

АНАЛИЗ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ BLUETOOTH-ПИКОСЕТИ В УСЛОВИЯХ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ С ТОЧКОЙ ДОСТУПА СТАНДАРТА 802.11G

В настоящее время устройства стандарта Bluetooth повсеместно используются в различных портативных устройствах, таких как КПК, мобильные телефоны и ноутбуки. Устройства Bluetooth работают в MSI диапазоне (2402...2483 МГц). В этом же диапазоне работают широко распространенные Wi-Fi устройства стандарта 802.11b и 802.11g, применяемые для развертывания локальных беспроводных сетей передачи данных.

Цель данной работы – анализ степени влияния активной сети стандарта 802.11g на производительность Bluetooth-пикосети.

Работа Bluetooth-устройств на физическом уровне основана на методе скачкообразной перестройки частоты. Ведущее устройство 1600 раз в секунду выбирает один из 79 частотных каналов по псевдослучайному алгоритму. Ширина одного канала составляет 1 МГц. [1] Точка доступа стандарта 802.11g занимает один из 13 перекрывающихся частотных каналов шириной 22 МГц. [2] Спектры сигналов Bluetooth и 802.11g приведены на рис.1, из которого видно, что 95% мощности сигнала 802.11g сосредоточены в полосе 16 МГц. [3]. Следовательно, активная точка стандарта 802.11g будет занимать 16 частотных каналов Bluetooth.

Передача пакетов Bluetooth ведется в таймслотах, продолжительность одного

$$T_S = 1/1600 = 625 \text{ мкс.}$$

В зависимости от типа пакет может занимать до 5 таймслотов, в таком случае частотный канал не меняется до окончания передачи пакета. Сам процесс передачи занимает интервал $T_P = 366 \text{ мкс}$ (для пакета, занимающего 1 таймслот), разница в $625 - 366 = 259 \text{ мкс}$ используется для перестройки оборудования на другой частотный канал. Временные характеристики пакетов представлены на рис. 2.

В стандарте 802.11 передача ведется фрагментами с последующим подтверждением каждого фрагмента (рис.3), отправка подтверждения о получении фрагмента и передача следующего фрагмента разделены интервалами SIFS (short interframe space). Для 802.11g его длина составляет 5 мкс. [4].

Вероятность коллизии пакетов Bluetooth и 802.11 будет комбинацией вероятности частотной и временной коллизий. Вероятность коллизии $P_{802.11}$ определяется по формуле

$$P_{802.11} = \frac{T_P}{T_S} \frac{C_{802.11}}{C_B}, \quad (1)$$

где T_P – длина пакета Bluetooth в мкс, T_S – длина таймслота, $C_{802.11}$ – количество каналов, занимаемых 802.11 C_B – количество каналов, доступных Bluetooth (79 или 23 в зависимости от региона).

Приведенные выше вычисления справедливы только для сценария взаимодействия одной сети 802.11 и одной Bluetooth-пикосети, в случае работы нескольких несинхронизированных пикосетей, каждая из них также будет являться помехой для рассматриваемой пикосети.

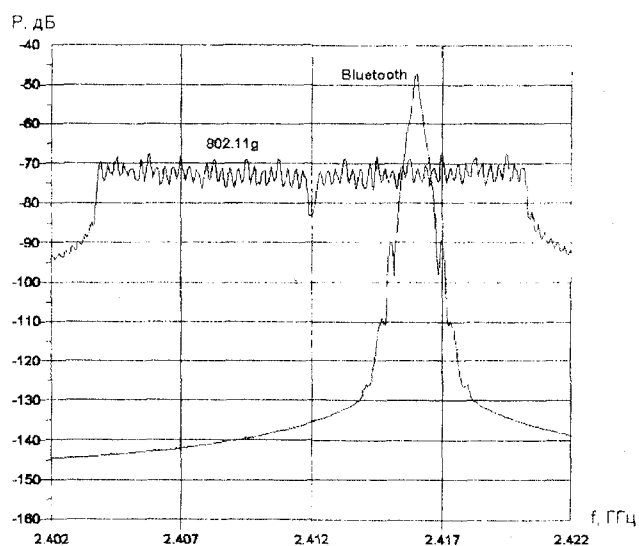


Рис. 1

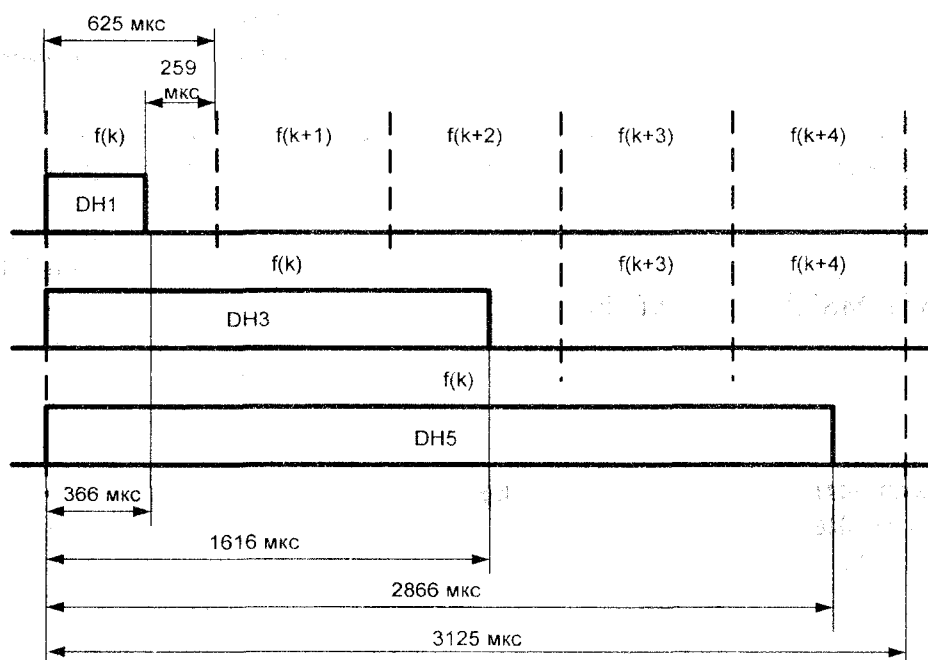


Рис. 2

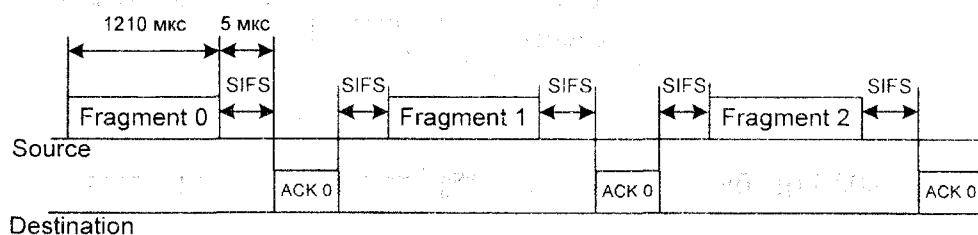


Рис. 3

Рассмотрим ситуацию, когда в зоне действия одной пикосети i работает другая несинхронизированная пикосеть j (рис.4).

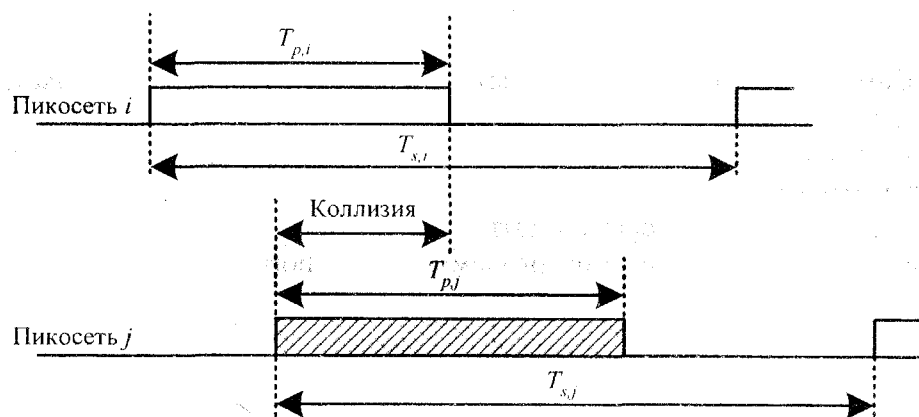


Рис. 4

Вероятность коллизии пакетов двух пикосетей определяется выражением

$$P_{C(i,j)} = \frac{T_{p,i} + T_{p,j}}{\max(T_{s,i}, T_{s,j}) + 625} \cdot \frac{1}{C_B}, \quad (2)$$

где $T_{p,i}$, $T_{p,j}$ – длины пакетов пикосетей i и j , мкс. $T_{s,i}$, $T_{s,j}$ – длины слотов пикосетей i и j , мкс. C_B – количество каналов, доступных для работы Bluetooth.

Таблица 1

Тип пакета	$T_p, \text{ мкс}$	$T_s, \text{ мкс}$	Пропускная способность дуплексного симметричного канала, кбит/с
DM1	366	625	108.8
DH1	366	625	172.8
DM3	1616	1875	256.0
DH3	1616	1875	384.0
DM5	2866	3125	286.7
DH5	2866	3125	432.6

Для N взаимодействующих пикосетей определяется количество пикосетей, оказывающих мешающее воздействие на рассматриваемую пикосеть:

$$N_{INT}(R_{INT}) = \iint_{r, \beta} N(r) \cdot r \cdot dr \cdot d\beta \quad (3)$$

где $N(r) = N_0 \cdot \exp(-k \cdot r)$, N_0 – плотность размещения устройств ($\text{ед}/\text{м}^2$), r – радиус зоны взаимного влияния, k – постоянная, $k=2$; параметры интегрирования $r = (0, R_{INT})$, $\beta = (0, 2\pi)$

Для окончательного вычисления влияющих пикосетей воспользуемся формулой

$$N_{INT}(R_{INT}) = \frac{2\pi N_0}{k^2} \cdot [1 - (kR_{INT} + 1) \cdot \exp(-kR_{INT})]. \quad (4)$$

Вероятность потери пакета пикосети при воздействии N_{INT} влияющих пикосетей определяется выражением

$$P_{BT}(N_{INT}) = 1 - (1 - P_{C(i,j)})^{N_{INT}-1}. \quad (5)$$

Из выражений (1), (2) и (6) определяется вероятность потери пакета Bluetooth при взаимодействии одной сети 802.11 и N_{INT} пикосетей Bluetooth:

$$P_c(N) = 1 - (1 - P_{802.11}) \prod_{N=1, N \neq 1}^N (1 - P_{BT}(N_{INT})). \quad (6)$$

Результаты моделирования представлены на рис. 5

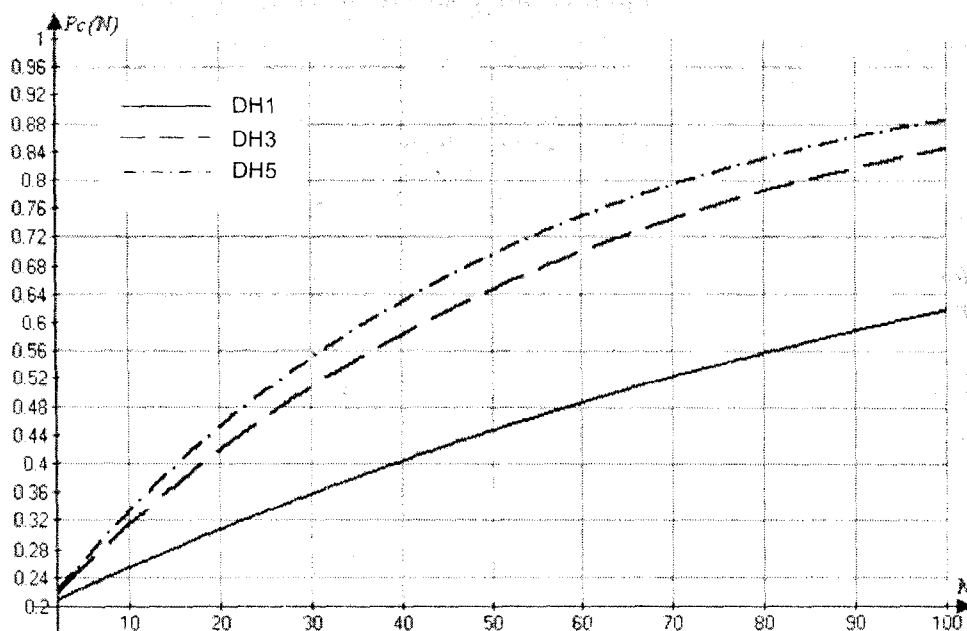


Рис. 5

Пропускная способность и Bluetooth пикосети тестировалась при одновременной работе сети 802.11 с Bluetooth пикосетью, использующей пакеты DH5 (теоретическая пропускная способность составляет 432.6 кбит/с.) рис.6

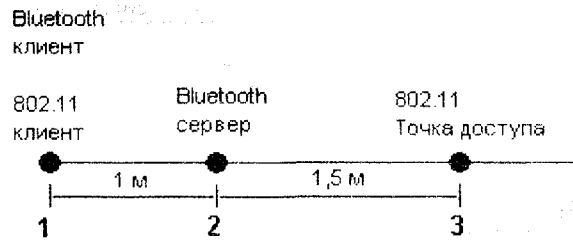


Рис. 6

Для анализа пропускной способности в сети Bluetooth использовалась специализированная программа Bandwidth Test.

Пропускная способность сети Bluetooth при передаче реального трафика с использованием протокола TCP без вмешательства 802.11 составила 331,4 кбит/с. После включения точки доступа 802.11 пропускная способность упала до 262,5 кбит/с. Уменьшение пропускной способности составило 68,9 кбит/с, что составляет 20,8 %. Теоретическое уменьшение пропускной способности для этого сценария составляет

$$P_{802.11} = \frac{T_p}{T_s} \cdot \frac{C_{802.11}}{C_B} = \frac{2866}{3125} \cdot \frac{16}{79} = 18,6\%.$$

Выводы

На основании экспериментальных и теоретических исследований показано, что в условиях всевозрастающей плотности использования офисного беспроводного оборудования локальных сетей появляется опасность возникновения их электромагнитной совместимости. Учитывая возможность адаптации беспроводных сетей к изменению сигнально-помеховой обстановки, снижение качества передаваемой информации проявляется в снижении пропускной способности, которая может падать на 20 и более процентов. Приведенный выше метод оценки пропускной способности получил подтверждение на практике, и может применяться для оценки пропускной способности Bluetooth-пикосети в условиях совместной работы с точкой доступа стандарта 802.11g.

Список литературы: 1. Bluetooth Special Interest Group. "Specification of the Bluetooth System, Core Version 1.0B," December 1999. 2. IEEE Std. 802.11. IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification. 2000. 3. S. Selby, A. Amini, C. Cory Edelman. Simulating Interference Issues between Bluetooth PANs and 802.11 b and 802.11g WLANs. 2002. 4. IEEE Std 802.11. Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band. September 1999. 5. Fredman A. Mechanisms of Interference Reduction for Bluetooth. 2003.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 13.02.2006