



УДК 621.3

Анализ вероятностно-временных характеристик обслуживания эластичного трафика с минимальной скоростью в сегменте беспроводной сети с нарезкой радиоресурсов

А. С. Власкина, Н. А. Поляков, И. А. Гудкова, Ю. В. Гайдамака

Власкина Анастасия Сергеевна, аспирант кафедры прикладной информатики и теории вероятностей, Российский университет дружбы народов (РУДН), Россия, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, vlaskina.anastasia@yandex.ru

Поляков Никита Алексеевич, студент кафедры прикладной информатики и теории вероятностей, Российский университет дружбы народов (РУДН), Россия, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, goto97@mail.ru

Гудкова Ирина Андреевна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной информатики и теории вероятностей, Российский университет дружбы народов (РУДН), Россия, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; Институт проблем информатики, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, Россия, 119333, г. Москва, ул. Вавилова, д. 44-2, gudkova-ia@rudn.ru

Гайдамака Юлия Васильевна, доктор физико-математических наук, профессор кафедры прикладной информатики и теории вероятностей, Российский университет дружбы народов (РУДН), Россия, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; Институт проблем информатики, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, Россия, 119333, г. Москва, ул. Вавилова, д. 44-2, gaydamaka-yuv@rudn.ru

Предполагается, что будущие мобильные сети станут поддерживать значительное число приложений и услуг. В условиях ограниченности пропускной способности сети обычное выделение ресурсов приводит к неэффективному использованию сетей радиодоступа. Возможным решением выступает технология сетевой нарезки, предназначенная для распределения ресурсов между виртуальными мобильными операторами. Целью данной работы являются исследование и оценка показателей качества функционирования такой сети на примере услуги загрузки файла с минимальной гарантированной скоростью передачи данных. Для эффективного совместного использования ресурсов авторами предложена математическая модель в виде системы массового обслуживания с эластичным трафиком, очередью и конечным числом источников. Получены формулы для расчета таких характеристик, как вероятность блокировки, среднее количество времени для получения данной услуги и среднее число запросов в системе. Для численного анализа разработана имитационная модель сети дискретного типа события для заданных исходных данных, приближенных к реальным значениям. Показана зависимость вероятностно-временных параметров от интенсивности поступления заявок. Полученные результаты являются промежуточными по тематике нарезки сети и могут быть применены для последующего исследования и оптимизации использования радиоресурсов в беспроводных сетях пятого поколения.

Ключевые слова: 5G, беспроводная сеть, нарезка радиоресурсов, эластичный трафик, минимальная скорость, система массового обслуживания.

Поступила в редакцию: 14.11.2019 / Принята: 30.12.2019 / Опубликовано: 31.08.2020



Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9791-2020-20-3-378-387>

ВВЕДЕНИЕ

Недавние исследования показывают, что мобильные сети пятого поколения (5G) будут поддерживать значительное число пользователей, запрашивающих разные услуги и приложения, каждое из которых предъявляет различные требования к качеству обслуживания (Quality of Service, QoS) [1]. В связи с этим обычное выделение сетей радиодоступа (Radio Access Network, RAN) приводит к неэффективному использованию ресурсов с относительно высокими затратами, которое больше не приемлемо для пользователей [2,3]. Вместо этого операторы больше заинтересованы в гибких решениях [4,5].

Концепция нарезки радиоресурсов (Network Slicing) предназначена для проектирования, разделения и организации ресурсов виртуальной сети с учетом разнообразных требований [6]. Другими словами, одна физическая сеть разбивается на несколько логически изолированных сегментов сети, каждый из которых спроектирован и оптимизирован для конкретного требования и/или конкретного запроса/услуги [7–10].

Исходя из набора услуг и предъявляемых требований, выделяются различные соглашения об уровне обслуживания (Service Level Agreement, SLA), которые обычно разделяются на три типа [11]: с гарантированной скоростью передачи данных (Guaranteed Bitrate, GB), с минимальной гарантированной скоростью (Best effort with minimum Guaranteed, BG) [12] и без гарантий на обслуживание (Best Effort, BE).

В данной статье предложена математическая модель в виде системы массового обслуживания с эластичным трафиком [13,14], чувствительным к задержкам и с конечным числом источников. Получены формулы для расчета таких характеристик, как среднее время и среднее число запросов в системе, вероятность блокировки. Построена имитационная модель системы на примере услуги загрузки файла с минимальной гарантированной скоростью передачи, проведен численный анализ для различных исходных данных.

1. ЗАДАЧА НАРЕЗКИ РАДИОРЕСУРСОВ

Рассмотрим беспроводную сеть, в состав которой входят:

- базовый оператор, т. е. поставщик услуг беспроводной связи, который владеет и контролирует все элементы, необходимые для предоставления услуг конечному пользователю, включая распределение радиочастотного спектра объема C ;
- виртуальный оператор (или оператор), т. е. поставщик услуг беспроводной связи, который не владеет физической инфраструктурой беспроводной сети, через которую он предоставляет услуги своим пользователям. Пусть имеется $\mathcal{M} = \{1, 2, \dots, M\}$ услуг, тогда каждый n -оператор может предоставлять пользователям свой собственный набор услуг $M_n \subseteq \mathcal{M}$.

В зависимости от типа услуги могут быть установлены минимальная и максимальная скорости передачи данных, b_m^{\min} и b_m^{\max} , где m — номер услуги из множества всех услуг, $m \in \mathcal{M}$. Число пользователей, имеющих доступ к m -услуге n -оператора,



обозначим K_{nm} . Тогда общее число пользователей может быть представлено в виде

$$K = \sum_{n=1}^N K_n = \sum_{n=1}^N \sum_{m \in M_n} K_{nm}, \quad n = 1..N.$$

Предположим, что выделяемое число ресурсов пользователям одной и той же услуги одинаково. Следовательно, процедура распределения может быть сформулирована как задача оптимизации следующим образом:

$$\begin{aligned} \max_{\mathbf{C}} f(\mathbf{C}) &= \sum_{n=1}^N \sum_{m \in M_n} a_{nm} C_{nm}, \\ \sum_{n=1}^N \sum_{m \in M_n} a_{nm} C_{nm} &\leq C, \quad 0 \leq C_{nm}^{\min} \leq C_{nm} \leq C_{nm}^{\max} \leq C, \end{aligned} \tag{1}$$

где

\mathbf{C} — распределение ресурсов, представленное в виде матрицы:

$$\mathbf{C} = [C_{nm}]_{m \in M_n, n \subseteq N}, \quad C_{nm} > 0, \quad m \subseteq M_n, \quad C_{nm} = 0, \quad m \notin M_n;$$

a_{nm} — приоритет услуги, $0 \leq a_{nm} \leq 1$;

C_{nm} — объем ресурса, выделенный для m -услуги n -оператора, $m \in M_n$;

($C_n = \sum_{m \in M_n} C_{nm}$ — объем ресурса, выделенный для n -оператора);

$C_{nm}^{\min}, C_{nm}^{\max}$ — минимальные и максимальные объемы выделяемого ресурса.

Отметим, что существуют различные варианты оптимизации, например, с учетом технических возможностей пользовательского оборудования или динамического разделения ресурсов в зависимости от числа пользователей в конкретном временном интервале. Когда ресурсов недостаточно для удовлетворения всех гарантированных требований, возможно ослабление ограничений.

2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Построим модель управления доступом и занятия ресурсов для услуги загрузки файла с минимальной гарантированной скоростью передачи в виде системы массового обслуживания (СМО). Под заявками будем понимать запросы пользователей на предоставление услуги, а под источниками — пользователей K . Следует отметить, что источник не может отправить новый запрос, пока не будет обработан предыдущий, поданный им. В СМО имеется ресурс объема C , по которому передаются блоки эластичных данных. Пусть $0 < \lambda_k < \infty, k = \overline{1, K}$ — интенсивность потока заявок, а $0 < \theta_k < \infty, k = \overline{1, K}$ — средняя длина блока. Если C не может быть разделен поровну между заявками с обеспечением минимально гарантированного порога b , поступившая заявка занимает место в очереди r . Следовательно, максимальное число заявок, которые могут обслуживаться одновременно на ресурсе, равно $\lfloor \frac{C}{b} \rfloor = N$. По причине нетерпеливости заявки покидают систему с интенсивностью $0 < \gamma_k < \infty, k = \overline{1, K}$.

Рассмотрим модель (рис. 1), когда имеется фиксированное число пользователей и поведение каждого определяется в соответствии со следующим принципом: сначала он отправляет запрос на загрузку файла, загружает его, потом ожидает, затем снова загружает файл и т. д. Данная система описывается одномерным случайным процессом $N(t) \in \{0, \dots, \lfloor \frac{C}{b} \rfloor\}$ — число заявок, находящихся в системе в момент времени $t \geq 0$.

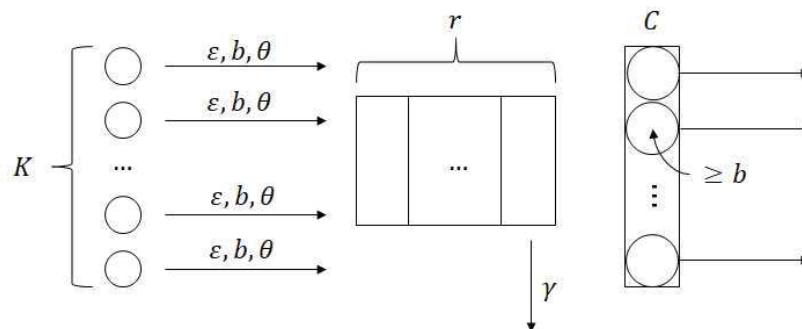


Рис. 1. Схема-модель в виде системы массового обслуживания
 Fig. 1. Scheme-model in the form of a queuing system

Пространство состояний исследуемого случайного процесса будет иметь вид $X := \{n \in \{0, \dots, N, \dots, \min(K, N + r)\}\}$. В зависимости от соотношения между объемом ресурса и числом источников можно выделить три случая: 1) количество источников меньше количества свободных мест на ресурсе (все запросы будут обработаны), $0 < K \leq N$; 2) количество источников превышает количество свободных мест на ресурсе, но запросы поступают в очередь, $N < K \leq (N + r)$; 3) количество источников больше, чем количество свободных мест на ресурсе и в очереди, $K > (N + r)$.

Для случая $K > (N + r)$ система уравнений глобального баланса будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} K\varepsilon p_0 = \frac{C}{\theta} p_1, \\ ((K - n)\varepsilon + \frac{C}{\theta}) p_n = (K - n + 1)\varepsilon p_{n-1} + \frac{C}{\theta} p_{n+1}, & n = \overline{1, (N - 1)}, \\ ((K - n)\varepsilon + \frac{C}{\theta} + (n - N)\gamma) p_n = (K - n + 1)\varepsilon p_{n-1} + \\ + (\frac{C}{\theta} + (n + 1 - N)\gamma) p_{n+1}, & n = \overline{N, (N + r - 1)}, \\ (\frac{C}{\theta} + r\gamma) p_{N+r} = (K - N - r + 1)\varepsilon p_{N+r-1}. \end{cases} \quad (2)$$

Отсюда получаем стационарное распределение вероятностей

$$p_n = \begin{cases} \left(\frac{\varepsilon\theta}{C}\right)^n A_K^n p_0, & n = \overline{1, \min(N, K)} \\ \left(\frac{\theta}{C}\right)^N \frac{\varepsilon^n}{\prod_{i=1}^{n-N} (\frac{C}{\theta} + i\gamma)} A_K^n p_0, & n = \overline{N + 1, \min(N + r, K)}, \end{cases} \quad (3)$$

где

$$p_0 = \left(\sum_{n=0}^{\min(N, K)} \left(\frac{\varepsilon\theta}{C}\right)^n A_K^n + \left(\frac{\theta}{C}\right)^N \sum_{n=1}^{\min(r, K-N)} \frac{\varepsilon^n}{\prod_{i=1}^{n-N} (\frac{C}{\theta} + i\gamma)} A_K^n \right)^{-1}.$$

Зная распределение вероятностей (3), можно рассчитать такие характеристики системы, как вероятность блокировки π ; среднее время пребывания заявок в очереди W_q , на обслуживании W_{ser} и в системе W_{sys} ; среднее число заявок в очереди L_q , на обслуживании L_{ser} и в системе L_{sys} . Формулы представлены в табл. 1.



Таблица 1 / Table 1

Формулы для расчета вероятностно-временных характеристик системы
 Formulas for calculating the probability-time characteristics of a system

Параметр Parameter	$0 < K \leq N$	$N < K \leq N + r$	$K > N + r$
π	0	0	p_{N+r}
L_{ser}	$\sum_{i=0}^K i \cdot p_i$	$\sum_{i=0}^N i \cdot p_i + N \cdot \sum_{i=1}^{K-N} p_{N+i}$	$\sum_{i=0}^N i \cdot p_i + N \cdot \sum_{i=1}^r p_{N+i}$
L_q	—	$\sum_{i=1}^{K-N} i \cdot p_{N+i}$	$\sum_{i=1}^r i \cdot p_{N+i}$
L_{sys}	$\sum_{i=0}^K i \cdot p_i$	$\sum_{i=0}^K i \cdot p_i$	$\sum_{i=0}^{N+r} i \cdot p_i$
W_{ser}	$\frac{\sum_{i=0}^K i \cdot p_i}{\sum_{n=0}^{K-1} (K-n)\varepsilon p_n}$	$\frac{\sum_{i=0}^N i \cdot p_i + N \cdot \sum_{i=1}^{K-N} p_{N+i}}{\sum_{n=0}^{K-1} (K-n)\varepsilon p_n}$	$\frac{\sum_{i=0}^N i \cdot p_i + N \cdot \sum_{i=1}^r p_{N+i}}{\sum_{n=0}^{N+r-1} (K-n)\varepsilon p_n}$
W_q	—	$\frac{\sum_{i=1}^{K-N} i \cdot p_{N+i}}{\sum_{n=0}^{K-1} (K-n)\varepsilon p_n}$	$\frac{\sum_{i=1}^r i \cdot p_{N+i}}{\sum_{n=0}^{N+r-1} (K-n)\varepsilon p_n}$
W_{sys}	$\frac{\sum_{i=1}^K i \cdot p_i}{\sum_{n=0}^{K-1} (K-n)\varepsilon p_n}$	$\frac{\sum_{i=1}^K i \cdot p_i}{\sum_{n=0}^{K-1} (K-n)\varepsilon p_n}$	$\frac{\sum_{i=1}^{N+r} i \cdot p_i}{\sum_{n=0}^{N+r-1} (K-n)\varepsilon p_n}$

3. ПРИМЕР ЧИСЛЕННОГО АНАЛИЗА

Далее представлены основные результаты оценки качества обслуживания построенной модели с использованием имитационного моделирования с дискретным типом события. В качестве исходных данных используются данные из табл. 2.

Таблица 2 / Table 2

Исходные данные / Initial data

Параметр Parameter	Характеристика Characteristic	Значение Value
K	Число пользователей / Number of users	50
b	Минимально гарантированная скорость [Мб/с] Minimum guaranteed speed [Mb/sec]	0.384
C	Объем ресурса [Мб/с] / Resource volume [Mb/sec]	16.76; 3500
ϵ	Интенсивность входящего потока, экспоненциальное распределение / Inlet flow rate, exponential distribution	[0.01;20]
θ	Размер файла [Мб], экспоненциальное распределение File size [Mb], exponential distribution	2
γ	Интенсивность ухода из системы по причине нетерпеливости / Intensity to leave the system due to impatience	0.000001
r	Длина очереди / Queue length	20

На рис. 2, а, б отражена зависимость характеристик от интенсивности поступления заявок в систему при $C = 16.76$ [Мб/с] (согласно источнику [15]). Заметим, что в этом случае общее время для служб отправки превышает 40 с, а размер файла составляет 2 Мб. При незначительном увеличении интенсивности поступления



запросов система быстро заполняется и формируется очередь. Чтобы приблизить задержку к реальным значениям, были проведены расчеты для $C = 3500$ [Мб/с] (рис. 2, в, г). Для таких исходных данных значение среднего времени пребывания заявки в системе колеблется от 8.27 мс до 156.9 мс и почти напрямую зависит от интенсивности поступления запросов. Очередь с выбранной интенсивностью не формируется.

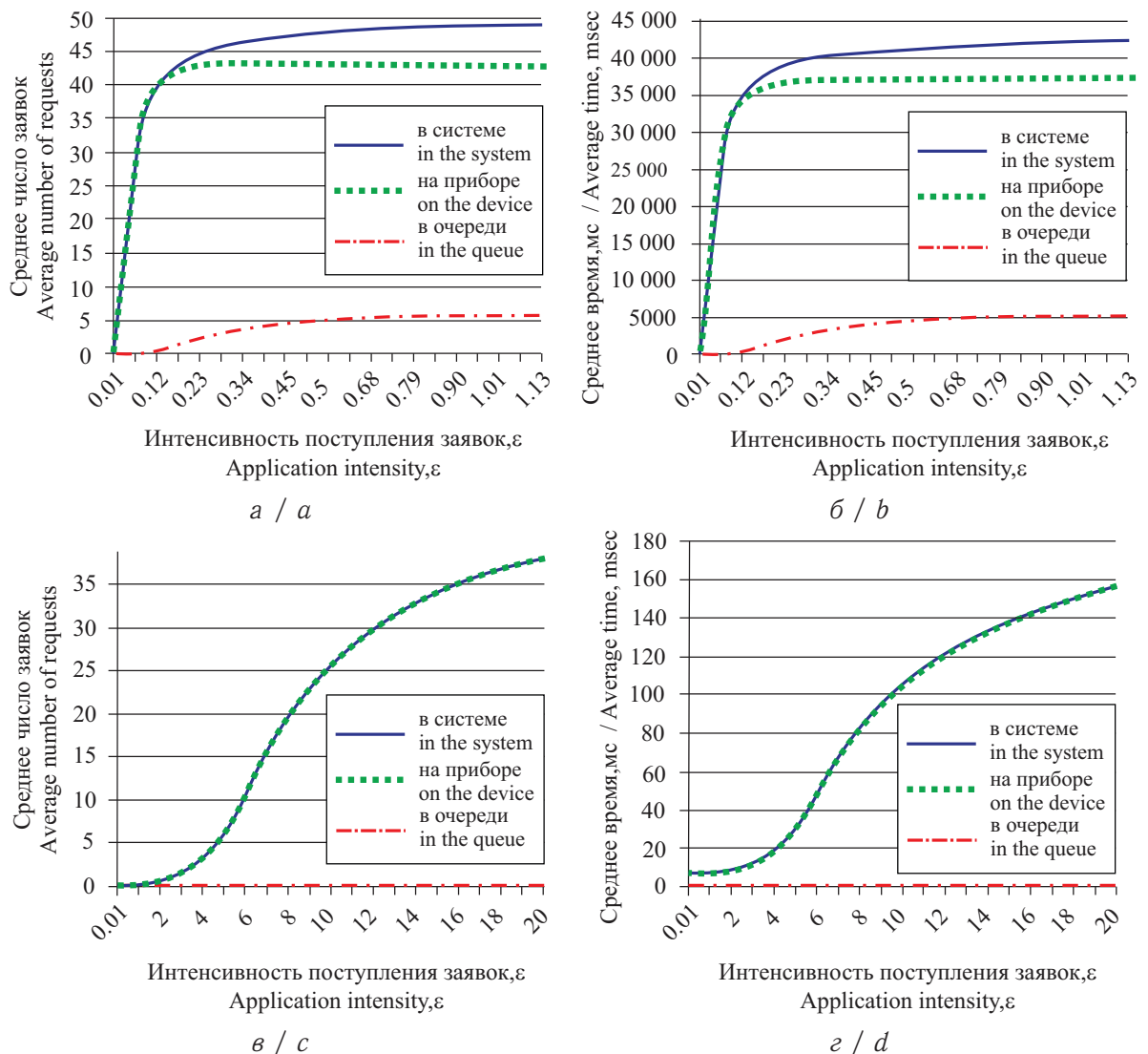


Рис. 2. Среднее время и число запросов в системе, в очереди, на приборе: а – среднее время, $C = 16.76$ [Мб/с]; б – среднее число запросов, $C = 16.76$ [Мб/с]; в – среднее время, $C = 3500$ [Мб/с]; г – среднее число запросов, $C = 3500$ [Мб/с]

Fig. 2. Average time and number of requests in the system, in the queue, on the device: а – average time, $C = 16.76$ [Mb/sec]; б – average number of requests, $C = 16.76$ [Mb/sec]; в – average time, $C = 3500$ [Mb/sec]; г – average number of requests, $C = 3500$ [Mb/sec]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нарезка сетевых радиоресурсов (Network Slicing) является одной из самых перспективных технологий 5G, позволяющей максимизировать эффективность распределения ресурсов между виртуальными операторами. Для анализа эффективности



предоставления услуги с минимальной гарантированной скоростью передачи данных в работе была построена система массового обслуживания и получены формулы для расчета вероятностно-временных характеристик. С помощью разработанной имитационной модели получены результаты численного анализа.

Благодарности. Авторы благодарят доцента кафедры прикладной информатики и теории вероятностей РУДН М. Д. Малых за ценные советы по формулировке задачи оптимизации нарезки радиоресурсов и ассистента кафедры прикладной информатики и теории вероятностей РУДН В. О. Бегишева за вклад в проведение численного анализа.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (проект № 2.3397.2017/4.6).

Библиографический список

1. Zhang H., Liu N., Chu X., Long K., Aghvami A.-H., Leung V. C. M. Network Slicing Based 5G and Future Mobile Networks: Mobility, Resource Management, and Challenges // IEEE Communications Magazine. 2017. Vol. 55, iss. 8. P. 138–145.
2. Lee Y. L., Loo J., Chuah T. C., Wang L.-C. Dynamic network slicing for multitenant heterogeneous cloud radio access networks // IEEE Transactions on Wireless Communications. 2018. Vol. 17, iss. 4. P. 2146–2161. DOI: <https://doi.org/10.1109/TWC.2017.2789294>
3. Rouzbehani B., Correia L. M., Caeiro L. An Optimised RRM Approach with Multi-Tenant Performance Isolation in Virtual RANs // 2018 IEEE 29th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC). Bologna, 2018. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1109/PIMRC.2018.8581050>
4. 3GPP TS 23.501 V15.4.0 – System architecture for the 5G System (5GS). URL: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3144#> (дата обращения: 14.11.2019).
5. Lieto A., Malanchini I., Capone A. Enabling Dynamic Resource Sharing for Slice Customization in 5G Networks // 2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM). Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2018. P. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2018.8647249>
6. GB999 User Guide for Network Slice Management R18.5.1. URL: <https://projects.tmforum.org/wiki/display/PCT/viewpage.action?pageId=100734457> (дата обращения: 14.11.2019).
7. Ordonez-Lucena J., Ameigeiras P., Lopez D., Ramos-Munoz J. J., Lorca J., Folgueira J. Network Slicing for 5G with SDN/NFV: Concepts, Architectures, and Challenges // IEEE Communications Magazine. 2017. Vol. 55, iss. 5. P. 80–87. DOI: <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600935>
8. Khatibi S., Caeiro L., Ferreira L. S., Correia L. M., Nikaein N. Modelling and implementation of virtual radio resources management for 5G Cloud RAN // J. Wireless Com. Network. 2017. Vol. 2017, iss. 1. Art. no. 128. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13638-017-0908-1>
9. Foukas X., Patounas G., Elmokashfi A., Marina M. K. Network Slicing in 5G: Survey and Challenges // IEEE Communications Magazine. 2017. Vol. 55, iss. 5. P. 94–100. DOI: <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600951>
10. ITU-T Rec. Y.0.3101 — Requirements of the IMT-2020 network. 01.2018. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.3101-201801-1/en> (дата обращения: 14.11.2019).
11. Rouzbehani B., Correia L. M., Caeiro L. A modified proportional fair radio resource management scheme in virtual RANs // 2017 European Conference on Networks and Communications (EuCNC). Oulu, 2017. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.1109/EuCNC.2017.7980724>



12. Caballero P., Banchs A., De Veciana G., Costa-Perez X., Azcorra A. Network slicing for guaranteed rate services: Admission control and resource allocation games // IEEE Transactions on Wireless Communications. 2018. Vol. 17, iss. 10. P. 6419–6432. DOI: <https://doi.org/10.1109/TWC.2018.2859918>
13. Samouylov K. E., Gudkova I. A. Recursive computation for a multi-rate model with elastic traffic and minimum rate guarantees // International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems. Moscow, 2010. P. 1065–1072. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICUMT.2010.5676509>
14. Gudkova I. A., Markova E. V., Abaev P. O., Antonova V. M. Analytical modelling and simulation of admission control scheme for non-real time services in LTE networks // Proc. 29th European Conference on Modelling and Simulation, ECMS 2015. Albena, Bulgaria, 2015. P. 689–695. DOI: <https://doi.org/10.7148/2015-0689>
15. Khatibi S. Radio Resource Management Strategies in Virtual Networks // Thesis approved in public session to obtain PhD degree in Electrical and Computer Engineering – 2016. URL: https://grow.tecnico.ulisboa.pt/wp-content/uploads/2016/08/Thesis_sina_khatibi_IST172360.pdf (дата обращения: 14.11.2019).

Образец для цитирования:

Власкина А. С., Поляков Н. А., Гудкова И. А., Гайдамака Ю. В. Анализ вероятностно-временных характеристик обслуживания эластичного трафика с минимальной скоростью в сегменте беспроводной сети с нарезкой радиоресурсов // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Математика. Механика. Информатика. 2020. Т. 20, вып. 3. С. 378–387. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9791-2020-20-3-378-387>

Performance Analysis of Elastic Traffic with Minimum Bit Rate Guarantee Transmission in Wireless Network under Network Slicing

A. S. Vlaskina, N. A. Polyakov, I. A. Gudkova, Yu. V. Gaidamaka

Anastasiya S. Vlaskina, <https://orcid.org/0000-0001-6453-814X>, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St., Moscow 117198, Russia, vlaskina.anastasia@yandex.ru

Nikita A. Polyakov, <https://orcid.org/0000-0003-0152-9646>, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St., Moscow 117198, Russia, goto97@mail.ru

Irina A. Gudkova, <https://orcid.org/0000-0002-1594-427X>, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St., Moscow 117198, Russia; Institute of Informatics Problems, Federal Research Center "Informatics and Management" RAS, 44, bld. 2 Vavilova St., Moscow 119333, Russia, gudkova-ia@rudn.ru

Yuliya V. Gaidamaka, <https://orcid.org/0000-0003-2655-4805>, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St., Moscow 117198, Russia; Institute of Informatics Problems, Federal Research Center "Informatics and Management" RAS, 44, bld. 2 Vavilova St., Moscow 119333, Russia, gaydamaka-yuv@rudn.ru

Future mobile networks are expected to support a significant number of applications and services. With limited network bandwidth, the usual allocation of resources leads to inefficient use of radio access networks. A possible solution is network slicing technology designed to distribute resources between virtual mobile operators. The aim of this work is to study and evaluate the performance indicators of such a network using the example of a file download service with a mi-



nimum guaranteed data transfer rate. For effective sharing of resources, the authors proposed a mathematical model in the form of a queuing system with elastic traffic, a queue, and a finite number of sources. Formulas are obtained for calculating such characteristics as the probability of blocking, the average amount of time to receive this service, and the average number of requests in the system. For numerical analysis, a simulation model of a network with a discrete type of event has been developed for an initial source data, close to real values. The dependence of probability-time parameters on the intensity of applications is shown. The results are intermediate in the subject of network slicing and can be used for subsequent research and optimization of the radio resources allocation in fifth-generation wireless networks.

Keywords: 5G, wireless network, network slicing, elastic traffic, minimum bit guarantee, queuing system.

Received: 14.11.2019 / Accepted: 30.12.2019 / Published: 31.08.2020

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

Acknowledgements: The authors are grateful to M. D. Malykh, associate professor of the department of applied informatics and probability theory, RUDN University, and V. O. Begisheva, assistant of the department of applied informatics and probability theory, RUDN University, for their contribution to the numerical analysis.

This work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (project No. 2.3397.2017/4.6).

References

1. Zhang H., Liu N., Chu X., Long K., Aghvami A.-H., Leung V. C. M. Network Slicing Based 5G and Future Mobile Networks: Mobility, Resource Management, and Challenges. *IEEE Communications Magazine*, 2017, vol. 55, iss. 8, pp. 138–145.
2. Lee Y. L., Loo J., Chuah T. C., Wang L.-C. Dynamic network slicing for multitenant heterogeneous cloud radio access networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2018, vol. 17, iss. 4, pp. 2146–2161. DOI: <https://doi.org/10.1109/TWC.2017.2789294>
3. Rouzbehani B., Correia L. M., Caeiro L. An Optimised RRM Approach with Multi-Tenant Performance Isolation in Virtual RANs. *2018 IEEE 29th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*. Bologna, 2018, pp. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1109/PIMRC.2018.8581050>
4. 3GPP TS 23.501 V15.4.0 – System architecture for the 5G System (5GS). Available at: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3144#> (accessed 14 November 2019).
5. Lieto A., Malanchini I., Capone A. Enabling Dynamic Resource Sharing for Slice Customization in 5G Networks. *2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*. Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2018, pp. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2018.8647249>
6. *GB999 User Guide for Network Slice Management R18.5.1*. Available at: <https://projects.tmforum.org/wiki/display/PCT/viewpage.action?pageId=100734457> (accessed 14 November 2019).
7. Ordonez-Lucena J., Ameigeiras P., Lopez D., Ramos-Munoz J. J., Lorca J., Figueira J. Network Slicing for 5G with SDN/NFV: Concepts, Architectures, and Challenges. *IEEE Communications Magazine*, 2017, vol. 55, iss. 5, pp. 80–87. DOI: <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600935>
8. Khatibi S., Caeiro L., Ferreira L. S., Correia L. M., Nikaein N. Modelling and implementation of virtual radio resources management for 5G Cloud RAN. *J. Wireless Com. Network*,



- 2017, vol. 2017, iss. 1, art. no. 128. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13638-017-0908-1>
9. Foukas X., Patounas G., Elmokashfi A., Marina M. K. Network Slicing in 5G: Survey and Challenges. *IEEE Communications Magazine*, 2017, vol. 55, iss. 5, pp. 94–100. DOI: <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600951>
 10. *ITU-T Rec. Y.0.3101 – Requirements of the IMT-2020 network. 01.2018*. Available at: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.3101-201801-I/en> (accessed 14 November 2019).
 11. Rouzbehani B., Correia L. M., Caeiro L. A modified proportional fair radio resource management scheme in virtual RANs. *2017 European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*. Oulu, 2017, pp. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.1109/EuCNC.2017.7980724>
 12. Caballero P., Banchs A., De Veciana G., Costa-Perez X., Azcorra A. Network slicing for guaranteed rate services: Admission control and resource allocation games. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2018, vol. 17, iss. 10, pp. 6419–6432. DOI: <https://doi.org/10.1109/TWC.2018.2859918>
 13. Samouylov K. E., Gudkova I. A. Recursive computation for a multi-rate model with elastic traffic and minimum rate guarantees. In: *International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems*. Moscow, 2010, pp. 1065–1072. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICUMT.2010.5676509>
 14. Gudkova I. A., Markova E. V., Abaev P. O., Antonova V. M. Analytical modelling and simulation of admission control scheme for non-real time services in LTE networks. *Proc. 29th European Conference on Modelling and Simulation, ECMS 2015*. Albena, Bulgaria, 2015, pp. 689–695. DOI: <https://doi.org/10.7148/2015-0689>
 15. Khatibi S. Radio Resource Management Strategies in Virtual Networks. *Thesis approved in public session to obtain PhD degree in Electrical and Computer Engineering – 2016*. Available at: https://grow.tecnico.ulisboa.pt/wp-content/uploads/2016/08/Thesis_sina_khatibi_IST172360.pdf (accessed 14 November 2019).

Cite this article as:

Vlaskina A. S., Polyakov N. A., Gudkova I. A., Gaidamaka Yu. V. Performance Analysis of Elastic Traffic with Minimum Bit Rate Guarantee Transmission in Wireless Network under Network Slicing. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Math. Mech. Inform.*, 2020, vol. 20, iss. 3, pp. 378–387 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9791-2020-20-3-378-387>
