

Санкт-Петербургский государственный университет

Кафедра информатики

Группа 22.М04-мм

Ершов Александр Сергеевич

МРТ исследования головного мозга и совмещение данных
разных модальностей

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. Модальности, совмещение и виды исследований МРТ.....	5
3.1 Модальности МРТ	5
3.2 Виды исследований	6
3.3 Совмещение данных разных модальностей.....	6
4. Реализация совмещения данных ДТ МРТ с другими модальностями.....	9
5. Заключение	11
Список литературы	12

1. Введение

Разные импульсные последовательности МРТ дают данные о разных модальностях. В контексте головного мозга это функциональная и диффузионно-тензорная МРТ, а также T1 МРТ.

Для извлечения максимальной пользы из полученных данных необходимо иметь возможность совмещать разные модальности, равно как и визуализировать результаты на одном модельном мозге.

Работа выполнена в рамках продолжения разработки комплекса обработки и сопоставления данных МРТ разных модальностей.

2. Постановка задачи

Целью данной работы является реализация совмещения данных разных модальностей на единой модели мозга в части ДТ МРТ.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- рассмотреть существующие модальности данных и виды МРТ исследований;
- ознакомиться с подходами к совмещению данных разных модальностей;
- оценить применимость подходов к имеющимся данным, видам исследований и программным средствам;
- реализовать совмещение разных модальностей в части ДТ МРТ и трактографии.

3. Модальности, совмещение и виды исследований МРТ

3.1 Модальности МРТ

В зависимости от выбранной импульсной последовательности (ИП) снимки МРТ дают разные данные.

ИП диффузионный тензор описывает направленность диффузии молекул воды. На основе снимков ДТ МРТ [1] можно произвести трактографию [2] – математическую обработку полученных изображений для расчета проводящих путей, которыми соединены отделы мозга. Пример снимка рис. 1 по центру.

Наравне с физической связанностью отделов существует возможность получить данные об их логической связанности. Для этого выполняется МРТ с импульсной последовательностью BOLD – Blood Oxygen Level Dependency [3], пример на рис. 1 справа. Снимки также подвергаются обработке, выполняется фМРТ – функциональная [4] МРТ.

Последовательность T1 даёт информацию о составе пространства вокруг молекулы воды [5], пример рис. 1 слева. На основе этих изображений также можно произвести вычисления и получить сведения об объемах структур головного мозга, например, толщины областей коры. Такое исследование называется МР-морфометрией [6].

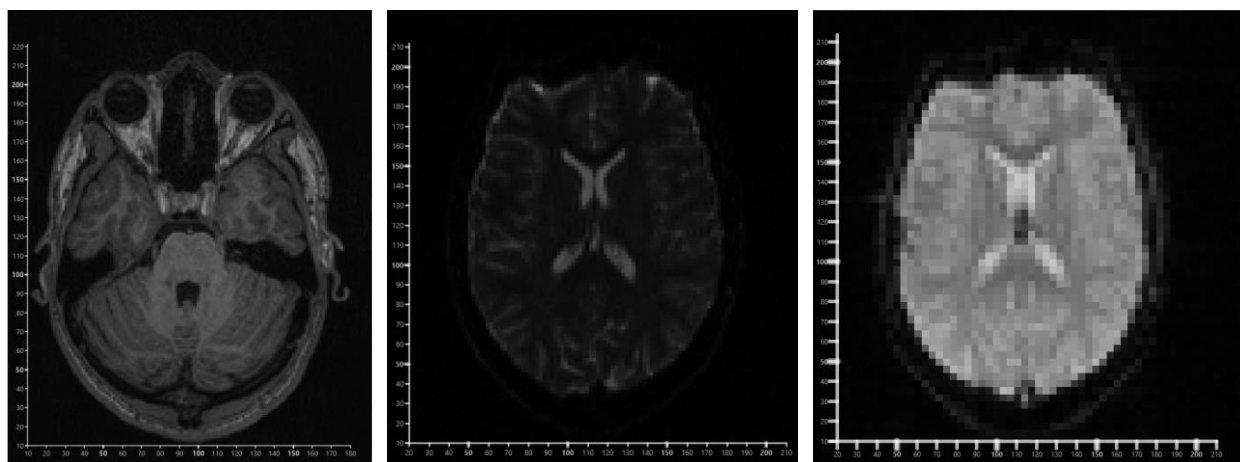


Рисунок 1 – Пример МРТ разных импульсных последовательностей.

Слева-направо: T1, ДТ, BOLD

3.2 Виды исследований

В рамках трактографии в зависимости от дизайна и поставленных задач исследование может быть индивидуальным, межгрупповым и внутригрупповым.

При индивидуальном исследовании [7] данные обрабатываются независимо друг от друга, для каждого субъекта реконструируются проводящие пути.

В групповых исследованиях [8], кроме реконструкции также вычисляется корреляция проводящих путей (их наличие и длина) с исследуемой переменной, например, полом субъекта, к обработке данных добавляется этап совместной обработки. В таком случае исследование называется «корреляционная трактография». Отличие внутригруппового и межгруппового исследований состоит в дополнительной переменной в последнем, определяющей принадлежность субъекта к группе.

3.3 Совмещение данных разных модальностей

Сырые данные МРТ обычно представлены в subject space, т. е. пространстве, специфичном для исследуемого субъекта, пример на рис. 2. В процессе обработки они регистрируются (корегистрируются, приводятся) к модельному мозгу соответствующей модальности.

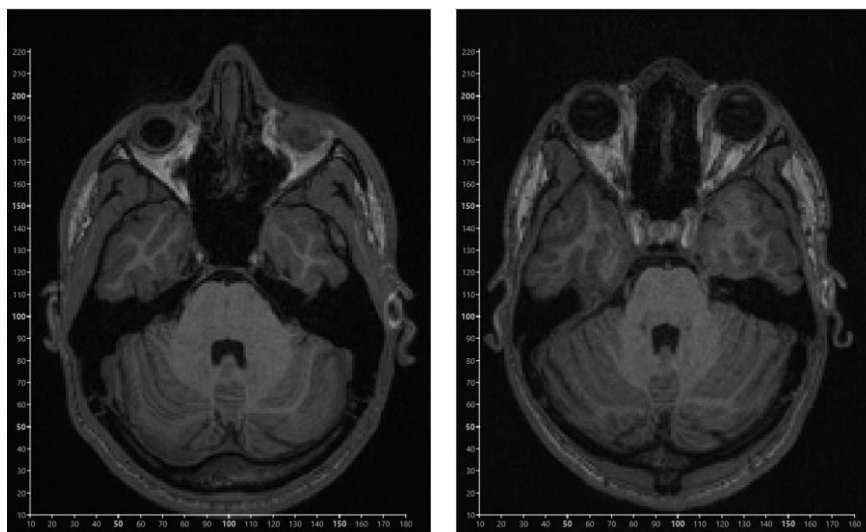


Рисунок 2 – Снимки T1 двух субъектов. Видны различия в размерах структур мозга

Иными словами, полученные в результате исследования значения привязаны к точкам пространства, которое отличается у разных субъектов и модальностей. Сравнение результатов почти невозможно, как в индивидуальных, так и в групповых исследованиях, так как данные не корегистрированы к единой модели.

В зависимости от истории создания и развития программных инструментов для обработки сырых данных МРТ в них используются разные модели мозга (шаблоны). Рассмотрим модели, задействованные в инструментах для обработки данных разных модальностей.

В DSI Studio для трактографии используется модель HCP1065 [9]. Для ее создания были использованы 1065 субъектов, которые участвовали в проекте Human Connectome Project (HCP). В его рамках были произведена попытка картировать структурные и функциональные связи в человеческом мозге с использованием методов нейровизуализации.

Для выполнения функционального МРТ в CONN Toolbox данные регистрируются с анатомическим шаблоном MNI152 [10]. Он разработан Монреальским неврологическим институтом (MNI) и представляет собой стандартизированный шаблон мозга на основе анатомии мозга 152 здоровых взрослых субъектов, полученной с помощью T1-взвешенных МРТ высокого разрешения.

Freesurfer для выполнения МР-морфометрии корегистрирует данные с моделью Talairach [11]. Она разработана французским нейрохирургом Жаном Талайраком и его коллегами в 1980-х годах. Модель основана на анализе структур мозга посмертно и направлена на предоставление стандартизированной системы для идентификации и маркировки структур мозга *in vivo*.

Снимки перечисленных моделей представлены на рис. 3. Невооруженным взглядом видна разница в детализации и размерности.

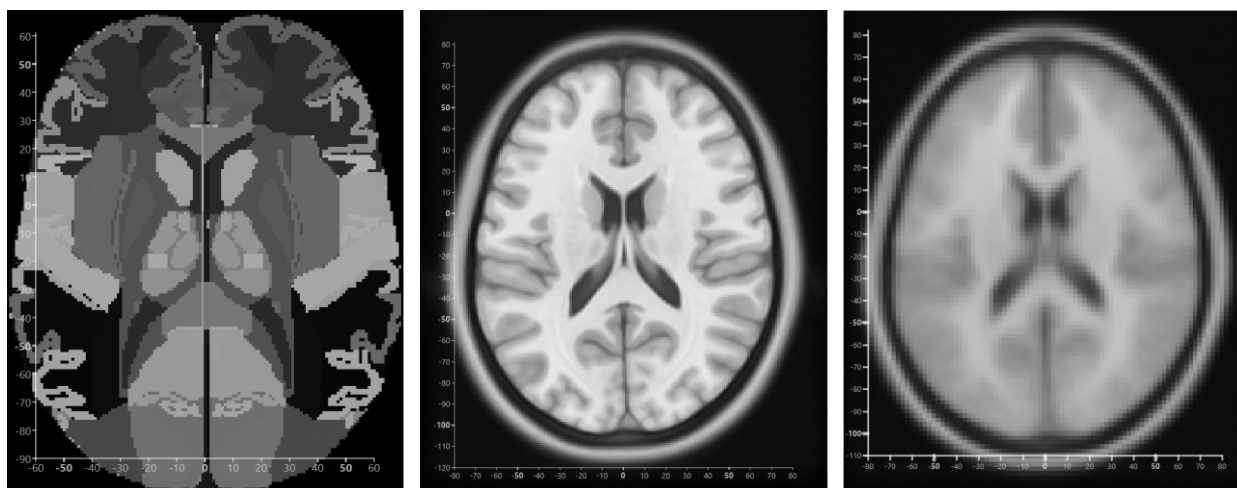


Рисунок 3 – Различные модели мозга. Слева-направо: Talairach, HCP1065, MNI152

После консультации со специалистами в предметной области и анализа технической возможности использования единой анатомической модели мозга было решено использовать шаблон MNI152. Таким образом, результаты функциональной МРТ будут получены в пространстве выбранной модели, в то время как для МР-морфометрии и трактографии необходимы будут преобразования. О таковых для трактографии пойдет речь в следующем разделе.

4. Реализация совмещения данных ДТ МРТ с другими модальностями

Ранее при описании обработчика данных ДТ МРТ было указано, результатом работы являются файл трактов, рассчитанных для всего головного мозга, и файл, содержащий данные фракционной анизотропии. Для использования единой модели мозга существует два варианта – выполнение корегистрации результатов либо использование выбранной модели мозга вместо стандартной в процессе выполнения исследования с получением на выходе данных в пространстве единой модели.

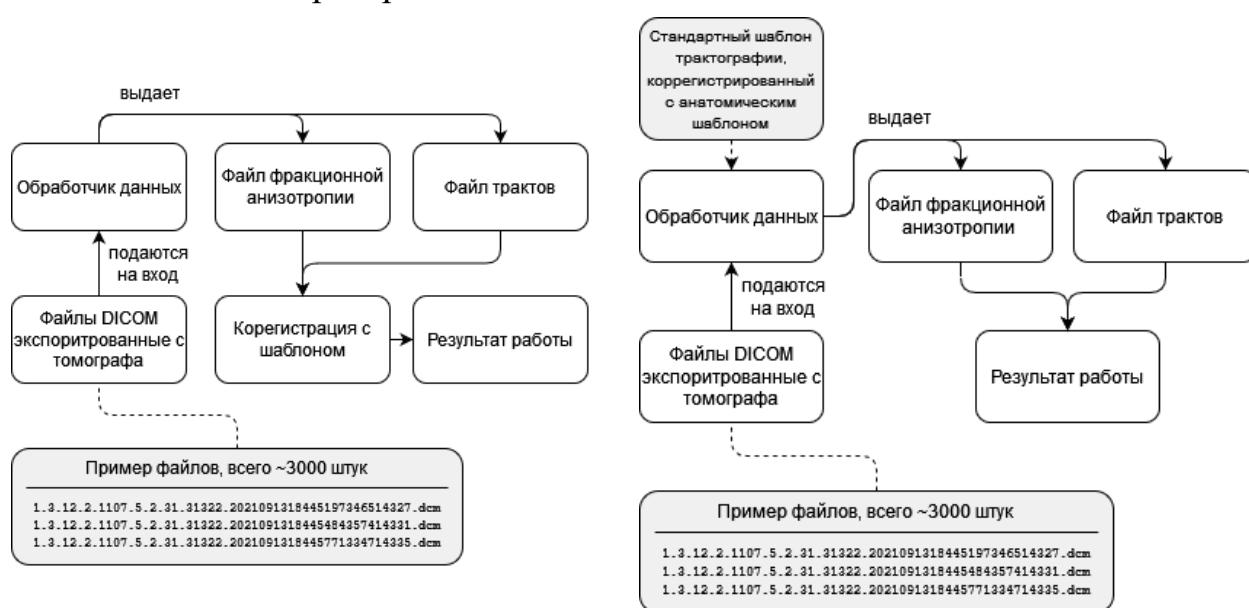


Рисунок 4 – Процесс работы обработчика данных в первом (слева) и втором варианте (справа)

Для первого варианта был найден способ регистрации фракционной анизотропии, но не трактов. Кроме того, данный вариант искажает логику работы, заложенную в инструмент DSI Studio.

Такого недостатка лишен второй вариант, подразумевающий регистрацию данных в процессе исследования, а не после его завершения. Для этого необходимо преобразовать [12] встроенный шаблон для трактографии, по результатам которых он будет корегистрирован с выбранным единым анатомическим шаблоном. Далее для использования в исследованиях нового шаблона остается явно его указать при конфигурации исследования.

Описанное выше справедливо для индивидуальных исследований. Для групповых исследований также необходим шаблон, отличный от такового для индивидуальных. Его создание включает в себя индивидуальную реконструкцию трактов выбранных для шаблона субъектов с дальнейшим усреднением для получения модели. Качественный и количественный выбор субъектов для создания шаблона выходит за рамки данной работы.

Создание шаблонов выполнено однократно, далее их можно многократно использовать, по крайней мере до смены выбранного анатомического шаблона.

На данный момент производится встраивание программного модуля обработки ДТ МРТ, разработанного ранее, и совмещения данных трактографии из этой работы в общий конвейер обработки данных МРТ разных модальностей. Это даст возможность проводить мультимодальные исследования в режиме «единого окна». Один из вариантов визуализации результатов обработки представлен на рис. 5.

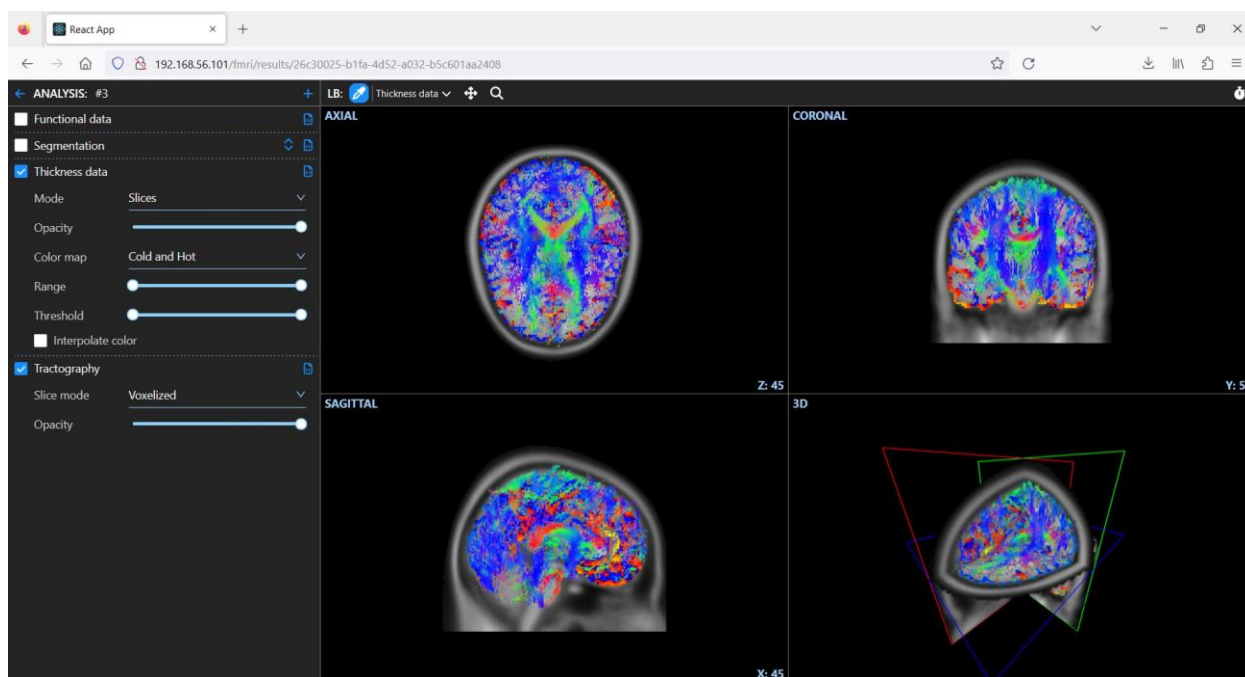


Рисунок 5 – Визуализация обработанных данных дМРТ и T1 МРТ

5. Заключение

В ходе учебной практики были достигнуты следующие задачи:

- Рассмотрены модальности МРТ, среди которых диффузионный тензор, BOLD и T1 МРТ, а также виды исследований – индивидуальное, межгрупповое и внутригрупповое.
- Оценена применимость существующих подходов к совмещению данных разных модальностей, выбран вариант регистрации данных к единой анатомической модели мозга.
- Реализовано совмещение разных модальностей в части ДТ МРТ и трактографии для интеграции в конвейер обработки данных. Вместе с обработчиком данных ДТ МРТ, разработанным ранее и ускоряющим подготовку и проведение исследований, это позволяет отображать данные в том виде, который позволяет их сравнивать и искать патологические изменения или признаки их начала в ручном режиме. Завершение интеграции позволит проводить мультимодальные исследования в режиме «единого окна». Кроме того, приведение данных к единой модели открывает путь к интеллектуализации обработки, поскольку теперь они находятся в едином пространстве.

В рамках продолжения исследований планируется выполнить следующие задачи:

- Изучить подходы к интеллектуализации обработки с целью автоматизации поиска отклонений параметров от референсных значений.
- Выбрать подход, который соответствует данным и текущим способам обработки.
- Реализовать выбранный подход автоматизации поиска отклонений.

Список литературы

1. Yuan-Mou Yang J., Yeh C.H., Poupon C., Calamante F. Diffusion MRI tractography for neurosurgery: the basics, current state, technical reliability and challenges // *Phys Med Biol*, № 66(15), Jul 2021.
2. J. O'Donnell L., Westin C.F. An introduction to diffusion tensor image analysis // *Neurosurg Clin N Am*, № 22(2), 2011.
3. Logothetis N.K. The Underpinnings of the BOLD Functional Magnetic Resonance Imaging Signal // *J Neurosci*, № 23(10), May 2003. C. 3963-3971.
4. Glover G.H. Overview of Functional Magnetic Resonance Imaging // *Neurosurg Clin N Am*, № 22(2), Apr 2011. C. 133-139.
5. Serai S.D. Basics of magnetic resonance imaging and quantitative parameters T1, T2, T2*, T1rho and diffusion-weighted imaging // *Pediatr Radiol*, № 52(2), 2022. C. 217-227.
6. Kennedy D., Makris N., Herbert M., Takahashi T., Caviness V. Basic Principles of MRI and Morphometry Studies of Human Brain Development // *Developmental Science*, № 5(3), 2022. C. 268-278.
7. Yeh F.C., Pei-Fang T., Wen-Yih I.T. Diffusion MRI connectometry automatically reveals affected fiber pathways in individuals with chronic stroke // *NeuroImage: Clinical* 2, 2013. C. 912-921.
8. Yeh F.C., Badre D., Verstynen T. Connectometry: A statistical approach harnessing the analytical potential of the local connectome // *NeuroImage*, № 125, 2016. C. 162-171.
9. Yeh F.C., Panesar S., Fernandes D., Meola A., Yoshino M., Fernandez-Miranda J.C., Vettel J.M., Verstynen T. Population-averaged atlas of the macroscale human structural connectome and its network topology // *Neuroimage*, № 178, 2018. C. 57-68.
10. Mazziotta J., Toga A., Evans A., et al. A four-dimensional probabilistic

atlas of the human brain // Am Med Inform Assoc, № 8(5), Sep-Oct 2001.
C. 401-430.

11. Talairach J., Tournoux P. Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain: 3-D Proportional System: An Approach to Cerebral Imaging. G. Thieme, 1988. 122 с.
12. Create dMRI Template - DSI Studio - A Tractography Software Tool [Электронный ресурс] // DSI Studio: [сайт]. URL: <https://sites.google.com/a/labsolver.org/dsi-studio/Manual/create-dmri-template> (дата обращения: 02.05.2023).