

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу

Шойдина Сергея Александровича

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

представленную на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук

по специальности 1.3.6 – Оптика

Актуальность темы диссертации

Реалистичность отображения статических объектов в видимом диапазоне современными художественными голограммами вызывает естественную потребность решения задач получения таких же по качеству голографических изображений в динамическом режиме и их трансляции по каналам связи. Решение этих задач, кроме развития традиционного телевизионного вещания, позволит создать и качественно новые системы анализа и обработки информации, которые могут быть использованы, например, в телеуправлении и телемедицине. Однако гигантский объем информации, которую необходимо передать по линиям связи для удалённого воспроизведения полных голограмм динамических объёмных изображений, требует поиска методов его уменьшения на 5–6 порядков. В связи с этим, тема диссертационной работы С.А. Шойдина, цель которой может быть кратко сформулирована как исследование структуры голограмм объёмных изображений и поиск методов сжатия содержащейся в таких голограммах информации, для передачи по традиционным радиоканалам голографического видео и 3D-дополненной реальности, является актуальной.

Содержание диссертации

Диссертация С.А. Шойдина состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включающего 265 наименований. Объем диссертации составляет 400 страниц, включая 8 таблиц, 166 рисунков и 5 приложений. В приложении приведены акты о внедрении, а также 2 патента на изобретения.

В первой главе автор, проводя литературный обзор, анализирует основные методы представления 3D-информации в цифровой форме и обоснованно приходит к выводу о том, что традиционные пути сжатия информации, основанные на энтропийном кодировании, трудно реализуемы. На основе собственных численных оценок, а также в согласии с результатами других авторов, С.А. Шойдин приходит к выводу о том, что требуется новый

подход, основанный на физических представлениях о лучевом пространстве, в котором формируется голограмма. Другие методы создания иллюзии 3D-изображений не обладают имеющимся у голограмм преимуществами. К ним прежде всего относится отсутствие при восприятии голограмм противоречия между аккомодацией и конвергенцией; наличие непрерывного параллакса, окклюзии, параллакса движения, нелаμβертовского затенения, и других воспринимаемые глазом признаков объёма. Кроме того, голографический метод восстановления 3D-изображений не за экраном, а перед ним, когда оператор становится участником виртуального 3D-сюжета, не имеет аналогов. На основе анализа результатов, рассмотренных в первой главе, автор формулирует основные задачи исследования.

Во второй главе соискатель ищет подходы к решению поставленных задач и находит решение, что нет необходимости дважды формировать голограмму, один раз – на передающем конце канала связи, а другой – на её приёмном конце. При этом встаёт вопрос, как передавать с телевизионной частотой смены кадров на приёмный конец информацию о 3D-объекте так, чтобы на приёмном конце можно было сформировать полноценную голограмму такого 3D-объекта. С.А. Шойдин предлагает делать это с помощью карты высот 3D-сцены и текстуры её поверхности, попутно доказывая в серии численных экспериментов, что этот метод позволяет получать на порядок лучшее разрешение в восстановленном изображении, чем даёт традиционная спектральная селекция, широко распространённая в двумерных методах сжатия, например, таких как JPEG. Находя попутно методы решения ряда выявляющихся при этом проблем, автор выделяет из них три самые значимые, неустранимых в принципе, поддающихся только частичной компенсации. Это резонанс спекл-поля, алиасинг компьютерных голограмм 3D-объектов и формфактор голограмм. Физический смысл последнего, объясняющего, в частности, причину недостижимости дифракционной эффективности, предсказанной в модели Когельника, и проявляющегося только при одновременном существовании двух типов нелинейности – нелинейного распределения экспозиции по полю голограммы при её записи и нелинейной зависимости дифракционной эффективности от экспозиции, был впервые объяснён автором.

В третьей главе С.А. Шойдин рассматривает эффект формфактора более подробно, так как он непосредственно влияет на достижимую дифракционную эффективность и информационную ёмкость (энтропию) голограмм. При этом обнаруживаются его интересные и полезные свойства, к которым можно отнести следующее. Формфактор проявляется не только в

объёмных голограммах, восстанавливаемых в режиме дифракции Брэгга, но и в тонких голограммах, считываемых в режиме дифракции Рамана-Ната. Он может быть использован для описания наблюдаемых эффектов не только для голограмм гауссовых пучков, но и в случае голограмм любых сложных объектных и опорных пучков, как, например для портретных голограммах или голограмм Фурье. Это указывает на его общую для разных ситуаций, глубокую физическую природу. Кроме того, как показывает автор, использование этого понятия позволяет выбрать оптимальные условия для процессов записи и восстановления голограмм в используемом фоточувствительном материале. Например, с ростом нелинейности фотоотклика определяемая формфактором дифракционная эффективность может не только не падать, а наоборот, расти; с его помощью можно регулировать соотношения яркости восстановленного изображения по глубине, когда вынесенное перед плоскостью голограммы изображение становится ярче изображения за голограммой и наоборот; и т. д. Важность учёта этого эффекта и его более детального изучения подчёркивает тот факт, что он позволил по новому подойти к процессу измерения кинетики дифракционной эффективности разрабатываемых голографических материалов. Дифракционный по своей сути, этот эффект позволил непосредственно в процессе записи голограмм проводить измерения такого типа взамен интерференционных, причём с подобной же точностью, что закреплено полученным патентом.

В четвертой главе автор предлагает использовать дифракционную структуру, полученную при фиксации решётки структурированного света из параллельных полос, косо освещающих объект, как саму голограмму. Для этого такая структура была преобразована путём медианного мультиплицирования полос в решётку, согласованную с восстанавливающей волной по условиям Брэгга. С.А. Шойдин численным экспериментом доказывает, что при дифракции на такой структуре образуется несколько порядков дифракции, один из которых восстанавливает 3D-изображение объекта. Далее в главе приводятся результаты ряда экспериментов, подтверждающих возможность передачи голографической информации по существующим в настоящее время радиоканалам и ряда прямых физических экспериментов по синтезу аналоговых материальных голограмм на основе синтезированных на приёмном конце канала связи их компьютерных вариантов. В заключение автор приводит выборку из серии, состоящей из 291 кадра 3D-изображения движущегося живого объекта, переданного с телевизионной частотой кадровой развёртки. Каждый кадр представляет собой 3D-изображение с высоким (не хуже Full HD) пространственным

разрешением и непрерывным параллаксом, что подтверждает правильность выбранного С.А. Шойдиным пути, корректность полученных в численных и физических экспериментах результатов, и возможность создания голографического телевидения и 3D-дополненной реальности.

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

Достоверность полученных автором теоретических выводов определяется корректно выбранной моделью скалярного приближения теории дифракции, а также непротиворечивостью полученных результатов между собой и в сравнении с другими известными результатами исследований в области голографии. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных автором диссертационной работы, подтверждается совпадением использованных аналитических оценок с полученными результатами моделирования численными методами в различных программных продуктах и с результатами, полученными им в прямых физических экспериментах.

Новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Новизна выполненной работы состоит, в частности, в полученных автором результатах в части физических подходов к описанию структуры голографической дифракционной решётки, которые определяют степень сжатия голографической информации, что соответствует требованиям п. 1 направления исследований по паспорту научной специальности 1.3.6 – Оптика (физ.-мат. науки).

Используя структурированный свет для сжатия голографической информации, С.А. Шойдин доказал аналогичность его структуры из параллельных полос, при боковом освещении объекта, самой голограмме сфокусированных изображений, что соответствует требованиям пп. 2, 3 направления исследований по паспорту научной специальности 1.3.6 – Оптика (физ.-мат. науки).

Принцип формирования 3D-голографического, динамически меняющегося на приёмном конце канала связи изображения, обладающего одновременно непрерывным параллаксом и высоким пространственным разрешением, разработанный автором и защищённый патентом, может стать основой построения новых оптических систем и инструментов, что соответствует требованиям пп.3, 4 направления исследований по паспорту научной специальности 1.3.6 – Оптика (физ.-мат. науки).

Также, без сомнения обладают научной новизной полученные автором результаты по определению трех основных неустранимых полностью эффектов, вызывающих искажения восстановленного голограммой изображения: резонанс спекл-поля, неустранимый алиасинг компьютерных голограмм объёмных объектов и формфактор голограмм. Кроме непосредственного использования в диссертационном исследовании, первый из них был использован Б.Я. Зельдовичем при создании модовой теории голограмм, второй – при собственных расчётах автора голограмм живого 3D-объекта, а третий нашёл применение в области исследования голографических материалов. Он позволяет новым, дифракционным способом, измерять кинетику фотоотклика разрабатываемых фоточувствительных сред прямо в процессе записи голограмм, что уже используется в экспериментах в Институте прикладной физики Молдовы.

Практическая ценность и значимость результатов диссертации

Практическая ценность полученных соискателем результатов заключается:

- в снятии противоречия между большой информационной ёмкостью голограмм и ограниченным спектром радиодиапазона, ранее не позволявшем передавать по радиоканалу голографическую информацию с телевизионной частотой смены кадров, так, что каждый голографический кадр восстанавливает 3D-изображение с высоким пространственным разрешением при наличии непрерывного параллакса;
- в появлении окна возможностей для решения задач дистанционной хирургии, стыковки с неподготовленными для этого объектами в космосе и под водой, а также нового подхода для обеспечения дистанционных работ в любых агрессивных средах;
- в удобстве предложенного и запатентованного автором метода передачи голографической информации при синтезе мультиспектральных голограмм и перемещения 3D-изображений по спектру, что может оказаться решающим преимуществом при решении задач дистанционной телемедицины.

Значимость полученных результатов подтверждается двумя патентами, двумя актами о внедрении результатов исследования как в России, так и в ближнем зарубежье, апробацией результатов на 21 международной конференции, публикацией 54 научных статей, 18 из которых – в изданиях, входящих в международные базы цитирования WoS, 6 – в изданиях Scopus и одна – в журнале, рекомендованном ВАК для публикации материалов докторских диссертаций.

В числе недостатков диссертации отмечу следующие.

1. Проведенное в параграфе 3.5 рассмотрение влияния временной когерентности лазерного излучения на формфактор представляется излишним, поскольку одночастотные лазеры видимого диапазона являются в настоящее время вполне коммерчески доступными.
2. При анализе формфактора автор уделяет основное внимание, в том числе и при численном моделировании, гауссовым пучкам. Однако в настоящее время в оптических системах используются пучки и с другим распределением интенсивности, в частности, в виде супергауссовых функций различного порядка и квадрата функции Бесселя первого рода нулевого порядка. К сожалению, в диссертации расчет введенного С.А. Шойдиным формфактора для таких пучков, хотя бы на основе численного моделирования, не проводился.
3. Хотя диссертация написана хорошим грамотным языком, её оформлению автор не уделил должного внимания. В частности, отсутствует единообразие в представлении математических формул: в некоторых из них поставлены точки (см., например, формулу (1.3) на стр. 24), означающие произведение, а в других такие точки отсутствуют (формула (1.4) на той же стр. 24). Единообразие в оформлении рисунков также отсутствует: например, если в параграфе 3.6 экспозиция на рисунках измеряется в минутах, то в параграфе 3.3 она на что-то нормирована и изменяется от 0 до 10.

Заключение

В диссертации последовательно излагаются все основные результаты, что позволило автору обосновать выводы по работе и положения, выносимые на защиту. Рассматриваемая диссертационная работа является завершенным научно-исследовательским трудом, достойным претендовать на получение докторской степени по физико-математическим наукам. Она характеризуется внутренним единством структуры, основанном на последовательном и многостороннем рассмотрении голографических методов преобразования оптической информации, подходов к сжатию ее объема для передачи по каналам связи и формированию на приемном конце динамических трехмерных изображений. Полученные в ней результаты свидетельствуют об их соответствии поставленной цели и задачам.

Несмотря на приведённые выше отдельные замечания, часть из которых можно отнести к пожеланиям о направлениях дальнейшего развития представленной работы, на данном этапе её можно считать завершённым научным исследованием с отчётливо сформулированными результатами и защищаемыми положениями, имеющими научное и практическое значения.

Автореферат соответствует всем требованиям ВАК Минобрнауки РФ, правильно и полно отражая основное содержание диссертации.

Совокупность результатов и выводов, полученных в диссертационной работе С.А. Шойдина, можно квалифицировать как научное достижение в области голографии. Считаю, что диссертация С.А. Шойдина «Голографические методы преобразования оптической информации в задачах удалённого воспроизведения динамических объёмных изображений» 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 присвоения ему учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.6 – Оптика.

Официальный оппонент,

Шандаров Станислав Михайлович

профессор кафедры электронных приборов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», доктор физико-математических наук (01.04.03 – Радиофизика), профессор по кафедре электронных приборов



Шандаров Станислав Михайлович

Тел.: 8 (3822) 41-38-87

e-mail: stanislav.m.shandarov@tusur.ru

«13» июня 2023 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (просп. Ленина, 40, Томск, Томская область, 634050, тел.: 8 (3822) 51-05-30, e-mail: office@tusur.ru <https://www.tusur.ru>

Подпись доктора физико-математических наук, профессора Станислава Михайловича Шандарова **УДОСТОВЕРЯЮ:**

Нач. общего отдела

Телефон: 8 (3822) 51-32-62



С.В. Мощанская