УДК 004.93"1

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ И КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ ПРИ ДЕТЕКТИРОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ**

**2023 г. А.В. Руденко, М.А. Руденко**

*ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»*

**Аннотация**. В статье предложены математические модели и разработан алгоритм оценки результатов детектирования и классификации объектов на медицинских изображениях, полученных по результатам компьютерной томографии внутренних органов человека. Разработанные модели позволяют классифицировать объекты в зависимости от их расположения и проекции изображения. Модели позволили автоматизировать и сократить время диагностирования заболевания, повысить точность оценки параметров объектов, снизить риски неправильных хирургических решений при планировании и проведении операций. Предложенные модели были реализованы в прототипе системы поддержки принятия врачебных решений в хирургии и урологии с использованием технологий компьютерного зрения в составе программных модулей. Представленные модели показали высокую эффективность оценки результатов детектирования и классификации объектов на медицинских изображениях.

Ключевые слова: детектирование, правдоподобие, точность, достоверность, почка, камень.

**ВВЕДЕНИЕ**

Внастоящее время искусственный интеллект широко внедряется во все аспекты человеческой деятельности. Одной из сфер применения технологий ИИ является использование ИИ в медицине для анализа медицинских данных, в том числе медицинских изображений [1, 2]. Это имеет большое значение при заболеваниях, диагностика которых основывается на исследовании медицинских изображений. К данному типу заболеваний относится мочекаменная болезнь (МКБ), при которой диагноз чаще всего ставится по результатам проведения исследований методами рентгенографии и компьютерной томографии.

Основными методами анализа медицинских изображений являются классификация, детектирование и сегментация [3-5]. Для выполнения детектирования или сегментации медицинских изображений лучше всего подходят искусственные нейронные сети. 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. Искусственный интеллект позволяет обнаружить различные патологии на данных изображениях, что позволяет снизить нагрузку на медицинский персонал.

Несмотря на значительный накопленный опыт отечественных и зарубежных исследователей и разработчиков автоматизация поиска и анализа объектов на медицинских изображениях редко применяется в практической медицине [6-8]. Результаты работы нейросетей по детектированию или сегментации медицинских изображений могут содержать ошибки распознавания, обусловленных спецификой объектов и сложностью медицинских выводов, определяющих врачебное решение. Результаты такой работы нейросетей подвергаются сомнению врачами-клиницистами.

Для снижения количества ошибок при детектировании медицинских изображений необходимо использовать критерии оценки результатов детектирования объектов нейросетью, позволяющие оценить, насколько реалистичны такие результаты. Для оценки качества детектирования объектов на изображениях нейросетями обычно применяются показатели: для оценки локализации - IoU (Intersection over Union); для классификации объектов - Precision (точность), Recall (чувствительность); общая оценочная метрика для обнаружения объектов - mAP (mean Average Precision) [9-12]. Однако, применение данных метрик оценки качества детектирования объектов на изображениях внутренних органов человека, полученных по результатам КТ, при диагностике МКБ не являются достаточными, поскольку нейросеть может детектировать объект, похожий на левую почку с правой стороны КТ снимка со значимым уровнем достоверности, может детектировать две и более левых или правых почек в разных локализациях снимка, что является неверным с точки зрения медицины. При детектировании камней иногда в качестве данных объектов определяются кости, которые на срезе имеют форму, похожую на форму камней, что тоже не является верным, поскольку одним из критериев диагностики МКБ является расположение камней именно почках.

Поэтому существует необходимость разработки дополнительных критериев оценки результатов детектирования и классификации объектов на медицинских изображениях, полученных по результатам компьютерной томографии внутренних органов человека. Модели и алгоритм оценки позволят избежать ошибок в детектировании, повысить точность оценки параметров камней в почках.

**МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Для решения проблемы оценки полученных результатов детектирования объектов на изображениях КТ были предложены математические модели и алгоритм нечеткой оценки правдоподобия [13]. Алгоритм предполагает следующие уровни оценки и фильтрации классов объектов после распознавания для почек и для камней.

Для оценки правдоподобия при детектировании почек оценивается:

* локализация (относительные координаты x, y) на снимке;
* при множественном выборе между несколькими объектами одного класса оценивается вектор (достоверность, размер, локализация).

Для оценки правдоподобия при детектировании камней оценивается:

* локализация внутри почки (левой или правой);
* класс камня оценивается после его полной послойной «сборки».

Главной проблемой при оценке правдоподобия является формализация правильной локализации объекта заданного класса. Для камней при МКБ обязательным условием является локализация объекта «камень» внутри объекта «почка». Поэтому критерии нечеткой оценки определяются долей перекрывания зоной почки детектированного объекта «камень», а также дополняется условием меньшей размерности объекта «камень» относительно объекта «почка». При оценке правдоподобия обнаружения почки задача усложняется тем, что отсутствует уровень внешних логических границ для нахождения данного объекта на снимках.

Для решения этой задачи был предложен метод создания «облака правдоподобия» для объектов классов почек. «Облако правдоподобия» создается на этапе разметки датасета путем анализа файлов текстовых меток и характеризует функцию принадлежности объекта, найденного в пределах облака, к заданному классу (рисунок 1). Алгоритм производит сравнение параметров детектируемого объекта с параметрами «облака правдоподобия». Детектируемые объекты классов почек, не соответствующие необходимым параметрам, отбрасываются. Вектор результатов оценки правдоподобия должен подкрепляться метриками, характеризующими значимость и близость объекта к классу.

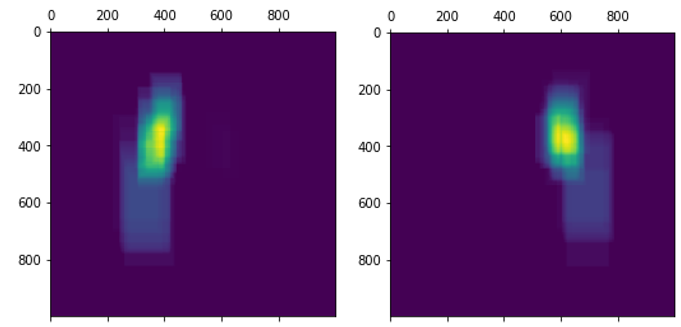


Рисунок 1 - «Облако правдоподобия» для правой и левой почек

Постановка задачи нечёткой классификации объектов на основе анализа изображений может быть сведена к классической задаче классификации объектов множества классов по кортежу нечетких переменных с помощью аппарата нечеткого вывода. В данных условиях эффективным является метод свертки кортежей объектов изображения по классам с формированием нечеткой оценки принадлежности результатов, полученных после детектирования, к объектам заданных классов.

В модели применены нечеткие правила классификации, каждое из которых описывает один из видов классов в наборе данных. Априорное правило является нечетким описанием в n-мерном пространстве свойств , последовательность правил является нечеткой меткой класса из множества *М*:

(1)

здесь *n* обозначает число признаков, – оценка *j*-го признака, - входной вектор оценок свойств.

Степень активации *i*-го правила из множества *М* вычисляется как:

(2)

где *Aij*- нечеткие множества, представляется нечеткими отношениями вывода *i*-го правила и входного вектора или предыдущего нечеткого правила.

Вывод классификатора определяется правилом в зависимости от класса объекта , который имеет наивысшую функцию активации *αi*:

. (3)

Степень уверенности в решении задана нормализованной степенью запуска правила:

(4)

Оценка качества классификации объектов по результатам детектирования и анализа сводится к определению метрик близости найденного объекта к определенному классу по форме, плотности и локализации, данные метрики формируют входной вектор . В данном исследовании предложено оценивать качество с помощью точности детектирования (DP - detect precision), достоверности объекта (OR – object reliability) и правдоподобия объекта (OV – object veracity).

Точность детектирования оценивает результат работы модели после детектирования по форме. Детектирование объекта классифицирует объект с параметром confidence (уверенность).

Обученная модель имеет набор метрик, которые характеризуют ее качество. Для определения точности детектирования взят параметр precision (точность), который характеризует точность самой модели по детектированию объекта заданного класса. Точность детектирования в прототипе системы равна произведению величины confidence для найденного объекта класса и значения precision модели для данного класса объектов и рассчитывается по формуле:

, (5)

где – точность детектирования *i*-го объекта *-k*-го класса, *i=1..n, n* – количество детектированных объектов, *k = 1..m, m* – количество классов объектов в модели, в нашем исследовании *m=6*;

- уверенность при детектировании, которую выдает алгоритм распознавания YOLO для *i*-го объекта;

– точность модели по определению объектов *k*-го класса.

Нейросеть выдает после детектирования координаты центра и размер ограничивающего прямоугольника, в котором расположен найденный объект. Алгоритм «сборки» объекта собирает слои объекта в 3-мерный массив. Для определения уверенности, что в полученном массиве находится объект заявленного класса недостаточно результатов детектирования по форме. Дополнительной оценкой является вычисление достоверности объекта с учетом границ плотности по Хаунсфилду для данного класса объектов.

Достоверность вычисляется по формуле:

, (6)

где – достоверность *i*-го объекта, *i*=*1..n, n* – количество детектированных объектов;

– количество вокселей в объеме собранного объекта;

- оценка принадлежности *j*-той точки – вокселя (*j=1..V*) из объема массива к классу объектов (*k*) согласно шкалы Хаунсфилда и вычисляется по формуле:

, (7)

где – значение светимости *j*-го вокселя по Хаунсфилду;

- минимальное значение светимости для класса по Хаунсфилду;

- максимально значение светимости для класса по Хаунсфилду.

Значения формируют 3-х мерный массив – маску *i*-го объекта .

Значение > 0,5 говорит о том, что объект можно отнести к заявленному классу с достаточным уровнем достоверности.

Значение достоверности позволяет оценить результаты распознавания с учетом плотностных свойств объекта (рисунок 2).

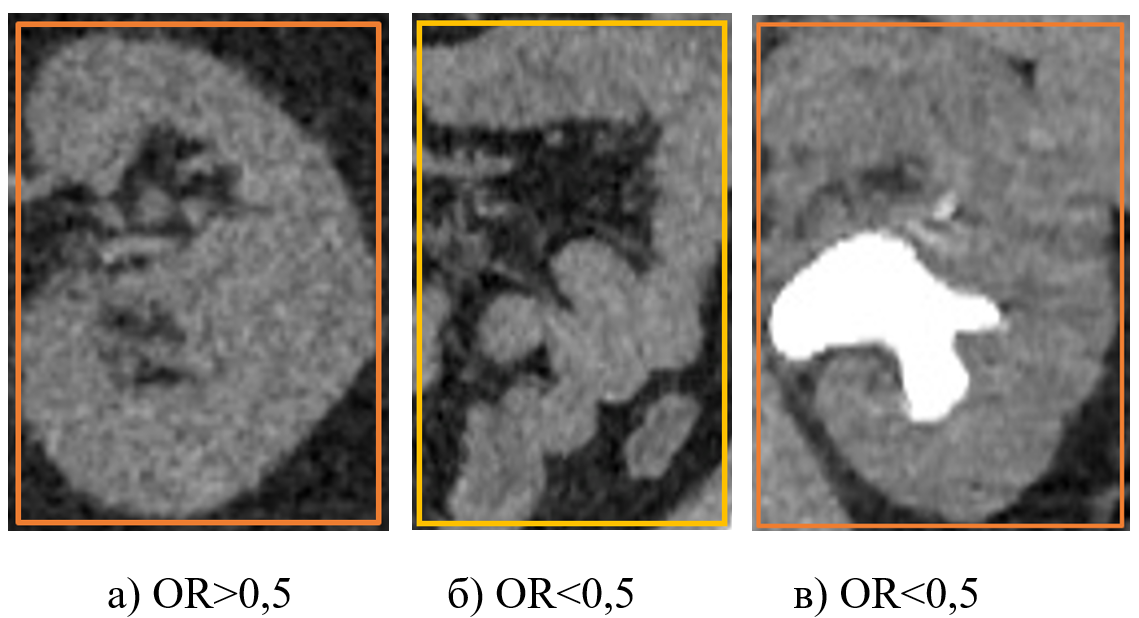


Рисунок 2 - Примеры оценки достоверности

Значение достоверности больше 0,5 позволяет отнести детектированный объект к заданному классу (рисунок 2, а). Однако при OR<0,5 возможны как случаи обнаружения ложного результата, например, петли кишечника (рисунок 2, б), так и случаи недостоверного значения для почек, в которых расположены крупные камни или большое количество камней (рисунок 2, в). Алгоритм оценки достоверности проверяет наличие камней в данной почке и может принять результат с уровнем достоверности меньше 0,5. Данная проблема характерна для объектов классов «почек», для классов «камней» таких случаев не возникало.

Анализ результатов распознавания должен включать оценку локализации объекта по отношению к внутренним органам человека. Для оценки локализации предложены два коэффициента правдоподобия: геометрический коэффициент (для классов почки) и плотностной коэффициент (для классов камней).

Геометрический коэффициент правдоподобия оценивает пересечение области ограничивающего прямоугольника почки и «облака правдоподобия» для точек с одинаковыми относительными координатами (рисунок 3).

Геометрический коэффициент правдоподобия рассчитывался по следующей формуле:

, (8)

где – геометрическая достоверность объекта, *i=1..nk, nk* – количество детектированных почек;

– количество вокселей в области ограничивающего прямоугольника *i*-го объекта.

- оценка принадлежности *j*-го элемента (*j=1..Ck*) из облака правдоподобия массиву вокселей детектированного i-го объекта заявленного класса (*k*) и вычисляется по формуле:

, (9)

где – значение правдоподобия в облаке *k*-го класса;

– *j*-й воксель из облака *k*-го класса.

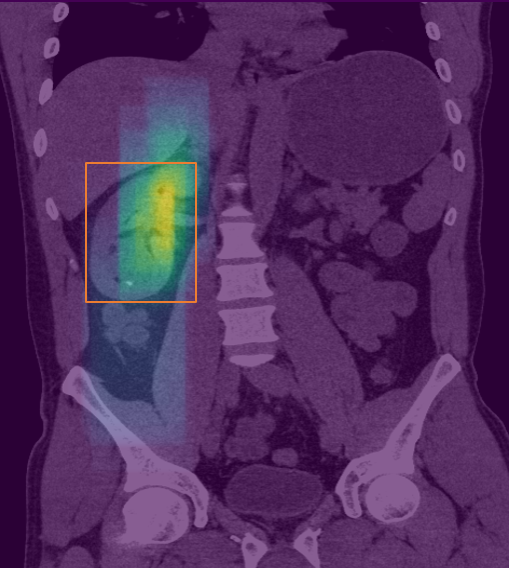


Рисунок 3 - Наложение области детектирования правой почки и «облака правдоподобия» правой почки

Применение геометрического коэффициента правдоподобия позволило оценить локализацию почек с учетом неравномерности распределения плотности почки. Значение > 0,5 позволяет классифицировать почку как заявленный класс. Учитывая возможные естественные отклонения объекта «почка» от области «облака правдоподобия» (например, опущение почки), объекты сохранялись для дальнейшего анализа при GOVi>0,2.

Плотностной коэффициент правдоподобия оценивает пересечение области ограничивающего прямоугольника почки и маску плотности *i*-го камня (рисунок 4).

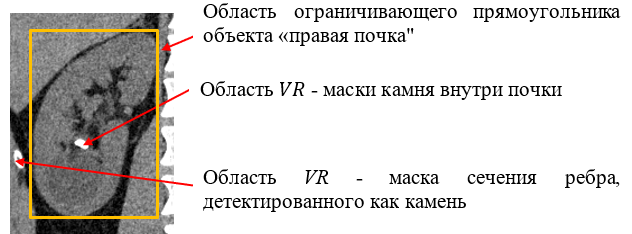


Рисунок 4 - Наложение области детектирования почки и VR -маски камня

Плотностной коэффициент правдоподобия применяется для локализации камней в почках и рассчитывается по формуле:

, (10)

где – плотностная достоверность объекта, *i=1..ns, ns* – количество детектированных камней;

– множество точек *VRi*-маски *i*-го камня, для которых ;

- оценка принадлежности *j*-той точки *VRi*-маски *i*-го камня (*j=1..V*) объему области собранной почки (*k = 1.. nk*) и вычисляется по формуле:

, (11)

где – значение *j*-той точки в маске *i*-го камня;

– *j*-й воксель из маски *i*-го камня.

Значение для камня позволяет локализовать камень внутри почки только в случае ≅1 – камень полностью расположен внутри почки. Случаи частичного пересечения областей говорят о том, что объект находится за пределами почки (сечение ребра, либо камень в мочеточнике). Порог правдоподобия для камня установлен больше 0,900.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Предложенные модели нечеткой оценки результатов детектирования и классификации объектов на медицинских изображениях и алгоритм были реализованы в прототипе системы поддержки принятия врачебных решений в хирургии и урологии с использованием технологий компьютерного зрения в составе программного модуля по детектированию объектов на изображениях результатов компьютерной томографии и модуля по анализу результатов детектирования объектов, расчету параметров объектов [14, 15].

По данным из плоских изображений объектов выполняется оценка точности, правдоподобия и достоверности определения объекта классов «почка» и «камень», их послойная сборка в 3-D, для каждого обнаруженного камня рассчитываются параметры: линейные размеры по трем координатам, плотность камня, его масса, приведенная плотность, выполняется 2-D и 3-D визуализация объекта, на которых видно распределение плотности камня, что является важной характеристикой найденного конкремента для планирования лечения болезни (рисунок 5).

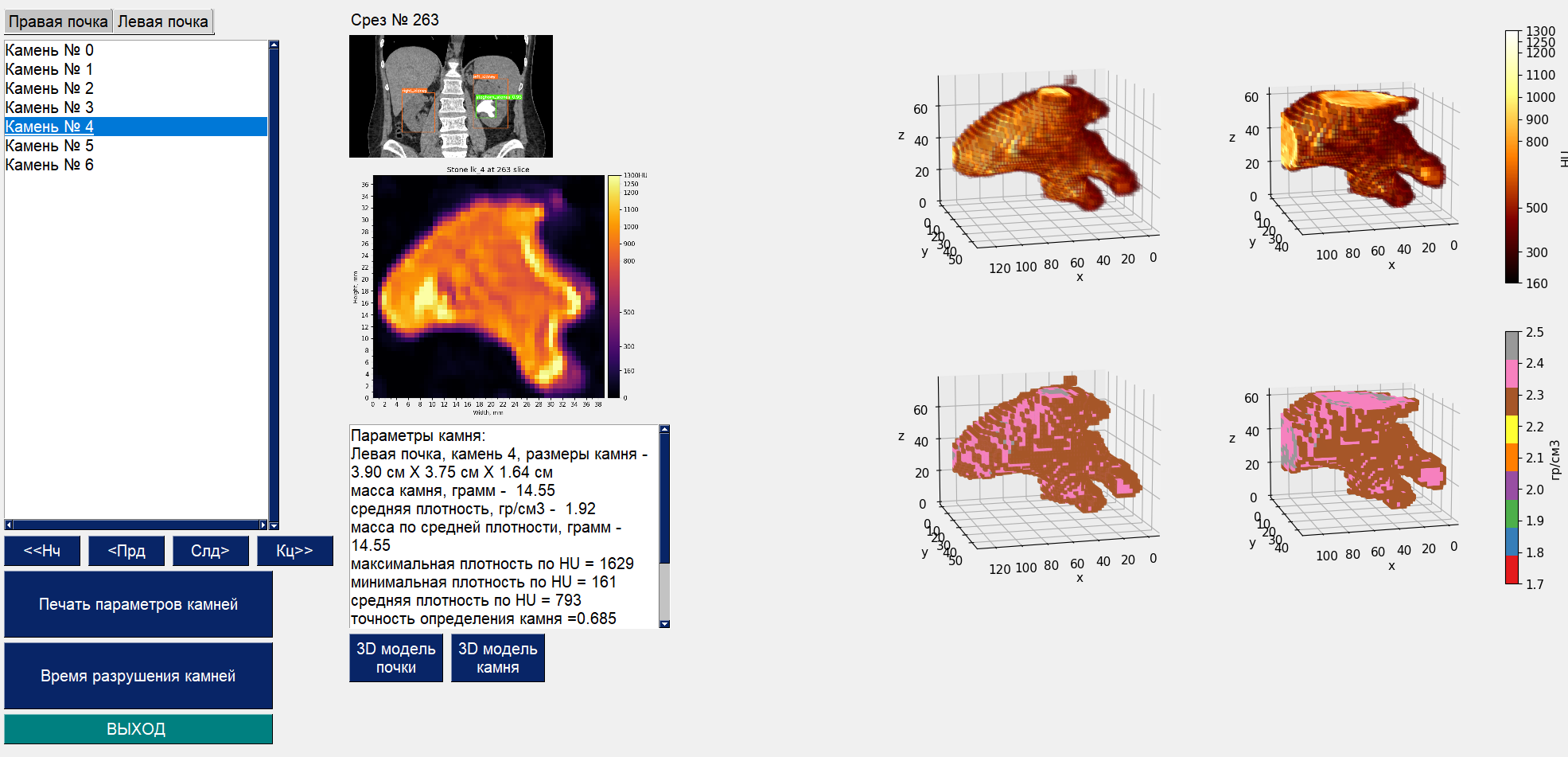


Рисунок 5 - Окно вывода рассчитанных параметров найденных камней и визуализации

Результаты работы моделей в виде метрик оценки точности детектирования и классификации камней и почек, а также рассчитанные параметры камней приведены в таблице 1.

Таблица 1. Оценка результатов детектирования и расчет параметров камней

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № пациента | ID пациента | Правая почка | | | | | | | Левая почка | | | | | | |
| DP/OR/GOV почки | кол-во камней | DP/OR/DOV камня | Размеры камня, см | Масса камня, гр | Средняя плотность HU | Средняя плотность, гр/см3 | DP/OR/GOV почки | кол-во камней | DP/OR/DOV камня | Размеры камня, см | Масса камня, гр | Средняя плотность HU | Средняя плотность, гр/см3 |
| 1 | 4630 | 0,563/  0,545/  0,563 | 1 | 0,761/  0,689/  0,948 | 0,47\*0,62\*0,16 | 0,01 | 414 | 1,74 | 0,800/  0,558/  0,526 | 6 | 0,824/0,716/0,953 | 0,62\*0,75\*0,23 | 0,06 | 337 | 1,70 |
| 0,920/0,734/0,914 | 1,40\*1,50\*0,86 | 1,02 | 488 | 1,78 |
| 0,926/0,729/0,961 | 1,87\*2,12\*0,39 | 0,56 | 824 | 1,94 |
| 0,685/0,712/0,929 | 3,90\*3,75\*1,64 | 14,6 | 793 | 1,92 |
| 0,879/0,614/0,987 | 1,25\*1,12\*1,32 | 1,32 | 657 | 1,86 |
| 0,695/0,708/0,975 | 2,96\*2,38\*2,42 | 8,76 | 559 | 1,81 |
| 2 | 4752 | 0,767/  0,629/  0,562 | 2 | 0,722/  0,596/  0,914 | 0,58\*0,62\*0,16 | 0,01 | 307 | 1,69 | 0,910/  0,569/  0,526 | 3 | 0,648/0,687/0,907 | 0,99\*0,75\*0,33 | 0,13 | 522 | 1,79 |
| 0,820/0,681/0,984 | 0,66\*0,50\*0,49 | 0,06 | 406 | 1,74 |
| 0,798/  0,645/  0,911 | 0,82\*0,88\*0,49 | 0,19 | 746 | 1,90 |
| 0,717/0,873/0,957 | 0,82\*1,00\*0,91 | 0,39 | 710 | 1,88 |
| 3 | 5177 | 0,895/  0,654/  0,506 | 1 | 0,831/  0,604/  0,922 | 0,44\*0,50\*0,09 | 0,01 | 300 | 1,68 | 0,939/  0,656/  0,654 | 3 | 0,711/0,744/0,973 | 0,89\*0,88\*0,44 | 0,09 | 771 | 1,91 |
| 0,756/0,802/0,921 | 4,52\*4,62\*3,01 | 18,4 | 441 | 1,75 |
| 0,986/0,637/0,974 | 2,48\*2,38\*1,42 | 5,16 | 401 | 1,73 |

Результаты расчетов параметров были представлены для оценки медиками специалистами. Установлено, что определение категорий объектов правой и левой почек производится в анатомически верном местоположении, определение объектов категорий камней производится в пределах объектов почек. Точность классификации объекта «левая почка» составляет 0.97, «правая почка» - 0.97, объекта «патологически увеличенная правая почка» 0.93, объекта «патологически увеличенная левая почка» - 0.92, объекта «конкременты (камни) правильной формы» - 0.98, объекта «большой камень сложной формы» - 0.97.

Таким образом, предложенные и реализованные модели нечеткой оценки результатов детектирования и классификации нейросетью объектов на медицинских изображениях, полученных по результатам проведения процедуры КТ, позволили повысить точность детектирования почек и камней в почках, что позволило, выполняя детектирование на 2D изображениях по одной проекции, перейти к 3D реконструкции объектов почек и камней, рассчитать линейные размеры конкрементов, составить 3-х мерную карту распределения их плотности. Модели позволили автоматизировать и сократить время диагностирования заболевания, повысить точность оценки параметров объектов, снизить риски неправильных хирургических решений при планировании и проведении операций. Модели показали высокую эффективность и могут быть использованы для оценки качества детектирования объектов на медицинских изображениях при диагностировании различных заболеваний с применением КТ и МРТ.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В статье предложены математические модели и алгоритм оценки результатов детектирования и классификации объектов на медицинских изображениях, полученных по результатам компьютерной томографии внутренних органов человека. Модели позволили классифицировать объекты в зависимости от их расположения и проекции изображения, позволили автоматизировать и сократить время диагностирования заболевания, повысить точность оценки параметров объектов, снизить риски неправильных хирургических решений при планировании и проведении операций.

**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.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ**

Авторы заявляют об отсутствии очевидных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

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.bmoc-spb.ru/jour/article/view/475 (дата обращения: 16.07.2023).
2. Назаренко, Г.И. Медицинские информационные системы: теория и практика / Г.И. Назаренко, Я.И. Гулиев, Д.Е. Ермаков. - М.: Физматлит, 2015. - 320 с.
3. 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: 28.06.2022).
4. 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).
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Н.А. Андриянов, В.Е. Дементьев, А.Г. Ташлинский Обнаружение объектов на изображении: от критериев Байеса и Неймана–Пирсона к детекторам на базе нейронных сетей EfficientDet // КО. 2022. №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/obnaruzhenie-obektov-na-izobrazhenii-ot-kriteriev-bayesa-i-neymana-pirsona-k-detektoram-na-baze-neyronnyh-setey-efficientdet (дата обращения: 27.08.2023).
9. Aditya Sharma. Mean Average Precision (mAP) Using the COCO Evaluator / Aditya Sharma [Электронный ресурс] // Pyimagesearch.com : [сайт]. — URL: https://pyimagesearch.com/2022/05/02/mean-average-precision-map-using-the-coco-evaluator/ (дата обращения: 27.08.2023).
10. Kiprono Elijah Koech Object Detection Metrics With Worked Example / Kiprono Elijah Koech [Электронный ресурс] // towardsdatascience.com : [сайт]. — URL: https://towardsdatascience.com/on-object-detection-metrics-with-worked-example-216f173ed31e (дата обращения: 27.08.2023).
11. Губко П., Горчаков А., Буркина М. Метрики классификации и регрессии / Губко П., Горчаков А., Буркина М. [Электронный ресурс] // academy.yandex.ru : [сайт]. — URL: https://academy.yandex.ru/handbook/ml/article/metriki-klassifikacii-i-regressii (дата обращения: 27.08.2023).
12. Mean Average Precision (mAP) in Object Detection / [Электронный ресурс] // learnopencv.com : [сайт]. — URL: https://learnopencv.com/mean-average-precision-map-object-detection-model-evaluation-metric/ (дата обращения: 27.08.2023).
13. Руденко М. А. Нечеткая модель классификации медицинских изображений на основе нейронных сетей / М. А. Руденко, А. В. Руденко // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. – 2021. – Т. 1. – С. 336-339. – EDN ELMYDU.
14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022681242 Российская Федерация. Программа анализа результатов детектирования, расчета параметров и 3D–визуализации объектов, обнаруженных в результате детектирования на медицинских изображениях, полученных после компьютерной томографии : № 2022680848 : заявл. 03.11.2022 : опубл. 10.11.2022 / А. В. Руденко, М. А. Руденко, В. С. Лисовский, М. А. Крапивина ; заявитель ОБЩЕСТВО C ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «СМАРДИС». – EDN ZMDUJJ.
15. Система детектирования и анализа объектов на КТ-снимках в урологии / М. А. Руденко, А. В. Руденко, М. А. Крапивина, В. С. Лисовский // III Международная конференция по нейронным сетям и нейротехнологиям (NEURONT'2022) : сборник докладов, Санкт-Петербург, 16 июня 2022 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина), 2022. – С. 38-42. – EDN LXCNGO.

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

E-mail: rudenkoandre@mail.ru

ORCID: https://orcid.org/0009-0004-6297-2742

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

E-mail: rudenko.ma@cfuv.ru

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8334-8453

**MATHEMATICAL MODELS OF EVALUATION AND CLASSIFICATION OF OBJECTS IN THE DETECTION OF COMPUTED TOMOGRAPHY RESULTS**

2023 M.A. Rudenko, A.V. Rudenko

V.I. Vernadsky Crimean Federal University

**Annotation.** The article proposes mathematical models and develops an algorithm for evaluating the results of detecting and classifying objects in medical images obtained from computed tomography of human internal organs. The developed models allow classifying objects depending on their location and image projection. The models made it possible to automate and reduce the time of diagnosis of the disease, improve the accuracy of estimating the parameters of objects, reduce the risks of incorrect surgical decisions when planning and conducting operations. The proposed models were implemented in a prototype of a medical decision support system in surgery and urology using computer vision technologies as part of software modules. The presented models have shown high efficiency in evaluating the results of detection and classification of objects in medical images.

**Keywords**: computer vision, artificial neural network, deep learning, object recognition, convolutional neural network, object detection, fuzzy estimation, model.

**CONFLICT OF INTEREST**

The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**REFERENCES**

1. Meldo A.A., Utkin L.V., Trofimova T.N. Artificial intelligence in medicine: current state and main directions of development of intellectual diagnostics// Radiation diagnostics and therapy. 2020. №1 (11). URL: https://radiag.bmoc-spb.ru/jour/article/view/475 (date of reference: 02/16/2022).

2. Nazarenko, G.I. Medical information systems: theory and practice / G.I. Nazarenko, Ya.I. Guliyev, D.E. Ermakov. - M.: Fizmatlit, 2015. - 320 p.

3. Borisov D.N., Kulnev S. V., Lemeshkin R. N. THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE ANALYSIS OF DIGITAL DIAGNOSTIC IMAGES// STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF MODERN SCIENCE IN THE DIRECTION OF "TECHNICAL VISION AND PATTERN RECOGNITION". 2019. pp. 163-169 URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41824272 (accessed: 02/28/2022).

4. Kozar R.V., Navrotsky A.A., Gurinovich A.B. Methods of recognition of medical images in problems of computer diagnostics// Izvestiya Gomel State University named after F. Skoriny 2020. No.3 (120). URL: https://elib.gsu.by/bitstream/123456789/11756/1/Kozar\_Recognition\_methods\_for\_medical.pdf (accessed: 12.02.2022).

5. Shubkin, E. O. Review of medical image segmentation methods / E. O. Shubkin // 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. – pp. 90-91. – EDN GRSPJA.

6. 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.

7. 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.

8. N.A. Andriyanov, V.E. Dementiev, A.G. Tashlinsky Object detection in an image: from Bayes and Neumann–Pearson criteria to detectors based on EfficientDet neural networks // CO. 2022. No. 1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/obnaruzhenie-obektov-na-izobrazhenii-ot-kriteriev-bayesa-i-neymana-pirsona-k-detektoram-na-baze-neyronnyh-setey-efficientdet (accessed: 08/27/2023).

9. Aditya Sharma. Mean Average Precision (mAP) Using the COCO Evaluator / Aditya Sharma [Electronic resource] // Pyimagesearch.com : [website]. — URL: https://pyimagesearch.com/2022/05/02/mean-average-precision-map-using-the-coco-evaluator / (accessed: 08/27/2023).

10. Kiprono Elijah Koech Object Detection Metrics With Worked Example / Kiprono Elijah Koech [Electronic resource] // towardsdatascience.com : [website]. — URL: https://towardsdatascience.com/on-object-detection-metrics-with-worked-example-216f173ed31e (accessed: 08/27/2023).

11. Gubko P., Gorchakov A., Burkina M. Metrics of classification and regression / Gubko P., Gorchakov A., Burkina M. [Electronic resource] // academy.yandex.ru : [website]. — URL: https://academy.yandex.ru/handbook/ml/article/metriki-klassifikacii-i-regressii (accessed: 08/27/2023).

12. Mean Average Precision (mAP) in Object Detection / [Electronic resource] // learnopencv.com : [website]. — URL: https://learnopencv.com/mean-average-precision-map-object-detection-model-evaluation-metric / (accessed: 08/27/2023).

13. Rudenko M. A. Fuzzy model of classification of medical images based on neural networks / M. A. Rudenko, A.V. Rudenko // International Conference on Soft Computing and Measurements. – 2021. – Vol. 1. – PP. 336-339. – EDN ELMYDU.

14. Certificate of state registration of the computer program No. 2022681242 Russian Federation. Program for analysis of detection results, calculation of parameters and 3D visualization of objects detected as a result of detection on medical images obtained after computed tomography : No. 2022680848 : application 03.11.2022 : publ. 10.11.2022 / A.V. Rudenko, M. A. Rudenko, V. S. Lisovsky, M. A. Krapivina ; applicant LIMITED LIABILITY COMPANY "SMARDIS". – EDN ZMDUJJ.

15. The system of detecting and analyzing objects on CT images in urology / M. A. Rudenko, A.V. Rudenko, M. A. Krapivina, V. S. Lisovsky // III International Conference on Neural Networks and Neurotechnologies (NEURONT'2022) : collection of reports, St. Petersburg, June 16, 2022. – St. Petersburg: St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI" named after V.I. Ulyanov (Lenin), 2022. – pp. 38-42. – EDN LXCNGO.

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

E-mail: rudenkoandre@mail.ru

ORCID: https://orcid.org/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: https://orcid.org/0000-0002-8334-8453