

# Качество восстановленного 3D голографического контента после передачи динамической голографической информации методом сжатия, аналогичным SSB

С. А. Шойдин, А. Л. Пазоев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск, Россия

Количественно обсуждается большая информационная ёмкость голограмм, которую отмечали ещё её первые исследователи Ю. Н. Денисюк и Э. Лейт с Ю. Упатниксом, Р. J. Van Heerden и В. Hill. Передача таких массивов с частотой кадровой развёртки 25 Гц требует пропускной способности канала по Шеннону  $4 \cdot 10^{12}$  байт/с. Это требует полосы пропускания 500 ГГц, что перекрывает весь доступный радиодиапазон. Одно из решений проблемы предложено в патенте РФ №2707582 С1. При передаче предложенным способом появляются специфические аберрации и шумы. Показано, что величина таких искажений 3D сигнала мала и предлагаемый метод передачи 3D контента пригоден как основа для разработки 3D голографического TV и 3D дополненной реальности.

*Ключевые слова:* Голография, Передача информации, Дополненная реальность, Голографическое TV.

*Цитирование:* Шойдин, С. А. Качество восстановленного 3D голографического контента после передачи динамической голографической информации методом сжатия, аналогичным SSB / С. А. Шойдин, А. Л. Пазоев // HOLOEXPO 2022: XIX Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям :Тезисы докладов. —Барнаул: ИП Колмогоров И. А., 2022. — С. 172–176.

## Введение

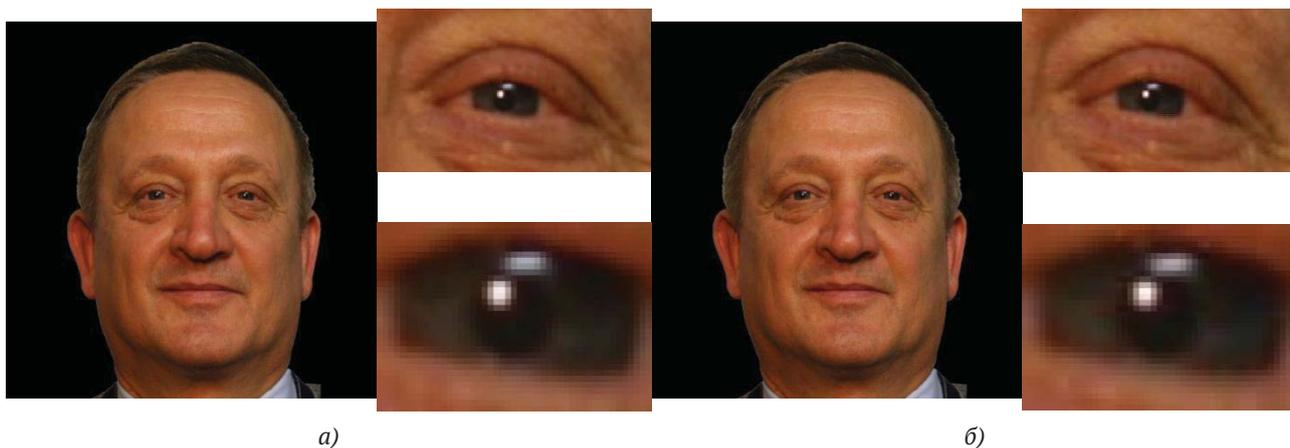
Как было показано в работах [1, 2, 3, 4] для передачи 3D голографического видеоконтента по обычным каналам связи необходимо организовать существенное сжатие голографической информации. Как было показано в [5], на основе анализа современного состояния работ, традиционные методы энтропийного кодирования на сегодняшний день далеки от возможности реализации требуемого для такой передачи сжатия голографической информации в  $10^6$  раз. Поэтому был предложен алгоритм передачи 3D голографической информации в виде двух основных модальностей 3D изображения – 2D текстуры поверхности голографируемого объекта (сюжета) и 2D его топографической карты глубин [6], которые позволяют передавать 3D голографическую информацию со значительным её сжатием, аналогично передаче радиосигнала методом SSB.

В [7] были показаны результаты эксперимента по передаче таким образом 3D голографической информации с телевизионной частотой кадровой развёртки, по которой на приёмном конце канала связи была синтезирована компьютерная голограмма, восстанавливающая объёмное изображение объекта голографирования с квазинепрерывным параллаксом и высоким качеством восстановленного изображения, не хуже, чем в стандарте Full HD.

Однако в процессе передачи выяснилось, что для достижения требуемой частоты кадровой развёртки изображений более высокого качества, как в стандартах 4K и 8K, иногда

приходится сжимать используемые 2D сигналы, представляющие карту глубин и текстуру. Причём сжатие текстуры более актуально в силу специфики человеческого восприятия объёма, когда мелкие морщинки на лице ни конвергенцией, ни аккомодацией не разрешимы, а воспринимаются только как теньевые полосы на текстуре.

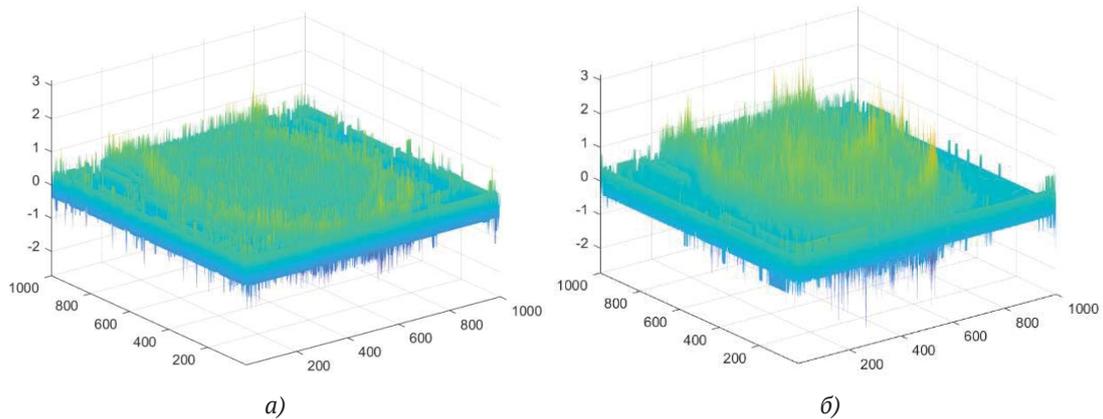
Реально используемая степень сжатия, использованная в [7], была по шкале качества JPEG выбрана в районе 70%. Зрительно такое сжатие не воспринимается сниженным по качеству, поскольку текстура восстановленного изображения практически неотличима (см. рис. 1).



**Рис. 1.** а) изображение сжатой JPEG без потерь текстуры 3D объекта с увеличенными размерами фрагмента глаза и б) аналогичные изображения текстуры и её фрагментов, сжатое по шкале качества JPEG до 70%

На рис. 2а приведена разница интенсивностей рис. 1а и рис. 1б, что соответствует разнице глубин цвета до сжатия JPEG и после сжатия до 70%. Видно слабое, не превышающее 3% искажение глубины цвета передаваемого изображения текстуры.

Также и в фазовой компоненте, сформированной объектом волны, т. е. в восстановленной на приёмном конце канала связи карте глубин, были обнаружены отдельные пиксели, выпавшие из общей гладкой структуры. Ввиду малости их абсолютных значений на рисунке 2б представлена только их разница, представляющая собой разницу положений карты пространственных глубин перед сжатием и отправкой по каналу связи и после её приёма и восстановления.



**Рис. 2.** а) разница глубин цвета не превышает 3% от максимального значения до сжатия в JPEG перед отправкой по каналу связи и после его сжатия на 70% и последующих передачи, приёма и восстановления на другом конце канала связи; б) разница карт пространственных глубин 3D объекта, не превышает 5% от максимального значения до сжатия в JPEG перед отправкой по каналу связи и после его сжатия на 70% и последующих передачи — приёма и восстановления на другом конце канала связи

Видно, что отдельные пиксели текстуры как бы выпадают из общей структуры 3D поверхности, образуя почти случайную картину выбросов, но которые не выходят за границу ошибки в 3%, а отдельные пиксели карты пространственной глубины голографируемого 3D объекта ведут себя аналогично, но их разница не превышает 5%. Поскольку процесс цифровой передачи сигнала осуществлялся в стандарте IEEE 802.11n (версия стандарта 802.11 для сетей Wi-Fi, появившаяся в 2009 году получившая название Wi-Fi 4), следует учесть, что указанный стандарт сам содержит специальным образом введённую избыточность, основанную на блочном кодировании, исправляющую случайные ошибки при передаче цифрового потока данных. Следовательно, единственным источником указанных искажений при передаче 3D голографической информации может служить только сжатие JPEG, осуществлённое до 70% по собственной шкале качества JPEG.

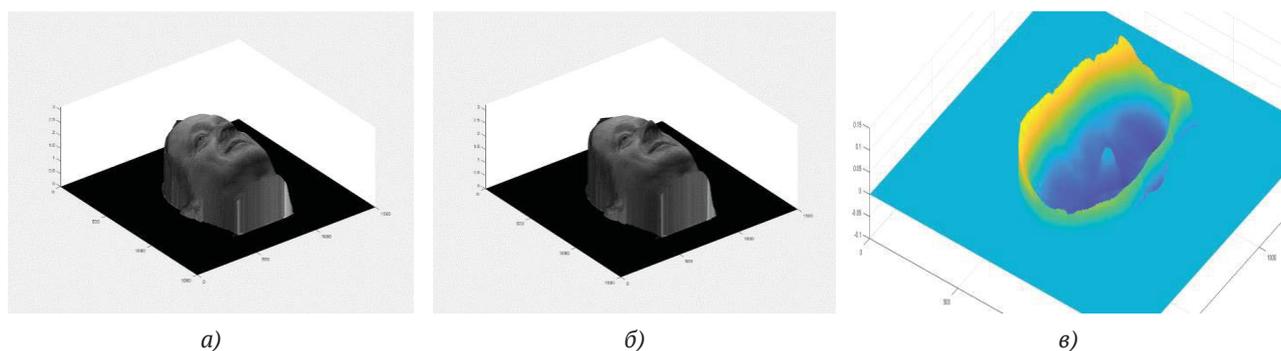
Другие искажения, замеченные в работе по передаче 3D голографической информации по радиоканалу Wi-Fi, тоже относятся к способу создания карты глубин.

Так, при передаче 3D голографической информации, на приёмном конце канала связи для синтеза голограммы 3D объекта может использоваться как его карта глубин по форме искривлённых структурированных полос, наблюдаемых в изопроекции, так и с помощью дифракционной структуры, образуемой этими полосами.

В первом случае синтез компьютерной голограммы происходит в традиционном режиме по опорному и объектному (сформированному 3D объектом голографирования) пучку [5]. Во втором – путём прямой передачи картины паттернов, искривлённых при их проекции на 3D объект голографирования и последующим моделированием его освещения монохроматическим излучением. Дифракция на такой структуре из паттернов искривлённых полос образует несколько порядков дифракции, один из которых формирует 3D изображение карты поверхности 3D объекта голографирования. Компьютерная модуляция каждой из точек

этой поверхности пропорционально интенсивности, соответствующей ей точки текстуры создаёт виртуальное полноцветное 3D изображение объекта, практически тождественное созданному при виртуальном восстановлении его традиционной компьютерной голограммы.

Однако при численном моделировании указанного процесса была замечена некоторая разница между изображением, восстановленным классическим образом синтезированной компьютерной голограммой и изображением, полученным в результате дифракции на изображении искривлённых паттернов. На рисунке 3 показаны оба, восстановленных описанным образом 3D изображения и поле разницы их глубин.



**Рис. 3.** Восстановленные 3D изображения объекта: а) – компьютерной голограммой, 3D объекта голографирования, синтезированной традиционным способом; б) – при дифракции восстанавливающей волны на структуре, образованной паттернами искривлённых 3D объектом вертикальных полос; в) – разница карт глубин, восстановленных указанными технологиями 3D объектов

Видно, что максимальные участки полной глубины от разницы двух 3D изображений равна 0,25 от глубины в одну длину волны  $\lambda$ , которой соответствует набег фазы  $2\pi$ . Разница восстановленных глубин по сравнению с  $2\pi$  оказалась менее 4%, что является хорошим совпадением, однако в причинах её возникновения ещё следует разбираться. Внешне этот эффект похож на возникновение продольных аберраций, хотя механизм их появления ещё обсуждается.

### Список источников

- [1] **Титарь, В. П.** Проблемы создания голографической телевизионной системы / В. П. Титарь, Т. В. Богданова // Радиоэлектроника и информатика. – 1999. – № 2(7). – С. 38-42.
- [2] **Денисюк, Ю. Н.** Достаточно ли известны фундаментальные принципы голографии для создания новых типов объёмного кинематографа и искусственного интеллекта? / Ю. Н. Денисюк // Журнал технической физики. – 1991. – Т. 61. – № 8. – С. 149-161.
- [3] **Комар, В. Г.** Информационная оценка качества изображения кинематографических систем / В. Г. Комар // Техника кино и телевидения. – 1971. – № 10. – С. 9-22.
- [4] **Lucente, M.** Computational holographic bandwidth compression / M. Lucente // IBM Systems Journal. – 1996. – Т. 35. – № 3.4. – С. 349-365. <https://doi.org/10.1147/sj.353.0349>.
- [5] **Kang, H.** Computer-generated 3D holograms of depth-annotated images / H. Kang, C. Ahn, S. Lee, S. Lee // Proceedings of SPIE. – 2005. – Т. 5742. – С. 234-241. <https://doi.org/10.1117/12.587422>.

- [6] **Патент RU2707582C1.** Способ дистанционного формирования голографической записи / С. А. Шойдин. – Российская Федерация, МПК G03H 1/00; заявл. 03.07.2018; опубл. 28.1.2019.
- [7] **Пазоев, А. Л.** Передача 3D голографической информации по радиоканалу / А. Л. Пазоев, С. А. Шойдин // Сб. трудов XXXII междунар. Школы-симп. по голографии, когерентной оптике и фотонике (HOLOSCHOOL XXXII). – 2022. – С. 132-134.

## **The quality of the restored 3D holographic content after the transmission of dynamic holographic information by a compression method similar to SSB**

*S. A. Shoydin, A. L. Pazoev*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia

The large information capacity of holograms is discussed quantitatively, which was noted by its first researchers Yu. N. Denisyuk and E. N. Leith, J. Upatnieks, P. J. Van Heerden and B. Hill. The transmission of such arrays with a frame rate of 25 Hz requires a Shannon channel bandwidth of  $4 \cdot 10^{12}$  bytes/s. This requires a bandwidth of 500 GHz, which covers the entire available radio band. One of the solutions to the problem is proposed in Patent RF No. 2707582 C1. When transmitting by the proposed method, specific aberrations and noises appear. It is shown that the magnitude of such distortions of the 3D signal is small and the proposed method of transmitting 3D content is suitable as a basis for the development of 3D holographic TV and 3D augmented reality.

*Keywords:* Holography, Information transmission, 3D augmented reality, Holographic TV.