

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРОФИЛЯ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНОЙ ОЦЕНКИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИЛЬНО РАССЕИВАЮЩИХ СРЕД МЕТОДОМ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ЭЛАСТОГРАФИИ

Потлов А.Ю., Ветров А.Н.

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов

Ключевые слова: деформирующее воздействие, сильно рассеивающая среда, механические свойства, оптическая когерентная эластография, оптоволоконный зонд, матрица датчиков давления, триангуляция Делоне.

Аннотация. Представлен метод оценки профиля деформирующего воздействия, оказываемого дистальной частью зонда системы для оптической когерентной эластографии на исследуемую сильно рассеивающую среду. Ключевыми особенностями предложенного метода являются: I) использование гибкой тонкопленочной матрицы датчиков давления (окольцовывает дистальную часть сканирующего зонда) для сбора разреженного массива данных о величине деформирующего воздействия на отдельные точки нагруженной области; II) использование линейной интерполяции разреженных данных на основе триангуляции Делоне для реконструкции профиля деформирующего воздействия.

RECONSTRUCTION OF THE DEFORMING IMPACT PROFILE FOR HIGH- PRECISION EVALUATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF TURBID MEDIUM USING OF THE OPTICAL COHERENCE ELASTOGRAPHY

Potlov A.Yu., Vetrov A.N.

Tambov State Technical University (TSTU), Tambov

Keywords: deforming impact, turbid medium, mechanical properties, optical coherence elastography, fiber optic probe, pressure sensor array, Delaunay triangulation.

Abstract. A method for evaluation of the profile of the deforming impact exerted by the distal part of the probe of the optical coherence elastography system on the investigated turbid medium was present. The key features of the proposed method are: I) a flexible thin-film matrix of pressure sensors (bands the distal part of the scanning probe) was used to collect a sparse array of raw data on the magnitude of the deforming impact on individual points of the loaded area; II) linear interpolation of sparse raw data based on Delaunay triangulation was used to reconstruct the deformation profile.

Создание систем с высокой степенью визуализации является одним из ключевых направлений развития технологий для неразрушающего контроля в промышленности и неинвазивной диагностики в медицине. Подобные системы, как правило, сочетают в себе сбор разнодиапазонных исходных данных (например, мультиспектральные или гиперспектральные измерения) и глубокую их обработку (например, реконструкцию интроскопических изображений на основе решения многомерных обратных задач или реставрацию многомерных изображений с использованием нейронных сетей). Системы для оптической когерентной эластографии (ОКЭ) позволяют формировать многомерные изображения внутренней структуры исследуемых сильно рассеивающих сред

(многие тонкопленочные металлические материалы, большинство неметаллических и композиционных материалов, биологические ткани) на основе обратно отраженного и рассеянного назад излучения ближнего инфракрасного диапазона [1], а также оценивать величины модуля Юнга, коэффициента Пуассона, модуля сдвига и даже строить кривые напряженно-деформированного состояния для тех же исследуемых сред [2]. Одной из ключевых проблем, мешающих более массовому применению метода ОКЭ [1-3], являются артефакты объемных движений, приводящие к смазыванию получаемых оптических изображений и существенным погрешностям при оценке и пространственном картировании механических свойств исследуемого объекта.

Сущность разработанного метода заключается в том, что при оптическом сканировании исследуемой сильно рассеивающей среды деформирующее воздействие оценивается не рядом со сканирующим зондом, а по его контуру [3]. Такой подход с аппаратной точки зрения требует использования дополнительного элемента – гибкой тонкопленочной матрицы датчиков давления (окольцовывающей волоконно-оптический датчик зонда ОКЭ-системы, как на рисунке 1), но позволяет исключить из системы экстензометр (датчик деформаций, например на основе тонкого подвижного стержня) что в целом упрощает конструкцию прибора. К тому же, предложенный подход позволяет избежать сложностей, связанных с суперпозицией деформирующих воздействий (вызванных поджатием исследуемой сильно рассеивающей среды зондом и дополнительным воздействием на нее датчиком деформации). Точность оценки деформирующего воздействия существенно повышается, т.к. оно больше не является функцией только от времени [3]. Появляется возможность для программной реконструкции динамически изменяющегося профиля деформирующего воздействия (функция от времени и от координаты), что практически реализовывается (рис. 2) на основе линейной интерполяции разреженных данных с использованием триангуляции Делоне.

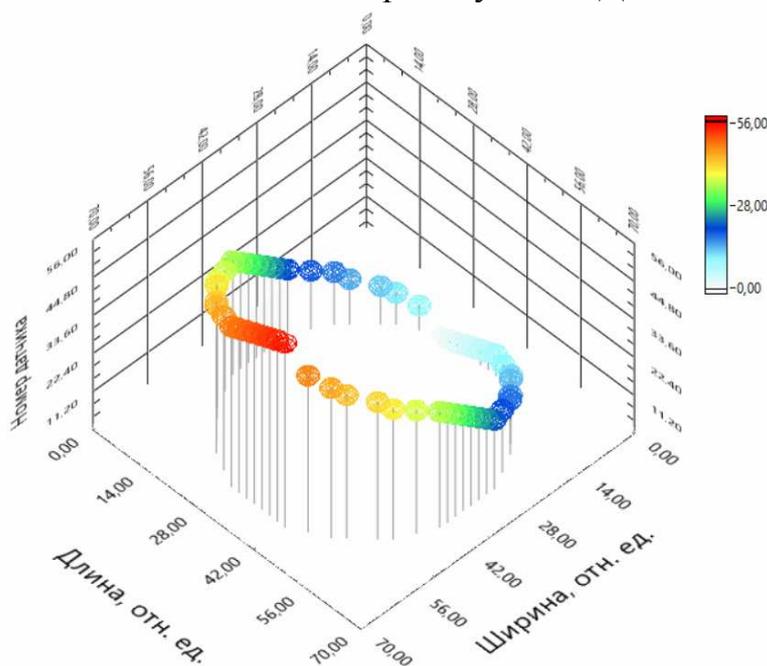


Рис. 1. Геометрическая модель сканирующего зонда, цветом закодированы номера датчиков давления

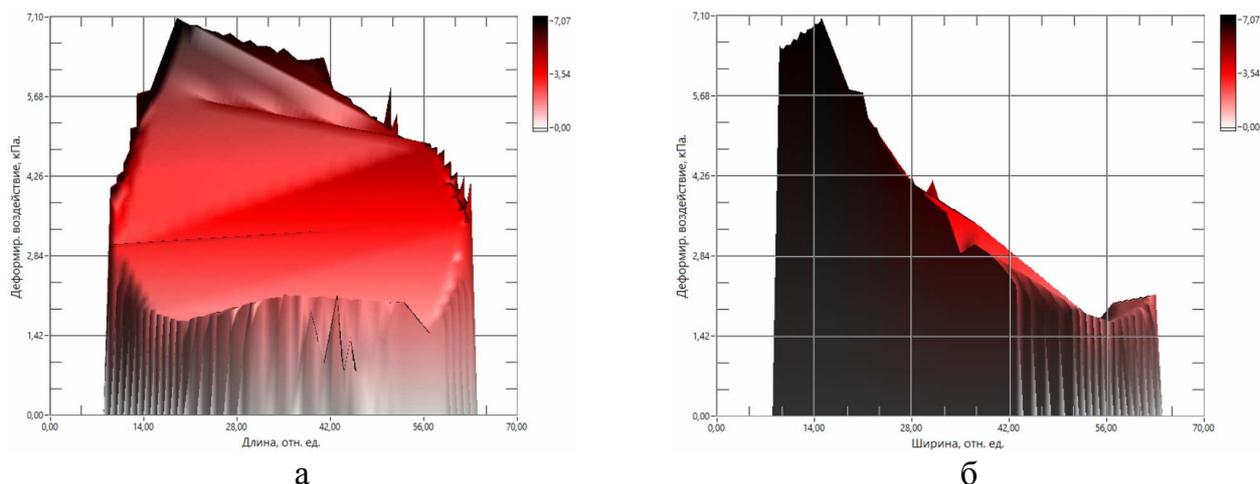


Рис. 2. Проекция реконструированного профиля деформирующего воздействия: а – вид спереди, б – вид сбоку

Предложенные решения позволяют оценивать (с достоверностью более 95%) и компенсировать (с эффективностью более 83%) артефакты объемного движения сканирующего зонда и сканируемого объекта друг относительно друга, что особенно важно в ситуациях, когда жесткая их взаимная фиксация невозможна или крайне нежелательна (например, потоковое сканирование микроэлектромеханических систем, исследование стенок кровеносных сосудов с атеросклеротическими бляшками и т.п.) [3].

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

Список литературы

1. Larin K.V., Scarcelli G., Yakovlev V.V. Optical elastography and tissue biomechanics // Journal of Biomedical Optics. 2019, vol. 24, no. 11, p. 110901.
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, pp. 527-549.
3. Потлов А.Ю. Оптическая когерентная томография и эластография с корректировкой артефактов объемных движений // Актуальные проблемы медицинской науки и образования: Сборник статей по материалам IX Международной научной конференции «АПМНО-2023». – Пенза: Изд-во ПГУ, 2023. – С. 196-199.

Сведения об авторах:

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

Ветров Александр Николаевич – старший педагог дополнительного образования кафедры «Русский язык и общеобразовательные дисциплины».