

МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ НИСХОДЯЩЕГО КАНАЛА СВЯЗИ ТЕХНОЛОГИИ WiMAX С ОГРАНИЧЕНИЕМ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ

Гаркуша С.В.

В статье предлагается математическая модель распределения пропускной способности нисходящего канала связи технологии WiMAX. Предложенная модель направлена на выделение каждой пользовательской станции гарантированной скорости передачи в условиях отсутствия перегрузки нисходящего канала связи, а также на превентивное ограничение скорости передачи, выделяемой пользовательским станциям в условиях перегрузки. Проанализировано влияние приоритетов запросов скорости передачи, используемых в модели, на характер возможных отказов.

Ключевые слова: WiMAX, распределение пропускной способности, математическая модель, отказы в обслуживании, скорость передачи.

Введение

В настоящее время в современных беспроводных телекоммуникационных сетях (БТС), в частности и в сетях технологии WiMAX, численные значения отдельных показателей качества обслуживания (Quality of Service, QoS), одним из которых является гарантируемая скорость передачи данных, во многом определяют эффективность решения задачи управления трафиком [1, 2]. При этом в условиях гетерогенности и мультипротокольности современных БТС, а особенно при перегрузке и ограниченности частотных и временных ресурсов, на первое место выходит проблема повышения уровня согласованности решений задач распределения пропускной способности нисходящего канала связи между пользовательскими станциями (Subscriber Station, SS) и ограничения интенсивности трафика, поступающего в сеть. Кроме того, учитывая мультисервисный характер современных БТС, отказы в обслуживании должны касаться в первую очередь низкоприоритетного трафика.

Также было установлено, что технология WiMAX имеет возможность предоставления мультисервисного доступа (VoIP телефония, IPTV, управление машинами и агрегатами, обеспечение работы корпоративных программных систем, мультимедийные услуги и др.). При решении задач дифференциации сервисов, приоритизации трафика и поддержки QoS в технологии WiMAX используется механизм, называемый подуровнем

конвергенции (Convergent Sublayer, CS), представляющий собой программный интерфейс канального уровня к сетевому уровню беспроводной сети. Основной задачей, решаемой CS, является фильтрация в общем сетевом трафике так называемых сервисных потоков (Service Flow, SF) путем предоставления каждому SF на подуровне MAC канального уровня сети требуемого QoS. Так на рисунке 1 приведены примеры сервисных потоков передаваемых в нисходящем канале связи нескольким пользовательским станциям.

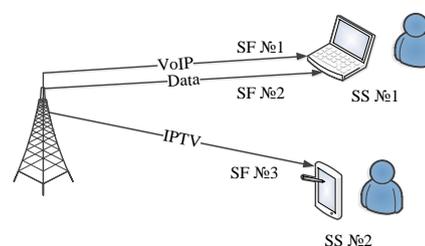


Рис.1 Пример сервисных потоков для поддержки работы приложений Data, VoIP и IPTV

Как показал проведенный анализ, известные методы [3-7] распределения пропускной способности нисходящего канала связи в технологии WiMAX используют принцип Best Effort. При этом качество предоставляемых услуг не гарантировано, а между SS распределяется вся доступная пропускная способность [2]. Однако в технологии WiMAX кроме Best Effort поддерживается несколько классов обслуживания (Class of Service, CoS) среди которых выделяют Not Real Time, Real Time, Extended Real Time, Unsolicited Grant Service, ориентированных на выделение гарантированной пропускной способности [2, 8].

Таким образом, актуальной научной и практической задачей является разработка и исследование математических моделей и методов распределения пропускной способности нисходящего канала связи технологии WiMAX, гарантирующих выделение пользовательским станциям и их сервисным потокам требуемой пропускной способности, которые могли бы быть положены в основу перспективных технологических решений.

В работе [9, 10] предложена модель планирования пакетов данных, которая направлена на решение задачи распределения

пропускной способности нисходящего канала связи технологии WiMAX. Основной особенностью данной модели является то, что в ее рамках для каждой SS производится выделение гарантируемой скорости передачи данных в условиях отсутствия перегрузки. При этом основным недостатком модели, предложенной в [9, 10] является отсутствие возможности учета приоритетов пользовательских станций, а также приоритетов сервисных потоков. В этой связи, целью данной работы является усовершенствование ранее предложенной модели [9, 10] с целью учета приоритетов и возможности ограничения запросов скорости передачи в условиях перегрузки.

Модель приоритетного планирования пакетов данных в нисходящем канале связи технологии WiMAX

В ходе решения задачи планирования пакетов данных для передачи сервисных потоков всех пользовательских станций в нисходящем канале связи в рамках предлагаемой модели необходимо обеспечить расчёт булевой управляющей переменной ($x_{k,m}^n$), определяющей порядок распределения слотов:

$$x_{k,m}^n = \begin{cases} 1, & \text{если } m\text{-й слот на } k\text{-м} \\ & \text{подканале выделен } n\text{-й SS;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (1)$$

Кроме того вводится также величина α^n , моделирующая долю отказов в выделении необходимой пропускной способности [11]. Тогда вектор искомых параметров с учетом (1) удобно представить в форме:

$$\vec{X} = \begin{bmatrix} x_{k,m}^n \\ \dots \\ \alpha^n \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Координатами вектора \vec{X} является множество переменных $x_{k,m}^n$, где $n = \overline{1, N}$, $m = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, K}$, и ряда параметров α^n , где $n = \overline{1, N}$. При этом множество переменных $x_{k,m}^n$ будет определяться выражением $N \times M \times K$, где N – общее количество сервисных потоков, передаваемых всеми SS, M – количество слотов на одном подканале нисходящего канала для передачи полезной информации, K – количество подканалов в частотном канале, а количество параметров α^n будет равно N .

В соответствии с результатами расчёта переменных (2) производится закрепление подканалов и распределение слотов за сервисными потоками SS, на которых будут передаваться данные в нисходящем канале. Кроме того, при расчёте вектора искомых параметров \vec{X} необходимо выполнить ряд важных условий-ограничений:

1) Условие закрепления k -го подканала на протяжении передачи m -го слота не более чем за одним сервисным потоком

$$\sum_{n=1}^N x_{k,m}^n \leq 1 \quad (k = \overline{1, K}; m = \overline{1, M}). \quad (3)$$

2) Условие закрепления за n -м сервисным потоком количества слотов, обеспечивающего необходимую пропускную способность при схеме модуляции и кодирования (Modulation and Coding Scheme, MCS), используемой соответствующей SS

$$R_s^n \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K x_{k,m}^n \geq R_{\text{треб}}^n (1 - \alpha^n) \quad (n = \overline{1, N}), \quad (4)$$

где $R_s^n = \frac{SR_c^n k_b^n K_s (1 - BLER)}{(T_b + T_g)L + T_{\text{RTG}} + T_{\text{TRG}}}$ – пропускная

способность одного слота, закрепленного за n -м сервисным потоком, которая зависит от MCS, используемой соответствующей SS, и представляет собой количество переданных бит за время, равное длительности слота [12]; R_c^n – скорость кода, используемого при кодировании сигнала n -го сетевого потока соответствующей SS; k_b^n – битовая загрузка символа n -го сервисного потока соответствующей SS; K_s – число поднесущих для передачи данных в одном подканале; $T_{\text{RTG}} = 105,7$ мкс – длительность интервала переключения с приема на передачу (receive/transmit transition gap, RTG); $T_{\text{TRG}} = 60$ мкс – длительность интервала переключения с передачи на прием (transmit/receive transition gap, TRG) [13].

3) Условия формирования одного пакета для n -го сервисного потока соответствующей SS, что позволяет минимизировать количество слотов, выделенных для передачи служебной информации

$$x_{k,i}^n x_{k,z}^n (i - z + 1) - \sum_{u=z}^i x_{k,u}^n \leq 0, \quad (5)$$

при ($z = \overline{1, M - 1}$; $i = \overline{2, M}$; $n = \overline{1, N}$; $k = \overline{1, K}$; $i > z$);

$$x_{j,m}^n x_{r,m}^n (j-r+1) - \sum_{s=r}^j x_{s,m}^n \leq 0, \quad (6)$$

при $(r = \overline{1, K-1}; j = \overline{2, K}; n = \overline{1, N}; m = \overline{1, M}; j > r)$.

4) Условие формирования пакетов «прямоугольной формы», соответствующее технологическим особенностям семейства стандартов IEEE 802.16, использующих OFDMA

$$x_{k,m}^n \sum_{d=1}^M x_{k,d}^n \sum_{b=1}^K x_{b,m}^n = x_{k,m}^n \sum_{g=1}^K \sum_{h=1}^M x_{g,h}^n, \quad (7)$$

при $(n = \overline{1, N}; k = \overline{1, K}; m = \overline{1, M})$.

5) Условия резервирования необходимого количества слотов для передачи служебной информации

$$\sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N x_{k,m}^n = 0, \quad (8)$$

при $(m = \overline{1, m_{\text{служ}} - 1}, \lceil Q/K \rceil \geq 1)$;

$$\sum_{n=1}^N x_{k, m_{\text{служ}}}^n = 0, \quad (9)$$

при $(k = \overline{1, k_{\text{служ}}}, \lceil Q/K \rceil \geq 1)$;

$$\sum_{n=1}^N x_{k,1}^n = 0, \quad (10)$$

при $(k = \overline{1, k_{\text{служ}}}, \lceil Q/K \rceil < 1)$,

где $m_{\text{служ}} = \lceil Q/K \rceil$ – количество слотов, выделенных для передачи служебной информации и занимающих всю ширину частотного канала (располагаются вначале кадра после преамбулы); $k_{\text{служ}} = Q - K(m_{\text{служ}} - 1)$ – количество слотов выделенных для передачи служебной информации, занимающих лишь часть ширины частотного канала.

При выполнении условий (8)-(10) производится резервирование слотов для передачи служебной информации. Кроме того условия (8) и (9) используются, в случае если количество слотов, необходимое для передачи служебной информации, превышает или равно числу подканалов в частотном канале $\lceil Q/K \rceil \geq 1$. Также условие (8) позволяет произвести резервирование всех подканалов на протяжении передачи количества слотов равного $m_{\text{служ}}$, для передачи служебной информации. Условия (9) и (10) резервируют лишь часть подканалов $k_{\text{служ}}$ на протяжении длительности одного слота.

В соответствии с физикой решаемой задачи (1)-(10) на координаты α^n вектора \vec{X} накладываются следующие ограничения [11]:

$$0 \leq \alpha^n \leq 1 \quad (11) \quad \text{или} \quad \alpha^n \in \{0,1\}, \quad (12)$$

если на основе соглашения об уровне предоставляемых услуг (Service Level Agreement, SLA) допускается (11) или не допускается (12) частичное ограничение требуемой скорости передачи.

Расчет искомых переменных (2) в соответствии с условиями-ограничениями (3)-(12) целесообразно осуществлять в ходе решения оптимизационной задачи, обеспечивая минимум линейной целевой функции [11]:

$$\min_{\vec{X}} C' \vec{X} = \min_{\vec{X}} \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \left(\sum_{n=1}^N c_{k,m}^n x_{k,m}^n + \sum_{n=1}^N c^n \alpha^n \right), \quad (13)$$

характеризующей относительные стоимости распределения пропускных способностей на этапе планирования пакетов данных, а координаты вектора C можно представить следующим образом:

$$\vec{C} = \begin{bmatrix} c_{k,m}^n \\ \dots \\ c^n \end{bmatrix} \quad (k = \overline{1, K}; m = \overline{1, M}; n = \overline{1, N}). \quad (14)$$

Координаты вектора \vec{C} определяют величину удельного штрафа за использование слотов нисходящего канала связи ($c_{k,m}^n$) и за ограничение в обслуживании трафиков пользователей (c^n), при условии, что $c_{k,m}^n \ll c^n$.

Анализ влияния требуемой скорости передачи и приоритета сервисного потока на характер отказов

В работе проведен анализ процесса планирования пакетов данных нисходящего канала связи при совместном обслуживании двух сервисных потоков, направляемыми одной пользовательской станции, с различными приоритетами, задаваемыми путем изменения значения отношений $\Delta C = c_{k,m}^n / c^n$. В ходе исследования установлено, что характер возможных отказов при использовании предложенной модели (1)-(11), (13), (14) зависит, во-первых, от количества пользовательских станций и используемой этими станциями MCS, во-вторых, от отношения стоимостей за загруженность нисходящего канала связи ($c_{k,m}^n$) к стоимости за ограничение в обслуживании трафиков пользователей (c^n).

При решении задачи планирования пакетов данных в нисходящем канале в качестве исходных данных были использованы следующие: количество сервисных потоков – $N=2$; используемый подрежим OFDMA – DL FUSC; количество подканалов в одном канале – $K=32$ (определяется подрежимом OFDMA); количество поднесущих для передачи данных на один подканал – $K_s=48$ (определяется подрежимом OFDMA); частотный разнос между поднесущими – $\Delta f \approx 11,16$ КГц; вид MCS сигнала первой и второй SS – 16 QAM 1/2; требуемая скорость передачи ($R_{\text{треб}}$) для обслуживания каждой SS изменялась в пределах $0 \div 16$ Мбит/с; вероятность блоковой ошибки – $BLER=0$; длительность кадра – 5 мс; длительность защитного интервала относительно длинны полезной части символа – $T_g = T_b / 8 = 11,2$ мс; количество символов в кадре – $L=49$; количество символов, формирующих один слот – $S=2$ (определяется подрежимом OFDMA); отношение длительности нисходящего канала к длительности восходящего канала – $3:1$ ($U = 3/4$).

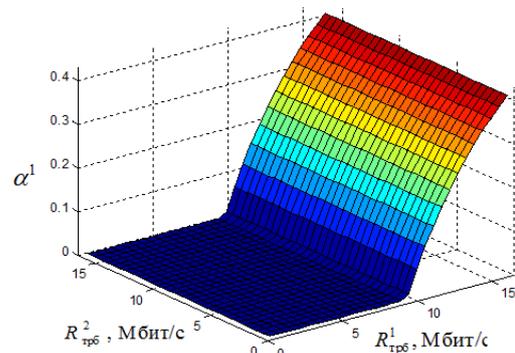
Так ниже на рисунке 2 представлены зависимости доли отказов в выделении необходимой пропускной способности высокоприоритетного (α^1) и низкоприоритетного (α^2) сервисных потоков соответственно, от их запросов на требуемую скорость передачи при использовании модели (1)-(11), (13), (14).

Результаты анализа показали, что в рамках предложенной модели (1)-(11), (13), (14) реализуется обслуживание запросов от SS на основе так называемых абсолютных приоритетов. Так, во-первых, в случае когда сумма запросов на требуемую скорость передачи превышает пропускную способность нисходящего канала связи превентивное ограничение испытывает в первую очередь запрос от низкоприоритетного сервисного потока вплоть до полного отказа в доступе (рис. 2 б). Во-вторых, запрос на скорость передачи от сервисного потока с более высоким приоритетом не будет ущемляться до тех пор, пока можно отказать низкоприоритетному запросу (рис. 2 а).

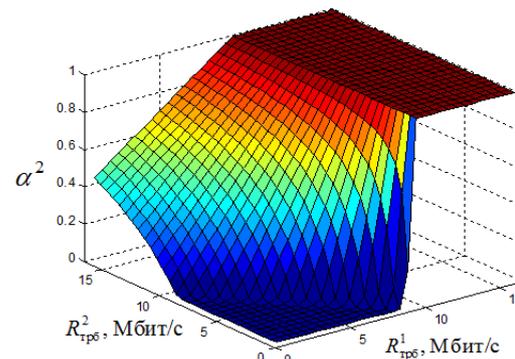
Выводы

Установлено, что одной из основных задач в беспроводной сети WiMAX является задача обеспечения необходимого качества обслуживания, которая заключается в выделении пользовательским станциям сети гарантируемой скорости передачи в нисходящем

канала связи. Обеспечение гарантируемой скорости передачи в технологии WiMAX может быть достигнуто путем решения задачи распределения пропускной способности нисходящего канала связи. В связи с этим, проанализированы существующие подходы по распределению пропускной способности нисходящего канала связи беспроводной сети технологии WiMAX в результате чего установлено, что все они используют принцип Best Effort.



а) отказы высокоприоритетного запроса



б) отказы низкоприоритетного запроса

Рис. 2. Зависимость доли отказов в выделении необходимой пропускной способности высокоприоритетного (α^1) и низкоприоритетного (α^2) сервисных потоков от их запросов на требуемую скорость передачи ($R^1_{\text{треб}}$, $R^2_{\text{треб}}$)

В результате была предложена математическая модель, новизна которой заключается в возможности превентивного ограничения скорости передачи, выделяемой сервисным потокам пользовательских станций в нисходящем канале связи технологии WiMAX, при учете их приоритетов. Кроме того предложенная математическая модель направлена на решение задачи распределения слотов между пакетами данных как задачи балансировки доступной пропускной способности нисходящего канала технологии WiMAX для передачи полезной информации в направлении пользовательских станций, при учёте вида MCS.

В результате анализа решений установлено, что обслуживание запросов от сервисных потоков пользовательских станций реализуется на основе так называемых абсолютных приоритетов. Так в случае когда сумма запросов от сервисных потоков пользовательских станций превышала пропускную способность нисходящего канала связи превентивное ограничение испытывал в первую очередь запрос от низкоприоритетного сервисного потока вплоть до полного отказа в доступе. Запрос на скорость передачи от сервисного потока с более высоким приоритетом не ущемлялся до тех пор, пока можно было отказать низкоприоритетному запросу.

Литература

1. Вегешна Ш. Качество обслуживания в сетях IP. Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 512 с.
2. Васильев В. Г. Технология фиксированного широкополосного беспроводного доступа WiMAX стандарта IEEE 802.16-2004. К: UNIDATA, 2009. – 112 с.
3. Mehrjoo M., Awad M.K., Shen X.S. Resource Allocation in OFDM-Based WiMAX // Wireless Networks and Mobile Communications: WiMAX network planning and optimization. 2009. – P. 113-131.
4. Ohseki T., Morita M., Inoue T. Burst construction and packet mapping scheme for OFDMA downlinks in IEEE 802.16 systems // Proc. of conference “IEEE Global Communications Conference” GLOBECOM’2007. Washington, 2007. – P. 4307-4311.
5. Jin X., Zhou J., Hu J., Shi J., Sun Y., Dutkiewicz E. An Efficient Downlink Data Mapping Algorithm for IEEE802.16e OFDMA Systems // Proc. of conference “IEEE Global Communications Conference” GLOBECOM’2008. New Orleans, 2008. P. 5233-5237.
6. Sheu S.T., Tsai M.H., Tsai T.-Y., Tsai Y.-H. Condensed Downlink MAP Structures for IEEE 802.16e Wireless Metropolitan Area Networks (MANs) // Proc. of conference “Vehicular Technology Conference” VNC’2010. Ottawa, 2010. – P. 237-244.
7. Kim J.Y., Cho D.-H. Piggybacking Scheme of MAP IE for Minimizing MAC Overhead in the IEEE 802.16e OFDMA Systems // Proc. of conference “Vehicular Technology Conference” VNC’2007. Dublin, 2007. P. 284-288.
8. Крупский А. С., Бойченко И. В. Алгоритм планирования QoS с учетом фрагментации пакетов // Доклады ТУСУРа. № 1 (25), Ч. 2, 2012. – С. 203-207.
9. Garkusha S., Ahmed H. Abed Slot Allocation Model and Data Burst Scheduling in Downlink WiMAX Technology // Proc. of “12th International Conference the Experience of Designing and Application of Cad Systems in Microelectronics” CADSM’2013. Polyana, 2013. – P. 97-100.
10. Гаркуша С.В. Модель планирования пакетов данных в технологии WiMAX // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. Ростов-на-Дону: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2013. – С. 74-77.
11. Лемешко А.В. Результаты исследования модели управления трафиком с учётом задаваемых приоритетов для многопродуктового и многопольского случаев // Проблемы телекоммуникаций. № 2 (2), 2010. – С. 33-41.
12. Andrews J.G., Ghosh A., Muhamed R. Fundamentals of WiMAX Understanding Broadband Wireless Networking. Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series, 2007. – 449 p.
13. Ермолаев В.Т. Флакман А.Г. Теоретические основы обработки сигналов в системах мобильной радиосвязи. Н. Новгород: НГУ им. И.Н. Лобачевского, 2010. – 107 с.

MODEL CAPACITY ALLOCATION DOWNLINK WIMAX TECHNOLOGY WITH THE TRANSMISSION RATE RESTRICTIONS

Garkusha S.V.

In this paper we propose a mathematical model capacity allocation downlink technology WiMAX. The model proposed is directed to the allocation of each subscriber station guaranteed transmission rate in the absence of overload downlink as well as the preventive rate limiting allocated subscriber stations under overload conditions. Analyzed the influence of the priority request transmission rate used in the model, the nature of the possible failures.

Keywords: WiMAX, capacity allocation, mathematical model, denial of service, the transmission rate.

Гаркуша Сергей Владимирович, к.т.н, доцент, докторант кафедры телекоммуникационных систем (ТКС) Харьковского национального университета радиоэлектроники (ХНУРЭ). Тел. +38(057)7025592. E-mail: sv.garkusha@mail.ru.