

## АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БЕСПРОВОДНОГО КАНАЛА СТАНДАРТА 802.11

*Запропоновано аналітичну модель бездротового каналу стандарту 802.11. Модель враховує колізії і рівень бітових помилок у бездротовому каналу зв'язку. Експериментальним методом проведено оцінку погрешності аналітичної моделі.*

*Предложена аналитическая модель беспроводного канала стандарта 802.11. Модель учитывает коллизии и уровень битовых ошибок в беспроводном канале связи. Экспериментальным методом проведена оценка погрешности аналитической модели.*

*The analytical model of the wireless channel standard 802.11 is offered. The model takes into account collisions and level of bit errors in the wireless communication channel. The experimental method is used for an error estimation of analytical model.*

**Введение.** Характерной особенностью развития современных компьютерных сетей является использование в их составе зон беспроводного доступа. Стремительное развитие беспроводных технологий и уменьшение стоимости соответствующего коммуникационного оборудования обеспечивает постоянный рост количества беспроводных абонентов корпоративных компьютерных сетей.

Качественное проведение проектных работ по вводу в эксплуатацию беспроводных сегментов корпоративной сети требует наличия соответствующих моделей расчета их производительности. Работа физического и канального уровней беспроводной сети определена группой стандартов IEEE 802.11 [1]. Модификации стандарта отличаются реализацией на физическом уровне, но используют единый алгоритм работы на канальном уровне CSMA/CA (множественный доступ с прослушиванием несущей и избеганием коллизий). Использование единого метода доступа позволяет построить обобщенную информационную и математическую модель для всех модификаций стандарта.

В качестве скоростных характеристик беспроводного канала в стандарте приводится скорость передачи информации на физическом уровне. Для пользователя существенно более важной характеристикой является скорость передачи на канальном уровне,

которая учитывает задержки, вносимые алгоритмом работы протокола, коллизии, возникающие при передаче кадров, а также повторные передачи, связанные с определенным уровнем помех в канале.

В данной статье проводится разработка аналитической модели расчета пропускной способности моноканала беспроводной сети стандарта 802.11 с учётом коллизий и уровня битовых ошибок в канале связи (BER – bit error rate).

**Принципы работы беспроводных сетей стандарта 802.11.** Моноканал беспроводной сети стандарта IEEE 802.11 представляет собой среду, разделяемую беспроводными устройствами: абонентами и точкой доступа. В сети с инфраструктурой точка доступа – центральный элемент, через него происходит обмен данными между компонентами беспроводной сети, а также между компонентами проводной и беспроводной сетей.

Метод доступа к среде CSMA/CA состоит в следующем. Станция, желающая передавать, тестирует канал, и если не обнаружено активности в течение интервала времени DIFS (DCF interframe space), ожидает случайный промежуток времени back off period, а затем передаёт, если канал всё ещё свободен. Если кадр приходит целым, принимающая станция ожидает интервал времени SIFS (short interframe space) и затем посылает кадр подтверждения ACK (acknowledge). Если передающая станция не получила кадр ACK, делается предположение, что произошла

коллизия, и кадр данных передаётся снова через случайный промежуток времени.

Интервал back off period состоит из определённого количества интервалов времени – слотов. Количество слотов – равномерно распределённая случайная величина. Если несколько станций соревнуются за доступ к моноканалу и у одной из станций back off period заканчивается, она начинает передавать, а другие станции переводятся в режим ожидания. В течение интервала back off в каждом слоте станции проверяют, свободна ли среда, и если среда свободна, уменьшают значения счётчика back off, в противном случае – приостанавливают процедуру и замораживают текущие значения счётчиков. Когда среда освобождается вновь, эти станции соревнуются с уже имеющимися значениями back off.

Канальный уровень сетей стандарта 802.11 определяет два режима передачи: с предварительной установкой соединения и без неё. Режим с предварительной установкой соединения использует метод Request to Send/Clear to Send (RTS/CTS), в котором посылающая станция передаёт кадр RTS и ждёт ответа точки доступа с кадром CTS. Сигнал CTS заставляет все станции в сети отложить свои передачи на время завершения сеанса связи и получения кадра ACK передающей станцией. Использование метода RTS/CTS опционально и задаётся на стадии инициализации сети.

**Построение аналитической модели расчёта пропускной способности моноканала.** С учетом концептуального описания работы моноканала, приведенного выше, полное время передачи кадра при использовании механизма RTS/CTS вычисляется по следующей формуле:

$$T = t_D + t_R + 3t_S + t_C + t_I + t_A + t_W,$$

где  $t_D$ ,  $t_S$  – времена ожидания интервалов соответственно DIFS и SIFS;  $t_R$ ,  $t_C$ ,  $t_I$  и  $t_A$  – время передачи соответственно кадров RTS, CTS, данных и ACK,  $t_W$  – время ожидания случайного интервала back off period.

Время передачи кадра без использования механизма RTS/CTS определяется по зависимости

$$T = t_D + t_I + t_S + t_A + t_W.$$

Время передачи кадра RTS, CTS и ACK рассчитывается по формуле

$$t_M = \frac{L}{V_S} + t_P,$$

где  $L$  – длина кадра в байтах;  $V_S$  – скорость передачи данных, определённая стандартом;  $t_P$  – время передачи преамбулы и заголовка PLCP кадра (physical layer convergence protocol – протокол сближения физического уровня) [4].

Время передачи данных, определяемое формулами (1) и (2) необходимо скорректировать добавлением времени, связанного с возникновением и обработкой коллизии.

Время обработки коллизии состоит из времени повторной передачи и времени ожидания тайм-аута ACKTimeout – протокола канального уровня. В работе [2] получено аналитическое выражение для расчета вероятности коллизий  $P_C$  в зависимости от режима работы протокола  $R$ , числа абонентов  $N$  и размера кадра  $S$ . Время передачи данных с учётом коллизий  $T_C$  может быть рассчитано так:

$$T_C = T + P_C(t_{AT} + t_W),$$

где  $t_{AT}$  – длительность таймаута ACKTimeout.

Длительность таймаута ACKTimeout без использования режима работы RTS/CTS вычисляется по формуле

$$t_{AT} = t_I + 2t_S + t_A.$$

Длительность таймаута ACKTimeout при использовании режима работы RTS/CTS

$$t_{AT} = t_R + 2t_S + t_C.$$

Пропускная способность беспроводного моноканала  $V$  для заданного размера кадра  $S$  вычисляется следующим образом:

$$V(S) = \frac{1}{T_C} \cdot S.$$

В работе [3] показано, что вероятность повторной передачи кадра при уровне битовых ошибок в канале, равном  $P_{ОБ}$  вычисляется так  $P_{ПП} = \frac{SP_{ОБ}}{1 - SP_{ОБ}}$ . Повторная передача

осуществляется после истечения величины тайм-аута  $T_{ТА}$  протокола транспортного уровня TCP. Следовательно, время транзак-

ции кадра в беспроводном моноканале  $T_{TP}$  стандарта 802.11 с учетом коллизий и битовых ошибок можно представить в виде

$$T_{TP} = T + P_C(t_{AT} + t_W) + \frac{T_{TA}SP_{OB}}{1 - SP_{OB}}.$$

Пропускная способность беспроводного канала связи  $V(S)$  при передаче кадров размера  $S$  вычисляется по формуле

$$V(S) = \left[ T + P_C(t_{AT} + t_W) + \frac{T_{TA}SP_{OB}}{1 - SP_{OB}} \right]^{-1} S.$$

Очевидно, что данные выражения являются аналитической моделью беспроводного канала стандарта 802.11, работающего в условиях коллизий и битовых помех.

Экспериментальным образом была проведена оценка погрешности аналитической модели беспроводного канала. Оценивалась относительная погрешность расчета пропускной способности канала в виде

$$R = \frac{|V_{BK}^{\exists} - V_{BK}^A|}{V_{BK}^{\exists}},$$

где  $V_{BK}^{\exists}$  – экспериментально полученные данные скорости передачи в беспроводном канале,  $V_{BK}^A$  – данные полученные в результате аналитического моделирования. Результаты расчета погрешности модели  $R$  для различных режимов работы беспроводного канала приведены на рис. 1.

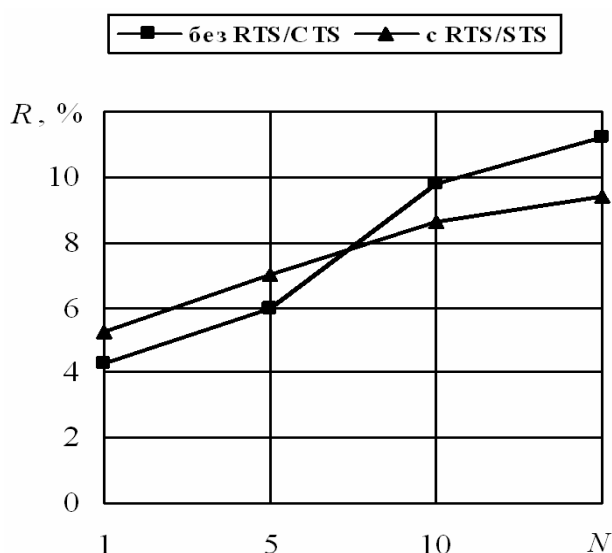


Рис.1. Расчет погрешности аналитической модели для различных режимов работы беспроводного канала связи

С использованием аналитической модели расчета пропускной способности беспроводного канала связи проведено исследование влияния битовых ошибок на производительность канала связи для различных уровней битовых ошибок.

Результаты исследования приведены на рис.2. Анализ результатов показывает, что характеристики беспроводного моноканала существенно ухудшаются при уровне битовых ошибок  $10^{-5}$ . С повышением уровня битовых ошибок до величины  $10^{-4}$  пропускная способность беспроводного канала становится ниже 0,5 Мбит/с, что делает использование канала малоэффективным.

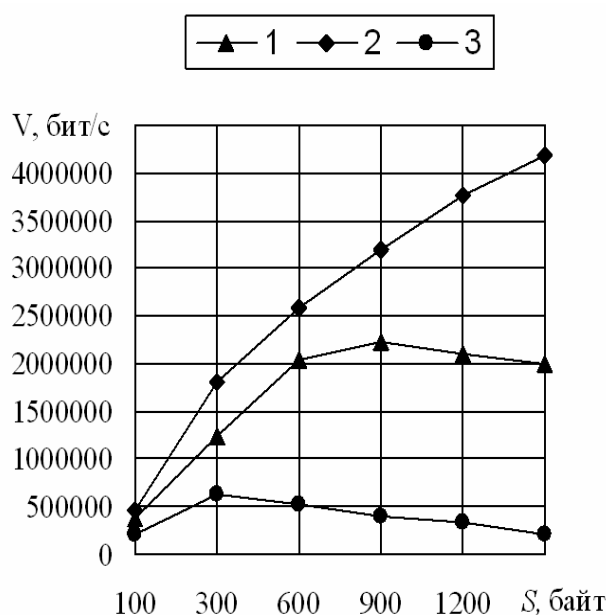


Рис.2. Пропускная способность реального беспроводного моноканала при различных уровнях битовых ошибок в канале связи:

1 – уровень ошибок  $10^{-5}$ ; 2 –  $10^{-6}$ ; 3 –  $10^{-4}$

**Выводы.** Анализ погрешности аналитической модели показывает, что она не превышает 12 % для всех режимов работы беспроводного канала, что свидетельствует о ее высокой точности и позволяет использовать в задачах анализа и синтеза беспроводных компьютерных сетей.

## Список использованной литературы

1. Вильям Столинкс. Беспроводные линии связи и сети – М.: Издательский дом Вильямс, 2003. – 640 с.

2. Нестеренко С.А.. Расчет полезной пропускной способности моноканала беспроводной сети стандарта 802.11 с учетом коллизий /С.А. Нестеренко, А.Ю. Биньковский, Дакка Маен // Холодильна техніка і технологія. – 2005. – № 6 (98). – С. 125-128.

3. Нестеренко С.А. Метод расчета пропускной способности моноканала беспроводной сети стандарта 802.11 / С.А. Нестеренко, А.Ю. Биньковский, Дакка Маен // Праці УНДІРТ. – 2006. – № 1 (45), 2 (46). – С. 109-113.

4. ANSI/IEEE Standard 802.11, 1999 Edition – <http://standards.ieee.org/802.11-1999.pdf>

Получена 20.07.2010



Нестеренко  
Сергей Анатольевич,  
д-р техн. наук, профессор,  
проректор по учебной и  
научно-педагогической  
работе Одесск. нац.  
политехн. ун-та  
(0482) 34-40-25



Нестеренко  
Сергей Сергеевич,  
аспирант Института компьют  
ерных систем  
Одесск. нац. политехн.  
ун-та



Нестеренко  
Юлия Сергеевна,  
студентка Института компьют  
ерных систем  
Одесск. нац. политехн.  
ун-та