

УДК 004.732

В.С. Чернега, доцент, канд. техн. наук

С.А. Виниченко, магістр

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: v_chernega@rambler.ru

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ТРАНСПОРТНОГО УРОВНЯ БЕСПРОВОДНЫХ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ ПРИ НАЛИЧИИ СКРЫТЫХ СТАНЦИЙ

Детально проанализирована процедура обмена кадрами между клиентскими компьютерами и точкой доступа беспроводной локальной компьютерной сети стандарта 802.11b, работающей в инфраструктурном режиме при наличии скрытых станций с использованием процедуры RTS/CTS, и получены выражения, позволяющие рассчитать пропускную способность такой сети.

Ключевые слова: *беспроводные локальные сети 802.11b, инфраструктурный режим, пропускная способность, скрытые станции, процедура RTS/CTS.*

Проблемам теоретического расчета и измерения реальной пропускной способности в беспроводных локальных компьютерных сетях посвящен ряд публикаций. Однако в этих работах определяется пропускная способность только на канальном уровне для локальных сетей IEEE 802.11g, функционирующих в независимом (Ad Hoc) режиме [1], или на транспортном уровне для сетей IEEE 802.11b [2] без учета наличия скрытых станций. Кроме того, ни в базовом стандарте IEEE 802.11 [3], ни в учебной литературе [4], не рассмотрены временные диаграммы обмена кадрами между клиентскими станциями и точкой доступа при организации сеансов связи в сети на транспортном уровне. Большинство авторов публикаций по данной проблеме ограничиваются иллюстрацией обмена только между клиентскими станциями в Ad Hoc-сетях [1], а некоторые ошибочно трактуют передачу кадров на канальном уровне через точку доступа [4].

Целью данной работы является получение расчетных формул для оценки максимально возможной скорости передачи полезной информации между пользователями при отсутствии коллизий и помех в канале связи, но имеющих скрытые станции. Эта оценка выполнена для сетей, работающих по стандарту IEEE 801.11b в инфраструктурном режиме.

Пропускная способность беспроводной локальной сети представляет собой эффективную скорость передачи данных V_{eff} , которая определяется количеством полезной информации N_B (в битах), выдаваемой получателю за время сеанса связи T_S (в секундах):

$$V_{\text{eff}} = N_B / T_S. \quad (1)$$

Если передача ведется по транспортному протоколу TCP, то процедура сеанса связи между двумя пользовательскими станциями STA-1 и STA-2 через точку доступа AP (Access Point) включает в себя фазу установления соединения между источником и получателем, фазу передачи данных, фазу закрытия и разъединения [5]. С учетом этого, общее время сеанса связи равно

$$T_S = T_C + T_{\text{DT-TCP}} + T_{\text{FIN}}, \quad (2)$$

где T_C — время фазы установления соединения; $T_{\text{DT-TCP}}$ — время фазы передачи данных; T_{FIN} — время фазы завершения и разъединения.

При работе с использованием распределенной функции координации кадры могут передаваться двумя способами: с помощью базового механизма передачи — основного при распределенной функции координации, и процедуры RTS/CTS (Request To Send/Clear To Send), которая является опционной и помогает решать проблемы «скрытых» станций. Эта проблема возникает в беспроводных сетях, когда некоторые станции не имеют связи друг с другом, но существует устойчивая связь с точкой доступа. Для выяснения особенностей прохождения фазы установления соединения, фазы передачи данных и фазы завершения и разъединения в беспроводной локальной сети, работающей в инфраструктурном режиме при использовании процедуры RTS/CTS, применялась программа мониторинга и анализа сетевых пакетов CommView for WiFi.

Фаза установления соединения и фаза завершения и разъединения одинаковы для обоих способов передачи и подробно были рассмотрены в [2]. Базовый механизм передачи и механизм передачи RTS/CTS отличаются только на стадии фазы передачи данных. На рисунке 1 показана временная диаграмма фазы передачи данных при использовании процедуры RTS/CTS. Для различения блоков сообщений, передаваемых на канальном уровне от блоков, передаваемых на транспортном уровне, на диаграмме использованы соответственно названия "кадр" и "пакет".

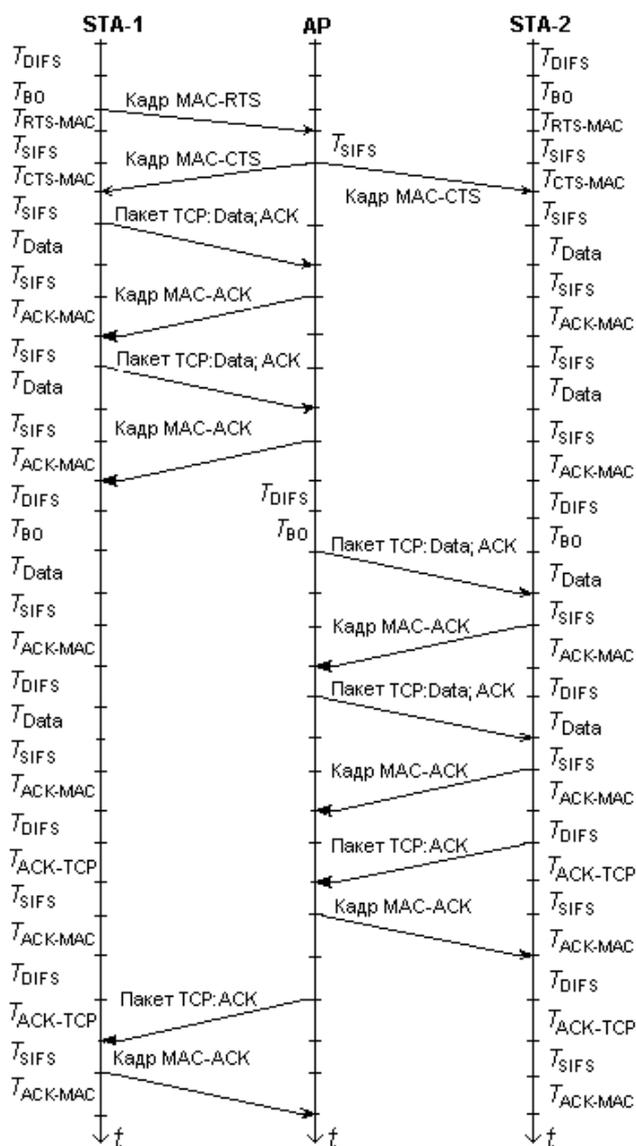


Рисунок 1 – Временная диаграмма передачи данных по TCP-протоколу с учетом механизма RTS/CTS

среде и при отсутствии несущей в канале отправляет станции назначения STA-1 пакет TCP:ACK об успешной передаче данных станции STA-2. Станция STA-1 передает кадр MAC-ACK точке доступа AP, подтверждающий на канальном уровне корректность приема кадра, содержащего подтверждения транспортного уровня.

Время фазы установления соединения T_C и фазы завершения и разъединения T_{FIN} в формуле (2) было определено в [2] только для односторонней передачи данных. Для дуплексного соединения T_C и T_{FIN} рассчитывается по формулам:

$$T_C = 6(T_{DIFS} + T_{BO} + T_{SIFS} + T_{ACK-MAC}) + 2T_{SYN} + 4T_{ACK-TCP}, \quad (3)$$

$$T_{FIN} = 6(T_{DIFS} + T_{BO} + T_{SIFS} + T_{ACK-MAC}) + 2T_{FIN/ACK} + 4T_{ACK-TCP}, \quad (4)$$

где $T_{ACK-MAC}$, $T_{ACK-TCP}$ и T_{SYN} , $T_{FIN/ACK}$ — длительности кадров подтверждения на MAC-уровне, TCP-уровне, пакета синхронизации и пакета разрыва соединения соответственно; T_{DIFS} , T_{SIFS} — длительности межкадровых интервалов DIFS и SIFS; T_{BO} — длительность случайного интервала BO, генерируемого датчиком случайных чисел в диапазоне от 0 до C_{min} , т.е. $T_{BO} = (\Delta t \times C_{min})/2$;

$$T_{ACK-MAC} = T_{PHY} + H_{MAC} / V_D; \quad (6)$$

$$T_{ACK-TCP} = [T_{PHY} + (H_{TCP} + H_{IP} + H_{SNAP} + H_{MAC}) / V_D]; \quad (7)$$

$$T_{SYN} = T_{FIN/ACK} = [T_{PHY} + (H_{TCP} + H_{IP} + H_{SNAP} + H_{MAC}) / V_D], \quad (8)$$

Перед тем как послать данные в «эфир» пользовательская станция STA-1 сначала отправляет специальное короткое сообщение RTS (Ready To Send), которое означает готовность станции STA-1 к отправке данных. Такое RTS-сообщение содержит информацию об адресате и продолжительности предстоящей передачи. RTS-сообщение доступно всем станциям в сети, если только они не скрыты от отправителя. Это позволяет другим станциям задержать передачу на время, равное объявленной длительности сообщения. Точка доступа AP, получив кадр RTS, после выдержки обязательной межкадровой паузы SIFS, отвечает посылкой кадра CTS (Clear To Send), свидетельствующего о своей готовности к приему информации. CTS-сообщение также содержит информацию об адресате и продолжительности предстоящей передачи, но доступно оно всем станциям в сети, в том числе и «скрытым» станциям. После этого передающая станция STA-1 посылает пакет данных, а точка доступа AP передает кадр ACK, подтверждающий безошибочный прием. Затем точка доступа наравне с клиентскими станциями сети включается в конкурентную борьбу за получение доступа к среде и при отсутствии несущей в канале отправляет станции назначения STA-2 пакет данных. Станция STA-2 подтверждает прием на канальном уровне посылкой точке доступа кадра MAC-ACK, а затем, при отсутствии ошибок в принятом пакете, отправляет пакет доступа TCP:ACK, подтверждая безошибочный прием данных на транспортном уровне. Точка доступа подтверждает прием последнего пакета на канальном уровне кадром MAC-ACK. Затем точка доступа снова включается в конкурентную борьбу за получение доступа к

где $T_{PHY} = N_{PHY}/V_{PR}$ — время передачи заголовка физического уровня; V_{PR} — скорость передачи преамбулы; N_{PHY} — длина заголовка физического уровня в битах; H_{TCP} , H_{IP} , H_{MAC} и H_{SNAP} — длина заголовков соответственно транспортного, сетевого, канального и SNAP уровней в битах; V_D — скорость передачи заголовков TCP, IP, SNAP, MAC и данных.

Время фазы передачи данных для процедуры RTS/CTS определяется на основании диаграммы передачи данных (рисунок 1) по формуле:

$$T_{DT-TCP} = 4(T_{DIFS} + T_{BO} + T_{ACK-MAC}) + 6T_{SIFS} + 2(T_{DATA} + T_{ACK-TCP}) + T_{RTS} + T_{CTS}, \quad (9)$$

$$T_{DATA} = [T_{PHY} + (H_{TCP} + H_{IP} + H_{SNAP} + H_{MAC}) / V_D] + N_{DATA} / V_D, \quad (10)$$

$$T_{RTS} = T_{PHY} + H_{MAC} / V_D, \quad (11)$$

$$T_{CTS} = T_{PHY} + H_{MAC} / V_D, \quad (12)$$

где T_{DATA} — время передачи пакета данных с размером информационного поля N_{DATA} битов.

Сообщение пользователя передается получателю фрагментами, и в процессе обмена непрерывно могут передаваться от одного до нескольких пакетов данных без ожидания пакета подтверждения на уровне TCP (пакета ACK) — это зависит от ширины окна. Пакет подтверждения ACK-TCP отправляется на группу пакетов данных, задаваемую шириной окна N_w . С учетом этого формула (9) примет вид (13):

$$T_{DT-TCP} = 2N_w (B + C/N_w + T_{DATA}), \quad (13)$$

где $C = T_{DIFS} + T_{BO} + T_{SIFS} + T_{ACK-MAC} + T_{ACK-TCP}$; $B = 0,5(T_{RTS} + T_{CTS}) + (T_{ACK-MAC} + T_{DIFS} + 2T_{SIFS} + T_{BO})$.

Согласно стандарту для сети IEEE 802.11b [3] структура и размер преамбулы, заголовков более высоких уровней, а также межкадровых интервалов имеют значения представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Значения параметров передачи сообщений по IEEE 802.11b

Параметр	Обозначение	Значение
Межкадровый интервал DIFS	T_{DIFS}	50 мкс
Межкадровый интервал SIFS	T_{SIFS}	10 мкс
Размер преамбулы	N_{PHY}	192 бит
Скорость передачи преамбулы	V_{PR}	1 Мбит/с
Размер заголовка MAC	H_{MAC}	34 байта
Размер заголовка SNAP	H_{SNAP}	5 байтов
Размер заголовка IP	H_{IP}	20 байтов
Размер заголовка TCP	H_{TCP}	32 байта
Размер заголовка UDP	H_{UDP}	8 байтов
Длина тайм-слота	Δt	20 мкс
Минимальное значение счетчика обратного отсчета	C_{min}	31
Размер MAC-кадра ACK	N_{PHY}	14 байтов
Размер кадра RTS	N_{RTS}	20 байтов
Размер кадра CTS	N_{CTS}	14 байтов

При вычислениях пропускной способности окно N_w было взято равной 7, так как окно такого размера принято по умолчанию в протоколе TCP [5]. За время сеанса связи передается большое количество пакетов данных (более 1000), в этом случае время, затрачиваемое на установку соединения и завершение соединения намного меньше времени передачи данных, и им можно пренебречь. Для построения графика зависимости теоретической скорости передачи данных при вычислениях размер передаваемого блока брался от 256 до 1460 байтов.

Изменяя количество байтов в блоке и подставляя его в формулы (13), (6-12) и (1), получаем значения для построения графиков зависимости теоретической пропускной способности для процедуры передачи RTS/CTS $V_{эфф}$ для TCP-протокола. На рисунке 2 изображен график зависимости теоретической пропускной способности на транспортном TCP-уровне с включенным механизмом RTS/CTS от длины пакета данных N_b . На этом же рисунке звездочками отмечены величины эффективной скорости передачи данных $V_{эфф}$, полученные экспериментально с использованием пакета IxChariot.

Из рисунка 2 видно, что рассчитанная по полученным формулам пропускная способность достаточно хорошо совпадает с данными, полученными путем экспериментальных измерений в реальных сетях. Отличие реальной пропускной способности от теоретической связано с тем, что в реальных сетях происходит потеря пакетов (за счет помех и переполнения буфера), и в связи с этим повторные передачи пакетов.

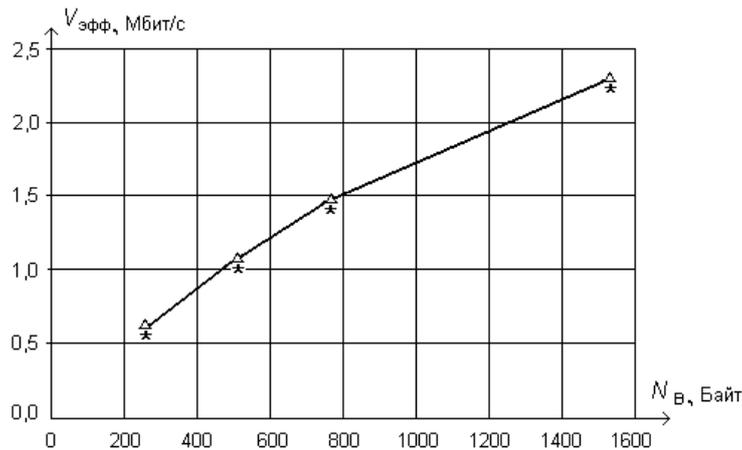


Рисунок 2 — Залежності теоретичної та реальної пропускної здатності від розміра поля даних для TCP-протоколу при наявності прихованих станцій

В подальших дослідженнях передбачається отримати оцінку вигоди в пропускній здатності при підвищенні пріоритету на станції, почавшій передачу мережевого пакета транспортного рівня на час передачі пакета.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Barbosa A.V. The Theoretical Maximum Throughput Calculation for the IEEE 802.11g Standard / A.V. Barbosa, M.F. Caetano, J.I. Bordim // International Journal of Computer Science and Network Security. — 2011. — Vol. 11. — No. 4. — P. 136–142.
2. Чернега В.С. Оцінка потенціальної ефективною швидкості передачі даних на транспортному рівні в мережах 802.11b / В.С. Чернега, Э. Глатц, С.А. Винниченко // Вестник СевНТУ: сб. науч. тр. — Севастополь, 2012. — Вып. 131. — С. 32–36.
3. IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control: IEEE Std 802.11b — 1999. — November 1999. — P. 237.
4. Рошан П. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11: пер. с англ. / П. Рошан, Дж. Лиэри. — М.: Изд-во "Вильямс", 2004. — 304 с.
5. Чернега В.С. Безпроводні локальні комп'ютерні мережі / В. Чернега, Б. Платтнер. — К.: Кондорвидавництво, 2013. — 238 с.

Поступила в редакцію 14.03.2013 г.

Чернега В., Винниченко С. Пропускна спроможність транспортного рівня безпроводних локальних мереж при наявності прихованих станцій

Детально проаналізовано процедуру обміну кадрами між клієнтськими комп'ютерами і точкою доступу безпроводної локальної комп'ютерної мережі стандарту 802.11b яка працює в інфраструктурному режимі з використанням процедури RTS / CTS і отримані вирази, що дозволяють розрахувати потенційну пропускну спроможність такої мережі.

Ключові слова: безпроводні локальні мережі 802.11b, інфраструктурний режим, пропускна здатність, приховані станції, процедура RTS / CTS.

Chernega V., Vinichenco S. Estimation of potential performance of wlangs on transport level in infrastructure mode for procedure the RTS / CTS

The procedure of the data exchange between client computers and the access point of the local wireless network of the standard 802.11b the procedure for RTS / CTS is analysed, and formulas for calculation of potential throughput of such network are received.

Keywords: WLANS of 802.11b, TCP, infrastructural mode, carrying capacity, the procedure RTS/CTS.