Исследование вероятностно-временных характеристик функционирования соты WiMAX с несколькими режимами модуляции и эластичным трафиком данных

Рассматривается аналитическая модель соты WiMAX, применяющей одну из ключевых технологий, входящих в состав стандарта IEEE 802.16, адаптивную модуляцию и кодирование. Она позволяет динамически изменять режим модуляции для того, чтобы снизить потери и увеличить скорость передачи данных. В модели рассматривается два типа трафика: голос и сеансы данных, последние — эластичного типа.

Ефимушкина Т.В.,
бакалавр кафедры Систем телекоммуникаций РУДН,
tvefimushkina@gmail.com

Молчанов Д.А.,
старший научный исследователь кафедры Техники связи
факультета Вычислений и электротехники
Технологического университета Тампере, Финляндия
moltchan@cs.tut.fi

Кучерявый Е.А.,
профессор кафедры Техники связи
факультета Вычислений и электротехники
Технологического университета Тампере, Финляндия
yk@cs.tut.fi

Введение

Сети WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) являются реализацией технологии широкополосного беспроводного доступа Broadband Wireless Access (BWA) стандарта IEEE 802.16, и реализуют самые последние достижения науки и техники в области радиосвязи, телекоммуникаций и компьютерных сетей.

В системах WiMAX, применяется широкополосный Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) сигнал, образованный из множества разнесенных по частотному спектру узкополосных сигналов. Сигнал OFDM в сетях WiMAX фиксированного доступа стандарта IEEE 802.16-2004 имеет до 256 поднесущих, в сетях мобильного WiMAX стандарта IEEE 802.16e — до 2048 поднесущих.

В WiMAX используется технология адаптивной модуляции и кодирования AMC (Adaptive Modulation and Coding), которая заключается в автоматическом выборе модуляции в зависимости от текущего соотношения сигнал/шум в канале передачи. Это позволяет использовать спектрально эффективные режимы модуляции (64-QAM) на меньших расстояниях и достигать тем самым большей скорости передачи данных. При увеличении расстояния между базовой станцией и мобильной станцией (или при уменьшении излучаемой мощности) возможен выбор более помехоустойчивой, но менее скоростной модуляции (QPSK).

В табл.1 представлены различные режимы модуляции и кодирования (PM), поддерживаемые системой WiMAX [1,2]. Далее рассматривается общий случай, когда в зависимости от условий в канале может быть выбран один из N PM. Всего WiMAX поддерживает 64 различных PM.

Описание модели

Рассмотрим функционирование соты сети подвижной связи, построенной на базе технологии WiMAX. Будем считать, что в соте поддерживается N PM, $N < \infty$.

В соте рассматривается два типа трафика: голосовые вызовы и эластичные сеансы данных.

Будем считать, что весь частотный интервал соты поделен на M базовых частотных каналов (БК), при этом под БК будем подразумевать канал с минимальной используемой частотной полосой.

Для установления соединения с i PM (i-PM), каждый голосовой вызов требует t_i БК, в то время как для сеансов данных необходимо t_i БК, $i = \overline{1,N}$.

Состояние системы обозначим, как $(\vec{v},\vec{d}) = (v_1,...,v_N,d_1,...,d_N)$, где v_i представляет число обслуживающихся голосовых вызовов в соте, а d_i — число обслуживающихся сеансов данных с i-PM, $i = \overline{1,N}$. Далее везде, $i = \overline{1,N}$. Примем следующие обозначения $\vec{v}^{\top} = (v_1,...,v_N)$, $\vec{d}^{\top} = (d_1,...,d_N)$, $\vec{s} = (s_1,...,s_N)$, $\vec{t} = (t_1,...,t_N)$ и $M^v = \vec{v}^{\top}\vec{s}$, $M^d = \vec{d}^{\top}\vec{t}$, $M^{vd} = M^v + M^d$.

Для наиболее эффективного использования ширины полосы пропускания (ШПП) вся свободная от голосовых вызовов полоса предоставляется сеансам данных. При этом сеансы данных, находящиеся на обслуживании занимают $M - M^v$ БК пропорционально доле занимаемого минимального числа t_i БК: $\left[(M - M^v)\frac{t_i d_i}{M^d}\right]$. Таким образом, каждому сеансу с i-PM дополнительно к минимально выделяемым БК предоставляется необязательно целое число $n_i(\vec{v},\vec{d}) = \left[(M - M^v)\frac{t_i d_i}{M^d}\right] / d_i$ БК, где $M - M^v$ — это число БК, занимаемых сеансами данных.

Таблица 1

Схемы модуляции и кодирования, поддерживаемые WiMAX

PM	Нисходящий канал	Восходящий канал
Модуляция	BPSK (опцион.), QPSK, 16QAM, 64QAM	BPSK, QPSK, 16QAM; 64QAM (опцион.)
Обязательное кодирование	Сверточное кодирование со скоростью 1/2, 2/3,3/4, 5/6	Сверточное кодирование со скоростью 1/2, 2/3,3/4, 5/6
Опциональное кодирование	Сверточное турбокодирование со скоростью 1/2, 2/3, 3/4, 5/6; повторное кодирование со скоростью 1/2, 1/3, 1/6, LDPC-код, код Рида-Соломона	Сверточное турбокодирование со скоростью 1/2, 2/3, 3/4, 5/6; повторное кодирование со скоростью 1/2, 1/3, 1/6, LDPC-код

Схема принятия поступающих вызовов

В данной модели рассматривается три типа вызовов: новый вызов, хэндовер-вызов и вызов, меняющий модуляцию. В качестве правила установления соединения, дающего приоритет как хэндовер-вызовам, так и вызовам, меняющим модуляцию, используется выделение резервных каналов. Это означает, что базовой стан-

ции назначен некоторый порог g, причем $0 < g < M$.

Число свободной ШПП для нового вызова вычисляется в соответствии с $f^{s}(\vec{v},\vec{d}) = M - g - M^{vd}$. Для хэндовер-вызова и вызова, меняющего модуляцию число свободной ШПП — $f^{sh}(\vec{v},\vec{d}) = M - g - M^{vd}$, $f^{sh}(\vec{v},\vec{d}) = M - M^{vd}$.

При поступлении в соте нового голосового вызова с i-PM, он будет принят, если находящиеся на обслуживании сеансы данных будут иметь необходимый минимум БК для продолжения обслуживания после передачи s_i БК новому голосовому вызову: $f^{s}(\vec{v},\vec{d}) \geq s_i$.

При поступлении в соте нового хэндовер-вызова с i-PM, он будет принят, если $f^{sh}(\vec{v},\vec{d}) \geq s_i$.

При поступлении вызова, меняющего модуляцию с i-PM на $(i+1)$-PM, он будет принят, если в системе есть необходимое для смены число БК $f^{sh}(\vec{v},\vec{d}) \geq \Delta s$, где $\Delta s = s_{i+1} - s_i$, причем для данного случая $i = \overline{1, N-1}$, принимая во внимание возможное освобождение БК сеансами данных, находящихся на обслуживании.

При поступлении нового, хэндовер-запроса или запроса, меняющего модуляцию с i-PM на $(i+1)$-PM, на открытие сеанса данных, он будет принят, если $f^{sn}(\vec{v},\vec{d}) \geq t_i$, $f^{sh}(\vec{v},\vec{d}) \geq t_i$ и $f^{sh}(\vec{v},\vec{d}) \geq \Delta t$, где $\Delta t = t_{i+1} - t_i$, $i = \overline{1, N-1}$, соответственно.

В противном случае в нашей модели указанный голосовой вызов или запрос на сеанс блокируется, теряется и не оказывает влияния на потоки вызовов в соте. И наоборот, при окончании обслуживания голосового вызова или завершении сеанса, освободившиеся ресурсы будут добавлены действующим в этот момент сеансам передачи данных в соответствии с алгоритмом, описываемым выше.

Нагрузочные параметры

Примем, что поступающий поток голосовых вызовов и запросов на открытие сеансов данных — пуассоновский; а длительность обслуживания и процесс изменения модуляции имеют экспоненциальные распределения. Введем их интенсивности:

λ_i^{vn} — интенсивность поступления нового голосового вызова с i-PM; λ_i^{vh} — интенсивность поступления голосового хэндовер-вызова с i-PM; λ_i^{dn} — интенсивность поступления нового запроса на открытие сеанса данных с i-PM; λ_i^{vh} — интенсивность поступления хэндовер-запроса на открытие сеанса данных с i-PM; $\mu_i^{v} = s\mu_i$ — интенсивность обслуживания голосового вызова с i-PM; $\mu_i^{d}(\vec{v},\vec{d}) = n_i(\vec{v},\vec{d})\mu_i$ — интенсивность обслуживания сеанса данных с i-PM в состоянии $(\vec{v},\vec{d})$; γ_i^{v} — интенсивность изменения PM голосового вызова с i-PM на $|i-2|+1$-PM; γ_i^{d} — интенсивность изменения PM сеанса данных с i-PM на $|i-2|+1$-PM.

Функционирование данной системы описывается марковским процессом с пространством состояний [3]:

$$S = \left\{ (\vec{v},\vec{d}) \mid v_i = \overline{0, \left\lfloor \frac{M}{s_i} \right\rfloor}, d_i = \overline{0, \left\lfloor \frac{M}{t_i} \right\rfloor}, 0 \leq M^{vd} \leq M, i = \overline{1, N} \right\}.$$

Вследствие сделанных предположений о марковском процессе, существует стационарное распределение вероятностей $p(\vec{v},\vec{d})$, которое можно получить с помощью системы уравнений равновесия и нормализующей функции $\sum_S p(\vec{v},\vec{d}) = 1$.

Вероятностно-временные характеристики

С помощью стационарного распределения вероятностей можно получить формулы для вероятностей блокировок поступающего голосового вызова и запроса на открытие сеанса данных.

Пусть π — вероятность, того что поступающий вызов или сеанс данных будет заблокирован. Тогда $\pi^{s} = \sum_B p(\vec{v},\vec{d})$, где B — подпространство состояний марковского процесса, в которых вызов/сеанс данных блокируется.

Тогда, для каждого типа вызова/сеанса данных подпространство B можно представить следующим образом:

- для нового голосового вызова

$$B_i^{vn} = \left\{ (\vec{v},\vec{d}) \in S \mid f^{n}(\vec{v}+\vec{e}_i,\vec{d}) < 0 \right\}$$

- для голосового хэндовер-вызова

$$B_i^{vh} = \left\{ (\vec{v},\vec{d}) \in S \mid f^{h}(\vec{v}+\vec{e}_i,\vec{d}) < 0 \right\}$$

- для голосового вызова, меняющего модуляцию с i-PM на с $|i-2|+1$-PM;

$$B_i^{vm} = \left\{ (\vec{v},\vec{d}) \in S \mid f^{h}(\vec{v},\vec{d}) < \Delta s \right\}$$

- для нового запроса на открытие сеанса данных;

$$B_i^{dn} = \left\{ (\vec{v},\vec{d}) \in S \mid f^{n}(\vec{v},\vec{d}+\vec{e}_i) < 0 \right\}$$

- для хэндовер-запроса на открытие сеанса данных;

$$B_i^{dh} = \left\{ (\vec{v},\vec{d}) \in S \mid f^{h}(\vec{v},\vec{d}+\vec{e}_i) < 0 \right\}$$

- для сеанса данных, меняющего модуляцию с i-PM на с $|i-2|+1$-PM.

$$B_i^{dm} = \left\{ (\vec{v},\vec{d}) \in S \mid f^{h}(\vec{v},\vec{d}) < \Delta t \right\}$$

Обозначим среднее число голосовых вызовов и сеансов данных, как N. Тогда

$$N = \sum_S (\vec{v},\vec{d})^{T} \vec{1} p(\vec{v},\vec{d})$$

Среднее время пребывания голосовых вызовов в системе с i-PM, как W_i^{v}, где

$$W_i^{v} = \sum_S v_i p(\vec{v},\vec{d}) \Big/ \left[\lambda_i^{vn} \left(1 - \pi^{B_i^{vn}}\right) + \right.$$
$$\left. + \lambda_i^{vh} \left(1 - \pi^{B_i^{vh}}\right) + \gamma_{|i-2|+1}^{v} \sum_S u^{h}(\vec{v}+\vec{e}_i-\vec{e}_{|i-2|+1},\vec{d}) I_{|i-2|+1} p(\vec{v},\vec{d}) \right],$$

в то время как среднее время пребывание сеансов данных в системе с i-PM, как W_i^{d}

$$W_i^{d} = \sum_S d_i p(\vec{v},\vec{d}) \Big/ \left[\lambda_i^{dn} \left(1 - \pi^{B_i^{dn}}\right) + \lambda_i^{dh} \left(1 - \pi^{B_i^{dh}}\right) + \right.$$
$$\left. + \gamma_{|i-2|+1}^{d} \sum_S u^{h}(\vec{v},\vec{d}+\vec{e}_i-\vec{e}_{|i-2|+1}) I_{|i-2|+1} p(\vec{v},\vec{d}) \right].$$

Среднее число занятых каналов может быть представлено в виде

$$U^{c} = \frac{1}{M} \sum_{S-S''} M^{s} p(\vec{v},\vec{d}) + \sum_{S''} p(\vec{v},\vec{d})$$

где $S'' = \left\{ (\vec{v},\vec{d}) \in S \mid M^{vd} > 0 \right\}$

Заключение

Исследована модель с применением технологии адаптивной модуляции и кодирования в рамках стандарта IEEE 802.16. Модель учитывает два типа трафика: голоса и сеансов данных, причем сеансы данных могут использовать все имеющиеся канальные ресурсы, но при поступлении более приоритетного голосового вызова часть ресурсов освобождается для голосового вызова.

В работе получена система уравнений равновесия для данной модели и вероятностно-временные характеристики ее функционирования, включая вероятности блокировок голосовых вызовов и запросов на сеансы данных для всех видов модуляции, средние значения для числа вызовов в системе и времен пребывания голосовых вызовов и сеансов данных.

Полученные характеристики позволяют провести необходимые численные исследования функционирования модели.

Литература

1. **Вишневский В.М., Портной С.Л., Шахнович И.В.** Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G. — М.: Техносфера, 2009. — 472 с.

2. **Kwon E., Lee J., Jung K., Ryu S.** A Performance Model for Admission Control in IEEE 802.16 // WWIC, 2005. — P.159-168.

3. **Башарин Г.П.** Лекции по математической теории телетрафика : учеб. пособие. изд. 2-е испр. и доп. — М.: РУДН, 2007. — 268 с.

Неподшитые заметки Стр.2