УДК 621.396.946

Д.А. Коротков, А.С. Вершинин, Е.П. Ворошилин

Алгоритм управления мощностью для системы широкополосного беспроводного доступа стандарта WiMAX IEEE 802.16e

Предложен алгоритм управления мощностью для систем беспроводного широкополосного доступа, основанных на стандарте WiMax IEEE 802.16e. Приведены результаты статистического моделирования алгоритмов оценки и управления мощностью.

Ключевые слова: управление мощностью, начальное ранжирование, периодическое ранжирование, OFDM-символ, базовая станция, мобильная станция.

Теория управления мощностью в сотовых сетях начала систематически изучаться с 70-х годов прошлого века. Управление мощностью в современных системах связи обеспечивает бесперебойную работу в условиях многолучевого канала распространения радиоволн (РРВ), минимальный расход энергии аккумуляторов мобильных станций (МС), предотвращает интерференцию сигналов различных пользователей в широкополосных системах с кодовым разделением каналов, в которых ортогональность сигналов имеет ключевое значение.

В данной статье рассматривается алгоритм управления мощностью мобильной станции основанный на стандарте IEEE 802.16e [1]. Кадр (фрэйм) обмена информацией между базовой станцией (БС) и мобильными станциями разделен на два субфрэйма: нисходящий (Downlink) и восходящий (Uplink). В нисходящем субфрэйме передаются данные от базовой станции к абонентским станциям, а в восходящем – от абонентских станций к базовой.

Мощность принимаемого БС сигнала зависит от взаимного расположения базовой и мобильной станций, параметров канала РРВ и излучаемой мощности. Управление мощностью осуществляется на протяжении всего времени работы МС в сети с помощью следующих инструментов:

1. Начальное ранжирование (IR).
2. Периодическое ранжирование (PR).
3. Информационный сигнал.

Основными требованиями, предъявляемыми к управлению мощностью в стандарте IEEE 802.16e, являются [1]:

1. Управление мощностью должно обеспечивать работу при флуктуациях сигнала 30 дБ/с и глубиной замираний до 10 дБ.

2. БС должна учитывать различные режимы работы при контроле мощности МС. (Такие как модуляция, помехоустойчивое кодирование, пик-фактор).

3. МС должна поддерживать одну и ту же мощность независимо от количества выделенных для неё подканалов. При изменении числа выделенных для МС подканалов спектральная мощность должна изменяться соответственно, без дополнительных команд от БС.

Средняя спектральная мощность одной поднесущей вычисляется как

$$P_{\text{new}} = P_{\text{last}} + (C/N_{\text{new}} - C/N_{\text{last}}) - (10\log_{10}(R_{\text{new}}) - 10\log_{10}(R_{\text{last}})) + \text{offset},$$

где P_{new}, P_{last} – мощность сигнала при последующей и последней передачах; C/N_{new}, C/N_{last} – нормированные коэффициенты, характеризующие вид модуляции и способ помехоустойчивого кодирования при последующей и последней передачах; R_{new}, R_{lasr} – коэффициенты повторения при последующей и последней передачах, offset – корректировка мощности по команде БС.

Для того чтобы управлять мощностью сигнала МС в процедурах PR и IR, базовая стация должна оценивать мощность ренжинговых сигналов.

Алгоритм измерения мощности по ренжинговому сигналу. Чтобы оценить мощность IR и PR сигнала, базовая станция должна выполнить следующую последовательность действий:

1. Измерить спектральную мощность помехи:

- Производится прямое преобразование Фурье над принятым сигналом.

· Вычисляется энергия одного символа E_1^i и взаимная энергия двух символов E_2^i в частотной области:

$$E_1^i = \sum_{j=1}^{N} |S_i(j)|^2,$$

где j – номер поднесущей OFDM-символа; i – номер символа в восходящем субкадре; $S_i(j)$ – коэффициенты ряда Фурье, E_1^i – энергия i-го символа; N – количество поднесущих в OFDM-символе.

$$E_2^i = \sum_{n=1}^{N} \left| S_i(n) \cdot S^*_{i+1}(n) \right|,$$

где n – номер поднесущей OFDM-символа; i – номер пары символов в восходящем субкадре; E_2^i – взаимная энергия i-й пары символов.

· Вычисляется отношение энергии одного символа E_1^i и взаимной энергии двух символов E_2^i.

· Отношение сравнивается с пороговым значением *P*. Если оно больше, то второй символ из пары, используемой для вычисления взаимной энергии E_2^i, считается шумовым: $E_1^{i+1} = E_{N_0}$. Его энергия будет равна энергии шума в ренжинговых подканалах.

· Вычисляется средняя спектральная плотность помехи N_0 по формуле:

$$P_{N_0} = \frac{E_{N_0}}{k},$$

где *k* – количество поднесущих в ренжинговых подканалах.

Основной вклад в мощность помехи вносят шумы аналогового тракта, как известно, их мощность зависит от температуры. В реальных системах температура меняется медленно по сравнению с длительностью кадра, поэтому вполне достаточно оценивать мощность сигнала лишь в описанные выше моменты времени.

2. Принять сигнал от мобильной станции.
3. Провести прямое преобразование Фурье над принятым сигналом.
4. Провести частотную селекцию ренжинговых подканалов.
5. Провести идентификацию кода. Для идентификации ренжингового кода рассчитываются функции взаимной корреляции принятого и опорного сигналов, соответствующие *k*-му коду. Для каждой функции взаимной корреляции обнаруживают пик, который сравнивается с пороговым значением. При превышении порога выносится решение о наличии ренжингового сигнала, соответствующего *k*-му коду. Количество функций взаимной корреляции соответствует количеству разрешенных кодов.
6. Значение энергии, полученное при идентификации кода, умножить на нормирующий коэффициент $R_{\text{норм}}$:

$$E_k = E_{\text{кор}} R_{\text{норм}},$$

где $E_{\text{кор}}$ – значение энергии, полученное при идентификации кода в ренжинговом сигнале,

$$R_{\text{норм}} = \frac{M[|S_k(n)|]}{M[|C_k(n)|]},$$

$S_k(n)$ – принятый сигнал, соответствующий *k*-му коду; $C_k(n)$ – последовательность, соответствующая *k*-му коду; $M[]$ – оператор математического ожидания.

7. Рассчитать среднюю спектральную мощность ренжингового сигнала:

$$P_i = \frac{E_k}{N_{RNG}} - P_{N_0},$$

где P_{N_0} – спектральная мощность помехи; N_{RNG} – количество поднесущих в ренжинговом сигнале.

Существует возможность дополнительно контролировать мощность излучения МС с помощью измерения мощности информационного сигнала. Оценка мощности по информационному сигналу проводится следующим образом:

1. Измеряется спектральная мощность помехи. Алгоритм измерения спектральной мощности помехи представлен выше.

2. Вычисляется преобразование Фурье принятого сигнала.
3. Проводится частотная селекция нужных подканалов.
4. Вычисляется энергия информационного сигнала:

$$E_{\mathrm{DATA}} = \sum_{k=1}^{N_{\mathrm{DATA}}} S(k)S^*(k),$$

где N_{DATA} – количество поднесущих в информационном сигнале; $S(k)$ – спектральные компоненты принятого сигнала.

5. Рассчитывается средняя спектральная мощность информационного сигнала:

$$P_i = \frac{E_{\mathrm{DATA}}}{N_{\mathrm{DATA}}} - P_{N_0},$$

где P_{N_0} – спектральная мощность помехи.

Для описания алгоритма управления мощностью обычно используют критерий оптимальности [2]. Он может быть задан с помощью оптимизируемых переменных, целевой функции, набора ограничений и постоянных параметров. Оптимизируемыми переменными могут быть мощность сигнала, диаграмма направленности, выбор БС, расположение выделенных частот в полосе, время передачи.

В данной статье рассматривается алгоритм распределенного управления мощностью [2]. Алгоритм основан на минимизации общего уровня излучамой энергии при обеспечении требуемого уровня *SIR* (*Signal to Interference Ratio*, отношение сигнала к помехе). Такое управление позволяет увеличить продолжительность работы батареи МС и обеспечить бесперебойное соединение.

При работе системы в условиях многолучевого канала РРВ возникают быстрые и медленные замирания мощности. Быстрые замирания возникают при перемещении МС на расстояние, сравнимое с длиной волны относительно БС и отражателей. Медленные замирания возникают при перемещении МС на расстояния, много большие длины волны. Для корректного управления мощностью необходимо оценивать мощность сигнала, подверженного медленным замираниям и в соответствии с этой оценкой формировать команды управления. Проводить оценку мощности сигнала, подверженного медленным замираниям, возможно, усредняя значения мощности за интервал времени *T*. Величина интервала *T* зависит от параметров канала распространения радиоволн. Для современных систем ШБД разработаны многочисленные модели каналов [4]. В таблице приведена модель канала РРВ для обычного города.

Модель COST 259 радиоканала для обычного города (Typical Urban) [4]

Номер луча	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Задержка, нс	0	217	512	514	517	674	882	1230	1287	1311	1349	1533
Мощность, дБ	–5,7	–7,6	–10,1	–10,2	–10,2	–11,5	–13,4	–16,3	–16,9	–17,1	–17,4	–19

Закон распределенного управления мощностью описывается формулой [2]

$$p(t+1) = \frac{\gamma}{SIR(t)} M[p(t)],$$

где $M[p(t)] = \sum_{i=t-T}^{t} \frac{p(i)}{T}$ – среднее значение мощности на интервале T; $SIR(t) = \frac{M[p(t)]}{P_{N_0}}$ – отношение средней мощности сигнала к мощности помехи в момент времени *t*; γ – пороговое значение SIR; p – мощность излученная МС.

Результаты моделирования алгоритма оценки мощности для различных каналов РРВ приведены на рис. 1–3 и результаты работы алгоритма управления мощностью на (рис. 4). Пороговое значение *SIR* задано равным 20, а мощность шума – равной –90 дБм. Подробное описание сигналов, используемых при моделировании, и модели канала приводится в статье «Модель физического уровня системы широкополосного беспроводного доступа Mobile WiMAX с пространственно-временным кодированием» [3].

Моделирование проведено при следующих условиях: МС излучает сигнал мощностью –20 дБм, длительность одного такта соответствует длительности одного кадра для системы WiMAX

OFDMA/TDD и равна 3,1 мс, МС движется по направлению к БС со скоростью 100 км/ч, количество отражателей 12, расположенных в соответствии с моделью канала, приведенной в таблице.

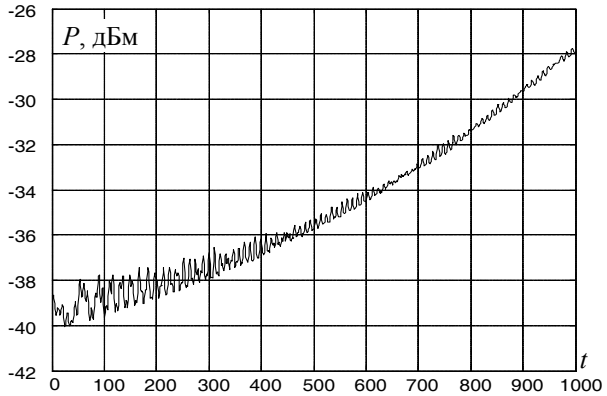

Рис. 1. Зависимость мощности сигнала, принимаемого БС от расстояния

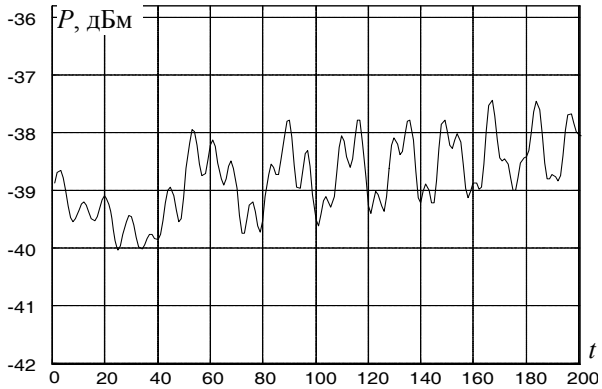

Рис. 2. Зависимость мощности сигнала, принимаемого БС от расстояния на интервале первых 200 тактов

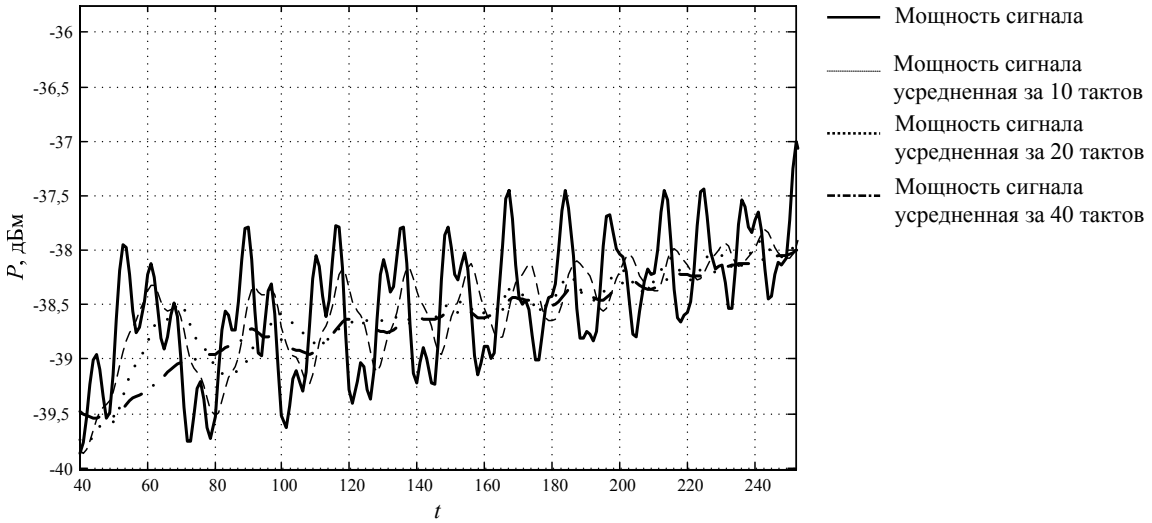

Рис. 3. Зависимости мощностей сигнала принимаемого БС от расстояния при усреднении за 10, 20 и 40 тактов

Результаты работы алгоритма управления мощностью представлены на рис. 4.

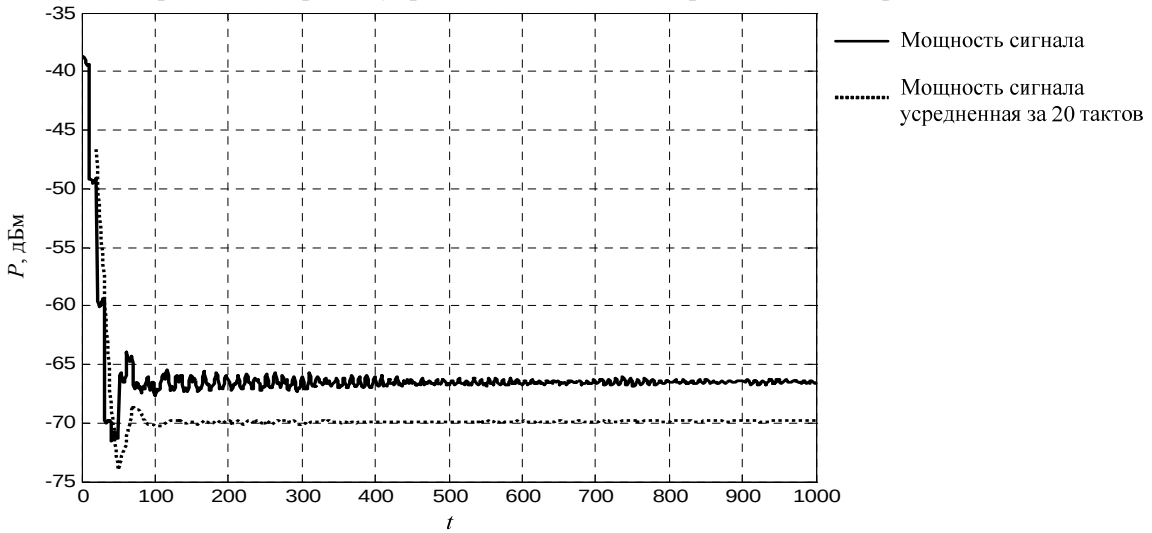

Рис. 4. Зависимость мощности сигнала принимаемого БС от расстояния при двенадцати отражателях, расположенных в соответствии с моделью канала, приведенной в таблице

Выводы. На основании подробного знакомства со стандартами IEEE 802.16d и 802.16e и работами, посвященными параметрам канала распространения радиоволн для систем широкополосного беспроводного доступа, был разработан алгоритм управления мощностью для системы Mobile WiMAX. Алгоритм функционирует в условиях быстрых и медленных частотно-селективных замираний мощности сигнала. Особенностью алгоритма является использование априорных данных о характеристиках канала распространения радиоволн для выбора интервала усреднения мощности сигнала. Такой подход существенно уменьшает вероятность ошибочного срабатывания алгоритма по кратковременным (быстрым) замираниям мощности.

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.

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: 20.08.2011).
2. Power control in wireless cellular networks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.princeton.edu/~chiangm/powercontrol.pdf, свободный (дата обращения: 8.11.2011).
3. Вершинин А.С. Модель физического уровня системы широкополосного беспроводного доступа с пространственно-временным кодированием / А.С. Вершинин, Д.А. Коротков, Е.П. Ворошилин // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2011. – № 2 (24), ч. 2. – С. 78–83.
4. Channel Models: A Tutorial, 2007 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www1.cse.wustl.edu/~jain/cse574-08/ftp/channel_model_tutorial.pdf, свободный (дата обращения: 10.04.2011).

Коротков Дмитрий Андреевич
Студент, каф. радиотехнических систем ТУСУРа
Тел.: 8-923-409-06-86
Эл. почта: kor_dm@sibmail.com

Вершинин Александр Сергеевич
Аспирант каф. телекоммуникаций и основ радиотехники ТУСУРа
Тел.: 8-913-804-94-64
Эл. почта: vershkoff@sibmail.com

Ворошилин Евгений Павлович
Канд. техн. наук, зав. каф. телекоммуникаций и основ радиотехники ТУСУРа
Тел.: 8 (382-2) 41-33-98
Эл. почта: vep@tor.tusur.ru

Korotkov D.A., Vershinin A.S., Voroshilin E.P.

Algorithm for power control in wireless broadband system, based on WiMAX IEEE 802/16-2009 standard

This paper describes the algorithm of power control in wireless broadband system, based on WiMAX IEEE 802/16-2009 standard. There are given the results of modeling the algorithms of signal power estimation and ranging.

Keywords: power control, initial ranging, periodical ranging, OFDM symbol, base station, mobile station.