

УДК 778.38; 535.421; 535.417

Решенные и нерешенные проблемы голографического телевидения и 3D-дополненной реальности

Шойдин Сергей Александрович^(*)shoydin@ssga.ru
SPIN-код: 2016-9688

Пазоев Артём Леонович

apl-93@mail.ru
SPIN-код: 7920-5690

СГУГиТ, Новосибирск, Россия

Аннотация. Показаны основные этапы развития идеи создания голографического телевидения и 3D-дополненной реальности без дополнительных девайсов, размещаемых в поле зрения оператора, очков, фильтров и пр. Известно, что лучшей технологией представления таких 3D-изображений является голографическая, поскольку она формирует изображения, обладающие всеми доступными человеку признаками объема, узнаваемыми по аккомодации, вергенции, окклюзии, и неламбертовскому рассеянию света сложной поверхностью. Однако до недавнего времени передача голографического видео по радиоканалу считалась невозможной ввиду слишком больших объемов информации. Традиционные энтропийные методы сжатия не помогли. Предложенные, как бы один в другом, три метода уверенно снимают природный запрет сжатия голографического видеоряда до ширины полосы сегодняшнего телевизионного стандарта Full HD, что позволяет перейти к решению оставшихся, но уже не принципиальных, а технических задач голографического телевидения и 3D-дополненной реальности без использования очков, фильтров и других девайсов, совмещаемых с глазами оператора.

Ключевые слова: голография, голографическое телевидение, дополненная реальность, AR/VR-устройства, передача голографической информации

Solved and unsolved problems of holographic television and 3D augmented reality

Shoydin Sergey Aleksandrovich^(*)shoydin@ssga.ru
SPIN-code: 2016-9688

Pazoev Artem Levonovich

apl-93@mail.ru
SPIN-code: 7920-5690

SSUGT, Novosibirsk, Russia

Abstract. The main stages of development of the idea of creating holographic television and 3D augmented reality without additional devices placed in the operator's field of view, glasses, filters, etc. are shown. It is known that the best technology for presenting such 3D images is holographic, since it forms images that have all the volume features available to humans, recognizable by accommodation, vergence, occlusion, and non-Lambertian scattering of light by a complex surface. However, until recently, the transmission of holographic video over a radio channel was considered impossible due to too large amounts of

information. Traditional entropy compression methods did not help. The three methods proposed, as if one in the other, confidently remove the natural prohibition of compressing holographic video to the bandwidth of today's Full HD television standard, which allows us to move on to solving the remaining, but no longer fundamental, but technical problems of holographic television and 3D augmented reality without the use of glasses, filters, and other devices combined with the operator's eyes.

Keywords: holography, holographic television, augmented reality, AR/VR devices, transmission of holographic information

Введение. Задачей создания голографического телевидения заинтересовались сразу много исследователей сразу после создания первого голографического кино великим русским инженером В.Г. Комаром. Однако слишком большие объемы информации голограмм не позволили это сделать просто «в лоб». На замену голографической технологии стали приходить похожие на нее, но имеющие разные недостатки. И все же развитие техники показало, что лучшим из известных методов создания 3D-динамических изображений дополненной реальности могло бы стать именно голографическое телевидение [1]. Об этом написано много обзоров, часть из которых упоминается в работе [2], хотя первая постановка задачи была сделана одним из основателей науки голография — Ю.Н. Денисюком [3]. В его работе с красноречивым названием «Достаточно ли известны фундаментальные принципы голографии для создания новых типов объемного кинематографа и искусственного интеллекта?» впервые была поставлена коренная проблема. Актуальность задачи Ю.Н. Денисюк кратко сформулировал, назвав свою работу «Достаточно ли известны фундаментальные принципы голографии для создания новых типов объемного кинематографа и искусственного интеллекта?» Это противоречие между громадными объемами информации, хранящейся в голограммах и сравнительно узким диапазоном радиочастот для ее передачи классическим методом кадровой развертки с частотой 25 кадров в секунду. Необходимая полоса частот для передачи одного голографического видео с диагональю экрана 16 дюймов превышает сотни гигагерц, т. е. весь доступный человечеству радиодиапазон [4]. Такую полосу пропускания не может обеспечить сегодня ни одна существующая линия передачи, включая оптоволоконные линии. Последние в перспективе могут достигать необходимой полосы пропускания, но принципиально ограничены локализацией координат передачи и приема на местности самим расположением оптоволокон. Ни о какой передаче голографического видео в космосе или на воде, под водой и на всех движущихся объектах не может быть и речи.

Именно поэтому существующие прогнозы появления голографического телевидения, до недавнего времени были весьма пессимистичны [5]. Основанные на изучении динамики поступательного развития отрасли, они определяли время до создания голографического телевидения к 2150 году (рис. 1).

Материалы и методы. Так бы и было, если бы не было выбрано направление исследований, определенное Ю.Н. Денисюком. Гениальная прозорли-

вость Ю.Н. Денисюка выразилась в определении актуальной области исследований по «воспроизведению процесса движения голографических изображений», путем «разработки методов устранения избыточности информации, т. е. исключением из голографического изображения той информации, которая не используется при зрительном восприятии».

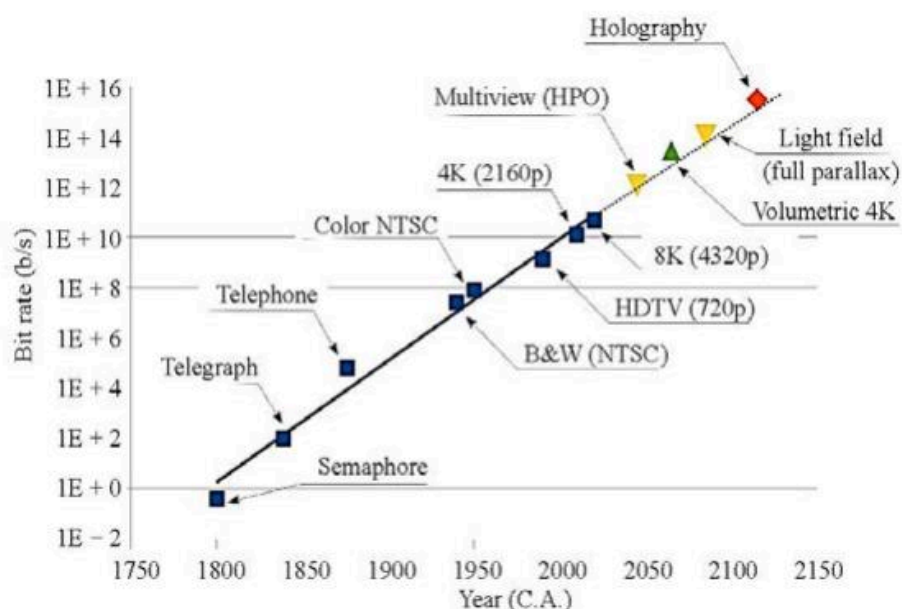


Рис. 1. Анализ достижимой скорости передачи информации (Bit rate) с развитием техники связи, как это представляет Pierre-Alexandre Blanche, основываясь на анализе развития сетей коммуникации

Несмотря на то что чисто математические, энтропийные методы не позволяют сжать голографическое изображение более чем на два порядка [2], необходимый метод сжатия в миллион раз был найден ранее [6] как раз на пути, указанном Ю.Н. Денисюком, т. е. при анализе физического содержания интерференционной структуры голограммы [7]. Его суть состоит в разделении двух групп пространственных частот, формирующих голографическую дифракционную решетку [8]. Первая, наиболее высокочастотная, формирует группу несущих пространственных гармоник и отвечает за дифракцию света заданной длины волны в определенный диапазон углов дифракции в соответствии с законом Брэгга. Вторая группа формирует девиацию несущих, что формирует восстановленное голограммой 3D-изображение. Это похоже на передачу информации на одной боковой полосе, т. е. выделение информационных частот в радио с помощью технологии SSB.

Более глубокое проникновение в тему позволило понять, что спектральное представление голографического сигнала, хотя и является очень плодотворным, но не единственным. Известно, что наибольшая сходимость ряда достигается в представлении сигнала не его гармониками, а его собственными функциями. Такими функциями являются давно известные в геодезии текстура поверхности (обычная плоская карта местности) и карта высот [9]. Текстура, наложенная на карту высот, и является оптимальным представлением 3D-

сигнала, удобного для передачи по радиоканалу. Полученное сжатие 3D-изображения получилось еще более значительным и представляло собой только два кадра обычного телевидения. Таким образом, было доказано, что, для создания голографического телевидения и динамически развивающейся во времени 3D-дополненной реальности, достаточно полосы частот, только вдвое превышающей существующие сегодня в телевидении стандарты в 6–8 МГц.

Но и это не предел. В процессе работы стало ясно распределение информационных затрат на передачу текстуры и карты высот. Из численных экспериментов видно [10], что для передачи кадра с картой высот необходимо гораздо меньше отсчетов, чем для передачи кадра с текстурой [11]. Отсюда был сделан вывод о том, что регистрировать карту высот как интерферограмму совсем не обязательно в видеодиапазоне длин волн, а вполне достаточно в радиодиапазоне. Это еще снижает количество необходимой для передачи по каналу связи информации о 3D-динамически развивающейся сцене почти в два раза. Такая передача была практически осуществлена [12] для 3D-динамически развивающегося видеосюжета с высоким пространственным разрешением стандарта Full HD и частотой кадровой развертки 25 Гц. Каждый 3D-кадр этой передачи был пригоден для синтеза компьютерных голограмм на приемном конце канала связи, что было показано не только численно, но и при экспериментальной записи этих кадров на материальную голограмму [13, 14].

Результаты. Таким образом, серией работ было доказано, что передача 3D-голографического видео по стандартному радиоканалу вполне возможна и ранее существовавший принципиальный запрет, связанный с невозможностью классическим энтропийными методами сжать голографическую информацию в 10^5 – 10^6 раз преодолен. Этот результат был достигнут при анализе структуры голограммы путем удаления из нее тех пространственных гармоник, которые не воспринимаются глазом, как и мечтал Ю.Н. Денисюк. Таким образом, природный запрет на создание голографического телевидения и 3D-дополненной реальности снят. Осталось сосредоточиться на решении хотя и сложных, но вполне решаемых технических задач.

На сегодняшний день ситуацию об этапах разработки голографического телевидения и 3D-дополненной реальности можно охарактеризовать таблицей на рис. 2. На рис. 2 синим подписаны уже осуществленные этапы, позволившие создать первую в мире передачу голографического 3D-видео высокого пространственного разрешения по стандартному радиоканалу. Красным подписаны технические этапы, которые предстоит преодолеть на пути к созданию опытных образцов техники, позволяющих перейти к поиску квалифицированного заказчика и разработке ТЗ на НИОКР по теме.

Обсуждение полученных результатов. Видно, что первый этап от регистрации 3D-сигнала, его передачи по стандартному каналу связи с телевизионной частотой кадровой развертки, синтеза на приемном конце канала связи цифровых голограмм по принятой информации и восстановления ими 3D-кадров стандарта Full HD пп. 1, 2, 3 уже выполнен, правда, на неспециализиро-

ванном оборудовании, со всеми вытекающими последствиями. Остальные этапы имеют характер совершенствования вычислительных процессов и операций, которые представляются вполне осуществимыми, хотя и не всегда простыми. Наиболее интересным, по мнению авторов, является группа задач по разработке голографических динамических дисплеев. Предположительно некоторые варианты их создания могут быть реализованы на основе голографических динамических полимеров [15], динамических голографических метаматериалов [16] и на основе некоторых вариантов монитора светового поля [17].

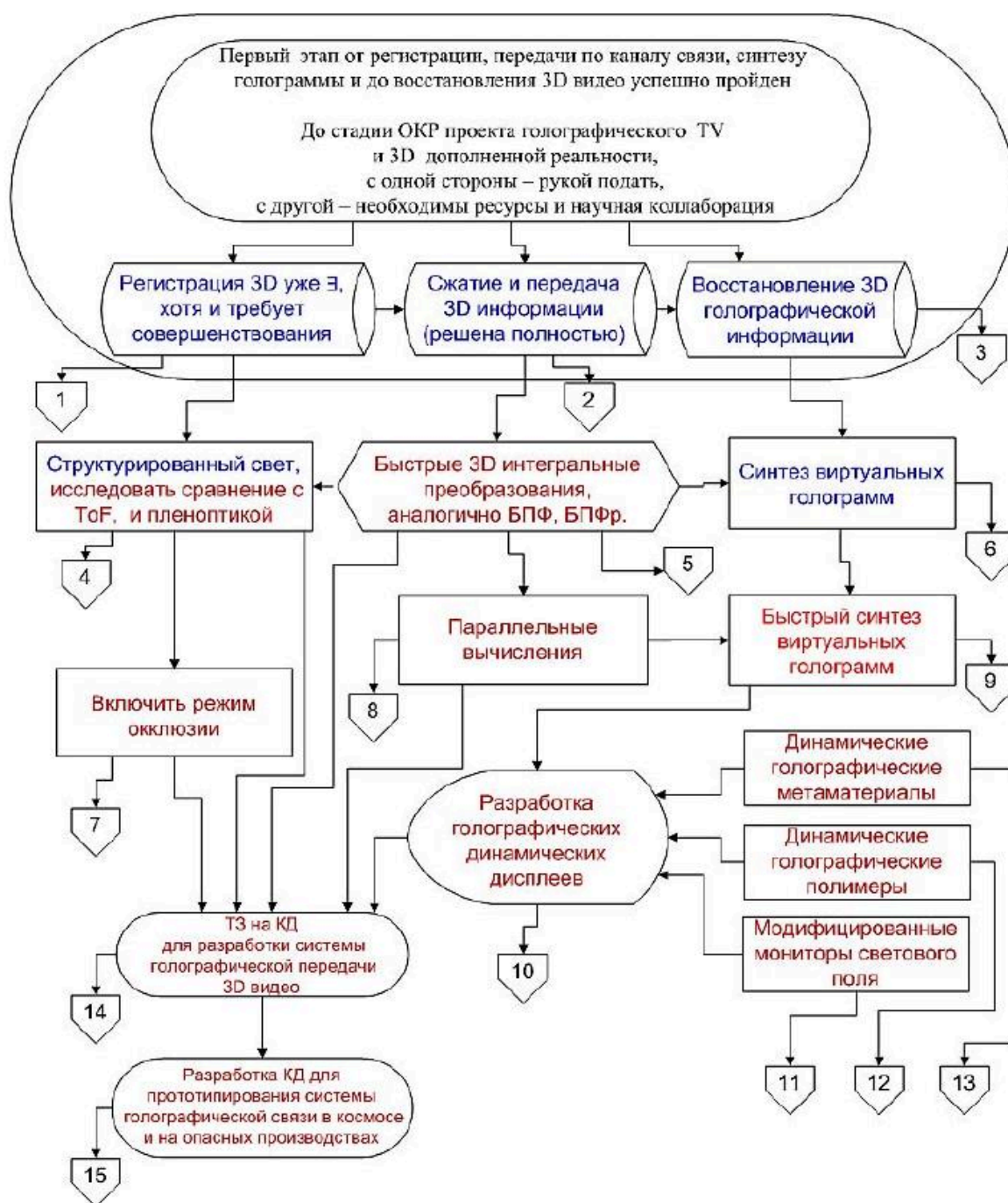


Рис. 2. Технические этапы развития голографического телевидения и 3D-дополненной реальности на сегодняшний момент

Закключение. Результаты проделанной работы показывают, что совсем не обязательно дожидаться 2150 года, как это показано на рис. 1, основанном на предположении линейного развития техники связи и классическом представлении о допустимом энтропийном сжатии голографической информации. Используя подсказанный Ю.Н. Денисюком и реализованный его учеником метод устранения из голограммы тех пространственных гармоник, которые не участвуют в формировании доступного человеческому восприятию 3D-изображения, можно сделать рывок вперед и разработать систему голографического телевидения. При этом, преодолев существующие технические проблемы, можно будет отказаться от ставшего уже традиционным импортозамещения в ближайшем будущем.

Список источников

- [1] Титарь В.П., Богданова Т.В. Проблемы создания голографической телевизионной системы. *Радиоэлектроника и информатика*, 1999, т. 2, № 7, с. 38–42.
- [2] Lucente M. The First 20 Years of Holographic Video — and the Next 20. SMPTE 2nd Annual International Conference on Stereoscopic 3D for Media and Entertainment. New York, June, 2011.
- [3] Денисюк Ю.Н. Достаточно ли известны фундаментальные принципы голографии для создания новых типов объемного кинематографа и искусственного интеллекта? *Журнал технической физики*, 1991, т. 61, № 8, с. 149–161.
- [4] Шойдин С.А. Синтез голограмм на приемном конце канала связи с объектом голографирования. *Компьютерная оптика*, 2020, т. 44, № 4, с. 547–551. <https://doi.org/10.18287/2412-6179-CO-694>
- [5] Blanche P.-A. Holography and the future of 3D display. *Light: Advanced Manufacturing*, 2021, vol. 2, no. 4, pp. 446–459. <https://doi.org/10.37188/lam.2021.028>
- [6] Шойдин С.А., Пазоев А.Л. Способ дистанционного формирования голографической записи. *Автоматрия*, 2021, т. 57, № 1, с. 92–102. <https://doi.org/10.15372/AUT20210110>
- [7] Шойдин С.А., Пазоев А.Л. Сжатие 3D-голографической информации аналогично передаче информации на одной боковой полосе. *Оптический журнал*, 2022, т. 89, № 3, с. 79–88. <https://doi.org/10.17586/1023-5086-2022-89-03-79-88>
- [8] Шойдин С.А., Пазоев А.Л. Передача голографической информации супергетеродинарованием. HOLOEXPO 2020. XVII Междунар. конф. по голографии и прикладным оптическим технологиям: тез. докл. Москва, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020, с. 87–97.
- [9] Швеи С.В., Таран В.В. *Геодезия. Топографические карты*. Москва, Московский государственный университет геодезии и картографии, 2015, 64 с.
- [10] Shoydin S.A., Pazoev A.L. Transmission of 3D Holographic Information via Conventional Communication Channels and the Possibility of Multiplexing in the Implementation of 3D Hyperspectral Images. *Photonics*, 2021, vol. 8, no. 10, pp. 448–471. <https://doi.org/10.3390/photonics8100448>
- [11] Shoydin S.A., Pazoev A.L. Structured Light Patterns Work Like a Hologram. *Applied Sciences*, 2023, vol. 13, no. 6, art. no. 4037. <https://doi.org/10.3390/app13064037>
- [12] Пазоев А.Л., Шойдин С.А. Передача 3D-голографической информации по радиоканалу методом, близким SSB. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*, 2023, № 1, с. 132–134. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2023-23-1-21-27>
- [13] Shoydin S.A., Odinokov S.B., Pazoev A.L. et al. Recording a Hologram Transmitted over a Communication Channel on One Sideband. *Applied Sciences*, 2021, vol. 11, no. 23, art. no. 11468. <https://doi.org/10.3390/app112311468>

- [14] Шойдин С.А., Пазоев А.Л., Смык А.Ф. и др. Синтезированные на приемном конце канала связи голограммы 3D объекта в технологии Dot Matrix. *Компьютерная оптика*, 2022, т. 46, № 2, с. 204–213. <https://doi.org/10.18287/2412-6179-CO-1037>
- [15] Blanche P.-A. Holographic three-dimensional telepresence using large-area photorefractive polymer. *Nature*, 2010, vol. 468, pp. 80–83. <https://doi.org/10.1038/nature09521>
- [16] Jiang Q., Jin G., Cao L. When metasurface meets hologram: principle and advances. *Advances in Optics and Photonics*, 2019, vol. 11, no. 3, pp. 518–576. <https://doi.org/10.1364/AOP.11.000518>
- [17] Lucente M. Computational holographic bandwidth compression. *IBM Systems Journal*, 1996, vol. 35, no. 3.4, pp. 349–365. <https://doi.org/10.1147/sj.353.0349>