

Секция 4

ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ, ИЗОБРАЖЕНИЙ И ВИДЕО

УДК 004.89

АЛГОРИТМ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРИЗНАКОВ ДЕГЕНЕРАЦИИ ДИСКА ЗРИТЕЛЬНОГО НЕРВА У ПАЦИЕНТОВ С РАССЕЯННЫМ СКЛЕРОЗОМ

Е. В. ГИМБИЦКАЯ

(Белорусский государственный университет, г. Минск)

И. И. КОСИК

(Белорусский государственный медицинский университета, г. Минск)

Аннотация. В данной работе представлен алгоритм оценки цветовых характеристик диска зрительного нерва, использующий нейронные сети как инструмент анализа полученных с помощью фундус-камер изображений глазного дна пациентов с рассеянным склерозом.

Ключевые слова: глубокое обучение, сверточные нейронные сети, сегментация, PyTorch, Unet, Resnet.

Введение. Изменение цветовой насыщенности диска зрительного нерва (ДЗН) является важным признаком ряда патологий, приводящих к его атрофии – одной из наиболее распространённых причин снижения зрительных функций. В частности, деколоризация ДЗН характерна для тяжёлого аутоиммунного заболевания – рассеянного склероза (РС). Данная патология сопровождается образованием множественных очагов поражения преимущественно в белом веществе центральной нервной системы и прогрессированием очаговой и диффузной атрофии мозга [1]. Несвоевременная диагностика заболевания приводит к тяжёлым формам инвалидизации пациентов, вследствие потери ими возможности управлять собственным телом. Выявление первых признаков РС и незамедлительный старт терапии значительно повышают шансы на длительную ремиссию под воздействием препаратов, изменяющих клиническое течение заболевания.

Предложенная технология позволяет осуществлять предварительную диагностику РС на начальном этапе заболевания, когда при полном отсутствии неврологической симптоматики обнаруживаются такие признаки дегенеративных изменений ДЗН, как его посерение и побледнение [2]. Что в перспективе положительно сказывается на результатах лечения. Следует отметить, что применяемое в клинической практике визуальный анализ цветности нельзя назвать эффективным ввиду высокой степени его субъективности.

Сегментация и извлечение зоны интереса алгоритма. Как сказано выше, признаки патологии проявляются в области диска зрительного нерва, поэтому для формирования заключения о вероятности заболевания будем работать именно с этой областью снимка глазного дна – зоной диска зрительного нерва и некоторым участком прилежащих к нему тканей (рисунок 1).

Рисунок 1. – Исходный снимок и интересующая нас зона



Так как исходные снимки фундус-камеры достаточно большого разрешения, а нужная нам информация извлекается из области, включающей диск зрительного нерва, то, чтобы не сжимать исходное изображение, рискуя потерять признаки заболевания, возникла необходимость в детекции и извлечении зоны интереса из снимка.

Таким была разработана модель на основе сети UNet с BACKBONE resnet18 с весами imagenet, для выделения зоны интереса заключения вероятности заболевания. Сеть обучалась методом стохастического градиентного спуска на основе входных изображений и соответствующих им карт сегментации (масок). Применяемая попиксельно, функция soft-max приводит предсказание модели к виду маски. Функция потерь – бинарная кросс-энтропия. Точность рассчитывается функцией binaryIOU(), которая находит отношение предсказанной маски к объединению предсказанной и верной масок. На рисунке 2 представлены графики значений функций потерь и точности, полученных при обучении модели.

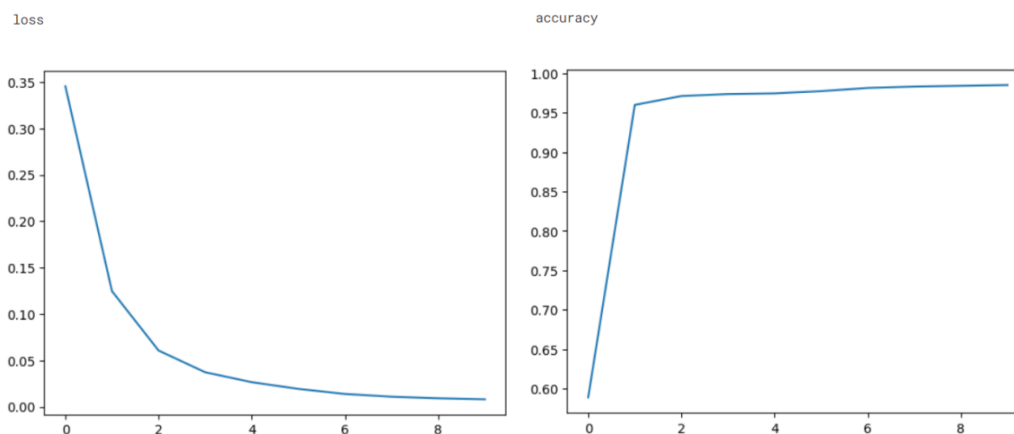


Рисунок 2. – Функции потерь и точности 1–10 эпохи

Модель сегментирует зону диска зрительного нерва, затем, с учетом размерности исходного изображения, вырезает область, содержащую сам диск и поля, равные радиусу самого диска, вокруг него, без потери разрешения изображения. Модель не деформирует диск и обрабатывает исключительные ситуации (например, диск на самом краю изображения).

Обучение модели происходило на онлайн-платформе, предоставляющей возможность обучения на GPU, Kaggle [3]. В ходе проверки на тестовых данных выяснено, что полученная модель обеспечивает хорошую точность сегментации на тестовых данных (93.5 %). Пример работы модели на рисунке 3.

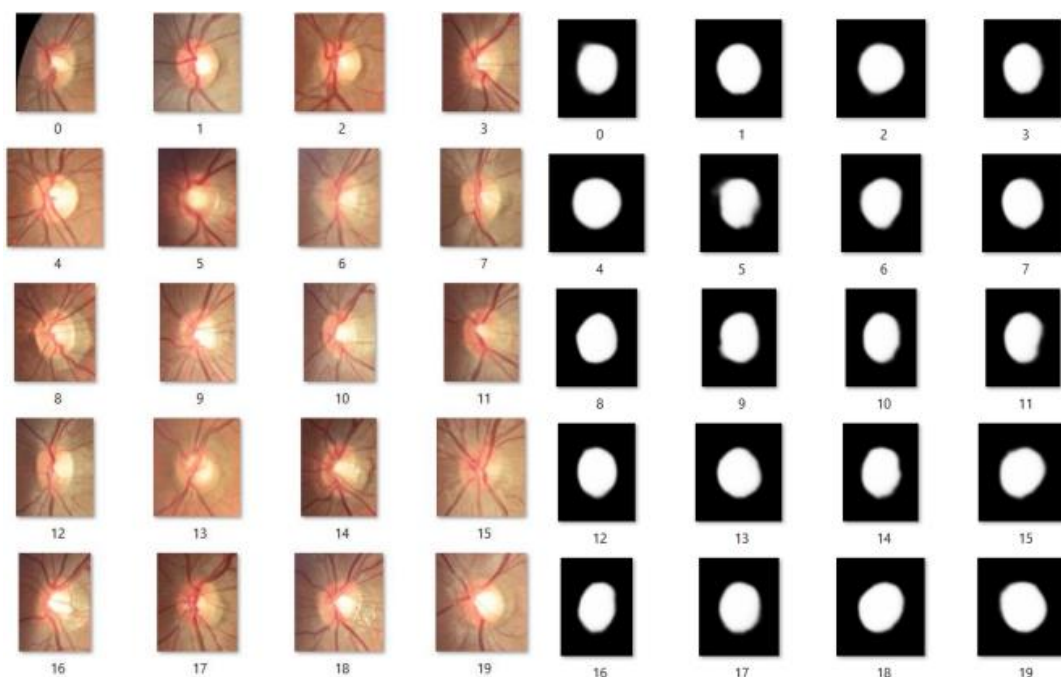


Рисунок 3. – Результат работы модели и выделенные ею маски

Модель для диагностики рассеянного склероза. Полученный с помощью вышеописанной модели фрагмент снимка затем подается в модель-классификатор. Модель-классификатор использует BACKBONE Resnet50, предобученный на наборе изображений ImageNet. Бинарная классификация производится с помощью функции Sigmoid. Так как класса всего 2 (предположительно болен / предположительно здоров), то выход модели (а именно, вероятность обнаружения заболевания) мы пропускаем через порог:

$$diagnosis = \begin{cases} 0, & output < 0.5; \\ 1, & output \geq 0.5. \end{cases}$$

Модель обучалась 20 эпох с постепенным уменьшением параметра learning rate с помощью torch.optim.lr_scheduler (рисунок 4).

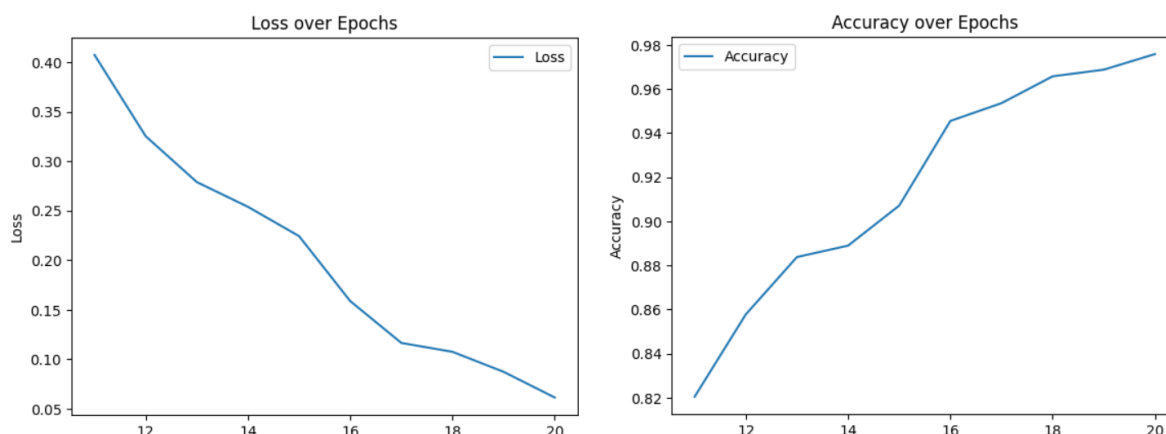


Рисунок 4. – Функции потерь и точности модели на эпохах 11-20

На тестовых данных модель заключает диагноз с точностью 94 %. В таблице приведена матрица ошибок для тестовых данных на 203 пациентах.

Таблица. – Значения классов матрицы ошибок

Класс	Результат модели
TP (верно предсказанные больные)	96
FN (ошибочно предсказанные здоровые)	5
FP (ошибочно предсказанные больные)	7
TN верно предсказанные здоровые	101

Заключение. В данной работе был предложен алгоритм для сегментации и классификации зоны диска зрительного нерва на медицинских снимках фундус-камеры. Алгоритм состоит из двух моделей: сегментирующей модели, которая выделяет область диска зрительного нерва, и модели-классификатора, которая определяет вероятность наличия патологии в этой области. Высокая точность алгоритма свидетельствует о возможности с большой точностью предсказывать вероятность наличия патологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nation Library of Medicine (2010) Rodent models of glaucoma [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2830899>. – Дата доступа: 30.01.2024.
2. G Cennamo, M R Romano, E C Vecchio, C Minervino, C della Guardia, N Velotti, A Carotenuto, S Montella, G Orefice, G Cennamo. (2015). Anatomical and functional retinal changes in multiple sclerosis [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4791705>. – Дата доступа: 14.02.2024.
3. REFUGE Challenge (Retinal Fundus Glaucoma Challenge) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://paperswithcode.com/dataset/refuge-challenge>. – Дата доступа: 15.02.2024.