

УДК 612.8

МЕТОДЫ ПОДГОНКИ УШНОГО ИМПЛАНТА К 3D-МОДЕЛИ ГОЛОВЫ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МРТ

Франко Е. П.¹, Смольская Т. С.¹, Кудина А. В.¹, Габец В. Л.²

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

²Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В данной статье рассматриваются методы подгонки имплантов к 3D-модели головы, созданной на основе данных МРТ. Особое внимание уделено сравнению алгоритмов Iterative Closest Point (ICP), Random Sample Consensus (RANSAC) и метода наименьших квадратов (Least Squares Fitting). Проведен анализ точности подгонки каждого метода.

Ключевые слова: 3D-моделирование, подгонка импланта, ICP, RANSAC, МРТ, метод наименьших квадратов.

METHODS FOR FITTING AN EAR IMPLANT TO A 3D MODEL OF THE HEAD BASED ON MRI DATA

Franko E.¹, Smolskaya T.¹, Kudina A.¹, Gabets V.²

¹BelaRussian Federation State University of Informatics and Radioelectronics

²Belarusian National Technical University

Minsk, Republic of Belarus

Abstract. This article discusses methods for fitting implants to a 3D model of the head, created based on MRI data. Special attention is given to the comparison of the Iterative Closest Point (ICP), Random Sample Consensus (RANSAC), and Least Squares Fitting algorithms. The accuracy of each fitting method is analyzed.

Key words: 3D modeling, implant fitting, ICP, RANSAC, MRI, least squares fitting.

Адрес для переписки: Смольская Т. С., ул. П. Бровки, 6, г. Минск 220089, Республика Беларусь
e-mail: diyolker@gmail.com

Предоперационное планирование с использованием 3D-моделей головы, основанных на данных МРТ, становится важным инструментом для хирургов, занимающихся установкой ушных имплантов. Точное соответствие анатомических структур и импланта позволяет значительно повысить вероятность успешной операции, снизить время вмешательства и минимизировать риски для пациента. Однако успех операции зависит от точности подгонки импланта к анатомическим особенностям пациента. В данной работе рассматриваются методы подгонки, которые могут быть использованы для точной настройки импланта на основе 3D-модели головы [1].

Методы подгонки имплантов. Существует несколько методов, которые могут быть использованы для подгонки импланта, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Основное внимание в статье уделяется следующим трем методам:

1. Iterative Closest Point (ICP). Алгоритм ICP является одним из наиболее популярных методов подгонки 3D объектов. Он работает путем минимизации расстояния между ближайшими точками двух моделей, что позволяет эффективно выравнивать их в пространстве. В процессе работы алгоритм последовательно ищет соответствия между точками и обновляет параметры трансформации, чтобы улучшить выравнивание. ICP требует хорошего начального приближения, поскольку он склонен к нахождению локальных минимумов, что может привести к неудачным

результатам в случае неправильного выбора начальных позиций. Тем не менее, ICP обеспечивает высокую точность при отсутствии значительных дефектов или шума в данных [2].

2. Random Sample Consensus (RANSAC). Метод RANSAC предназначен для работы с шумными данными и наличием выбросов, что делает его особенно полезным в приложениях, где данные могут содержать значительные искажения. Основная идея метода заключается в повторном выборе случайных подмножеств точек и подгонке модели на основе согласованных точек, что позволяет игнорировать выбросы и сосредоточиться на достоверных данных. Несмотря на его устойчивость к шуму, выполнение RANSAC может быть медленнее из-за необходимости многократных итераций, что требует большего времени на обработку данных [3].

3. Метод наименьших квадратов (Least Squares Fitting). Этот метод минимизирует сумму квадратов расстояний между точками импланта и черепа, что позволяет находить оптимальные параметры для подгонки модели. Метод наименьших квадратов отличается простотой реализации и эффективностью, особенно при работе с относительно чистыми данными. Тем не менее, он чувствителен к выбросам, которые могут значительно исказить результаты. Поэтому требуется тщательная обработка данных перед применением данного метода, что может включать фильтрацию и предварительный анализ данных для выявления и устранения аномалий [4].

Экспериментальная часть. Для тестирования точности каждого метода использовалась 3D-модель черепа, созданная на основе данных МРТ. Имплант был смоделирован отдельно и помещен в определенную часть черепа с использованием каждого из методов подгонки [3].

Все этапы исследования были проведены в Blender, с использованием нескольких дополнительных аддонов и специализированных библиотек для анализа и подгонки 3D-объектов, что позволило эффективно контролировать процесс подгонки и анализировать точность результатов.

3D-модели черепа были получены на основе данных МРТ [4]. Для этого данные в формате DICOM были конвертированы в формат STL с использованием стороннего инструмента. В Blender были проведены все необходимые операции по сегментации, обработке и улучшению модели черепа. Используя встроенные инструменты Blender для редактирования сетки и скульптинга, была проведена ручная сегментация и подготовка модели для дальнейшей подгонки импланта.

Имплант, созданный в формате STL, был импортирован в ту же программную среду. Для тестирования использовались все три метода (ICP, RANSAC и Least Squares Fitting), и их результаты были проанализированы с точки зрения точности и устойчивости к шуму.

Результаты. В ходе исследования была проведена оценка точности трех методов подгонки импланта к 3D-модели головы: Iterative Closest Point (ICP), Random Sample Consensus (RANSAC) и метода наименьших квадратов (Least Squares Fitting). Для каждого метода были измерены средние значения точности и их погрешности. На рисунке 1 представлено графическое сравнение точности методов подгонки.

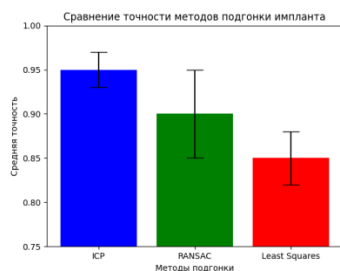


Рисунок 1 – Сравнение точности методов подгонки

Метод ICP продемонстрировал наивысшую точность (95 %) с минимальной погрешностью (2 %), что делает его предпочтительным выбором для большинства задач по подгонке имплантов.

Метод RANSAC показал несколько более низкую точность (90 %) с большей погрешностью (5 %), что может быть обусловлено его устойчивостью к выбросам в данных. Метод наименьших квадратов продемонстрировал наименьшую точность (85 %) при средней погрешности (3 %), что связано с чувствительностью метода к исходным параметрам данных.

Сравнение методов подгонки показало следующие результаты:

1. ICP продемонстрировал наилучшую точность в ситуациях с минимальными дефектами в данных и при хорошем начальном приближении. Однако метод оказался чувствителен к шуму и локальным минимумам, что ограничивает его применимость в реальных клинических условиях.

2. RANSAC был наиболее устойчивым к шуму данных и выбросам, что делает его предпочтительным выбором в ситуациях с неидеальными данными. Однако его выполнение требует больше времени из-за необходимости повторных итераций.

3. Метод наименьших квадратов показал хорошие результаты при работе с чистыми данными, но был менее точен при наличии шумов и отклонений в данных.

Заключение. На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что выбор метода подгонки импланта зависит от качества данных. Если данные относительно чистые, метод наименьших квадратов может быть простым и эффективным решением. В случае наличия шума предпочтительнее использовать RANSAC, так как он показывает лучшие результаты при работе с данными с выбросами. ICP может быть эффективным при точной начальной регистрации и отсутствии значительных дефектов в данных.

Литература

1. Clinical applications of three-dimensional printing in otolaryngology-head and neck surgery: a systematic review / C. J. Hong [et al.] // *Laryngoscope*. – 2019. – № 129 (9). – P. 2045–2052.
2. Линейные модели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scikit-learn.ru/stable/modules/linearmodel.html/>.
3. Osseointegration of novel titanium implant surfaces: A comparative in vivo study / M. Plecko [et al.] // *Acta Biomaterialia*. – 2012. – № 8 (9). – P. 3507–3514.
4. Automatic reconstruction of 3D cardiac anatomy and segmentation of cardiac MR images: a review / X. Zhuang [et al.] // *Physics in Medicine & Biology*. – 2010. – № 55 (20). – P. 71–98.