

Санкт-Петербургский государственный университет

Кафедра информатики

Группа 22.М04-мм

Ершов Александр Сергеевич

Прототип системы выполнения мультимодальных
исследований головного мозга

Отчёт по производственной практике
(научно-исследовательской работе)

Научный руководитель:

д.ф.-м.н., проф. Т. М. Косовская

Консультант:

д.т.н., проф. Ю. А. Шичкина

Санкт-Петербург

2023

Оглавление

1. Введение	3
2. Постановка задачи	4
3. Теоретические сведения.....	5
3.1 Модальности МРТ исследований.....	6
3.2 Инструменты и пакеты для исследований	6
3.3 Технологии для реализации.....	7
4. Прототип.....	9
5. Заключение	11
Список литературы	12

1. Введение

Область МРТ исследований головного мозга совершенствуется вместе с развитием томографов, компьютеров и программного обеспечения. Обычно в комплект поставки аппарата МРТ входит ПО, позволяющее проводить обработку полученных данных.

Кроме встроенного программного обеспечения существуют разработки от компаний и лабораторий, не являющихся производителями томографов. Обычно это университетские лаборатории нейровизуализации и отдельные исследователи, которые имеют возможность быстрее внедрять и тестировать новые методы обработки данных МРТ.

Однако у каждого инструмента есть свои особенности использования и область применения, в том числе модальность. Совместное использование таких разработок позволяет обогащать картину состояния субъекта, при этом оно сопряжено с трудностями, возникающими при их применении. Формулировка и разработка прототипа подобной системы является следующим этапом разработки комплекса обработки и сопоставления данных МРТ разных модальностей.

2. Постановка задачи

Целью данной работы является разработка прототипа системы мультимодальных исследований головного мозга.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- изучить доступные инструменты для обработки данных МРТ головного мозга;
- рассмотреть доступные технологии для реализации системы;
- оценить применимость технологий к имеющимся инструментам и данным;
- разработать прототип системы.

3. Теоретические сведения

Как было сказано ранее, на данный момент разработано и используется разное программное обеспечение для обработки данных МРТ головного мозга. Почти каждый крупный производитель аппаратов МРТ разрабатывает своё ПО, тесно интегрированное в его экосистему. При этом отдельные научные группы тоже занимаются такими разработками, и зачастую их разработки опережают таковые от производителей. Сводная информация по различиям приведена в табл. 1.

Таблица 1. Краткое сравнение инструментов от производителей и научных групп

	Производители – Siemens [1], Phillips, GE [2], Toshiba	Лаборатории и научные группы
Универсальность	Ограниченная	Почти неограниченная
Расширяемость	Нет	Есть
Доступность	Только в комплекте поставки	Свободная (регистрация)
Сертификация	Обычно есть	Редко

Универсальность предполагает возможность использования ПО для работы с данными, полученными с разных аппаратов, расширяемость – наличие технической возможности изменения процесса работы для целей исследований, в том числе наличие CLI (интерфейс командной строки), а доступность означает существование ресурса, дающего доступ к исполняемым файлам и (или) исходным кодам ПО. Менее техническая, но не менее важная составляющая – сертификация. Так как потенциально такое ПО может применяться медицинскими специалистами при работе с людьми, то для внедрения в повседневную работу необходима сертификация со стороны регулирующих органов.

При существующие системы не позволяет проводить мультимодальные исследования. Совмещение доступных инструментов от лабораторий и научных групп в рамках одной системы позволит использовать последние достижения в области исследований патологий головного мозга.

3.1 Модальности МРТ исследований

МРТ головного мозга является неинвазивным методом для визуализации структур головного мозга и выявления патологий. Модальности МРТ представляют собой различные способы организации и интерпретации данных, получаемых при помощи томографа. Среди них структурная, функциональная, диффузионная, перфузионная и спектроскопия. На первых трёх остановимся подробнее:

- Структурная [3] – используется для изображения анатомических структур головного мозга, позволяя оценить размеры, форму и структуру различных частей мозга. Может быть полезной для диагностики опухолей, инсультов, травм и других структурных изменений.
- Функциональная [4] – показывает изменения в кровоснабжении мозга и связанные с этим изменения активности нейронов. Используется в исследованиях активности мозга при выполнении различных задач. Может быть полезна для изучения функциональных областей мозга и выявления изменений.
- Диффузионная [5] – позволяет измерять направление и скорость диффузии воды в тканях мозга. Используется для визуализации белого вещества, оценки целостности нервных волокон и выявления изменений, связанных с дегенеративными заболеваниями.

В результате получают сырые данные в формате DICOM [6] или NIfTI [7], которые можно экспортировать из базы данных томографа для дальнейшей обработки.

3.2 Инструменты и пакеты для исследований

Производители аппаратов МРТ кроме оборудования разрабатывают программное обеспечение для проведения исследований. У всех крупных производителей – Siemens, Phillips, General Electric, Toshiba есть своё ПО

Обработка сырых данных является задачей на стыке информатики и медицины и требует обширных знаний в этих и смежных областях. В рамках прототипа для этого предполагается использовать существующие инструменты, опирающиеся на опубликованные статьи в рецензируемых журналах. По результатам проведенных ранее тестов с учётом имеющихся сырых данных были выбраны следующие инструменты:

- FreeSurfer [8] для структурной МРТ. Это пакет программ для работы со структурными мозгами, за разработку и поддержку которого отвечает лаборатория вычислительной нейровизуализации при Массачусетской больнице общего профиля. Также существует FastSurfer [9], использующий нейронные сети для значительного ускорения вычислений.
- CONN Toolbox [9] для функциональной МРТ. ПО предназначено для расчета и анализа функциональных связей головного мозга в состоянии покоя и во время выполнения задач. Поддерживается лабораториями университетов MIT, BU и NEU.
- DSI Studio [10] для диффузионной МРТ. Инструмент ориентирован на выполнение трактографии, позволяющей обнаруживать связи в мозге и соотносить полученные данные с нейропсихологическими расстройствами. Разрабатывается профессором Питтсбургского университета.

Все инструменты поддерживают работу посредством CLI (command line interface) и могут быть объединены в рамках прототипа.

3.3 Технологии для реализации

Система разделена на frontend и backend.

- Frontend:
 - Для разработки интерфейса и логики на клиентской части предполагается использовать JavaScript – высокоуровневый, интерпретируемый язык программирования, который

применяется на динамических и интерактивных веб-страницах. Также он является кроссплатформенным языком и способен работать на различных операционных системах и в разных браузерах.

- Визуализация медицинских изображений подразумевает работу со специфичными форматами. Библиотеки Cornerstone [11] и VTK [12] позволяют решить эту задачу, не прибегая к сторонним инструментам и другим языкам программирования.
- Backend:
 - Основная часть разработки бэкенда будет выполняться на Python. Однако в будущем не исключён (частичный) переход на C++.
 - Для управления задачами обработки данных, выполнение которых может занимать продолжительное время (в зависимости от конфигурации оборудования 4-6 часов на одного субъекта) применяется Celery [13] – распределенная система управления заданиями, предоставляющая инфраструктуру для выполнения асинхронных задач в фоновом режиме.

Также необходимы веб-сервер Nginx [14] и система для контейнеризации Docker [15].

4. Прототип

С учетом описанного ранее прототип выглядит следующим образом:

- Frontend
 - Загрузка данных: для запуска исследования пользователь загружает полученные с аппарата данные.
 - Настройка исследований: распределение субъектов по группам, настройка параметров отдельных исследований (fine-tuning).
 - Отображение результатов: после выполнения вычислений на бэкенде их результаты отображаются в интерактивной форме.
- Backend
 - Проведение исследований: обработка при загрузке сырых данных, запуск выбранных инструментов (FreeSurfer, CONN Toolbox, DSI Studio) с передачей данных и параметров исследований, подготовка результатов к визуализации.
 - Контроль заданий: мониторинг состояния запущенных исследований, при необходимости перезапуск и уведомление пользователя о состоянии выполнения вычислений.

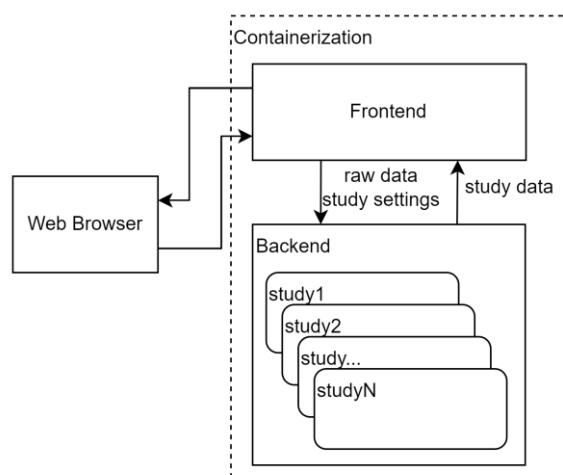


Рисунок 1 – Схематическая модель прототипа

Так как одна из целей совмещения инструментов – облегчение использования последних возможностей в области нейровизуализации медицинскими специалистами, то интерфейс системы предполагается «легковесным», без обилия настроек и параметров, например, как на рис. 2.



Рисунок 2 – Пример интерфейса прототипа

Вместе с тем, возможно появление «экспертного» режима, предлагающего тонкую настройку параметров каждого исследования для достижения наилучших результатов по сравнению со стандартными значениями.

5. Заключение

В ходе учебной практики были достигнуты следующие задачи:

- Изучены доступные инструменты для обработки данных MPT головного мозга, среди которых FreeSurfer, CONN Toolbox и DSI Studio.
- Рассмотрены доступные технологии для реализации прототипа.
- Оценена применимость существующих технологий к имеющимся инструментам и данным.
- Разработан прототип системы мультимодальных исследований головного мозга.

В рамках продолжения исследований планируется выполнить следующие задачи:

- Изучить лицензионную составляющую используемых инструментов.
- Проработать функционал с медицинскими специалистами.
- Добавить анализ результатов проведённых исследований.
- Проработать возможность сбора датасета для дальнейшего обучения нейронных сетей.

Список литературы

1. Options & Upgrades - Get the most from your investment [Электронный ресурс] // Siemens Healthineers: [сайт]. URL: <https://www.siemens-healthineers.com/magnetic-resonance-imaging/options-and-upgrades/clinical-applications> (дата обращения: 22.12.2023).
2. Magnetic Resonance Imaging Products, Technology & Solutions [Электронный ресурс] // GE HealthCare (United States): [сайт]. URL: <https://www.gehealthcare.com/products/magnetic-resonance-imaging> (дата обращения: 22.12.2023).
3. Structural MR [Электронный ресурс] // The University of Edinburgh: [сайт]. [2021]. URL: <https://www.ed.ac.uk/clinical-sciences/edinburgh-imaging/research/themes-and-topics/medical-physics/imaging-techniques/structural-mr> (дата обращения: 12.12.2023).
4. Glover G.H. Overview of functional magnetic resonance imaging // Neurosurgery clinics of North America, Т. 2, № 22, 2011.
5. Baliyan V. Diffusion weighted imaging: Technique and applications // World journal of radiology, № 8, 2016.
6. Bidgood W.D. Understanding and using DICOM, the data interchange standard for biomedical imaging. // Journal of the American Medical Informatics Association, № 4, 1997.
7. NIfTI (file format). Reference article R.O. NIfTI (file format). Reference article [Электронный ресурс] // Radiopaedia.org: [сайт]. [2019]. URL: <https://radiopaedia.org/articles/nifti-file-format> (дата обращения: 22.12.2023).
8. FreeSurfer [Электронный ресурс] // FreeSurfer: [сайт]. URL: <https://surfer.nmr.mgh.harvard.edu/> (дата обращения: 22.12.2023).
9. CONN Toolbox [Электронный ресурс] // CONN Toolbox: [сайт]. URL: <https://web.conn-toolbox.org/home> (дата обращения: 22.12.2023).

22.12.2023).

10. DSI-Studio: A Tractography Software Tool for Diffusion MRI Analysis [Электронный ресурс] // DSI Studio Documentation: [сайт]. URL: <https://dsi-studio.labsolver.org/> (дата обращения: 22.12.2023).
11. Cornerstone.js [Электронный ресурс] // Cornerstone.js: [сайт]. URL: <https://www.cornerstonejs.org/> (дата обращения: 22.12.2023).
12. VTK.js [Электронный ресурс] // VTK.js: [сайт]. URL: <https://kitware.github.io/vtk-js/index.html> (дата обращения: 22.12.2023).
13. Celery - Distributed Task Queue [Электронный ресурс] // Celery documentation: [сайт]. URL: <https://docs.celeryq.dev/> (дата обращения: 22.12.2023).
14. nginx [Электронный ресурс] // nginx: [сайт]. URL: <https://nginx.org/> (дата обращения: 22.12.2023).
15. Docker: Accelerated Container Application Development [Электронный ресурс] // Docker: [сайт]. URL: <https://www.docker.com/> (дата обращения: 22.12.2023).