

УДК 621.3

**МЕТОД ОЦЕНКИ ТЕКУЩЕГО ПОЛОЖЕНИЯ И ТРЕХМЕРНОЙ
ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ КАТЕТЕРА
ЭНДОСКОПИЧЕСКОГО ЗОНДА**

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

Леньшин С. Г.

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 подход к повышению эффективности эндоскопических медицинских исследований посредством отслеживания и визуализации в режиме реального времени траектории движения катетера. Предложенный подход с аппаратной точки зрения базируется на использовании

микроэлектромеханического инерциального измерительного модуля и цифрового сигнального процессора. Программное обеспечение оценивает текущее местоположение на основе предыдущего местоположения, а также линейного ускорения и угловой скорости.

Ключевые слова: эндоскопический зонд, инерциальный измерительный модуль, локальное позиционирование, цифровой сигнальный процессор, преобразование координат, траектория движения зонда, LabVIEW.

METHOD OF EVALUATION OF THE CURRENT POSITION AND THREE-DIMENSIONAL VISUALIZATION OF THE TRAJECTORY OF THE ENDOSCOPIC PROBE CATHETER

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

Lenshin S. G.

Ph.D. student,

Tambov State Technical University,

Tambov, Russia

Vetrov A. N.

Ph.D., Associate Professor,

*Tambov State Technical University,
Tambov, Russia*

Abstract

A new approach to improving the efficiency of endoscopic medical diagnostics through real-time tracking and visualization of catheter trajectories is presented. The proposed method is based on a microelectromechanical inertial measurement unit and a digital signal processor. The software estimates the current position based on the previous position, as well as linear acceleration and angular velocity.

Keywords: endoscopic probe, inertial measurement unit, local positioning, digital signal processor, coordinate transformation, probe motion trajectory, LabVIEW.

Эндоскопические исследования являются основным источником диагностической информации о состоянии слизистых оболочек и приповерхностных слоев мягких биологических тканей полостей и трактов организма человека [1, 2]. Достижения в области матричных приборов с зарядовой связью, волоконной оптики, микроэлектромеханики, высокопроизводительных вычислений и энергонезависимого хранения информации сделали современную медицинскую эндоскопию более информативной для врача и менее травматичной для пациента. Ключевыми направлениями дальнейшего развития метода являются мультимодальная визуализация, миниатюризация капсульных систем и предварительная постановка диагноза с использованием технологий искусственного интеллекта. В всех этих случаях целесообразна четкая привязка результатов сканирования к конкретной области пространства [2, 3].

Целью исследования является разработка метода высокоточного пространственного позиционирования сканирующей головки эндоскопического зонда или капсулы в режиме реального времени.

Для достижения поставленной цели аппаратная часть эндоскопической системы модифицирована посредством размещения внутри дистальной части катетера инерциального измерительного модуля, содержащего в своем составе по меньшей мере один трехосный акселерометр и один трехосный гироскоп. Блок сбора и обработки информации при этом дополнен отдельным цифровым сигнальным процессором. Программное обеспечение оценивает составляющие линейного ускорения и угловой скорости относительно координатных осей, формируя на их основе с использованием фильтра Калмана вектор пространственной ориентации. Новое положение дистальной части эндоскопического зонда в первой итерации рассчитывается на основе заведомо известного начального положения и вектора пространственной ориентации, а в дальнейшем – аналогично, но с использованием преобразования координат (т. к. новое положение рассчитывается относительно предыдущего, а не от начала координат). Текущая координата и траектория движения сканирующей головки эндоскопического зонда выводятся пользователю в режиме реального времени.

Разработанный метод был практически реализован в виде узкоспециализированного программного продукта в среде «LabVIEW» и многократно протестирован с использованием фрактальной модели [4, 5] анатомии сканируемых биологических структур. Пример траектории движения фибробронхоскопа по трахеобронхиальному дереву показан на рис. 1.

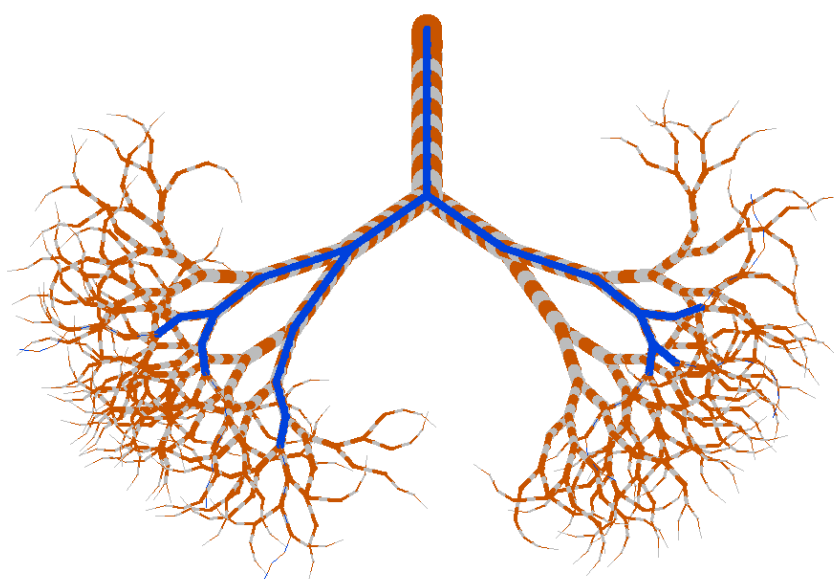


Рис. 1 – Траектория движения дистальной части бронхоскопа

Затраты машинного времени на обработку данных даже при использовании общих вычислений на центральном процессоре ноутбука «Acer Nitro AN517-51» в классической комплектации соответствуют режиму реального времени. Отклонение расчетной траектории движения от заданной в модельном эксперименте составило менее 1.5 мм. Оба параметра соответствуют достижению цели исследования и позволяют использовать предложенный метод для построения картограмм обследованных участков, точной привязки патологий к пространственным координатам, предупреждения о вероятности формирования гибкой частью эндоскопического зонда петли [6] и т.п.

Библиографический список:

1. Trajectory Following Strategies for Wireless Capsule Endoscopy under Reciprocally Rotating Magnetic Actuation in a Tubular Environment / Y. Xu, K. Li, Z. Zhao, M. Q.-H. Meng // Robotics. – 2021. – DOI: 10.48550/arXiv.2108.11620.
2. Trajectory analysis of endoscopic capsule images: A feasibility study / Y. Abu-Kheil, M. Mura, G. Ciuti, P. Dario, L. Seneviratne, J. Dias // Proceedings of the IEEE 59th International Midwest Symposium on Circuits and Systems, Abu Dhabi

(United Arab Emirates), 2016. – Art. No. 7869967. – DOI: 10.1109/MWSCAS.2016.7869967.

3. Liu, X. Spatial Coordinate Corrected Motion Tracking for Optical Coherence Elastography / X. Liu, B. Hubbi, X. Zhou // *Biomedical Optics Express*. – 2019. – Vol. 10. – Is. 12. – pp. 6160 – 6171. – DOI: 10.1364/BOE.10.006160.

4. Emergence of fractal geometries in the evolution of a metabolic enzyme / F. L. Sendker, Y. K. Lo, T. Heimerl, S. Bohn, L. J. Persson, C.-N. Mais, W. Sadowska, N. Paczia, E. Nußbaum, M. del C. S. Olmos, K. Forchhammer, D. Schindler, T. J. Erb, J. L. P. Benesch, E. G. Marklund, G. Bange, J. M. Schuller, G. K. A. Hochberg // *Nature*. – 2024. – Vol. 628. – pp. 894 – 900. – DOI: 10.1038/s41586-024-07287-2.

5. Cauliflower fractal forms arise from perturbations of floral gene networks / E. Azpeitia, G. Tichtinsky, M. L. Masson, A. Serrano-Mislata, J. Lucas, V. Gregis, C. Gimenez, N. Prunet, E. Farcot, M. M. Kater, D. Bradley, F. Madueño, C. Godin, F. Parcy // *Science*. – 2021. – Vol. 373. – Is. 6551. – pp. 192 – 197. – DOI: 10.1126/science.abg5999.

6. Fractal nature of human gastrointestinal system: Exploring a new era / F. Grizzi, M. Spadaccini, M. Chiriva-Internati, M.A. A. A. Hegazi, R. S. Bresalier, C. Hassan, A. Repici, S. Carrara // *World Journal of Gastroenterology*. – 2023. – Vol. 29.