

Гаркуша Сергей Владимирович, Полтавский университет экономики и торговли
Аймен Мохаммед Ходаер Аль-Дулайми, Одесская национальная академия связи
Хаидер Дхеа Камил Ал-Джанаби, Одесская национальная академия связи

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБУЕМОЙ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ В НИСХОДЯЩЕМ КАНАЛЕ СВЯЗИ ТЕХНОЛОГИИ LTE

Приведены результаты разработки математической модели распределения ресурсных блоков в сетях связи технологии LTE. Предложенная модель направлена на обеспечение гарантируемой производительности пользовательских станций беспроводной сети путем выделения требуемых скоростей передачи. Использование различных видов целевых функций в предложенной модели направлено на выделение минимального количества ресурсных блоков нисходящего канала связи, или же на выделение минимальной скорости передачи данных каждой пользовательской станции. Проведен сравнительный анализ получаемых решений при использовании различных целевых функций.

В технологии LTE (Long-Term Evolution), разработанной 3GPP (3rd Generation Partnership Project), одним из эффективных путей повышения производительности и улучшения основных показателей качества обслуживания (Quality of Service, QoS) является усовершенствование сетевых протоколов и механизмов, отвечающих за планирование доступных сетевых ресурсов. К подобному рода ресурсам, прежде всего, относятся временной ресурс – OFDM-символы (Orthogonal frequency-division multiplexing) и частотный ресурс – частотные поднесущие. В технологии LTE, как и в HSDPA или WiMAX, механизмы планирования ресурсов нисходящего канала связи не определены стандартом, оставляя право выбора за производителями оборудования базовых станций (evolved NodeB, eNodeB) [1-3].

Результатом решения задачи распределения частотного и временного ресурсов должно быть закрепление блоков планирования (Scheduling Block, SB) за пользовательскими станциями (User Equipment, UE) в нисходящем канале связи одного кадра. Блок планирования является наименьшим структурным элементом, выделяемым одной пользовательской станции и формируемый двумя соседними ресурсными блоками (Resource Block, RB) на одинаковых поднесущих (subcarrier) [4].

Проанализированы методы распределения частотного и временного ресурсов, использующие алгоритм Round Robin Scheduler [3, 5, 6], Max C/I Ratio [5, 6] и Proportional Fair Scheduling [5-7]. Проведенный анализ показал, что использование указанных методов направлено на применение для интерактивного "best effort" класса данных, во избежание ситуации, при которой некоторые UE никогда не получают доступ к частотно-временному ресурсу. Использование указанного класса обслуживания (Class of Service, CoS) обеспечивает доставку данных UE по мере возможностей без гарантий скорости передачи данных. Повышение качества обслуживания при планировании частотно-временного ресурса каждой UE 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 [8]. Принято решение о необходимости разработки математической модели планирования частотно-временного ресурса в нисходящем канале связи технологии LTE, сформулированной как задачи распределения SB, для обеспечения гарантированной скорости передачи UE.

При разработке математической модели учитывался тот факт, что в качестве основной технологии доступа UE к частотному и временному ресурсам в технологии LTE выбран множественный доступ с ортогональным частотным разделением сигналов (Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA), основанный на OFDM [1, 2]. При

этом наименьшей структурной единицей радиоресурса, которой можно управлять при решении задачи планирования является RB [1].

В предлагаемой модели использованы следующие исходные данные: N – количество UE; M – число RB, формируемых на протяжении передачи одного временного слота; K_s – число поднесущих для передачи данных в одном RB; N_{symp}^{RB} – количество символов, формирующих один ресурсный блок; $T_{RB}=0,5$ мс – время передачи одного RB; $R_c^{n,m}$ – скорость кода, используемого при кодировании сигнала n -й UE на поднесущих m -го SB; $k_b^{n,m}$ – битовая загрузка символа n -й UE на поднесущих m -го SB; $R_{mpб}^n$ – требуемая скорость передачи данных, для n -й UE;

В ходе решения задачи распределения блоков планирования в рамках предложенной модели необходимо обеспечить расчет булевой управляющей переменной ($x_{n,m}$), определяющей порядок распределения блоков планирования

$$x_{n,m} = \begin{cases} 1, & \text{если } m\text{-й блок планирования выделен } n\text{-й UE;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (1)$$

где $m = \overline{0, M}$; $n = \overline{1, N}$.

При расчете искомой переменной $x_{n,m}$ необходимо выполнить ряд важных условий-ограничений:

1) Условие выделения m -го RB нисходящего канала связи только одной UE

$$\sum_{n=1}^N x_{n,m} \leq 1 \quad (m = \overline{0, M}). \quad (2)$$

2) Условие выделения n -й UE количества RB, обеспечивающего требуемую скорость передачи в нисходящем канале связи при используемой схеме модуляции и кодирования (Modulation and Coding Scheme, MCS):

$$\frac{N_{symp}^{RB} K_s R_c^{n,m} k_b^{n,m}}{T_{RB}} \sum_{m=1}^M x_{n,m} \geq R_{mpб}^n \quad (n = \overline{0, N}). \quad (3)$$

Расчет искомых переменных (1) в соответствии с условиями-ограничениями (2) и (3), осуществлялся в ходе решения оптимизационной задачи, обеспечивая минимум или максимум предварительно выбранного критерия качества решения задачи распределения частотного и временного ресурсов в беспроводной сети технологии LTE. Для анализа качества решения задачи распределения блоков планирования в нисходящем канале связи LTE был использован следующий критерий оптимальности

$$\min f^T x, \quad (4)$$

где f – целевая функция.

Кроме того качество решения задачи распределения частотно-временного ресурса также зависит от вида целевой функции f , используемой в критерии оптимальности (4). В ходе разработки математической модели были предложены варианты целевых функций направленные на:

- минимизацию общего количества ресурсных блоков, выделяемых всем UE

$$f_1 = [1, 1, 1, 1, \dots, 1], \quad (5)$$

при условии, что количество элементов в векторе f_1 соответствует количеству элементов в векторе x и все они равны единице.

- минимизацию скорости передачи всем пользовательским станциям

$$f_2 = [r_{1,1}, r_{1,2}, \dots, r_{n,m}, \dots, r_{N,M}], \quad (6)$$

где $r_{n,m} = \frac{N_{symp}^{RB} K_s R_c^{n,m} k_b^{n,m}}{T_{RB}}$ – скорость передачи, выделяемая n -й пользовательской станции на m -м ресурсном блоке.

- совместную минимизацию количества используемых ресурсных блоков и скорости передачи, выделяемой пользовательским станциям в нисходящем канале связи

$$f = f_1 + f_2. \quad (7)$$

Сформулированная задача с математической точки зрения при использовании целевой функции (5) является задачей целочисленного линейного программирования (Linear Integer Programming, LIP), а при использовании целевых функций (6) и (7) задачей линейного программирования (Linear Programming, LP). В модели искомые переменные $x_{n,m}$ (1) являются булевыми, а ограничения (2) и (3) на искомые переменные носят линейный характер.

С целью оценки качества получаемых решений при распределении частотно-временного ресурса, в рамках предложенной модели (1)-(4) были проанализированы решения оптимизационной задачи с использованием различных вариантов целевой функции. Для решения оптимизационной задачи была использована система MATLAB R2012b. В ходе анализа было установлено, что использование целевой функции (5) и (7) позволяет произвести выделение минимального количества ресурсных блоков, а также обеспечить требуемую скорость передачи всем пользовательским станциям. При этом часть ресурсных блоков остается доступными для подключения новых пользовательских станций. Также было установлено, что скорость передачи, выделяемая пользовательским станциям при использовании целевой функции (5), превышает требуемую скорость передачи каждой из пользовательских станций. Решение задачи распределения блоков планирования с использованием целевой функции (6) приводит к выделению UE всего доступного частотно-временного ресурса в нисходящем канале связи. В результате этого отсутствует возможность подключения новых UE для передачи данных в используемом нисходящем канале связи.

Литература

1. 3GPP TS 36.211. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation (Release 11). – Valbonne, France: Sophia Antipolis, 2012. – 108 p.
2. Ghosh A., J. Zhang, R. Muhamed, Andrews J. Cr. Fundamentals of LTE. – Prentice Hall, USA, 2010. – 464 p.
3. Iosif O., Banica I. On the Analysis of Packet Scheduling in Downlink 3GPP LTE System // The Fourth International Conference on Communication Theory, Reliability, and Quality of Service (CTRQ 2011). – 2011. – P. 99–102.
4. Dahlman E., Parkvall S., Skold J., Beming P. 3G Evolution – HSPA and LTE for Mobile Broadband. – Academic Press, 2008. – 608 p.
5. Kawser M.T., Farid H.M.A.B., Hasin A.R., Sadik A.M.J., Razu I.K. Performance Comparison between Round Robin and Proportional Fair Scheduling Methods for LTE // International Journal of Information and Electronics Engineering. – 2012. – V. 2. – № 5. – P. 678–681.
6. Galaviz G., Covarrubias D.H., Andrade A.G., Villarreal S. A resource block organization strategy for scheduling in carrier aggregated systems // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. – 2012. – P. 107–124.
7. Girici T., Zhu C., Agre J.R., Ephremides A. Proportional Fair Scheduling Algorithm in OFDMA-Based Wireless Systems with QoS Constraints // Journal of communications and networks. – 2010. – V. 12. – № 1. – P. 30–42.
8. Гаркуша С.В., Василенко Ю.А. Модель планирования частотно-временного ресурса в нисходящем канале связи технологии LTE // Научно-технический Вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – Вып. 3(85). – С. 92-98.