

УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора по научной и инновационной
деятельности Национального исследовательского
Томского государственного университета,
кандидат геолого-минералогических наук,
профессор



Краснова Татьяна Семеновна

« 23 » мая 2023 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – Национального исследовательского Томского государственного университета – на диссертацию Шойдина Сергея Александровича «Голографические методы преобразования оптической информации в задачах удаленного воспроизведения динамических объемных изображений», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика

Диссертация Шойдина Сергея Александровича посвящена исследованию голографических методов преобразования оптической информации в задачах удаленного воспроизведения динамических объемных изображений. Тема и задачи работы, несомненно, актуальны, достаточно обоснованы в первой главе диссертации, посвященной изучению открытых материалов. Отмечается, что большая информационная емкость голограмм буквально наложила запрет на прямую передачу голографического видеоряда, поскольку для этого нужен диапазон частот, превышающий доступный человечеству радиодиапазон. Передача голографической информации по световодному каналу в принципе возможна, но не всегда приемлема, поскольку ограничена локализацией точки приема. Альтернативные методы регистрации и передачи 3D информации (облако точек, полигональная и воксельная графика и др.) также очень ресурсоемки и обладают целым рядом собственных недостатков. Так, один из самых развивающихся сегодня, метод светового поля, унаследовал в себе от своего предшественника – стереосистем, так называемое А/С противоречие, когда аккомодация фокусировки глаз и конвергенция их направления противоречат друг-другу, препятствуя длительной работе оператора.

В первой главе диссертации Шойдина С. А. показано, что в отличие от всех других методов голографический метод регистрации и представления 3D информации является самым совершенным, обеспечивающим естественное восприятие объема всеми имеющимися у человека способами: аккомодацией, вергенцией, окклюзией, нелаμβертовским затенением и параллаксом движения. Именно голографический метод является единственным, способным восстанавливать действительное 3D изображение в пространстве перед экраном,

прямо в зоне нахождения оператора, делая его как бы соучастником сюжета. Для передачи голографической информации о движущихся 3D объектах требуются эффективные методы ее сжатия. В течение последних 20 лет разработаны методы сжатия такой голографической информации, основанные на математическом, энтропийном подходе. Однако они позволяют осуществить сжатие потока голографической видеoinформации всего лишь в 10-100 раз. Этого слишком мало для эффективной передачи голографического видеоряда по радиоканалу, поскольку нужно достичь степени сжатия до 5-6 порядков.

Это определило цель и задачи диссертации Шойдина С. А., в которой автор отходит от чисто математических – энтропийных методов сжатия и ищет решение проблемы в исследовании физической структуры голограмм.

Целью диссертационного исследования соискателя стали:

1. Определение основных физических закономерностей, ограничивающих плотность записи информации и энтропию в классических и цифровых голограммах динамических живых объектов.

2. Поиск методов, позволяющих осуществлять передачу голографической 3D информации по каналам связи высокого пространственного разрешения, с TV частотой кадровой развертки и непрерывным параллаксом восстановленного изображения.

Для достижения этих целей были поставлены следующие задачи:

1. Исследовать физические свойства голограмм для определения методов преобразования и сжатия передаваемой 3D голографической информации.

2. Исследовать проблемы синтеза компьютерных голограмм и их физической реализации с использованием метода регистрации карты высот, включая вопросы формирования непрерывного горизонтального и вертикального параллакса.

3. Исследовать физические причины имманентно присущих голограммам и принципиально неустранимых в полной мере ограничений дифракционной эффективности (ДЭ) и энтропии.

4. Провести физические эксперименты по передаче необходимой информации с TV частотой кадровой развертки, достаточной для синтеза аналоговой голограммы, записанной на материальном носителе, на приемном конце канала связи.

Во второй главе автор анализирует структуру пространственных дифракционных решеток голограммы и показывает, что голограмма содержит два типа гармоник, имеющих разную физическую природу. Один из типов этих гармоник несет служебную функцию, разделяя дифрагировавшие порядки в пространстве, а второй, представляющий собой их девиацию, восстанавливает изображение заголографированного 3D объекта в одном из порядков. На этой основе автор предлагает оригинальное решение сжатия голографической информации. Поскольку эти гармоники имеют разную физическую природу, то могут быть искусственно разделены и переданы по отдельности, а на приемном конце канала связи, при синтезе компьютерной голограммы, объединены вновь. Причем несущие гармоники без девиации имеют простой вид, их даже не надо

передавать, можно сравнительно просто синтезировать на приемном конце канала связи. Автор показывает, как это можно сделать методом передачи информации о голографируемом объекте двумя основными модальностями – картой высот и текстурой поверхности объекта. При этом соискатель численными экспериментами доказывает, что передача 3D информации предложенным методом еще на порядок экономнее спектральной селекции информационного минус первого порядка, успешно применяемого для 2D сигналов, где в известной технологии JPEG применяется косинусное кодирование.

Далее, в работе соискатель глубже проникает в специфику предложенного метода передачи 3D голографической информации двумя модальностями (2D текстура поверхности и 2D карта высот), без несущей пространственной частоты и предлагает взамен синтеза голограммы использовать решетку, полученную методом структурированного света. Такая решетка ранее использовалась автором для получения карты высот 3D объекта при его латеральном освещении. В четвертой главе показано, что такая решетка с наложенной на нее текстурой восстанавливает в одном из порядков дифракции 3D изображение объекта при освещении ее опорным пучком, согласованным с ней условиями Брэгга. Кроме того, результаты второй и четвертой глав показывают, что предложенный Шойдиным С. А. метод передачи голографической информации сравнительно легко позволяет перемещать 3D изображения по спектру электромагнитного диапазона, создавать мультиспектральные 3D изображения и даже объединять акустическое зондирование и TV технологию для синтеза объемных динамических сюжетов. В дистанционной хирургии, стыковке подводных и космических неподготовленных аппаратов это может оказаться очень эффективным решением.

В остальных параграфах четвертой главы автор приводит убедительные экспериментальные результаты, подтверждающие возможность передачи голографического видеоряда с TV частотой кадровой развертки, каждый кадр которого одновременно обладает высоким пространственным разрешением и непрерывным горизонтальным и вертикальным параллаксом. Также в этой главе Шойдин С. А. приводит результаты экспериментальной записи материальных голограмм 3D живого объекта, по компьютерным голограммам, синтезированным на приемном конце канала связи. Наличие высокого пространственного разрешения восстановленных голограммами изображений и наличие непрерывного горизонтального и вертикального параллакса убедительно доказывает реализуемость поставленных в диссертации задач.

В третьей главе диссертации, изучая проявления логарифмической составляющей формулы Шеннона в голографии и опираясь на известный прецедент из истории кодирования, автор обращает внимание на особую чувствительность увеличения отношения сигнал/шум к уменьшению информационной емкости. Однако изучение источников ошибок и различных шумов в голографии слишком большая задача, чтобы быть охваченной в одной работе. Поэтому соискатель концентрирует внимание на трех наиболее

значимых, поскольку они принципиально не могут быть устранены полностью, а только может быть снижено их влияние. Один из них - это резонанс спекл-поля, экспериментально полученный автором сравнительно давно и поэтому не включенный в защищаемые положения, хотя он и явился одним из подтверждений модовой теории голографии Б. Я. Зельдовича. Второй – обязательное проявление алиасинга компьютерных голограмм для объемных тел, когда неминуемо какие-то их участки поверхности приближаются к нормали к поверхности голограммы. И третий – формфактор голограмм, который наблюдается в экспериментах многих авторов, но до последнего времени объяснен не был.

Соискатель доказал, что эффект формфактора проявляется только при одновременном существовании двух нелинейностей – нелинейности распределения экспозиции по полю голограммы и нелинейности дифракционной эффективности от той же экспозиции. Этот эффект был назван формфактором по аналогии с формфактором в геодезии и атомной физике, где сложные тела и частицы взаимодействуют со сложными полями. То, что этот эффект проявляется и при записи голограмм, работающих в условиях дифракции Брэгга, и в условиях дифракции Рамана–Ната, говорит о его универсальной природе, по крайней мере, охватывающей все наиболее известные типы голограмм.

Полученные Шойдиным С. А. в третьей главе диссертации результаты позволяют не только оценить влияние указанных эффектов на энтропию голограмм и понять пути уменьшения их влияния, но и открывают новые возможности в соседних областях голографии. Так, автором, совместно с Институтом прикладной физики (ИПФ) АН Молдовы, получен патент на использование эффекта формфактора для измерения кинетики дифракционной эффективности непосредственно в процессе записи голограмм на вновь разрабатываемых голографических материалах. Для случая голограмм, работающих в режиме Рамана–Ната, такой принципиально новый метод дает точность измерения фотоотклика не хуже интерферометрической, хотя намного проще и почти не требует дополнительного оборудования. Это свидетельствует о том, что полученные в диссертации Шойдина С. А. результаты часто имеют общеголографический характер, как бы отвечая на цитируемый автором вопрос основателя голографии, Ю. Н. Денисюка: «Достаточно ли известны фундаментальные принципы голографии для создания новых типов объемного кинематографа и искусственного интеллекта?»

Таким образом, все поставленные автором задачи в диссертации решены. Защищаемые положения корректны и доказаны.

Обоснованность научных положений, выводов и всех полученных результатов подтверждается правильно выбранной моделью скалярного приближения теории дифракции, а также непротиворечивостью как полученных теоретических и экспериментальных результатов между собой, так и с другими результатами в смежных областях исследований.

Научной новизной обладают полученные автором результаты по изучению физической структуры голограмм и возможностью ее использовать для

эффективного сжатия голографического видеоряда. Также научная новизна с очевидностью присутствует в результатах по ограничениям дифракционной эффективности и энтропии голограмм тремя неустраняемыми физическими эффектами – спекл-резонанса, алиасинга в голограммах, записывающих изображения 3D объектов и формфактора голограмм.

Практическая значимость работы Шойдина С. А. заключается не только в уже полученных результатах внедрения в ИПФ АН Молдовы и на Новосибирском приборостроительном заводе, но и в открывающихся по результатам исследования возможностях новых подходов в решении задач стыковки подводных и космических аппаратов, особенно когда один из них к такой операции не подготовлен. Незаменимым считаем предложенный автором метод передачи гиперспектральной 3D информации в дистанционной и особенно в опухолевой дистанционной хирургии.

Все защищаемые положения сформулированы корректно и достаточно обоснованы не только теоретическими выкладками автора, но и проведенными им численными и физическими экспериментами.

На проведенном в ведущей организации научном семинаре, посвященном докладу Шойдина С. А. по диссертации «Голографические методы преобразования оптической информации в задачах удаленного воспроизведения динамических объемных изображений», автору были заданы, следующие вопросы:

1. За счет чего удастся достигнуть максимальной дифракционной эффективности голограмм?

2. Каковы перспективы применения Вашего метода для передачи голографической информации? Насколько отечественная промышленность готова к реализации этой технологии?

3. Уточните, что физически означает параметр формфактор.

4. Какова степень сжатия синтезированных Вами изображений по сравнению с исходным голографическим изображением? За счет чего удалось добиться такой степени сжатия?

На все вопросы автор дал исчерпывающие ответы.

Решением кафедры оптико-электронных систем и дистанционного зондирования Национального исследовательского Томского государственного университета от 23 мая 2023 г. диссертация «Голографические методы преобразования оптической информации в задачах удаленного воспроизведения динамических объемных изображений» признана соответствующей требованиям, установленным п. 9–11, 13, 14 действующего Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Шойдин Сергей Александрович, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика.

Совокупность результатов и выводов, полученных в диссертационной работе Шойдина С. А., следует квалифицировать как научное достижение в области голографии.

Отзыв подготовлен профессорами кафедры оптико-электронных систем и дистанционного зондирования Национального исследовательского Томского государственного университета: доктором физико-математических наук, профессором И.В. Самохваловым и доктором технических наук, профессором В.Т. Калайдой.

Отзыв на диссертацию С. А. Шойдина обсужден и одобрен на заседании кафедры оптико-электронных систем и дистанционного зондирования Национального исследовательского Томского государственного университета, протокол № 5 от 23 мая 2023 г.

Профессор кафедры оптико-электронных систем и дистанционного зондирования федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», доктор физико-математических наук (01.04.05 – Оптика), лауреат Государственной премии СССР в области науки и техники, профессор

Самохвалов Игнатий Викторович

Профессор кафедры оптико-электронных систем и дистанционного зондирования федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», доктор технических наук (05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), профессор

Калайда Владимир Тимофеевич

Доцент кафедры оптико-электронных систем и дистанционного зондирования федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», кандидат физико-математических наук (01.04.05 – Оптика), лауреат премии Президента РФ в области науки и инноваций для молодых ученых за 2018 год

Горлов Евгений Владимирович

23 мая 2023 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»; 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36; (3822) 52-98-52; rector@tsu.ru; <http://www.tsu.ru>