

С.Н. Назаров

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ГИБРИДНОЙ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ОЧЕРЕДЕЙ

*Назаров Сергей Николаевич, кандидат технических наук, окончил ВАС им. С.М. Буденного. Доцент кафедры информатики УВАУ ГА, докторант УлГТУ. Область интересов - системы и сети беспроводной связи, математические методы моделирования.
[Тел.: (8422) 77-81-23]*

Аннотация

Рассматриваются основные положения развития беспроводных сетей передачи информации (БСПИ) как гибридных сетей на основе конвергенции стандартов. Приводятся основные положения модели, позволяющей провести оценку характеристик гибридной беспроводной сети передачи информации.

Ключевые слова: беспроводные сети, конвергенция стандартов, механизм избегания коллизий, метод прямой последовательности, гибридная функция координации.

Abstract

The article deals with fundamentals of development of wireless data networks as hybrid networks on basis of standard convergence. It also cites fundamentals of a model which allows evaluating characteristics of hybrid wireless data network.

Key words: wireless networks, standard convergence, mechanism of collision avoidance, method of direct sequence, hybrid function of coordination.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы беспроводные сети передачи информации становятся одним из основных направлений развития телекоммуникационных технологий. Современные БСПИ позволяют решать множество задач - от организации сети внутри помещения до сетей, обеспечивающих передачу информации на расстоянии в несколько тысяч километров. Они обладают следующими преимуществами: быстрота проектирования, реализации и развертывания БСПИ; гибкость архитектуры, обеспечивающая возможность динамического изменения топологии сети при подключении, передвижении, отключении мобильных пользователей; широкий диапазон скоростей передачи разнородной информации: от 0.6 Кбит/с - в сетях декаметрового радиосвязи до 54 Мбит/с (IEEE 802.11a) – 108 Мбит/с (режим Turbo Mode IEEE 802.11g), 120 Мбит/с (IEEE 802.16 Wireless MAN- SC) - в широкополосных БСПИ; высокая степень защиты от НСД; возможность избежать прокладки кабельной системы [1, 2, 3, 4].

Указанные достоинства беспроводных технологий определяются в значительной мере тем, что в основе беспроводных сетей лежат технологии широкополосного сигнала (ШПС), реализующие методы прямой последовательности

(DSSS – direct sequence spread spectrum) и частотных скачков (FHSS – frequency hopping spread spectrum), использования широкой полосы частот, применения различных сигнально-кодовых конструкций, способов адаптации в узкополосном сигнале.

Дальнейшее развитие БСПИ заключается в обеспечении охвата абонентов различными телекоммуникационными услугами по принципу "где угодно, что угодно, когда угодно". Должна предоставляться возможность передачи различных видов трафика - от низкоскоростного по ненадежным каналам с низкой стоимостью до высокоскоростного с высокой стоимостью услуг по надежным каналам [5, 6].

Обобщенный подход к построению гибридной БСПИ

Решать задачу построения гибридной БСПИ возможно на основе принципа конвергенции стандартов, обеспечивая совместимость по целям управления (рис. 1).

Общий подход к построению такой сети показан на рисунке 2. Логика взаимодействия абонентов интегрированной БСПИ показана на рисунке 3 [5, 7].

Для обеспечения эффективной работы беспроводных сетей разработаны международные стандарты, протоколы и рекомендации, которые

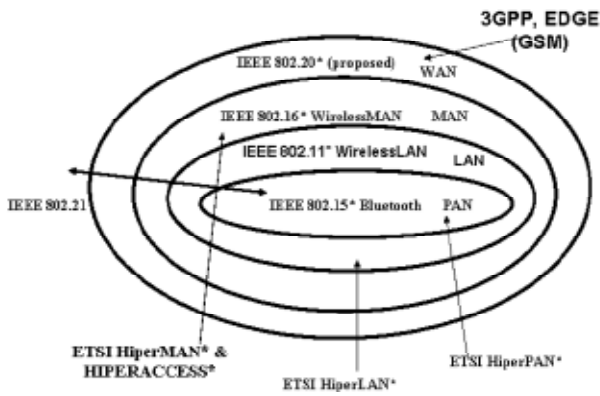


Рис. 1. Взаимодействие стандартов в БСПИ

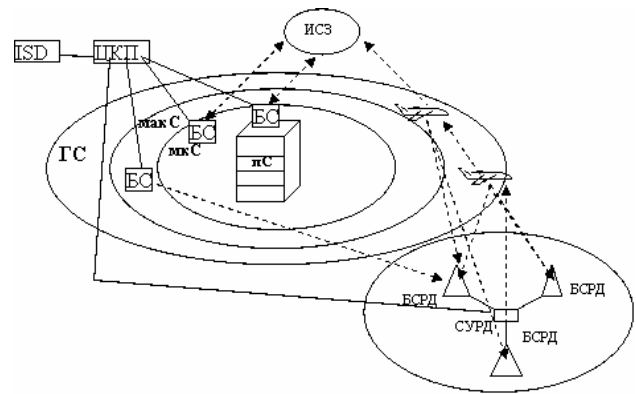


Рис. 2. Общий принцип построения интегрированной сети беспроводной связи

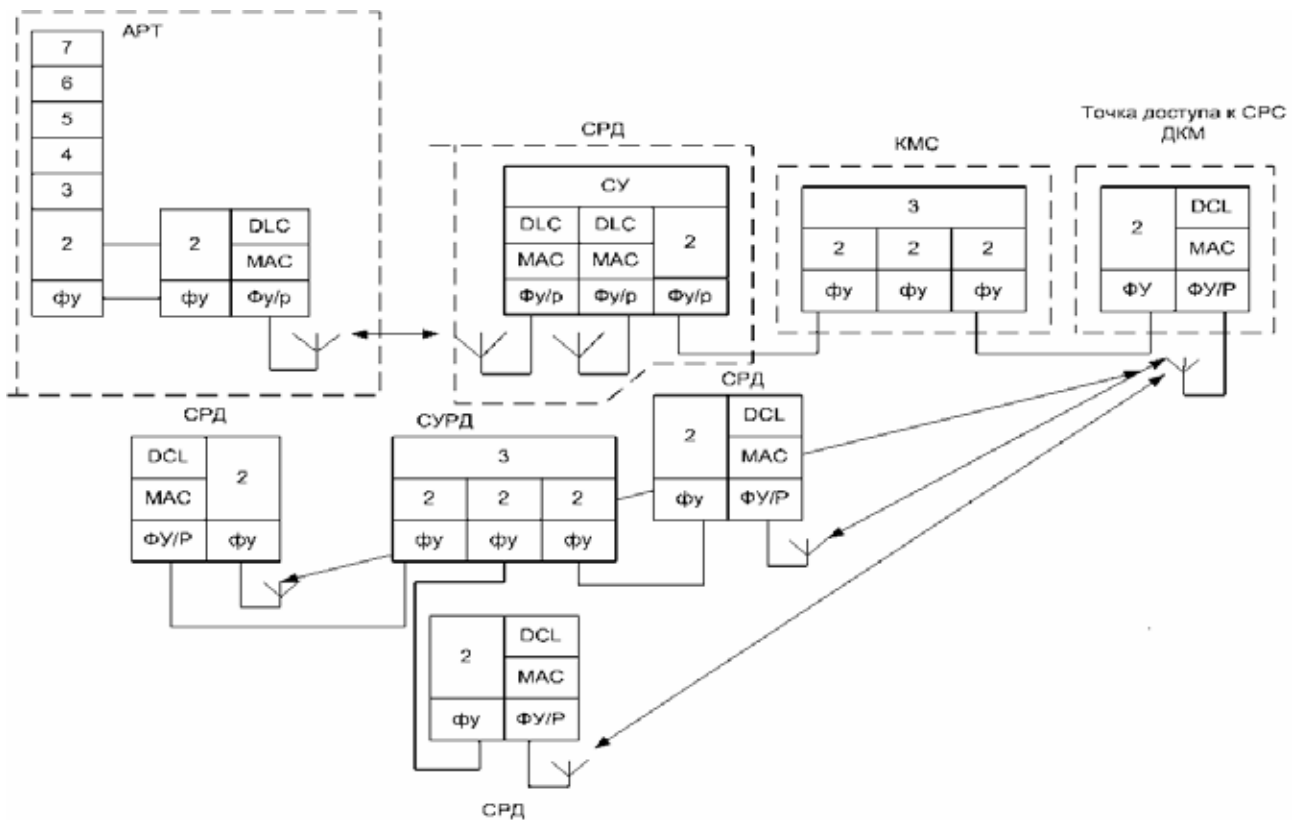


Рис. 3. Логика взаимодействия элементов интегрированной БСПИ

специфицируют физический уровень и уровень управления доступом (MAC): IEEE802.15, 11, 16, сотовой и декаметровой радиосвязи.

На MAC-уровне для протоколов данного семейства определены такие методы коллективного доступа к среде передачи данных, как функция распределенной координации (DCF - distributed coordination function), расширенная функция распределенной координации (extended DCF), функция централизованной координации (PCF - point coordination function), гибридная функция координации (HCF - hybrid coordination function) [1,2,3].

DCF обеспечивает равноправный доступ к среде передачи данных. Эта функция основана на методе коллективного доступа с обнаружением несущей и механизме избегания колли-

зий (CSMA/CA - carrier sense multiple access / collision avoidance). Ее отличие в том, что узел, обнаружив свободную среду, передает информацию в канал через случайно выбранный интервал. Передача пакетов в режиме DCF может осуществляться двумя способами.

Короткие пакеты, длина которых не превышает некоторого заданного значения P, передаются с помощью механизма базового доступа. В этом случае длительность коллизии определяется временем передачи самого длинного пакета (рис. 4).

Для пакетов, длина которых превышает предел P, используется механизм Request-To-Send/Clear-To-send (RTS/CTS). В этом случае применяются дополнительные пакеты управления, обеспечивающие детерминированный доступ к

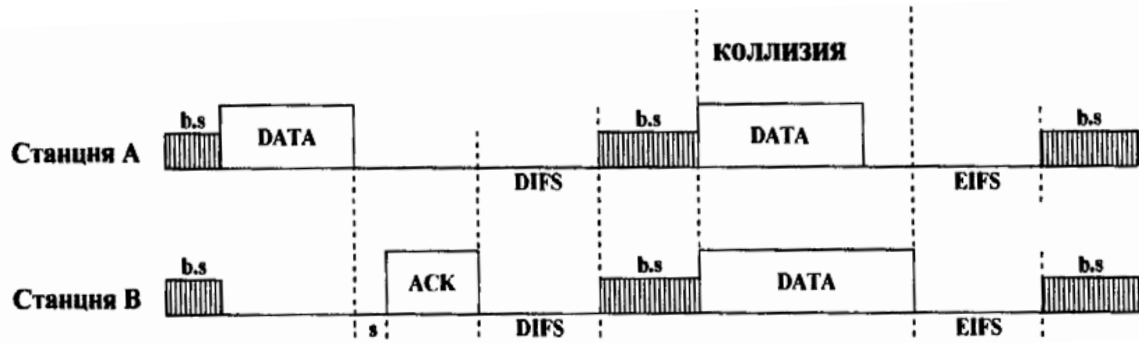


Рис. 4. Передача коротких пакетов методом базового доступа



Рис. 5. Механизм RTS/CTS

каналу, а время коллизии определяется временем передачи короткого управляющего пакета RTS. Значение P выбирается в результате разумного компромисса между дополнительными временными задержками при реализации механизма RTS/CTS и выигрышем в длительности коллизии (рис. 5).

После завершения попытки передачи пакета станция молчит в течение установленного интервала: DIFS — при удачной передаче, EIFS — при неудачной передаче. Затем переходит в режим отложенного состояния: устанавливается счетчик отложенного состояния в значение b , которое измеряется в слотах длительностью σ и выбирается равновероятно из множества $(0, \dots, W-1)$. W — конкурентное окно зависит от числа сделанных попыток передачи n_r ,

$$w = W_i = W_0 * 2^{n_r} \text{ при } n_r < m \text{ и}$$

$$w = W_m \text{ при } n_r \geq m.$$

Станция начинает передачу при условии: истекло время b ; канал передачи был свободен в течение интервала задержки (DIFS или EIFS); в очереди на передачу имеется пакет. При поступлении в пустую очередь нового пакета станция сразу начинает передачу, если на момент поступления пакета канал был свободен в течение интервала задержки, или переходит в состояние отложенной передачи с $n_r = 0$. Состояние отложенной передачи включает две фазы: ожидание освобождения канала, интервал задержки. Если в течение интервала задержки канал свободен, станция начинает отсчет отложенного времени. Отсчет прекращается при получении сигнала за-

нятости канала и возобновляется спустя интервал задержки с момента освобождения канала.

Таким образом, при описании модели учитывается, что значение счетчика отложенного времени уменьшается на 1, если в течение предшествующего слота канал был свободен. Отсчет слотов прекращается, когда канал становится занятым. Значение счетчика уменьшится в следующий раз в течение $\sigma + \text{DIFS}$ или $\sigma + \text{EIFS}$.

Анализ характеристик элемента гибридной БСПИ на основе модели, реализующей методы теории очередей

Упрощенная модель оценки пропускной способности БСПИ с DCF с использованием ШПС рассмотрена в работах [2, 8, 10, 11]. Согласно подходам, рассмотренным в этих работах, время функционирования БСПИ разбивается на неоднородные виртуальные слоты; в начале любого слота каждая станция уменьшает на единицу свой счетчик отложенного времени и может начать передачу при его обнулении; виртуальные слоты могут быть: "пустыми" — передача не осуществляется ни одной станцией; "успешными" — передача осуществляется одной и только одной станцией; "коллизийными" — передача осуществляется более чем одной станцией одновременно; вероятность передачи данной станцией в данном слоте не зависит ни от предыдущего состояния, ни от состояния и поведения других станций и равна τ для всех станций. Тогда вероятности того, что произвольно выбранный слот будет "пустым" — P_e , "успешным" — P_s , "коллизийным" — P_c , определяется выражениями:

$$\begin{aligned} P_e &= (1 - \tau)^N, \\ P_s &= N\tau(1 - \tau)^{N-1}, \\ P_c &= 1 - P_e - P_s, \end{aligned} \quad (1)$$

где N – число станций в сети.

Тогда S – пропускную способность БСПИ определим как:

$$S = \frac{PU}{P_e\sigma + P_sT_s + P_cT_c}, \quad (2)$$

где σ , T_s , T_c – средняя длительность пустого, успешного и коллизийного слотов;

U – среднее число бит информации, успешно переданных в течение успешного слота.

Согласно рисункам 4, 5 T_s , T_c можно определить как:

$$\begin{aligned} T_c &= \sum_{l=l_{\min}}^{\bar{P}} t_d(l)\hat{d}_l(\hat{d}_l + 2(\sum_{k=l_{\min}}^{l-1} \hat{d}_k + \sum_{k=\bar{P}+1}^{l_{\max}} \hat{d}_k)) + \\ &+ t_{RTS}(\sum_{l=\bar{P}+1}^{l_{\max}} \hat{d}_l)^2 + EIFS + \sigma + \delta, \end{aligned} \quad (3)$$

где $t_d(l) = H + l/V$ – время передачи фрейма DATA, включающего пакет длиной l и заголовок, передаваемый за время H , V – скорость канала;

δ – время распространения сигнала, одинаковое для всех станций;

\hat{d}_l – вероятность осуществления при первой попытке передачи пакета длиной l .

$$T_s = \sigma + T_s^0 + \frac{\pi_h^0 T_s^l W_0^{-1}}{1 - \pi_h^l W_0^{-1}}, \quad (4)$$

где W_0^{-1} – вероятность передачи вновь выбранного из очереди пакета после ранее успешно переданного пакета;

$\pi_h^0 = \sum_{l=l_{\min}}^{l_{\max}} \pi_h(l)\hat{d}_l$; $\pi_h^l = \sum_{l=l_{\min}}^{l_{\max}} \pi_h(l)d_l$ – вероятности осуществления попытки передачи пакета длиной l с учетом воздействия помех.

$$\begin{aligned} \pi_h(l) &= [1 - \xi_d(l)](1 - \xi_a) \text{ при } l \leq \bar{P}; \\ \pi_h(l) &= [1 - \xi_d(l)](1 - \xi_r)(1 - \xi_a)^2 \text{ при } l > \bar{P}, \end{aligned} \quad (5)$$

где $\xi_d(l)$ – вероятность искажения помехами фрейма DATA с пакетом длиной l ;

ξ_a – вероятность искажения помехами фреймов CTS и ACK;

ξ_r – вероятность искажения помехами фрейма (l)RTS.

Данные вероятности определяются на основе показателя BER (Bit Error Rate) – вероятности искажения бит:

$$\xi_{l_f} = 1 - e^{-\delta l_f BER}.$$

Длительность “успешного” слота может быть увеличена за счет захвата канала “привилегированной станцией” [1, 2, 8]. В этом случае на длительности “успешного” слота может быть осуществлено несколько попыток передачи пакетов. Средняя длительность попытки определяется как [8]:

$$t_s = A_l(l)[(1 - \xi_d(l))(t_{ack} + SIFS + \delta) + t_d(l) + SIFS + \delta] + A_0(l) + t_{IF}(l), \quad (6)$$

где при $l \leq \bar{P}$

$$\begin{aligned} A_l(l) &= [1 - \xi_r](1 - \xi_a), \\ A_0(l) &= [(1 - \xi_r)(t_{ack} + SIFS + \delta) + t_{rts} + \delta], \\ t_{IF}(l) &= \pi_h(l)DIFS + [1 - \pi_h(l)]EIFS, \\ T_s^0 &= \sum_{l=l_{\min}}^{l_{\max}} t_s \hat{d}_l; \quad T_s^l = \sum_{l=l_{\min}}^{l_{\max}} t_s d_l. \end{aligned}$$

Среднее число байт, переданных в течение “успешного” слота, определяется выражением:

$$U = \sum_{l=l_{\min}}^{l_{\max}} l\pi_h(l)\hat{d}_l + \frac{\pi_h^0 W_0^{-1}}{1 - \pi_h^l W_0^{-1}} \sum_{l=l_{\min}}^{l_{\max}} l\pi_h(l)d_l. \quad (7)$$

Пропускная способность БСПИ, функционирующей под управлением механизма DCF стандарта 802.11, может быть оценена с использованием выражения (7), если известны \hat{d}_l , τ . Для оценки этих параметров в [8] предложен итерационный подход, в основе которого используются выражения (8) и (9).

$$\tau = \sum_{l=l_{\min}}^{l_{\max}} d_l f_l / \sum_{l=l_{\min}}^{l_{\max}} d_l (f_l + \bar{w}_l), \quad (8)$$

$$\hat{d}_l = d_l f_l / \sum_{k=l_{\min}}^{l_{\max}} d_k f_k, \quad (9)$$

где f_l – среднее количество попыток передачи пакетов, совершаемых станцией;

w_l – среднее число слотов, в которых станция воздерживается от передачи в течение рассматриваемого периода времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные в статье основные положения модели позволяют провести анализ характеристик только одного элемента гибридной сети – локальной сети передачи данных, построенной на основе стандартов семейства 802.11. Построение городских и региональных сетей будет осуществляться на основе стандартов 802.16. Анализ характеристик этой сети требует разработки стохастических моделей [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вишневский О.В. Системы полинга: теория и применение в широкополосных беспроводных сетях / В.М. Вишневский, О.В. Семенова. – М.: Техносфера, 2007. – 312 с.

2. Вишнеvский О.В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В.М. Вишнеvский, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. — М.: Техносфера, 2005. — 592 с.

3. Шахнович И.В. Современные технологии беспроводной связи — М.: Техносфера, 2006. — 288 с.

4. Шаров А.Н. Сети радиосвязи с пакетной передачей информации / А.Н. Шаров, В.А. Степанец, В.И. Комашинский / Под ред. А.Н. Шарова. — СПб.: ВАС, 1994. — 216 с.

5. Назаров С.Н. Применение элементов декаметровй радиосвязи в современных беспроводных сетях / С.Н. Назаров // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. — М.: Серия: Цифровая обработка сигналов и ее применение. — 2009. - Выпуск XI-1. - С. 228 — 230.

6. Назаров С.Н. Общий подход к построению современных гибридных сетей беспроводной связи / С.Н. Назаров // Труды Российского

научно—технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. — М.: Серия: Научная сессия, посвященная Дню радио. — 2009. - Выпуск: LXIV. — С. 22-24.

7. Комашинский В.И. Системы подвижной связи с пакетной передачей информации. Основы моделирования / В.И. Комашинский, А.В. Максимов. — М.: Горячая линия — Телеком, 2007. — 176 с.

8. Вишнеvский О.В. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. - М.: Техносфера, 2003. — 512 с.

9. Шаров А.Н. Автоматизированные сети радиосвязи. — Л.: ВАС, 1988. — 178 с.

10. Bianchi G. Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. — 2000. - V.18. - P. 535-548.

11. Cali F., Conti M., Gregory E. Dynamic Tuning of the IEEE 802.11 protocol to Achieve a Theoretical Throughput Limit // IEEE/ACM Transactions on Networking. — 2000. — V.8. — P. 785 -799.