выбранного МР может оказаться недостаточно.

По сравнению с сетями ad hoc, mesh-сети поддерживают дополнительные mesh-сервисы, и биконы ответственны за их поддержку. Например, механизм детерминированного доступа MDA использует биконы для передачи в них специального информационного элемента MDAOP Advertisements с рекламой MDA-резервирований. Этот и другие дополнительные информационные элементы делают биконы в mesh-сети более индивидуальными по сравнению с биконами в сетях ad hoc, которые разнятся только значением временной метки (поля бикон-кадра, описывающие возможные режимы работы станции, не меняются в течение всего времени существования сети ad hoc). Потому важно, чтобы каждое МР отправляло свой бикон как можно чаще.

В дополнение к алгоритму рассылки биконов, используемому в сетях hot spot и ad hoc, в первой версии 802.11s/D1.00 было введено понятие распространителя биконов (точки биконов) – Beacon Broadcaster (BB). Когда BB выбран, оставшиеся МР биконы не передают. Роль BB периодически передается от одного МР другому. Однако в mesh-сети некоторые станции скрыты друг от друга, что приводит к появлению нескольких BB и ротация BB становится слишком сложной. Поэтому в более поздних версиях стандарта BB исключены.

В текущей версии IEEE 802.11s [1] сделан еще один шаг от принципа глобальной синхронизации mesh-сети. Проблема в том, что в mesh-сети глобальная синхронизация требует больших издержек по сравнению с сетями ad hoc: размер АТІМ-окна должен быть увеличен, чтобы вместить возможно большее число биконов МР. Поэтому вместо поддержки глобальной синхронизации МР могут лишь поддерживать синхронизацию попарно. При этом МР рассылают биконы независимо, без привязки к единому времени ТВТТ и единому АТІМ-окну. Издержки сети при этом снизятся, но вместе с качеством ее работы: без глобальной синхронизации трудно защитить биконы от коллизий с данными, а значит, нельзя обеспечить качество обслуживания (QoS) и эффективную работу режима сохранения энергии.

Работа над дополнением к стандарту IEEE 802.11s еще не завершена. Пока не ясно, какая парадигма синхронизации будет принята в mesh-сети. Мы уверены, что глобальная синхронизация mesh-сети и алгоритм рассылки биконов, аналогичный сетям ad hoc, обеспечат QoS в рамках всей mesh-сети, а также позволят применять эффективные методы энергосбережения, все более востребованные на рынке телефонов, коммуникаторов и т.п. В сети без глобальной синхронизации обеспечение QoS представляется чрезвычайно трудной, если вообще разрешимой задачей. Поэтому сегодня основное внимание уделено изучению алгоритма рассылки биконов синхронными МР, как они описаны в первой завершённой версии стандарта IEEE 802.11s/D1.00 [5].

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В IEEE 802.11s

Режим энергосбережения в mesh-сетях опционален. Так, MAP-узлы всегда активны, поскольку в любой момент к ним могут обратиться устройства, не поддерживающие 802.11s и режим энергосбережения. Однако для устройств с автономным питанием (разного рода датчики, ноутбуки, телефоны и т.п.) сбережение энергии – актуальная задача.

Узлы сети обязаны сообщать о своей способности поддерживать спящий (энергосберегающий) режим. Для этого используется информационное поле возможностей (capability information field) в биконах и в ответах на пробные пакеты. В этом же поле сообщается, что узел находится в режиме энергосбережения либо имеет связь с узлом, который пребывает в этом режиме. Если устройство, желающее работать в режиме энергосбережения, видит, что его сосед не поддерживает эту возможность, то оно либо не устанавливает с ним соединения, либо отказывается от энергосбережения. Узел не может переходить из активного режима в режим энергосбережения (и обратно), пока не проинформирует о желании переключиться все устройства, с которыми у него установлено соединение. Для информирования соседей о смене режима энергосбережения используются пустые пакеты данных (null-data frame).

Узел в спящем режиме периодически просыпается, чтобы получить биконы от своих соседей либо послать свои.

Узел просыпается по крайней мере один раз за так называемый DTIM-интервал (delivery traffic indication message – сообщение о наличии пакетов для станции) и остается активным в промежутке времени окна АТІМ (Announcement Traffic Indication Message – окно для сообщений о трафике). Все узлы mesh-сети, поддерживающие режим энергосбережения, откладывают посылку пакетов, предназначенных для устройств в спящем режиме (в том числе широкоэмиттерных и многоадресных) и отправляют их только в назначенный промежуток времени. Об этих пакетах узел-источник извещает в сообщении Mesh TIM в биконе или в передаваемом АТІМ-кадре, следующем за DTIM-биконом. Устройства в режиме энергосбережения слушают такие сообщения, и если получают информацию об адресованном им трафике, остаются активными после АТІМ-окна. Если узел принял широкоэмиттерный или многоадресный пакет, то он остается активным до тех пор, пока не получит сообщение, что адресованных ему данных более не осталось (в поле о наличии данных (More Data field) пакета либо в элементе Mesh TIM).

Спящие узлы могут проснуться в любой момент времени, если у них в очереди оказывается пакет на передачу. В этом случае такой узел остается бодрствовать, по крайней мере, до следующего момента времени ТВТТ.

Режим энергосбережения отличается для синхронных и асинхронных МР. Так, асинхронные МР используют свои собственные значения АТІМ и DTIM, а все узлы, с которыми они установили соединение, сохраняют эти параметры для дальнейшей работы. Синхронные же МР, присоединяясь к сети, используют общие АТІМ и DTIM значения, которые они получают в биконах от соседей, в этом случае все спящие устройства в сети будут просыпаться одновременно.

МОДЕЛЬ ПЕРЕДАЧИ БИКОНОВ В MESH-СЕТИ

Поскольку процесс передачи и успешной доставки биконов принципиально важен для работы mesh-сети, рассмотрим аналитическую модель процесса передачи биконов в сети IEEE 801.11s/D1.00. В рамках данной модели все МР – синхронные и все они могут получать биконы друг от друга [6]. Зона покрытия устройства тем шире, чем ниже скорость передачи данных. Поэтому биконы передаются на наименьшей базовой скорости, а данные – на наибольшей возможной. Так, при использовании технологии OFDM (стандарты IEEE 802.11a/g) биконы передаются на скорости 6 Мбит/с, а данные – на скоростях до 54 Мбит/с. Поэтому правомерно предположить, что все МР могут получать биконы друг от друга.

В построенной модели время дискретно, базовая единица времени – слот. Процесс передачи биконов представлен как последовательность виртуальных слотов (переменной длины), которая начинается в каждый момент ТВТТ. Эта последовательность включает максимум К слотов, а общая длина всех виртуальных слотов не может превышать размер АТІМ-окна.



Если в течение виртуального слота ни одно из МР не начинает передачу бикона, то длина этого виртуального слота t_s равна длительности одного слота. Если ровно одно МР начинает передачу бикона в начале виртуального слота, то длина этого виртуального слота равна времени передачи бикона плюс DIFS. Если несколько МР начинают передачи своих биконов в начале виртуального слота, то происходит коллизия биконов, и длина виртуального слота t_c равна времени передачи бикона плюс EIFS.

Аналитическая модель позволяет рассчитать среднее число биконов, успешно переданных за бикон-интервал В (N, K, M), где N – число mesh-устройств в сети, K – максимальное число виртуальных слотов в АТМ-окне, M – размер АТМ окна в слотах. Очевидно, что В (1, K, M)=1 для всех $M \geq K \geq 1$, и В (N, 1, M) = 0, если $N > 1$ и $M \geq 1$. Поскольку все МР соревнуются за передачу своего бикона, используя единый алгоритм, вероятность того, что конкретное МР успешно передаст свой бикон в течение бикон-интервала, может быть вычислена как $p = В (N, K, M)/N$.

Опишем процесс передачи биконов, рассматривая последовательно каждый виртуальный слот и проверяя число устройств, который начинают в нем передачу бикона. Пусть к моменту начала текущего виртуального слота n mesh-устройств не передали свои биконы, k виртуальных слотов остались нерассмотренными, а в АТМ-окне осталось m слотов. Вероятность того, что ровно j из n mesh-устройств начнут передачу своего бикона в текущем виртуальном слоте $p(j, n, k) = C_j^n \cdot k^j \cdot (1 - 1/k)^{n-j}$, где $C_j^n = n! / (j! \cdot (n-j)!)$ – число вариантов выбора j из n mesh-устройств.

Бикон считается переданным успешно тогда и только тогда, когда ровно одно МР начало передачу бикона в текущем виртуальном слоте. Вероятность этого события $p(1, n, k)$. Вероятность того, что ни одно из МР не планирует передачу своего бикона в текущем виртуальном слоте – $p(0, n, k)$.

Рассматривая последовательно K виртуальных слотов один за другим, можно вычислить число успешно переданных биконов В (N, K, M) рекурсивно:

$$В(n, k, m) = p(0, n, k) \cdot 1(k > 1 \ \& \ m > 1) \cdot В(n, k-1, m-1) + p(1, n, k) \cdot \{1 + 1(m > t_s \ \& \ k > 1) \cdot В(n-1, k-1, m-t_s)\} + \sum_{j=2}^n p(j, n, k) [1(m > t_c \ \& \ k > 1) \cdot В(n-j, k-1, m-t_c)].$$

Здесь 1 (Условие) – функция-индикатор, принимающая значение 1, если Условие истинно, и 0 в противном случае.

В этой формуле первое из трех слагаемых соответствует случаю, когда текущий виртуальный слот пуст. Если существует по крайней мере еще один нерассмотренный виртуальный слот ($k > 1$) и еще хотя бы один слот в оставшейся части АТМ-окна ($m > 1$), с вероятностью $p(0, n, k)$ к В добавляется среднее число успешно переданных биконов в оставшейся части АТМ-окна.

Второе слагаемое соответствует случаю, когда ровно одно МР передает свой бикон в текущем виртуальном слоте (с ве-

Входные параметры модели

Длительность слота, aSlotTime, мкс	9
aCWmin, слотов	15
$K = 1 + 2 \cdot aCWmin$	31
Наименьшая базовая скорость, Мбит/с	6
Длина полезной части бикона, байт	107
DIFS, мкс	34
EIFS, мкс	94
t_s , мкс	247
t_c , мкс	307
t_s , слотов (округлено)	27
t_c , слотов (округлено)	34
Длина АТМ-окна, M, слотов	50–200
Число mesh-устройств, N	1–60

роятностью $p(1, n, k)$). Далее к В добавляется еще один успешно переданный бикон, проверяется, что конец АТМ-окна не достигнут ($m > t_s$) и что хотя бы один виртуальный слот еще не рассмотрен ($k > 1$), число mesh-устройств n уменьшается на 1, а остаток АТМ-окна – на t_s .

Последнее слагаемое соответствует случаю коллизии биконов, когда $j = \{2, \dots, n\}$ mesh-устройств передают свои биконы в текущем виртуальном слоте. Вероятность этого события $p(j, n, k)$. Выполняется проверка, что конец АТМ-окна не достигнут ($m > t_c$), что еще хотя бы один виртуальный слот не рассмотрен

($k > 1$), число n МР уменьшается на j , остаток АТІМ-окна уменьшается на t , и начинается следующий шаг рекурсии. Рекурсия завершается, когда АТІМ-окно заканчивается или все виртуальные слоты оказываются рассмотренными.

Численные результаты моделирования получены для значений входных параметров, приведенных в таблице.

Результаты показывают, что число успешных передач биконов растет, пока число mesh-устройств не слишком велико и МР удается передать свой бикон почти в каждом бикон-интервале (рис.3). Однако количество устройств в сети достигает определенного значения, зависящего от размера АТІМ-окна, число успешных передач снижается, так как вероятность коллизии биконов резко возрастает.

Когда в сети находится N mesh-устройств, зависимость числа успешных передач от размера АТІМ-окна (рис.4) растет с характерной периодичностью. Причем этот период приблизительно равен времени передачи бикона. То есть

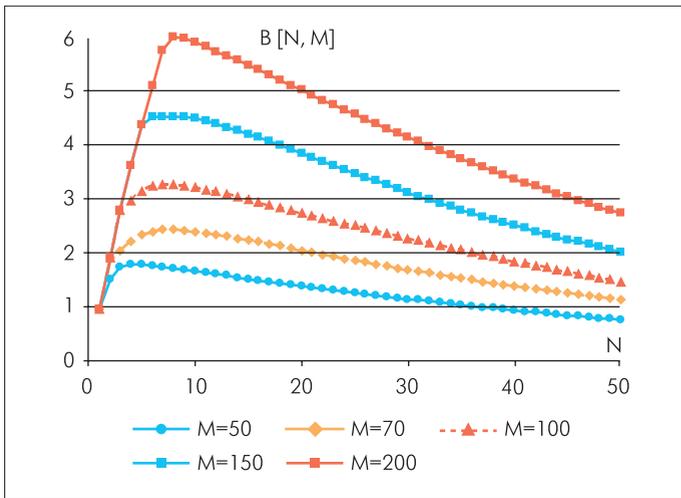


Рис.3. Среднее число успешных передач биконов за бикон-интервал в зависимости от числа mesh-устройств в сети N при размере АТІМ-окна M

увеличение размера АТІМ-окна на произвольную величину, меньшую некоей пороговой, может несколько не увеличить успешность передачи биконов.

Вероятность успешной передачи бикона конкретным mesh-устройством в зависимости от числа mesh-устройств в сети и размера АТІМ-окна (рис.5). Причем вероятность успешной передачи бикона падает медленно до определенного числа устройств в сети, так как вероятность коллизии биконов невелика. При фиксированном числе устройств в сети вероятность коллизии биконов зависит от числа виртуальных слотов, которое растет с увеличением АТІМ-окна. Поскольку число виртуальных слотов не может превышать $K = 1 + 2 \cdot aCW_{min}$, с определенной точки вероятность успешной передачи резко падает, так как число коллизий биконов резко возрастает.

Основной источник погрешности в данной модели — округление величин t_s и t_c до целого числа слотов. Однако результаты имитационного моделирования с использованием моделирующего комплекса GPSS [7] показывают (рис.6), что это при-

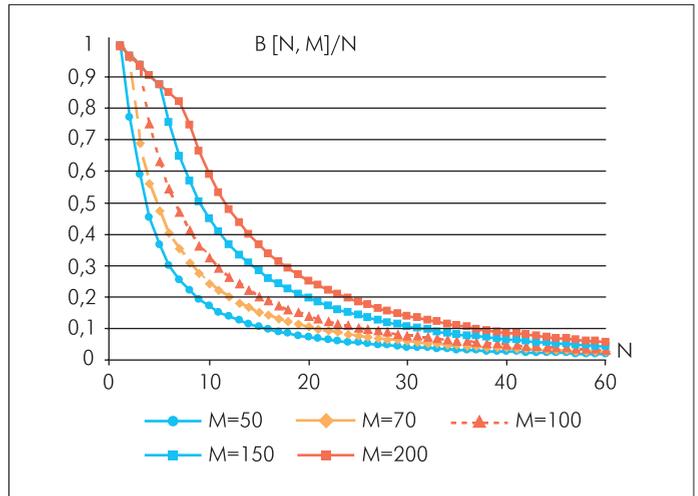


Рис.5. Вероятность успешной передачи бикона конкретным mesh-устройством в зависимости от числа mesh-устройств в сети N при размере АТІМ-окна M

ближение допустимо и не ведет к большим неточностям аналитической модели. Как уже говорилось, в АТІМ-окне запрещена передача кадров данных, поэтому оно должно быть как можно короче. С другой стороны, в коротком окне вероятность коллизии биконов выше. Результаты, полученные в работе [6], позволяют настраивать размер АТІМ-окна в зависимости от числа МР в сети так, что вероятность успешной передачи бикона для выбранного МР не превышает заранее заданной величины, и размер АТІМ-окна при этом минимален.

НЕ ДОЖИДАЯСЬ СТАНДАРТА – ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ MESH-СЕТЕЙ

Несмотря на то, что работа над стандартом 802.11s еще не завершена, многие ведущие производители телекоммуникационного оборудования и программного обеспечения уже представили свои версии реализации mesh-сетей и оборудования для них. Одно из наиболее полных и законченных решений предложила компания Cisco Systems. Она предстает

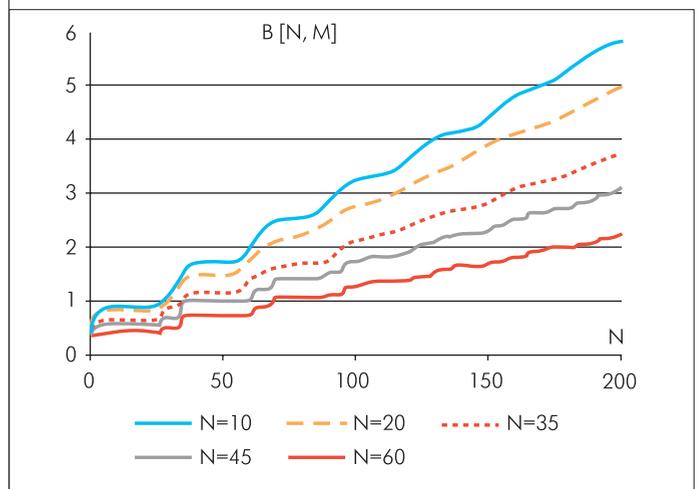


Рис.4. Среднее число успешных передач биконов за бикон-интервал в зависимости от размера АТІМ-окна M, когда число mesh-устройств в сети равно N

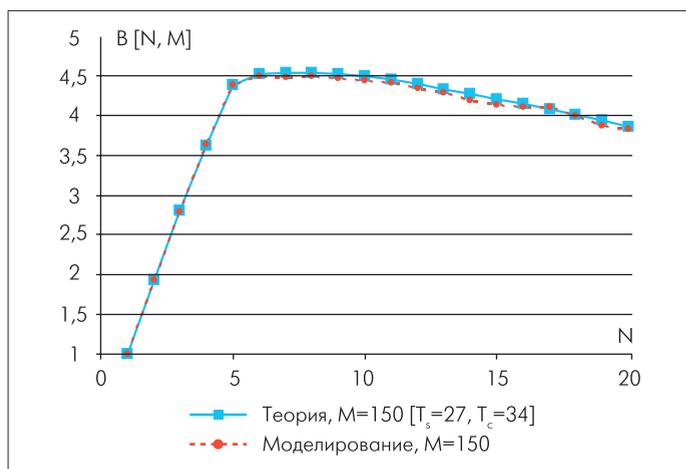


Рис. 6. Сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования, в котором значения t_s и t_c округлены до целого числа слотов

вила беспроводную платформу Cisco Aironet 1520 Series, включающую в себя точку доступа mesh-сети внешнего исполнения Cisco Aironet 1522, на базе которой и строится mesh-сеть. При этом используется закрытый фирменный протокол маршрутизации Adaptive Wireless Path Protocol (AWPP). Логика протокола скрыта, однако по косвенным данным можно предположить, что он базируется на одной из версий протокола HWMP, работающего в проактивном режиме. Управлением и мониторингом сети занимается специальное устройство – контроллер беспроводной сети Cisco Wireless LAN Controller (компания рекомендует использовать в mesh-сетях контроллеры серии 4400). Он также может служить центром безопасности сети, поскольку включает в себя RADIUS-сервер и поддерживает ряд других служебных сервисов.

Контроллер и устройства сети обмениваются между собой служебной информацией по протоколу управления Lightweight Access Point Protocol (LWAPP). Открытая версия этого протокола редактируется и обсуждается на сайте открытого международного сообщества IETF (Internet Engineering Task Force).

Одна из самых известных в мире фирм в области mesh-сетей – это компания Tropos Networks. Она, в тесном сотрудничестве с фирмой Juniper уже реализовала свыше 500 проектов (в США и по всему миру) на основе своего решения MetroMesh. Ярким примером может служить уже год как работающая сеть Google WiFi, объединяющая более 400 маршрутизаторов в опорной сети, покрывающая более 30 км² и 25 тыс. домов для обслуживания 15 тыс. пользователей. Данного результата удалось достичь благодаря разработке и использованию специального протокола маршрутизации Predictive Wireless Routing Protocol (PWRP), способного работать в больших сетях без потери пропускной способности.

Примечательно и решение компании Nortel – точка доступа Wireless Access Point 7220. Именно на его основе построена московская беспроводная сеть Golden WiFi, которая в 2007

году была признана крупнейшей городской сетью WiFi в мире. Для мониторинга и управления сетью в данном решении используется специальный графический пользовательский интерфейс ENMS, который базируется на протоколе SNMP.

Компания Firetide анонсировала точки доступа mesh-сети HotPoint серии 4000. Эти устройства осуществляют полностью прозрачный переход между существующей проводной и беспроводной mesh-сетью.

Свое решение для mesh-сетей представила и широко известная фирма Proxim. Серия устройств ORiNOCO Wi-Fi Mesh Series примечательна тем, что использует специальный протокол ORiNOCO Mesh Creation Protocol (OMCP), позволяющий использовать один и тот же беспроводной интерфейс как для формирования транспортной mesh-сети, так и для организации доступа пользователей к беспроводной сети.

Первой отечественной реализацией оборудования mesh-сетей внешнего исполнения является аппаратнопрограммный комплекс, разработанный Институтом проблем передачи информации РАН им. А.А.Харкевича (ИППИ РАН), на базе серийно выпускаемого комплекса "Рапира" [8]. В этом оборудовании в качестве базового протокола маршрутизации используется протокол HWMP (в его редакции на данный момент), а также оригинальный протокол маршрутизации, разработанный в ИППИ РАН, позволяющий производить полностью прозрачный переход между существующей проводной и беспроводной mesh-сетью. Кроме того, это оборудование использует контроллер беспроводной сети, обмен данными с которым происходит по протоколу LWAPP.

ЛИТЕРАТУРА

1. IEEE P802.11s/D1.08. Amendment: Mesh Networking. – IEEE, January 2008.
2. IEEE Std 802.11-2007. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. – IEEE, June 2007.
3. Вишневский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. – М.: Техносфера, 2005.
4. IEEE Std 802.11, 1999 Edition. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. – IEEE, August 1999.
5. IEEE P802.11s/D1.00. Amendment: Mesh Networking. – IEEE, November 2006.
6. Alexander Safonov, Andrey Lyakhov, and Stanislav Sharov. Synchronization and Beaconing in IEEE 802.11s Mesh Networks. - Proc. of MACOM, Saint-Petersburg, 2008
7. www.gpss.ru
8. Вишневский В.М., Гузаков Н.Н., Лаконцев Д.В. Беспроводная радиоэлектронная система "Рапира"/ - Электроника: НТБ, 2005, №1.

Важнейший форум в области инфокоммуникаций

IPTV

IPTV FORUM RUSSIA/CIS

24 – 25 июня 2008 • гостиница Рэдиссон САС Славянская



Спонсор конференции

D-Link
Building Networks for People

При поддержке

mpeg
Industry Forum

informativ

Официальный консультант

COMNEWS
RESEARCH

Организатор

exosystems
FOR INFOCOMMUNICATIONS GROUP INC.

<http://www.exosystems.ru/iptv/2008>

+7 495 995 80 80