

УДК 519.87

**ФРАКТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАХЕОБРОНХИАЛЬНОГО ДЕРЕВА
ДЛЯ ЗАДАЧ ТЕСТИРОВАНИЯ МЕТОДОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
ФИБРОБРОНХОСКОПИИ**

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 метод численного моделирования анатомии трахеобронхиального дерева с использованием фракталов. Отличительными особенностями предложенного метода являются адаптивность и вычислительная эффективность. Предложенный метод предназначен для имитации сложной

геометрии реальных биологических структур и может быть использован в задачах разработки более эффективных аппаратных, алгоритмических и программных решений для фибробронхоскопии.

Ключевые слова: математическое моделирование, геометрия Мандельброта, LabVIEW, трахеобронхиальное дерево, многоканальный эндоскоп, пространственное позиционирование, визуализация траектории движения.

***FRACTAL-BASED SIMULATION OF THE TRACHEOBRONCHIAL TREE
FOR TESTING FIBEROPTIC BRONCHOSCOPY METHODS AND
EQUIPMENT***

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 method for numerical simulation of the tracheobronchial tree anatomy using fractals is presented. Key features of the proposed method are adaptability and computational efficiency. The proposed method is designed to simulate the complex geometry of real biological structures and can be used to develop more efficient hardware, algorithmic and software solutions for fiberoptic bronchoscopy.

Keywords: numerical simulation, Mandelbrot geometry, LabVIEW, tracheobronchial tree, multichannel endoscope, spatial positioning, trajectory visualization.

Одним из наиболее актуальных направлений развития методов эндоскопической и интраваскулярной визуализации и малоинвазивной хирургии является совершенствование известных подходов к пространственному позиционированию катетера зонда [1, 2]. Отслеживание актуального положения по рентгеноконтрастной полосе с точки зрения информативности является очень эффективным решением, но ионизирующая природа рентгеновского излучения ограничивает реальное практическое применение этого подхода. Бурный прогресс в области электроники и информационных технологий сделал возможным использование в составе катетера компактного относительно дешевого модуля инерциальной оценки пространственного положения на основе данных встроенных многоосных акселерометра и гироскопа. Этот подход довольно перспективен, но нуждается в сложном алгоритмическом и программном обеспечении для компенсации накапливаемых ошибок, построения и обновления в режиме реального времени трехмерной траектории движения зонда, а также привязки получаемых медицинских изображений к этой траектории. Для создания и отладки подобных алгоритмических и программных решений целесообразно разработать и использовать математические (компьютерные) и физические (натурные) модели сканируемых анатомических структур со сложной

геометрией (трахеобронхиальное дерево, сосудистая сеть, отделы желудочно-кишечного тракта и т. п.) [2, 3].

Целью проводимых исследований является создание анатомически корректной вычислительно эффективной численной модели сканируемых при эндоскопических и интраваскулярных исследованиях биомедицинских структур со сложной геометрией.

Поскольку трахеобронхиальное дерево и сосудистая сеть в явном виде, а отделы желудочно-кишечного тракта косвенно (складки, ворсинки, микроворсинки и т. п.) обладают «самоподобием» для достижения поставленной цели был выбран фрактальный подход к математическому моделированию [3 –5]. В основе разработанной численной модели лежит дерево Пифагора с адаптивно подстраиваемой длиной, углом наклона и толщиной каждого сегмента каждой рекурсии [4, 5]. При этом учтены приоритетные направления роста (асимметрия) ветвей формируемого фрактального дерева [5]. Отличительными особенностями авторского подхода являются сочленение отдельных сегментов с размытием, а также частичное и полное дублирование некоторых сегментов для более точного совпадения с контуром моделируемой анатомической структуры.

Предложенная математическая модель была практически реализована с использованием графического языка программирования «G» среды «LabVIEW». Пример ее работы с использованием общих вычислений на центральном процессоре для 11-и уровней рекурсии относительно аксиомы показан на рис. 1.

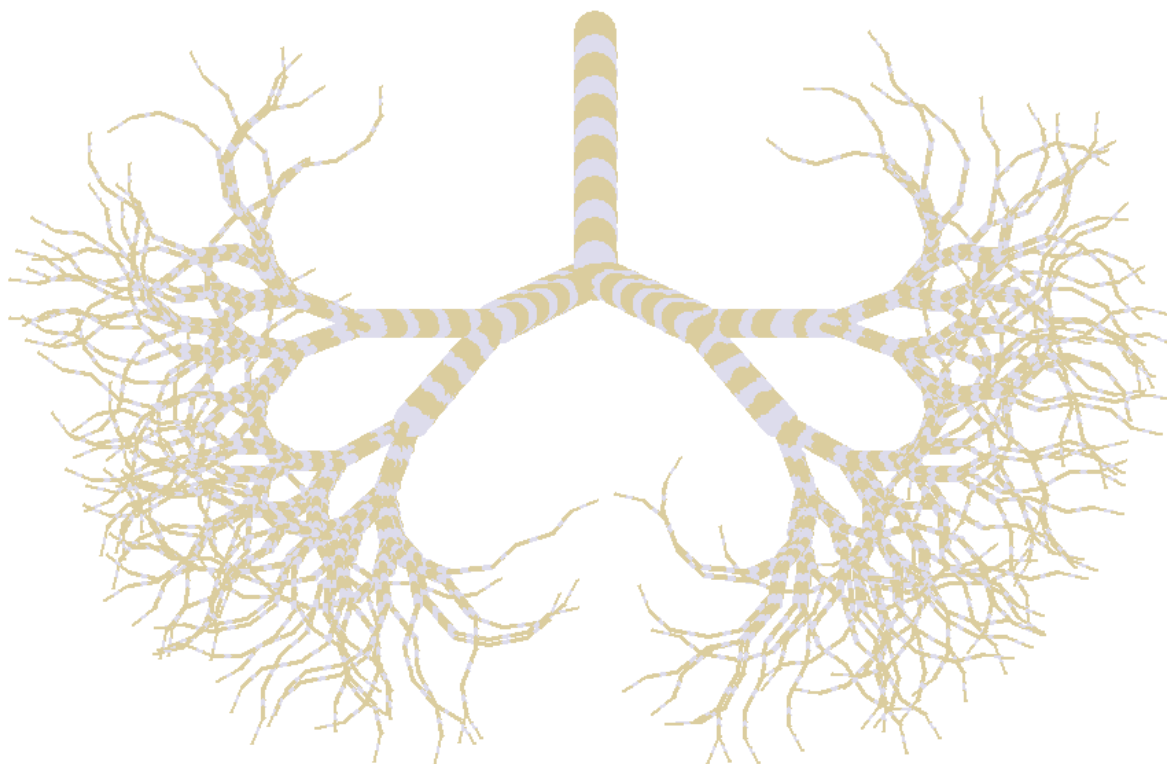


Рис. 1 – Графическое представление результата фрактального моделирования трахеобронхиального дерева

Коэффициент асимметрии варьировался в диапазоне от 0.4 до 0.6, а уровень размытия – от 0.08 до 0.22. При дублировании сегменты дополнительно укорачивались на 9 – 17 %. Геометрическое соответствие с заданным контуром (локализация в требуемой области пространства) составило 97%. Затраты машинного времени на построение одной изолированной ветви с использованием ноутбука «Acer Nitro AN517-51» в классической комплектации в среднем составили 4 мс.

Таким образом, результаты моделирования в целом соответствуют достижению поставленной цели и пригодны для использования в задачах по тестированию методов и технических средств для эндоскопических исследований (в конкретном примере для фибробронхоскопии).

Библиографический список:

1. 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.
2. 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. – Is. 25. – pp. 4036 – 4052. – DOI: 10.3748/wjg.v29.i25.4036.
3. Uses and abuses of fractal methodology in ecology / J. M. Halley, S. Hartley, A. S. Kallimanis, W. E. Kunin, J. J. Lennon, S. P. Sgardelis // *Ecology Letters*. – 2004. – Vol. 7. – Is. 3. – pp. 254 – 271. – DOI: 10.1111/j.1461-0248.2004.00568.x.
4. Glaser, A. K. Fractal propagation method enables realistic optical microscopy simulations in biological tissues / A. K. Glaser, Y. Chen, J. T. C. Liu // *Optica*. – 2016. – Vol. 3. – Is. 8. – pp. 861–869. – DOI: 10.1364/OPTICA.3.000861.
5. Du, J-X. Recognition of plant leaf image based on fractal dimension features / J.-X. Du, C.-M. Zhai, Q.-P. Wang // *Neurocomputing*. – 2013. – Vol. 116. –