

УДК 004.9:616-073.7

Разработка программного модуля визуализации и анализа DICOM-данных в задачах ЛОР-хирургии

Кохова Анастасия Юрьевна

Жук Дмитрий Михайлович (научный руководитель)

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Программный модуль предназначен для обработки DICOM-данных в задачах ЛОР-хирургии. Реализована последовательность: визуализация, сегментация, интерактивное сечение и построение полигональной оболочки с автоматическим расчетом объема. Ключевая особенность — способ поэтапного «надувания» оболочки от стартовой точки с остановкой по эвристике расстояния. Такой подход позволяет достроить поверхность даже при неполных данных и помогает достичь реалистичного соответствия форме, точно вычислив ее объем.

Ключевые слова: визуализация DICOM, 3D-модель, облако точек, объем анатомической полости, медицинское моделирование

Введение. На сегодняшний день ЛОР-хирурги часто сталкиваются с задачей восстановления объема околоносовых пазух и исправления анатомических нарушений после травм. Точная оценка объема необходима как на этапе планирования хирургического вмешательства, так и для анализа результатов лечения. Однако, в повседневной практике хирургам не хватает такого узкоспециализированного инструмента, который мог бы вычислить объем пазух на основе данных КТ и МРТ, представленных в формате DICOM.

Программный модуль разработан на языке Python, с использованием библиотек VTK, Open3D, PyVista и Trimesh.

Визуализация DICOM-данных. Перед загрузкой медицинских изображений необходимо провести обработку данных, их нормализацию, а в последующем очистить объемную модель от артефактов. Реализация основана на использовании библиотек VTK [1].

Для загрузки DICOM-данных применяется класс `vtkDICOMImageReader`, который отображает серии изображений DICOM в виде 3D-модели, а также читает метаданные из файлов — размер изображения и интервалы пикселей.

Значения интенсивностей приводятся к определенному диапазону с помощью класса `vtkImageShiftScale`, в соответствии со шкалой Хаунсфилда (HU) — от низкой плотности (воздух), до высокой (кость). Это необходимо для корректной визуализации модели на костном и тканевом уровне, как это продемонстрировано на рис. 1.

Для построения поверхности применяется алгоритм `Marching Cubes`. Принцип работы состоит в последовательном проходе по трехмерному скалярному полю, разбитому на воксели, представленными кубами. Эти кубы формируются регулярной сеткой, ориентированной вдоль осей координат.

Алгоритм определяет, какие вершины находятся внутри или снаружи заданного порога, после чего по предопределенной таблице выбирает соответствующую конфигурацию треугольников, аппроксимирующих локальный фрагмент изоповерхности. Полученные треугольники визуализируются, формируя итоговую изоповерхность [1].

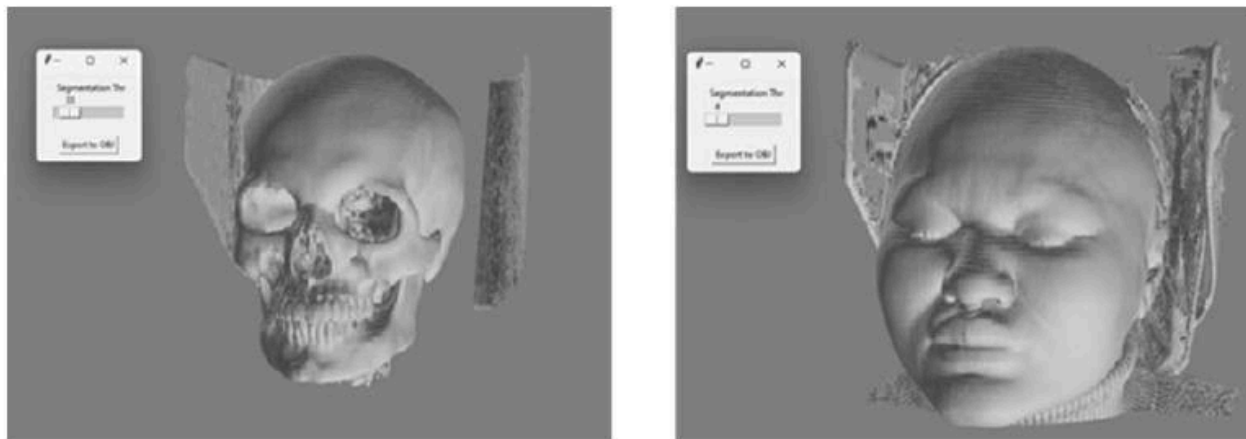


Рис. 1. Визуализация DICOM-данных в зависимости от порога сегментации

Чтобы улучшить геометрию поверхности производится фильтрация мелких объектов и шумов. На рис. 2. продемонстрировано применение сглаживания с помощью `vtkWindowedSincPolyDataFilter` и удаление мелких объектов за счет `vtkPolyDataConnectivityFilter`, который исключает объекты, объем которых меньше заданного значения.

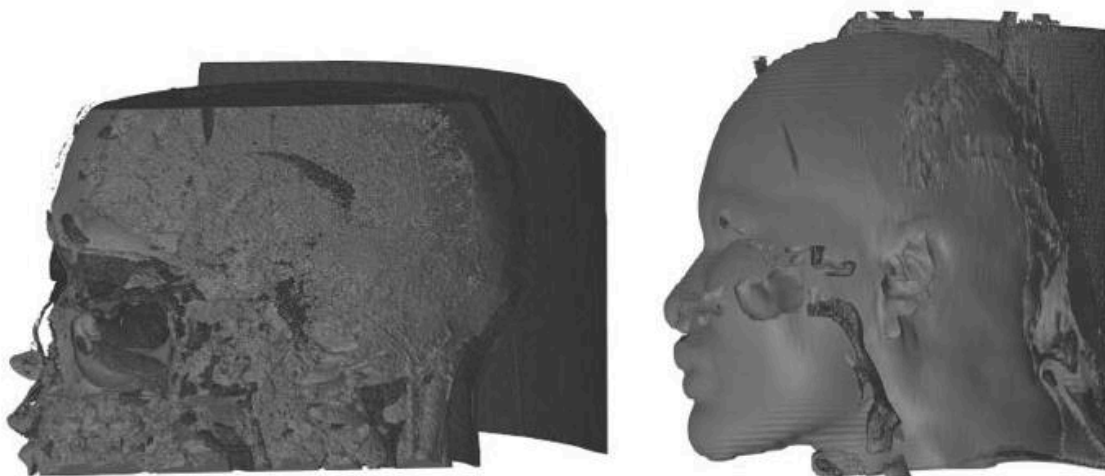


Рис. 2. Результат фильтрации и сглаживания модели (до/после)

Интерактивная работа с 3D-моделью. Чтобы выделить околоносовую пазуху реализовано сечение 3D-модели с помощью трех интерактивных взаимно ортогональных плоскостей, представленных на рис. 3. Плоскостям

можно задавать направление и угол поворота сечения. Полученная усеченная геометрия на рис. 4. преобразуется в облако точек для дальнейшего анализа.

Построение оболочки и вычисление объема. Существуют различные автоматические методы реконструкции поверхности, применяемые при обработке облаков точек [2–4]. Это и методы глобальной аппроксимации поверхности, и сферической сегментации, и гибридные алгоритмы на основе графов и кластеризации, а также архитектуры глубоких нейросетей, обучаемых для восстановления топологии объектов. Однако, несмотря на такое разнообразие, большинство методов чувствительны к плотности и однородности точек, требуют предварительной оценки нормалей, а в условиях пустот могут создавать ошибочные замкнутые поверхности. Это позволяет поэтапно отсекал ненужные части модели. Плоскости задаются с помощью объекта `vtkPlane` и применяется через `vtkClipPolyData`.

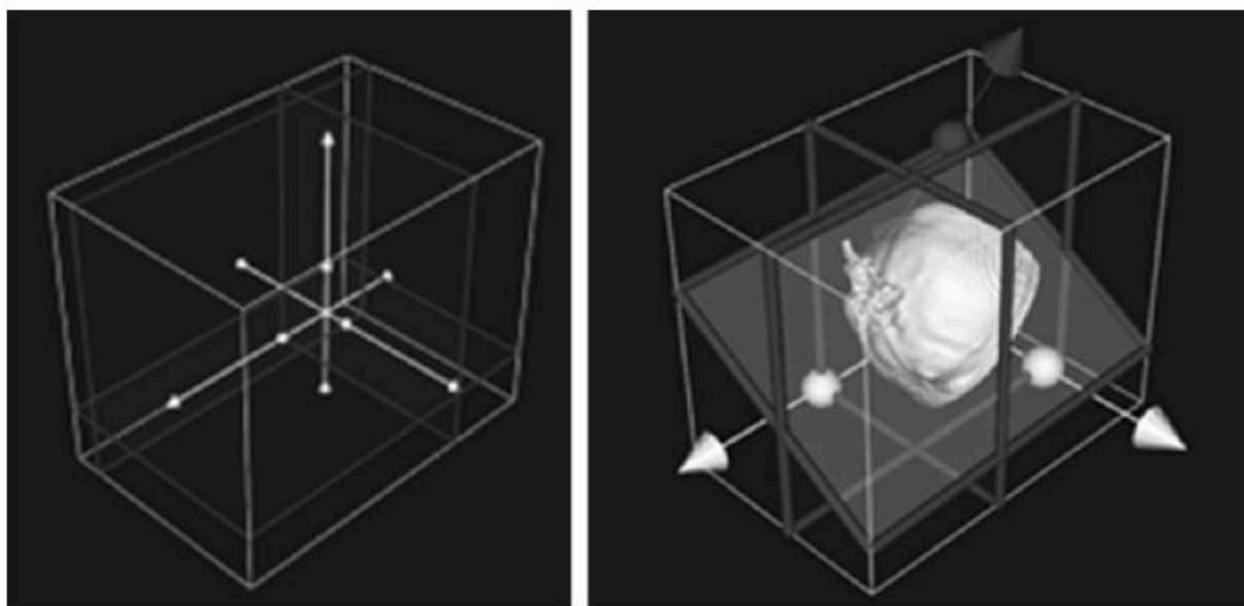


Рис. 3. Плоскости сечения с интерактивным управлением

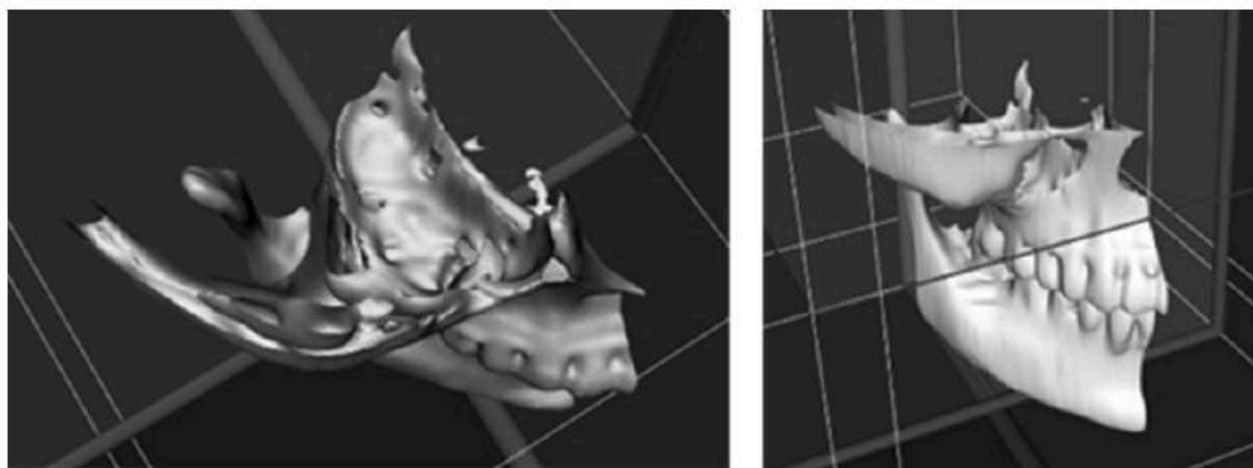


Рис. 4. Трехмерная модель после сечения

В работе разработан иной подход: внутрь преобразованной 3D-модели помещается интерактивная сфера, из центра которой по всем направлениям распространяются лучи, имитируя раздувание сферы. Продвижение вдоль каждого направления осуществляется пошагово до достижения ближайшей точки облака, определяемой по структуре KD-дерева. Если расстояние становится меньше заданного, точка фиксируется как часть будущей оболочки. Если между шагами происходит резкий скачок расстояния, распространение прекращается. Такой подход останавливает раздувание оболочки и предотвращает выход за пределы облака точек. Множество полученных точек формирует каркас поверхности, который обрабатывается методом выпуклой оболочки [5] (Convex Hull).

Чтобы повысить точность геометрии, применяется метод Loop Subdivision. На каждой итерации каждый треугольник разбивается на четыре, а координаты вершин корректируются. Количество треугольников растет по формуле

$$T_{new} = T_{old}4^n,$$

где T_{old} — количество треугольников до разбиения; n — число итераций.

На рис. 5. продемонстрирована оболочка после разбиения, видно, что она сглаживается и приближается к реальному внешнему виду, ее объем нужно определить. Вычисление объема производится средствами библиотеки Trimesh, которая работает с замкнутыми полигональными объектами. Результат — объем 15,33 см³.

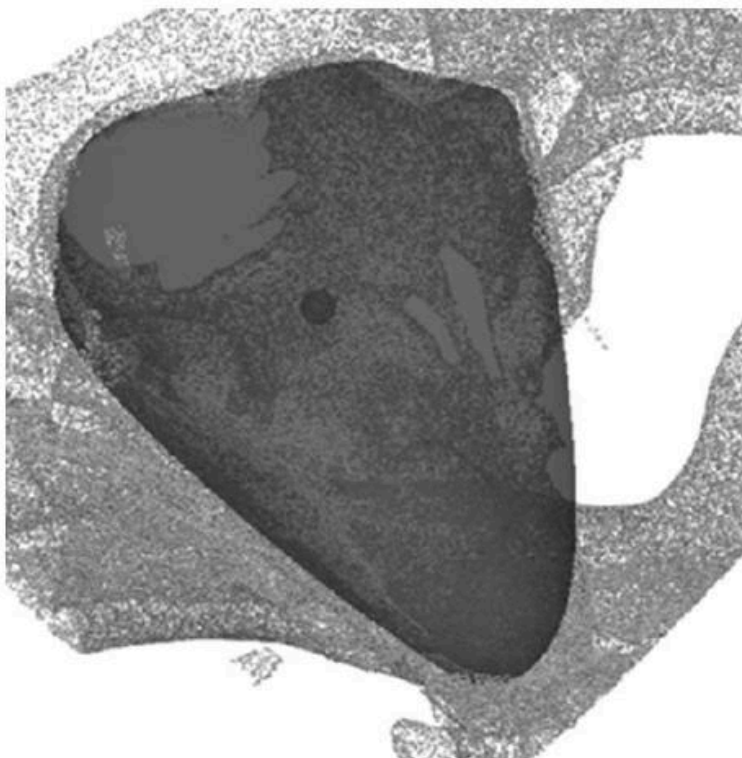


Рис. 5. Визуализация облака точек и полученной оболочки

Заключение. В ходе работы разработан программный модуль, предназначенный для визуализации и анализа DICOM-данных в задачах ЛОР-хирургии. Основное внимание уделено решению задачи вычисления объема околоносовых.

В рамках исследования:

- разработан собственный подход визуализации и обработки DICOM-данных;
- реализовано сечение трехмерной модели интерактивными плоскостями;
- выполнено преобразование модели в облако точек и автоматическое построение оболочки на основе метода направленного расширения (эвристика по расстоянию);
- рассчитан объем полости, соответствующий реальным анатомическим данным.

Преимущества заключаются в отказе от необходимости работы с тремя анатомическими плоскостями (аксиальной, сагиттальной и коронарной) и тысячами срезов. Вместо этого появляется возможность сразу работать с 3D-моделью и за счет интерактивного сечения рассмотреть именно околоносовую пазуху, не затрагивая лишние области. Это делает процесс анализа более целенаправленным и удобным для врача. В перспективе можно внедрить инструмент, который позволил бы на основе импортированных данных, самостоятельно моделировать ситуации перелома стенок в разных местах и разных размеров.

Литература

- [1] Schroeder W., Martin K., Lorensen B. The Visualization toolkit an object-oriented approach to 3D Graphics. NJ, Prentice Hall PTR, 497 p.
- [2] Kazhdan M., Bolitho M., Hoppe H. Poisson Surface Reconstruction. ACM Transactions on Graphics. URL: https://hooshi.gitlab.io/FILES/dgp_poisson.pdf (accessed 29.05.2025).
- [3] Сырых А.С., Медведев С.Н. Сравнительный анализ алгоритмов реконструкции поверхности из облака точек. *Международный научно-исследовательский журнал*, 2023, вып. 12 (138). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.202>
- [4] Сорокин М.И., Жданов Д.Д., Жданов А.Д. Создание полигональных сеток из облаков точек с помощью глубокого обучения для их визуализации в системах смешанной реальности. *Междунар. конф. по компьютерной графике и зрению «Графикон»: матер.* Москва, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2023, с. 43–52.
- [5] Convex Hull Algorithm. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/convex-hull-algorithm-in-cpp> (дата обращения 29.05.2025).

Development of a software module for visualization and analysis of DICOM data in ENT surgery

Kokhova Anastasiia Urievna

Zhuk Dmitriy Mikhailovich (*scientific advisor*)

BMSTU, Moscow, Russia

The software module is designed to process DICOM data for tasks in ENT surgery. It implements a sequential workflow including visualization, segmentation, interactive slicing, and polygonal surface reconstruction with automatic volume calculation. A key feature is the step-by-step “inflation” of a surface from a selected starting point, with directional growth halted based on a distance-based heuristic. This approach enables surface reconstruction even with incomplete data and helps achieve realistic approximation of the structure, resulting in accurate volume estimation.

Keywords: DICOM visualization, 3D model, point cloud, anatomical cavity volume, medical modeling