

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ В ХИРУРГИИ И УРОЛОГИИ

Аннотация. Руденко А.В. Применение технологий компьютерного зрения для детектирования объектов на изображениях компьютерной томографии. Данная статья посвящена вопросам применения цифровых технологий компьютерного зрения для детектирования объектов на медицинских изображениях органов человека, полученных в результате проведения процедуры компьютерной томографии. В статье рассмотрены традиционные методы анализа медицинских изображений и применение искусственных нейронных сетей для решения проблемы детектирования объектов на медицинских изображениях.

Annotation. Rudenko A.V. Application of computer vision technologies for detecting objects in computed tomography images. This article is devoted to the application of digital computer vision technologies for detecting objects on medical images of human organs obtained as a result of a computed tomography procedure. The article discusses traditional methods of analyzing medical images and the use of artificial neural networks to solve the problem of detecting objects in medical images.

Ключевые слова: компьютерное зрение, детектирование, нейронные сети, компьютерная томография, сегментация, медицинские изображения.

Постановка проблемы.

На сегодняшний день анализ медицинских изображений и поиск объектов на них широко применяется в медицинской диагностике – от анализа крови до магнитно-резонансной томографии. Анализ медицинских изображений играет важную роль в оказании клинической помощи и лечении заболеваний. Например, анализ рентгеновских снимков является лучшим подходом для диагностики пневмонии [1], но диагностика пневмонии с применением рентгена грудной клетки требует профессиональных рентгенологов, что является редким и дорогостоящим ресурсом.

Особенность анализа медицинских изображений связана с необходимостью плотной работы медиков и специалиста, занимающегося разработкой процедуры и программы анализа таких изображений. Однако, как правило, большинство медицинских учреждений ориентированы в первую очередь на лечение больных, а не на проведение исследований. Это сказывается на постоянной загруженности врачей. Также существуют сложности с проведением исследований на дорогой и сложной медицинской аппаратуре, которые связаны с высокой стоимостью аренды такого оборудования.

Традиционные методы анализа медицинских изображений достигли своего предела производительности. Кроме того, при их использовании необходимо затратить много времени и усилий на извлечение и отбор классификационных признаков для распознавания и детектирования объектов на изображениях. Также имеются определенные трудности в получении медицинских изображений, сбор и аннотирование медицинских данных сталкивается с требованием длительных пояснений экспертов, с проблемами конфиденциальности медицинских данных.

Цель статьи. Данная статья посвящена исследованию применения технологий компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и детектированию на них объектов. В статье проводится сравнение традиционных способов анализа медицинских изображений с использованием методов сегментации изображений и способов, в которых применены искусственные нейронные сети, обоснование выбора искусственных нейронных сетей для детектирования объектов на медицинских изображениях органов человека, полученных в результате проведения процедуры компьютерной томографии.

Изложение основного материала статьи.

С появлением в 80-х годах первых компьютеров, которые могли работать с изображениями, появилась мысль о том, чтобы с их помощью автоматизировать анализ медицинских изображений. Однако, первые компьютеры слишком медленно работали и тратили много времени на работу с одним изображением, не хватало производительности, не было обработки больших массивов данных. Это сказалось на невозможности полноценно работать в этой области в то время.

Новое развитие компьютерный анализ медицинских изображений получил с производством специальной медицинской техники. В своих приборах инженеры использовали «мощные» программы для обработки изображений. Это сказывалось на том, что была проблема в получении «сырых» данных. Такой аппарат уже произвел их обработку. По итогу то, что мы видим на экране, – это только результат фильтрации,

улучшений и т.д. Поэтому особенность работы для компьютерного анализа заключается в наличие «сырых» данных [2].

Результаты медицинских исследований представляют собой изображения, которые можно разделить на две основные категории: аналоговые и цифровые [3].

Аналоговые изображения содержат информацию имеющую непрерывную шкалу и отражают процессы, аналогичные процессам восприятия человека. Основные недостатки аналоговых изображений состоят в невозможности компактного хранения и передачи, а также сложность обработки формальными методами для диагностики и постановки лечения. Результаты на аналоговых изображениях искажают сторонние сигналы и шумы, что осложняет диагностику.

Использование цифровых форматов медицинских изображений позволяет избавиться от недостатков аналоговых и расширить возможности математических методов анализа.

Главной характеристикой цифрового изображения является матрица, которая разбивает изображение на пиксели и хранит информацию о глубине цвета, яркости и зависит от количества байт, выделенных на один пиксель. Важной особенностью являются характеристики устройств съема и фиксации изображений. Цифровые изображения могут сохраняться в разных форматах, в том числе сжатых без потери данных и хранятся на любых носителях памяти и передавать их на большие расстояния. Цифровые медицинские изображения стали стандартом для большинства методов исследования в медицине.

Одним из способов получения цифровых медицинских изображений является компьютерная томография - высокоинформативный и точный метод диагностики, основанный на послойной рентгенографии [3]. Компьютерная томография является расширением рентгеноскопии и основывается на измерении и компьютерной обработке рентгеновских лучей, проходящих через ткани различной плотности. Рентгеновские снимки представляют собой негативную проекцию исследуемой ткани или органа, при этом различные мелкие изменения или патологии могут не очень хорошо просматриваться или не определяться вовсе [4]. Проведение компьютерной томографии предполагает получение внутренних срезов пациента за счет вращения рентгеновской трубки томографа [5, 6, 7].

В результате компьютерной томографии получается набор срезов в аксиальной проекции фиксированного размера и разрешения и интервала между срезами. Данные характеристики определяют точность результатов КТ. Энергия, проходящая через ткани человека, с помощью датчиков преобразуется в электрические сигналы, которые фиксируются цифровыми изображениями, яркость изображения пропорциональна плотности тканей. С помощью специального программного обеспечения можно получить визуализацию изображений внутренних органов [8, 9, 10]. Рентгеновское излучение при

прохождении через ткани с различной оптической плотностью фиксируются компьютерной системой в виде изображений поперечных и продольных срезов. Результаты этой процедуры сохраняются в виде файлов в DICOM формате.

Одним из начальных способов анализа медицинских изображений является сегментация. С использованием сегментации изображений можно проводить количественный анализ размера, формы и объема органов. Задача сегментации состоит в поиске групп пикселей, которые определяют контуры или отдельный объект [11, 12].

Методы сегментации бывают трёх видов: структурные, стохастические и смешанные [13, 6, 15].

Структурные методы сегментации изображений используют информацию о структуре сегментируемого объекта (его области). К данной группе относятся разрезание графов, граничные и морфологические методы, модели активного контура, динамические деформируемые модели, вероятностные деформируемые модели, активный контур и поток вектора градиента. Преимуществом данных методов является способность сегментировать отдельный объект (орган) или определённую, составляющую интерес для анализа, область. Однако данные методы не могут быть полностью автоматизированы, а точность сегментации с помощью структурных методов требует от исходных изображений высокого разрешения.

Стохастические методы основаны на статистическом анализе изображений. Данная группа методов включает в себя пороговую классификацию, классификаторы, кластерный анализ, случайное поле Маркова. Кластерный анализ в свою очередь включает в себя такие методы, как: метод Уорда, классификация на графах, нечёткая классификация, классификация k-средних, метод одиночной связи, метод средней связи, метод полных связей. В отличие от структурных методов стохастические методы могут быть автоматизированы, однако у них могут возникнуть сложности при анализе отдельной области.

Смешанные (или гибридные) методы включают в себя характеристики и структурных и стохастических методов. К данной группе методов относится метод наращивания области, методы, основанные на атласах, метод «разделить и объединить», модель LEGION и искусственные нейронные сети.

В результате проведенных исследований авторами был сделан вывод, что методы сегментации изображений не подходят для детектирования объектов на изображениях компьютерной томографии в хирургии и урологии. Основная причина – некорректная работа алгоритмов сегментации. Поэтому были проведены дальнейшие исследования применения искусственных нейронных сетей для решения поставленной задачи

детектирования объектов на изображениях компьютерной томографии в хирургии и урологии.

Преимуществом использования искусственных нейронных сетей по сравнению с другими методами является наиболее точные результаты на слабо размеченных данных, что является одной из самых важных проблем анализа медицинских изображений [13].

В настоящее время существует достаточно большое количество известных архитектур сверточных нейронных сетей (СНС или CNN) [14], которые могут быть применены при разработке технологий компьютерного зрения: LeNet-5, AlexNet, VGG-16, Inception-v1, Inception-v3, ResNet-50, Xception, Inception-v4, Inception-ResNets, R-CNN, Faster R-CNN, YOLO.

Почти все архитектуры CNN следуют одним и тем же общим принципам проектирования: последовательного применения сверточных слоев к входным данным, периодически уменьшая пространственные размеры и увеличивая количество карт объектов [15, 16].

СНС архитектур Faster R-CNN, YOLO лучше всего подходят для решения задачи по детектированию объектов на изображениях: по скорости работы, по обучаемости, нейросети данных архитектур являются наиболее современными и хорошо поддерживаются разработчиками.

Точность алгоритма Faster R-CNN достигается за счет временной сложности. Он значительно медленнее, чем YOLO. Несмотря на улучшения по сравнению с RCNN и Fast RCNN, он по-прежнему требует нескольких проходов над одним изображением в отличие от YOLO [17]. Faster RCNN имеет много компонентов — сверточную сеть, слой пула областей интереса (ROI) и сеть предложений регионов (RPN). Любой из них может служить узким местом для других.

YOLOv3 был одной из лучших модификаций, которые были сделаны для системы обнаружения объектов с момента введения «Darknet-53» [17]. Это модифицированное обновление было очень хорошо воспринято критиками и другими промышленными профессионалами. Но у него были свои недостатки. Хотя YOLOv3 по-прежнему считается ветераном, анализ сложности показал недостатки и не хватало оптимальных решений функции потерь. Позже он был исправлен в оптимизированной модели, а затем использовался и тестировался для улучшения функциональности [17, 18].

YOLOv4 - улучшенная версия данного программного обеспечения, в которой учтены ошибки предыдущей версии. Отсутствие точности всегда было проблемой, когда дело доходило до небольших изображений. Было практически бесполезно использовать версию YOLO 3 для анализа небольших изображений, потому что точность составляла около 16.

Еще один вопрос, на который следует обратить внимание, заключается в том, что Darknet 53 применил в YOLOv4 CSPDarknet-53, который лучше, чем Darknet-53, поскольку он использует только 66% от числа параметров, которые использовались в версии 3, но дает лучший результат, который повышает скорость и точность [19].

Авторами был проведен анализ опыта создания и применения медицинских систем для детектирования объектов на медицинских изображениях с использованием алгоритмов искусственного интеллекта. На основании проведенных исследований был сделан вывод, что для анализа медицинских изображений, полученных в результате компьютерной томографии, и детектирования на них объектов в области хирургии и урологии с использованием технологий компьютерного зрения в качестве нейросети наилучшим образом подходит СНС архитектуры YOLO.

В настоящее время последней версией СНС архитектуры YOLO является YOLOv5, реализованная на фреймворке PyTorch, скорость распознавания которой составляет 140 кадров в секунду. YOLOv5 включает в себя несколько моделей, которые отличаются по количеству слоев и размеру, скоростью и точностью детектирования: YOLOv5s, YOLOv5m, YOLOv5l, YOLOv5x [18]. На рисунке 1 представлено сравнение скорости работы и точности распознавания нейросети YOLOv5 различных версий.

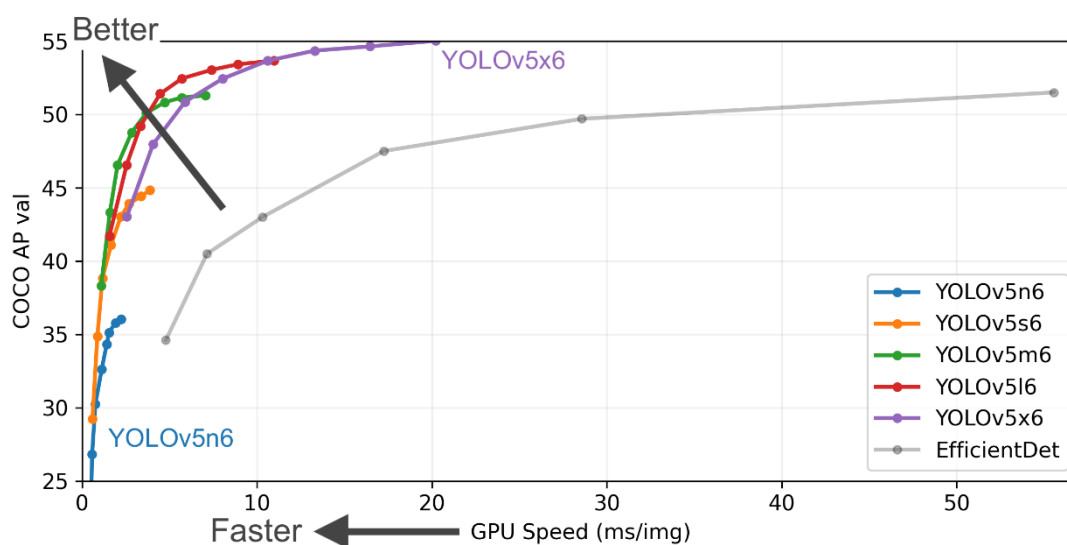


Рисунок 1 - Сравнение показателей версий моделей YOLOv5 [17]

Выводы и перспективы дальнейших исследований поставленной проблемы. В статье исследованы и проведена оценка эффективности инструментов компьютерного зрения для детектирования объектов на медицинских изображениях, полученных в результате проведения компьютерной томографии. На основании изученных методов сегментации и детектирования с применением искусственных нейронных сетей были определены инструменты, позволяющие наиболее эффективно обрабатывать и анализировать

медицинские изображения в хирургии и урологии. Сверточные нейронные сети архитектуры YOLOv5 имеют высокие показатели скорости детектирования объектов на изображении, обладают высоким уровнем точности, и могут быть применены для детектирования объектов на медицинских изображениях, полученных в результате компьютерной томографии внутренних органов человека в области хирургии и урологии.

ЛИТЕРАТУРА

1 Мелдо А.А., Уткин Л.В., Трофимова Т.Н. Искусственный интеллект в медицине: современное состояние и основные направления развития интеллектуальной диагностики// Лучевая диагностика и терапия. 2020. №1 (11). URL: <https://radiag.bmosp.ru/jour/article/view/475> (дата обращения: 16.02.2022).

2 Борисов Д.Н., Кульнев С. В., Лемешкин Р. Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ АНАЛИЗЕ ЦИФРОВЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ// СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ ПО НАПРАВЛЕНИЮ "ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗРЕНИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ". 2019. С. 163-169 URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41824272> (дата обращения: 14.01.2022).

3 Назаренко, Г.И. Медицинские информационные системы: теория и практика / Г.И. Назаренко, Я.И. Гулиев, Д.Е. Ермаков. - М.: Физматлит, 2015. - 320 с.

4 Мартов А.Г., Мазуренко Д.А., Климкова М.М. и др. Двухэнергетическая компьютерная томография в диагностике мочекаменной болезни: новый метод определения химического состава мочевых камней. Урология 2017;(3):98–103. <https://dx.doi.org/10.18565/urol.2017.3.98-103>.

5 Анализ медицинских изображений [Электронный ресурс] / URL: <https://postnauka.ru/faq/80995>.

6 Хамад Ю.А., Симонов К.В. ПРОГРАММА ДЛЯ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ И РЕНТГЕНОГРАФИИ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ// ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (СФУ) 2020. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43965796> (дата обращения: 28.04.2022).

7 Труфанов, Г. Е. Лучевая диагностика : учебник / Труфанов Г. Е. и др. - Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2018. - 484 с. - ISBN 978-5-9704-4419-1. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970444191.html> (дата обращения: 18.02.2022).

8 Hidas G., Eliahou R., Duvdevani M. et al. Determination of renal stone composition with dual-energy CT: in vivo analysis and comparison with x-ray diffraction. Radiology 2010;257(2):394–401. DOI: 10.1148/radiol.10100249.

9 Kermany D.S. Identifying medical diagnoses and treatable diseases by image-based deep learning. / Kermany DS, Goldbaum M, Cai W, Valentim CC, Liang H, Baxter SL, McKeown A, Yang G, Wu X, Yan F, et al. //Cell – 2018. – Vol.172 – P. 1122–1131.

10 Meyer P. Survey on deep learning for radiotherapy./ P. Meyer, V. Noblet, C. Mazzara, A. Lallement. // Comput Biol Med – 2018. – Vol. 98 – P. 126-146

11 Борисов Д.Н., Кульнев С. В., Лемешкин Р. Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ АНАЛИЗЕ ЦИФРОВЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ// СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ ПО НАПРАВЛЕНИЮ "ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗРЕНИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ". 2019. С. 163-169 URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41824272> (дата обращения: 28.02.2022).

12 Козарь Р.В., Навроцкий А.А., Гуринович А.Б. Методы распознавания медицинских изображений в задачах компьютерной диагностики// Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины 2020. №3 (120). URL: https://elib.gsu.by/bitstream/123456789/11756/1/Kozar_Recognition_methods_for_medical.pdf (дата обращения: 12.02.2022).

13 Шубкин, Е. О. Обзор методов сегментации медицинских изображений / Е. О. Шубкин // Молодежь и современные информационные технологии : Сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 22–26 марта 2021 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2021. – С. 90-91. – EDN GRSPJA.

14 Шагалова П.А., Ерофеева А.Д., Орлова М.М., Чистякова Ю.С., Соколова Э.С. ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ПРЕДОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ МЕДИЦИНСКИХ СНИМКОВ // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева 2020. №1(128) URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-algoritmov-predobrabotki-izobrazheniy-dlya-povysheniya-effektivnosti-raspoznavaniya-meditsinskih-snimkov/viewer> (дата обращения: 14.02.2022).

15 Анализ медицинских изображений [Электронный ресурс] / URL: <https://postnauka.ru/faq/80995>.

16 Boominathan L., Kruthiventi S.S., Babu R.V. CrowdNet: A Deep Convolutional Network for Dense Crowd Counting / L. Boominathan, S.S. Kruthiventi, R.V. Babu // Proceedings of the 2016 ACM on Multimedia Conference – 2016. – P. 640-644.

17 YOLO: Real-Time Object Detection. — Текст : электронный // jreddie.com : [сайт]. — URL: <https://pjreddie.com/darknet/yolo/> (дата обращения: 18.03.2022).

18 Priya, Dwivedi YOLOv5 compared to Faster RCNN. Who wins? / Dwivedi Priya. — Текст : электронный // towardsdatascience.com : [сайт]. — URL: <https://towardsdatascience.com/yolov5-compared-to-faster-rcnn-who-wins-a771cd6c9fb4> (дата обращения: 28.04.2022).

19 YOLOv5: state-of-the-art модель для распознавания объектов. — Текст: электронный // neurohive.io: [сайт]. — URL: <https://neurohive.io/ru/papers/yolov5-state-of-the-art-model-dlya-raspoznavaniya-obektov/> (дата обращения: 28.04.2022).