

Изучение морфологического строения обонятельной луковицы человека по результатам фазо-контрастной томографии с привлечением нейросетевых моделей

А. А. Смолин^{1,2}, М. В. Чукалина^{2,3}, И. Н. Букреева^{4,5}, О. А. Юнеман⁶

¹Физтех-школа прикладной математики и информатики, Московский физико-технический институт, Москва, 117303, Россия.

²Smart Engines Service LLC, Москва, 121205, Россия.

³ФНИЦ Кристаллография и фотоника РАН, Рим, 00185, Италия.

⁴Institute of Nanotechnology, Department of Physics, La Sapienza University, Москва, 119333, Россия.

⁵Физический институт имени П. Н. Лебедева РАН, Москва, 119991, Россия.

⁶ФГБНУ Научно-исследовательский институт морфологии человека, Москва, 117418, Россия.

Аннотация

Детальный морфометрический анализ фазоконтрастных изображений обонятельной луковицы человека затруднен из-за недостаточного разрешения метода и собственного контраста реконструируемых изображений. Ранее с использованием нейросетевого подхода удалось выделить на изображениях отдельные слои луковицы. В данной работе была проведена разметка сечений обонятельной луковицы. А также представлен метод сегментации клубочков нервных окончаний в GL-слое, основанный на нейросетевой модели.

1 Введение и текущее состояние дел

Согласно последним исследованиям [1] нарушения работы обонятельной луковицы являются симптомом нейродегенеративных заболеваний, таких как болезнь Паркинсона и болезнь Альцгеймера. Авторы работы [2] делают вывод, что при болезни Альцгеймера к нарушению функций обонятельной луковицы может приводить именно повреждение клубочков. Ранее в работе [3] была проведена сегментация слоев обонятельной луковицы на томографических реконструкциях, полученных неразрушающим методом с помощью фазоконтрастной томографии. Авторы исследования [4] построили модель сегментации обонятельной луковицы на изображениях полученных с помощью флуоресцентного сканера. Для этого исследования обонятельная луковица была разрезана на слои по 10 мкм толщиной. По нашим сведениям на текущий момент не было представлено неразрушающего метода позволяющего сегментировать клубочки нервных окончаний обонятельной луковицы.

2 Подготовка данных

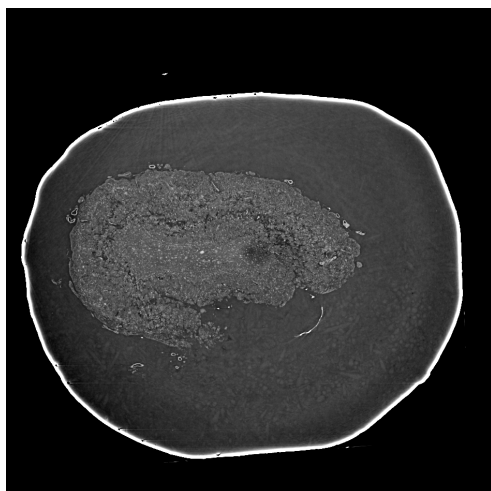


Рис. 1: Сечение обонятельной луковицы

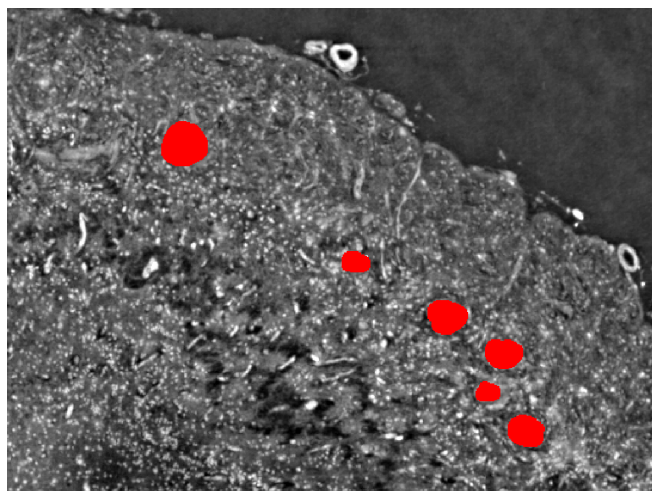


Рис. 2: Размеченная область сечения

В качестве данных для исследования были использованы **4000** срезов обонятельной луковицы разрешения **2461×2461** пикселей полученных с помощью фазоконтрастной томографии, подробное описание данных представлено в работе [3]. Изображение сечения представлено на рис. 1. По нашим сведениям на текущий момент это единственная реконструкция обонятельной луковицы полученная в таком высоком разрешении. Поскольку клубочки нервных окончаний расположены только в GL-слое обонятельной луковицы, для упрощения разметки она проводилась только на области сечения размером **408×548** пикселей. Кроме этого таким образом был уменьшен дисбаланс классов для последующей сегментации. Для разметки использовались срезы полученные взятием попиксельного максимума по каждому блоку из **5** идущих подряд сечений, итого **60** сечений. Далее полученная после разметки маска объектов использовалась как целевая маска для всех 5 сечений. Из размеченных **300** пар изображений и масок для тестирования качества модели были использованы **40** идущих подряд сечений, соответственно тренировочный набор содержал **260** пар изображений и масок.

3 Эксперименты

В качестве базовой модели был взят UNet [5]. Энкодер модели содержал 2 блока (Conv + ReLU + Conv + ReLU + Maxpooling), декодер имел симметричную структуру. Все свертки имели следующие параметры: размер ядра **3×3** , padding= 1. В качестве функции потерь была использована бинарная кросс-энтропия, оптимизатор: Adam с lr= **10^{-3}** . На протяжении всех исследований для оценки качества моделей была использована метрика Intersection over Union (IoU). С целью борьбы с переобучением и повышения качества сегментации к данным при обучении применялись следующие аугментации: отражение изображения по вертикали и горизонтали, поворот изображения на случайный угол и добавление гауссовского шума. Эксперименты были проведены с различными функциями потерь: бинарная кросс-энтропия и Dice.

4 Результаты и заключение

В результате экспериментов было достигнуто значение метрики IoU **0.35** на тестовых данных. Получена модель позволяющая проводить сегментацию клубочков нервных окончаний обонятельной луковицы. Результат работы модели можно наблюдать на рис. 4.

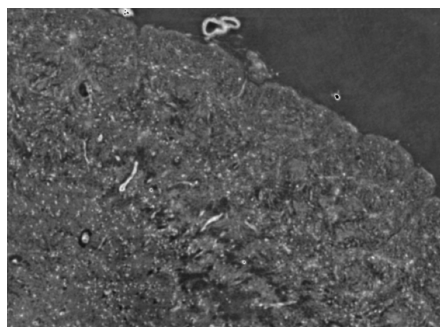


Рис. 3: Область сечения

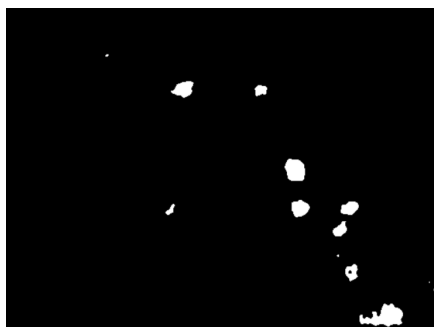


Рис. 4: Предсказания модели



Рис. 5: Целевая разметка

Список литературы

- [1] Ruan, Y., Zheng, X.-Y., Zhang, H.-L., Zhu, W., Zhu, J.: Olfactory dysfunctions in neurodegenerative disorders. *Journal of neuroscience research* **90**(9), 1693–1700 (2012)
- [2] Son, G., Steinbusch, H.W., López-Iglesias, C., Moon, C., Jahanshahi, A.: Severe histomorphological alterations in post-mortem olfactory glomeruli in alzheimer’s disease. *Brain Pathology* **32**(2), 13033 (2022)
- [3] Meshkov, A., Khafizov, A., Buzmakov, A., Bukreeva, I., Junemann, O., Fratini, M., Cedola, A., Chukalina, M., Yamaev, A., Gigli, G., *et al.*: Deep learning-based segmentation of post-mortem human’s olfactory bulb structures in x-ray phase-contrast tomography. *Tomography* **8**(4), 1854–1868 (2022)
- [4] Zapiec, B., Dieriks, B.V., Tan, S., Faull, R.L., Mombaerts, P., Curtis, M.A.: A ventral glomerular deficit in parkinson’s disease revealed by whole olfactory bulb reconstruction. *Brain* **140**(10), 2722–2736 (2017)
- [5] Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T.: U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In: *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention–MICCAI 2015: 18th International Conference, Munich, Germany, October 5–9, 2015, Proceedings, Part III* 18, pp. 234–241 (2015). Springer