

УДК 004.032.26:61

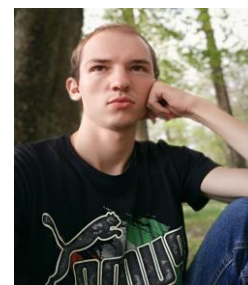
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ОБРАБОТКЕ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ



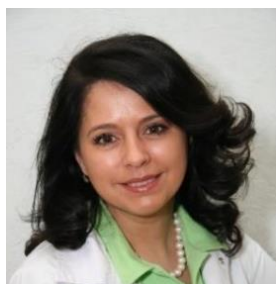
А.А. Каракулько
магистрант кафедры инженерной психологии и эргономики БГУИР



О.С. Медведев
магистр техники и технологии, инженер-программист, кафедра инженерной психологии и эргономики БГУИР



П.А. Мороз
аспирант кафедры инженерной психологии и эргономики БГУИР



О.Н. Дудич
кандидат медицинских наук, доцент, кафедра офтальмологии, БелМАПО



В.Л. Красильникова
доктор медицинских наук, профессор, кафедра офтальмологии БелМАПО



В.С. Осипович
кандидат технических наук, доцент, кафедра инженерной психологии и эргономики БГУИР



К.Д. Яшин
Заведующий кафедрой инженерной психологии и эргономики БГУИР, кандидат технических наук, доцент

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Республика Беларусь, Минск

Белорусская медицинская академия последипломного образования, отделение офтальмологии, Республика Беларусь, Минск

E-mail: o.med@bsuir.by

А.А. Каракулько

В 2019 году окончил БГУИР, специальность «Информационные системы и технологии (в обеспечении промышленной безопасности)». Квалификация инженер-системотехник.

О.С. Медведев

В 2013 году окончил БГУИР, специальность «Инженерно-психологическое обеспечение информационных технологий». Квалификация инженер-системотехник. В 2019 году окончил магистратуру по специальности «Управление безопасностью производственных процессов» с присвоением академической степени магистра техники и технологии. Ведет курсы «CISCO».

П.А. Мороз

В 2016 году окончил БНТУ, специальность «Программное обеспечение информационных технологий». Квалификация инженер-программист. В 2018 году окончил магистратуру по специальности «Инженерная психология, эргономика» с присвоением академической степени магистра технических наук.

О.Н. Дудич

Окончила Саратовский государственный медицинский институт по специальности «Лечебное дело». Защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата медицинских наук на тему «Профилактика послеоперационных воспалительных осложнений в хирургии возрастной катаракты с использованием инъекционной формы кислоты ацетилсалициловой». Является автором 62 печатных работ, 1 патента, 10 учебно-методических пособий, 5 инструкций по применению. Основной исполнитель научного проекта «Разработка и внедрение изделия на основе нерезорбируемых материалов для устранения посттравматических дефектов и деформаций глазницы и глазничного орбитального комплекса с использованием технологий 3D моделирования и прототипирования».

В.Л. Красильникова

Окончила Гродненский государственный медицинский институт по специальности «Лечебное дело». Защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. В 2007 г. защитила диссертацию на соискание ученой степени доктора медицинских наук на тему «Медико-социальная реабилитация пациентов с анофтальмом с помощью композиционного офтальмологического имплантата: кликоэкспериментальное исследование». Является автором более 130 печатных работ, 5 патентов, 10 учебно-Пятая Международная научно-практическая конференция «BIG DATA and Advanced Analytics. BIG DATA и анализ высокого уровня», Минск, Республика Беларусь, 13-14 марта 2019 года 55 методических пособий, 3 инструкций по применению. Под ее руководством защищена 1 диссертационная работа на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. Научный руководитель проекта «Разработка и внедрение изделия на основе нерезорбируемых материалов для устранения посттравматических дефектов и деформаций глазницы и глазничного орбитального комплекса с использованием технологий 3D моделирования и прототипирования».

К.Д. Яшин

Руководитель научно-исследовательской группы НИГ – 7.1 «Системы и приборы экологического мониторинга в управлении безопасностью жизнедеятельности».

В.С. Осипович

В 2004 году окончил Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники по специальности «микроэлектроника», а в 2005 году получил степень магистра по той же специальности. В 2010 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по приборам, системам и медицинской технике. Он является автором 115 публикаций, 2 патентов, 12 учебных пособий. Ежегодно он устно выступает на международных научных форумах. Основные направления научной деятельности: разработка алгоритмов и технологий обработки больших данных, исследования и разработки в области программной обработки медицинских изображений.

Аннотация. Представлены результаты исследований по разработке и реализации в виде программного средства поиска глазных яблок и костных структур глазниц. Для достижения цели было использовано глубокое обучение нейронной сети. Показано, что погрешность расчёта объёмов глазниц на основе результатов распознавания орбит нейронной сетью составляет 4 – 8 %.

Ключевые слова: глазное яблоко, костные структуры глазницы, экстраокулярные мышцы, ретробульбарная клетчатка (ее смещение).

Введение

Методы, основанные на машинном обучении (ML) и особенно глубоком обучении (DL), способны выявлять, локализовать и количественно определять патологические особенности практически при любом заболевании, в частности, и при патологии глазницы.

В то же время, анализ изображений, полученных с применением микроспирального компьютерного томографа MSCT [5-7] в формате DICOM [8] и трехмерная реконструкция костей лицевого черепа, позволяет хирургу более надежно оценить анатомические особенности отдельного пациента, локализацию, границы и распространенность патологического процесса, и планировать объем операции [9, 10].

Для работы нейронной сети с полученными результатами работы компьютерного томографа за основной элемент программной обработки были взяты биомаркеры.

Определение биомаркеров – основные элементы глазницы и глазного яблока, которые должна распознать нейросеть после ее обучения.

Цель настоящей работы – получение программного средства, позволяющее однозначно идентифицировать глазные яблоки и глазницы

Методы и материалы

Исходные данные. В качестве исходных данных для обучения нейронной сети были использованы результаты микроспиральной компьютерной томографии 70 пациентов с переломами костей глазницы различной тяжести. По каждому пациенту анализировался набор изображений в формате DICOM, полученных с использованием результате Микроспирального компьютерного томографа Siemens Emotion 6 (Германия).

Подготовка изображений для обучения нейронной сети осуществлялась путём послойной разметки этих изображений. До процесса разметки была осуществлена конвертация DICOM изображений в RGB изображения. В качестве инструмента для разметки данных использовали приложение VGG Image Annotato, это приложение для ручного аннотирования изображений с возможностью осуществлять множественную разметку. Результатом разметки являются файлы в формате csv и json, которых хранят информацию о координатах точек, ограничивающих полигон (результат разметки глазницы) в привязке к названию файла. Рисунок 1 отражает пример разметки исходных файлов.

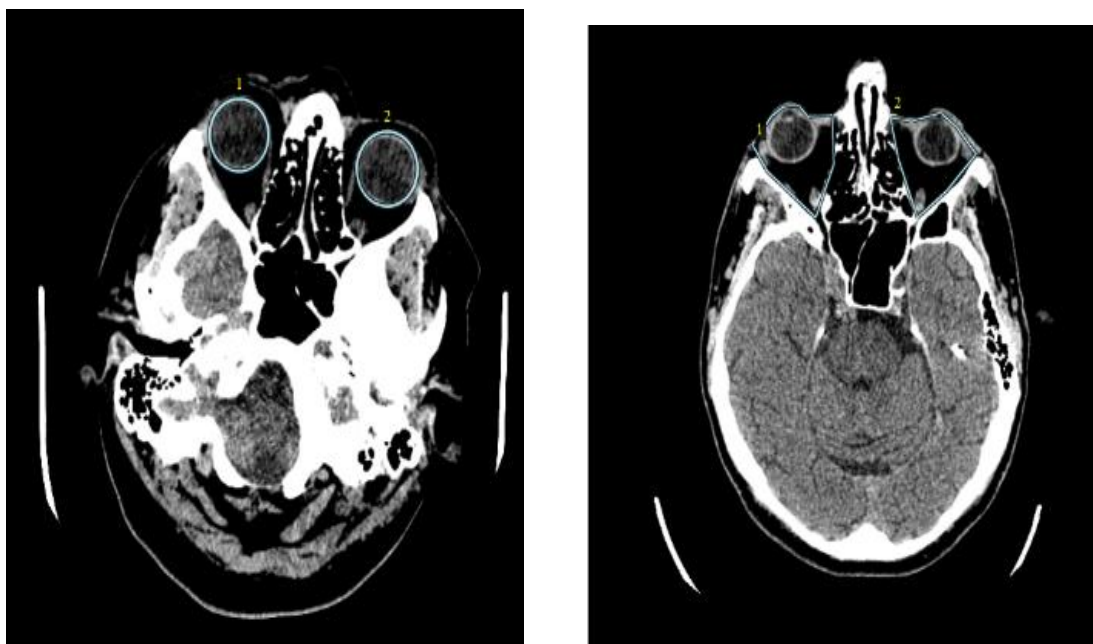


Рисунок 1. – Результат разметки исходных данных в одном слое

Все исходные данные были разделены на тренировочные и тестовые в процентном соотношении 80 и 20 % соответственно. Тестовые исходные данные использовались для проверки работы нейронной сети после обучения. Кроме того, тестовые исходные данные использовались в качестве контрольного эксперимента для сравнения результатов расчёта объёма глазниц размеченных нейронной сетью с объёмом глазниц, размеченных вручную.

Обучение нейронной сети. Решение поставленной задачи было осуществлено средствами языка программирования Python с использованием платформы Anaconda. В качестве основных фреймворков для работы с нейронными сетями мы использовали Tensorflow и Keras. На основе архитектуры U-net была разработана новая архитектура нейронной сети. Обучение нейронной сети происходило со следующими параметрами: итераций на эпоху – 100, learning rate – 0,001, регулязация – 0,0001, минимальная вероятность при детектировании – 0,95.

Количество изображений, использованных для обучения нейронной сети: снимков с биомаркерами 800, снимков глазниц 1633. Аугментация в нейронной сети осуществлялась при помощи алгоритма, заложенного в фреймворке Keras, что позволило в 20 раз увеличить наборы изображения для обучения нейронной сети.

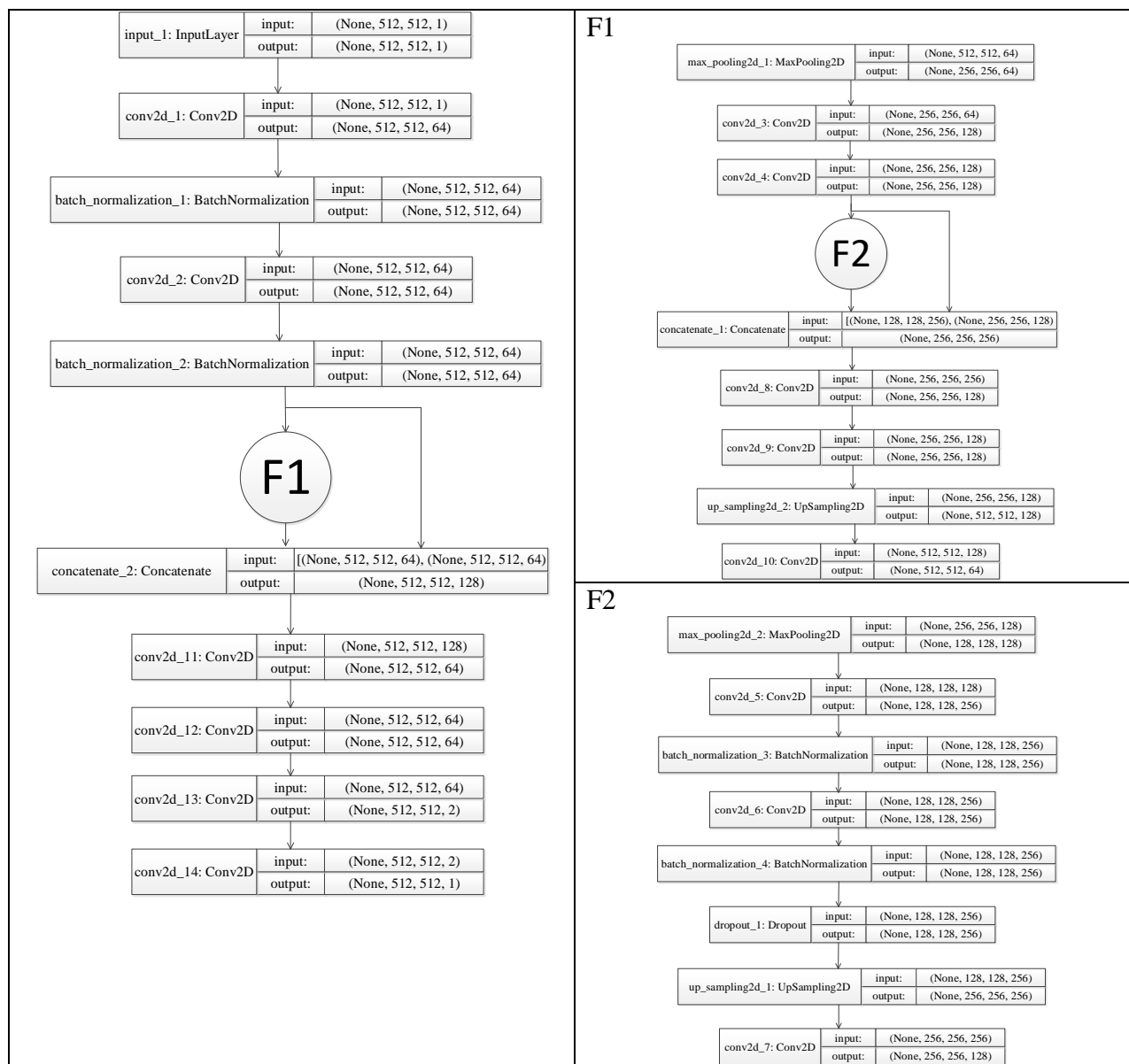


Рисунок 2. – Архитектура алгоритма работы нейронной сети

Процедурная составляющая нейронной сети представлена на рисунке 2 в виде алгоритма работы нейронной сети.

Алгоритм работы программного средства. Разработанное программное средство может работать в двух режимах: режиме обучения нейронной сети и режиме поиска контуров глазниц, глазных яблок и расчёта их объёмов.

глазницы, глазного яблока и расчёта их объёмов состоит из следующих трёх процедур:

- распознавание нейронной сетью по входным изображениям в формате DICOM контуров глазниц и их разметка;
- проверка верности разметки правой и левой глазниц, а также глазных яблок корректировка результатов разметки;

–расчёт объёмов глазниц, глазных яблок и вывод результатов через интерфейс пользователя.

Разработка дополнительной процедуры для однозначной идентификации правой и левой глазниц потребовалась в связи с тем, что в результате работы нейронной сети в некоторых слоях правая глазница и левая глазница были отмечены с ошибкой: левая как правая, а правая как левая. На рисунке 3 отражена блок-схема алгоритма корректировки результатов распознавания нейронной сетью контуров глазниц.

Для расчёта объёма глазниц использовали следующую формулу:

$$V = N \times a^2 \times h \quad (1)$$

где N – количество пикселей, размеченных, как часть глазницы;

a – длина стороны пикселя, мм;

h – расстояние между слоями, мм.

Значения длины стороны пикселя a и расстояния между слоями h зависят от технических характеристик и разрешающей способности аппарата микроспиральной компьютерной томографии. В нашем случае разрешение исходных DICOM файлов составляет 512×512 пикселей и $a = 0,455$ мм, а расстояние между слоями $h = 0,625$ мм.

Реализованные средствами языка программирования Python процедуры были апробированы на 14 наборах DICOM файлов с целью оценки погрешности разметки нейронной сетью глазниц.

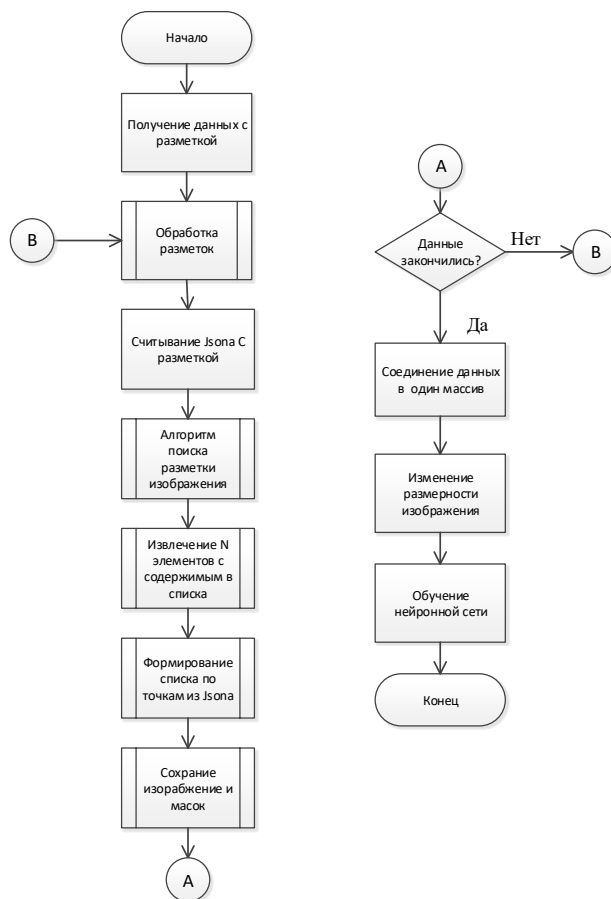


Рисунок 3. – Блок-схема алгоритма корректировки результатов поиска контуров глазниц

Результаты и обсуждение

В результате обучения нейронной сети была получена матрица весовых коэффициентов для каждого слоя нейронной сети на основе которых происходила разметка глазниц в тестовых наборах данных.

Зависимости значения метрики достоверности и уровня потери данных от времени обучения нейронной сети отражены на рисунках 4 и 5, соответственно.

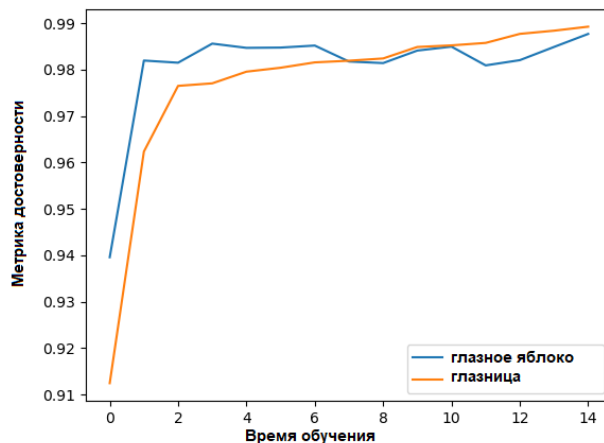


Рисунок 4. – Зависимость значения метрики достоверности от времени обучения (количества итераций)

$$Accuracy = \frac{tp + tn}{tp + fp + fn + tn} \quad (2)$$

где Accuracy – метрика достоверности;

tp (True Positive) – истинноположительный результат. Классификатор решил, что цвет совпадает, и он совпал;

fp (False Positive) – ложноположительный результат. Классификатор решил, что цвет совпадает, но он не совпал. Это так называемая ошибка первого рода;

fn (False Negative) – ложноотрицательный результат. Классификатор решил, что цвет не совпадает, а он совпал. Это так называемая ошибка второго рода. Обычно при создании модели желательно минимизировать ошибку второго, даже увеличив тем самым ошибку первого рода;

tn (True Negative) – истинноотрицательный результат. Классификатор решил, что цвет не совпадает, и он не совпал;

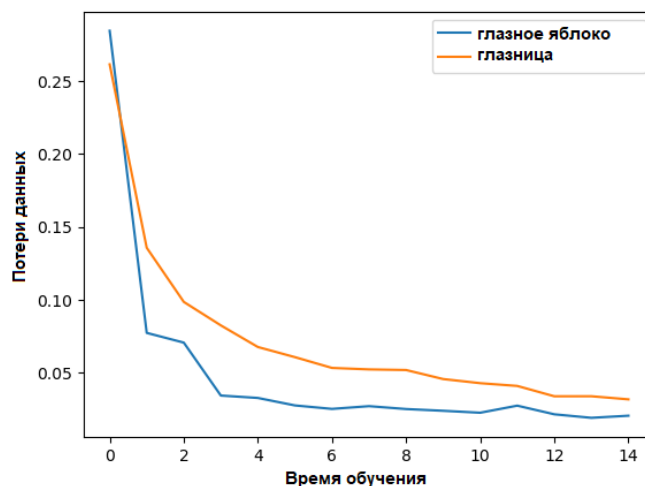


Рисунок 5. – Зависимость потерь данных от времени обучения нейронной сети (количества итераций)

На рисунке 5 четко прослеживается сокращение потерь биомаркеров за время обучения нейронной сети.

$$L(y, \hat{y}) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (y * \log(\hat{y}_i) + (1 - y) * \log(1 - \hat{y}_i)) \quad (3)$$

где y – метка класса;

\hat{y} – то что предсказывает модель;

L – loss (функция нейронной сети) необходимая для идентификации положительных принципов обучения нейронной сети.

В результате обработки изображений тестовых наборов данных с использованием обученной нейронной сети мы получаем бинарную маску изображения (вероятности принадлежности к классу). На рисунке 7 отражён результат поиска контуров глазных яблок, построенных нейронной сетью используя исходное изображение слоя, поступавшего на вход программного средства.

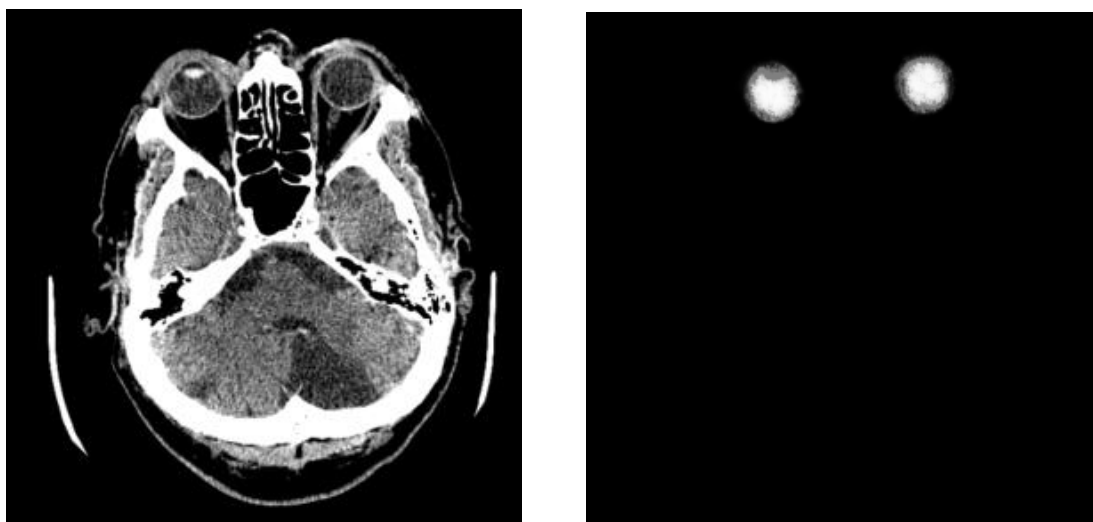


Рисунок 6. – Результат поиска глазного яблока нейронной сетью после обучения

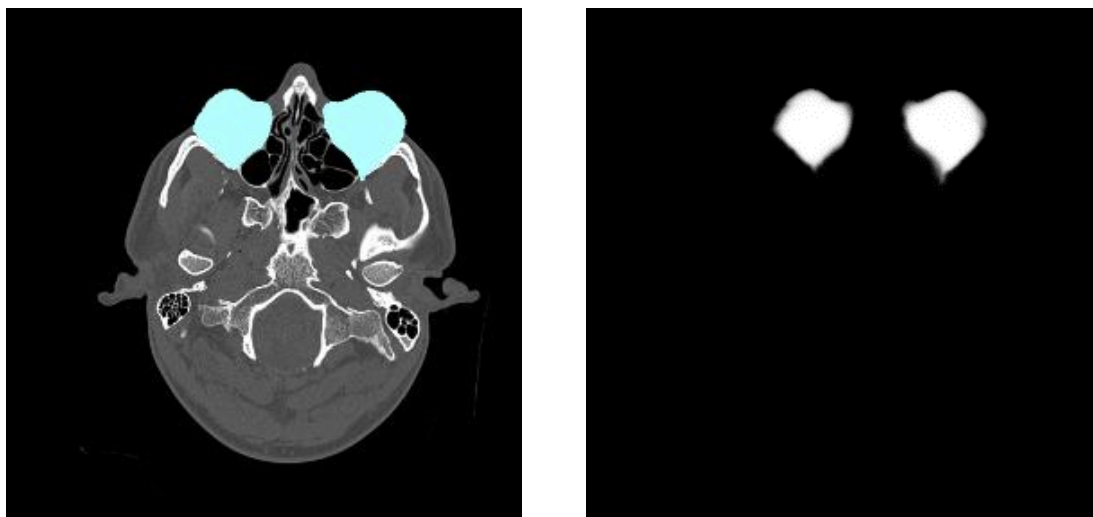


Рисунок 7. – Результат поиска глазниц нейронной сетью после обучения

Далее на основании наборов файлов с контурами глазниц осуществлялся расчёт объёма правой и левой глазниц по формуле (1).

Результат сравнения объёмов глазниц, рассчитанных по результатам разметки нейронной сетью, с объёмами глазниц, рассчитанных по результатам ручной разметки, показал, что разница составляет 4-8%. Это свидетельствует о высокой точности разметки глазниц нейронной сетью. Предложенное программное средство целесообразно использовать для автоматизации процесса расчёта объёма глазниц на этапе подготовки к операции и при оценке результатов операции по замещению тонких костей глазницы.

Заключение

Установлено, что погрешность расчётов объёма глазниц на основе биомедицинских изображений (результатов компьютерной томографии) с использованием нейронной сети составляет 4-8%.

Разработано и апробировано программное средство, позволяющее сократить затраты времени на подготовку к операции по замещению тонких костей глазницы на 30-40 минут.

Список литературы

[1] Levchenko O.V., Krylov V.V., Davydov D.V., Lezhnev D.A., Mikhayliukov V.M., Sharifullin F.A., Kostenko D.I. The computer tomography for estimation of surgical reconstruction efficacy for treatment of posttraumatic defects and orbit deformations. Russian journal of neurosurgery. 2014, (1): Pp. 29-33.

[2] Levchenko O.V., Mikhailiukov V.M., Davydov D.V. Frameless navigation system for surgical treatment of posttraumatic defects and cranioorbital deformations. Russian journal of neurosurgery. 2013, (3): Pp. 9-14.

[3] Davydov D.V., Lezhnev D.A., Kostenko D.I. Diagnostic MSCT and Planning for Surgical Treatment for Patients with Orbital-Wall Injuries and Post-Traumatic Deformities. Doctor.ru. Gastroenterology 1(118), 2016, Pp. 116-120

[4] IFMBE at <https://studylib.ru/doc/2399666/v.a.-stuchilov-%E2%80%A2-a.a.-nikitin---moskovskij-oblastnoj-nauchno>

[5] Masalitina N.N., Kurochka K.S. (2017) The automated classification of computer tomography results for lumbar spine geometric modeling. Doklady BGUIR. (3), Pp. 12-19.

[6] Patent 2000125015/14 RF A61B 17/80, A61B 17/56, A61F 2/28. Rybalchenko's plate for reconstructing damaged bone structures of cheekbone, eye-socket and upper jaw complex and the way of reconstructing damaged bone structures of cheekbone, eye-socket and upper jaw complex with this plate. / Rybalchenko G.N.; Closed Joint Stock Company "KONMET Incorporated", Rybalchenko G.N. – Application № 2202302, 04.10.2000; published 20.04.2003.

[7] Patent 2000116451/14 RF A61 F2/28. Method manufacturing an individual precision implant for compensation of complex subtotal polyostotic eye-socket defect. / Shalunov A. – S.Z.; Shalunov A. – S.Z. – Application № 2164392, 27.06.2000; published 27.03.2001.

[8] Digital imaging and communications in medicine [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dicomstandard.org/current/> (дата обращения: 25.01.2020).

[9] Aggregation Network for Instance Segmentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1803.01534> (дата обращения: 25.01.2020).

[10] Mask R-CNN for object detection and instance segmentation on Keras and TensorFlow [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/matterport/Mask_RCNN/ (дата обращения: 25.01.2020).

USE OF THE NEURAL NETWORK IN PROCESSING OF MEDICAL IMAGES AND CALCULATION OF VOLUME OF THE EYE

A. Karakulko

Graduate student of Human Engineering and Ergonomics

O. Medvedev

Engineer of Human Engineering and Ergonomics, Master of Technical Science

P. Moroz

PG, student of Human Engineering and Ergonomics and Radioelectronics

A. Dudzich

M.D., associate professor, Department of Ophthalmology, Belarusian medical academy of postgraduate education.

V. Krasilnikova

M.D., Professor, Department of Ophthalmology, Belarusian medical academy of postgraduate education

V. Osipovich, PhD

Associate Professor, the Chair of Engineering Psychology and Ergonomics

K. Yashin, PhD

Head of the Department of Human Engineering and Ergonomics, BSUIR

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus, Minsk
Belarus Medical Academy of Postgraduate Education, Republic of Belarus, Minsk
E-mail: o.med@bsuir.by*

Abstract. The results of studies on the development and implementation in the form of a software tool for searching eyeballs and bone structures of the orbits are presented. To achieve the goal, deep neural network training was used. It is shown that the error in calculating the orbit volumes based on the results of the recognition of orbits by the neural network is 4-8%.

Keywords: eyeball, bone structures of the orbit, extraocular muscles, retrobulbar fiber (its displacement).