

УДК 004.931

DOI: [10.26102/2310-6018/2023.43.4.xxx](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.43.4.xxx)

## Применение технологий компьютерного зрения для поиска объектов на медицинских изображениях

А.В. Руденко<sup>1</sup>✉, М.А. Руденко<sup>1</sup>✉, И. Л. Каширина<sup>2</sup> ✉

<sup>1</sup>Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Симферополь, Российская Федерация

<sup>2</sup>Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация

**Резюме.** Статья посвящена вопросам применения технологий компьютерного зрения для определения объектов на медицинских изображениях, в том числе на изображениях внутренних органов человека, полученных в результате проведения процедуры компьютерной томографии. Целью данного исследования был выбор метода анализа медицинских изображений для его применения в системе поддержки принятия решений в хирургии и урологии при диагностике мочекаменной болезни человека. В статье рассмотрены методы анализа медицинских изображений - классификация, детектирование, сегментация - с применением искусственных нейронных сетей для решения проблемы нахождения объектов на медицинских изображениях. Было определено, что каждый из описанных методов анализа медицинских изображений применим для решения определенного рода задач. Для применения в системе поддержки принятия врачебных решений при диагностике мочекаменной болезни, для планирования хирургического вмешательства при лечении, лучше всего подходит детектирование. В статье также приведены архитектуры искусственных нейронных сетей, которые чаще всего применяются при проектировании систем компьютерного зрения. Для решения задачи детектирования объектов на медицинских изображениях, полученных по результатам компьютерной томографии внутренних органов человека обоснована целесообразность применения нейросети архитектуры YOLO, анализирующей изображение за один проход, имеющей высокую точность детектирования и скорость работы. Результаты детектирования изображений нейросетью YOLO позволяют провести дальнейшие расчеты параметров найденных объектов для планирования хирургического вмешательства.

**Ключевые слова:** компьютерное зрение, медицинские изображения, классификация, детектирование, сегментация, нейронные сети, компьютерная томография, мочекаменная болезнь.

**Благодарности:** Исследования выполнены при финансовой поддержке ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере», программа «Старт», конкурс «Старт-Искусственный интеллект-1» (I очередь), заявка С1ИИ-112266, договор № 27ГС1ИИС12-D7/71365.

**Для цитирования:** Руденко А.В., Руденко М.А. Применение технологий компьютерного зрения для поиска объектов на медицинских изображениях. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2024;\*\*(\*) URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=xxxx> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.41.2.xxx

## The use of computer vision technologies to search for objects in medical images

A.V. Rudenko<sup>1</sup>✉, M.A. Rudenko<sup>1</sup>✉, I. L. Kashirina<sup>2</sup> ✉

<sup>1</sup>V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation

<sup>2</sup>Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation

**Abstract.** The article is devoted to the application of computer vision technologies to identify objects in medical images, including images of human internal organs obtained because of a computed tomography procedure. The purpose of this study was to select a method for analyzing medical images for its application in the decision support system in surgery and urology in the diagnosis of human urolithiasis. The article discusses methods of analyzing medical images - classification, detection, segmentation - using artificial neural networks to solve the problem of finding objects in medical images. It was determined that each of the described methods of analyzing medical images is applicable to solving certain types of problems. Detection is best suited for use in the medical decision support system for the diagnosis of urolithiasis, for planning surgical intervention in treatment. The article also presents the architectures of artificial neural networks, which are most often used in the design of computer vision systems. To solve the problem of detecting objects in medical images obtained from the results of computed tomography of human internal organs, the expediency of using the YOLO neural network architecture, analyzing the image in one pass, having high detection accuracy and speed of operation, is justified. The results of image detection by the YOLO neural network allow further calculations of the parameters of the found objects for planning surgical intervention.

**Keywords:** computer vision, medical images, classification, detection, segmentation, neural networks, computed tomography, urolithiasis.

**Acknowledgements:** The research was carried out with the financial support of the Federal State Budgetary Institution "Fund for the Promotion of Small Forms of Enterprises in the Scientific and Technical field", the Start program, the Start-Artificial Intelligence-1 competition (first stage), application C1II-112266, contract No. 27GS1IIS12-D7/71365.

**For citation:** Rudenko A.V., Rudenko M.A. Application of Computer Vision Technologies to search for objects in medical images. Modeling, optimization and information technology. 2024;\*\*(\*) URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=xxxx> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.41 .2.xxx

## Введение

Технологии компьютерного зрения и искусственного интеллекта находят применение в сфере человеческой деятельности. Важным и интересным направлением, где возможно применение данных технологий, является анализ объектов на медицинских изображениях (МИ). На сегодняшний день анализ МИ и поиск объектов на них широко применяется в медицинской диагностике – от анализа крови до магнитно-резонансной томографии. Анализ МИ играет важную роль в оказании клинической помощи и лечении заболеваний. Например, анализ рентгеновских снимков является лучшим подходом для диагностики пневмонии, но для диагностики пневмонии с применением рентгена грудной клетки требуется заключение профессионального рентгенолога. Разработка системы автоматизированного анализа МИ связана с необходимостью долгой и плотной работы медиков и ИТ-специалистов. Однако, как правило, большинство медицинских учреждений ориентированы в первую очередь на лечение больных, а не на проведение подобных исследований, что затрудняет процесс создания таких систем.

Целью исследования была разработка системы поддержки принятия врачебных решений в хирургии и урологии с применением компьютерного зрения, в которой средствами компьютерного зрения производится анализ МИ, полученных по результатам компьютерной томографии внутренних органов человека, на предмет поиска конкрементов в почках, расчета параметров найденных камней, а также поддержка принятия решения врачом по подбору параметров лазерной установки для дробления камней.

До недавнего времени задачи анализа МИ решались с использованием различных алгоритмов обработки изображений, в том числе: алгоритмов адаптивной фильтрации и усиления, алгоритмов, основанных на использовании гистограмм градиентов,

алгоритмов каскадных классификаторов на основе метода Виолы-Джонса, алгоритмы, основанные на методах контурного анализа и др. Традиционные методы анализа МИ и поиска на них объектов 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 [1-4].

Поэтому существует необходимость развитии современных инструментов анализа медицинских изображений на основе искусственных нейронных сетей (ИНС), а также анализе возможностей данных инструментов. В настоящее время существуют следующие методы анализа медицинских изображений: классификация объектов на изображениях, детектирование объектов на изображениях, сегментация объектов на изображениях. Каждый из методов предназначен для решения разного рода задач в медицине при постановке диагноза. Применение ИНС в данных методах анализа МИ позволяет значительно ускорить процесс обработки изображений и выявления заданных медицинских патологий на МИ.

## Материалы и методы

### 1.1 Классификация объектов на медицинских изображениях с помощью ИНС.

Классификация объектов на медицинских изображениях позволяет определить на изображении наличие или отсутствие какой-либо медицинской патологии, например на снимках, полученных в результате ногтевой капилляроскопии (рисунок 1) [5].



а) Нормальные капилляры  
a) Normal capillaries



б) Капилляры с патологией  
b) Capillaries with pathology

Рисунок 1 – Определение нормы (а) и наличия патологий (б) на снимках ногтевых капилляров с помощью ИНС

Figure 1 – Determination of the norm (a) and the presence of pathologies (b) on the images of nail capillaries using ANN

Метод может быть применен для быстрого предварительного диагностирования заболевания. Однако с помощью него нельзя локализовать на снимке место обнаруженной патологии.

### 1.2 Детектирование объектов на медицинских изображениях с использованием ИНС.

Детектирование объектов на МИ с использованием ИНС позволяет не только отличить изображения с патологией или без таковой, но и локализовать место патологии на снимке. Кроме того, детектирование позволяет находить на изображениях несколько объектов различных заданных классов, вычислить размеры найденных объектов, что поможет медикам-диагностам в постановке правильного диагноза.

Например, детектирование объектов на снимках, полученных по результатам ногтевой капилляроскопии, показало присутствие на снимке как нормальных

капилляров, так и капилляров с патологией (деформированных петель, коротких петель, перекрестных петель) (рисунок 2) [6].

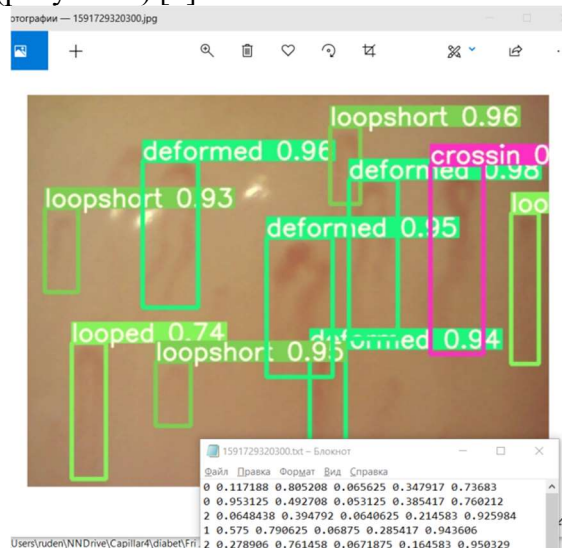


Рисунок 2 – Результат детектирования объектов ИНС на изображении, полученном при капилляроскопии ногтевого ложа

Figure 2 – The result of detection of INS objects in the image obtained by capillaroscopy of the nail bed

В результате детектирования объектов на МИ с помощью ИНС получают следующие параметры: класс найденного объекта, координаты центра, размеры по вертикали и горизонтали ограничивающего найденный объект прямоугольника. Полученные параметры в дальнейшем можно использовать для расчетов различных характеристик, необходимых медикам для правильной постановки диагноза: размеры объекта, количество объектов, отношение патологических объектов к общему количеству найденных объектов и других параметров [6, 7].

### 1.3 Сегментация объектов на медицинских изображениях с использованием ИНС.

Наиболее широкое применение для анализа объектов на МИ с помощью ИНС нашли методы сегментации. Сегментация является наиболее сложной задачей среди методов анализа МИ, поскольку результаты сегментации именно медицинских изображений должны быть очень точными, границы найденных масок объектов должны точно совпадать с найденными объектами, в противном случае в реальных клинических условиях даже незначительные ошибки сегментации могут привести к ошибкам в постановке диагноза, назначении неправильного лечения [8, 9].

Наибольшее развитие методы сегментации с использованием ИНС различных архитектур получили в период пандемии COVID-19, поскольку именно в этот период производилось очень большое количество процедур компьютерной томографии (КТ) и магниторезонансной томографии (МРТ) конкретно легких и торакальной области тела человека [10]. Полученные в результате проведенных процедур данные стали источником данных для создания датасетов для обучения нейросетей с целью дальнейшего анализа вновь получаемых данных методами классификации, детектирования и сегментации. На основе результатов КТ и МРТ были созданы огромные датасеты с разметкой как для детектирования, так и для сегментации, позволяющие обучать нейросети различных архитектур для диагностирования различных заболеваний легких (рисунок 3) [11].

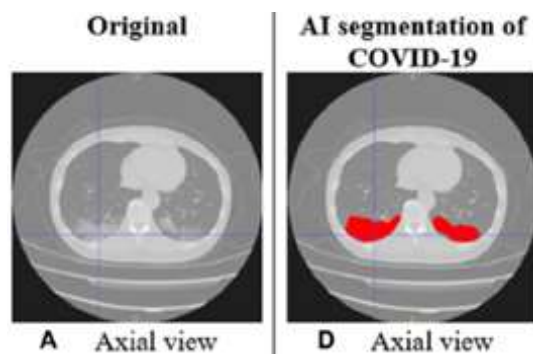


Рисунок 3 – Результат сегментации патологии COVID-19 с помощью нейросети на изображениях легких, полученных в результате процедуры КТ

Figure 3 – The result of segmentation of COVID-19 pathology using a neural network on lung images obtained as a result of CT procedure

Применение сегментации для анализа МИ при диагностике других заболеваний требует тщательного отбора изображений, содержащих выбранную медицинскую патологию, кропотливой разметки датасета.

В результате сегментации объектов на МИ с помощью ИНС получают изображения, на которых выделены контуры заданных медицинских патологий, а также нейросети определяют следующие параметры: класс найденного объекта, координаты точек области маски, выделяющей найденный объект.

#### 1.4. Нейросети, применяемые для анализа медицинских изображений.

В настоящее время существует достаточно большое количество архитектур сверточных нейронных сетей (СНС, CNN), применяемых при разработке технологий компьютерного зрения: LeNet-5, AlexNet, VGG-16, ResNet-50, Xception, ResNets, R-CNN, Fast RCNN, 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 [12, 13].

В последнее время для решения задач анализа медицинских изображений широкое распространение получили алгоритмы, основанные на применении региональных глубоких сверточных нейронных сетей (Regional Convolutional Neural Networks, R-CNN) и сетей детектирования YOLO, которые принципиально ориентированы на решение задачи детектирования объектов с одновременной их классификацией. По сравнению с традиционными методами анализа МИ, эти алгоритмы принципиально адаптированы для решения задачи поиска объектов на изображениях. Исходная реализация R-CNN базируется на использовании специальных алгоритмов предобработки – алгоритмов region-proposal-function, обеспечивающих выделение так называемых областей интереса, в которых потенциально могут находиться интересующие нас объекты. Такой «специализированный» подход предлагает сократить вычислительные затраты, а также позволяют добиться минимального времени определения местоположения объекта и высокой точности его классификация. К настоящему моменту имеется большое количество вариантов реализации подобных алгоритмов, которые достигли хороших показателей по данным критериям. СНС архитектур Faster R-CNN и YOLO в настоящее время лучше всего подходят для решения задачи по поиску объектов на МИ: по скорости работы, по обучаемости, нейросети данных архитектур являются наиболее современными и хорошо поддерживаются разработчиками.



Точность алгоритма Faster R-CNN достигается, в том числе, за счет его временной сложности, он требует нескольких проходов при анализе одного изображения. 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.

YOLO — это метод идентификации и распознавания объектов на изображениях в реальном времени. Это аббревиатура от You Only Look Once (“ты смотришь только один раз” — то есть изображение анализируется за один проход) [14].

На первом этапе YOLO накладывает на изображение сетку размера  $s \times s$ . Для каждой из полученных ячеек определяется вероятность принадлежности к каждому возможному классу. Отдельно обговаривается, что одна ячейка может принадлежать нескольким классам (ситуация, когда один объект частично загораживает другой). Далее сеть визуализирует полученные результаты, очерчивая рамками найденные объекты, что показано на рисунке 4.

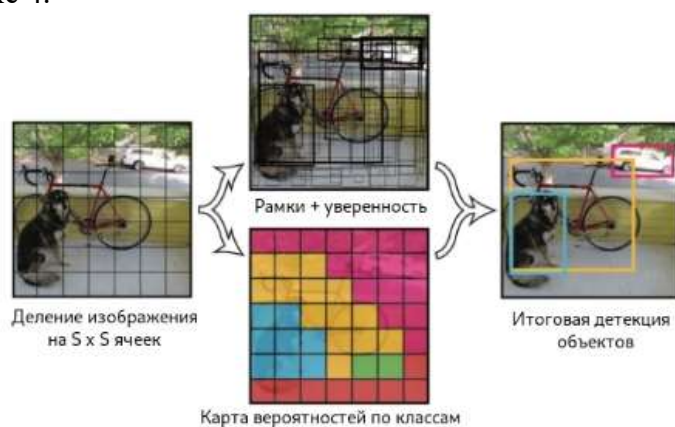


Рисунок 4 – Схема работы алгоритма YOLO  
Figure 4 – The scheme of the YOLO algorithm

Главным преимуществом YOLO является сравнительно небольшие затраты времени на анализ изображения и простота использования.

В настоящее время последней версией нейросети данной архитектуры является YOLOv10, которую авторы представили в июне 2024 г. YOLOv10 показывает более точное определение объектов на изображениях [14]. YOLOv10 умеет решать задачи классификации, детектирования, сегментации и трекинга объектов на видео. Однако такое разнообразие решаемых задач достигается за счет увеличения вычислительной сложности. Поэтому, если требуется только решение задачи детектирования, то более оптимальным выбором может оказаться версия YOLOv5.

1.5 Диагностика мочекаменной болезни человека по МИ, полученным в результате процедуры компьютерной томографии

В качестве примера применения технологий компьютерного зрения для поиска объектов на медицинских изображениях остановимся подробнее на задаче диагностики мочекаменной болезни (МКБ) по результатам компьютерной томографии [15].

Актуальность изучения мочекаменной болезни определяется тем, что с каждым годом число больных в развитых странах, в том числе в России, неуклонно растет в связи с увеличением продолжительности жизни, изменением образа жизни, питания людей и химического состава воды, а также глобальными климатическими изменениями. МКБ занимает второе место по частоте среди всех больных с урологической патологией и имеет свои эндемичные зоны как в России, так и в других странах мира. МКБ связана

как правило с нарушением обмена веществ, в Крыму заболеваемость выше, чем в целом по стране.

Компьютерная томография - медицинское рентгенологическое исследование, основанное на послойном исследовании структуры внутренних органов и систем, позволяющее получить рентгеновское изображение внутренних органов. Рентгеновские лучи проходят сквозь тело человека, а компьютерная система формирует изображение как поперечных слоев (срезов), так и продольных. Результаты этой процедуры сохраняются в виде DICOM файлов.

Таким образом, в результате проведения исследования врач-специалист получает большой набор изображений срезов внутренних органов по одному пациенту. Далее, с помощью специализированного программного обеспечения он просматривает полученные срезы для установки точной локализации, определения формы и размеров конкрементов, производит разметку среза. Размеченный срез представляет из себя собственно изображение и текстовый документ, содержащий информацию о выделенных объектах на данном изображении: их класс, координаты на срезе и размеры. После разметки срезов специалист определяет параметры объектов - размеры и плотность почек и камней.

Очевидны пути оптимизации этого процесса с помощью ИНС. На полученных по результатам КТ медицинских изображениях необходимо определять объекты заданных классов (почки, камни), рассчитывать параметры (размеры, плотность, координаты), с целью поддержки постановки диагноза и планировании дальнейшего хирургического вмешательства.

Медицинские данные для исследования были предоставлены Клиническим медицинским многопрофильным центром имени Святителя Луки г. Симферополь, который обладает современной базой радиологии и уникальными методиками лечения МКБ.

### Результаты и обсуждение

На основании проведенных исследований был сделан вывод, что для применения в системе поддержки принятия врачебных решений в хирургии и урологии с использованием технологий компьютерного зрения при лечении МКБ человека в качестве нейросети для определения объектов на медицинских изображениях, полученных в результате проведения компьютерной томографии, наилучшим образом подходит СНС архитектуры YOLO, которая дает лучшие результаты в области обнаружения объектов на изображении. Нейросеть YOLO позволяет выполнять классификацию объектов на изображении, выполнять детектирование объектов, сегментировать объекты на изображении.

Сегментацию объектов на МИ, полученных по результатам КТ внутренних органов человека, при проведении исследований было принято решение не применять по следующим причинам. Первой являлась большая трудоемкость в получении обучающего датасета – необходима особенно тщательная разметка на изображениях масок правой и левой почек, масок камней, особенно камней сложной коралловидной формы. Кроме указанной причины в результате сегментации изображения нейросетью YOLO помимо изображений, на которых выделены контуры найденных объектов, что являются, безусловно, наглядным представлением найденных объектов, формируются текстовые файлы с описанием найденных объектов: класс объекта, координаты точек на изображении, по которым строится выделяющая контур маска. Поскольку в исследуемой области объекты почек и камней являются геометрически достаточно сложными объектами, то и маска выделения данных объектов содержит заранее неизвестное число

точек, по координатам которых она строится. Что делает получаемую информацию затруднительной для проведения дальнейших расчетов параметров найденных объектов. Результаты сегментации являются информативно избыточными.

Для поиска объектов на МИ, полученных в результате процедуры КТ внутренних органов человека при лечении МКБ была выбрана процедура детектирования объектов с помощью YOLO. После детектирования объектов нейросетью данной архитектуры в результате получаются изображения, где объекты заданной медицинской патологии (почки, камни) ограничены прямоугольником, также нейросеть формирует текстовый файл к каждому анализируемому МИ с описанием обнаруженных на данном изображении объектов: класс объекта, координаты центра ограничивающего прямоугольника, высоту и ширину данного прямоугольника. С помощью указанных параметров при проведении дальнейших вычислений можно определить линейные размеры объектов. В случае с анализом МИ по результатам КТ после процедуры послойной сборки были получены размеры по осям x, y, z объектов камней, определены распределения плотности найденных камней по осям координат, выполнена трехмерная визуализация объектов почек и камней.

Использование сетей YOLO предполагает обучение на размеченных изображениях, которые представляют выборку заданных классов. Разметка изображений требует знаний специалиста в области хирургии и урологии. Это классифицируется как обучение с учителем, так как предполагается использование полного набора аннотированных данных (размеченного обучающего датасета) для тренировки системы ИИ на всех стадиях ее создания.

При формировании классов объектов для их использования в системе поддержки принятия врачебных решений в хирургии и урологии с использованием технологий компьютерного зрения специалистами клинического центра были сформулированы задачи поиска конкрементов (камней) в почках на снимках КТ в корональной проекции. Были определены следующие классы объектов: конкременты (камни) правильной формы – класс «stone»; левая почка правильной формы – класс «left\_kidney»; правая почка правильной формы – класс «right\_kidney»; патологически увеличенная левая почка – класс «left\_kidney\_pieloectasy»; патологически увеличенная правая почка – класс «right\_kidney\_pieloectasy»; большой камень сложной (коралловидной) формы - класс «staghorn\_stones».

В процессе проведения исследования была выполнена разметка на изображениях объектов в соответствии с определенными классами, был создан обучающий датасет, 1586 изображений, в том числе 793 оригинальных изображений КТ, полученных из КТ у 21 пациента, 793 – обработанных изображений. Обучение проводилось длительностью 1200 эпох.

После обучения было выполнено апробация работы нейросети на МИ, полученных по данным КТ других пациентов (рисунк 5).



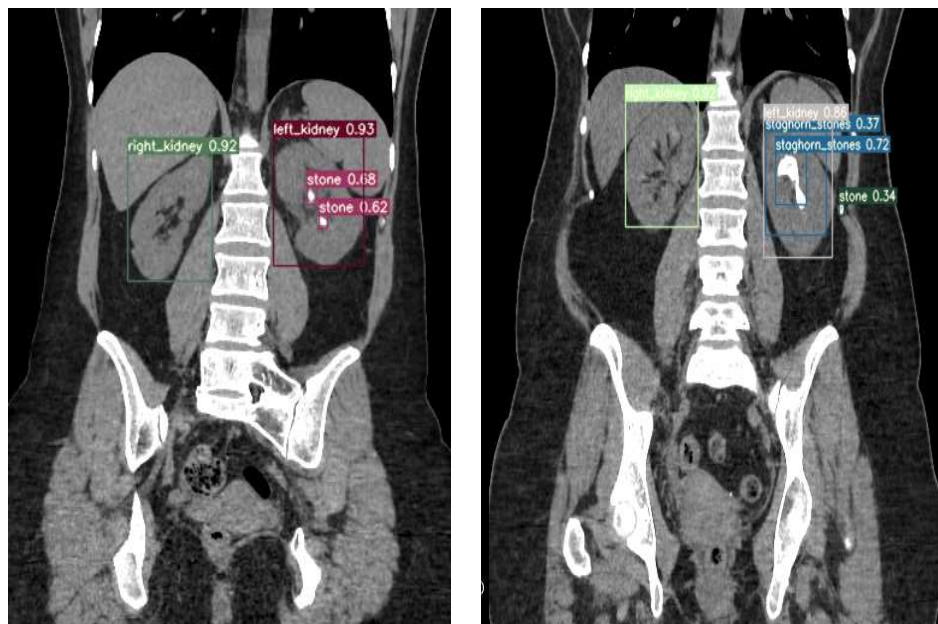


Рисунок 5 – Результаты детектирования объектов нейросетью YOLO на МИ в корональной проекции КТ внутренних органов человека  
Figure 5 – Results of object detection by the YOLO neural network on MI in the coronal projection of CT scans of human internal organs

Результаты детектирования МИ, полученных по результатам КТ внутренних органов человека при диагностике МКБ были предоставлены специалистам клиники для дальнейшего анализа возможности применения данной обученной модели нейросети в системе поддержки принятия медицинских решений в хирургии и урологии.

Анализ показал наличие ошибок детектирования нейросетью объектов (рисунок 6). Наиболее частыми были следующие ошибки: объекты почек или камней не детектировались; неправильная локализация объектов почек (рис.6а и 6б); петли кишечника и другие внутренние органы детектировались как почки (рис.6в и 6г); ребра и тазовые кости детектировались как камни (рис.6д и 6е). Указанные ошибки возникли в связи с тем, что нейронная сеть ищет на изображении объекты, совпадающие по форме и виду с изображениями определенного класса, но нейросеть не может оценить, насколько правдоподобен ее вывод. Основной причиной возникновения данных ошибок является отсутствие в алгоритме детектирования нейросети логики оценки локализации и взаимного расположения объектов на снимке внутренних органов человека.

Для улучшения работы процедуры детектирования объектов на МИ, полученных по результатам компьютерной томографии внутренних органов человека, были разработаны математические модели и алгоритм нечеткой оценки результатов детектирования и классификации объектов нейросетью архитектуры YOLO [16, 17]. Модели позволили автоматизировать и сократить время диагностирования заболевания, повысить точность оценки параметров объектов, снизить риски неправильных хирургических решений при планировании и проведении операций.

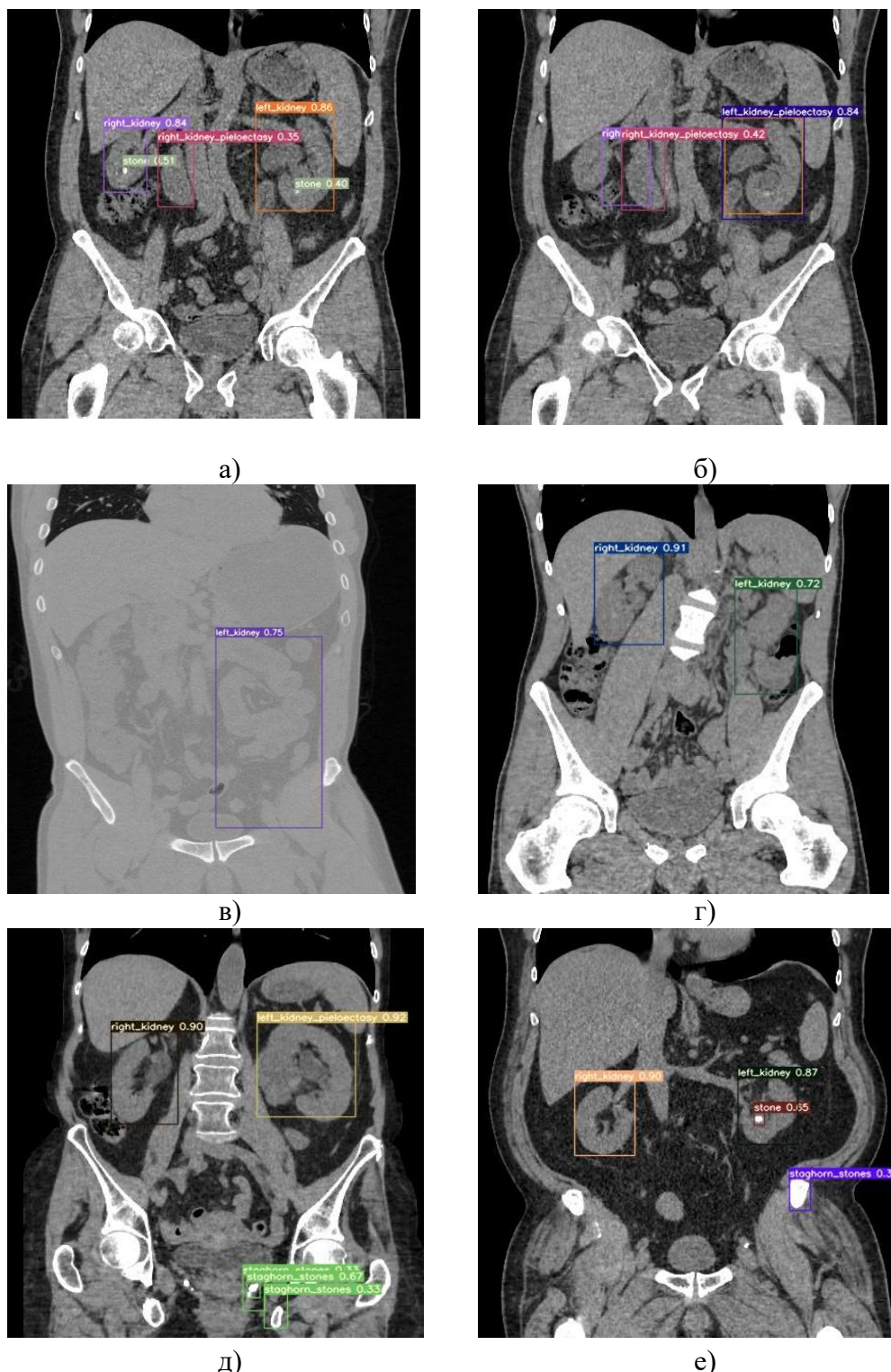


Рисунок 6 – Ошибки детектирования объектов на МИ нейросетью YOLO  
Figure 6 – Errors in detecting objects on the YOLO neural network

После внедрения в процедуру детектирования алгоритма и моделей нечеткой оценки результатов детектирования обучающий датасет был расширен до 4272 изображений, полученных в результате КТ 38 пациентов, было выполнено обучение модели YOLOv5m. Обучение проводилось на высокопроизводительном ПК на графическом процессоре с использованием видеокарты Nvidia RTX 3090. Результаты обучения, полученные средствами самой нейросети, приведены на рисунке 7.

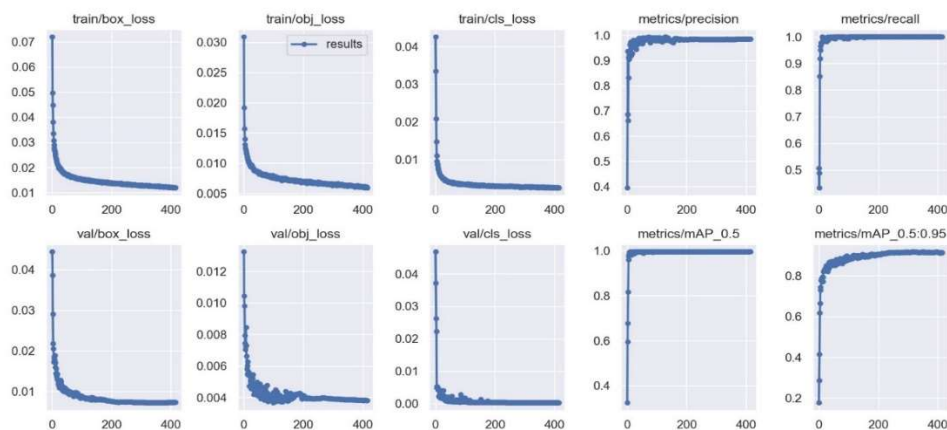


Рисунок 7 – Результаты обучения модели YOLOv5m  
Figure 7 – Learning outcomes of the YOLOv5m model

Как видно на графике, данная версия обученной модели архитектуры YOLOv5m показала точность предсказания всех классов объектов 0,995. Вероятность потерь объектов всех классов составила менее 0,005. При проверке точности обучения, выполняемой самой нейросетью в процессе обучения на вариационном датасете, вероятность потерь объектов всех классов составила менее 0,002.

Таким образом удалось добиться высокой точности обучения нейросети и избежать ошибок детектирования объектов на медицинских изображениях, полученных по результатам КТ.

### Заключение

В статье исследованы методы анализа медицинских изображений с использованием искусственных нейронных сетей: классификация, детектирование, сегментация. Приведены основные архитектуры искусственных нейронных сетей, применяемых при проектировании систем компьютерного зрения. На основании изученных методов классификации, сегментации и детектирования с применением искусственных нейронных сетей был определен метод анализа медицинских изображений – детектирование и инструмент - сверточная нейронная сеть архитектуры YOLO, имеющая высокие показатели скорости детектирования объектов на изображении, обладающая высоким уровнем точности. Выбранный метод анализа медицинских изображений и инструмент позволяют наиболее эффективно обрабатывать и анализировать медицинские изображения и могут быть применены для детектирования объектов на медицинских изображениях, полученных в результате компьютерной томографии внутренних органов человека в области хирургии и урологии.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

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).;67-71.
2. Аббасов И.Б., Дешмух Р.Р. Применение искусственного интеллекта для медицинской визуализации. *МНИЖ*. 2021;12-1(114). <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-iskusstvennogo-intellekta-dlya-meditsinskoy-vizualizatsii>.
3. 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). [https://elib.gsu.by/bitstream/123456789/11756/1/Kozar\\_Recognition\\_methods\\_for\\_medical.pdf](https://elib.gsu.by/bitstream/123456789/11756/1/Kozar_Recognition_methods_for_medical.pdf).
4. Huynh, Q.T., Nguyen P.H., Le H.X., Ngo L.T., Trinh N.-T., Tran M.T.-T., Nguyen H.T., Vu N.T., Nguyen A.T., Suda K., et al. Automatic Acne Object Detection and Acne Severity Grading Using Smartphone Images and Artificial Intelligence. *Diagnostics*. 2022;12:1879. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12081879>
  5. Бурдин Д. В., Руденко М. А. Интеллектуальная система анализа и оценки медицинских изображений для поддержки принятия врачебных решений. *Наноиндустрия*. 2021;14(107):821-822. <https://DOI10.22184/1993-8578.2021.14.7s.821.822>.
  6. Руденко, М.А., Руденко А.В. Нечеткая модель классификации медицинских изображений на основе нейронных сетей. *Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям*. 2021;1:336-339.
  7. Руденко М.А., Руденко А.В., Крапивина М.А., Лисовский В.С. Система детектирования и анализа объектов на КТ-снимках в урологии. *III Международная конференция по нейронным сетям и нейротехнологиям (NEURONT'2022)*. Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина). 2022;38-42.
  8. Шубкин Е.О. Обзор методов сегментации медицинских изображений. *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;90-91.
  9. Белозеров И.А., Судаков В.А. Исследование моделей машинного обучения для сегментации медицинских изображений. *Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша*. 2022; (37):15. <https://doi.org/10.20948/prepr-2022-37>
  10. Maguolo G, Nanni L. A critic evaluation of methods for COVID-19 automatic detection from X-ray images. *Inf Fusion*. 2021;76:1-7. doi: 10.1016/j.inffus.2021.04.008.
  11. Tse ZTH, Hovet S, Ren H, Barrett T, Xu S, Turkbey B and Wood BJ. AI-Assisted CT as a Clinical and Research Tool for COVID-19. *Front. Artif. Intell*. 2021;4:590189. doi: 10.3389/frai.2021.590189.
  12. 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. П. Е. Алексеева*. 2020;1(128). <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-algoritmov-predobrabotki-izobrazheniy-dlya-povysheniya-effektivnosti-raspoznaniya-meditsinskih-snimkov>.
  13. Boominathan L., Kruthiventi S.S., Babu R.V. CrowdNet: A Deep Convolutional Network for Dense Crowd Counting. *Proceedings of the 2016 ACM on Multimedia Conference*. 2016;640-644.
  14. Wang C. Y., Yeh I. H., Liao H. Y. M. Yolov9: Learning what you want to learn using programmable gradient information. *arXiv preprint arXiv*. 2024;2402:13616.
  15. Пранович А.А., Исмаилов А.К., Карельская Н.А., Костин А.А., Кармазановский Г.Г., Грицкевич А.А. Искусственный интеллект в диагностике и лечении мочекаменной болезни. *Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения*. 2022;8(1):42-57. <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2022-8-1-42-57>.

16. Руденко А.В., Руденко М.А., Каширина И.Л. Метод оценки результатов детектирования и классификации объектов на медицинских изображениях. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии*. 2024;1;137:148. <https://DOI10.17308/sait/1995-5499/2024/1/137-148>.
17. Руденко А.В., Руденко М.А., Каширина И.Л. Алгоритмы 3D-реконструкции и расчета параметров объектов по результатам детектирования на медицинских изображениях. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2024;12(2). <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1594>

## REFERENCES

1. Meldo A.A., Utkin L.V., Trofimova T.N. Artificial intelligence in medicine: the current state and main directions of development of intellectual diagnostics. *Radiation diagnostics and therapy*. 2020;1 (11).;67:71 (In Russ.)
2. Abbasov I.B., Deshmukh R.R. Application of artificial intelligence for medical imaging. *MNIZH*. 2021;12-1(114). <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-iskusstvennogo-intellekta-dlya-meditsinskoy-vizualizatsii>. (In Russ.)
3. Kozar R.V., Navrotsky A.A., Gurinovich A.B. Methods of recognition of medical images in problems of computer diagnostics. *Izvestia of Gomel State University named after F. Skoriny*. 2020;3 (120). [https://elib.gsu.by/bitstream/123456789/11756/1/Kozar\\_Recognition\\_methods\\_for\\_medical.pdf](https://elib.gsu.by/bitstream/123456789/11756/1/Kozar_Recognition_methods_for_medical.pdf). (In Russ.)
4. Huynh, Q.T., Nguyen P.H., Le H.X., Ngo L.T., Trinh N.-T., Tran M.T.-T., Nguyen H.T., Vu N.T., Nguyen A.T., Suda K., et al. Automatic Acne Object Detection and Acne Severity Grading Using Smartphone Images and Artificial Intelligence. *Diagnostics*. 2022;12:1879. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12081879>.
5. Burdin D. V., Rudenko M.A. Intelligent system of analysis and evaluation of medical images to support medical decision-making. *Nanoindustry*. 2021; 14(107):821-822. <https://DOI10.22184/1993-8578.2021.14.7s.821.822>. (In Russ.)
6. Rudenko M. A., Rudenko A.V. Fuzzy model of classification of medical images based on neural networks. *International Conference on Soft Computing and Measurements*. 2021;1; 336-339. (In Russ.)
7. Rudenko M. A., Rudenko A.V., Krapivina M. A., Lisovsky V. S. The system of detection and analysis of objects on CT images in urology. *III International Conference on Neural Networks and Neurotechnologies (NEURONT'2022). St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI" named after V.I. Ulyanov (Lenin)*. 2022;38-42. (In Russ.)
8. Shubkin E.O. Review of medical image segmentation methods. *Youth and modern information technologies : Proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists. Tomsk, March 22-26, 2021. Tomsk: National Research Tomsk Polytechnic University*. 2021;90-91.
9. Belozarov I.A., Sudakov V.A. Research of machine learning models for segmentation of medical images. *Preprints of the IPM named after M.V.Keldysh*. 2022; (37):15. <https://doi.org/10.20948/prepr-2022-37/> (In Russ.)
10. Maguolo G, Nanni L. A critic evaluation of methods for COVID-19 automatic detection from X-ray images. *Inf Fusion*. 2021;76:1-7. doi: 10.1016/j.inffus.2021.04.008.
11. Tse ZTH, Hovet S, Ren H, Barrett T, Xu S, Turkbey B and Wood BJ. AI-Assisted CT as a Clinical and Research Tool for COVID-19. *Front. Artif. Intell*. 2021;4:590189. doi: 10.3389/frai.2021.590189.



12. Shagalova P.A., Yerofeeva A.D., Orlova M.M., Chistyakova Y.S., Sokolova E.S. Investigation of image preprocessing algorithms to improve the efficiency of recognition of medical images. *Proceedings of the NSTU named after R. E. Alekseev*. 2020;1(128). <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-algoritmov-predobrabotki-izobrazheniy-dlya-povysheniya-effektivnosti-raspoznavaniya-meditsinskih-snimkov>. (In Russ.)
13. Boominathan L., Kruthiventi S.S., Babu R.V. CrowdNet: A Deep Convolutional Network for Dense Crowd Counting. *Proceedings of the 2016 ACM on Multimedia Conference*. 2016;640-644.
14. Wang C. Y., Yeh I. H., Liao H. Y. M. Yolov9: Learning what you want to learn using programmable gradient information. *arXiv preprint arXiv*. 2024;2402:13616.
15. Pranovich A.A., Ismailov A.K., Karelskaya N.A., Kostin A.A., Karmazanovsky G.G., Gritskevich A.A. Artificial intelligence in the diagnosis and treatment of urolithiasis. *Russian Journal of Telemedicine and E-Health*. 2022;8(1):42-57. <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2022-8-1-42-57>. (In Russ.)
16. Rudenko A.V., Rudenko M. A., Kashirina I. L. Method for evaluating the results of detection and classification of objects in medical images. *Bulletin of the Voronezh State University. Series: System analysis and Information Technology*. 2024; 1; 137:148. DOI 10.17308/sait/1995-5499/2024/1/137-148. (In Russ.)
17. Rudenko A.V., Rudenko M.A., Kashirina I.L. Algorithms for 3D reconstruction and calculation of object parameters based on the results of detection on medical images. *Modeling, optimization and information technology*. 2024;12(2). <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1594>. (In Russ.)

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Руденко Андрей Владимирович** – преподаватель ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского».

*e-mail: rudenkoandre@mail.ru*

ORCID: 0009-0004-6297-2742

**Руденко Марина Анатольевна** – к.т.н., доцент кафедры компьютерной инженерии и моделирования Физико-технического института ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»

*E-mail: rudenko.ma@cfuv.ru*

ORCID: 0000-0002-8334-8453

**Каширина Ирина Леонидовна**, д.т.н., профессор, кафедра математических методов исследования операций, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация.

*e-mail: kash.irina@mail.ru*

ORCID: 0000-0002-8664-9817

**Rudenko Andrei V.** – assistant of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University

*E-mail: rudenkoandre@mail.ru*

ORCID: 0009-0004-6297-2742

**Rudenko Marina A.** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Engineering and Modeling of the Institute of Physics and Technology of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University

*E-mail: rudenko.ma@cfuv.ru*

ORCID: 0000-0002-8334-8453

**Kashirina Irina L.** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Mathematical Methods of Operations Research Department, Voronezh state university, Voronezh, Russian Federation.

*Статья поступила в редакцию xx.xx.2024; одобрена после рецензирования xx.xx.2024; принята к публикации xx.xx.2024.*

*The article was submitted xx.xx.2024; approved after reviewing xx.xx.2024; accepted for publication xx.xx.2024.*