

Научная статья

УДК 621.397

<https://doi.org/10.31854/1813-324X-2024-10-5-7-13>

Голографическая коммуникация: исследование качества восприятия голографических копий

✉ Николай Александрович Демидов, deminickal@outlook.com

✉ Мария Александровна Маколкина, makolkina@sut.ru

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

Аннотация

Актуальность. Голография становится одним из наиболее перспективных направлений визуализации трехмерных объектов, что обосновывает появление определенного научного интереса к этой области исследований. Прослеживается общая глобальная тенденция активизации работы специалистов над проблемой использования голографических технологий в различных областях деятельности человека. Тенденции внедрения голографических услуг и голографического типа коммуникации уже сегодня требуют пересмотра принципов планирования, проектирования и построения существующих сетей связи, а также подходов к реализации сетей шестого поколения (6G), в основе которых лежит интеграция разнообразных технологий и сетей связи в единую сеть. Отдельным вопросом стоит оценка качества обслуживания и качества восприятия голографических услуг как объективными, так и субъективными методами. Практически отсутствуют критерии оценки качества голографического изображения, в том числе шкалы и методы субъективной оценки качества предоставления голографических услуг. Более того, свойства голографического потока достаточно мало изучены, а тем более его влияние на сети связи и требования к параметрам сетей, что делает задачи исследования характеристик трафика и оценки качества обслуживания голографических услуг весьма актуальными.

Целью работы является оценка качества восприятия голографической конференцсвязи с помощью субъективного метода оценки на модельной сети. В работе использованы **методы** субъективной оценки качества восприятия. Представленные в статье материалы отражают результаты экспериментально-исследовательской работы авторов по изучению проблемы качества восприятия голографических копий. Дано описание разработанной схемы натурного эксперимента.

Результаты. Представлены данные, полученные в результате работы экспертной группы по оценке качества восприятия. Субъективная оценка качества восприятия голографического изображения начинает ухудшаться при наличии 8 соединений и становится неудовлетворительной при 12 соединениях, что необходимо учитывать при планировании экспериментальных исследований работ по оценке качества восприятия.

Новизна. Впервые была проведена оценка качества восприятия предоставления услуги голографической конференцсвязи субъективным методом оценки.

Теоретическая значимость. Проанализировано влияние увеличения числа потоков голографического трафика на качество восприятия получаемого контента.

Практическая значимость. Расширение возможностей оценки степени удовлетворенности пользователей голографическими услугами.

Ключевые слова: голографическая коммуникация, голографический трафик, голографические технологии, качество восприятия, сети связи

Ссылка для цитирования: Демидов Н.А., Маколкина М.А. Голографическая коммуникация: исследование качества восприятия голографических копий // Труды учебных заведений связи. 2024. Т. 10. № 5. С. 7–13. DOI:10.31854/1813-324X-2024-10-5-7-13. EDN:RCSNZL

Original research

<https://doi.org/10.31854/1813-324X-2024-10-5-7-13>

Holographic Communication: A Study of the Quality of Holographic Copies Perception

✉ Nikolay A. Demidov ✉, deminickal@outlook.com

✉ Maria A. Makolkina, makolkina@sut.ru

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

Annotation

Relevance. Holography is becoming one of the most promising areas of visualization of three-dimensional objects, which justifies the emergence of a certain scientific interest in this area of research. There is a general global trend of intensifying the work of specialists on the problem of using holographic technologies in various areas of human activity. Trends in the implementation of holographic services and holographic communication today already require a revision of the principles of planning, designing and building existing communication networks, as well as approaches to the implementation of sixth-generation networks 6G, which are based on the integration of various technologies and communication networks into a single network. A separate issue is the assessment of the quality of service and the quality of perception of holographic services by both objective and subjective assessment methods. There are practically no criteria for assessing the quality of a holographic image, including scales and methods for subjective assessment of the quality of holographic services. Moreover, the properties of the holographic flow are poorly understood, and even less so its influence on communication networks and requirements for network parameters, which makes the tasks of studying traffic characteristics and assessing the quality of service of holographic services very relevant.

The aim of the work is to evaluate the quality of perception of holographic conference calls using a subjective evaluation method on a model network. The work uses **methods** of subjective assessment of the quality of perception. The materials presented in the article reflect the results of the authors' experimental research work on studying the problem of the quality of perception of holographic copies. A description of the developed scheme of a full-scale experiment is given.

Results. The data obtained as a result of the work of an expert group on assessing the quality of perception are presented. The subjective assessment of the quality of perception of a holographic image begins to deteriorate with 8 connections and becomes unsatisfactory with 12 connections, which must be taken into account when planning experimental studies of work on assessing the quality of perception.

Novelty. For the first time, an assessment of the quality of perception of the provision of a holographic conferencing service was carried out using a subjective assessment method.

Theoretical significance. The influence of increasing the number of holographic traffic flows on the quality of perception of the received content is analyzed.

Practical significance. Expanding the possibilities for assessing the degree of user satisfaction with holographic services.

Keywords: holographic communication, holographic traffic, holographic technologies, quality of experience, communication networks

For citation: Demidov N.A., Makolkina M.A. Holographic Communication: A Study of the Quality of Holographic Copies Perception. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2024;10(5):7–13. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2024-10-5-7-13. EDN:RCSNZL

Введение

Внедрение инновационных технологий, в первую очередь, способствует реализации основной цели – улучшению качества жизни населения.

Повышение качества и эффективности работы в сфере медицинского обслуживания, педагогической деятельности на каждом уровне системы образования, организации работы производственных комплексов, во многом зависит от эффективной

организации информационно-коммуникационной деятельности и качества обслуживания в сетях связи. Инновационный подход может быть реализован посредством развития голографического типа коммуникации.

Голография становится одним из наиболее перспективных направлений визуализации трехмерных объектов, что обосновывает появление определенного научного интереса к этой области исследований. Прослеживается общая глобальная тенденция активизации работы специалистов над проблемой использования голографических технологий в различных областях деятельности человека.

Российский разработчик систем видеоконференций представил комплекс оборудования HoloLive, позволяющий организовать 3D-видеозвонок для проведения голографической конференции (<https://www.tadviser.ru>).

В статье [1] рассматривается один из основных технологических элементов для эффективного включения многопользовательских систем голоконференций.

Исследования [2, 3] доказывают реальное повышение качества учебного процесса с использованием голографической видеоконференции.

Авторы в [4] утверждают, что основанная на голографии видеоконференция может сохранять полное трехмерное качество объекта, и помогает зрителям воспринимать его как настоящее трехмерное изображение. В частности подчеркивается, что голографическая видеоконференция может использоваться в нескольких аудиториях одновременно, независимо от места их нахождения и позволяет делиться опытом с более широкой аудиторией без каких-либо ограничений по времени и расстоянию.

В работе [6] обсуждаются потенциальные преимущества многосторонней голографической коммуникации и показаны ключевые проблемы, которые необходимо решить для реализации потенциала голоконференций. Возрастает количество исследований [2, 6], в которых дан анализ практического применения голоконференций, подтверждающие положительный результат внедрения. В работе [7] предложено описание разработанного и интегрированного сервиса для обеспечения многопользовательских услуг голопортации в реальном времени.

Авторы [8] утверждают, что видеоконференции могут быть менее личными, чем встреча лицом к лицу, можно упустить важный язык тела (когда перед глазами пиксельное изображение). Руководители предпочитают реализацию удаленной голографической связи в форме голоконференций для достижения гуманизации виртуального удаленного контакта, стимулирование командной работы. Авторы подчеркивают, что голографиче-

ские конференции способны заменить реализованные типы систем связи на инновационные. На полученных результатах [9] обосновывается предположение, что эмоциональное осознание взгляда партнера при голоконференции – способность отслеживать его направление, становится даже более важным, чем простой зрительный контакт при видеоконференции.

Универсальность инновационного эффекта голоконференции подтверждается реализацией многочисленных проектов. Авторы-разработчики предложили новую систему для проведения голографических конференций – HoloKinect [10]. Компании Polycom, Cisco, Google демонстрируют реализованные проекты телеприсутствия. На конференции Google I/O 2021 была представлена в режиме реального времени сверхреалистичная голографическая копия собеседника (<https://io.google/2021/?lng=en>). Прототип системы голографической конференцсвязи с эффектом присутствия был представлен на выставке Integrated Systems Europe 2023 компанией Logitech, которая проходила в Барселоне, еще один был установлен в офисе Steelcase в Мичигане (<https://www.iseurope.org/welcome>). Следующий пример реализации голографической конференцсвязи был представлен на выставке CES 2024 в Лас-Вегасе. Это устройство называется Holobox, оно позволяет общаться с полноразмерной голографической проекцией человека (<https://www.ces.tech/discover/?type=Article&q=Holo>).

Потенциально, более широкое использование голографического типа коммуникации повышает значение решения проблемы качества голографического изображения. В [11] отмечено, что в дополнение к имеющейся метрике «качество обслуживания» (QoS, аббр. от англ. Quality of Service) добавилась еще одна – качество восприятия (QoE, аббр. от англ. Quality of Experience), определяющая субъективную оценку пользователем.

Авторы в [12] отмечают, что с появлением 3D-технологий одной из проблем, с которыми сталкивается индустрия, является оценка качества 3D-контента и оценка качества впечатлений зрителя (QoE). В работе акцентируется внимание на том, что если для 2D-контента определены основные факторы, влияющие на качество восприятия (яркость, контрастность и резкость), то в случае 3D восприятие глубины меняет влияние вышеупомянутых факторов на общее воспринимаемое качество 3D-видео. Исследователи определяют среди основных факторов качества 3D следующие: «количество глубины» и «визуальный комфорт» [13].

Анализ публикаций показал, что передача голографических копий недостаточно изучена. На данный момент можно констатировать, что исследо-

вание проблемы в рамках изучения взаимовлияния нагрузки и качества не проводилось.

Постановка задачи

Цель исследования: изучение QoE голографических копий, полученных в результате передачи голографического трафика в режиме реального времени.

Для достижения цели исследования сформулированы следующие задачи:

- определить базисные шаги для разработки программы проведения стендовых испытаний;
- изучить технические характеристики оборудования для эксперимента;
- разработать / выбрать необходимую многоуровневую систему критериев для оценки QoE голографических копий;
- провести оценку влияния нагрузки на QoE контента, полученного в результате передачи голографического трафика в режиме реального времени;
- дать анализ полученных показателей, обобщить материал и сделать выводы.

Для проведения прикладной части диссертационного исследования «Разработка и исследование моделей трафика и подходов для оценки качества

обслуживания голографических копий» местом испытаний определена лаборатория MEGANETLAB6G кафедры сетей связи и передачи данных СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича.

На этапе сбора и анализа данных было сделано предположение о необходимости изучения QoE при увеличении количества источников голографического трафика [14].

Натурный эксперимент для исследования качества восприятия голографических копий, полученных в результате передачи голографического трафика в режиме реального времени, был проведен на модельной сети лабораторного стенда. Участниками данного исследования были сотрудники лаборатории, имеющие соответствующие прикладные компетенции для проведения стендовых испытаний. Использовалось оборудование лаборатории: 3D-камеры Microsoft Kinect, которые в реальном времени записывают движущийся объект, передавая глубину, и обеспечивают визуальный комфорт восприятия голографического изображения, проекционный экран для воспроизведения объемного изображения, два сервера, два коммутатора D-Link (SW#1, SW#2). Между коммутаторами, серверами средой передачи данных был выбран UTP кабель cat.5e. Схема натурального эксперимента представлена на рисунке 1.

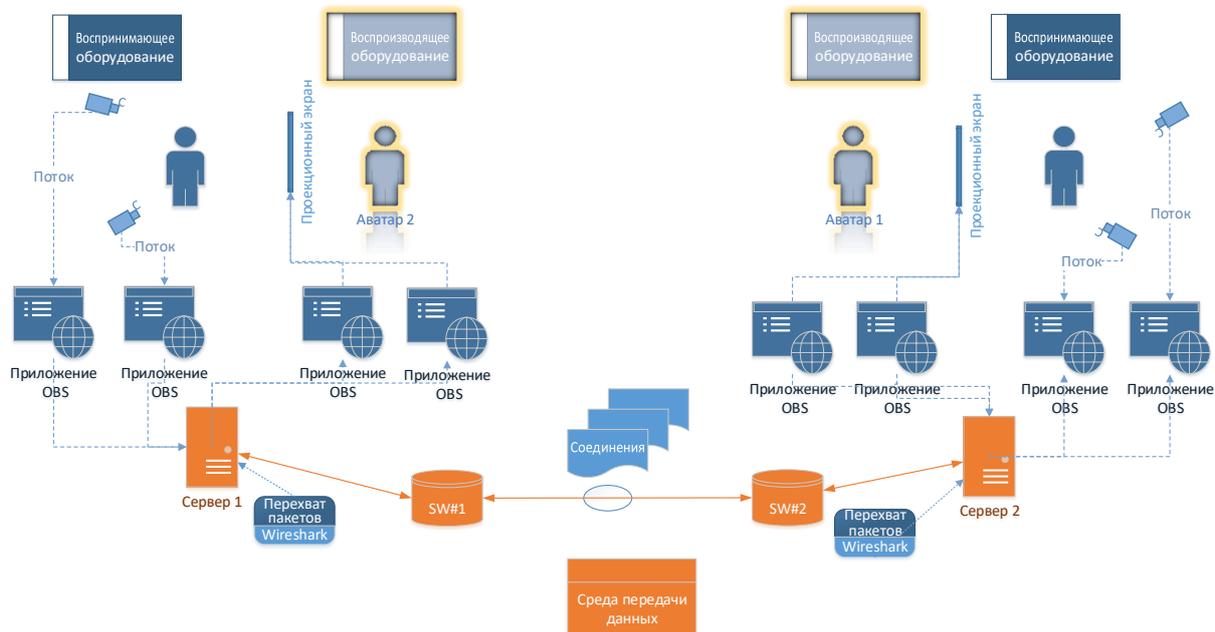


Рис. 1. Схема (структура) стенда для натурального эксперимента

Fig. 1. Scheme (Structure) of the Stand for a Natural Experiment

Голографический тип коммуникации был реализован посредством двух сенсорных RGB-D камер Microsoft Kinect на одной и второй стороне голографического телемоста для передачи аватаров каждому пользователю. Полученный поток был сформирован с помощью специального инструмента – OBS Studio (<https://obsproject.com>). Для

перехвата и анализа сетевого трафика применялась программа Wireshark (<https://www.wireshark.org>). Последовательно увеличивая количество соединений, и, соответственно, число потоков голографического трафика, провели наблюдения за изменением качества получаемого контента.

Для организации голографической конференц-связи необходимо два оконечных терминала, на каждый из которых приходит 1 голографический поток, и в обратную сторону идет также 1 голографический поток. Таким образом в одном соединении передается 4 голографических потока.

Последовательно увеличивая количество соединений, отслеживалось изменение параметров сети и характеристики потоков и производилась субъективная оценка качества передаваемого голографического потока. Для моделирования последовательного увеличения количества соединений последние создавались на одном и том же оборудовании. Так как проводили экспериментальное исследование по созданию параллельных телемостов, придерживались параметров прогнозируемого самого узкого места – 1 гбит/с на выгрузку и 1 гбит/с на загрузку по стандарту 5G.

Как утверждают авторы [15], оценка QoE изображения может быть проведена как объективными методами, так и субъективными. Каждый из них имеют свои достоинства и недостатки. Объективную оценку проводят с помощью программных и аппаратных средств. Субъективная или экспертная оценка проводится, как правило, с группой лиц для качественной / количественной оценки свойств объекта.

В данном исследовании во время эксперимента фиксировали субъективную оценку QoE каждого эксперта по предложенным критериям. Группа экспертов оценивала QoE голографического изображения по таким показателям как: эффект глубины, естественность изображения, визуальный комфорт, целостность, плавность движения. При каждом увеличении количества соединений снимали показатели и проводили оценку QoE. Было проведено более 20 экспериментов с вариацией времени наблюдения от 60 до 80 с.

Вычисление средней оценки R для каждой демонстрации определялось по выражению:

$$R = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N r_i, \quad (1)$$

где r_i – оценка качества от i -го пользователя; N – количество пользователей.

Измеряя показатели, используя Wireshark, в результате получили статистические данные, которые позволили определить основные характеристики агрегированного потока и построить графики ввода / вывода Wireshark для 1, для 5 и для 14 соединений (рисунок 2).

Выполняя задачу исследования – провести оценку влияния нагрузки на QoE контента, полученного в результате передачи голографического трафика в режиме реального времени, установили

количество соединений, являющиеся граничным уровнем, после которого QoE изображения значительно ухудшается. Результаты эксперимента представлены таблице 1. Наивысший балл (5) определялся, когда голографический контент по всем параметрам соответствовал оригиналу. Если количество соединений приближалось к 10 и 11, наблюдалось ухудшение QoE голографических аватаров. Экспертная группа оценивала голографический контент в 5 баллов по пятибалльной системе вплоть до 8–9 соединений. Резкое снижение качества восприятия было зафиксировано при 12–13 соединениях – эксперты показали оценку в 3 балла. Гипотеза о зависимости QoE от количества соединений была подтверждена экспериментально. Получены данные о предельном количестве соединений, сохраняющем высокую оценку QoE пользователями. На рисунке 3 отображена зависимость QoE от количества соединений.

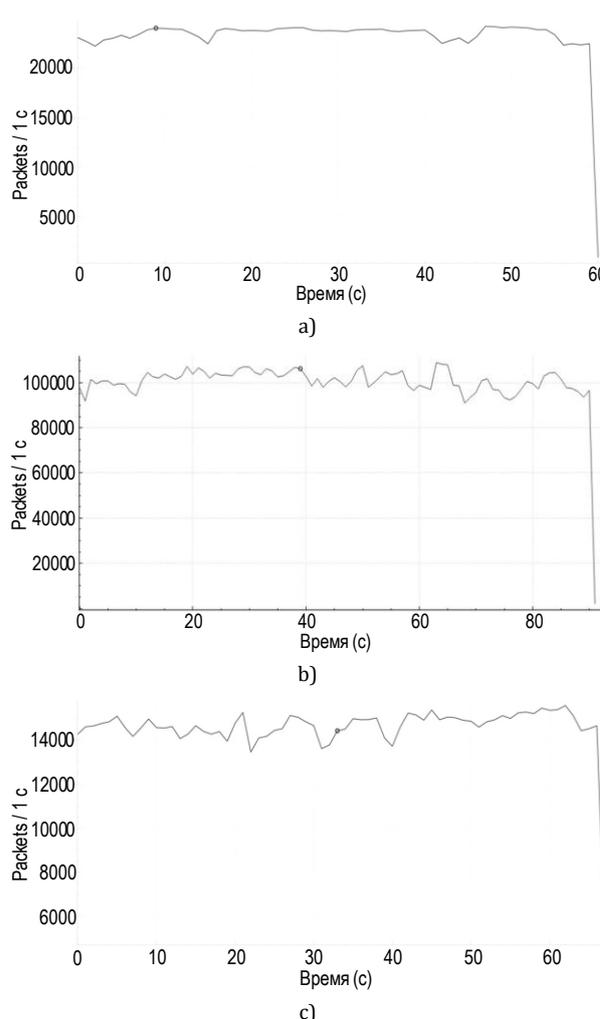


Рис. 2. Интенсивность передачи пакетов для 1 (а), 5 (б) и 14 (с) соединений в течение сеанса наблюдений

Fig. 2. Packet Transmission Intensity for 1 (a), 5 (b) and 14 (c) Connections during the Observation Session

ТАБЛИЦА 1. Статистические результаты эксперимента

TABLE 1. Statistical Results of the Experiment

Количество соединений	Число потоков	Пакетов/с	Мбит/с	Оценка QoE
1	4	24000	282,62	5
3	12	72000	847,87	5
5	20	110000	1295,36	5
8	32	145000	1472,00	5
11	44	142000	1648,64	4
12	48	145000	1672,19	3
13	52	125000	1707,52	3
14	56	140000	1707,52	2
15	60	150000	1736,96	1
19	76	147500	1766,40	1

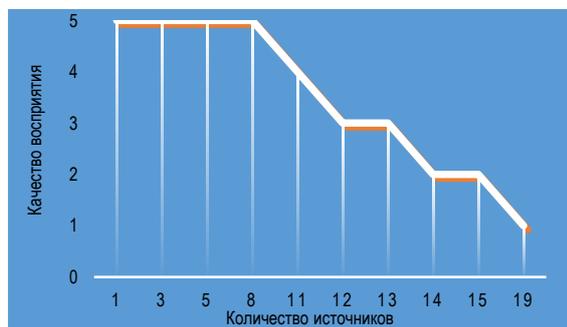


Рис. 3. График зависимости оценок QoE от количества соединений

Fig. 3. Graph of Dependence of Perception Ratings on the Number of Connections

Заключение

На основе разработанной схемы стенда был проведен натурный эксперимент, в результате которого группой экспертов были определены показатели QoE при возрастании нагрузки на сеть в зависимости от увеличения количества соединений. Опираясь на результаты экспериментального исследования, в дальнейшем могут быть сформулированы требования к необходимым характеристикам сетей связи для передачи качественного контента.

Интерпретация и обобщение полученных результатов позволила прийти к следующим выводам: снижение нагрузки в рамках организации соединений путем сжатия передаваемых данных, требует найти / установить / соблюдать баланс между поддержкой необходимого уровня качества предоставления услуги и возникающей нагрузки, требующей выделения ресурсов сети. Для достижения высокого качества голографического контента количество соединений не должно превышать десяти.

Данное исследование позволит прогнозировать дальнейшие направления исследований и планировать постановку научно-исследовательских задач в сфере развития голографического типа коммуникаций.

Список источников

- Cernigliaro G., Ansari A., Martos M., Montagud M., Fernandez S. Extended Reality Multipoint Control Unit – XR-MCU Enabling Multi-user Holo-conferencing via Distributed Processing. 2020. URL: <https://www.ibt.org/technical-papers/extended-reality-multipoint-control-unit-xr-mcu-enabling-multi-user-holoconferencing-via-distributed-processing/6620.article> (Accessed 23.10.2024)
- Li N., Lefevre D. Holographic teaching presence: participant experiences of interactive synchronous seminars delivered via holographic video conferencing // Research in Learning Technology. 2020. Vol. 28. DOI:10.25304/rlt.v28.2265
- Themelis C., Sime J.A. From Video-Conferencing to Holoportation and Haptics: How Emerging Technologies Can Enhance Presence in Online Education? // Emerging Technologies and Pedagogies in the Curriculum. Bridging Human and Machine: Future Education with Intelligence. Singapore: Springer, 2020. PP. 261–276. DOI:10.1007/978-981-15-0618-5_16
- Aman A.M., Shiratuddin N. Holographic Video Conferencing for Fostering Communication and Participation: Pre-Conceptualization of Focus Group of Female Learners in Arab Open University (KSA) // International Journal of Engineering & Technology. 2018. Vol. 7. Iss. 4.29. PP. 157–162.
- Montagud M., Cernigliaro G., Arevalillo-Herráez M., García-Pineda M., Segura-García J., Fernández S. Social VR and multi-party holographic communications: Opportunities, Challenges and Impact in the Education and Training Sectors // arXiv:2210.00330. 2022. DOI:10.48550/arXiv.2210.00330
- Mohamad H., Montagud M., Rincón D. Multiuser Virtual Experiences powered by Holoportation Technologies and Multimodal Human-Computer Interaction (HCI) // Proceedings of the 15th ACM Multimedia Systems Conference (MMSys, Bari, Italy, 15–18 April 2024). New York: ACM, 2024. PP. 536–540. DOI:10.1145/3625468.365291
- Fernández S., Montagud M., Rincón D., Moragues J., Cernigliaro G. Addressing Scalability for Real-time Multiuser Holoportation: Introducing and Assessing a Multipoint Control Unit (MCU) for Volumetric Video // Proceedings of the 31st ACM International Conference on Multimedia (MM, Ottawa, Canada, 29 October – 3 November 2023). New York: ACM, 2023. PP. 9243–9251. DOI:10.1145/3581783.3613777
- Luevano L., de Lara E. L., Quintero H. Professor Avatar Holographic Telepresence Model // Kumar M. (ed.) Holographic Materials and Applications. 2019. DOI:10.5772/intechopen.85528
- Ishii H., Kobayashi M., Grudin J. Integration of interpersonal space and shared workspace: ClearBoard design and experiments // ACM Transactions on Information Systems. 1993. Vol. 11. Iss. 4. PP. 349–375. DOI:10.1145/159764.15976
- Siemonsma S., Bell T. Holokinect: Holographic 3D Video Conferencing // Sensors. 2022. Vol. 22. Iss. 21. P. 8118. DOI:10.3390/s22218118
- Парамонов А.И. Разработка и исследование комплекса моделей трафика для сетей связи общего пользования. Дис. ... докт. техн. наук. СПб.: СПбГУТ, 2014. 325 с. EDN:ZPNATH
- Banitalebi-Dehkordi A., Pourazad M.T., Nasiopoulos P. An efficient human visual system based quality metric for 3D video // Multimedia Tools and Applications. 2016. Vol. 75. PP. 4187–4215. DOI:10.1007/s11042-015-2466-z

13. Chen W., Fournier J., Barkowsky M., Le Callet P. Quality of experience model for 3DTV // Proceedings of the XIIIth SPIE Conference on Stereoscopic Displays and Applications (Burlingame, United States, 22–26 January 2012). SPIE, 2012. Vol. 8288. DOI:10.1117/12.907873
14. Демидов Н. А. Исследование трафика 3D-видеопотока на имитационной модели // Электросвязь. 2024. № 3. С. 44–48. DOI:10.34832/ELSV.2024.52.3.008. EDN:DNQCWX
15. Гоголь А.А., Туманова Е.И. Эволюция телевизионных систем в контексте оценки качества видеоизображений // Труды учебных заведений связи. 2018. Т. 4. № 1. С. 32–39. EDN:YUZUNM

References

1. Cernigliaro G., Ansari A., Martos M., Montagud M., Fernandez S. *Extended Reality Multipoint Control Unit – XR-MCU Enabling Multi-user Holo-conferencing via Distributed Processing*. 2020. URL: <https://www.abc.org/technical-papers/extended-reality-multipoint-control-unit-xr-mcu-enabling-multi-user-holoconferencing-via-distributed-processing/6620.article> [Accessed 23.10.2024]
2. Li N., Lefevre D. Holographic teaching presence: participant experiences of interactive synchronous seminars delivered via holographic videoconferencing. *Research in Learning Technology*. 2020;28. DOI:10.25304/rlt.v28.2265
3. Themelis C., Sime J.A. From Video-Conferencing to Holoportation and Haptics: How Emerging Technologies Can Enhance Presence in Online Education? In: *Emerging Technologies and Pedagogies in the Curriculum. Bridging Human and Machine: Future Education with Intelligence*. Singapore: Springer; 2020. p.261–276. DOI:10.1007/978-981-15-0618-5_16
4. Aman A.M., Shiratuddin N. Holographic Video Conferencing for Fostering Communication and Participation: Pre-Conceptualization of Focus Group of Female Learners in Arab Open University (KSA). *International Journal of Engineering & Technology*. 2018;7(4.29):157–162.
5. Montagud M., Cernigliaro G., Arevalillo-Herráez M., García-Pineda M., Segura-García J., Fernández S. Social VR and multi-party holographic communications: Opportunities, Challenges and Impact in the Education and Training Sectors. *arXiv:2210.00330*. 2022. DOI:10.48550/arXiv.2210.00330
6. Mohamad H., Montagud M., Rincón D. Multiuser Virtual Experiences powered by Holoportation Technologies and Multimodal Human-Computer Interaction (HCI). *Proceedings of the 15th ACM Multimedia Systems Conference, MMSys, 15–18 April 2024, Bari, Italy*. New York: ACM; 2024. p.536–540. DOI:10.1145/3625468.365291
7. Fernández S., Montagud M., Rincón D., Moragues J., Cernigliaro G. Addressing Scalability for Real-time Multiuser Holoportation: Introducing and Assessing a Multipoint Control Unit (MCU) for Volumetric Video. *Proceedings of the 31st ACM International Conference on Multimedia, MM, 29 October – 3 November 2023, Ottawa, Canada*. New York: ACM; 2023. p.9243–9251. DOI:10.1145/3581783.3613777
8. Luevano L., de Lara E. L., Quintero H. Professor Avatar Holographic Telepresence Model. In: *Kumar M. (ed.) Holographic Materials and Applications*. 2019. DOI:10.5772/intechopen.85528
9. Ishii H., Kobayashi M., Grudin J. Integration of interpersonal space and shared workspace: ClearBoard design and experiments. *ACM Transactions on Information Systems*. 1993;11(4):349–375. DOI:10.1145/159764.15976
10. Siemonsma S., Bell T. Holokinect: Holographic 3D Video Conferencing. *Sensors*. 2022;22(21):8118. DOI:10.3390/s22218118
11. Paramonov A.I. *Development and Research of a Complex of Traffic Models for Public Communication Networks*. D.Sc Thesis. St. Petersburg: The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications Publ.; 2014. 325 p. (in Russ.) EDN:ZPNATH
12. Banitalebi-Dehkordi A., Pourazad M.T., Nasiopoulos P. An efficient human visual system based quality metric for 3D video. *Multimedia Tools and Applications*. 2016;75:4187–4215. DOI:10.1007/s11042-015-2466-z
13. Chen W., Fournier J., Barkowsky M., Le Callet P. Quality of experience model for 3DTV. *Proceedings of the XIIIth SPIE Conference on Stereoscopic Displays and Applications, 22–26 January 2012, Burlingame, United States, vol.8288*. SPIE; 2012. DOI:10.1117/12.907873
14. Demidov N.A. Investigation of 3D video stream traffic on a simulation model. *Electrosvyaz*. 2024;3:44–48. (in Russ.) DOI:10.34832/ELSV.2024.52.3.008. EDN:DNQCWX
15. Gogol A., Tumanova E. The Evolution of Television Systems in the Context of Video Quality Estimation. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2018;4(1):32–39. (in Russ.) EDN:YUZUNM

Статья поступила в редакцию 09.07.2024; одобрена после рецензирования 03.10.2024; принята к публикации 07.10.2024.

The article was submitted 09.07.2024; approved after reviewing 03.10.2024; accepted for publication 07.10.2024.

Информация об авторах:

ДЕМИДОВ
Николай Александрович

преподаватель Санкт-Петербургского колледжа телекоммуникаций им. Э.Т. Кренкеля
 <https://orcid.org/0000-0001-7070-3121>

МАКОЛКИНА
Мария Александровна

доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой инфокоммуникационных систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
 <https://orcid.org/0000-0002-4251-2691>

Авторы сообщают об отсутствии конфликтов интересов.

The authors declare no conflicts of interests.