

## МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОГО РЕСУРСА В НИСХОДЯЩЕМ КАНАЛЕ СВЯЗИ ТЕХНОЛОГИИ LTE

С.В. Гаркуша, Ю.А. Василенко

Приведены результаты разработки математической модели планирования частотно-временного ресурса нисходящего канала связи технологии LTE. Предложенная модель направлена на обеспечение гарантированного качества обслуживания пользователей беспроводной сети путем выделения пользовательским станциям требуемых скоростей передачи. Проведен сравнительный анализ предложенной модели с существующими методами с точки зрения обеспечения общей производительности нисходящего канала связи, степени балансировки пропускной способности, а также вероятности выделения пользовательским станциям требуемой скорости передачи. Показано, что предложенная модель в условиях высоких требований к скорости передачи пользовательских станций, по сравнению с известными методами, позволяет на 5–20% повысить степень балансировки пропускной способности нисходящего канала связи, а также на 40–100% повысить вероятность выделения пользовательским станциям требуемой скорости передачи.

**Ключевые слова:** LTE, частотно-временный ресурс, ресурсный блок, блок планирования, математическая модель, требуемая скорость передачи.

### Введение

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 подобного рода ресурсам, прежде всего, относятся временной ресурс – OFDM-символы (Orthogonal frequency-division multiplexing) и частотный ресурс – частотные поднесущие. Под OFDM-символом понимается промежуток времени, на протяжении которого амплитуда и фаза модулируемых поднесущих неизменна. Необходимо заметить, что решение задачи о выделении радиоресурсов в первую очередь основывается на требованиях к QoS и может быть положено на систему управления радиоресурсом (Radio Resource Management, RRM), а именно на планировщик (scheduler). В технологии LTE, как и в HSDPA или WiMAX, механизмы планирования ресурсов нисходящего канала связи (DownLink) 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].

В работе были проанализированы методы распределения частотного и временного ресурсов, использующие алгоритм Round Robin Scheduler [3, 5, 6]. Использование алгоритма Round Robin Scheduler предполагает выделение в равной степени частотно-временного ресурса для каждой UE. В базовой реализации, Round Robin Scheduler выделяет каждой UE временной интервал, в рамках которого эта UE получает монопольный доступ к каналу. При этом скорость передачи данных UE ограничивается фактическим значением отношения сигнал/шум (signal to noise Ratio, SNR). Также были проанализированы методы [5, 6], использующие алгоритм Max C/I Ratio, который предоставляет частотно-временной ресурс пользовательской станции с самыми лучшими значениями SNR, не обеспечивая справедливость распределения этого ресурса между UE. Кроме того в работе проанализированы методы распределения частотного и временного ресурсов, использующие алгоритм пропорционального справедливого распределения обслуживания (Proportional Fair Scheduling) [5–7]. Проведенный анализ показал, что алгоритм Proportional Fair Scheduling способствует UE, которая имеет высокое значение SNR, одновременно обеспечивая достаточное количество частотных и временных ресурсов UE с худшим значением SNR.

Анализ показал, что наиболее приемлемым механизмом для предоставления доступа к частотно-временному ресурсу технологии LTE 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.

Также в результате анализа установлено, что использование алгоритма Proportional Fair Scheduling 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 ско-

рости 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-временного ресурса в нисходящем канале связи технологии LTE, сформулированной как задачи распределения SB, для обеспечения гарантированной скорости передачи UE.

### Математическая модель распределения ресурсных блоков в нисходящем канале

Предлагаемая математическая модель направлена на применение в беспроводных сетях технологии LTE, использующей временное и частотное разделение каналов. При разработке математической модели учитывается тот факт, что наименьшей структурной единицей радиоресурса, которой можно управлять при решении задачи планирования является SB [1].

В технологии LTE предложено три вида распределения ресурсов. Разрабатываемая модель направлена на использование нулевого вида (Resource Allocation Type 0), предполагающего объединение RB в так называемые группы ресурсных блоков (resource block groups, RBG), которые выделяются UE. При этом количество RB, входящих в состав одной RBG ( $p$ ), зависит от используемой ширины частотного канала. В случае если деление количества RB на параметр  $p$  не дает целочисленного значения, то крайняя RBG будет иметь размер, меньший  $p$  [8].

С целью учета числа подкадров, выделенных для передачи информации в нисходящем канале связи [1, 2], в математическую модель введено понятие матрицы конфигураций нисходящего канала. Матрица является прямоугольной с количеством строк, соответствующим количеству конфигураций кадра ( $L$ ), и с количеством столбцов, соответствующим количеству подкадров ( $K$ ) в кадре, т.е.

$$H = \|h_{l,k}\|, (l = \overline{0, L-1}; k = \overline{0, K-1}),$$

$$\text{где } h_{l,k} = \begin{cases} 1, & \text{если } k\text{-й подкадр при } l\text{-й конфигурации используется} \\ & \text{для передачи информации в нисходящем канале связи;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

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

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

где  $m = \overline{0, M-1}$ ;  $k = \overline{0, K-1}$ ;  $n = \overline{1, N}$ ;  $M$  – число SB, формируемых на протяжении передачи одного подкадра;  $N$  – количество UE.

При расчете искомым переменных  $x_{k,m}^n$  необходимо выполнить ряд важных условий-ограничений.

1. Условие закрепления  $m$ -го SB нисходящего канала связи на протяжении передачи  $k$ -го подкадра не более чем за одной UE

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

2. Условие выделения UE блоков планирования только нисходящего канала:

$$\frac{\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=1}^N x_{k,m}^n}{M} \leq h_{l,k} \quad (k = \overline{0, K-1}; l - \text{используемая конфигурация кадра}). \quad (3)$$

3. Условие закрепления за  $n$ -й UE количества SB, обеспечивающего необходимую скорость передачи в нисходящем канале связи при используемой схеме модуляции и кодирования (Modulation and Coding Scheme, MCS):

$$\begin{aligned} & \sum_{m=\frac{M}{2}-3}^{\frac{M}{2}+2} R_{SB}^0 x_{0,m}^n + \sum_{m=\frac{M}{2}-3}^{\frac{M}{2}+2} R_{SB}^5 x_{5,m}^n + \sum_{m=0}^{\frac{M}{2}-4} R_{SB}^{0-9} x_{0,m}^n + \sum_{m=\frac{M}{2}+3}^{M-1} R_{SB}^{0-9} x_{0,m}^n + \\ & + \sum_{m=0}^{\frac{M}{2}-4} R_{SB}^{0-9} x_{5,m}^n + \sum_{m=\frac{M}{2}+3}^{M-1} R_{SB}^{0-9} x_{5,m}^n + \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{k=0}^4 R_{SB}^{0-9} h_{l,k} x_{k,m}^n + \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{k=6}^{K-1} R_{SB}^{0-9} h_{l,k} x_{k,m}^n \geq R_{mpb}^n, \end{aligned} \quad (4)$$

(Просьба редакции уточнить шрифт индекса обозначения « $R_{mp}^n$ » в формуле (5), так как по требованиям редакции к оформлению предоставленных материалов (см. [http://ntv.ifmo.ru/ru/stat/2/Requirements\\_for\\_Papers.htm](http://ntv.ifmo.ru/ru/stat/2/Requirements_for_Papers.htm)):

«Латинские буквы – курсив. Греческие буквы, русские буквы, цифры, скобки – прямой шрифт. То же написание применяется и в отношении верхних и нижних индексов» и дать расшифровку в списке «переменных». Обратите внимание, что в абзаце перед рис. 3 шрифт индекса в обозначении « $R_{trb}^i$ » прямой)

при  $n = \overline{1, N}$ ,  $l$  – используемая конфигурация кадра. В выражении (4) использованы следующие переменные:

- $R_{SB}^0 = \left( (N_{symp}^{RB} N_{SF}^{RB} - N_{PDCCH} - N_{PSS,SSS} - N_{PBCH}) K_s - N_{pilot} N_{SF}^{RB} \right) R_c^{n,m} k_b^{n,m} / KT_{SF}$  – пропускная способность SB [9], формируемых на нулевом подкадре и передающих сигналы первичной синхронизации (Primary Synchronization Signal, PSS), вторичной синхронизации (Secondary Synchronization Signal, SSS) и широковещательный сигнал (Physical Broadcast Channel, PBCH), где  $N_{PSS,SSS} = 2$ ,  $N_{PBCH} = 4$  OFDM-символов соответственно,  $N_{symp}^{RB}$  – количество OFDM-символов, формирующих один ресурсный блок,  $N_{SF}^{RB} = 2$  – количество RB, формируемых на одинаковых поднесущих и выделяемых UE на протяжении передачи одного подкадра,  $N_{PDCCH} = 3$  – количество OFDM-символов в каждом подкадре, выделенных для передачи сигнала управления (Physical Downlink Control Channel, PDCCH),  $N_{pilot} = 4$  – ресурсные элементы (Resource Element, RE), выделенные для передачи пилотных сигналов в одном RB,  $K_s$  – число поднесущих для передачи данных в одном RB и одном SB,  $R_c^{n,m}$  – скорость кода, используемого при кодировании сигнала  $n$ -й UE на поднесущих  $m$ -го SB,  $k_b^{n,m}$  – битовая загрузка OFDM-символа  $n$ -й UE на поднесущих  $m$ -го SB,  $T_{SF} = 1$  мс – время передачи одного подкадра;
- $R_{SB}^5 = \left( (N_{symp}^{RB} N_{SF}^{RB} - N_{PDCCH} - N_{PSS,SSS}) K_s - N_{pilot} N_{SF}^{RB} \right) R_c^{n,m} k_b^{n,m} / KT_{SF}$  – пропускная способность SB [9], формируемых на пятом подкадре и передающих сигналы PSS и SSS;
- $R_{SB}^{0-9} = \left( (N_{symp}^{RB} N_{SF}^{RB} - N_{PDCCH}) K_s - N_{pilot} N_{SF}^{RB} \right) R_c^{n,m} k_b^{n,m} / KT_{SF}$  – пропускная способность SB [9], формируемых на всех подкадрах и содержащих из служебной информации только PDCCH.
- $R_{mp}^n$  – **требуемая скорость передачи  $n$ -й UE.**

4. Условие объединения RB в RGB размеров, удовлетворяющих ширине используемого частотного канала:

$$x_{k,m}^n = \frac{1}{p} \sum_{z=\lfloor \frac{m}{p} \rfloor}^{\lfloor \frac{m}{p} \rfloor + 1} x_{k,z}^n \quad (n = \overline{1, N}; k = \overline{0, K-1}; m = \overline{\lfloor \frac{M}{p} \rfloor, M-1}); \quad (5)$$

$$x_{k,m}^n = \frac{1}{p} \sum_{z=\lfloor \frac{m}{p} \rfloor}^M x_{k,z}^n \quad (n = \overline{1, N}; k = \overline{0, K-1}; m = \overline{\lfloor \frac{M}{p} \rfloor, M}); \quad (6)$$

где  $\lfloor \cdot \rfloor$  – обозначение округления числа до ближайшего целого в меньшую сторону. Условие (6) используется для объединения блоков планирования крайней группы ресурсных блоков, размеры которой могут быть меньше  $p$ .

Расчет искомым переменных (1) в соответствии с условиями-ограничениями (2)–(6) целесообразно осуществлять в ходе решения оптимизационной задачи, обеспечивая минимум или максимум предварительно выбранного критерия качества решения задачи распределения SB. Задача распределения SB может быть решена с использованием критерия оптимальности, направленного на максимизацию общей производительности нисходящего канала связи. Таким образом, критерий оптимальности примет вид:

$$\max \sum_{n=1}^N \left( \sum_{m=\frac{M}{2}-3}^{\frac{M}{2}+2} R_{SB}^0 x_{0,m}^n + \sum_{m=\frac{M}{2}-3}^{\frac{M}{2}+2} R_{SB}^5 x_{5,m}^n + \sum_{m=0}^{\frac{M}{2}-4} R_{SB}^{0-9} x_{0,m}^n + \sum_{m=\frac{M}{2}+3}^{M-1} R_{SB}^{0-9} x_{0,m}^n + \sum_{m=0}^{\frac{M}{2}-4} R_{SB}^{0-9} x_{5,m}^n + \sum_{m=\frac{M}{2}+3}^{M-1} R_{SB}^{0-9} x_{5,m}^n + \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{k=0}^4 R_{SB}^{0-9} h_{l,k} x_{k,m}^n + \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{k=6}^{K-1} R_{SB}^{0-9} h_{l,k} x_{k,m}^n \right), \quad (7)$$

при учете условий-ограничений (2)–(6). Использование критерия оптимальности (7) совместно с условиями-ограничениями (2)–(6) 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 смешанного целочисленного нелинейного программирования – MINLP (Mixed Integer NonLinear Programming). Переменная, используемая в критерии оптимальности (7), является целочисленной, ограничения на искомые переменные (2)–(4) носят линейный, а ограничения (5) и (6) – нелинейный характер.

### Анализ решений задачи распределения блоков планирования

С целью анализа решений по планированию ресурсных блоков в нисходящем канале связи, получаемых с использованием известных методов, а также предложенной модели (1)–(7), рассмотрим пример, при котором для распределения блоков планирования в нисходящем канале связи в качестве исходных данных были использованы следующие: количество UE –  $N=5$ ; число SB, формируемых на протяжении передачи одного временного слота –  $M=15$ ; количество OFDM-символов, формирующих один ресурсный блок –  $N_{symb}^{RB}=7$ ; значения эффективности MCS-сигналов UE для различных ресурсных блоков (рис. 1); вид разделения каналов – TDD; количество подкадров, используемых для передачи информации в нисходящем канале связи –  $K=4$  (конфигурация кадра – №1 [1, 2]); количество SB, входящих в состав одной RBG –  $p=2$ .

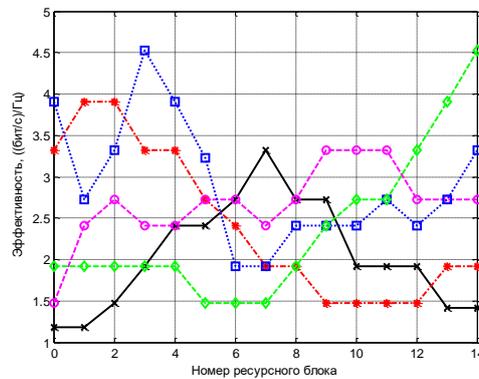


Рис. 1. Значения эффективности MCS сигналов пользовательских станций для различных ресурсных блоков, используемых в примере  
 —×— соответствует первой UE, —\*— — второй UE, —◊— — третьей UE, —□— — четвертой UE, —◇— — пятой UE

В качестве примера было получено решение сформулированной в работе оптимизационной задачи с использованием системы MATLAB R2012b. При этом была задействована программа minlpAssign пакета оптимизации TOMLAB. Для примера всем пользовательским станциям были установлены одинаковые требуемые скорости передачи, которые принимали значения  $R_{trb}^n = 0 - 0,26$  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 – 0,9622 Мбит/с, метода Proportional Fair – 1,2377 Мбит/с, а для метода Max C/I Ratio – 1,4192 Мбит/с. Общая производительность нисходящего канала связи при использовании предложенной модели (1)–(7) на участке  $R_{trb}^n = 0 - 0,15$  Мбит/с имела максимальное значение, соответствующее методу Max C/I Ratio и составляла 1,4192 Мбит/с. На интервале  $R_{trb}^n = 0,15 - 0,26$  Мбит/с общая производительность уменьшилась на 3% до значения 1,3641 Мбит/с.

На рис. 2, а приведены результаты моделирования, отображающие динамику изменения степени балансировки пропускной способности нисходящего канала между UE. Степень балансировки пропускной способности определялась в соответствии с выражением [10]

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

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

Как показали результаты моделирования рис. 2, а степень балансировки пропускной способности нисходящего канала связи при использовании известных методов на протяжении всего интервала изме-

рения не изменялась и составила для метода Round Robin – 0,9421, для метода Proportional Fair – 0,9163, а для метода Max C/I Ratio – 0,8214. Степень балансировки пропускной способности нисходящего канала связи при использовании предложенной модели (1)–(7) на участке  $R_{\text{треб}}^n = 0–0,15$  Мбит/с имела минимальное значение, соответствующее методу Max C/I Ratio и составляла 0,8214. На интервале  $R_{\text{треб}}^n = 0,15–0,26$  Мбит/с степень балансировки пропускной способности увеличилась до значения 0,9859.

На рис. 2, б приведены результаты расчета вероятности выполнения требований по скорости передачи, выделяемой всем UE. Вероятность выполнения требований по скорости передачи на  $i$ -м интервале измерения определялась в соответствии с выражением

$$P^i = \sum_{n=1}^N Q_n^i / N,$$

где  $\sum_{n=1}^N Q_n^i$  – количество UE, которым выделена требуемая скорость передачи на  $i$ -м интервале измерения, т.е.

$$Q_n^i = \begin{cases} 0, & \text{если } R_n^i < R_{\text{треб}}^i; \\ 1, & \text{если } R_n^i \geq R_{\text{треб}}^i. \end{cases}$$

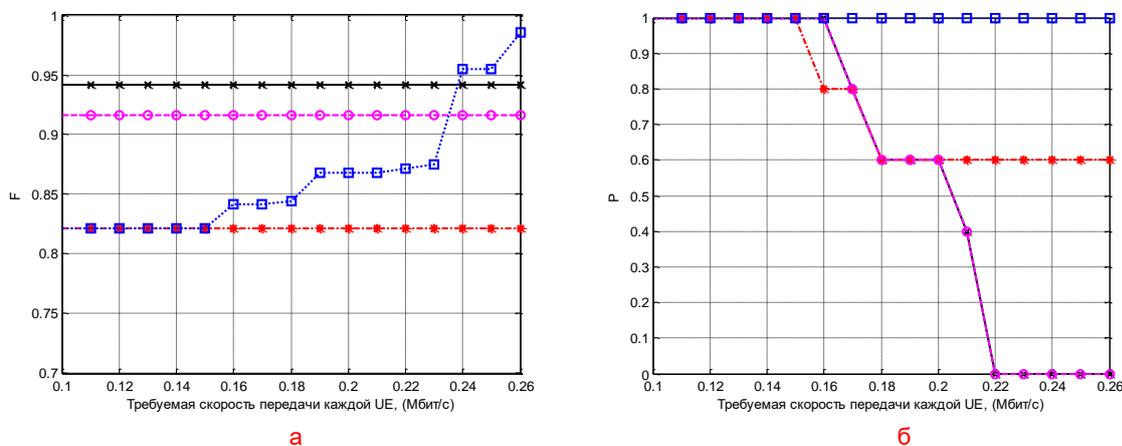


Рис. 2. Степень балансировки пропускной способности нисходящего канала связи (а) и вероятность выделения UE требуемой скорости передачи.

—×— соответствует методу Round Robin, —\*— методу Max C/I Ratio, —○— методу Proportional Fair, —□— предлагаемой модели

Как показали результаты моделирования при изменении требуемой скорости передачи от 0,15 Мбит/с и выше все рассмотренные известные методы не обеспечивают требуемого значения скорости передачи для всех пользовательских станций. Выполнение требования по скорости передачи известными методами обеспечивается только при невысоких значениях  $R_{\text{треб}}^n$ , а именно когда  $R_{\text{треб}}^n = 0–0,15$  Мбит/с. Использование предложенной модели (1)–(7) обеспечивает выделение требуемой скорости передачи UE на всем интервале измерения  $R_{\text{треб}}^n = 0–0,26$  Мбит/с.

### Заключение

Установлено, что одной из основных задач в беспроводной сети, функционирующей с использованием технологии LTE, является задача обеспечения требуемого качества обслуживания, в состав которой входит необходимость выделения пользовательским станциям сети необходимой скорости передачи в нисходящем канале связи. Также установлено, что обеспечение требуемой скорости передачи в технологии LTE может быть достигнуто путем решения задачи распределения блоков планирования в нисходящем канале связи. В связи с этим, проанализированы существующие механизмы распределения блоков планирования между пользовательскими станциями в нисходящем канале связи беспроводной сети, функционирующей с использованием технологии LTE.

На основании выявленных недостатков известных решений предложена математическая модель, представленная рядом линейных и нелинейных условий-ограничений. Новизна модели состоит в формулировке задачи распределения блоков планирования как задачи перераспределения доступной пропускной способности нисходящего канала технологии LTE для передачи информации в направлении пользо-

вательских станций, при учете их территориальной удаленности (вида системы модуляции и кодирования).

Сравнительный анализ показал, что в условиях высоких требований к скорости передачи пользовательских станций использование модели (1)–(7), по сравнению с известными методами, позволяет на 5–20% повысить степень балансировки пропускной способности нисходящего канала связи рис. 2, а, а также на 40–100% повысить вероятность выделения пользовательским станциям требуемой скорости передачи рис. 2, б. При этом производительность нисходящего канала связи, в условиях высоких требований к скорости передачи, на 3% меньше производительности получаемой с использованием метода Max C/I Ratio и на 10–42% больше производительности с использованием методов Round Robin и Proportional Fair.

Использование предложенной модели направлено на обеспечение каждой пользовательской станции гарантированной скорости передачи в нисходящем канале связи с возможностью доступа к дополнительной (не гарантируемой) полосе пропускания. Это в классах сервиса соответствует подклассу В CoS, тогда как другие методы не гарантируют выделения требуемой скорости передачи, что в классах сервиса CoS соответствует подклассу А.

### 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. 3GPP TS 36.213. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures (Release 11). – Valbonne, France: Sophia Antipolis, 2012. – 104 p.
9. Ермолаев В.Т. Флакман А.Г. Теоретические основы обработки сигналов в системах мобильной радиосвязи. – Нижний Новгород: НГУ им. И.Н. Лобачевского, 2010. – 107 с.
10. Adibah M.R.H., Kumbesan S., Riyaj B., Leijia W. Modeling and simulation of packet scheduling in the downlink long term evolution system // Proceedings of 15th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC 2009). – 2009. – P. 68–71.