

УДК 004.738.2

https://doi.org/10.33619/2414-2948/100/04

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕОДНОРОДНОГО ТРАФИКА В СЕТЯХ LTE

©*Абдыраева Н. Р.*, SPIN-код: 1576-7528, канд. техн. наук, Ошский технологический университет, г. Ош, Кыргызстан, nabdyraeva80@mail.ru

©*Мыкыев З.*, Ошский технологический университет,
г. Ош, Кыргызстан, Mza8K7@gmail.com

MATHEMATICAL MODEL OF HETEROGENEOUS TRAFFIC IN LTE NETWORKS

©*Abdyraeva N.*, SPIN-code: 1576-7528, Ph.D., Osh Technological University,
Osh, Kyrgyzstan, nabdyraeva80@mail.ru

©*Mykyev Z.*, Osh Technological University, Osh, Kyrgyzstan, Mza8K7@gmail.com

Аннотация. С внедрением мультимедийных мобильных приложений в сотовых сетях используются эффективные методы повышения пропускной способности. В статье для неоднородного трафика определяются методы деления ресурсов сети сотовой связи посредством математического моделирования. Исследованы численные свойства показателей совместного обслуживания заявок, эффективность совместной передачи трафика реального времени и эластичного трафика данных. Рассматриваются ключевые способы применения полосы ресурсов модели трафика.

Abstract. With the introduction of multimedia mobile applications in cellular networks, effective methods have been used to increase throughput. The article defines methods for dividing cellular network resources through mathematical modeling for heterogeneous traffic. The numerical properties of the indicators of joint servicing of requests, the efficiency of joint transmission of real-time traffic and elastic data traffic have been studied. Explores key uses of traffic model resource bandwidth.

Ключевые слова: неоднородный трафик, модель, скорость, ресурс соты, стандарт LTE, пропускная способность.

Keywords: heterogeneous traffic, model, speed, cell resource, LTE standard, throughput.

Рост объема мультимедийных мобильных приложений приводит к тому, что требуемое качество обслуживания может быть обеспечено только при использовании эффективных методов повышения пропускной способности радиointерфейса, так как именно в сотовых сетях возникают резкие перекосы нагрузки из-за стохастического перемещения абонентов [3].

Целью данной работы является разработка адаптивного механизма управления передачей потоков неоднородного трафика от систем M2M в сетях LTE при перегрузках. С появлением новых устройств в сенсорных сетях возрастает роль интеллектуальных систем и технологий сбора информации, которые являются основными двигателями развития IoT [2]. Однако предлагающие новые возможности (например, потоковое видео) такие устройства требуют больших скоростей и возможности передачи на дальние расстояния. Сотовые сети позволяют организовать такую передачу с совместным использованием вышесказанных типов трафика, но требуют правильных мер для распределения ресурсов [4].

Это, несомненно стало особенностью перехода к новому поколению сотовых сетей. У операторов связи остается актуальной задачей обеспечение корректной работы в массовом обслуживании и эффективное использование ресурсов. Объем таких больших данных разного характера создает неоднородность конечного трафика, передаваемого в сотовых сетях [1].

В работах зарубежных авторов показано, что в сетях LTE существует несколько классов эластичного трафика, то есть трафика способного приспосабливаться при передаче к изменениям задержки и пропускной способности, продолжая удовлетворять потребности приложения. Основными характеристиками этого типа трафика являются: короткое время обслуживания и низкая интенсивность поступления заявок [4, 5].

Именно свойства эластичного трафика дают возможность существенно повысить эффективность использования ресурса передачи информации. Это особенно важно для перспективных сетей подвижной связи, к которым относятся сети стандарта LTE, в которых в основном используются пользовательские устройства с интеллектуальными модемами, увеличивающими долю эластичного трафика. Очевидно, что совместная передача разнородного трафика нуждается в средствах контроля, обеспечивающих заданные показатели качества обслуживания поступающих заявок.

Равнодоступные радиоресурсы сети LTE при перегрузках могут приводить к существенному падению пропускной способности фрагмента сети LTE. Это происходит при их захвате более интенсивными потоками отдельных классов пользователей и полной блокировке других пользователей. Локальное управление на узлах, ограничивающие объем ресурсов, наиболее типично для перегрузок, вызванных резким увеличением интенсивности потока вызовов на одно или несколько исходящих направлений узла.

Модель планирования ресурсов формализована в виде функции распределения потребностей в ресурсах с учетом разнообразных данных, генерирующих трафик [2]. Предлагаемые схемы описывают наилучшие сценарии, которые направлены на обеспечение компромисса между двумя типами трафика, гарантируя производительность сети и избегая неэффективного использования имеющихся ресурсов.

Рассмотрим процесс построения модели. Через C обозначим скорость передачи информации, обеспечиваемой техническими возможностями отдельного фрагмента сети стандарта LTE. Процесс поступления заявок можно ограничить одним потоком заявок на обслуживание трафика реального времени и одним потоком заявок на передачу эластичного трафика данных. Примем, заявки на передачу трафика реального времени поступают по пуассоновскому закону с интенсивностью λ_r . Для обслуживания одной заявки требуется выделить из имеющейся пропускной способности соты ресурс в размере C_r бит/с. Время обслуживания заявки реального времени t_r имеет экспоненциальное распределение со средним $1/\mu_r$. Здесь μ_r — параметр экспоненциального распределения.

Также примем, что процесс поступления заявок на передачу данных также подчиняется пуассоновскому закону с интенсивностью λ_d . Для обслуживания одной заявки из имеющейся свободной пропускной способности соты выделяется максимально возможный ресурс в размере c_d бит/с, удовлетворяющий неравенству $c_1 \leq c_d \leq c_2$. Величины c_1 и c_2 задают соответственно минимальную и максимальную скорости скачивания файлов, примем, что $c_1 \leq c_2$. В модели принято, что объем передаваемого файла данных имеет экспоненциальное распределение со средним значением F , выраженным в битах. Очевидно, что время

передачи файла с использованием только минимальной c_1 и только максимальной c_2 скоростей имеет экспоненциальное распределение с параметрами соответственно $\mu_{d,1}$ и $\mu_{d,2}$. Значения параметров $\mu_{d,1}$ и $\mu_{d,2}$ определяются из соотношений $\mu_{d,1} = c_1/F$ и $\mu_{d,2} = c_2/F$.

В модели также принято, что заявки на передачу трафика реального времени имеют относительный приоритет при использовании ресурса передачи информации. Обозначим через i_r и i_d число заявок на передачу трафика, соответственно, реального времени и данных, находящихся на обслуживании в момент поступления заявки на передачу трафика реального времени. Если фрагмент сети располагает достаточным свободным ресурсом, т. е. выполняется неравенство $i_r c_r + i_d c_2 \leq C$, то заявка принимается на обслуживание и для этого выделяется ресурс в объеме c_r бит/с.

Если указанной величины ресурса нет, но выполняется неравенство $i_r c_r + i_d c_1 + c_r \leq C$, то скорость передачи всех файлов, находящихся на обслуживании, уменьшается с величины $C - i_r c_r / i_d$ до значения $C - (i_r + 1) c_r / i_d$. Поскольку справедливо соотношение $i_r c_r + i_d c_1 + c_r \leq C$, то новое значение скорости передачи файла будет не менее c_1 , т.е. удовлетворяет принятому соглашению о передаче файлов поскольку выполняется неравенство: $C - (i_r + 1) c_r / i_d \geq c_1$.

Если выполняется неравенство $i_r c_r + i_d c_1 > C$, то поступившая заявка на передачу файлов получает отказ, поскольку в рассматриваемой ситуации либо нет свободного ресурса в объеме c_1 бит/с, либо нельзя получить указанную величину ресурса уменьшив скорость передачи i_d файлов, находящихся на обслуживании, т.к. указанное действие уменьшит скорость передачи всех файлов, включая поступивший, до значения меньшего чем c_1 .

Для построения модели распределения ресурса проанализируем процесс распределения ресурса в отдельной соте сети стандарта LTE. Обозначим через (i_r, i_d) вектор состояния числа заявок находящихся на обслуживании в соте. Здесь i_r — число заявок на передачу трафика реального времени, i_d — число заявок на передачу файлов. Время обслуживания каждой из i_r заявок на передачу трафика реального времени имеет экспоненциальное распределение с параметром μ_r . На обслуживание трафика реального времени в состоянии (i_r, i_d) выделяется ресурс соты в размере $i_r c_r$ бит/с.

Время обслуживания каждой из i_d заявок на передачу файлов в состоянии (i_r, i_d) также имеет экспоненциальное распределение. Обозначим параметр распределения через μ_d . Величина μ_d зависит от степени загрузки соты. Если выполняется соотношение $i_r c_r + i_d c_2 \leq C$, то каждый из i_d обслуживаемых файлов передается с максимально возможной скоростью c_2 . В этой ситуации на обслуживание трафика данных в состоянии (i_r, i_d) выделяется ресурс соты в размере $i_d c_2$ бит/с. При этом часть ресурса соты в размере $C - i_r c_r - i_d c_2$ остается не задействованной в силу ограничений на максимально возможную скорость передачи данных. Параметр распределения времени обслуживания определяется из соотношения $\mu_{d,2} = c_2/F$. Если же выполняется обратное соотношение $i_r c_r + i_d c_2 > C$, то каждый из i_d обслуживаемых в

состоянии (i_r, i_d) файлов передается со скоростью $C - i_r c_r / i_d$. В этой ситуации на обслуживание трафика данных выделяется ресурс соты в размере $C - i_r c_r$ бит/с и весь ресурс соты задействован на обслуживание поступившего трафика. Параметр распределения времени передачи файла определяется из соотношения $\mu_d = C - i_r c_r / i_d F$. Обозначим через $c_{r,d}$ величину ресурса занятого в состоянии (i_r, i_d) на обслуживание принятых заявок. Схема функционирования построенной модели показана на Рисунке 1.

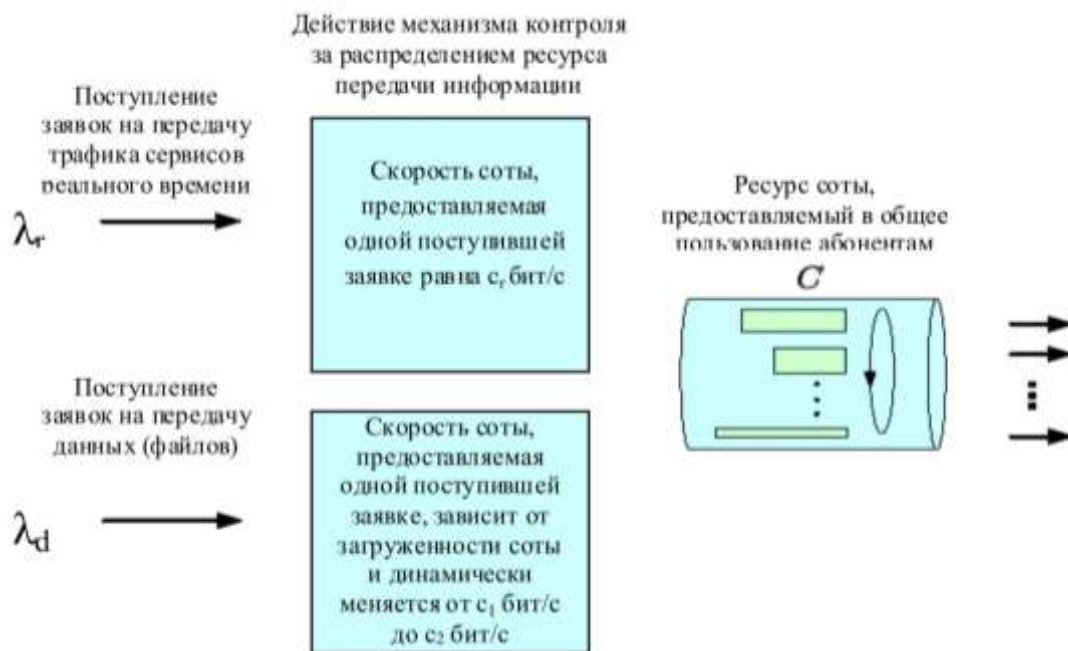


Рисунок 1. Схема функционирования модели фрагмента сети стандарта LTE

Таким образом, при изменении скорости передачи в той же пропорции изменяется среднее значение остаточного времени обслуживания заявки на передачу файла. Скорости передачи данных изменяется динамически в соответствии с загрузкой соты. При малой загрузке фрагмента сети LTE данные передаются с максимально возможной скоростью c_2 , которая поддерживается техническими возможностями системы LTE, при большой загрузке сети — со скоростью c_1 . Отметим, что при этом используемый ресурс, а, следовательно, и скорость передачи трафика сервисов реального времени не меняются.

Резкое увеличение в ближайшее время также трафика от межмашинного взаимодействия (M2M), который, как правило, обладает эластичными свойствами и позволяет изменять скорость передачи данных в некоторых пределах, в зависимости от условий на сети, то есть увеличение эластичного трафика. Чтобы повысить эффективность ресурса передачи данных предлагается управлять скоростью эластичного трафика. Это позволит не только повысить пропускную способность, но и улучшить качество обслуживания.

При организации связи трафик будет разделен на два типа: А — высокий и В — низкий уровни передающих и принимаемых M2M устройствами. Трафик, поступающий от таких аппаратов сбора информации как видеокамеры, соответствует типу А, требующих большой полосы пропускания, в то время как типу В подлежат устройства реагирования, контроля

или обнаружения тех или иных внешних характеристик. Сота, обслуживающая оба типа трафиков может столкнуться с резким увеличением восходящих нагрузок, замедляя корректную работу всей сетевой инфраструктуры. Такому потоку данных, исходящих из разного типа генерации, требуется механизм управления с целью избежания потери полезных пакетов данных в LTE/5G.

Проведен анализ работы современных мер деления радиоресурсов базовых станций. Модель планирования ресурсов формализована в виде функции распределения потребностей в ресурсах с учетом разнообразных данных, генерирующих трафик [2].

В распределение ресурсов между двумя типами трафика каналы определяются следующим образом:

$$C_{LTE/5G} = C - R_{LTE/5G} \quad C_{NB} = C - R_{NB}. \quad (1)$$

При эксплуатации одного канала для типа А длительность обслуживания составит:

$$\rho_1 = v / \mu, d = 1 \quad (2)$$

При эксплуатации одного канала для типа В:

$$\rho_2 = \lambda \theta, b = 1 \quad (3)$$

Тогда схема деления ресурсов для разных трафиков представлена на Рисунке 2.

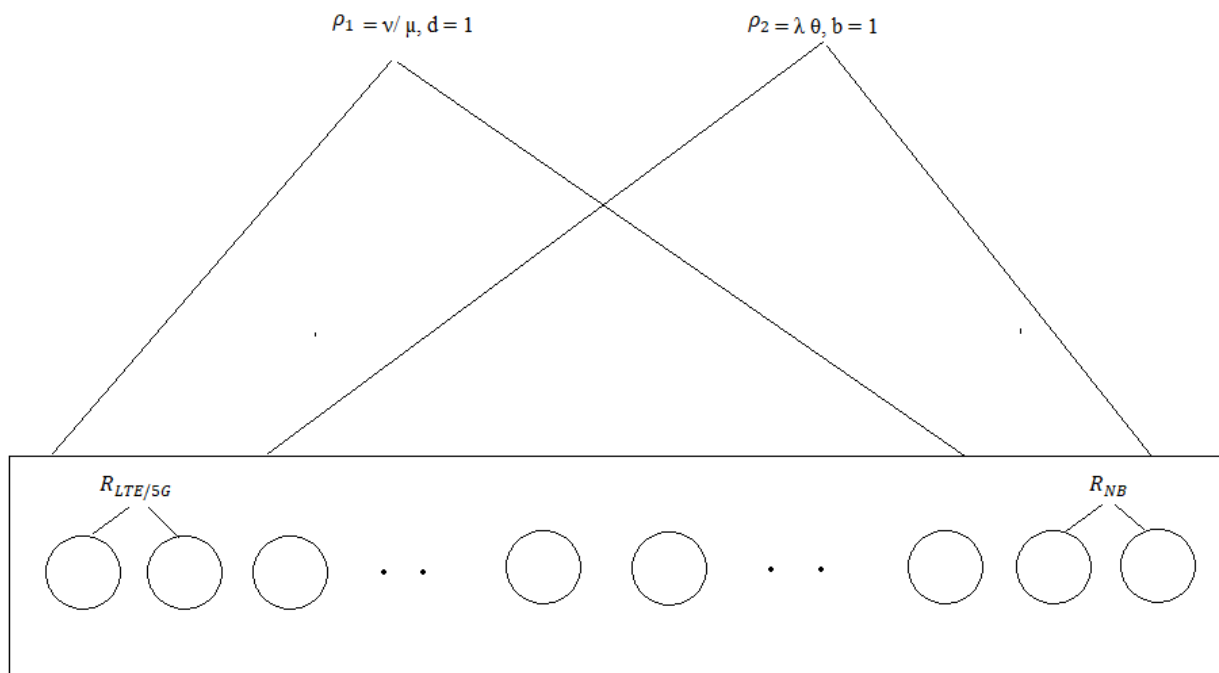


Рисунок 2. Схема деления ресурсов для разных трафиков

При таком моделировании трафика используется кластеры, которые представляют собой Марковский процесс.

Действие механизма деления радиоресурса определяется тем, что заявки на прохождение трафика В типа имеют скорость с 1 бит/с и поступившая заявка на прохождение трафика А типа имеет скорость соты, которая зависит от загруженности соты и меняется динамически.

Предлагаемые схемы описывают наилучшие пути, которые направлены на обеспечение компромисса между двумя типами трафика, гарантируя производительность сети и избегая неэффективного использования имеющихся ресурсов. Дифференцированное обслуживание неоднородного трафика на основе использования предложенной процедуры для динамического сценария распределения ресурсов, в отличие от традиционного решения той же задачи с использованием статического сценария, может повысить качество обслуживания сеансов связи и повышение эффективности использования ресурсов.

Вывод

Создана математическая модель неоднородного трафика, а также был разработан метод анализа деления ресурсов сотовой сети. С помощью полученной модели возможно исследовать дальнейшие характеристики и особенности передачи разного рода трафика в одной сотовой сети.

Исследованы численные свойства показателей совместного обслуживания заявок, которые показали эффективность совместной передачи трафика реального времени и эластичного трафика данных с целью повышения загрузки ресурса фрагмента сети. Построенная модель дает возможность численно оценить преимущества совместной передачи разнородного трафика.

Список литературы:

1. Абдыраева Н. Р. Особенности беспроводной широкополосной связи LTE с использованием фрактальной антенны на основе кривой Коха // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №3. С. 164-169. EDN: YSOPOA
2. Антонова В. М., Козлова А. С. Анализ модели разделения ресурсов в соте сети LTE // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2016. №1. С. 24-27. EDN: WMAMFX
3. Мухамеджанова А. Д., Туманбаева К. Х. Сравнительный анализ математических моделей трафика M2M // Вестник Казахстанско-Британского технического университета. 2021. Т. 16. №3. С. 150-156.
4. Vishnevsky V. M., Samouylov K. E., Naumov V. A., Krishnamoorthy A., Yarkina N. Multiservice queueing system with MAP arrivals for modelling LTE cell with H2H and M2M communications and M2M aggregation // Distributed Computer and Communication Networks: 20th International Conference, Moscow, Proceedings. Springer International Publishing, 2017. P. 63-74. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66836-9_6
5. Saddoud A., Doghri W., Charfi E., Fourati L. C. 5G radio resource management approach for multi-traffic IoT communications // Computer Networks. 2020. V. 166. P. 106936. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2019.106936>

References:

1. Abdyraeva, N. (2018). Feature of wireless broadband communication LTE using a fractal antenna based on Koch curve. *Bulletin of Science and Practice*, 4(3), 164-169. (in Russian).
2. Antonova, V. M., & Kozlova, A. S. (2016). Analiz modeli razdeleniya resursov v sote seti LTE. *Trudy Severo-Kavkazskogo filiala Moskovskogo tekhnicheskogo universiteta svyazi i informatiki*, (1), 24-27. (in Russian).
3. Mukhamedzhanova, A. D., & Tumanbaeva, K. Kh. (2021). Sravnitel'nyi analiz matematicheskikh modelei trafika M2M. *Vestnik Kazakhstansko-Britanskogo tekhnicheskogo universiteta*, 16(3), 150-156. (in Russian).

4. Vishnevsky, V. M., Samouylov, K. E., Naumov, V. A., Krishnamoorthy, A., & Yarkina, N. (2017). Multiservice queueing system with MAP arrivals for modelling LTE cell with H2H and M2M communications and M2M aggregation. In *Distributed Computer and Communication Networks: 20th International Conference, DCCN 2017, Moscow, Russia, September 25–29, 2017, Proceedings* (pp. 63-74). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66836-9_6

5. Saddoud, A., Doghri, W., Charfi, E., & Fourati, L. C. (2020). 5G radio resource management approach for multi-traffic IoT communications. *Computer Networks*, 166, 106936. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2019.106936>

Работа поступила
в редакцию 14.02.2024 г.

Принята к публикации
20.02.2024 г.

Ссылка для цитирования:

Абдыраева Н. Р., Мыкыев З. Математическая модель неоднородного трафика в сетях LTE // Бюллетень науки и практики. 2024. Т. 10. №3. С. 44-50. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/100/04>

Cite as (APA):

Abdyraeva, N., & Mykyev, Z. (2024). Mathematical Model of Heterogeneous Traffic in LTE Networks. *Bulletin of Science and Practice*, 10(3), 44-50. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/100/04>