

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАФИКА ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ СЛАЙСИНГА В УМНОЙ СИСТЕМЕ 5G НА ВОСХОДЯЩЕЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

**А. А. Гребенщикова, В. С. Елагин\***

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

\*Адрес для переписки: [elagin.vas@gmail.co](mailto:elagin.vas@gmail.co)

**Аннотация**—В работе рассматривается система обработки трафика данных в сегментированной мобильной сети 5G на восходящей линии связи в пользовательской плоскости. Слайсинг – многообещающая технология для пятого поколения сетей, которая обеспечивает оптимальное качество предоставления услуг по QoS для каждого конкретного пользователя или группы пользователей. С каждым годом растёт трафик данных, который обрабатывается сотовыми сетями, что может привести к уменьшению производительности по обработке обычных данных. Поэтому, при рассмотрении определённой умной системы, стоит учитывать набор трафика начиная от VoIP, заканчивая устройствами межмашинного типа M2M. Например, интеллектуальные устройства системы здравоохранения передают большие данные, чувствительные к задержке, но также и видео поток, который требует минимальных задержек в определённых случаях. В работе делается упор на успешную обработку трафика посредством ретрансляционного узла, донорских микростанций и базовой макросоты.

Программно-определяемая сеть SDN получила широкое признание в качестве многообещающего метода для реализации слайсинга, на основе виртуализации сетевых функций (NFV). Виртуализация сетевых функций заменяет традиционные элементы сети коммерческими готовыми серверами.

С помощью программы имитационного моделирования Anylogic, в работе представлен процесс обработки трафика данных в восходящей линии связи. При этом весь трафик разделяется на три уровня сегментирования по QoS: чувствительный, менее чувствительный и с низким уровнем чувствительности. Для сетей пятого поколения 5G важным условием реализации является достижение минимальной задержки и максимальной скорости передачи данных в рамках QoS. Применение решений, изложенных в данной работе, позволит определить ряд направлений для будущих исследований по оценке возможных путей проектирования новых мобильных сетей, либо усовершенствования имеющихся.

**Ключевые слова**—Сетевое сегментирование, пятое поколение мобильной связи 5G, ретрансляционный узел RN, имитационное моделирование Anylogic, трафик данных, связь межмашинного типа M2M, программно-определяемая сеть SDN, виртуализация сетевых функций NFV, интеллектуальные системы, качество предоставления услуг QoS.

## Информация о статье

УДК 004.72

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 09.06.20, принята к печати 15.06.20.

**Ссылка для цитирования:** Гребенщикова А. А., Елагин В. С. Моделирование трафика данных для оценки слайсинга в умной системе 5G на восходящей линии связи // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Том 8. № 2. С. 44–54. DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-2-44-54.

## DATA TRAFFIC BASED ON SLICING IN A 5G SMART UPLINK SYSTEM

**A. Grebenshchikova, V. Elagin\***

The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation  
\*Corresponding author: elagin.vas@gmail.com

**Abstract**—The paper considers the data traffic based on slicing in a 5g mobile network uplink system. Slicing is a promising technology for the fifth generation of networks that provides optimal quality of QoS services for each specific user or group of users. Data traffic that is processed by cellular networks increases every year. Therefore, we should consider all set of traffic from VoIP to M2M devices. For example, smart devices in the healthcare system transmit big data that is sensitive to latency, but also a video stream that requires minimal latency in certain cases. The paper focuses on the successful processing of traffic through a relay node, donor microstates, and a base station. All traffic is divided into three levels of QoS segmentation: sensitive, less sensitive, and low-sensitivity, using the AnyLogic simulation program.

For fifth-generation 5G networks, achieving minimum latency and maximum data transfer speed within QoS is an important implementation condition. Therefore, in this paper, using simulation modeling, the main and possible results of each segment in the new generation of mobile networks are obtained.

The use of a relay node in conjunction with micro-stations can ensure optimal station load and successful data processing. Also, the solutions outlined in this paper will allow you to identify a number of areas for future research to assess possible ways to design new mobile networks, or improve existing ones.

**Keywords**—Slicing, 5G, relay node, Anylogic, data traffic, M2M, SDN, NFV, smart systems, QoS.

### Article info

Article in Russian.

Received 09.06.20, accepted 15.06.20.

**For citation:** Grebenshchikova A., Elagin V.: Data Traffic Based on Slicing in a 5G Smart Uplink System // Telecom IT. 2020. Vol. 8. Iss. 2. pp. 44–54 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-2-44-54.

### Введение

К 2025 году в развитии сетей нового поколения прогнозируется стремительное увеличение нагрузки на существующие системы. Например, с каждым годом растёт популярность на устройства типа M2M, взаимодействующих друг с другом и составляющих структуру интеллектуальных городов. В рамках определённой интеллектуальной системы взаимодействие происходит между транспортными

средствами V2V/V2I, а также между сенсорами (датчиками) и определённой инфраструктурой.

Сетевое сегментирование является базовой технологией конвергенции сетевых услуг и помогает достичь не только оптимального использования радиоресурсов и ресурсов всей сети, но и предоставить каждому пользователю индивидуальные предложения. Согласно стандартизации сотовой сети, каждому устройству предоставляется наименьший ресурс для передачи данных по сети – блок физических ресурсов PRB. Один блок PRB способен передавать несколько сотен байт [1].

Определённый набор сетевых функций и модулей распределения ресурсов, изолированных от других сегментов сети, представляет собой сквозной сетевой сегмент. Например, слайс усовершенствованной подвижной широкополосной связи (*the enhanced mobile broadband, eMBB*) требует большой полосы пропускания для поддержки услуг с высокой скоростью передачи данных, таких как потоковое видео высокой четкости и дополненная реальность [2].

Ретрансляционные узлы подразделяются на фиксированные и мобильные, в зависимости от инфраструктуры. В данной работе рассматриваются фиксированные узлы, которые в основном используются для улучшения покрытия для пользовательского оборудования UE (*User Equipment*), которое удалено от донорской макростанции eNB (DeNB). Таким образом, ретрансляционные фиксированные узлы могут расширять зону охвата соты для пользователей вне зоны покрытия обычных базовых станций. Также, используемые в узлах устройства, содержат сравнительно небольшие антенны по сравнению с антеннами на базовых станциях.

Совместно с микростанциями, релейный узел на базе слайсинга должен обеспечить снижение нагрузки на базовую станцию, увеличить зону покрытия вне городской среды, а также повысить эффективность использования ресурсов сети и обеспечить индивидуальные требования по QoS, при применении сегментирования в сотовых сетях связи.

### **Модель сегментирования сети на базе SDN/NFV**

Представим, что при функционировании определённой умной системы (например, системы здравоохранения), интеллектуальные устройства имеют различные приоритеты очередей, которые зависят от приоритета пакетов, согласно принципу планирования Priority Queue [3]. Пакеты с самым высоким приоритетом передаются на выходной порт в первую очередь, а затем – пакеты с более низким приоритетом. Возможным недостатком этого механизма планирования является то, что трафик более низкого приоритета может не обслуживаться в течение длительного времени, пока присутствуют трафики с более высоким приоритетом. Следовательно, у трафиков с низким приоритетом могут возникнуть проблемы с обработкой, что приведет к отказу от значительного числа пакетов. Исходя из этого, в работе рассматривается среда интеллектуальных систем с тремя уровнями приоритетов: (высокий (Слайс № 1), средний (Слайс № 2) и низкий (Слайс № 3)), в соответствии со следующими типами данных трафика:

- чувствительные данные с высоким приоритетом ( $\approx 1$  мс);
- менее чувствительные данные со средним приоритетом ( $\approx 5$  мс);
- данные с низкой чувствительностью и низким приоритетом ( $\approx 10$  мс).

Сети 5G должны справляться с широким спектром вариантов использования услуг и должны соответствовать строгим требованиям к производительности. Согласно [4], уровень служебного интерфейса предоставляет либо бизнес-услуги, либо услуги для конечного пользователя, в зависимости от требований. Услуги могут предоставляться сетевым оператором или третьими лицами.

Сетевой оператор использует так называемый «план» для создания сетевого сегмента, тем самым обеспечивая необходимый набор сетевых характеристик для успешной работы. Следует отметить тот факт, что один слайс может использоваться несколькими операторами. Подводя краткий итог, «владелец» слайса создает желаемый вариант его использования (например, IoT) и является триггером для построения сетевого сегмента. Такой вариант использования может быть основан на стандартных шаблонах эталонных сегментов сети, которые описывают существующее бизнес-приложение [4].

На рис. 1 приведена упрощённая модель сегментированной сети на базе SDN/NFV, которая затрагивает пользовательскую плоскость восходящей линии связи и контрольную плоскость. Предполагается, что каждый слайс сможет иметь своё пограничное облако Edge Cloud, которое соединено с базовым облаком Core Cloud и имеет выход к серверам.

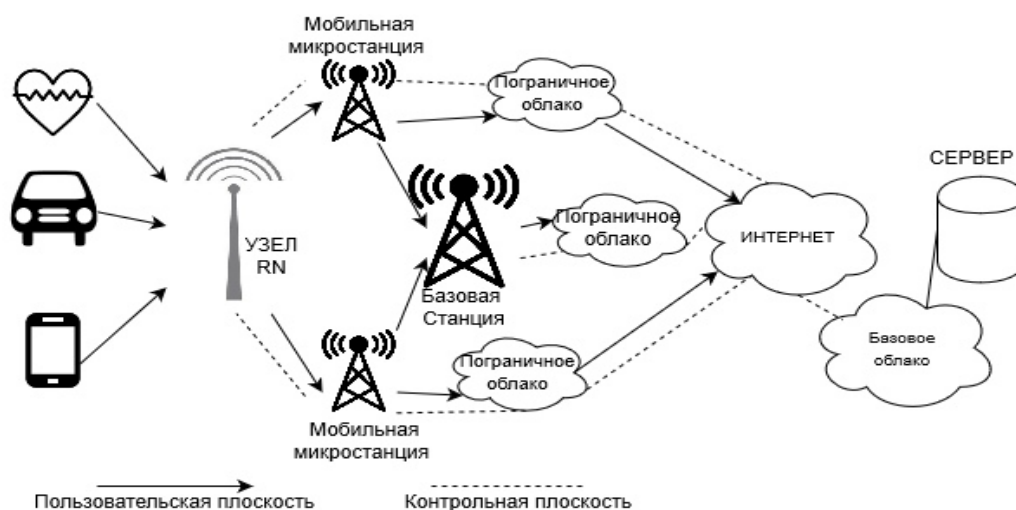


Рис. 1. Система сегментирования сети

Традиционная централизованная архитектура базовой сети (*Core Network*) превратилась в базовое облако, которое отделяет плоскость управления от плоскости пользователя, чтобы уменьшить контроль сигнализации и задержки передачи данных. Базовое облако обеспечивает некоторые важные функции плоскости управления, включая управление мобильностью, управление виртуализированными ресурсами, управление помехами и так далее. Серверы и другие функции сети радиодоступа (*Radio Access Network*) расположены в пограничном облаке, которое представляет собой централизованный пул виртуализированных функций. Пограничное облако в основном выполняет функции пересылки данных и плоскости управления, такие как обработка основной полосы частот. Функции пользовательской плоскости в шлюзе пакетов/услуг (*packet/service gateway*) также перемещены в пограничное облако,

чтобы предоставлять услуги с малой задержкой и снижать нагрузку на транспортировку. Платформы мобильных граничных вычислений (*Mobile Edge Computing, MEC*), а также сервера пересылки данных и хранения контента, развернутые в пограничном облаке, могут совместно и эффективно выполнять хранение, вычисления и передачу массивных данных в режиме реального времени. Соответствующие виртуальные машины будут распределены в основном облаке и пограничном облаке для выполнения функций виртуализированной сети. Используя SDN, сети пятого поколения могут соединять виртуальные машины, распределенные в основном облаке и пограничном облаке, создавая соответствие между ними. Стоит отметить, что контроллеры SDN могут централизованно управлять сегментированием сети [5].

### Модель сегментирования данных

На базе предыдущей модели, стоит рассмотреть трафик данных в восходящей линии связи пользовательской плоскости более детально. В данной работе три типа трафика данных обрабатываются в форме сегментирования по мобильной сети 5G на восходящей линии связи между релейным узлом RN и макросотой eNB. Устройства и узел RN осуществляют связь через интерфейс Uu для отправки и получения данных. Между ретрансляционным узлом и станциями используется интерфейс Un для запуска канала связи.

Рассмотрим подробнее одну соту беспроводной сети радиуса  $R$ , для которой на рис. 2 представлена система сегментирования трафика данных.

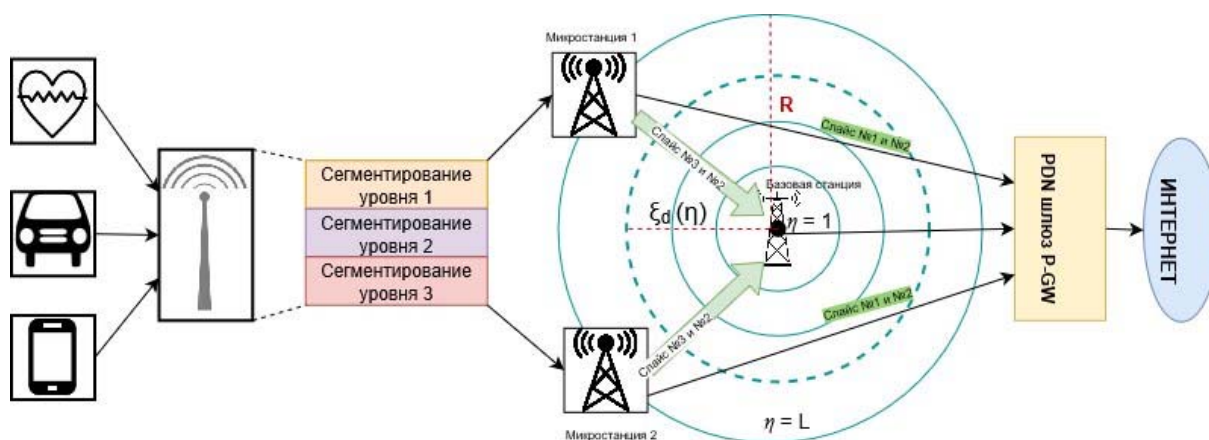


Рис. 2. Система сегментирования трафика данных

В условиях, когда устройства находятся за пределами макросоты, соединение может быть потеряно, а при установленном ретрансляционном узле и микро-станциях данные будут отправлены. Трафик характеризуется такими параметрами как: интенсивность поступления пакетов (пакетов/с), средняя длина пакета (бит, байт) и интенсивность трафика (бит/с). По дальности расположения от макросоты, определяются пятнадцать уровней качества канала CQI (*channel quality indicator*). Чем меньше уровень, тем ближе устройство и, следовательно, выше скорость передачи данных.

На границе макросоты располагаются микро-соты. Находясь на одном уровне качества канала CQI, все микро-соты можно объединить в логическую группу,



чтобы определить одинаковую скорость передачи данных для каждого устройства, расположенного на данном расстоянии от макросоты. Предполагается, что ретрансляционный узел попадает в зоны микросот и, прежде чем, отправить поток данных, распределяет пакеты трафика по принципу приоритетных очередей, что является более эффективным методом распределения, относительно других. В свою очередь, трафик данных делится на три уровня по показателям качества обслуживания Qos. Получив данные, микросота начинает обрабатывать пакеты 1 уровня, т. к. данный трафик более чувствителен к задержке, а также, по возможности заполнения очереди и свободных ресурсов трафик второго уровня. В случае, если микросота не владеет достаточными ресурсами для обработки данных второго уровня, то данный трафик посылается на базовую станцию. Трафик с третьим приоритетом является менее требовательным к задержке и посылается микросотой напрямую на базовую станцию со скоростью, определяемой уровнем качества канала CQI [6].

### Имитационное моделирование

Параметры модели приведены в таблице 1. Каждый источник имеет такие параметры, как: время между прибытиями (экспоненциальное распределение, равномерное, Пуассона и т. д.) или количество пакетов в секунду, средняя длина одного пакета, количество устройств и начальное время отправки. Данные для определения количества пакетов, отправляемых с каждого ресурса, делятся по типам трафика. Согласно отчётам 3GPP по сетям 5G и моделям трафика, были сгенерированы источники трафика FTP, VoIP, видео и сенсоры [7]. Последние делятся на регулярную отчётность (*Time Driven*) и зависящую от события (*Event Driven*). В данном случае критически важные пакеты строго относятся к чувствительному трафику, не учитывая, что некоторые данные от транспортных средств в среде V2X/V2I определяют сквозную задержку E2E до 5 мс [8]. Регулярная отчётность также определена только в третьем виде трафика данных, не учитывая, что для некоторых устройств наименьшая задержка также будет важна. Три оставшихся типа трафика распределены между сегментами, как показано на рис. 3 так, что на первые два слайса подаётся приблизительно одинаковая нагрузка, а на третьем сегменте данный показатель значительно меньше.

Таблица 1.

Параметры модели

Количество макростанций	1
Количество микростанций	2
Время моделирования	10с
Тип ретрансляционного узла	Фиксированный
Сценарий развёртывания	Пригород/сельская местность
Количество устройств	10 VoIP, 10 FTP, 10 Видео, 30 сенсоров(2/3 Time, 1/3 Event)
Размер пакетов	40 байт VoIP; Парето (усечённое): $\alpha = 1.2$ , $k = 20$ байт, $m = 250$ байт для видео; Логнормальное (усечённое): $\sigma = 0.35$ , $\mu = 14.45$ для FTP; 200 байт для Time и Event

Для изображения разных слайсов и разнообразных уровней приоритета трафика – имитированы, так называемые в программе Anylogic, «очереди». В каждом из трёх сегментов установлены требования к максимально возможной задержке, чтобы отдельно взятый пакет обозначил свою принадлежность к данному типу трафика при выходе из определённого потока  $s$ . При прохождении основного буфера, вычисляется время между прибытиями данных  $T_{S \text{ сред.}}$ .

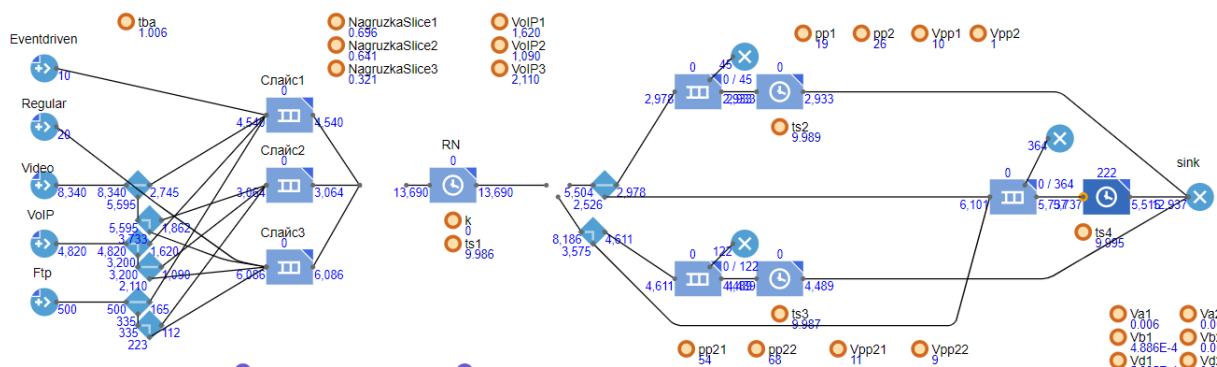


Рис. 3. Имитационная модель

Задержка в ретрансляционном узле RN является переменной величиной для каждого сегмента. В зависимости от принадлежности пакетов к определённому слайсу, время обслуживания будет меньше для слайса с наивысшим приоритетом [7]. Задержки на станциях рассчитываются согласно рекомендованным пропускным способностям каждого сегмента и размерам пакетов отдельного источника [4]. Размеры буферов микростанций приблизительно идентичны, а у макростанции данный показатель вдвое больше. Находясь в ожидании, пакеты могут привесить максимальное время задержки своего сегмента и будут вынуждены прекратить свою передачу по тайм-ауту. На данном этапе вычисляется среднее время обслуживания для всего потока  $S_{S \text{ сред.}}$ , т. е. складывается время задержки на узле и на станции [9]. После, в конечном блоке sink подсчитывается нагрузка  $N_s$  для каждого из сегмента  $s$  по формуле:

$$N_s = \frac{S_{S \text{ сред.}}}{T_{S \text{ сред.}}}, \text{ где } s = 1, 2, 3.$$

После моделирования для каждого сегмента были рассмотрены такие показатели, как среднее время между прибытиями пакетов, среднее время обслуживания и среднее время задержки. Функции распределения показателей приведены на рис. 4, см. ниже (где каждому из сегментов присвоен свой номер, соответственно), а полученные в результате моделирования данные, представлены в таблице 2 (см. ниже).

По рис. 4 видно, что при зависимости от поступающей нагрузки на каждый отдельно взятый сегмент, время между прибытиями пакетов будет значительно меняться. Чем меньше нагрузка, тем реже будут поступать пакеты, что показывает распределение третьего сегмента. Но при этом, при концентрировании большего процента абонентов на одном слайсе, время между поступлениями данных от источников будет также зависеть и от нагрузки отдельного вида трафика.

Время обслуживания зависит от принадлежности трафика к определённому сегменту: тем выше приоритет, тем меньше времени будет затрачиваться на обработку пакетов. Время задержки достаточно быстро растёт до средних значений для первого и второго слайса и постепенно увеличивается для третьего слайса в зависимости от нагрузки. Получается, что даже при достаточно большой загруженности, первые два сегмента успевают обрабатывать поступающие пакеты из-за небольшого времени обслуживания, а третий сегмент при сравнительно меньшей нагрузке задерживает пакеты дольше обычного, т. к. данные обрабатываются заметно медленнее, а очередь в буфере постепенно увеличивается.

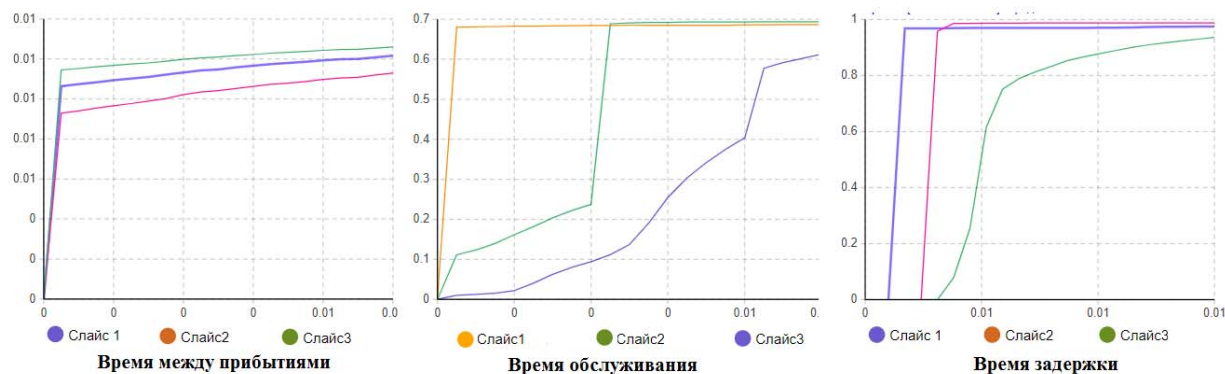


Рис. 4. Функции распределения сегментов

Таблица 2.

#### Результаты моделирования

	Сегмент 1	Сегмент 2	Сегмент 3
Нагрузка	0,7	0,6	0,3
Отправлено пакетов	4 540	3 064	6 086
Потеряно пакетов	73	95	363
Время между пакетами, мс	2	3	2
Время обслуживания, мс	0,8	3	5
Время задержки, мс	1	4	15
Коэффициент потерь, %	1	3	5

Полученная модель позволяет определить средние значения показателей, близкие к соответствующим требованиям QoS. Главная задача – это уменьшение задержки пакетов в ретрансляционном узле. В данной работе выбраны значения задержки близкие к минимально возможной задержке на каждом из сегментов, из расчёта, что помимо агрегирования данных, в данном узле возможно применение распределение ресурсов RAS, для уменьшения мультиплексирования [8].

Для оценки отдельных потоков данных в разных сегментах был рассмотрен протокол VoIP, полученные результаты для которого приведены в таблице 3 (см. ниже).

По результатам моделирования можно сделать вывод, что при заданной нагрузке оптимально использовать второй или первый сегмент, поскольку VoIP



выдерживает задержку до 10мс, а коэффициент потери пакетов до 3 % [8]. В результате можно сделать вывод, что пользователи на первом и втором сегменте получают более качественную сессию, чем на третьем, где при коэффициенте 7 % абонент почувствует значительные пробелы в разговоре.

Таблица 3.

Результаты моделирования для VoIP

	Сегмент 1	Сегмент 2	Сегмент 3
Отправлено пакетов	1 620	1 090	2 010
Потеряно пакетов	21	11	148
Время задержки, мс	0,5	3	5
Коэффициент потерь, %	1,2	1	7

### Заключение

Слайсинг сети можно реализовать после виртуализации и переопределения программного обеспечения архитектуры системы. В данной работе смоделирована система интеллектуальной среды для оценки сегментирования сети по Qos 5G. Основной упор сделан на передачу трёх типов трафика между ретрансляционным узлом и микростанциями, в зависимости от задержки в восходящей линии связи. Стоит учитывать, что в данной работе рассматривается пример и оценка слайсинга с точки зрения приоритетов между сегментами. Если представлять систему как вертикальные сегменты, где во главе стоят приложения, которые поддерживают определённый набор сервисов, то можно предположить, что каждая отдельная ячейка бизнес-уровня может устанавливать свои потребности для обеспечения качественного обслуживания. Не смотря на то, что современные сети, такие как LTE-A, имеют достаточно широкий спектр возможностей, именно благодаря новым сетям 5G, можно осуществить сегментирование сети не только на логическом уровне, но также и на уровне радиоресурсов и виртуальных ресурсов. Благодаря ретрансляционному узлу возможно агрегирование данных от умных устройств, например межмашинного типа M2M, которые отправляют пакеты различного размера и разного приоритета. Прежде чем получить данные, узел обменивается информацией с базовой станцией или микростанцией, чтобы выделить определённое количество ресурсов. Поскольку самой наименьшей частицей, которая передаёт данные в сетях 5G, является блок ресурсов PRB, релейный узел помогает увеличить пропускную способность и отправить в определённом блоке наибольшее количество битов. Помимо этого, узел помогает расширить охват и принять данные от устройств, расположенных за пределами соты. Микростанции, в данном случае, помогают достичь обработки пакетов, которые имеют наивысший приоритет и снизить нагрузку на макростанцию.

По полученным результатам можно сделать вывод, что трафик VoIP будет обрабатываться наилучшим образом только в первом или втором сегменте (слайсе). В третьем слайсе будет наблюдаться наибольший коэффициент потери пакетов, что может значительно сказаться на качестве речи. Что касается сенсорных сетей или датчиков, установленных в умном доме, то не каждому

из них требуется низкая задержка, поэтому для них будет более характерно рассчитывать на третьем уровне. При этом, если рассматривать умную транспортную систему, то для связи машин V2V или передачи данных от датчиков, установленных на дорожных инфраструктурах (контролирующих заторы на дорогах), низкая задержка так же будет актуальна, а иногда даже и критична. Поэтому, применение и постепенное внедрение слайсинга способно удовлетворить запросы каждого пользователя и сделать системную пирамиду сетей более совершенной и интеллектуальной.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию распределения трафика внутри каждого отдельно взятого слайса, путём оценок, ориентированных на QoE и на максимальные возможные нагрузки для каждого сегмента в отдельности. Также заслуживает рассмотрения прямое участие программно-определяемых сетей SDN с виртуализацией сетевых функций NFV, благодаря чему возможно успешное сегментирование сети, что является основой для построения умных систем.

### Литература

1. Dighriri M., Alfoudi A. S. D., Lee G. M., Baker T. Data Traffic Model in Machine to Machine Communications over 5G Network Slicing [Electronic resource] // 2016 9th International Conference on Developments in eSystems Engineering. URL: [https://www.researchgate.net/publication/317071782\\_Data\\_Traffic\\_Model\\_in\\_Machine\\_to\\_Machine\\_Communications\\_over\\_5G\\_Network\\_Slicing](https://www.researchgate.net/publication/317071782_Data_Traffic_Model_in_Machine_to_Machine_Communications_over_5G_Network_Slicing) (date of treatment: 10.04.2020).
2. Madyan A., Nguyen H., Mehdi B., Kumar A., Seon C. eMBB-URLLC Resource Slicing: A Risk-Sensitive Approach [Electronic resource] // Computer Science – Networking and Internet Architecture, February 2019. URL: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019arXiv190201648A/abstract> (date of treatment: 12.05.2020).
3. Xiaolong J., Geyong M. Modelling and analysis of priority queueing systems with multi-class self-similar network traffic: a novel and efficient queue-decomposition approach [Electronic resource] // IEEE Transactions on Communications, May 2009. URL: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1109/TCOMM.2009.05.070376> (date of treatment: 6.05.2020).
4. Sebastian Thalanany (US Cellular) Peter Hedman (Ericsson) Description of Network Slicing Concept // NGMN 5G Project Requirements & Architecture –Work Stream E2E Architecture Version 1.0.8, 14th September 2016. pp. 4–6.
5. Rost P. et al.: Mobile Network Architecture Evolution toward 5G // IEEE Commun. Mag. Vol. 54. No. 5. May 2016. pp. 84–91.
6. Гудкова И. А., Шоргин С. Я. Вероятностная модель совместного использования ресурсов беспроводной сети с адаптивным управлением мощностью // Информатика и ее применения. 2017. Том 11. Вып. 3. С. 90–98. DOI: 10.14357/19922264170310.
7. Navarro-Ortiz J., Romero-Diaz P., Sendra S., Ameigeiras P., Ramos-Munoz J., Lopez-Soler J. A Survey on 5G Usage Scenarios and Traffic Models [Electronic resource] // IEEE Communications Surveys & Tutorials 2020. URL: [https://www.researchgate.net/publication/339084816\\_A\\_Survey\\_on\\_5G\\_Usage\\_Scenarios\\_and\\_Traffic\\_Models](https://www.researchgate.net/publication/339084816_A_Survey_on_5G_Usage_Scenarios_and_Traffic_Models) (date of treatment: 20.05.2020).
8. Dighriri M., Lee G. M., Baker T. Big Data Environment for Smart Healthcare Applications Over 5G Mobile Network [Electronic resource] // Applications of Big Data Analytics Chapter 2018. URL: [https://www.researchgate.net/publication/324942935\\_Big\\_Data\\_Environment\\_for\\_Smart\\_Healthcare\\_Applications\\_Over\\_5G\\_Mobile\\_Network](https://www.researchgate.net/publication/324942935_Big_Data_Environment_for_Smart_Healthcare_Applications_Over_5G_Mobile_Network) (date of treatment: 10.04.2020).
9. Парамонов А. И., Маколкина М. А., Киричѐк Р. В., Выборнова А. И. Математические модели в сетях связи [Электронный ресурс] // Раздел: Математическое моделирование : учебное пособие, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург 2017. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01009925726> (дата посещения: 12.04.2020).

## References

1. Dighriri M., Alfoudi A. S. D., Lee G. M., Baker T. Data Traffic Model in Machine to Machine Communications over 5G Network Slicing [Electronic resource] // 2016 9th International Conference on Developments in eSystems Engineering. URL: [https://www.researchgate.net/publication/317071782\\_Data\\_Traffic\\_Model\\_in\\_Machine\\_to\\_Machine\\_Communications\\_over\\_5G\\_Network\\_Slicing](https://www.researchgate.net/publication/317071782_Data_Traffic_Model_in_Machine_to_Machine_Communications_over_5G_Network_Slicing) (date of treatment: 10.04.2020).
2. Madyan A., Nguyen H., Mehdi B., Kumar A., Seon C. eMBB-URLLC Resource Slicing: A Risk-Sensitive Approach [Electronic resource] // Computer Science – Networking and Internet Architecture, February 2019. URL: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019arXiv190201648A/abstract> (date of treatment: 12.05.2020).
3. Xiaolong J., Geyong M. Modelling and analysis of priority queueing systems with multi-class self-similar network traffic: a novel and efficient queue-decomposition approach [Electronic resource] // IEEE Transactions on Communications, May 2009. URL: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1109/TCOMM.2009.05.070376> (date of treatment: 6.05.2020).
4. Sebastian Thalanany (US Cellular) Peter Hedman (Ericsson) Description of Network Slicing Concept // NGMN 5G Project Requirements & Architecture –Work Stream E2E Architecture Version 1.0.8, 14th September 2016. pp. 4–6.
5. Rost P. et al.: Mobile Network Architecture Evolution toward 5G // IEEE Commun. Mag. Vol. 54. No. 5. May 2016. pp. 84–91.
6. Gudkova, I. A., Shorgin, S. Ya., Probability model for analyzing licensed shared access with adaptive power control in a wireless network // Informatics and applications. 2017. Vol. 11. Iss. 3. pp. 90–98. DOI: 10.14357/19922264170310
7. Navarro-Ortiz J., Romero-Diaz P., Sendra S., Ameigeiras P., Ramos-Munoz J., Lopez-Soler J. A Survey on 5G Usage Scenarios and Traffic Models [Electronic resource] // IEEE Communications Surveys & Tutorials 2020. URL [https://www.researchgate.net/publication/339084816\\_A\\_Survey\\_on\\_5G\\_Usage\\_Scenarios\\_and\\_Traffic\\_Models](https://www.researchgate.net/publication/339084816_A_Survey_on_5G_Usage_Scenarios_and_Traffic_Models) (date of treatment: 20.05.2020).
8. Dighriri M., Lee G. M., Baker T. Big Data Environment for Smart Healthcare Applications Over 5G Mobile Network [Electronic resource] // Applications of Big Data Analytics Chapter 2018. URL: [https://www.researchgate.net/publication/324942935\\_Big\\_Data\\_Environment\\_for\\_Smart\\_Healthcare\\_Applications\\_Over\\_5G\\_Mobile\\_Network](https://www.researchgate.net/publication/324942935_Big_Data_Environment_for_Smart_Healthcare_Applications_Over_5G_Mobile_Network) (date of treatment: 10.04.2020).
9. Paramonov A. I., Makolkina M. A., Kirichek R. V., Vybornova A. I. Matematicheskiye modeli v setyakh svyazi [Elektronnyy resurs] // Razdel: Matematicheskoye modelirovaniye : uchebnoye posobiye. Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet telekommunikatsiy im. prof. M. A. Bonch-Bruyevicha. Sankt-Peterburg 2017. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01009925726> (date of treatment: 12.04.2020).

**Гребенщикова Александра Андреевна** – студентка Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [sgreben1@mail.ru](mailto:sgreben1@mail.ru)

**Grebenshchikova Alexandra** – student, The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications, [sgreben1@mail.ru](mailto:sgreben1@mail.ru)

**Елагин Василий Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [elagin.vas@gmail.com](mailto:elagin.vas@gmail.com)

**Elagin Vasilij** – Candidate of Engineering Sciences, assistant professor, The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications, [elagin.vas@gmail.com](mailto:elagin.vas@gmail.com)