

УДК: 616-073

ФОРМИРОВАНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЯГКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ

Потлов А. Ю.

д.т.н., доцент,

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
г. Тамбов, Россия

Тарасов А. С.

руководитель проекта

АО «Научно-исследовательский центр электронной вычислительной техники»,
г. Москва, Россия

Ивлиев О. А.

аспирант 1-го года обучения,

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
г. Тамбов, Россия

Ветров А. Н.

к.т.н., доцент,

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
г. Тамбов, Россия

Аннотация

Представлен оригинальный метод формирования топологических карт приповерхностных слоев мягких биологических тканей на основе двумерных изображений (В-сканов) оптической когерентной томографии. Предложенный подход базируется на «пересборке» массива исходных данных, и отличается

использованием многоуровневой фильтрации, аппроксимации, а также совокупности операций вычислительной геометрии и компьютерной графики. Представленный метод позволяет предоставлять медицинскому персоналу диагностическую информацию о сложной топографии обследуемого участка живых тканей в удобной для интерпретации форме и предназначен для использования в задачах планирования малоинвазивных вмешательств.

Ключевые слова: медицинская диагностика, оптическая когерентная томография, мягкие биологические ткани, топография приповерхностных слоев, высокая степень визуализации.

***FORMATION OF TOPOLOGICAL MAPS FOR OPTICAL PROPERTIES
INHERENT IN SOFT BIOLOGICAL TISSUES***

Potlov A. Yu.

Ph.D., Associate Professor,

Tambov State Technical University,

Tambov, Russia

Tarasov A. S.

Head of Project,

JSC Scientific Research Center for Electronic Computer Engineering,

Moscow, Russia

Ivliev O. A.

Ph.D. student,

Tambov State Technical University,

Tambov, Russia

Vetrov A. N.

Ph.D., Associate Professor,

Tambov State Technical University,

Tambov, Russia

Abstract

An original method for formation of topological maps of the surface layers of soft biological tissues based on two-dimensional optical coherence tomography structural images (B-scans) was presented. The proposed method based on «reassembling» the «raw data» and is distinguished by the consistent use of multi-level filtering, approximation, computational geometry and computer graphics. This method enables medical personnel to obtain diagnostic information about the complex topology of the examined area of living tissue in an easily interpretable form. The proposed method is intended for use in planning minimally invasive interventions.

Keywords: medical diagnostics, optical coherence tomography, soft biological tissues, surface layer topography, high-dimensional visualization.

Оптическая когерентная томография (ОКТ) – это во многом уникальный метод медицинской визуализации, позволяющий получать структурные изображения исследуемого биообъекта на глубину несколько миллиметров с микронным пространственным разрешением. ОКТ-системы нашли реальное клиническое применение в офтальмологии, онкологии, дерматологии, гастроэнтерологии, урологии, гинекологии, кардиологии и оториноларингологии. Классический анализ получаемых при ОКТ структурных изображений включает в себя оценку взаимного геометрического расположения анатомических структур, их толщины, гомогенности, гидратации, и вполне удовлетворяет потребностям вышеуказанных медицинских специальностей.

Однако, для задач планирования малоинвазивных вмешательств вышеуказанных количественных и качественных параметров может быть недостаточно [1–4].

Целью проводимых исследований является создание специального режима топографического картирования оптических свойств исследуемых мягких биологических тканей при ОКТ-сканировании.

Для достижения поставленной цели был разработан и практически реализован с использованием среды «LabVIEW» специальный метод преобразования последовательности двумерных послойных ОКТ-изображений (В-сканов) в особый вид объемного изображения (С-скана) [5, 6]. Предложенный метод отличается многоуровневой предварительной обработкой исходных данных, включающей в себя не только пороговое ограничение и фильтрацию (с последовательным использованием нескольких матриц конволюции), но также и аппроксимацию отдельных участков В-сплайнами с варьируемым количеством контрольных точек, степенью полинома, весовым коэффициентом гладкости, алгоритмом вычисления узлов. Стадия формирования топологических карт представляет собой построение и нанесение на предварительно обработанное исходное изображений линий уровня, построенных на основе изогелии (постеризации) с последующей проверкой условия замкнутости/разомкнутости изолиний. Пример формирования топограммы оптических свойств мягких биологических тканей показан на рис. 1. Сканируемым объектом служил механически поврежденный участок кожных покровов человека.

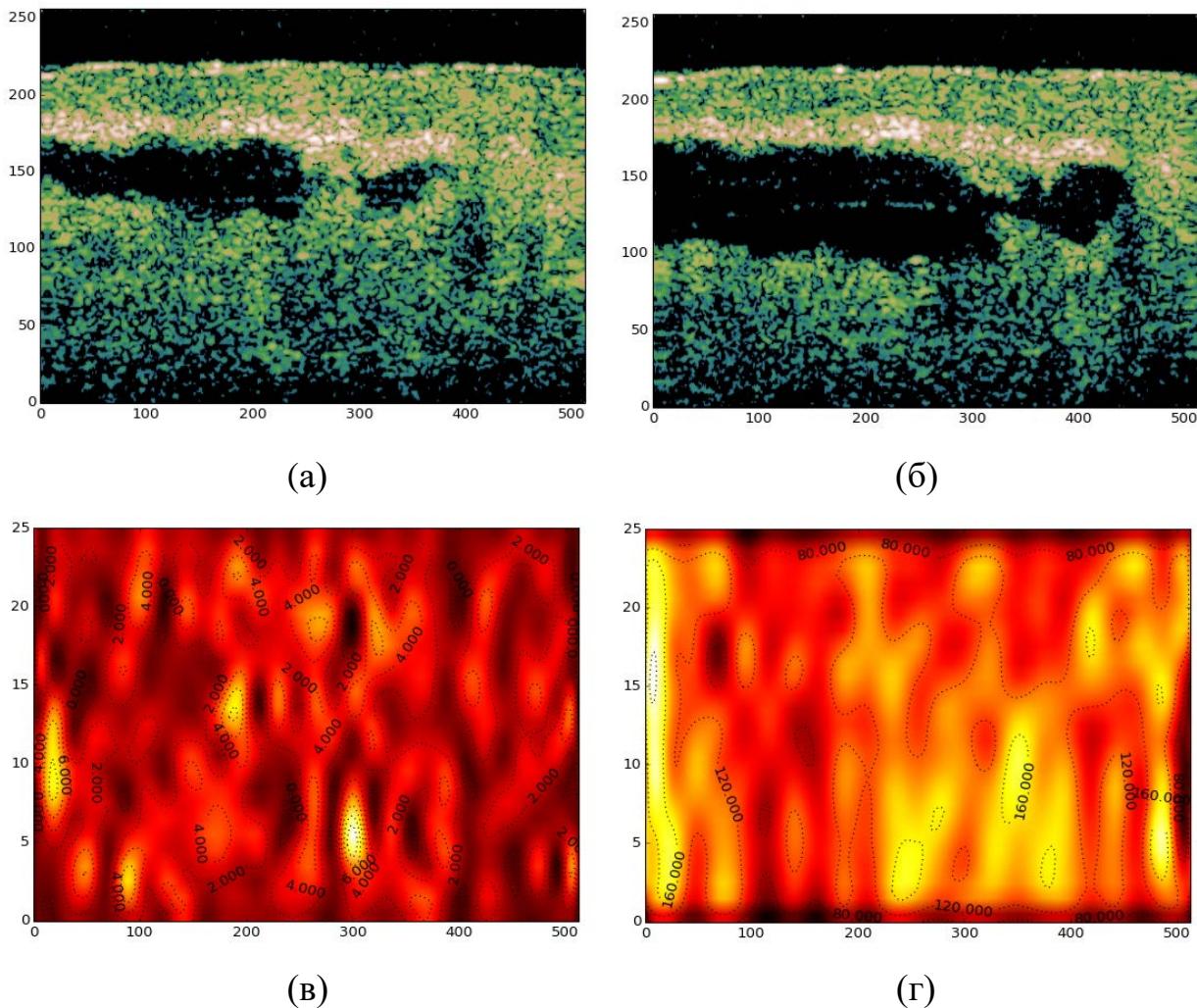


Рис. 1 – Визуализируемые структурные ОКТ-изображения: (а) и (б) – соответственно, первый и последний В-сканы обрабатываемой последовательности, (в) и (г) – соответственно, топограмма границы воздух/эпидермис и эпидермис/дерма.

Содержащая мозольный пузырь, область кожных покровов 25 раз сканировалась посредством управляемого смещения головки волоконно-оптического зонда с шагом 30 микрон. Подрисунки (а) и (б) демонстрируют ограниченную информативность классического подхода к визуализации [1, 7, 8]. Две топограммы, показанные на подрисунках (в) и (г) более наглядно характеризуют внешнюю и внутреннюю границы эпидермиса.

Важно отметить, что построение топограмм не требует использования специализированной рабочей станции. В авторских экспериментах диалоговый режим работы был достигнут с использованием ноутбука «Acer Nitro AN517-51» в классической комплектации. Предложенный метод может быть полезен не только в сочетании с ОКТ-системами с эндоскопическими сканирующими волоконно-оптическими зондами, но также и в интраваскулярных приложениях [9]. Особенno перспективным с точки зрения информативности [10] для медицинского персонала при этом являются топограммы, построенные на основе результатов спектроскопических, эластографических и поляризационно-чувствительных диагностических измерений на базе ОКТ.

Библиографический список

1. OCT-Based Angiography and Surface Topography in Burn-Damaged Skin / J. Lu, A. J. Deegan, Y. Cheng, S. P. Mandell, R. K. Wang // Lasers in Surgery and Medicine. – 2021. – Vol. 53. – Is. 6. – P. 849 – 860. – DOI: 10.1002/lsm.23367.
2. Signal-Carrying Speckle in Optical Coherence Tomography: a Methodological Review on Biomedical Applications / V. B. Silva, D. A. Jesus, S. Klein, T. Walsum, J. Cardoso, L. Sánchez Brea, P. G. Vaz // Journal of Biomedical Optics. – 2022. – Vol. 27. – Is. 3. – Art. No. 030901. – DOI: 10.1117/1.JBO.27.3.030901.
3. Two Applications of Solid Phantoms in Performance Assessment of Optical Coherence Tomography Systems / M. R. Avanaki, A. G. Podoleanu, M. C. Price, S. A. Corr, S. A. Hojjatoleslami // Applied Optics. – 2013. – Vol. 52. – Is. 29. – P. 7054 – 7061. – DOI: 10.1364/AO.52.007054.
4. Skin Color Correction for Tissue Spectroscopy: Demonstration of a Novel Approach with Tissue-Mimicking Phantoms / O. O. Soyemi, M. R. Landry, Y. Yang, P. O. Idwasi, B. R. Soller // Applied Spectroscopy. – 2005. – Vol. 59. – Is. 2. – P. 237 – 244. – DOI: 10.1366/0003702053085151.

5. Оптическая когерентная томографическая ангиография в диагностике офтальмологических заболеваний. Проблемы, перспективы / В. А. Серебряков, Э. В. Бойко, М. В. Гацу, А. С. Измайлов, Н. А. Калинцева, М. В. Мелихова, Г. В. Папаян // Оптический журнал. – 2020. – Т. 87. – №. 2. – С. 3 – 35. – DOI: 10.17586/1023-5086-2020-87-02-03-35.

6. Collecting Optical Coherence Elastography Depth Profiles with a Micromachined Cantilever Probe / D. Chavan, J. Mo, M. Groot, A. Meijering, J. F. Boer, D. Iannuzzi // Optics Letters. – 2013. – Vol. 38. – Is. 9. – P. 1476 – 1478. – DOI: 10.1364/OL.38.001476.

7. Моделирование структурного изображения биологического объекта, получаемого с помощью оптической когерентной томографии методом Монте-Карло на основе воксельной геометрии среды / С. В. Фролов, А. Ю. Потлов, Д. А. Петров, С. Г. Прокурин // Квантовая электроника. – 2017. – Т. 47. – № 4. – Р. 347 – 354.

8. Pavlatos, E. Eye Motion Correction Algorithm for OCT-Based Corneal Topography / E. Pavlatos, D. Huang, Y. Li // Biomedical Optics Express. – 2020. – Vol. 11. – Is. 12. – P. 7343 – 7356. – DOI: 10.1364/BOE.412209.

9. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2020664769. Трехмерная визуализация поверхности и внутренней структуры атеросклеротической бляшки в интраваскулярной оптической когерентной томографии / С. В. Фролов, Т. А. Фролова, А. Ю. Потлов. – 18 ноября 2020 г.

10. μ OCT Imaging using Depth of Focus Extension by Self-Imaging Wavefront Division in a Common-Path Fiber Optic Probe / B. Yin, K. K. Chu, C.-P. Liang, K. Singh, R. Reddy, G. J. Tearney // Optics Express. – 2016. – Vol. 24. – Is. 5. – P. 5555 – 5564. – DOI: 10.1364/OE.24.005555.