

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Шойдина Сергея Александровича

«Голографические методы преобразования оптической информации в задачах удалённого воспроизведения динамических объёмных изображений»

по специальности 1.3.6. Оптика

на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

Несмотря на то, что принцип голографического кино разработан ещё в конце прошлого века, давно ожидаемого и сулящего значительный прогресс в дистанционной хирургии, применении беспилотных космических, воздушных, наземных и подводных аппаратов, голографического телевидения ещё нет. Одна из причин этого в том, что для передачи по существующим радиоканалам огромных массивов информации, содержащихся в голограммах, потребуется полоса частот, превышающая весь доступный радиодиапазон. Применение широкополосных оптоволоконных линий связи или прямых лазерных коммуникаций ограничено проблемой локализации приёмника. Диссертационная работа Сергея Александровича Шойдина «Голографические методы преобразования оптической информации в задачах удалённого воспроизведения динамических объёмных изображений» посвящена поиску и исследованию возможностей передачи голографической информации по существующим радиоканалам. Поэтому её **актуальность бесспорна**. Попытки сжатия голографической информации традиционными энтропийными методами, без учёта специфики голограмм развиваются уже минимум два десятка лет, однако, как признают авторы многих обзоров, достижимое энтропийное сжатие не превышает одного – двух порядков, в то время как требуется сжатие на пять – шесть порядков.

Убедительные численные оценки и анализ открытых публикаций по этой проблеме приведены **в первой главе** диссертации С.А. Шойдина. Там же

показаны некоторые альтернативные методы представления объёма в виде облака точек, полигональной и воксельной графики, волюметрической технологии, и ещё нескольких экзотических видов отображения объёма объектов, такие как поточечное формирование рисунка серией электрических разрядов, инициированных сфокусированным лазерным излучением. Все они имеют разные существенные недостатки, не позволяющие рассчитывать на их перспективность. Наиболее развитый метод облака точек, во-первых, очень затратен вычислительно, а во-вторых, в отличие от голографии, в принципе способен формировать движущееся изображение только за экраном. Полигональный метод ещё затратнее, а результаты его применения далеки от идеала. Наиболее перспективным до недавнего времени считались так называемые системы светового поля. Но и они имеют ряд недостатков, унаследованных от их прототипа – стереокино. Главным из них является противоречие между аккомодацией и вергенцией: фокусировка глаза соответствует одному расстоянию до предмета, а схождение направлений взгляда двух глаз – другому. Единственным методом, представляющим объёмное изображение так, как оно воспринимается человеческим зрением, является голографический. Важнейшее его достоинство в том, что он способен создавать 3D изображение не за экраном, а перед ним, в пространстве наблюдателя, как бы делая его участником сюжета.

На основе детального анализа существующих работ автор диссертации грамотно ставит задачи своего исследования и в последующих трёх главах детально описывает их решение. К задаче существенного сжатия голографической информации он подошёл, опираясь не на отвлечённые, хотя и ставшие традиционными, чисто математические – энтропийные методы сжатия, а на голографические методы преобразования оптической информации, изучая пространственно – частотную структуру голограмм.

Цель работы состоит в нахождении метода голографического преобразования трёхмерного видеосигнала, позволяющего передавать его по радиоканалам и восстанавливать на приёмном конце канала видеоряд из

трёхмерных изображений с телевизионной частотой смены кадров, высоким пространственным разрешением, наличием как вертикального, так и горизонтального непрерывного параллакса в каждом кадре.

Во второй главе соискатель, исследуя информационную структуру голографической дифракционной решётки, находит, что она состоит из двух типов гармоник, которые могут быть искусственно разделены. Первый тип гармоник представляет собой некоторый эквивалент несущих пространственных частот, которые позволяют разделить порядки дифракции при восстановлении голограммой объёмного изображения, а второй передаёт информацию об этом изображении в виде девиации этих несущих гармоник. Разделяя эти гармоники, можно передавать только информационную компоненту, соединяя её с несущими гармониками уже на приёмном конце радиоканала. Это само по себе обеспечивает существенное сжатие, однако С.А. Шойдин идёт дальше и показывает ещё более эффективный метод передачи, при котором информационная компонента сигнала передаётся не спектральной селекцией со спектральным сжатием, а основными модальностями трёхмерного изображения – картой высот голографируемой сцены и текстурой её поверхности. Автор в убедительном численном эксперименте показывает ещё на порядок более высокую степень сжатия предложенным методом, показывая, что это похоже на передачу голограммы, записанной в радиодиапазоне. Отсюда следует вывод о возможности подумать о переносе изображения объёмного голографируемого объекта в любой участок спектра. Автор эту возможность тоже показывает в своей работе. Более того, он делает революционный вывод о том, что в рамках предложенного метода может объединяться информация, полученная из двух физически разных процессов, например, карта высот из акустического диапазона легко объединяется с текстурой поверхности, полученной в стандартной телевизионной технологии. Внимательное исследование полученного результата позволило автору распространить его на реализацию гиперспектральных изображений и на мультиплицирование каналов связи, при котором одна и та же карта высот (маска) одинаково работает с текстурами не только в видимом изображении, но также и в ИК, УФ диапазонах.

Глубокое и неформальное проникновение в тему автор демонстрирует **в третьей главе**, где исследует основные типы принципиально неустранимых в полной мере погрешностей восстановления как аналоговых, так и цифровых компьютерных голограмм, которые поддаются исправлению только частично. Важно не то, что эти искажения влияют на информационный поток через слабый логарифмический компонент формулы Шеннона, а то, что информационный поток исследован полностью, до конца, во всех его проявлениях. К этим ограничениям относится и сравнительно давно экспериментально обнаруженный автором эффект спекл-резонанса, вдвое быстрее поглощающий динамический диапазон фотоотклика голографического материала, ставший одним из экспериментальных обоснований модовой теории голограмм Зельдовича. К ограничениям относятся и неустранимое проявление алиасинга при голографировании объёмных объектов, поскольку у них всегда существуют участки поверхности, тангенциальная составляющая которых нормальна поверхности голограммы, и самый интересный – эффект формфактора, которому С.А. Шойдин посвятил ряд своих публикаций. Этот эффект проявляется только при одновременном наличии нелинейности двух видов: распределения экспозиции по полю голограммы и зависимости дифракционной эффективности от экспозиции. Заслуживает особого внимания тот факт, что ограничивающий дифракционную эффективность голограмм эффект формфактора нашёл эффективное применение в измерении кинетики фотоотклика новых разрабатываемых голографических материалов с большой точностью, сравнимой с точностью интерференционных измерений. Это подтверждается как патентом, полученным автором диссертации совместно с Институтом прикладной физики АН Молдавии, так и полученным в этом институте актом о внедрении. Разработанный метод уже успешно применяется при исследовании различных композиций на основе халькогенидных стеклообразных полупроводников и на основе азополимеров.

В четвёртой главе С.А. Шойдин приводит ряд впечатляющих экспериментальных результатов. Это серия передач с телевизионной частотой смены голографических кадров и синтеза на приёмном конце канала связи

компьютерных голограмм, восстанавливающих объёмные изображения с высоким пространственным разрешением, не хуже стандарта Full HD, каждый кадр которого обладает непрерывным вертикальным и горизонтальным параллаксом. Важно, что по синтезированным на конце канала связи компьютерным голограммам автор синтезирует два типа материальных аналоговых голограмм. Первый тип реализует дискретный параллакс, хотя это связано с применяемой для синтеза аппаратурой. Второй тип аналоговых голограмм реализует непрерывный параллакс, убедительно показывая возможность преобразования трёхмерного голографического видеосигнала, позволяющего передавать его по существующим радиоканалам с телевизионной частотой смены кадров. При этом на приёмном конце канала восстанавливается видеоряд из трёхмерных изображений высокого пространственного разрешения, не хуже стандартов современного телевидения высокой чёткости, где каждый кадр обладает вертикальным и горизонтальным непрерывным параллаксом.

Далее С.А. Шойдин исследует структуру зафиксированных на фотоносителе полос, используемых им для регистрации карты высот голографируемого объекта во второй главе диссертации, и находит, что она сама обладает свойствами голограммы. В той же четвёртой главе автор численными экспериментами доказывает, что зафиксированная структура из параллельных полос, латерально освещающих объёмный объект голографирования, простыми преобразованиями может быть трансформирована в структуру, дифракция на которой восстанавливает объёмное изображение аналогично голограмме.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Достоверность полученных автором теоретических результатов определяется корректно выбранной для поставленной задачи моделью скалярного приближения теории дифракции. Обоснованность научных положений и выводов диссертационной работы подтверждается тем, что для получения результатов и их пояснения эффективно использованы аналитические

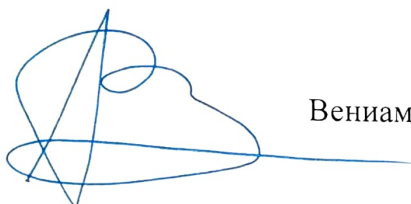
оценки, имитационное моделирование численными методами в различных программных продуктах и обработка прямых физических экспериментальных данных.

К результатам, обладающим научной новизной, следует отнести полученные автором результаты по изучению структуры голографической дифракционной решётки, позволившие сжать голографическую информацию более чем на 4 порядка и передавать её с высоким качеством в восстановленном динамически меняющемся изображении, с телевизионной частотой смены голографических кадров, каждый из которых обладает вертикальным и горизонтальным непрерывным параллаксом. Автором глубоко исследованы принципиально неустранимые эффекты, ограничивающие дифракционную эффективность и энтропию голограмм, часть которых уже нашла успешное применение в смежных областях голографии.

Работа написана чётко, логично, грамотно; мне едва удалось найти в ней единичные опечатки. **В качестве замечания** можно было бы высказать отсутствие ответа на вопрос, какие aberrации порождаются в предложенном автором оригинальном методе преобразования используемого структурированного света в голограмму на этапе восстановления ею трёхмерного изображения. Тот факт, что aberrации трёхмерных голографических изображений могут являться новым направлением исследований, позволяет снять это замечание с сегодняшней повестки, вынести его за рамки рассматриваемой диссертационной работы и признать новизну и актуальность тех результатов, которые по этому вопросу уже получены соискателем. Я также просил бы автора диссертации дополнительно пояснить его суждение о разной физической природе гармоник голограммы. Однако эти – даже не замечания, а вопросы – ни в коей мере не ставят под сомнение достоверность и научную значимость полученных С.А. Шойдиным результатов, представленных им в диссертации, и безусловно высокую её оценку оппонентом.

Я считаю, что представленная С.А. Шойдиным диссертационная работа. «Голографические методы преобразования оптической информации в задачах удалённого воспроизведения динамических объёмных изображений» вполне отвечает критериям, установленным в п.9-14 Положения о порядке присуждения учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, а её автор Шойдин Сергей Александрович заслуживает присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.6 Оптика.

Доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», г. Санкт-Петербург.



Вениаминов Андрей Викторович

Национальный исследовательский университет ИТМО
197101 Санкт-Петербург,
Кронверкский пр., д. 49, лит. А.,
Телефон: +7-911-210-82-27,
E-mail: avveniaminov@itmo.ru

Подпись *Вениаминов А.В.*
удостоверяю
Менеджер ОПС
Пономарева О.В.

