

Научная статья

УДК 004.735

<https://doi.org/10.31854/1813-324X-2024-10-3-59-65>

Исследование средней задержки в сетях связи, предоставляющих телемедицинские услуги

✉ Мария Александровна Маколкина, makolkina@sut.ru

✉ Мария Владимировна Шарлаева ✉, masha110.97@mail.ru

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

Аннотация

Актуальность. По данным исследований консалтинговой компании *Global Market Insights*, объем рынка телемедицины на территории Российской Федерации к 2025 году оценивается в 96 млрд. руб., что более чем в 3 раза превышает показатели 2023 года. Изменения в области систем и сетей телекоммуникаций напрямую влияют на пересмотр архитектуры сети и расширение перечня предоставляемых услуг. Так, появление сетей связи пятого поколения является вынужденной мерой для обеспечения высокой плотности устройств (1 млн. на 1 кв. м) и величины круговой задержки 1 мс. Сети связи 2030 позволят расширить услуги первого набора телемедицинских услуг за счет голографических аватаров, услуг дополненной реальности, Тактильного Интернета.

Цель. Определение зависимости задержки от интенсивности трафика и длительности обслуживания пакетов для первого набора телемедицинских услуг в сетях связи пятого и последующих поколений. Анализ способов оценки качества предоставления услуг телемедицины.

Методы. В работе использованы методы системного анализа, кластерного анализа и теории телетрафика. Выполнено математическое моделирование сети связи.

Решение. Представлены характеристики медицинских данных, которыми оперирует телемедицинская сеть. Сформулированы показатели качества телемедицинских услуг. Разработана модель сети связи пятого и последующих поколений на основе качества предоставления услуг и кластеризации территории. Получены результаты расчетов для пиковых скоростей 5G и 4G, что позволяет определить зависимость задержки от коэффициента вариации длительности обслуживания и от коэффициента вариации интервала между заявками.

Новизна. Элементами научной новизны обладает идея создания и расчета модели сети для предоставления первого набора телемедицинских услуг в сетях связи пятого и последующих поколений, а также использование термина «*Quality of Experience*» для оценки качества в сетях связи, предоставляющих услуги телемедицины.

Значимость. Расположение центров обработки данных в областных или региональных центрах способно обеспечить повсеместное предоставление первого набора телемедицинских услуг в сетях связи с ультрамалыми задержками. За счет формирования цифровых кластеров повышается доступность обращений за медицинской помощью, что позволяет частично сократить цифровой разрыв без необходимости расширения числа медицинских организаций и увеличения численности кадров в удаленных населенных пунктах. Полученные в работе результаты могут быть использованы для определения характеристик оборудования, используемого для предоставления услуг реального времени в сетях связи пятого и последующих поколений.

Ключевые слова: показатели качества телемедицинских услуг, задержка, модель GI/G/1, интенсивность трафика, коэффициент вариации интервала между пакетами, коэффициент вариации времени обслуживания

Ссылка для цитирования: Маколкина М.А., Шарлаева М.В. Исследование средней задержки в сетях связи, предоставляющих телемедицинские услуги // Труды учебных заведений связи. 2024. Т. 10. № 3. С. 59–65. DOI:10.31854/1813-324X-2024-10-3-59-65. EDN:DRRDAM

Original research

<https://doi.org/10.31854/1813-324X-2024-10-3-59-65>

Research of Average Delay in Telecommunication Networks Providing Telemedicine Services

✉ **Maria A. Makolkina**, makolkina@sut.ru

✉ **Maria V. Sharlaeva** ✉, masha110.97@mail.ru

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

Annotation

Relevance. According to the research of the consulting company Global Market Insights the volume of the market of telemedicine in the territory of the Russian Federation by 2025 is estimated at 96 billion. Rub. which is more than 3 times higher than the figures of 2023. Changes in telecommunications systems and networks have a direct impact on redesigning the network architecture and expanding the range of services provided. Thus, the emergence of fifth-generation communication networks is a necessary measure to ensure a high density of devices (1 million. per 1 sq. m) and the virtues of circular delay 1 ms. Communication networks 2030 will expand the services of the first set of telemedicine services through holographic avatars, augmented reality services, Tactile Internet.

Purpose. Determination of the dependence of the delay on the intensity of traffic and the duration of packet servicing for the first set of telemedicine services in the communications networks of the fifth and subsequent generations. Analysis of ways to assess the quality of telemedicine services.

Methods. The work uses methods of system analysis, cluster analysis and the theory of teletraffic. Mathematical modeling of the communication network is carried out.

Solution. The characteristics of medical data used by telemedicine network are presented. Quality indicators of telemedicine services have been formulated. The model of communication network of the fifth and subsequent generations based on the quality of service provision and clustering of the territory was developed. The results of calculations for peak speeds 5G and 4G are obtained, which makes it possible to determine the dependence of delay on the coefficient of variation of service duration and on the coefficient of variation of interval between applications.

Novelty. The idea of creating and calculating a network model for the provision of the first set of telemedicine services in fifth- and succeeding-generation networks has elements of scientific novelty, as well as the use of the term «Quality of Experience» for quality assessment in communication networks providing telemedicine services.

Significance (theoretical). The location of data-processing centers in regional or regional centers could provide the first set of telemedicine services on ultra-low latency networks worldwide. The creation of digital clusters improves access to health care, partially reducing the digital divide without the need to expand the number of health organizations and increase the number of staff in remote locations.

Relevance (practical). The results obtained in the work can be used to determine the characteristics of equipment used to provide real-time services in the communications networks of the fifth and subsequent generations.

Keywords: quality indicators of telemedicine services, delay, GI/G/1 model, traffic intensity, variation coefficient of intervals between packets, variation coefficient of service time

For citation: Makolkina M.A., Sharlaeva M.V. Research of Average Delay in Telecommunication Networks Providing Telemedicine Services. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2024;10(3):59–65. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2024-10-3-59-65. EDN:DRRDAM

Введение

Исследование и стандартизация сетей связи пятого и последующих поколений доказывают значительное расширение предоставляемых услуг за счет обеспечения пиковой скорости свыше 1 Тбит/с, минимизации задержки в передаче сигнала до уровня

менее 1 мс, сверхвысоконадежности (коэффициент готовности – 0,999999), недоступности сети не более 4 мс в сутки [1]. Одним из направлений являются медицинские сети. Сфера медицины попадает в различные программы цифровизации федерального масштаба еще с 2011 г. [2]. Например, проекты

«Электронное здравоохранение», «Первичная медико-санитарная помощь», «Цифровой контур здравоохранения» и т. д. Основным приоритетом является повышение доступности получения медицинской помощи. Так как медицина – очень консервативная отрасль, телемедицине удалось стать частью врачебной практики только лишь во время пандемии Covid-19.

Рынок продуктов телемедицины на территории Российской Федерации до начала 2018 г. предусматривал лишь проведение телеконсультации формата «врач–врач» из-за отсутствия законодательной базы. На текущий момент также допускается предоставление телемедицинских услуг формата «врач–пациент». Благодаря национальному проекту «Здравоохранение», телемедицина включена в поликлиническое звено, и возможность получения телеконсультаций имеется у всех пациентов, проходящих лечение в амбулаторных условиях [3]. Частные медицинские организации также предлагают телеконсультации в разных направлениях: телепатология, телехирургия, телерентгенология, теледерматология, телепсихиатрия и др.

В связи с тем, что услуги телемедицины развиваются и становятся популярными, предлагают возможность следить за своим здоровьем, не теряя время на дорогу до медицинского учреждения, а также расширяют возможности для жителей удаленных территорий, вопрос исследования показателей качества предоставления услуг является важным и актуальным.

Показатели качества телемедицинских услуг

Все показатели качества предоставления услуг телемедицины можно разделить на 2 группы: объективные и субъективные. Объективные показатели характеризуют качество обслуживания (QoS, аббр. от англ. Quality of Service) и включают в себя следующие факторы: передачу информации, функционирование приложений, услуги [4]. Примеры наиболее часто используемых показателей представлены в таблице 1 [5–7].

ТАБЛИЦА 1. Показатели QoS

TABLE 1. Indicators of QoS

Группа факторов	Показатели качества
Передача данных	Задержка, скорость передачи данных, джиттер, потери пакетов, полоса пропускания, надежность
Функционирование приложений	Параметры кодека, разрешение видеоданных источника, скорость кодирования, схема маскировки ошибок, схема нивелирования потерь
Услуги	Время переключения между каналами, возможность выбора контента, время отклика

Субъективные показатели представляют компоненты восприятия услуги человеком. Согласно Рекомендации МСЭ-T P.10/G.100, качество восприятия – это общая приемлемость работы приложения или предоставления услуги, которая субъективно воспринимается конечным пользователем [8]. На текущий момент активно проводятся исследования по выявлению объективных показателей восприятия услуг. Объективные и субъективные показатели в сумме дают понимание термина QoE (аббр. от англ. Quality of Experience).

Для проведения субъективной оценки предоставления телемедицинских услуг разработана схема, учитывающая 4 направления: «Доступность», «Эффективность», «Безопасность» и «Ответственность» с позиций всех участников процесса дистанционного взаимодействия, а именно пациента или его законного представителя, медицинского консультанта, оператора телемедицинской информационной системы, медицинской организации, системы здравоохранения [9]. В ней учтены интересы каждого участника процесса телемедицинского консультирования в формате «врач–пациент». Предполагается, что такой подход можно использовать как систематизированную методологию для оценки деятельности медицинских организаций, оказывающих телемедицинские услуги пациентам.

Характеристики телемедицинских услуг

Первый набор услуг телемедицины включает в себя телеконсультации, телемониторинг, телеобучение. Содержание перечисленных видов должно быть понятно, исходя из названий. Телеконсультации предназначены для выдачи рекомендаций и сбора анамнеза. Телемониторинг выполняет функцию контроля за показателями здоровья посредством использования специальных датчиков. Телеобучение предназначено главным образом для поддержания и повышения уровня знаний медицинского персонала. Во всех случаях услуги позволяют оказывать медицинскую помощь населению вне зависимости от территориального расположения.

Телемедицинские услуги оперируют различными типами данных: медицинская запись (текстовые или числовые данные, отражающие сведения мониторинга, ФИО, диагноз, назначенное лечение), данные (результаты анализов, отчеты и другие электронные сведения), черно-белые или цветные статические 2D-изображения, трехмерные изображения, потоковая передача аудиоданных или видеоизображения.

Каждый вид характеризуется объемом передаваемых данных и показателями качества, которые следует обеспечить (таблица 2). На текущий момент одним из основных параметров, характеризу-

ющих качество предоставления телемедицинской услуги, является задержка. Для услуг реального времени, где выполняется передача видеопотоков, т. е. для телеконсультаций и телеобучения, должна обеспечиваться задержка в 10 мс [4].

На горизонте планирования сетей связи 2030, в которых плотность устройств может достигать 1 млн. устройств на 1 км², задержки в передаче сигнала составят менее 1 мс, коэффициент готовности – 0,999999, недоступность сети не более 4 мс в сутки, представляется возможным расширение телемедицинских услуг за счет использования Тактильного Интернета. В частности, в вопросах удаленного проведения хирургических операций и других неинвазивных или инвазивных процедур. В таком случае список требований дополнится синхронностью передачи аудиовизуальной и тактильной информации и обеспечением производительности каналов связи, сопоставимой с возможностями восприятия.

ТАБЛИЦА 2. Характеристики медицинских данных

TABLE 2. Characteristics of medical data

№ п/п	Тип медицинских данных	Средний объем, Мб	Допустимая задержка
1.	Медицинская запись	< 1	1 с
2.	Данные	< 50	Не нормируется
3.	Черно-белое статическое 2D-изображение	< 100	1 с
4.	Цветное статическое 2D-изображение	< 500	1 с
5.	Трехмерное изображение (3D-модель)	< 1000	400 мс
6.	Потоковые аудиоданные, видеоизображение	Зависит от длительности конференции	< 100 мс

Модель сети

Переходя к моделированию сети, следует заметить, что величина задержки зависит от объема передаваемых данных, скорости передачи по линии связи на каждом участке маршрута, возможных задержек на узлах маршрута, вызванных ожиданием в буфере из-за занятости линии ранее обслуживаемыми пакетами данных, времени передачи данных в среде передачи или по каналам и времени распространения сигнала, необходимого пакету для пересечения среды передачи.

Это позволяет представить формулу задержки N_L как сумму всех задержек:

$$N_L = D_P + D_Q + D_T + D_{PR}, \quad (1)$$

где D_P – задержка обработки (от *англ.* Processing Delay); D_Q – задержка постановки в очередь (от *англ.* Queuing Delay); D_T – задержка передачи (от *англ.* Transmission Delay); D_{PR} – задержка распространения (от *англ.* Propagation Delay).

Задержка передачи пакета D_T и задержка распространения пакета D_{PR} могут быть рассчитаны по выражениям:

$$D_T = \frac{N_B}{T_R}, \quad (2)$$

$$D_{PR} = \frac{D}{S_p}, \quad (3)$$

где N_B – объем передаваемых данных; T_R – скорость передачи; D – расстояние; S_p – скорость пакета.

Используя идею кластерного анализа, можно представить структуру модели сети как совокупность окружностей с некоторыми центроидами – точками предоставления услуги доступа (S), которые соединены прямыми с точками предоставления услуг линиями связи (A), а они, в свою очередь, обслуживают несколько пользовательских терминалов (U). В таком случае максимальное расстояние, которое преодолевает сигнал, складывается из расстояния от точки предоставления услуги до точки доступа (R_{S-A}) и от точки доступа до терминала (R_{A-U}):

$$d_{\max} = R_{S-A} + R_{A-U}. \quad (4)$$

Очевидно, что расстояние от точки доступа до терминала много меньше расстояния от точки предоставления услуги до точки доступа:

$$R_{A-U} \ll R_{S-A}. \quad (5)$$

На всем маршруте величина средней задержки складывается из значений задержки на каждом участке:

$$T = \sum_{i=1}^k N_i, \quad (6)$$

где N_i – задержка i -го участка.

Если территория разбивается на некоторое количество кластеров, то каждый кластер можно принять за систему массового обслуживания (СМО) с одним сервером обработки заявок. Обслуживание заявок выполняется по принципу FIFO без использования приоритетов [10].

Входящий поток является Пуассоновским, т. е. случайная величина, характеризующая количество заявок в потоке, распределяется по закону:

$$P_k = \frac{\lambda^k}{k!} * e^{-\lambda}, \quad (7)$$

где k – число заявок в единицу времени; λ – интенсивность потока, т. е. среднее число заявок в единицу времени.

Число пользователей на 1 м² является случайной величиной, в связи с чем вероятность попадания m пользователей в зону обслуживания точкой предоставления услуги также можно описать Пуассоновским распределением.

Тогда интенсивность потока λ сопоставима количеству пользователей в зоне обслуживания ν :

$$\nu = \pi R_S^2 \eta, \tag{8}$$

где η – плотность пользователей на территории (чел/м²).

Таким образом, вероятность попадания m числа пользователей в зону обслуживания точкой предоставления услуги будет определяться как:

$$P_m = \frac{(\pi R_S^2 \eta)^m}{m!} * e^{-(\pi R_S^2 \eta)}. \tag{9}$$

Модель сети GI/G/1 с произвольным распределением интервала поступления между заявками и произвольным распределением длительности обслуживания предполагает, что поток обслуживается одним сервером. Для расчета задержки одного участка сети допускается, что в СМО поступают запросы одного типа. В таких условиях при известных значениях коэффициента вариации и нагрузке, поступающей на узлы, можно рассчитать среднее время пребывания запроса в соответствующем узле при помощи приближенной формулы Манфреда Лангенбаха-Бельца [11]:

Модель сети GI/G/1 с произвольным распределением интервала поступления между заявками и произвольным распределением длительности обслуживания предполагает, что поток обслуживается одним сервером. Для расчета задержки одного участка сети допускается, что в СМО поступают запросы одного типа. В таких условиях при известных значениях коэффициента вариации и нагрузке, поступающей на узлы, можно рассчитать среднее время пребывания запроса в соответствующем узле при помощи приближенной формулы Манфреда Лангенбаха-Бельца [11]:

$$\bar{w} = \frac{\rho_i \bar{t}}{2(1 - \rho_i)} \times \tag{10}$$

$$\times (C(i)_a^2 + C(i)_t^2) g(C(i)_a^2, C(i)_t^2, \rho_i), \tag{11}$$

$$g(C_a^2, C_t^2, \rho) = \begin{cases} e^{-\frac{2(1-\rho)(1-C_a^2)^2}{3\rho(C_a^2+C_t^2)}}, & C_a^2 \leq 1 \\ e^{-(1-\rho)\frac{(C_a^2-1)^2}{C_a^2+4C_t^2}}, & C_a^2 > 1 \end{cases}, \tag{11}$$

где $\rho_i \bar{t}$ – интенсивность нагрузки на i -й узел, $i \in M$ (множество узлов СМО); C_a – коэффициент вариации интервала между заявками (пакетами); C_t – коэффициент вариации времени обслуживания.

Использование канала рассчитывается как произведение числа заявок в единицу времени на среднее время обслуживания в узле:

$$\rho = \lambda \bar{t}. \tag{12}$$

Поскольку расчет выполняется для одного участка сети, номер узла i не фигурирует в формулах (11 и 12).

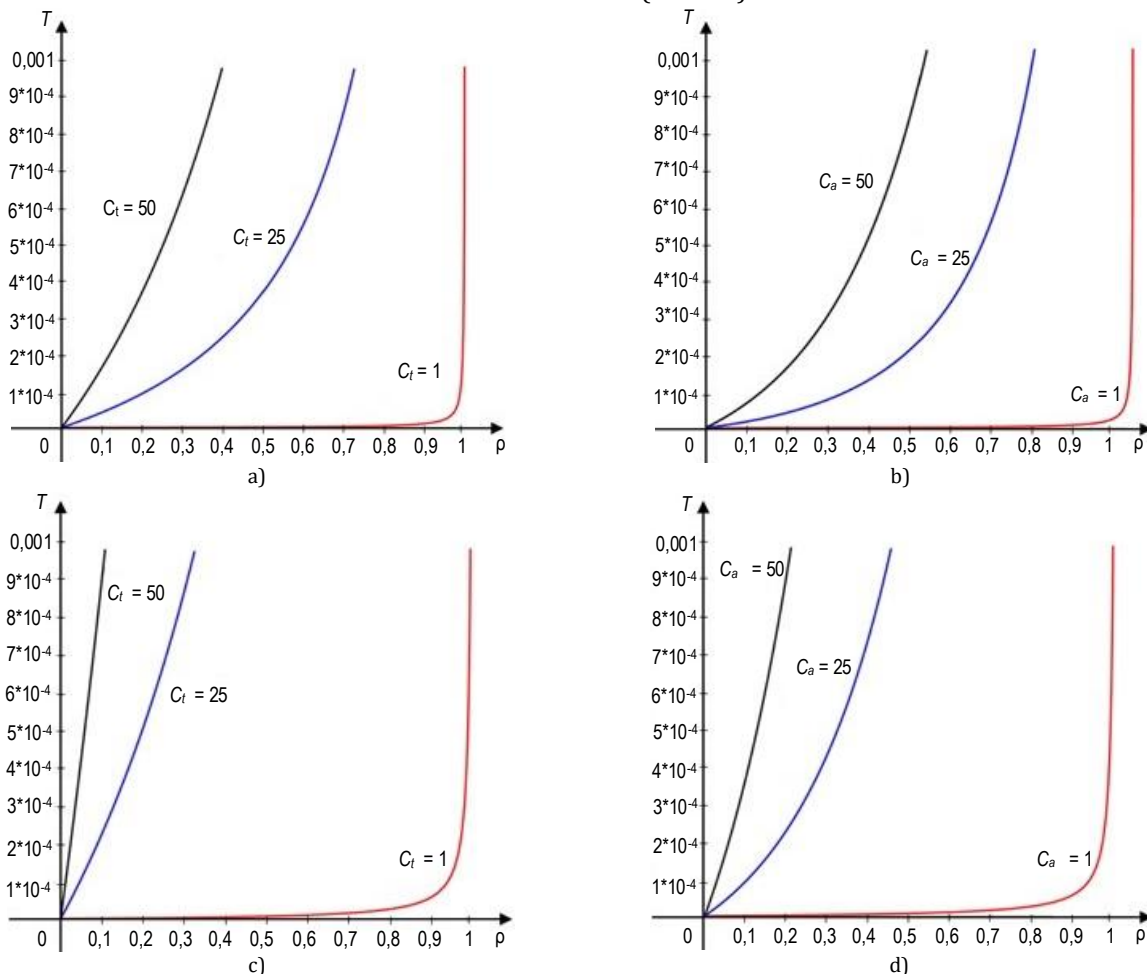


Рис. 1. Зависимость задержки от интенсивности трафика и коэффициента вариации длительности обслуживания C_t и коэффициента вариации для потока C_a для скорости передачи 10 Гбит/с (а и б) и 1 Гбит/с (с и д)

Fig. 1. Delay Dependence on Traffic Intensity and Variation Coefficient of Service Duration C_t and Variation Coefficient for C_a Stream for 10 Gbit/s (a and b) and 1 Gbit/s (c and d) Transmission Rate

Расчет значений задержки для модели GI/G/1

Для выполнения вычислений использован пакет программ MatLab. В качестве значений скорости передачи данных решено использовать пиковые – это 10 Гбит/с в сетях 5G и 1 Гбит/с в сетях 4G [12]. На практике сети 4G и 5G демонстрируют более низкую скорость: 15 и 100 Мбит/с, соответственно. Скорость передачи данных 1 Гбит/с можно считать характерной для сетей доступа в 5G, а 10 Гбит/с – для линий связи между элементами такой сети [13]. По стандартам Ethernet, минимальный размер кадра равен 64 байта (6 байт адрес назначения, 6 – адрес источника, 2 – длина или тип поля данных, 46 – данные, 4 – контрольная последовательность проверки кадра), а максимальный – 1518 байт (6 – адрес назначения, 6 – адрес источника, 2 – длина или тип поля данных, 1500 – данные, 4 – контрольная последовательность проверки кадра). При разработке новых стандартов Ethernet размер кадра остался прежним, чтобы избежать фрагментации и сбора кадров из составляющих.

Очевидно, что при предоставлении нескольких услуг телемедицины размеры передаваемых пакетов будут отличаться от некоторого константного значения. Но так как стоит задача оценить зависимость задержки на ожидание от интенсивности трафика ρ , коэффициента вариации для потока C_a и коэффициента вариации длительности обслуживания C_t , в качестве длины кадра использовано среднее значение выборки, полученной при захвате трафика с помощью среды Wireshark в течение 21345,85 с, равное 755 байт.

Список источников

1. Волков А.Н., Мутханна А.С.А., Кучерявый А.Е. Сети связи пятого поколения: на пути к сетям 2030 // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. № 8. № 2. С. 32–43. DOI:10.31854/2307-1303-2020-8-2-32-43. EDN:ZWNTDB
2. Информационные технологии в медицине // Цифровое здравоохранение на платформе N3.Health. URL: <https://n3health.ru/informacionnye-tehnologii-v-medicine> (дата обращения 10.05.2024)
3. Как внедрение телемедицины повлияло на работу поликлиник // ФГБУ «Редакция «Российской газеты». URL: <https://rg.ru/amp/2022/08/31/telemost-s-vrachom.html> (дата обращения 10.05.2024)
4. Маколкина М.А. Разработка и исследование комплекса моделей трафика и методов оценки качества для дополненной реальности. дис. ... докт. техн. наук. СПб: СПбГУТ, 2020. 436 с. EDN:WTFOWG
5. QoS // Яндекс.Облако. URL: <https://yandex.cloud/ru/docs/glossary/qos> (дата обращения 10.05.2024)
6. Щукина О.Н. К моделированию трафика услуг IP TV с учетом массовой миграции пользователей в периоды рекламных пауз equation section (Next) // T-Comm - Телекоммуникации и Транспорт. 2011. Т. 5. № 7. С. 168–171. EDN:OPICFZ
7. Кодексы, стандарты и форматы кодирования видео // Технофорум Телекоммуникации. URL: <https://forumtech.ru/povosti-v-sfere-telekommunikacij/kodeki-standarty-formaty-vidео> (дата обращения 10.05.2024)
8. Rec. ITU-T P.10/G.100 (11/2017). Vocabulary for performance, quality of service and quality of experience.
9. Владимирский А.В. Матрица оценки качества телемедицинского консультирования «пациент-врач» // Журнал телемедицины и электронного здравоохранения. 2020. Т. 6. № 4. С. 37–44. DOI:10.29188/2542-2413-2020-6-4-34-44. EDN:SLLMVO
10. Захарова Т.В. Оптимальные размещения систем массового обслуживания с дисциплиной обслуживания FIFO // Вестник Московского университета. Серия 15: Вычислительная математика и кибернетика. 2007. № 4. С. 32–37. EDN:JUVAYP
11. Вихрова О.Г. Применение приближенного метода анализа времени установления сессии в подсистеме IMS // Всероссийская конференция с международным участием «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем (Москва, Российская Федерация, 22–25 апреля 2014). М.: РУДН, 2014. С. 74–76. EDN:UTBU1B

Результаты полученных расчетов представлены в виде графиков на рисунке 1. Входные данные отличаются только скоростью передачи.

Заключение

С использованием модели сети с произвольным распределением интервала поступления между заявками и произвольным распределением длительности обслуживания получены зависимости задержки от интенсивности трафика и длительности обслуживания пакетов для первого набора телемедицинских услуг в сетях связи пятого и последующих поколений.

Задержка на ожидание в большей степени зависит от коэффициента вариации длительности обслуживания C_t , чем от коэффициента вариации интервала между заявками C_a . Данный факт наблюдается вне зависимости от скорости передачи, ведь при аналогичных показателях интенсивности нагрузки задержка на ожидание имеет большие значения, особенно это прослеживается при повышении коэффициента вариации длительности обслуживания.

В условиях расчета задержки на участке сети модели GI/G/1, где поток обслуживается одним сервером, время между прибытиями имеет общее произвольное распределение, время обслуживания соответствует другому общему закону распределения, а в СМО поступают запросы одного типа, наблюдается линейная зависимость задержки от скорости передачи при равных коэффициентах вариации C_a и C_t .

12. Мордачев В.И. Необходимые ограничения на характеристики систем мобильной (сотовой) связи 4G/5G для обеспечения их безопасности для пользователей // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. 2022. Т. 20. № 3. С. 54–62. DOI:10.35596/1729-7648-2022-20-3-54-62. EDN:BYMZMW
13. Чистова Н.А. Исследование влияния на сокращение цифрового разрыва и разработка методов формирования цифровых кластеров сетей связи с ультра малыми задержками. Дис. ... канд. техн. наук. СПб: СПбГУТ, 2021. 124 с. EDN:GIIDBP

References

1. Volkov A., Muthanna A., Koucheryavy A. Fifth generation communications networks: on the way to networks 2030. *Telecom IT*. 2020;8(2):32–43. (in Russ.). DOI:10.31854/2307-1303-2020-8-2-32-43. EDN:ZWNTDB
2. *Digital healthcare on the N3.Health platform*. Information technology in medicine. (in Russ.) URL: <https://n3health.ru/informacionnye-tehnologii-v-medicine> [Accessed 10.05.2024]
3. *FSFI «Rossiyskaya gazeta»*. How the introduction of telemedicine has affected the work of polyclinics (in Russ.) URL: <https://rg.ru/amp/2022/08/31/telemost-s-vrachom.html> [Accessed 10.05.2024]
4. Makolkina M.A. *Development and study of a complex of traffic models and methods of quality assessment for augmented reality*. D.Sc Thesis. St. Petersburg: The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications Publ.; 2020. 436 p. (in Russ.) EDN:WTFOWG
5. *Yandex.Cloud*. QoS. (in Russ.) URL: <https://yandex.cloud/ru/docs/glossary/qos> [Accessed 10.05.2024]
6. Shchukina O. Modeling IPTV bandwidth demand increased by channel surfing at commercial breaks. *T-Comm*. 2011;5(7):168–171. (in Russ.) EDN:OPICFZ
7. *Technology Forum Telecommunications*. Codecs, standards and video encoding formats. (in Russ.) URL: <https://forumtech.ru/novosti-v-sfere-telekommunikaczij/kodeki-standarty-formaty-video> [Accessed 10.05.2024]
8. Rec. ITU-T P.10/G.100. *Vocabulary for performance, quality of service and quality of experience*. November 2017.
9. Vladzimirsky A.V. Matrix for direct-to-consumer telemedicine quality assessing. *Journal of telemedicine and e-health*. 2020;6(4):37–44. (in Russ.). DOI:10.29188/2542-2413-2020-6-4-34-44. EDN:SLLMVO
10. Zakharova T.V. Optimal arrangements of queuing systems with FIFO service discipline. *Moscow University Computational Mathematics and Cybernetics*. 2007;31(4):163–169. EDN:PGBUJN
11. Vihrova O. Application of the approximate method of analyzing the session establishment time in the subsystem IMS. *Proceedings of the All-Russian Conference with International Participation on Information and Telecommunication Technologies and Mathematical Delimitation of High-Tech Systems, 22–25 April 2014, Moscow, Russian Federation*. Moscow: RUDN University Publ.; 2014. p.74–76. (in Russ.) EDN:UTBUIB
12. Mordachev V.I. Required restrictions on characteristics of 4G/5G mobile (cellular) communications to ensure their safety for users. *Doklady BGUIR*. 2022;20(3):54–62. (in Russ.) DOI:10.35596/1729-7648-2022-20-3-54-62. EDN:BYMZMW
13. Chistova N.A. *Study of influence on reduction of digital gap and development of methods of formation of digital clusters of communication networks with ultra-small support*. PhD Thesis. St. Petersburg: The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications Publ.; 2021. 124 p. (in Russ.) EDN:GIIDBP


Статья поступила в редакцию 10.05.2024; одобрена после рецензирования 13.06.2024; принята к публикации 19.06.2024.

The article was submitted 10.05.2024; approved after reviewing 13.06.2024; accepted for publication 19.06.2024.

Информация об авторах:


МАКОЛКИНА
Мария Александровна

доктор технических наук, доцент кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

 <https://orcid.org/0000-0002-4251-2691>

ШАРЛАЕВА
Мария Владимировна

аспирант кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

 <https://orcid.org/0009-0008-6168-8001>

Авторы сообщают об отсутствии конфликтов интересов.

The authors declare no conflicts of interests.