

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ ПЛАНИРОВАНИЯ ЧАСТОТНОГО РЕСУРСА В НИСХОДЯЩЕМ КАНАЛЕ СВЯЗИ ТЕХНОЛОГИИ WiMAX

Полтавский университет экономики и торговли, г. Полтава, Украина

Ключевые слова: WiMAX, беспроводная сеть, распределение подканалов, самоорганизация, математическая модель.

Приведены результаты разработки математической модели распределения подканалов нисходящего канала связи технологии WiMAX. Предложенная модель направлена на обеспечение гарантированного качества обслуживания пользователей беспроводной сети путем выделения пользовательской станции требуемой скорости передачи в нисходящем канале связи. Проведен сравнительный анализ предложенной модели с существующими методами распределения радиоресурса технологии WiMAX с точки зрения обеспечения общей производительности нисходящего канала связи, степени балансировки пропускной способности, а также вероятности выделения пользовательским станциям требуемой скорости передачи.

S.V. Garkusha

RESULTS OF DEVELOPMENT PLANNING MODELS FREQUENCY RESOURCES IN A DOWNLINK WIMAX

Poltava University of Economics and Trade , Poltava, Ukraine

Keywords: WiMAX, wireless network, the allocations of subchannels, self-organization, the mathematical model.

The results of development a mathematical model subchannel allocation downlink WiMAX. The proposed model is aimed at providing guaranteed quality of service wireless users by allocating the subscriber station required transmission rate in the downlink. A comparative analysis of the proposed model with existing methods of radio resource allocation of WiMAX in terms of overall performance downlink power balancing capacity, as well as the probability of selection subscriber stations required transmission rate.

Одним из эффективных путей повышения производительности и улучшения основных показателей качества обслуживания (Quality of Service, QoS) для систем, использующих технологию WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), основанной на стандарте IEEE 802.16, является использование принципов структурной и функциональной самоорганизации. Использование решений по самоорганизации позволяет эффективно реагировать на изменение состояния и условий функционирования беспроводной сети, которые могут быть продиктованы, например, выходом из строя или перегрузкой элементов сети, колебаниями поступающего в сеть трафика, динамикой изменения сигнально-помеховой обстановки и т.д. [1, 2]

Высокий уровень самоорганизации может быть достигнут путем усовершенствования сетевых протоколов и механизмов, отвечающих за распределение доступных сетевых ресурсов. Необходимо заметить, что стандарт IEEE 802.16 не определяет механизмы планирования и распределения ресурсов сети, оставляя право выбора за операторами связи и производителями (вендорами) оборудования. К подобного рода ресурсам, прежде всего, относятся сетевой трафик (информационный ресурс), пропускные способности каналов связи (канальный ресурс), очереди (буферный ресурс), а также частотные поднесущие (частотный ресурс), что особенно важно для беспроводных сетей [1-3].

Были проанализированы методы распределения доступных ресурсов, использующие алгоритм Round Robin Scheduler, Max C/I Ratio и Proportional Fair Scheduling. Анализ показал, что наиболее приемлемым механизмом для предоставления доступа к радиоресурсам технологии WiMAX был бы механизм, включающий в себя особенности Round Robin и Max C/I Ratio алгоритмов. Выбор алгоритма зависит от категории и величины нагрузки. Правильный выбор алгоритма для предоставления доступа особенно важен при большой нагрузке. Повышение качества обслуживания при планировании радиоресурса каждой пользовательской станции (ПС) должно быть направлено на обеспечение гарантированной скорости передачи с возможностью доступа к дополнительной (не гарантируемой) полосе пропускания. Однако ни один из проанализированных механизмов не способен обеспечить подобного CoS.

В результате проведенного анализа принято решение о необходимости разработки математической модели планирования частотно ресурса в нисходящем канале связи технологии WiMAX, сформулированной как задачи распределения подканалов, для обеспечения гарантированной скорости передачи пользовательских станций.

Математическая модель распределения подканалов в беспроводной сети стандарта IEEE 802.16

В предлагаемой модели предполагаются известными следующие исходные данные: N – общее количество ПС в сети; L – число подканалов, используемое в зависимости от выбранной ширины частотного канала; $R_{mpб}^n$ – требуемая скорость передачи данных для обслуживания n -й ПС (Мбит/с); R^n – пропускная способность одного подканала, выделенного n -й ПС.

В ходе решения задачи распределения подканалов в рамках предлагаемой модели необходимо обеспечить расчет управляющей переменной ($x_{n,l}$), определяющей порядок распределения подканалов. В соответствии с физикой решаемой задачи на управляющую переменную накладывается следующее ограничение:

$$0 \leq x_{n,l}, (n = \overline{1,N}, l = \overline{1,L}) \quad (1)$$

При расчете искомым переменных $x_{n,l}$ необходимо выполнить ряд важных условий-ограничений:

1) Условие выделения n -й пользовательской станции скорости передачи на l -м подканале, не превышающей пропускную способность подканала:

$$x_{n,l} \leq \frac{R_c^{n,l} k_b^{n,l} K_s (1 - BLER)}{(T_b + T_g + T_{RTG} + T_{TRG}) R_{mpб}^n} \quad (n = \overline{1,N}, l = \overline{1,L}), \quad (2)$$

где R_c^n – скорость кода, используемого при кодировании сигнала n -й ПС; k_b^n – битовая нагрузка символа n -й ПС; K_s – число поднесущих для передачи данных на одном подканале; $T_{RTG} = 105,7$ мкс – длительность интервала переключения с приема на передачу (receive/transmit transition gap, RTG); $T_{TRG} = 60$ мкс – длительность интервала переключения с передачи на прием (transmit/receive transition gap, TRG); $T_b = 89,6$ мс – полезная часть символа имеет фиксированную длительность; T_g – защитный интервал между символами; $BLER$ – вероятность блочной ошибки, получаемая за счет механизма HARQ (Hybrid automatic repeat request);

2) Условие удовлетворения требований по скорости передачи для каждой пользовательской станции в нисходящем канале связи при используемой схеме модуляции и кодирования (Modulation and Coding Scheme, MCS):

$$\sum_{l=1}^L x_{n,l} \geq 1 \quad (n = \overline{1,N}). \quad (3)$$

3) Условие закрепления подканала только за одной пользовательской станцией:

$$\sum_{l=1}^L x_{n,l} x_{s,l} = 0 \quad (n, s = \overline{1, N}, n \neq s) \quad (4)$$

Расчет искоемых переменных (1) в соответствии с условиями-ограничениями (2)-(4) целесообразно осуществлять в ходе решения оптимизационной задачи, обеспечивая минимум или максимум предварительно выбранного критерия качества решения задачи распределения подканалов. Задача распределения подканалов может быть решена с использованием критерия оптимальности, направленного на максимизацию общей производительности нисходящего канала связи. Таким образом, критерий оптимальности примет вид:

$$\max \sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^N x_{n,l} \quad (5)$$

при учете условий-ограничений (2)-(4). Использование критерия оптимальности (6) совместно с условиями-ограничениями (2)-(4) направленно на обеспечение гарантированной скорости передачи с возможностью доступа к дополнительной (не гарантируемой) полосе пропускания, что в CoS соответствует подклассу В.

Сформулированная задача с математической точки зрения является задачей нелинейного программирования – NLP (NonLinear Programming). Переменная, используемая в критерии оптимальности (5), является нецелочисленной, ограничения на искомые переменные (2) и (3) носят линейный, а ограничения (4) – нелинейный характер.

Пример решения задачи распределения подканалов

С целью анализа решений по распределению подканалов в нисходящем канале связи, получаемых с использованием известных методов, а также предложенной модели (1)-(5) рассмотрим пример, при котором для распределения подканалов в нисходящем канале связи в качестве исходных данных были использованы следующие: количество пользовательских станций – $N=5$; количество подканалов, формируемых в нисходящем канале связи – $L=15$; число поднесущих для передачи данных на одном подканале – $K_s=12$; скорость кода, используемая при кодировании сигнала первой ПС – $R_c^1=2$ (QPSK), второй – $R_c^2=3$ (8-PSK), третьей – $R_c^3=5$ (32-QAM), четвертой – $R_c^4=2$ (QPSK), пятой – $R_c^5=5$ (32-QAM); битовая загрузка символа первой ПС – $k_b^1=1/2$, второй – $k_b^2=1/2$, третьей – $k_b^3=1/4$, четвертой – $k_b^4=3/4$, пятой – $k_b^5=1/2$.

В качестве примера было получено решение сформулированной в работе оптимизационной задачи с использованием системы MatLab R2012b. При этом в была задействована программа `fmincon` пакета оптимизации Optimization Toolbox. Для примера всем пользовательским станциям были установлены одинаковые требуемые скорости передачи, которые принимали значения $R_{mрб}^n = 0 \div 1,9$ Мбит/с.

Как показали результаты моделирования общая производительность нисходящего канала связи при использовании известных методов на протяжении всего интервала измерения не изменялась и составила для метода Round Robin – 1,205 Мбит/с, метода Proportional Fair – 1,2 Мбит/с, а для метода Max C/I Ratio – 1,91 Мбит/с. Общая производительность нисходящего канала связи при использовании предложенной модели (1)-(5) на участке $R_{mрб}^n = 0,1 \div 0,4$ Мбит/с имела максимальное значение и составляла 1,69 Мбит/с. На интервале $R_{mрб}^n = 0,4 \div 1,9$ Мбит/с общая производительность уменьшилась на 33 % до значения 1,13 Мбит/с.

Также получены результаты моделирования отображающие динамику изменения степени балансировки пропускной способности нисходящего канала между пользовательскими станциями. Степень балансировки пропускной способности определялась в соответствии с выражением

$$F^i = 1 - \left(\left[\max_n R_n^i - \min_n R_n^i \right] / \sum_{n=1}^N R_n^i \right),$$

где R_n^i – скорость передачи, выделенная n -й UE на i -м интервале измерения, $n = \overline{1, N}$.

Как показали результаты моделирования степень балансировки пропускной способности нисходящего канала связи при использовании известных методов на протяжении всего интервала измерения не изменялась и составила для метода Round Robin – 0,85, для метода Proportional Fair – 0,825, а для метода Max C/I Ratio – 0. Степень балансировки пропускной способности нисходящего канала связи при использовании предложенной модели (1)-(5) на участке $R_{mрб}^n = 0,1 \div 0,4$ Мбит/с имела минимальное значение и составляла 0,18. На интервале $R_{mрб}^n = 0,4 \div 1,9$ Мбит/с степень балансировки пропускной способности увеличилась до значения 0,94.

Кроме того, методом Proportional Fair не обеспечивается требуемая скорость передачи для всех пользовательских станций начиная с 1,4 Мбит/с. При использовании метода Round Robin требуемая скорость передачи для третьей ПС не обеспечивается начиная со значения $R_{mрб}^3 = 1,8$ Мбит/с. Использование метода Max C/I Ratio позволяет обеспечить требуемую скорость передачи только одной (пятой) ПС, имеющей наивысшее значение произведения битовой загрузки символа и скорости кодирования. Использование предложенной модели (1)-(5) обеспечивает выделение требуемой скорости передачи ПС на всем интервале измерения $R_{mрб}^n = 0,1 \div 1,9$ Мбит/с.

Выводы

Предложена математическая модель, представленная рядом линейных и нелинейных условий-ограничений. Новизна модели состоит в формулировке задачи распределения подканалов как задачи перераспределения доступной пропускной способности нисходящего канала технологии WiMAX для передачи информации в направлении пользовательских станций, при учёте их территориальной удаленности (вида системы модуляции и кодирования).

Проведенный анализ показал, что методы Max C/I Ratio, Round Robin и Proportional Fair эффективны лишь в условиях невысоких требований к скорости передачи. В условиях высоких требований к скорости передачи пользовательских станций эффективной оказалась модель (1)-(5), обеспечивая каждой пользовательской станции гарантированную скорость передачи с возможностью доступа к дополнительной (не гарантируемой) полосе пропускания, что в классах сервиса CoS соответствует подклассу В, тогда как другие методы не гарантируют выделения требуемой скорости передачи, что в классах сервиса CoS соответствует подклассу А.

Литература

1. Гаркуша С.В. Разработка и анализ модели распределения подканалов в сети стандарта IEEE 802.16 // Вестник национального университета «Львовская политехника»: Радиоэлектроника и телекоммуникации, 2012, № 738, С. 177-185.
2. Гаркуша С.В. Разработка и анализ масштабируемой модели распределения подканалов в сети стандарта IEEE 802.16 // Сборник научных трудов Харьковского университета воздушных сил, 2012, Вып. 4(33), С. 68-74.
3. Гаркуша С.В. Разработка и анализ двухиндексной модели распределения частотных каналов в многоканальной mesh-сети стандарта IEEE 802.11 [Электронный ресурс] // Проблемы телекоммуникаций, 2011, № 3 (5), С. 38-57. – Режим доступа к журн.: http://pt.journal.kh.ua/2011/3/1/113_garkusha_mesh.pdf.