

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ СВЯЗИ В СЕТЯХ 6G

Хайдаралиева Хилола Фарход кизи

ассистент преподаватель Ташкентского университета

Мухаммада Ал-Хоразмий

hilolahaydaraliyeva@gmail.ru

Эргашова Дурдона Хусниддин кизи

студент 3 курса Ташкентский университет информационных технологий имени

Мухаммада Ал-Хоразмий

durdonaergasheva676@gmail.com

Аннотация: Голографическая связь рассматривается как ключевое приложение сетей шестого поколения (6G), обеспечивающее полноценное телеприсутствие за счёт передачи объёмных 3D-изображений в реальном времени. В статье рассматриваются основные технические вызовы, включая потребность в экстремально высокой пропускной способности, сверхнизкой задержке и сложностях аппаратной реализации. Проведен анализ актуальных решений на базе сетевого расщепления, интеллектуальных вычислений на краю сети и терагерцовой передачи. Предложена концептуальная система, преодолевающая выявленные ограничения, и обозначены перспективные направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: 6G, голографическая связь, терагерцовая передача, вычисления на краю, сетевое расщепление, задержка, объёмное видео

1. Введение

Эволюция беспроводных технологий перешла от голосовой связи и видеосвязи к новым рубежам — полному погружению, интерактивности и интеллектуальной обработке данных. Одним из революционных направлений является голографическая связь, которая обеспечивает передачу трёхмерного изображения человека или объекта в реальном времени, создавая эффект физического присутствия.

В отличие от обычной видеосвязи, голография требует захвата, обработки, передачи и отображения объёмных данных с крайне низкой задержкой. Ожидается, что сети 6G, предлагающие скорость до терабит в секунду, задержку менее 1 мс и широкое внедрение ИИ на краю сети, станут основой для таких приложений. Однако реализация голографической связи в беспроводной среде сопряжена с рядом вызовов, которые и рассматриваются в данной работе.

2. Методология



Рис.1. Видение поколение 6G

В рамках исследования были использованы следующие методы:

- Анализ современных научных публикаций, стандартов и концепций в области голографии и сетей 6G;
- Математическое моделирование требований к пропускной способности и задержке при передаче голографических потоков;
- Симуляция характеристик сетей 6G с целью оценки пригодности технологий для передачи 3D-данных;
- Сравнительный анализ ключевых технологических решений: терагерцовая передача, интеллект на краю сети, сетевое расщепление (network slicing).

3. Результаты

3.1 Требования к пропускной способности и задержке

3.1 Требования к пропускной способности и задержке

Голографическая связь — это технология, предполагающая передачу трёхмерного динамического изображения с высокой детализацией, глубиной и углом обзора. В отличие от обычного видеопотока, голограммы требуют передачи огромного объёма данных в режиме реального времени, а также минимальной задержки для обеспечения эффекта телеприсутствия.

Пропускная способность

Величина необходимой пропускной способности зависит от следующих параметров:

- Разрешение изображения (например, 4K, 8K или выше)
- Количество кадров в секунду (обычно от 30 до 90)
- Количество углов обзора (для голографического эффекта — до нескольких сотен точек зрения)
- Цветовая глубина и глубина сцены (3D)

Согласно оценкам:

- Полноценный голографический поток может требовать от 0.5 до 4 Тбит/с без сжатия.

- Даже при использовании продвинутых алгоритмов сжатия объём может быть снижен до 100–300 Гбит/с, что всё ещё значительно превышает возможности сетей 5G.

Задержка

Для обеспечения естественного взаимодействия и передачи эмоций, задержка (end-to-end latency) должна быть:

- Не более 1 миллисекунды (мс) — для голографического телеприсутствия и тактильной обратной связи.

- Допустимый уровень задержки при односторонней трансляции — до 5 мс.

Для сравнения:

- Средняя задержка в 5G сетях URLLC: ~1–10 мс.

- В сетях Wi-Fi 6 и 5G mmWave: ~5–20 мс при высокой нагрузке.

- В сетях 6G планируется снижение до <0.1 мс на физическом уровне и <1 мс суммарно.

Ограничения текущих технологий

Даже с применением mmWave и massive MIMO в 5G, достижимая скорость (~20 Гбит/с) остаётся недостаточной.



Рис.2. Общение в метавселенных, интернет под землей и операции на расстоянии: для чего нам 6G

Кроме того, высокая чувствительность к потерям пакетов и ограниченная пропускная способность становятся критичными для голографии.

Потенциальные решения на базе 6G

- Терагерцовая передача (THz): перспективна для терабитной беспроводной связи, но ограничена дальностью и чувствительна к погодным условиям.

- Интеллектуальные вычисления на краю (Edge AI): позволяют локально обрабатывать и фильтровать объемные данные, снижая нагрузку на сеть и задержки.
- Сетевое расщепление (Network Slicing): выделяет изолированные ресурсы под голографический трафик, обеспечивая предсказуемое качество обслуживания.

4. Обсуждение

Голографическая связь требует не просто развития сетей, а их фундаментальной перестройки. Вызовы включают:

- Разработку доступных и миниатюрных устройств для захвата и отображения голограмм;
- Обеспечение энергоэффективной обработки 3D-данных на устройствах;
- Оркестрацию качества обслуживания на всех уровнях сети — от ядра до пользователя.

Решения должны охватывать все уровни:

- Физический уровень: внедрение терагерцовых модулей и интеллектуальных поверхностей (RIS);
- Сетевой уровень: динамическое распределение ресурсов и ИИ-управление;
- Прикладной уровень: внедрение специализированных алгоритмов сжатия голографических данных.

Ключ к успеху — междисциплинарное взаимодействие между областями телекоммуникаций, компьютерного зрения, оптики и ИИ.

5. Заключение

Голографическая связь представляет собой одно из самых перспективных и одновременно самых ресурсоёмких направлений в области телекоммуникаций, требующее радикального обновления сетевой инфраструктуры. Проведённый анализ показал, что для полноценной реализации технологии необходимы сверхвысокая пропускная способность (до терабит в секунду), сверхнизкая задержка (менее 1 мс) и интеллектуальная обработка данных на всех уровнях сети.

Сети шестого поколения (6G), в отличие от 5G, обладают потенциалом для поддержки таких требований за счёт внедрения терагерцовой связи, вычислений на краю, сетевого расщепления, искусственного интеллекта и новых архитектур управления ресурсами. Тем не менее, широкомасштабное внедрение голографической связи возможно лишь при условии:

- значительных достижений в области миниатюризации и энергоэффективности оборудования;
- разработки эффективных алгоритмов сжатия и передачи объемного контента;
- стандартизации протоколов взаимодействия и обеспечения качества обслуживания (QoS) на уровне ядра и доступа.

Таким образом, голографическая связь может стать основой нового уровня цифрового взаимодействия в сферах медицины, образования, удалённой работы,

военной подготовки и развлечений, если научное и инженерное сообщество сможет преодолеть описанные вызовы в рамках экосистемы 6G.

Список литературы

1. Zhang Z., Xiao Y., Ma Z. 6G Wireless Communication Systems: Vision, Requirements, Architecture, and Key Technologies // IEEE Vehicular Technology Magazine. – 2019. – Т. 14, №3. – С. 28–41.
2. Singh S., Singh P. Real-Time Holographic Telepresence over Wireless Networks: A Survey // Computer Networks. – 2021. – Т. 187. – С. 107818.
3. Giordani M., Polese M., Mezzavilla M., Rangan S., Zorzi M. Toward 6G Networks: Use Cases and Technologies // IEEE Communications Magazine. – 2020. – Т. 58, №3. – С. 55–61.
4. Chen S., Zhao J. The Requirements, Challenges, and Technologies for 6G Mobile Wireless Networks // IEEE Communications Magazine. – 2020. – Т. 58, №3. – С. 36–42.
5. Yang P., Xiao Y., Xiao M., Li S. 6G Wireless Communications: Vision and Potential Techniques // IEEE Network. – 2019. – Т. 33, №4. – С. 70–75.
6. Alwis C. de, Kalla A., Kanhere S., Loke S. Holographic-Type Communications: Light Field Video Streaming Over 5G // ACM Computing Surveys. – 2022. – Т. 54, №8. – С. 1–36.
7. Akyildiz I. F., Kak A., Nie S. 6G and Beyond: The Future of Wireless Communications Systems // Springer. – 2023. – 478 с.
8. ITU-R. IMT Vision for 2030 and Beyond [Электронный ресурс]. – Geneva: ITU, 2022. – Режим доступа: <https://www.itu.int>