

УДК 004.73.001.57

С.А. Нестеренко, д-р техн. наук, проф.,  
Л.В. Иванова, спеціаліст,  
Одес. нац. політехн. ун-т

## АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СКВОЗНОГО КАНАЛА БЕСПРОВОДНОГО СЕГМЕНТА СЕТИ СТАНДАРТА IEEE 802.11

*С.А. Нестеренко, Л.В. Иванова.* Аналітична модель наскрізного каналу бездротового сегменту мережі стандарту IEEE 802.11. Проведено розробку аналітичної моделі наскрізного каналу бездротового сегменту мережі стандарту IEEE 802.11. Виконано дослідження фактичної пропускної здатності каналу за допомогою аналітичної моделі.

*С.А. Нестеренко, Л.В. Иванова.* Аналитическая модель сквозного канала беспроводного сегмента сети стандарта IEEE 802.11. Проведена разработка аналитической модели сквозного канала беспроводного сегмента сети стандарта IEEE 802.11. Выполнены исследования фактической пропускной способности канала с помощью аналитической модели.

*S.A. Nesterenko, L.V. Ivanova.* The analytical model of an end-to-end channel of the 802.11 IEEE standard wireless network segment. The analytical model for the end-to-end channel of the 802.11 IEEE standard wireless network is developed. On the basis of the analytical model the actual of throughput of the channel is investigated.

Сетевые технологии компьютерных и информационных систем — одна из крупнейших отраслей компьютерной индустрии, интенсивно развивающаяся. Построение компьютерной сети весьма капиталоемкий и дорогостоящий процесс, при котором основными составляющими стоимости проекта являются затраты на монтаж и прокладку кабеля. Поэтому использование современных

беспроводных технологий построения компьютерных сетей, позволяющих существенно снизить стоимость создания систем, является базовым процессом сетевого проектирования.

Основные задачи, решаемые корпоративной беспроводной сетью, — высокоскоростной локальный доступ к проводным сетям и серверам данных и передача информации между пользователями сети в пределах территории, на которой она установлена.

Низкая стоимость сетевого оборудования, высокая скорость передачи информации, простота и гибкость его применения обуславливают широкое распространение в корпоративных сетях технологии стандарта IEEE 802.11 [1]. Отсутствие проводных подключений предоставляет свободу расположения рабочих мест, позволяет более рационально использовать офисное пространство с возможностью доступа к необходимым сетевым услугам и данным.

В беспроводной локальной сети используется два типа оборудования: абонентская станция (обычно это компьютер, содержащий беспроводную сетевую карту) и точка доступа, которая выполняет роль моста между беспроводной и проводной сетями. Точка доступа содержит приемопередатчик, интерфейс проводной сети, а также встроенный микрокомпьютер и программное обеспечение для обработки данных.

На пропускную способность сквозного канала беспроводной сети влияют параметры системного, канального и физического уровней сетевой структуры.

В зависимости от множества условий, в которых функционирует беспроводная сеть, ее пропускная способность может изменяться. Стандартом не определен способ выбора пропускной способности сети, однако обозначены следующие основные правила [1]:

— каждая абонентская станция имеет список базовых рабочих скоростей, на которых может работать она и точка доступа; ни один кадр не может быть передан на скорости больше номинальной, определенной стандартом [1];

— каждая базовая зона обслуживания (basic service set BSS) должна поддерживать список базовых рабочих скоростей, которые, в свою очередь, должна поддерживать каждая станция, желающая присоединиться к BSS; любой кадр, адресованный группе станций, должен быть передан на базовой скорости, чтобы станция-адресат из этой группы смогла его принять;

— контрольные кадры, начинающие обмен кадрами данных, должны передаваться на одной из базовых скоростей, чтобы станция-адресат могла ответить кадром подтверждения приема данных на той же скорости.

Механизм, регулирующий повышение/понижение пропускной способности в беспроводной сети, не определен стандартом [1] и определяется производителями сетевого оборудования [2].

В современных сетевых адаптерах осуществляется конвейерная схема обработки кадров, при которой процессы приема кадра из оперативной памяти компьютера и передачи его в сеть совмещаются во времени. После приема нескольких первых байтов кадра начинается их передача. Это существенно — на 25...55 % — повышает производительность цепочки сквозного канала связи (рис. 1).

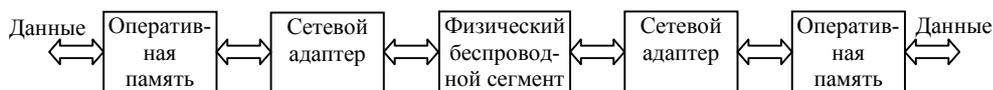


Рис. 1. Схема передачи кадра данных по сквозному каналу беспроводного сегмента сети стандарта [1]

Такая схема очень чувствительна к порогу начала передачи, т. е. к количеству байтов кадра, которое загружается в буфер адаптера перед началом передачи в сеть. Сетевой адаптер третьего поколения осуществляет самонастройку этого параметра путем анализа рабочей среды, а также методом расчета, без участия администратора сети. Самонастройка обеспечивает максимально возможную производительность для конкретного сочетания пропускной способности внутренней шины компьютера, его системы прерываний и системы прямого доступа к памяти.

На сигнал в беспроводной среде может оказывать негативное влияние множество факторов, начиная с помех и низких уровней сигнала и заканчивая коллизиями (нарушениями приема/передачи) кадров данных, в результате чего резко увеличивается количество попыток прие-

ма/передачи каждого кадра данных, что существенно влияет на пропускную способность сети. Следовательно, фактическая пропускная способность сквозного канала беспроводного сегмента сетей стандарта [1] существенно отличается от номинальной пропускной способности физического канала беспроводной связи. При проектировании беспроводных сегментов сети необходимо учитывать фактическую пропускную способность каналов связи. Поэтому разработка моделей, позволяющих учитывать особенности реализации беспроводных каналов связи и обеспечивающих расчет их фактической пропускной способности, актуальна.

Предлагается аналитическая модель, которая позволяет рассчитывать фактическую пропускную способность сквозного канала беспроводного сегмента сети стандарта IEEE 802.11.

Время передачи кадра данных по сквозному каналу с учётом коллизий

$$T_C = T + \frac{N_C}{N_F + N_C} (T_{AT} + T_W), \quad (1)$$

где  $T$  — время передачи кадра данных по сквозному каналу без учета коллизий;

$N_C$  — количество коллизий в единицу времени;

$N_F$  — количество успешно переданных кадров;

$T_{AT}$  — время ожидания подтверждения передачи кадра;

$T_W$  — время ожидания случайного интервала.

Время передачи кадра данных по сквозному каналу без учета коллизий

$$T = T_B + T_{SB} + T_P, \quad (2)$$

где  $T_B$ ,  $T_{SB}$ ,  $T_P$  — время передачи кадра по внутренней шине, системной шине, физическому каналу, соответственно.

Время передачи кадра по внутренней шине

$$T_B = \frac{L}{V_B}, \quad (3)$$

где  $L$  — длина кадра, байт;

$V_B$  — скорость передачи кадра данных по внутренней шине сетевого адаптера.

Пропускная способность внутренней шины

$$V_B = \mu \frac{C_P N_B}{C_T F_C}, \quad (4)$$

где  $F_C$  — тактовая частота шины;

$N_B$  — разрядность шины;

$C_P$  — размер передаваемого/принимаемого кадра, байт;

$C_T$  — количество служебных тактов;

$\mu$  — коэффициент, зависящий от режима работы сетевого адаптера.

Время передачи кадра по системной шине

$$T_{SB} = \frac{L}{V_{SB} V_M}, \quad (5)$$

где  $V_{SB}$  — пропускная способность системной шины;

$V_M$  — пропускная способность оперативной памяти.

В соответствии с методом расчета пропускной способности беспроводного моноканала сети [3] время передачи кадра по физическому беспроводному каналу при использовании контрольных кадров готовности передачи кадра (ready-to-send RTS) и начала передачи кадра (clear-to-send CTS)

$$T_P = T_D + T_{RTS} + 3T_S + T_{CTS} + T_I + T_A + T_W, \quad (6)$$

где  $T_D$  — время ожидания межкадрового интервала (distributed coordination function interframe space DIFS);

$T_{RTS}$  — время передачи кадра RTS;

$T_{CTS}$  — время передачи кадра CTS;  
 $T_I$  — время передачи кадра данных;  
 $T_A$  — время передачи кадра подтверждения (acknowledge ACK);  
 $T_S$  — время ожидания интервала (short interframe space SIFS);  
 $T_W$  — время ожидания случайного интервала (back off period).  
 Время передачи кадров RTS, CTS и ACK:

$$T_M = \frac{8L}{V_S} + T_{PL}, \quad (7)$$

где  $V_S$  — номинальная пропускная способность, определённая стандартом [1];

$T_{PL}$  — время передачи преамбулы и заголовка кадра протокола сближения физического уровня (physical layer convergence protocol PLCP).

При использовании режима работы RTS/CTS время ожидания подтверждения передачи кадра

$$T_{AT} = T_I + 2T_S + T_C. \quad (8)$$

Фактическая пропускная способность беспроводного сегмента сети для заданного размера кадра  $S$

$$V_P = \frac{S}{T_C}. \quad (9)$$

Результаты расчета фактической пропускной способности беспроводного сегмента сети для сетевых адаптеров с использованием различных скоростных режимов передачи для стандарта [1] представлены на рис. 2.

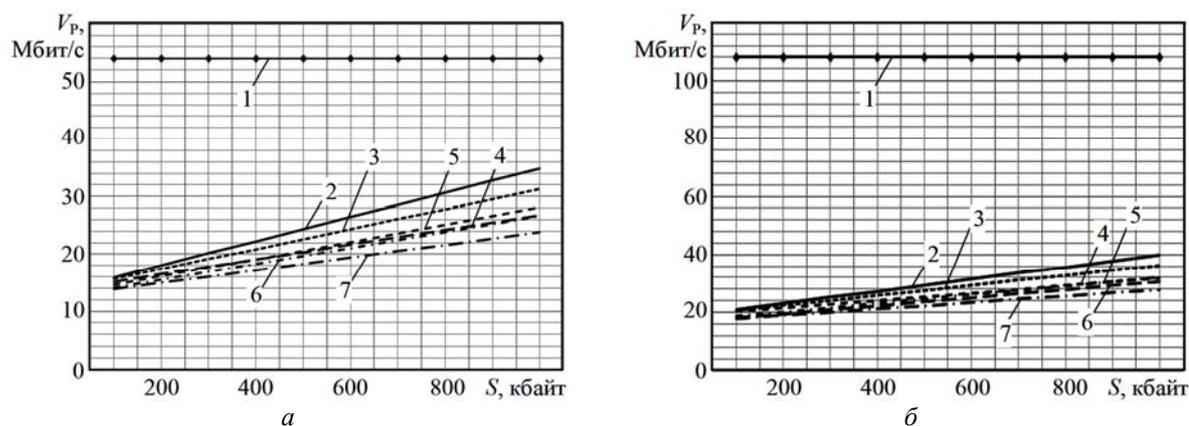


Рис. 2. Зависимости фактической пропускной способности  $V_P$  беспроводного сегмента сети от размера  $S$  кадра при номинальной пропускной способности 54 (а) и 108 Мбит/с (б): 1 — номинальная пропускная способность; 2 — без учета коллизий для PCI-адаптеров; 3 — с учетом коллизий для 5 абонентов с PCI-адаптерами; 4 — с учетом коллизий для 10 абонентов с PCI-адаптерами; 5 — без учета коллизий для Cardbus-адаптеров; 6 — с учетом коллизий для 5 абонентов с Cardbus-адаптерами; 7 — с учетом коллизий для 10 абонентов с Cardbus-адаптерами

Анализ полученных зависимостей показывает, что фактическая пропускная способность сквозного беспроводного канала связи стандарта [1] в 2...4 раза ниже номинальной во всем диапазоне изменения размеров передаваемых кадров данных. Она зависит также от размера  $S$  передаваемого кадра, количества абонентов и параметров сетевого адаптера.

Для определения точности полученных результатов проведены экспериментальные исследования сквозного канала беспроводного сегмента сети стандарта [1]. Результаты тестирования пропускной способности беспроводного сегмента сети для сетевых адаптеров с использованием различных скоростных режимов передачи для стандарта [1] представлены на рис. 3.

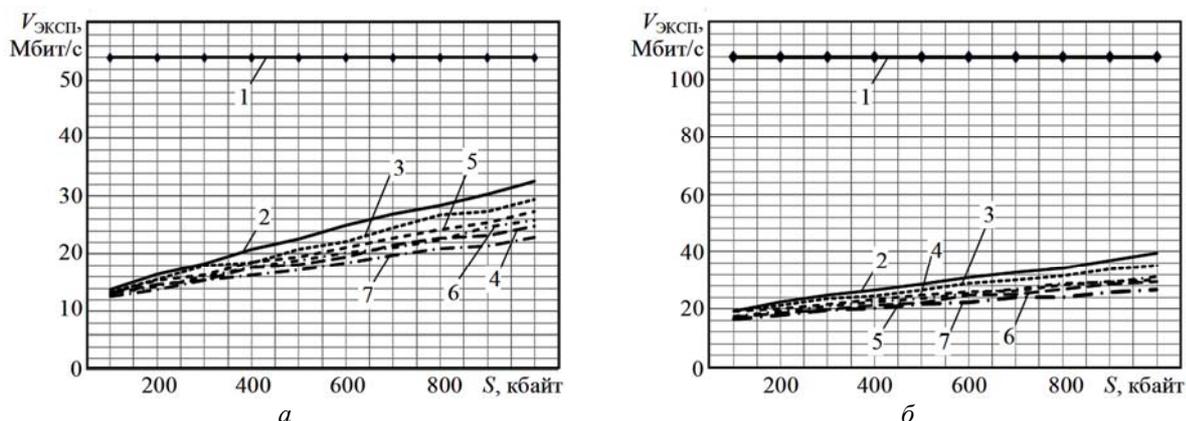


Рис. 3. Зависимости экспериментальной пропускной способности  $V_{\text{ЭКСП}}$  беспроводного сегмента сети от размера  $S$  кадра при номинальной пропускной способности 54 (а) и 108 Мбит/с (б): 1 — номинальная пропускная способность; 2 — без учета коллизий для PCI-адаптеров; 3 — с учетом коллизий для 5 абонентов с PCI-адаптерами; 4 — с учетом коллизий для 10 абонентов с PCI-адаптерами; 5 — без учета коллизий для Cardbus-адаптеров; 6 — с учетом коллизий для 5 абонентов с Cardbus-адаптерами; 7 — с учетом коллизий для 10 абонентов с Cardbus-адаптерами

В результате сравнительного анализа результатов расчета и экспериментального тестирования пропускной способности беспроводного сегмента сети определена относительная погрешность расчетной фактической пропускной способности сквозного канала беспроводного сегмента сети стандарта [1]

$$\delta = \frac{\sum_{j=1}^k \frac{V_{P_j} - V_{\text{ЭКСП}_j}}{V_{P_j}}}{n} \cdot 100\% \quad (10)$$

где  $V_p$  — расчетная пропускная способность;

$V_{\text{ЭКСП}}$  — экспериментальная пропускная способность;

$k$  — количество измерений;

$n$  — количество экспериментов.

Полученное значение относительной погрешности  $\delta=4,73\%$  позволяет говорить о достаточно высокой точности результатов расчета фактической пропускной способности с помощью предложенной аналитической модели сквозного канала беспроводного сегмента сети стандарта IEEE 802.11.

Предложенная аналитическая модель позволяет рассчитывать фактическую пропускную способность беспроводного сегмента проектируемой сети и получать необходимые проектные решения.

### Литература

1. Пахомов, С.Д. Технологии беспроводных сетей семейства 802.11 / С.Д. Пахомов // Информ. технології та комп'ютерна інженерія. — 2004. — № 3. — С. 10 — 15.
2. Баканов, А.С. Метод оценки показателей производительности беспроводных сетей с централизованным управлением / А.С. Баканов, В.М. Вишневикий, А.И. Ляхов // Автоматика и телемеханика. — 2000. — № 4. — С. 97 — 105
3. Нестеренко, С.А. Метод расчета пропускной способности моноканала беспроводной сети стандарта 802.11/ С.А. Нестеренко, А.Ю. Биньковский, Дака Маен.// УНДІРТ. — 2005. — № 4. — С. 26 — 31.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Антошук С.Г.

Поступила в редакцию 20 декабря 2010 г.