

УДК 621.396.67

Аль-Шурайфи Муштак Талиб

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченка, Киев

## МЕТОД ПРИОРИТЕТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ НИСХОДЯЩЕГО КАНАЛА СВЯЗИ В ТЕХНОЛОГИИ LTE

В статье предлагается метод распределения пропускной способности нисходящего канала связи технологии LTE. Предложенный метод направлен на выделение каждой пользовательской станции гарантированной пропускной способности в условиях отсутствия перегрузки нисходящего канала связи, а также на превентивное ограничение пропускной способности, выделяемой пользовательским станциям в условиях перегрузки. Проанализировано влияние приоритетов запросов пропускной способности, используемых в методе, на характер возможных отказов.

**Ключевые слова:** LTE, распределение пропускной способности, метод, отказы в обслуживании.

### Введение

В настоящее время в современных беспроводных телекоммуникационных сетях, в частности и в сетях технологии LTE, пользователи могут запускать большое множество различных приложений на своих клиентских устройствах, каждое из которых имеет свои требования к качеству обслуживания (Quality of Service, QoS). При этом численные значения отдельных показателей качества обслуживания, одним из которых является гарантируемая скорость передачи данных, во многом определяют эффективность решения задачи управления трафиком [1, 2]. Для того, чтобы обеспечить соблюдение параметров QoS для множества приложений, создаются различные EPS (Evolved Packet System) потоки.

Все возможные EPS потоки можно разбить на две большие группы: потоки с гарантированной минимальной скоростью передачи данных (Minimum Guaranteed Bit Rate, GBR) и потоки без гарантий по скорости передачи данных (Non-GBR).

На участке между базовой станцией (eNodeB) и станцией пользователя (User Equipment, UE) обеспечением параметров QoS занимается eNodeB. Для этого каждому потоку приписан идентификатор QoS класса (QoS Class Identifier, QCI). Все возможные значения QCI, а также значения параметров QoS, относящиеся к конкретному QCI, определены в спецификации, что должно обеспечить одинаковую обработку потоков одного и того же типа на оборудовании различных производителей. В табл. 1 приведено множество QCI и их характеристик [3].

Таблица 1

Зависимость значения QCI от параметров сети

QCI	Тип управления	Приоритет	Максимальное значение задержки, мс	Коэффициент потери пакетов	Примеры приложений
1	GBR	2	100	1e-2	Передача голоса
2	GBR	4	150	1e-3	Разговорное видео
3	GBR	3	50	1e-3	Он-лайн игры
4	GBR	5	300	1e-6	Не разговорное видео
5	Non-GBR	1	100	1e-6	Сигнализация
6	Non-GBR	6	300	1e-6	Видео, www, электронная почта, FTP
7	Non-GBR	7	100	1e-3	Интерактивные игры
8	Non-GBR	8	300	1e-6	Видео, www, электронная почта, FTP
9	Non-GBR	9	300	1e-6	Видео, www, электронная почта, FTP

В условиях гетерогенности и мультипротокольности современных беспроводных телекоммуникационных сетей, а особенно при перегрузке и ограниченности частотных и временных ресурсов, на первое место выходит проблема повышения уровня согласованности решений задач распределения скорости передачи данных нисходящего канала связи между пользовательскими станциями и ограничения интенсивности трафика, поступающего в сеть. Кроме того, учитывая мультисервисный характер современных

беспроводных телекоммуникационных сетей, отказы в обслуживании должны касаться в первую очередь низкоприоритетного трафика [4, 5].

Как показал проведенный анализ, известные методы [6 – 12] распределения пропускной способности нисходящего канала связи в технологии LTE используют принцип Best Effort. При этом качество предоставляемых услуг не гарантировано, а между UE распределяется вся доступная пропускная способность. Таким образом, актуальной научной и практической

задачей является разработка и исследование математических моделей и методов распределения пропускной способности нисходящего канала связи технологии LTE, гарантирующих выделение пользовательским станциям требуемой пропускной способности, которые могли бы быть положены в основу перспективных технологических решений.

В работах [13 – 14] предложены механизмы, направленные на решение задачи распределения пропускной способности нисходящего канала связи технологии LTE. Основной особенностью данных механизмов является то, что в их рамках для каждой UE производится выделение гарантируемой скорости передачи данных в условиях отсутствия перегрузки. При этом основным недостатком модели и метода, предложенных в [13 – 14], является отсутствие возможности учета приоритетов пользовательских станций. В этой связи, **целью данной работы** является усовершенствование ранее предложенного метода [13 – 14] с целью учета приоритетов и возможности ограничения запросов скорости передачи в условиях перегрузки.

### Метод пропорционального распределения пропускной способности

В качестве исходных данных в предлагаемом методе использованы следующие:

- 1)  $N$  – общее количество UE в сети;
- 2)  $K$  – число RB, формируемых на протяжении передачи одного подкадра. В технологии LTE количество RB зависит от ширины частотного канала и может принимать значения: 6, 15, 25, 50, 75, 100;
- 3)  $R_{trb}^n$  – требуемая пропускная способность для обслуживания  $n$ -й UE (Мбит/с);
- 4)  $R_c^n$  – скорость кода, используемая при кодировании сигнала  $n$ -й UE;
- 5)  $k_b^n$  – битовая загрузка символа  $n$ -й UE;
- 6)  $K_s$  – число поднесущих для передачи данных в одном RB;
- 7)  $N_{symb}^{RB}$  – количество символов, формирующих один ресурсный блок;
- 8)  $T_{SF} = 1$  мс – время передачи одного подкадра;
- 9)  $N_{SF}^{RB} = 2$  – количество RB, формируемых на одинаковых поднесущих и выделяемых UE на протяжении передачи одного подкадра.

С целью учета приоритетов, присваиваемых каждой из пользовательских станций, введем понятие матрицы приоритетов, количество строк которой соответствует числу UE, а столбцов – числу назначенных приоритетов ( $H$ ):

$$D = \parallel d_{n,h} \parallel, (n = 1, N, h = 1, H), \quad (1)$$

$$\text{где } d_{n,h} = \begin{cases} 1, & \text{если } n\text{-й пользовательской станции} \\ & \text{присвоен } h\text{-й приоритет;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Так при использовании режима TDD (Frequency-division duplexing) количество подкадров нисходящего канала связи определяется используемой конфигурацией кадра. В случае использования режима FDD (Frequency-division duplexing), который использован при разработке метода, каждый подкадр нисходящего канала предназначен для передачи информации в направлении от базовой к пользовательской станции. При этом количество подкадров равно общему количеству подкадров в кадре и составляет  $N_{SF} = 10$ .

В соответствии с технологией LTE разрабатываемый метод должен быть направлен на использование одного из трех видов распределения ресурсов (Resource Allocation Type). В рамках предлагаемого метода будет использован нулевой вид распределения ресурсов (Resource Allocation Type 0), предполагающий объединение RB в так называемые группы ресурсных блоков (Resource Block Groups, RBG) для их закрепления за пользовательскими станциями. Количество групп ресурсных блоков, которое рассчитывается из выражения (2), а также число RB входящих в их состав ( $p$ ), определяется в соответствии с табл. 2 [3, 13].

$$K_{RBG} = \lceil K/p \rceil, \quad (2)$$

где  $\lceil \cdot \rceil$  – процедура поиска наибольшего целого.

Таблица 2  
Зависимость размера RBG от общего количества формируемых RB

Кол-во формируемых RB, $N_{RB}^{DL}$	Размер RBG, $p$
$\leq 10$	1
11-26	2
27-63	3
64-110	4

Таким образом, задача распределения пропускной способности нисходящего канала связи технологии LTE должна быть сформулирована как задача распределения групп ресурсных блоков с учетом приоритетов пользовательских станций беспроводной сети. На рис. 1 приведена блок-схема алгоритма последовательности выполнения операций в рамках предлагаемого метода распределения групп ресурсных блоков, выполняющего выделение требуемой пропускной способности всем пользовательским станциям в соответствии с их приоритетами.

Операции, выполняемые в ходе решения сформулированной задачи, можно разбить на несколько этапов.

**Этап 1.** При запуске работы алгоритма (блок 1) производится сбор данных о состоянии сети, а также о приоритетах пользовательских станций (блок 2), в

виде набора параметров. Ввиду того, что ни одной пользовательской станции не выделено групп ресурсных блоков, то скорости передачи данных имеют

значения равные нулю ( $R_1 = R_2 = \dots R_N = 0$ ) (блок 3). Кроме того, в рамках блока 3 устанавливается значение первого приоритета ( $h = 1$ ).

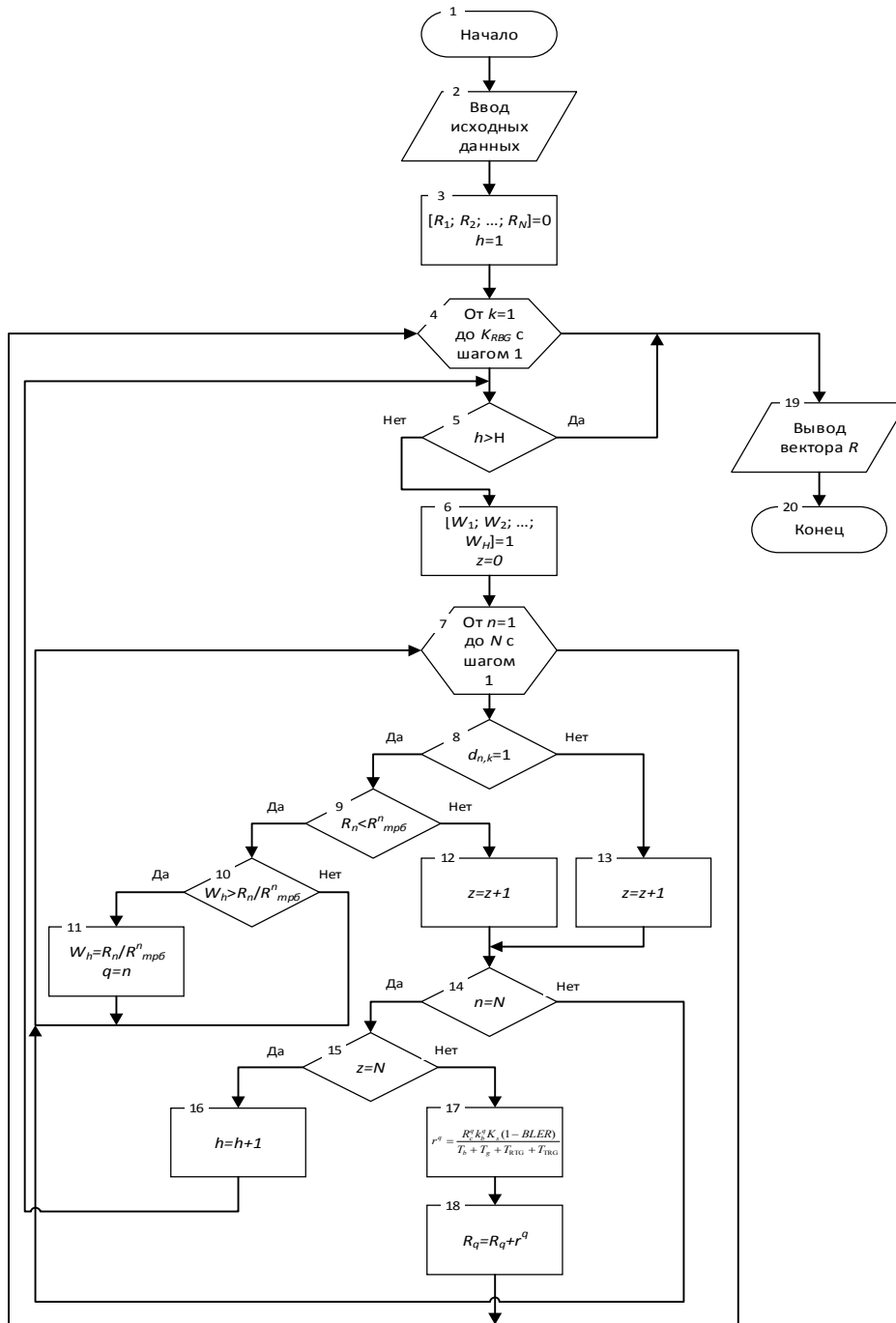


Рис. 1. Блок-схема алгоритма предлагаемого метода

**Этап 2.** Производится выбор первой RBG из доступного набора групп ресурсных блоков (блок 4), а также первой пользовательской станции (блок 7). В блоке 5 производится проверка того, что значение выбранного приоритета не превышает выбранного значения. В блоке 6 значения  $W_1, W_2, \dots, W_N$  принимаются равными единицам, которые в дальнейшем будут характеризовать отношение выделенной пропускной способности  $n$ -й пользовательской станции ( $R_n$ ) к ее требуемому значению  $R_{н\text{треб}}^n$  для  $h$ -го при-

оритета. Далее в блоке 8 определяется присвоен ли  $n$ -й пользовательской станции  $h$ -й приоритет. Так в случае если  $d_{n,h} = 1$ , то в блоке 9 производится проверка выполнения требований  $n$ -й пользовательской станции по пропускной способности. С целью пропорционального распределения пропускной способности нисходящего канала связи между пользовательскими станциями, имеющими одинаковый приоритет в блоке 10 производится оценка параметра  $W_h$ . В случае если соотношение  $R_1/R_{н\text{треб}}^1$  меньше

установленного значения  $W_h$ , то переменные  $W_h$  и  $q$  принимают значения соответствующие текущей пользовательской станции (блок 11). Если соотношение пропускной способности, выделенной UE, к требуемой пропускной способности больше или равно значению  $W_h$ , то переменные  $W$  и  $q$  не изменяют своих значений, а в работе алгоритма используется следующая UE (блок 7).

**Этап 3.** По окончании перебора всех пользовательских станций рассчитывается пропускная способность, которая обеспечивается выбранной RBG для  $q$ -й UE (блок 17), после чего производится суммирование пропускной способности, выделенной  $q$ -й UE, с пропускной способностью выбранной RBG (блок 18). Данная процедура повторяется пока всем пользовательским станциям первого приоритета не будет выделена требуемая пропускная способность, или все группы ресурсных блоков будут распределены. Так в случае если для всех пользовательских станций, имеющих первый приоритет выделена требуемая пропускная способность (отношения в блоках 8 и 9 для всех UE не выполняются), а переменная  $z$  принимает значение равное  $N$  (блок 15), что свидетельствует о удовлетворении требований всех пользовательских станций, то к рассмотрению принимаются станции имеющие следующий (второй) приоритет (блок 16). Процедура, описанная на этапах 2 и 3 повторяется для всех станций с различными приоритетами.

**Этап 4.** Окончанием работы алгоритма является удовлетворение требований по пропускной способности всех пользовательских станций. Так в блоке 5, в случае, когда будет запрошено очередное значение приоритета и оно будет превышать допустимое значение  $N$ , работа алгоритма будет окончена. Окончанием работы алгоритма также является распределение всех доступных групп ресурсных блоков (блок 4).

**Этап 5.** В результате выполнения алгоритма за каждой из UE производится закрепление необходимого набора групп ресурсных блоков, что соответствует выделению пропускной способности в нисходящем канале связи (блок 19), после чего работа алгоритма заканчивается (блок 20).

### Пример решения задачи приоритетного распределения групп ресурсных блоков

С целью анализа решений по распределению групп ресурсных блоков в нисходящем канале связи, получаемых с использованием известных методов, а также предложенного метода рассмотрим пример, при котором для распределения групп ресурсных блоков в нисходящем канале связи в качестве исходных данных были использованы следующие:

- кол-во пользовательских станций –  $N=4$ ;
- кол-во блоков планирования, формируемых

на одном подкадре нисходящего канала связи –  $K=15$ ;

- число поднесущих для передачи данных на одном подканале –  $K_s=12$ ;

- скорость кода, используемая при кодировании сигнала первой UE –  $R_c^1=2$  (QPSK), второй –  $R_c^2=4$  (16-QAM), третьей –  $R_c^3=6$  (64-QAM), четвертой –  $R_c^4=6$  (64-QAM);

- битовая загрузка символа первой UE –  $k_b^1=193/1024$ , второй –  $k_b^2=490/1024$ , третьей –  $k_b^3=948/1024$ , четвертой –  $k_b^4=772/1024$ ;

- количество символов, формирующих один ресурсный блок –  $N_{\text{symb}}^{\text{RB}}=7$ ;

- время передачи одного подкадра –  $T_{\text{SF}}=1$  мс;

- количество RB, формируемых на одинаковых поднесущих и выделяемых UE на протяжении передачи одного подкадра –  $N_{\text{SF}}^{\text{RB}}=2$ ;

- требуемая скорость передачи для различных пользовательских станций –  $R_{\text{треб}}^n = 0 \div 5,5$  Мбит/с.

С целью учета приоритетов пользовательских станций сформирована такая матрица приоритетов:

$$D = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

В соответствии с табл. 2 параметр  $p$  имеет значение равное двум. Таким образом, исходя из выражения (1), количество групп ресурсных блоков, формируемых в рамках одного подкадра, составляет  $K_{\text{RBG}} = \lceil 15/2 \rceil = 8$ .

Результаты, полученные в ходе моделирования, представлены на рис. 2.

В ходе анализа результатов моделирования установлено, что в рамках предложенного метода реализуется обслуживание пользовательских станций на основе так называемых абсолютных приоритетов. Так, во-первых, в случае, когда сумма запросов на требуемую пропускную способность превышает пропускную способность нисходящего канала связи, превентивное ограничение испытывает в первую очередь запрос от низкоприоритетной UE вплоть до полного отказа в доступе.

Во-вторых, запрос на пропускную способность от сервисного потока с более высоким приоритетом не будет ущемляться до тех пор, пока можно отказать низкоприоритетному запросу.

В рамках первого примера (рис. 2, а) рассмотрен случай, когда требования к пропускной способности пользовательских станций (ПСт) принимали следующие значения:

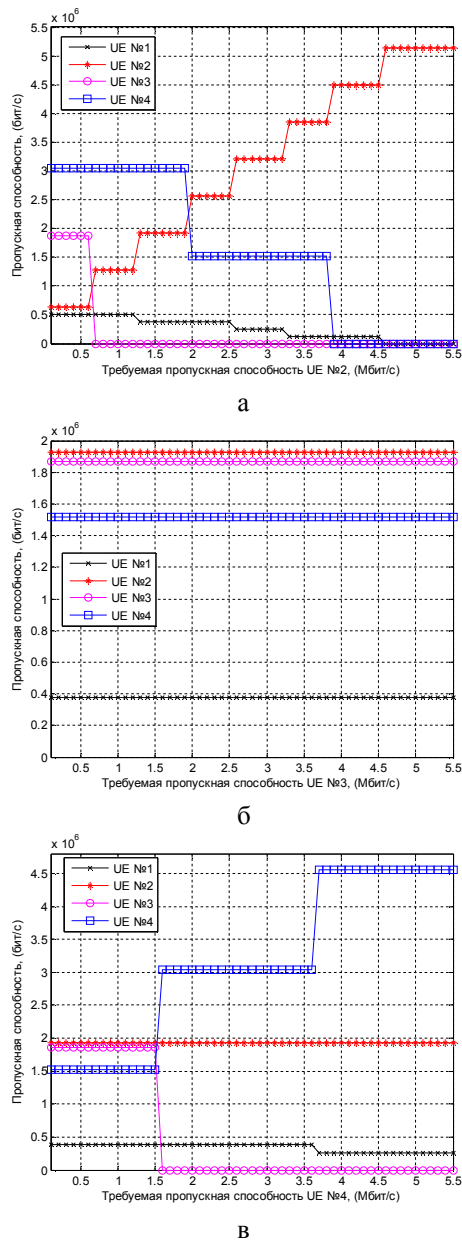


Рис. 2. Результаты решения задачи распределения ресурсных блоков между ПСт при изменении требований к пропускной способности для а – второй, б – третьей и в – четвертой ПСт

$R_{\text{трб}}^1 = 0,5$  Мбит/с,  $R_{\text{трб}}^2 = 0,1 \div 5,5$  Мбит/с,  $R_{\text{трб}}^3 = 2$  Мбит/с и  $R_{\text{трб}}^4 = 3$  Мбит/с. Так, на интервале изменения требований к пропускной способности для высокоприоритетной (второй) ПСт от 0,1 Мбит/с до значения 0,6 Мбит/с (рис. 2, а) всем UE, кроме третьей, обеспечивалось требуемое значение пропускной способности, которое составило: для первой UE – 0,507 Мбит/с, второй – 0,643 Мбит/с, третьей – 1,866 Мбит/с и четвертой – 3,04 Мбит/с. При увеличении  $R_{\text{трб}}^2$  выше 0,7 Мбит/с ПСт с самым низким приоритетом (UE №3) получила полный отказ в обслуживании. Выделение пропускной способности производилось пропорционально требованиям

ПСт №1 и №4 к пропускной способности на интервале измерения  $R_{\text{трб}}^2 = 1,2 \div 4,6$  Мбит/с. При этом ПСт №4 получила полный отказ обслуживания при значении  $R_{\text{трб}}^2 = 3,9$  Мбит/с, пользовательская станция ПСт №1 –  $R_{\text{трб}}^2 = 4,6$  Мбит/с в результате чего выделение ресурсных блоков нисходящего канала связи производилось только пользовательской станции с самым высоким приоритетом (UE №2).

На рис. 2, б приведены результаты решения задачи распределения ресурсных блоков между пользовательскими станциями, требования к пропускной способности которых принимали следующие значения:  $R_{\text{трб}}^1 = 0,3$  Мбит/с,  $R_{\text{трб}}^2 = 1,6$  Мбит/с,  $R_{\text{трб}}^3 = 0,1 \div 5,5$  Мбит/с и  $R_{\text{трб}}^4 = 1$  Мбит/с. Ввиду того, что требования к пропускной способности изменялись для самой низкоприоритетной (третьей) пользовательской станции, то и отказы в обслуживании имели место для этой станции. В ходе моделирования (рис. 2, б) установлено, что первой пользовательской станции выделялось 0,38 Мбит/с, второй – 1,93 Мбит/с, третьей – 1,87 Мбит/с, а четвертой – 1,52 Мбит/с. Таким образом, для всех пользовательских станций требования по пропускной способности обеспечивались на интервале до 1,8 Мбит/с, а при дальнейшем увеличении отказы в обслуживании получала третья UE.

На рис. 2, в приведены результаты моделирования, отображающие результаты изменения требований к пропускной способности для пользовательской станции с средним значением приоритета (UE №4). В ходе анализа результатов моделирования установлено, что, как и в первом случае, первоочередные отказы в обслуживании получала низкоприоритетная (третья) пользовательская станция. При дальнейшем увеличении требований отказы в обслуживании получали первая и четвертая пользовательские станции. Кроме того, для высокоприоритетной пользовательской станции на всем интервале измерения производилось выделение требуемой пропускной способности.

## Выводы

Установлено, что одной из основных задач в беспроводной сети LTE является задача обеспечения необходимого качества обслуживания, которая заключается в выделении пользовательским станциям сети гарантируемой пропускной способности в нисходящем канале связи. Обеспечение гарантируемой скорости передачи в технологии LTE 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 беспровод-

ной сети технологии LTE в результате чего установлено, что все они используют принцип Best Effort.

В результате была предложен метод, новизна которого заключается в возможности превентивного ограничения пропускной способности, выделяемой пользовательским станциям в нисходящем канале связи технологии LTE, при учете их приоритетов. Кроме того, предложенный метод направлен на решение задачи распределения ресурсных блоков, как задачи балансировки доступной пропускной способности нисходящего канала связи технологии LTE для передачи полезной информации в направлении пользовательских станций, при учёте вида схемы модуляции и кодирования.

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

## Список литературы

1. Вегишна Ш. Качество обслуживания в сетях IP: Пер. с англ. / Ш. Вегишна. – М.: Вильямс, 2003. – 512 с.
2. Ghosh A. *Fundamentals of LTE* / A. Ghosh, J. Zhang, R. Muhamed, J. Cr. Andrews. – USA: Prentice Hall, 2010. – 464 p.
3. 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.
4. Лемешко О.В. Модель превентивного обмеження швидкості передачі низхідного каналу зв'язку технології WiMAX в умовах перевантажень / О.В. Лемешко, С.В. Гаркуша // Вісник НУ «Львівська політехніка»: Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2013. – № 766. – С. 132-138.
5. Гаркуша С.В. Модель распределения пропускной способности нисходящего канала связи технологии WiMAX с ограничением скорости передачи / С.В. Гаркуша // Информационные технологии. – 2013. – Т. 11, № 3. – С. 18-23.
6. Iosif O. *On the Analysis of Packet Scheduling in Downlink 3GPP LTE System* / O. Iosif, I. Banica // *The Fourth International Conference on Communication Theory, Reliability, and Quality of Service (CTRQ 2011)*. – Budapest: IARIA, 2011. – P. 99-102.
7. Tang Z. *Traffic Scheduling for LTE Advanced* / Z. Tang. – Linkuping: Division of Communication Systems, 2010, 71 p.
8. Kawser M.T. *Performance Comparison between Round Robin and Proportional Fair Scheduling Methods for LTE* / M.T. Kawser, H.M.A.B. Farid, A.R. Hasin, A.M.J. Sadik, I.K. Razu // *International Journal of Information and Electronics Engineering*. – 2012. – Vol. 2, No. 5. – P. 678-681.
9. Girici T. *Proportional Fair Scheduling Algorithm in OFDMA – Based Wireless Systems with QoS Constraints* / T. Girici, C. Zhu, J.R. Agre, A. Ephremides // *Journal of communications and networks*. – 2010. – Vol. 12, No. 1. – P. 30-42.
10. Hussain S. *Dynamic Radio Resource Management in 3GPP LTE* / S. Hussain. – Karlskrona: Blekinge Institute of Technology, 2009. – 58 p.
11. Østerbø O. *Scheduling and Capacity Estimation in LTE* / O. Østerbø // *Advances in electronics and telecommunications*. – 2011. – Vol. 2, No. 3. – P. 31-42.
12. Galaviz G. *A resource block organization strategy for scheduling in carrier aggregated systems* / G. Galaviz, D.H. Covarrubias, A.G. Andrade, S. Villarreal // *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. – 2012. – P. 107-124.
13. Гаркуша С.В. Модель распределения блоков планирования в нисходящем канале связи технологии LTE / С.В. Гаркуша // Грузинский электронный научный журнал: Компьютерные науки и телекоммуникации. – 2013. – Вып. 3(39). – С. 76-94.
14. Гаркуша С.В. Модель планирования частотно-временного ресурса в нисходящем канале связи технологии LTE / С.В. Гаркуша, Ю.А. Василенко // Научно-технический Вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – Вып. 3 (85). – С. 92-98.

Поступила в редколлегию 9.04.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. А.А. Смирнов, Кировоградский национальный технический университет, Кировоград.

## МЕТОД ПРІОРИТЕТНОГО РОЗПОДІЛУ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ НИЗХІДНОГО КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ В ТЕХНОЛОГІЇ LTE

Аль-Шурайфі Муштак Таліб

У статті пропонується метод розподілу пропускної здатності низхідного каналу зв'язку технології LTE. Запропонований метод направлений на виділення кожній користувальницькій станції гарантованої пропускної здатності в умовах відсутності перевантаження низхідного каналу зв'язку, а також на превентивне обмеження пропускної здатності, що виділяється користувальницькою станціям в умовах перевантаження. Проаналізовано вплив пріоритетів запитів пропускної здатності, що використовуються в методі, на характер можливих відмов.

**Ключові слова:** LTE, розподіл пропускної здатності, метод, відмови в обслуговуванні.

## METHOD OF PRIORITY BANDWIDTH ALLOCATION IN THE DOWNLINK OF LTE

Al-Sharif Mushtaq Talib

In this article deals with method of apportionment of bandwidth abilities downlink communication technology LTE. The proposed method is aimed at Custom Allocation each station guaranteed bandwidth abilities in terms absence Transshipment downlink communication, as well as on preventive abilities Limit bandwidth allocated Custom stations in terms Transshipment. Effect analyzed priorities Requests bandwidth abilities USED IN method, the nature of possible failures was been investigated.

**Keywords:** LTE, bandwidth allocation method, denial of service.