

Нейросетевой алгоритм для создания T1 количественных карт для цифровых МР-фантомов

Бадриева З.Ф. (ИТМО), Белоусова К.М. (ИТМО)

Научные руководители – кандидат технических наук Бруй Е.А. (ИТМО), кандидат технических наук, доцент Аль-Хайдри В. А. А. (ИТМО) (ИТМО)

Введение. Цифровой магнитно-резонансный (МР) фантом представляет собой массив распределения параметров тканей, важных для визуализации при МР сканировании. Основными параметрами являются времена релаксации T1, T2 и T2*, которые характеризуют поведение намагниченности спинов ядер, а также протонная плотность, отражающая количество ядер водорода, дающих ЯМР сигнал, на единицу объема. Кроме того, цифровые фантомы могут содержать информацию о функциональных характеристиках тканей, таких как диффузия, перфузия, перенос намагниченности между водой и макромолекулами и другое. Цифровые фантомы являются важным инструментом в исследованиях и разработках в области МРТ, позволяя тестировать и оптимизировать методы сбора данных и алгоритмы реконструкции без необходимости использования физических фантомов и добровольцев. Кроме этого, в настоящее время для анализа МРТ изображений широко применяются нейронные сети. Обучение нейросети требует большого количества данных, однако реальные данные не всегда доступны в необходимом объеме из-за высокой стоимости процедуры МРТ и проблем с конфиденциальностью медицинских данных. В связи с этим возникает потребность в создании синтетических данных высокого качества, которые так же могут быть получены из цифровых фантомов.

Для получения карт времен релаксации и протонной плотности, как правило, необходима серия МР изображений, снятых при разных параметрах, но одним методом, что является долгим процессом. Такие данные сложно найти в открытом доступе.

В последнее время в области генерации изображений набирают популярность диффузионные модели нейронных сетей (DDPM). Вероятностная модель диффузии с быстрым устранением шума допускает выполнение менее 1000 временных шагов и демонстрирует высокое качество генерации [1].

Целью нашей работы является создание цифровых фантомов с использованием диффузионных нейронных сетей. На данном этапе работы мы сфокусировались на изучении возможности использования диффузионных нейронных сетей для создания количественных T1 карт, другими словами, одного из слоев массива, составляющего цифровой фантом.

Основная часть. Для создания количественных карт были использованы дискретные анатомические модели, полученные из ресурса BrainWeb [2]. Эти модели содержат 11 типов анатомических структур. Количественные карты (слои цифрового фантома) были построены на основе заполнения модели анатомических структур значениями T1, T2, T2* и PD для различных анатомических структур из литературы [3] с добавлением распределения в пределах $\pm 10\%$. Симулирование взвешенных изображений проводилось с использованием библиотеки с открытым исходным кодом Pulseq [4] для генерации диаграммы импульсной последовательности и программного продукта KomaMRI [5] для симуляции T1-взвешенного изображения на основе импульсной последовательности и количественных карт.

Поскольку на данном этапе нашей целью было только создание синтетических T1 карт, набор данных для обучения модели включал 1046 пар количественных карт T1 и T1-взвешенных изображений. Для аугментации данных использовался горизонтальный поворот. Во время обучения модель получает количественную карту T1 и взвешенное изображение в качестве условия. В процессе прямой диффузии модель DDPM постепенно добавляет гауссовский шум к исходному изображению в соответствии с количеством временных шагов, пока его распределение не станет гауссовым. Во время обратной диффузии происходит обратный процесс с использованием параметров модели [6].

Во время последующего использования обученной нейронной сети модель принимает T1-взвешенное изображение и гауссовский шум в качестве входных данных. В нашей работе общее количество временных шагов равно 800. Тип планировщика - uniform. Модель была обучена в течение 763 периодов времени с размером батча 8. Размер изображений составлял 128 * 128 пикселей.

Тестовый набор состоял из 71 взвешенного изображения (71 среза мозга). На рисунке 1 представлены исходная T1 карта, использованной для симуляции T1 взвешенного изображения и T1 карта предсказанной нейронной сетью для одного из 71 срезов мозга. По полученному изображению видно, что нейронная сеть довольно точно предсказывает T1 карты. Для более количественного анализа использовался показатель индекс структурного сходства (SSIM) [7]. Среднее SSIM для заданного тестового набора составил 0.71 ± 0.03 .

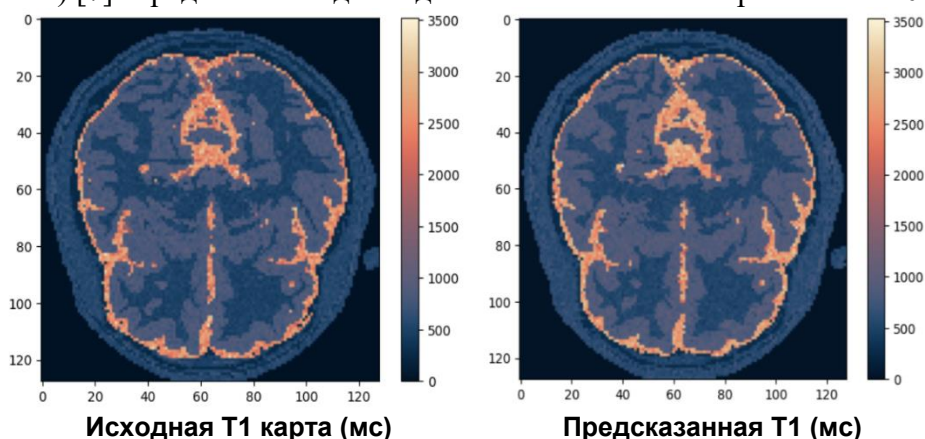


Рисунок 1. – Сравнение исходной T1 карты для одного среза и T1 карты предсказанной нейронной сетью.

Выводы. Таким образом, в данной работе нами были полученные количественные T1 карты с использованием диффузионной нейронной сети. В дальнейшем это может стать частью создания цифрового MR фантома.

Список использованных источников:

1. Jiang H. et al. Fast-DDPM: Fast Denoising Diffusion Probabilistic Models for Medical Image-to-Image Generation //arXiv e-prints. – 2024. – С. arXiv: 2405.14802.
2. Aubert-Broche B. et al. Twenty new digital brain phantoms for creation of validation image data bases //IEEE transactions on medical imaging. – 2006. – Т. 25. – №. 11. – С. 1410-1416.
3. Aubert-Broche B., Evans A. C., Collins L. A new improved version of the realistic digital brain phantom //NeuroImage. – 2006. – Т. 32. – №. 1. – С. 138-145.
4. Ravi K. S., Geethanath S., Vaughan J. T. PyPulseq: A python package for mri pulse sequence design //Journal of Open Source Software. – 2019. – Т. 4. – №. 42. – С. 1725.
5. KomaMRI <https://juliahealth.org/KomaMRI.jl/stable/>
6. Wang S. et al. qMRI Diffuser: Quantitative T1 Mapping of the Brain Using a Denoising Diffusion Probabilistic Model //MICCAI Workshop on Deep Generative Models. – Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. – С. 129-138.
7. Nilsson J., Akenine-Möller T. Understanding ssim //arXiv preprint arXiv:2006.13846. – 2020.