

УДК 004

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ВИРТУАЛЬНОГО МОБИЛЬНОГО ОПЕРАТОРА УСЛУГ С МИНИМАЛЬНОЙ СКОРОСТЬЮ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

А.С. Власкина

Российский университет дружбы народов
Россия, 117198, Москва, Миклухо-Маклая ул., 6
E-mail: vlaskina.anastasia@yandex.ru

Н.А. Поляков

Российский университет дружбы народов
Россия, 117198, Москва, Миклухо-Маклая ул., 6
E-mail: goto97@mail.ru

К.Е. Самуйлов

Российский университет дружбы народов
Россия, 117198, Москва, Миклухо-Маклая ул., 6
E-mail: ksam@sci.pfu.edu.ru

И.А. Гудкова

Российский университет дружбы народов
Россия, 117198, Москва, Миклухо-Маклая ул., 6
Институт проблем информатики Федерального исследовательского
центра «Информатика и управление» Российской Академии Наук
Россия, 119333, Москва, Вавилова ул., 44к2
E-mail: igudkova@sci.pfu.edu.ru

Ключевые слова: network slicing, 5G, имитационное моделирование, эластичный трафик.

Аннотация: Технология «нарезки сети», network slicing, позволяет распределять ресурсы между операторами мобильной связи в условиях повсеместного роста объемов передаваемой информации. При этом важно гарантировать качество обслуживания, требования по задержкам, конечным пользователям. Для эффективного разделения ресурсов в работе разработана имитационная модель системы массового обслуживания с эластичным трафиком, терпеливой к задержкам, и конечным числом источников. Произведен численный анализ таких характеристик, как среднее число заявок в системе, среднее время пребывания в системе, доля занятости ресурса.

1. Введение сегментация радиоресурсов

В условиях повсеместного роста объемов информации [1], передаваемой по мобильной связи, и появления новых услуг, операторы стремятся обновить свои сетевые инфраструктуры и платформы, чтобы соответствовать новым требованиям обслуживания абонентов, таким как сверхнизкая задержка и сверхвысокая надежность подключения. С этой целью была разработана технология «нарезки сети» (network slicing), позволяющая адаптировать ресурсы к потребностям абонента. Это означает, что общая инфраструктура может быть логически представлена в виде набора срезов (network slice), каждый из которых имеет свои функциональные возможности (например, пропускная способность) [2]. Разрезание сети позволяет оператору предоставлять виртуальным операторам функциональность, специфичную для услуги или абонента. Виртуальным называется тот оператор, который не имеет своей инфраструктуры радиодоступа и нуждается в ресурсах для обслуживания своих абонентов [3]. Следовательно, оператор сможет поддерживать многочисленные и разнообразные услуги, предусмотренные в 5G.

Самым перспективным способом реализации сети является нарезка путем разделения функций, услуг. При этом каждая из этих услуг имеет свои потребности. Другими словами, все услуги, предоставляемые операторами, можно разделить на классы в зависимости от их ограничений:

- по уровню приоритета;
- по типу трафика: эластичный и потоковый;
- по типу обслуживания: с *гарантированной скоростью передачи данных* (Guaranteed Bitrate, GB), когда для услуги назначается минимальная и максимальная скорости передачи данных, независимо от состояния сети, с *минимальной гарантированной скоростью передачи данных* (Best effort with minimum Guaranteed, BG), когда для услуги назначается только минимальная гарантированная скорость данных, и *без гарантированной скорости передачи данных* (Best Effort, BE), когда для услуги нет гарантированных скоростей;
- и т.д.

Поскольку ресурсы сети ограничены, задача в том, чтобы выделить каждому абонентскому запросу достаточное количество.

2. Задача оптимального разделения радиоресурсов

Рассмотрим сеть сотовой связи. В сети имеется базовый оператор, у которого есть ресурс объема C , который характеризуется скоростью обслуживания абонентов. А также N виртуальных операторов, запрашивающих доступ к ресурсу базового оператора, и K конечных абонентов. Каждый виртуальный оператор может предоставить $M = \{1, 2, \dots, M\}$ услуг. В зависимости от типа обслуживания 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 $m \in M$. Кроме того, каждый n - оператор предоставляет пользователям свой собственный набор услуг $M_n \subseteq M$. Следует отметить, что в данных предположениях, рассматривается эластичный тип трафика.

Таким образом, задача состоит в разделении ресурса базового оператора C между виртуальными операторами и их услугами, с учетом:

$$(1) \quad 0 \leq C_{nm}^{\min} \leq C_{nm} \leq C_{nm}^{\max} \leq C,$$

где

- C_{nm} : объем ресурса, выделенный для m – услуги n – оператора;
- C_{nm}^{\min} , C_{nm}^{\max} : минимальные и максимальные объемы выделяемого ресурса.

Для определения приоритетности распределения ресурсов между услугами различных операторов используются значения α_{nm} , такие что $0 \leq \alpha_{nm} \leq 1$. Их сумма равна единице:

$$(2) \quad \sum_{n=1}^N \sum_{m \in M_n} \alpha_{nm} = 1.$$

Целью процедуры распределения ресурсов является увеличение общей пропускной способности сети при одновременном учете приоритета различных услуг различных операторов и других ограничений. Следовательно, процедура распределения может быть сформулирована как задача оптимизации следующим образом:

$$(3) \quad \begin{aligned} \max_{\mathbf{C}} f(\mathbf{C}) &= \sum_{n=1}^N \sum_{m \in M_n} \alpha_{nm} C_{nm} \\ \text{s.t.} : \quad &\begin{cases} \sum_{n=1}^N \sum_{m \in M_n} C_{nm} \leq C \\ 0 \leq C_{nm}^{\min} \leq C_{nm} \leq C_{nm}^{\max} \leq C \end{cases} \end{aligned}$$

где \mathbf{C} : матрица значений объемов ресурса, выделяемых для предоставления услуги.

2. Имитационная модель

В качестве частного случая рассмотрим одного виртуального оператора N , предоставляющего одну услугу M_n . Для решения поставленной задачи была разработана имитационная модель моносервисной системы массового обслуживания с эластичным трафиком и очередью фиксированной длины r . После подачи заявки в систему источник уходит в блокировку до тех пор, пока она его заявка не покинет систему каким-либо образом. Характеристики модели представлены в таблице 1 и рис. 1.

Таблица 1. Характеристики системы массового обслуживания.

Параметр	Характеристика	Значение
N	число виртуальных операторов	1
M_n	число предоставляемых услуг	1
K	число конечных пользователей	50...1050
b_m^{\min}	минимальная гарантированная скорость	384 [kbps]
C	ресурс	128 [MBps] ...3584 [MBps]
λ_k	время чтения	Экспоненциальное распределение Среднее значение = 180 s Функция распределения: $f(x) = \lambda_k e^{-\lambda_k x}$, $x \geq 0$ $\lambda_k = 0,0056$

Параметр	Характеристика	Значение
s_k	размер файла	Усеченное логнормальное распределение Среднее значение = 2 [МВ] Среднеквадратическое отклонение = 0,7222 [МВ] Максимальное значение = 5 [МВ] Функция распределения: $f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}}, x > 0$ $\sigma = 0,35, \mu = 14,45$
γ	интенсивность ухода из системы по причине нетерпеливости	0,000001
r	длина очереди	100

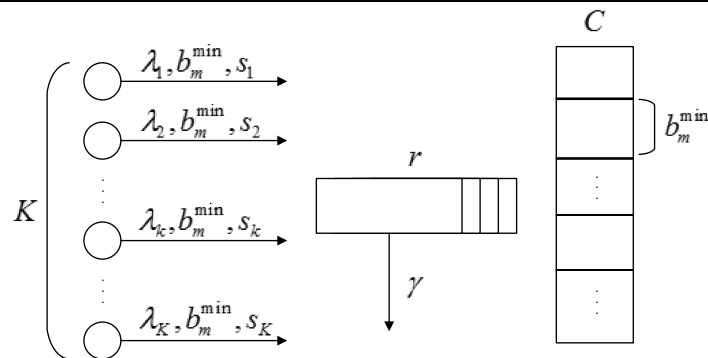


Рис. 1. Графическое представление системы массового обслуживания.

4. Численный анализ

Имитационная модель представляет собой приложение, написанное по событиям по книге Бусленко Н.П. [4] на языке программирования Java. Учитываются три типа событий – поступление блока данных в систему, обслуживание (отправка пакета) и уход из очереди по причине «нетерпеливости». Исходные данные для численного анализа взяты в соответствии с таблицей 1.

По результатам моделирования были построены графики (рис. 2, 3 и 4), по которым четко прослеживается, что для таких исходных данных, при ресурсе не менее 192МВps, до 1050 пользователей могут одновременно передавать файлы с задержкой менее 15 миллисекунд. Таким образом, зная некоторые параметры реальной системы, мы сможем подобрать для нее оптимальные характеристики, удовлетворяющие принятому качеству связи.

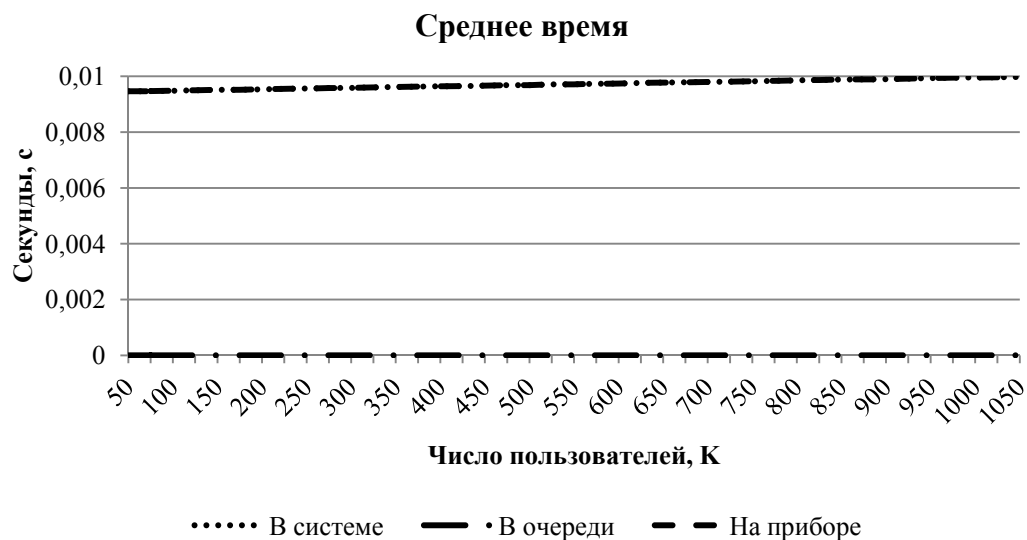


Рис. 2. График зависимости среднего времени пребывания заявки в системе от числа конечных пользователей, при $C = 192$.

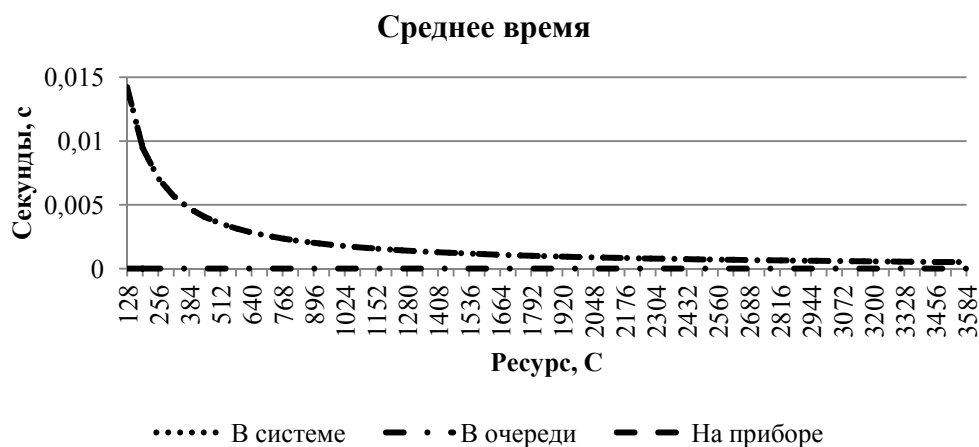


Рис. 3. График зависимости среднего времени пребывания заявки в системе от объема прибора, при $K = 50$.



Рис. 4. График зависимости занятости прибора от его объема, при $K = 50$.

5. Заключение

Данная работа представляет основные принципы использования технологии network slicing в сетях пятого поколения. Основное внимание уделяется эффективному разделению радиоресурсов. Для решения поставленной задачи был построен численный анализ с использованием имитационной модели. В качестве дальнейших исследований планируется расширение модели для нескольких виртуальных операторов, построение математической модели.

Список литературы

1. Campolo C., Molinaro A., Iera A., Fontes R.R., Rothenberg C.E. Towards 5G Network Slicing for the V2X Ecosystem // 4th IEEE Conference on Network Softwarization and Workshops, NetSoft. 2018. art. no. 8459911. P. 303-307.
2. Campolo C., Molinaro A., Iera A., Menichella F. 5G Network Slicing for Vehicle-to-Everything Services // IEEE Wireless Communications. 2017. Vol. 24, No. 6. P. 38-45.
3. Campolo C., Fontes R.R., Molinaro A., Rothenberg C.E., Iera, A. Slicing on the road: Enabling the automotive vertical through 5G network softwarization // Sensors. 2018. Vol. 18, No. 12. art. no. 4435.
4. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1968.