

621.396.41

С.А. Гоголева, А.Я. Демидов, Н.А. Каратаева, Д.Ю. Майков, Е.П. Ворошилин

Оценка влияния частотной расстройки на вероятность битовой ошибки в OFDMA системах связи

Разработана модель восходящего (от абонентской станции к базовой) канала OFDMA системы связи. Исследована вероятность появления битовой ошибки в OFDMA системах связи. Произведено статистическое моделирование оценки битовой ошибки в зависимости от величины частотной расстройки, от влияния замираний в многолучевом канале распространения радиоволн (РРВ) и воздействия аддитивного белого гауссовского шума.

Ключевые слова: OFDMA система, канал РРВ, битовая ошибка, BPSK код, сигнальное созвездие, частотная расстройка, отношение сигнал/шум.

Современные технологии беспроводных сетей передачи данных базируются на частотном разделении каналов (OFDMA – *orthogonal frequency division multiple access*).

Для оценки влияния частотной расстройки, возникающей за счет эффекта Доплера, а также несовпадения частот гетеродинов базовой и мобильной станций OFDMA систем, на вероятность битовой ошибки была разработана модель восходящего канала OFDMA системы связи. Разработка велась в соответствии со стандартом IEEE 802.16 – 2009 [1, 2] в платформе Simulink пакета MatLAB. Модель содержит: передатчик OFDMA сигнала; канал РРВ; приемник OFDMA сигнала. Модель обеспечивает: генерацию случайного потока данных; цифровую модуляцию и демодуляцию; формирование OFDMA слота. Слот размещается в трех подканалах, содержащих по 24 поднесущие, из них 8 поднесущих являются пилотными.

Согласно стандарту отдельные поднесущие модулируются с использованием бинарной фазовой манипуляции (*Binary Phase Shift Keying, BPSK*), квадратурной фазовой манипуляции (*Quadrature Phase Shift Keying, QPSK*) или квадратурной амплитудной манипуляции (*Quadrature Amplitude Modulation, QAM*) порядка 16 или 64. Различные виды модуляции BPSK, QPSK, 16-QAM и 64-QAM характеризуются соответствующими сигнальными созвездиями.

В передатчике OFDMA сигнала последовательный цифровой поток данных преобразуется в параллельные подпотоки, которыми модулируются поднесущие. Амплитуды и фазы поднесущих вычисляются на основе выбранной схемы модуляции, где последовательность двоичных чисел преобразуется в последовательность комплексных чисел.

В приемнике OFDMA сигнала восстанавливается битовый поток данных из случайной последовательности комплексных чисел (BPSK, QPSK, QAM кодов). Переданные биты сравниваются с принятыми, и на дисплее выводится вероятность битовой ошибки (рис. 1).

Анализ зависимостей, представленных на рис. 1, показывает, что BPSK код является самым помехоустойчивым. С ростом отношения сигнал/шум битовая ошибка растет, так как при введении частотной расстройки сигнальное КАМ-созвездие BPSK кода отклоняется на угол, пропорциональный изменению частоты. Чем больше расстройка, тем больше наклон сигнального созвездия.

На рис. 2 и 3 представлены зависимости вероятности битовой ошибки от относительного значения частотной расстройки F и от отношения сигнал/шум.

Частотная расстройка F нормирована относительно минимального шага $\Delta F = 1/T_{FFT}$, где T_{FFT} – интервал ортогональности.

Скачкообразное изменение вероятности битовой ошибки происходит при отношениях сигнал/шум от 30 до 10 дБ и объясняется тем, что сигнальное созвездие BPSK кода распадается и при увеличении частотной расстройки начинает наклоняться. При расстройках больше чем 0,2 от частоты поднесущей вероятность битовой ошибки достигает максимума и остается практически неизменной для всех отношений сигнал/шум.

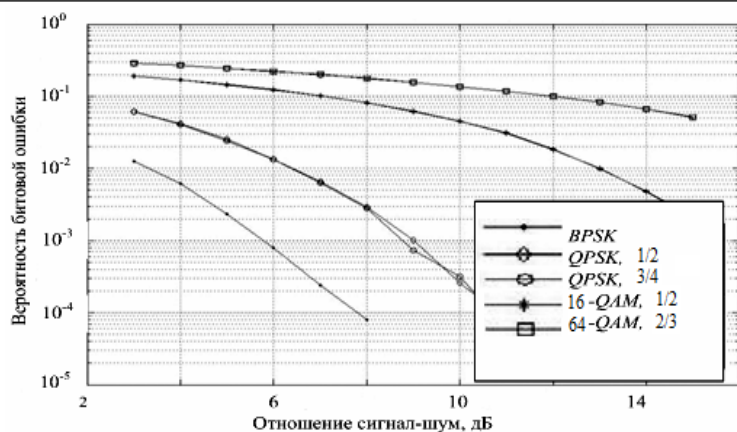


Рис. 1. Зависимость вероятности битовой ошибки от отношения сигнал/шум для разных видов модуляции

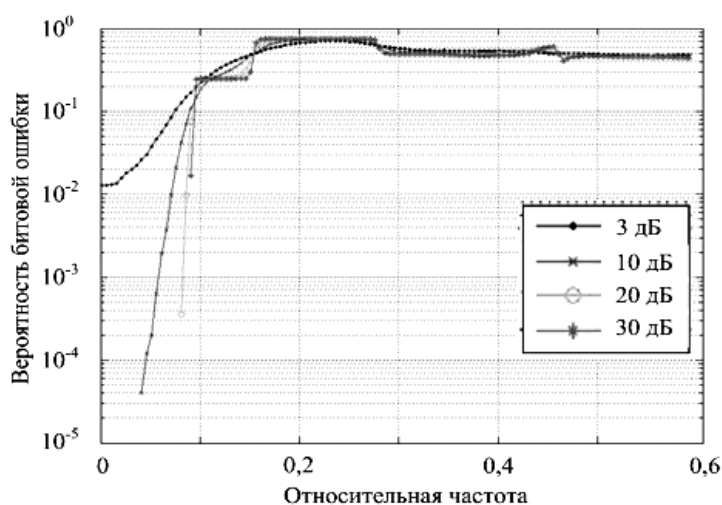


Рис. 2. Зависимость битовой ошибки для BPSK кода от величины частотной расстройки при различных отношениях сигнал/шум

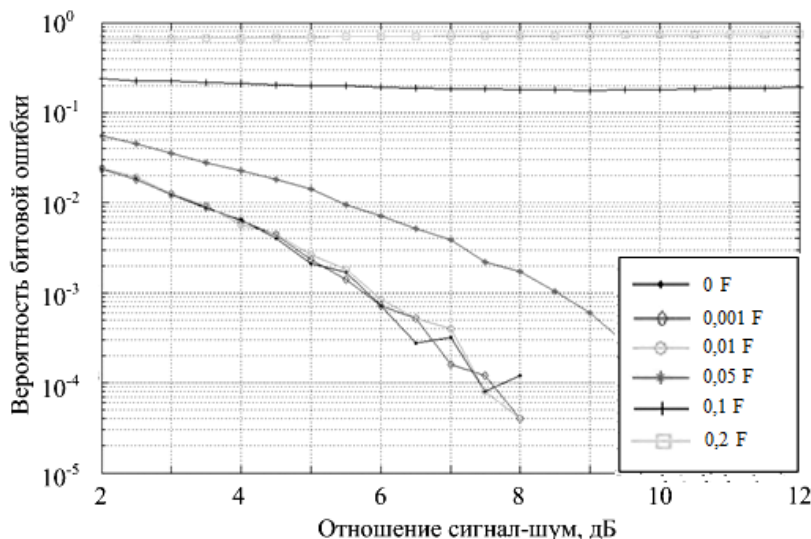


Рис. 3. Зависимость битовой ошибки для BPSK кода от отношения сигнал/шум при различных частотных расстройках

Произведено статистическое моделирование оценки битовой ошибки в зависимости от величины частотной расстройки, от влияния замираний в многолучевом канале распространения радиоволн (РРВ) и воздействия аддитивного белого гауссовского шума. Для уменьшения битовой ошибки в канале РРВ с аддитивным белым гауссовским шумом произведено выравнивание (эквалайзирование) частотной характеристики канала РРВ.

Для оценки частотной характеристики канала РРВ применена линейная интерполяция во временной и частотной областях для каждого подканала. Корректировка искажений производилась методом форсированного нуля [3]. Поскольку радиоканал для каждого пользователя имеет разные затухания и шумовые характеристики, то процедура интерполяции выполнялась независимо для каждого пользователя. Далее рассмотрена структура поднесущих в пределах одной плитки (минимальная структура для передачи данных, каждому пользователю выделяется минимум 6 плиток).

На рис. 4 приведена структура плитки с маркировкой поднесущих, где серым тоном отмечены пилотные поднесущие, а белым поднесущие данных. h_{xy} показывает передаточную функцию канала на поднесущей y в символе x на плитке t .

Для линейной интерполяции в частотной области использовалось взвешенное суммирование вида [3–5]:

$$h_{12} = \frac{2}{3}h_{11} + \frac{1}{3}h_{14}, \quad h_{13} = \frac{1}{3}h_{11} + \frac{2}{3}h_{14},$$

$$h_{32} = \frac{2}{3}h_{31} + \frac{1}{3}h_{34}, \quad h_{33} = \frac{1}{3}h_{31} + \frac{2}{3}h_{34}.$$

Линейная интерполяция во временной области реализовалась как среднее арифметическое:

$$h_{21} = \frac{1}{2}(h_{11} + h_{31}), \quad h_{22} = \frac{1}{2}(h_{12} + h_{32}),$$

$$h_{23} = \frac{1}{2}(h_{13} + h_{33}), \quad h_{24} = \frac{1}{2}(h_{14} + h_{34}).$$

После того как все оценки сформированы, эквалайзер устраняет искажения, вызванные каналом, путем деления принятого сигнала на оценку передаточной функции канала РРВ. Применение линейной интерполяции и эквалайзирования позволило уменьшить вероятность битовой ошибки. На рис. 5 представлена вероятность битовой ошибки после применения линейной интерполяции.

Заключение. Модель восходящего канала передачи данных для OFDMA системы связи, разработанная на платформе «Simulink» в среде «MATLAB» с учетом требований стандарта IEEE 802.16 – 2009, позволила провести симуляцию влияния частотной расстройки, частотно-селективного канала РРВ с замираниями и аддитивным белым гауссовским шумом на вероятность битовой ошибки. В результате получены достоверные результаты по оценке этого влияния.

Работа показала, что модуляция BPSK является самой помехоустойчивой. Вероятность битовой ошибки для него мала. Однако для эффективной работы системы необходима адаптивная модуляция, которая использует BPSK, QPSK, 16-QAM и 64-QAM. Это дает выигрыш и по скорости передачи, и по помехозащищенности.

Частотная расстройка за счет эффекта Доплера и несовпадения частот гетеродинов базовой и мобильной станций OFDMA систем увеличивает вероятность битовой ошибки и при высоком отношении сигнал/шум. Применение эквалайзеров позволяет существенно уменьшить область принятия ошибочных решений.

Данная работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки по контракту 13.G25.31.0011 от 7 сентября 2010 г. в соответствии с Постановлением № 218 Правительства России.

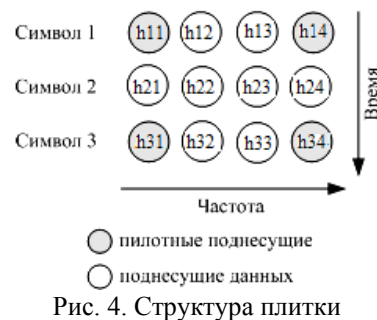


Рис. 4. Структура плитки

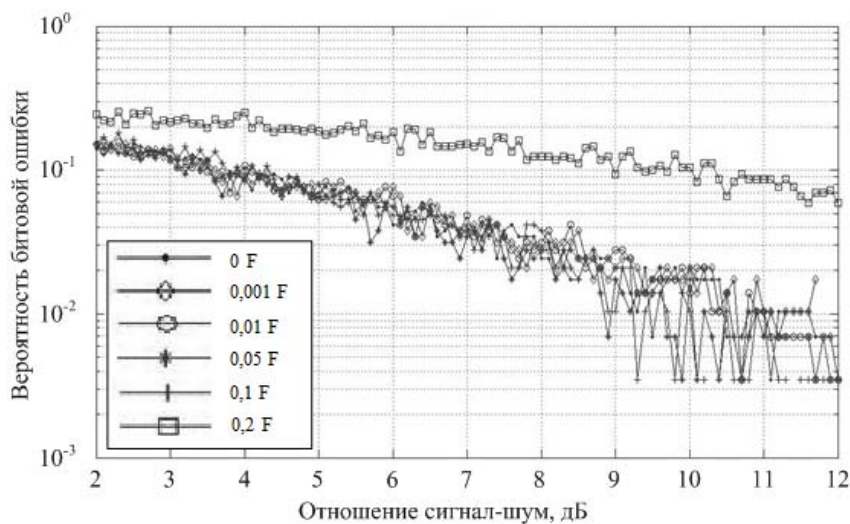


Рис. 5. Зависимость битовой ошибки от отношения сигнал/шум при введении частотной расстройки (с учетом частотно-селективного канала РРВ с замираниями) для BPSK после эквалайзирования

Литература

1. IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems 802.16-2009 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/802.16-2009.pdf>, свободный (дата обращения: 17.08.2011).
2. Шахнович М.И. Стандарт широкополосного доступа IEEE 802.16-2004. Режим OFDMA и адаптивные антенные системы //Электроника: НТБ. – 2005. – № 2. – С. 46–52.
3. Channel Estimation & Equalization for WiMAX. Application notes 434. – ALTERA corporation, version 1.1. – 2007 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.altera.com/literature/an/an434.pdf>, свободный (дата обращения: 14.08.2011).
4. WiMAX Channel Estimation: Algorithms and Implementations, Rev. 0, DRAFT A, July 2007 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://code.ucsd.edu/~yushen/publications_files/Yushi%20Shen-July07-Freescale-WiMAX.pdf, свободный (дата обращения: 9.08.2011).
5. Qing Wang, Yonghua Lin, Jianwen Chen, Da Fan, Ling Shao. Design and implementation WiMAX transceiver on multicore platform, 2009 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.intechopen.com/articles/show/title/design-and-implementation-wimax-transceiver-on-multicore-platform>, свободный (дата обращения: 13.08.2011).

Гоголева Саргылана Алексеевна

Студентка каф. телекоммуникаций и основ радиотехники ТУСУРа

Эл. почта: Gogoleva@stc.dv.rt.ru

Демидов Анатолий Яковлевич

Канд. физ.-мат. наук, доцент

Тел.: 8-913-840-36-28

Эл. почта: rff@tu.tusur.ru

Каратаева Нина Александровна

Канд. техн. наук, профессор каф. ТОР

Тел.: 8-960-977-98-27

Эл. почта: KarataevaNA@tor.tusur.ru

Майков Денис Юрьевич

Аспирант каф. радиотехнических систем ТУСУРа

Тел.: 8-923-409-06-85

Эл. почта: dum_tusur@mail.ru

Ворошилин Евгений Павлович

Канд. техн. наук, зав. каф. телекоммуникации основ радиотехники ТУСУРа

Тел.: 8-(382-2) 41-36-70

Эл. почта: vep@sibmail.com

Gogoleva S.A., Demidov A.Y., Karataeva N.A., Maykov D.U., Voroshilin E.P.

Assessing the impact of frequency detuning on the probability of bit error in the OFDMA communication systems

The model of uplink OFDMA communication system has been developed. We investigated the probability of bit error in the OFDMA communication systems and produced statistical modeling of estimation of the bit error as a function of frequency detuning, the influence of multipath fading in radio propagation channel and the effects of additive white Gaussian noise.

Keywords: OFDMA system, channel ERE, bit error, BPSK code, signal constellation, frequency detuning, signal/noise.