

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ ДЛЯ БОЛЕЕ ШИРОКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ, МЕДИЦИНЕ И СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Потлов А.Ю., Савинова К.С.

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов

Ключевые слова: сильно рассеивающие среды, оптическая когерентная томография, спектральная область, комплексный сигнал, механические свойства, компьютерное зрение.

Аннотация. Представлены ориентированные на практические применения модификации метода спектральной оптической когерентной томографии. Предложенные усовершенствования охватывают как аппаратную, так и программную часть системы. Практическая реализация аппаратной части осуществлена с использованием микрокомпьютера «Raspberry Pi 4 Model B», программная часть выполнена в «LabVIEW 2020».

EXTENSION OF THE FUNCTIONAL CAPABILITIES OF THE OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY FOR WIDE INDUSTRIAL, MEDICINE AND AGRICULTURE USAGE

Potlov A.Yu., Savinova K.S.

Tambov State Technical University, Tambov

Keywords: highly scattering media, optical coherence tomography, spectral-domain, complex signal, mechanical properties, computer vision

Abstract. Practically oriented modifications of the method of spectral-domain optical coherence tomography are presented. The proposed improvements cover both the hardware and software parts of the system. The practical implementation of the hardware part was carried out using the «Raspberry Pi 4 Model B» microcomputer, the software part was made in «LabVIEW 2020».

Оптическая когерентная томография (ОКТ) – метод неразрушающего контроля и медицинской визуализации, основанный на зондировании исследуемой сильно рассеивающей среды низкокогерентным излучением ближнего инфракрасного диапазона и последующем детектировании обратно отраженных и малократно рассеянных назад фотонов [1-3]. ОКТ-системы характеризуются пространственным разрешением порядка единиц микрон и глубиной когерентного зондирования порядка 2 мм [2, 4].

Метод ОКТ ограниченного используется для неразрушающего контроля в промышленности, в частности: контроля над качеством изготовления микроэлектромеханических схем (МЭМС) и жидкокристаллических дисплеев, оптических элементов, тонкопленочных покрытий и химических волокон, литья и 3D-печати, бумаги и лакокрасочных материалов, фармацевтических препаратов, а также для проведения прецизионных 3D-измерений, контроля над процессом корпусирования интегральных схем и поверхностного монтажа электронных компонентов и т.п. Также очень важны медицинские применения ОКТ, в частности: в офтальмологии (особенно при диагностике заболеваний сетчатки и зрительного нерва), дерматологии (особенно при диагностике

меланом), стоматологии (3D-визуализация пораженных кариесом участков зуба, оценка глубины и стадии деминерализации, контроль качества установки пломбирующего материала и т.п.), гастроэнтерологии (диагностика язв, опухолей и т.п., причем с оценкой глубины инвазии), кардиологии (оценка правильности установки потоконаправляющего стента, оценка геометрии и состава атеросклеротических отложений, контроль над процедурой ротационной атерэктомии и т.п.). Известны сельскохозяйственные применения для диагностики фитопатологий, а также контроля качества семян и плодов.

Ключевыми причинами, мешающими массовому применению ОКТ являются высокая чувствительность к объемным движениям сканируемого объекта и зонда друг относительно друга [1, 4] и спекл-шумы [2]. Для минимизации негативного влияния вышеуказанных факторов были предложены следующие авторские модификации ОКТ-системы:

I) Сканирующий зонд модифицирован посредством использования: для учета деформирующих воздействий – тонкопленочных датчиков давления на основе матрицы резистивных чувствительных элементов; для учета местоположения и характеристик движения зонда – многоосных МЭМС акселерометра и гироскопа. Управление работой дополнительных устройств организовано посредством микрокомпьютера «Raspberry Pi 4 Model B».

II) Программная часть доработана посредством коррекции паразитных объемных смещений зонда на основе построения и отслеживания пространственного положения топологического скелета каждого получаемого структурного изображения с использованием среды «LabVIEW 2020».

В качестве примера работы модифицированной ОКТ-системы на рисунке 1а приведено усредненное амплитудное ОКТ-изображение для двух последовательных В-сканов.

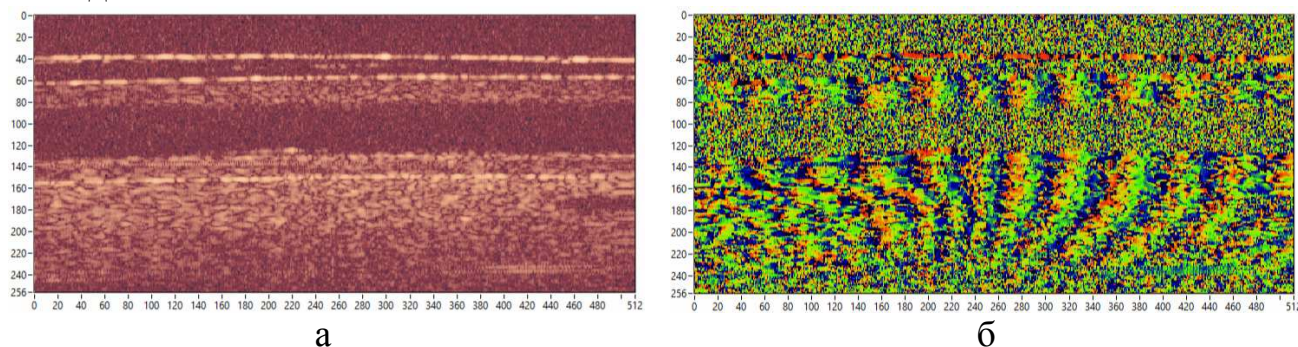


Рис. 1. Амплитудное и фазовое ОКТ-изображение, построенные на основе 2-х последовательных В-сканов

В качестве исследуемого объекта (рис. 1) использовался многослойный фантом [4]. Матрикс которого был изготовлен из двухкомпонентного прозрачного силикона на платиновой основе, оптические свойства слоев варьировались за счет массовой доли специальных добавок (диоксид титана использовался как рассеивающий агент, а спектральный краситель «Indian Ink», как поглощающий). На рисунке 1б показана межкадровая разность фаз для тех же двух В-сканов. Результаты более глубокой обработки (рис. 2) также свидетельствуют о более высокой эффективности получения и анализа интерференционных ОКТ-сигналов.

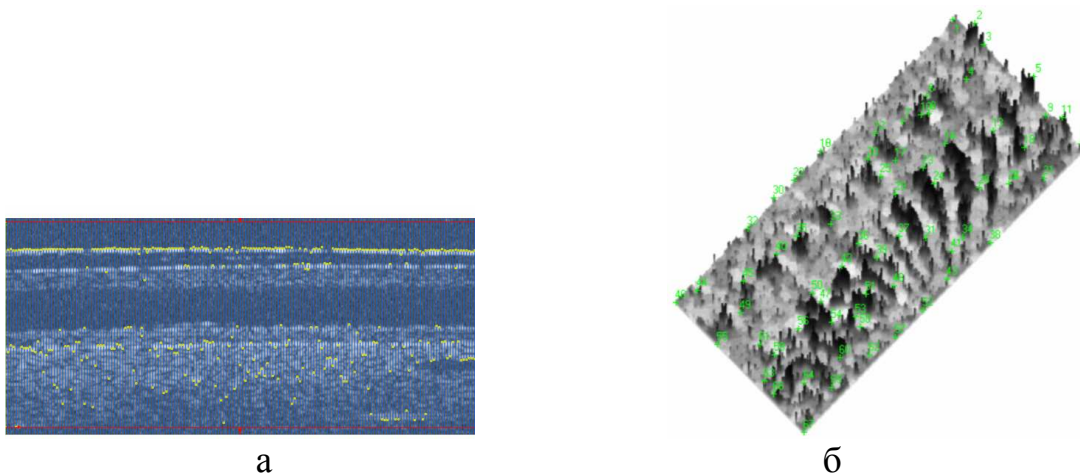


Рис. 2. Амплитудная часть комплексного сигнала (а) и 3D-изображение межкадровой разности фаз (б) после фильтрации и нанесения тестовых точек

Благодарность. Исследование выполнено при финансовой поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (проект МК-231.2022.4).

Список литературы

1. Liu X., Hubbi B., Zhou X. Spatial coordinate corrected motion tracking for optical coherence elastography // Biomedical Optics Express. 2019, vol. 10, is. 12, pp. 6160-6171.
2. Kennedy B.F., Kennedy K.M., Sampson D.D. A Review of Optical Coherence Elastography: Fundamentals, Techniques and Prospects // IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics. 2014, vol. 20, no. 12., art. no. 7101217, pp. 527-549.
3. Potlov A.Y., Frolov S.V., Proskurin S.G. Visualization of anatomical structures of biological tissues by optical coherence tomography with digital processing of morphological data // Biomedical Engineering. 2020, vol. 54, is. 1, pp. 9-13.
4. Потлов А.Ю., Фролов С.В., Проскурин С.Г. Численное моделирование миграции фотонов в однородных и неоднородных цилиндрических фантомах // Оптика и спектроскопия. – 2020. – Т. 128. – Вып. 6. – С. 832-839.

Сведения об авторах:

Потлов Антон Юрьевич – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Биомедицинская техника»;
Савинова Кристина Сергеевна – аспирант.