

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Маткивского Василия Александровича «Коррекция фазовых искажений и определение границ объекта в оптической когерентной томографии с использованием методов математической статистики и дифференциальной геометрии», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. — радиофизика

Для задачи визуализации и измерения различных характеристик биологических объектов активно применяются различные оптические методы. Одним из таких методов является оптическая когерентная томография (ОКТ). В первую очередь развитие ОКТ было связано с визуализацией внутренней структуры глазного дна, что и по настоящее время остается невозможным для других методов исследования.

Развитие ОКТ открыло новые возможности по получению дополнительной информации об объекте. Благодаря регистрации фазы принимаемого излучения, становятся возможными реализация различных методов коррекции изображений, недоступных для применения к яркостным изображениям. Одной из областей применения таких методов является численная коррекция влияния оптических aberrаций и материальной дисперсии среды. Применение указанных методов позволяет значительно упростить и удешевить оптические схемы приборов и установок при сохранении высокого качества изображения. Также широко востребованной является автоматизация процессов измерения геометрических параметров визуализируемых объектов, что позволяет значительно облегчить работу операторов ОКТ устройств. В связи с этим актуальность исследования Маткивского В.А., посвященного указанным выше задачам, не вызывает сомнений.

Цель диссертационной работы

Целью работы является разработка численных методов, направленных на увеличение поперечного разрешения ОКТ изображений путем численной компенсации влияния оптических aberrаций и восстановление продольного разрешения ОКТ изображений путем численной компенсации влияния материальной дисперсии, а также на автоматическое определение толщины барабанной перепонки на основе анализа ОКТ изображений.

Краткий анализ структуры и содержания работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации составляет 114 страниц, 29 рисунков и список литературы, состоящий из 129 источников.

Во введении обоснована актуальность темы, показана научная новизна, изложены цель и задача исследования, сформулированы теоретическая и практическая значимость, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе автором проведен обзор ОКТ-методов получения изображений. Уделено внимание возможности получать ОКТ-изображений со стабильной фазой. Это обстоятельство является критичным для возможности применения ряда численных методов коррекции. Рассмотрены методы определения оптических аберраций и материальной дисперсии среды по ОКТ-изображениям. Обсуждены основные недостатки, присущие этим методам. Рассмотрены методы автоматического определения толщины барабанной перепонки, представленные в литературе.

Во второй главе речь идет о коррекции ОКТ-изображений. Для этого автор применяет метод известный в радиолокации как фазовый градиентный автофокус. Суть этого метода в следующем: на изображении находится ряд ярких структур. Вокруг них выделяются небольшие участки распределения комплексных амплитуд (суб-изображения), все остальное обнуляется. По полученному набору суб-изображений пересчитывается поле в плоскость, где внесены аберрации. Далее усредняются градиенты фазы и находится искомая волновая аберрация. Процесс продолжается итерационно, пока находимая, на очередной итерации, фаза не будет достаточно мала или пока качество изображения не перестанет улучшаться. Представлены результаты численной апробации предложенного метода. Была проведена и экспериментальная верификация с использованием установки цифровой голографии и модельного объекта – USAF1951 миры. Описанный алгоритм также был применен для компенсации влияния материальной дисперсии среды в спектральной ОКТ. Представлены результаты модельного эксперимента и эксперимента на глазном дне человека *in vivo*.

В третьей главе определение aberrаций рассматривалось как статистическая задача выделения сигнала на фоне гауссовых помех. Используя выделенные суб-изображения находилась выборочная ковариационная матрица. Показано, что аргумент первого собственного вектора этой матрицы является оценкой внесенных aberrаций. Используя данную оценку, приведены экспериментальные результаты определения и компенсации влияния оптических aberrаций. В качестве объектов были использованы как модель глаза человека, так и изображение фоторецепторного слоя *in vivo*. Полученные результаты сравнивались с альтернативным вычислительным методом (оптимизационным), как в плане качества изображения, так и скорости работы алгоритма.

В четвертой главе рассматривалась задача автоматического определения толщины барабанной перепонки. Используя метод выделения линий, известный в литературе как метод Стегера, определялась толщина произвольно ориентированной барабанной перепонки. Приведены результаты работы алгоритма в различных сложных случаях. Приведено сравнение с детектором границ Кэнни.

Научная новизна и практическая значимость исследований

В диссертационной работе получены и представлены результаты, имеющие существенную научную новизну и практическую значимость.

1. Предложен новый метод численной компенсации оптических aberrаций в цифровой голографии и в полнопольной оптической когерентной томографии с перестраиваемым источником.

2. Предложен новый метод численной компенсации влияния материальной дисперсии среды при построении изображений методом спектральной оптической когерентной томографии.

3. Предложен новый метод автоматического определения толщины барабанной перепонки с учетом ее сложной геометрии, произвольной ориентации и наличия примыкающих объектов.

Несмотря на в целом положительное впечатление от диссертационной работы В.А. Маткивского, можно указать на ряд недостатков:

1. Не рассмотрен вопрос о влиянии спеклов на изображение и на процесс компенсации аберраций.
2. При численном моделировании, на стр. 46, использован только один вид аберраций. Будет ли алгоритм работать с другими типами аберраций? В численном моделировании это было бы вполне возможно проверить.
3. На рисунке 19 а,б, исходя из приведенных в тексте данных, показана неправильная размерная шкала (она должна быть либо в 2 раза меньше, либо указана в подписи 1 мм вместо 0.5 мм).
4. Видна, некоторая разобщенность задач, с одной стороны решается проблема повышения продольного и поперечного разрешения ОКТ, а с другой стороны автор предлагает новые подходы в определении границ объекта (определение толщины биологической мембраны). Представляется, что оба эти важные направления исследований могли бы быть увязаны при изложении материала.
5. Имеют место грамматические ошибки и стилистические погрешности.

Вместе с тем, указанные замечания не являются существенными и в основном носят характер пожеланий для будущей работы.

Диссертационная работа представляет собой завершённое научное исследование, соответствующее всем требованиям пунктов 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Полученные в ходе выполнения исследования результаты в достаточной степени апробированы в виде докладов на российских и международных конференциях по тематике проведенных исследований.

Их достоверность подтверждается публикациями в ведущих журналах радиофизического профиля. Научные положения и выводы являются логически и математически обоснованными и подкрепленными экспериментальными исследованиями.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.4. — радиофизика. Автореферат в полной мере соответствует содержанию, основным научным положениям и выводам диссертации, а также опубликованным работам.

Считаю, что Василий Александрович Маткивский за решение актуальной задачи радиофизики, заключающейся в разработке численных методов для улучшения поперечного и продольного разрешения изображений оптической когерентной томографии и границ сильно рассеивающих объектов, включая биологические ткани, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – радиофизика.

Официальный оппонент:

Тучин Валерий Викторович
доктор физико-математических наук,
член-корреспондент РАН, профессор,
заслуженный деятель науки РФ,
заведующий кафедрой оптики и биофотоники
Института физики ФГБОУ ВО
«Саратовский национальный исследовательский
государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»



«10» 11 2021 г.

Контактные данные:

Тел.: +7 (8452) 21-07-22.

Email: tuchinvv@mail.ru

Специальности, по которым официальным оппонентом была защищена диссертация:
01.04.05 – «Оптика»; 01.04.03 – «Радиофизика»

Адрес места работы: 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83

Подпись В.В. Тучина заверяю:

Удостоверен секретарь



В.В. Тучина