

Разработка модуля определения размеров и объемов легочных узлов

А. Р. Теплякова

Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ, Обнинск, Россия

Аннотация. В статье описывается реализация модуля системы поддержки принятия врачебных решений, позволяющего определять размеры и объемы легочных узлов, обнаруживаемых при проведении низкодозной компьютерной томографии органов грудной клетки. Основной акцент в работе делается на автоматической количественной оценке узлов в соответствии с рекомендациями по ведению легочных узлов Британского торакального общества, Флейшнеровского общества, Европейского консорциума по скринингу рака легкого и Lung-RADS. В основе представленного подхода лежат классические методы обработки изображений и методы на базе нейронных сетей. В качестве входных данных выступают маски, получаемые в результате сегментации набора срезов исследования. Выходные данные представляют собой обработанные снимки и структурированный отчет DICOM SR.

Ключевые слова: компьютерное зрение, рак легкого, легочный узел, низкодозная компьютерная томография, медицинские снимки, волюметрия, диаметр легочного узла, диагностика, система поддержки принятия врачебных решений.

DOI 10.14357/20718632240105

EDN EWDLPX

Введение

Рак легкого в последние годы является одним из первых по заболеваемости и смертности среди всех видов рака в мире [1]. Несмотря на то, что в РФ в 2020 году было зарегистрировано снижение заболеваемости злокачественными новообразованиями, в том числе раком легкого, речь идет о снижении уровня выявляемости заболеваний на ранних стадиях, вызванном пандемией COVID-19 (влияние оказали такие факторы, как боязнь пациентов обращаться в медицинские учреждения из-за рисков заражения коронавирусной инфекцией и перераспределение ресурсов системы здравоохранения на борьбу с пандемией, повлекшее сокращение скрининговых программ) [2, 3]. Точный скрининг рака легкого на ранних стадиях позволяет понизить процент смертельных исходов,

поэтому развитие инструментов для упрощения и повышения удобства этой процедуры имеет важное значение.

Скрининг рака легкого (СРЛ) базируется на проведении низкодозной компьютерной томографии (НДКТ) и интерпретации результатов исследований, важнейшее место в которой занимает выбор методики оценки обнаруженных и оконтуренных (в ручном режиме или при помощи автоматических или полуавтоматических методов, в том числе основанных на применении компьютерного зрения) новообразований: по Lung-RADS, согласно рекомендациям Британского торакального общества, Флейшнеровского общества или Европейского консорциума по скринингу рака легкого [4]. Отсюда может быть сделан вывод о целесообразности разработки модуля системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР) для СРЛ, отвечающего за этап оценки

количественных показателей легочных узлов, так как он напрямую влияет на корректность их ведения. Целью данной статьи является описание создания модуля СППВР, вычисляющего количественные показатели узлов легких по бинарным маскам узлов, соответствующим срезам исследований НДКТ, согласно принятым во врачебной практике методикам с теоретической и практической точек зрения.

1. Постановка задачи исследования

При проведении СРЛ пациенты из групп риска проходят процедуру НДКТ, результаты которой впоследствии интерпретируются врачами-рентгенологами (согласно методическим рекомендациям [5], должно проводиться двойное чтение). В ходе интерпретации для оценки волюметрии обнаруживаемых узлов в полуавтоматическом режиме, например, при помощи инструментов Единой радиологической информационной системы (ЕРИС) производится их разметка: специалист кликает по узлу, после чего выполняется сегментация и предоставляется информация о длинной оси (мм), короткой оси (мм) и объеме (см³) для узла на конкретном срезе. Специалист мог бы тратить меньше времени на рутинные операции и получать более точную и полную информацию, если результаты сегментации автоматически анализировались более детально, а именно: рассчитывались размеры длинных и коротких осей не только для аксиальной проекции, но и для сагиттальной и коронарной проекций, а также выводились бы параметры, специфичные для каждой из применяемых методик ведения узлов (при таком подходе пропадает необходимость дополнительных вычислений). Таким образом, задача исследования сводится к разработке программного модуля, который получает на вход массив бинарных масок, являющихся результатом этапа сегментации легочных узлов, и возвращает специалисту информацию, которая может быть полезна в рамках интерпретации результатов НДКТ, в удобном для чтения формате. Задача включает следующие подзадачи:

- анализ методик ведения легочных узлов, формирование наборов признаков, необходимых для каждой из них;

- поиск данных для разработки алгоритмов (НДКТ с масками, сформированными рентгенологами);

- реализация алгоритмов нахождения длинных и коротких осей узлов для аксиальной, сагиттальной и коронарной плоскостей и определения их длин;

- реализация алгоритма определения объемов узлов;

- реализация алгоритма определения относительного положения узлов (для возможности отслеживания их в динамике, оценки времени удвоения объемов при сравнении двух исследований одного пациента);

- реализация алгоритма предоставления специалисту-рентгенологу необходимой информации (DICOM SR, визуализация размеров и т. д.).

2. Обзор существующих решений и описание предлагаемого подхода

Рассмотрен ряд обзорных статей [6-11], посвященных применению методов компьютерного зрения и глубокого обучения (ГО) в процессе диагностики рака легкого. Все они представляют собой актуальные (пять из них опубликованы в 2022 году, одна – в 2023) комплексные исследования. В работе [6] рассматриваются методы глубокого обучения для решения задач обнаружения легочных узлов на рентгенограммах, обнаружения, классификации узлов на снимках КТ, прогнозирования развития рака легкого, мутаций и планирования ведения узлов. В статье [7] описываются как ранние (2000-х годов), так и современные системы компьютерного обнаружения, по итогам сравнения делаются выводы о том, что большинство из них значительно превосходит радиологов по чувствительности, но уступает им, демонстрируя большее количество ложноположительных обнаружений. Авторы делают вывод о том, что при проведении СРЛ такие системы могут применяться в качестве второго (при подходе двойного чтения), параллельного или даже в качестве самостоятельного решения, если будет подтверждено, что они превосходят радиологов по производительности. Также в работе уделено внимание описанию характеристик легочных узлов в соответствии с рекомендациями мировых

торакальных обществ. Авторы [8] рассматривают исследования, посвященные обнаружению и классификации легочных узлов. Предлагаемые в исследованиях подходы к обнаружению узлов демонстрируют уровни точности в диапазоне 74,6%-100%, к классификации – 76%-99,2%, к решению обеих задач – от 73% до 96,73%. В обзорной статье [9] основное внимание уделяется сегментации и классификации легочных узлов. Рассмотренные подходы показывают точность от 75,85% до 93,6%, чувствительность от 77% до 98,1%, коэффициент схожести Дайса от 73,6% до 96,15%. В [10] рассмотрены методы ГО для обнаружения и описания признаков рака легкого на снимках КТ, а также мультимодальные модели ГО для объединения нескольких источников клинических данных и данных изображений, интерпретируемые модели ГО, призванные открыть «черный ящик» для радиологов, и федеративные модели ГО, предназначенные для распределенного обучения на данных, предоставляемых различными центрами, с сохранением конфиденциальности. Авторы данного обзора делают акцент на важности наличия согласованных критериев диагностики, включая измерение геометрических параметров обнаруживаемых узлов, и подчеркивают, что отсутствие согласованности неизбежно приводит к ошибкам классификации узлов и некорректному планированию лечения. В статье [11] рассматриваются как существующие подходы к диагностике рака легкого, так и перспективные направления, исследования в которых на данный момент немногочисленны. Из рассмотренных в статье 50 подходов 15 реализуют выявление рака в целом (без акцента на легочных узлах), а 35 – с выделением и анализом легочных узлов на снимках КТ.

Все описанные в рассмотренных обзорных статьях исследования, в рамках которых работа ведется со снимками КТ, могут быть условно классифицированы с точки зрения основной цели исследования следующим образом:

- сегментация легочных узлов и визуализация полученных результатов;
- классификация легочных узлов (злокачественные и доброкачественные, солидные и субсолидные, типичные и атипичные периферические узлы);

- комплексные решения и объяснимые модели, применимые в клинической практике.

Если говорить о задачах, которые должно решать программное средство для того, чтобы обладать практической применимостью при проведении СРЛ и приносить пользу рентгенологам, можно выделить следующие:

- загрузка и обработка медицинских файлов;
- сегментация, позволяющая получить маски, соответствующие легочным узлам;
- определение необходимых размеров и объемов легочных узлов, согласно рекомендациям по их ведению;
- классификация легочных узлов;
- визуализация (нанесение обнаруженных масок узлов с указанием их размеров на исходные снимки КТ), запись всех данных, формируемых программным средством, в структурированный отчет.

Определению размеров и объемов легочных узлов уделяется относительно мало внимания несмотря на то, что они являются ключевыми характеристиками, определяющими их лечение [12]. Непосредственно рассмотрению этих проблем посвящены статьи [13-18]. Авторы этих исследований подчеркивают, что измерение объемов позволяет более точно определить размеры легочных узлов, чем двумерные измерения на отдельных срезах. В [15] делается вывод о том, что использование среднего или максимального осевого размера для оценки объема узлов приводит к значительному завышению их объема (на 47,2% и 85,1% соответственно по сравнению с полуавтоматическим определением объема). В работе [18], опубликованной в 2022 году, предлагается подход к вычислению объемов узлов на основе диаметра, позволяющий уменьшить отклонения от объемов, определенных методом подсчета вокселей. Несмотря на то, что в ряде работ обосновывается целесообразность перехода от расчета объемов по диаметрам к подходам на базе вокселей, в клинической практике до сих пор применяются обе методологии. В методических рекомендациях, составленных специалистами ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ» [5, 19], приводятся адаптированные версии рекомендаций Британского торакального общества (BTS), Общества Флейшнера, Европейского консорциума по скринингу рака легкого и рекомендаций по

системе Lung-RADS, разработанной Американским радиологическим обществом. Согласно рекомендациям Общества Флейшнера, измерение объемов может производиться как в 3D, так и в 2D (не только аксиальная проекция, также сагиттальная и коронарная), как и согласно рекомендациям BTS и классификации Lung-RADS. В основе классификации Европейского консорциума по скринингу рака легкого лежит применение объемов легочных узлов, измеряемых в полуавтоматическом/автоматическом режиме (допускается использование приблизительного значения объема, рассчитанного на базе измерения двумерных размеров).

Что касается программных средств, применяемых радиологами для просмотра и анализа результатов КТ в формате DICOM, наиболее популярными являются RadiAnt DICOM Viewer и Vidar Dicom Viewer. RadiAnt DICOM Viewer позволяет измерять размеры вручную при помощи инструмента «линейка». Vidar Dicom Viewer предоставляет пользователю возможность автоматического поиска и анализа легочных узлов, однако анализ включает в себя только расчет площади, объема, процента роста и времени удвоения.

Теоретическое описание предлагаемого подхода

Отличительная особенность предлагаемого модуля от уже существующих программных решений заключается в вычислении расширенного количества специфичных для легочных узлов параметров под рекомендации различных

обществ. В рамках предлагаемого подхода предполагается необходимость реализации предварительной сегментации легочных узлов, которая может быть выполнена рентгенологом как при помощи полуавтоматических средств, так и в ручном режиме (выходные данные этой процедуры представляют собой маски легочных узлов для всех срезов исследования). Маски и исходные снимки подаются на вход модуля, который выдает специалисту необходимые данные, представляющие собой обработанные DICOM (на снимки накладывается разметка с указанием размеров) и структурированный отчет DICOM SR. В основе подхода лежат классические алгоритмы обработки изображений, а также алгоритм сегментации паренхимы легкого на базе нейросети U-Net (необходим для определения относительных положений узлов).

Схема, приведенная на Рис. 1, демонстрирует логику функционирования модуля, способного ассистировать рентгенологам при проведении СРЛ.

Кластеризация легочных узлов

Разметка легочных узлов для исследования НДКТ представляет собой трехмерный массив – набор бинарных изображений, значения пикселей которых равны «0» (черные) и «1» (белые). Для работы с каждым из узлов необходимо сначала определить соответствующие им объемы интереса, реализовав кластеризацию пикселей. Каждый объем интереса описывается шестью значениями, задающими геометрическое положение кубоида, описанного вокруг легочного



Рис. 1. Схема, демонстрирующая логику работы модуля

узла (с отступом в 1 пиксель по каждой из осей). В качестве признака, учитываемого при кластеризации, выступает цвет пикселя, а связность описывается центросимметричной матрицей, показанной на Рис. 2. Для центрального пикселя, имеющего координаты (x, y, z) , смежными являются шесть пикселей с координатами $(x - 1, y, z)$, $(x + 1, y, z)$, $(x, y - 1, z)$, $(x, y + 1, z)$, $(x, y, z - 1)$ и $(x, y, z + 1)$.

Оценка двумерных размеров легочных узлов

Если рассматривать отдельные маски для снимков трех проекций, то на каждой из них срез легочного узла соответствует кластерам белых пикселей. Для вычисления размеров узла на срезе предполагается анализировать контуры, ограничивающие эти кластеры. Что касается специфики измерений двумерных размеров узлов в соответствии с рекомендациями различных обществ, то они приведены в Табл. 1.

Оценка объемов легочных узлов

Объемы легочных узлов являются приоритетными измерениями, так как дают более точные оценки, поэтому предполагается предоставление информации об объеме для каждого из узлов. Имея данные об объеме интереса легочного узла, можно определить объем самого узла, посчитав количество ненулевых вокселей и перейдя к физическому объему, измеряемому в мм^3 .

Определение положений узлов относительно легких

Для подбора тактики ведения пациентов радиологами применяется такой показатель, как время удвоения очага (ВУО). Если предположить, что при помощи предлагаемого модуля

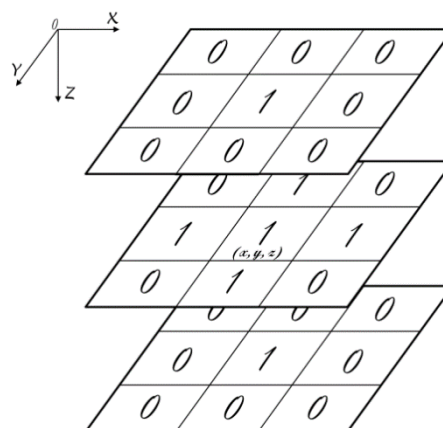


Рис. 2. Матрица связности

могут обрабатываться маски, соответствующие исследованиям одного пациента, проведенным в разное время, то можно сделать вывод о том, что для удобства оценки размеров отдельных узлов в динамике следует фиксировать положения их центров относительно правого и левого легких (в зависимости от расположения узлов).

3. Практическая реализация

Предлагаемый программный модуль реализован на языке программирования Python, для работы с изображениями используется библиотека с открытым исходным кодом OpenCV, а для чтения и записи медицинских файлов стандарта DICOM – пакет PyDicom. Для анализа используются снимки НДКТ грудной клетки и соответствующие им маски легочных узлов из открытого набора данных LIDC-IDRI [20].

Табл. 1. Требования к двумерным размерам

Рекомендации	Измеряемая величина
Британского торакального общества	Максимальный двумерный размер
Общества Флейшнера	Среднее значение двумерного размера по короткой и длинной осям (максимальное значение из трех значений для аксиальной, коронарной и сагиттальной проекций)
Европейского консорциума по скринингу рака легкого	Указывается на предпочтительность объемных измерений, по двумерным нет указаний, поэтому предоставлять минимальный, максимальный двумерные размеры и среднее значение
Lung-RADS	Среднее значение двумерного размера по короткой и длинной осям

Кластеризация легочных узлов

Массив масок для исследования представляет собой трехмерный массив NumPy (`numpy.ndarray`). Первый шаг заключается в обходе этого массива алгоритмом маркировки связанных компонентов. Результатом этого обхода является присвоение вокселям, относящимся к отдельным узлам, соответствующих меток (уникальных для каждого из узлов целых чисел) от 1 до N, где N – общее количество узлов, обнаруженных на снимках исследования. Далее производится обход меток, целью которого является выделение соответствующих им вокселей и поиск минимальных и максимальных координат по трем осям. Значения найденных минимальных координат уменьшаются на единицу, максимальных – увеличивается. Эти шесть значений однозначно определяют положения узлов и используются для анализа их характеристик.

Оценка двумерных размеров легочных узлов

Контур легочных узлов обнаруживаются при помощи функции `findContours` библиотеки OpenCV. Контур описывается наборами точек, каждая из которых описывается двумя координатами (рассматриваемые срезы каждой из трех проекций представляют собой двумерные массивы). Задача поиска диаметра (т. е. максимального двумерного размера) узла сводится к поиску максимальной дистанции между точками контура. В качестве минимального размера рассматривается длина отрезка, перпендикулярного диаметру (концы отрезка – точки контура). Алгоритм определения двумерных размеров включает следующие этапы:

- вычисление попарных расстояний между точками контура (на выходе матрица расстояний);
- поиск максимального значения матрицы расстояний (т. е. диаметра узла) и координат точек, соответствующих этому значению;
- определение координат середины отрезка с максимальной длиной;
- построение отрезка, перпендикулярного диаметру, проходящего через его середину и пересекающего контур в двух точках (концы отрезка);
- определение минимального размера узла (расстояние между точками контура, определенными на предыдущем шаге);
- для перехода от пикселей к мм применяется значение DICOM-тега (0028,0030),



Рис. 3. Пример маски узла с выделенными короткой и длинной осями (аксиальный срез)

описывающего физическое расстояние между центрами пикселей.

Описанная последовательность действий выполняется для аксиальной, сагиттальной и коронарной проекций, для рекомендаций Lung-RADS и общества Флейшнера также вычисляются средние значения. На Рис. 3 показан пример маски узла (аксиальный срез) с нанесенными диаметром и перпендикулярным ему отрезком.

Оценка объемов легочных узлов

Каждый воксель характеризуется тремя размерами. Два из них – это ширина и высота аксиальных срезов, хранящиеся в тегах (0028, 0030), описываемом ключевым словом `PixelSpacing`. Еще один размер – толщина среза, значение которой хранится в теге (0018, 0050), описываемом ключевым словом `SliceThickness`. Для вычисления объема одного вокселя в мм^3 эти три значения перемножаются.

Для определения объема отдельного узла выполняется следующая последовательность действий:

- выделяется кубоид, описываемый шестью значениями, полученными в результате кластеризации;
- производится подсчет ненулевых вокселей в данном кубоиде (т. е. определяется объем узла в вокселях);
- объем, измеренный в вокселях, умножается на объем одного вокселя в мм^3 .

Определение положений узлов относительно легких

Для определения относительных положений узлов сначала выполняется сегментация легких

при помощи нейронной сети, имеющей архитектуру U-Net, очистка масок от «артефактов» и разделение их на относящиеся к правому и левому легким. Эти алгоритмы разработаны на предыдущих этапах исследования и описаны в работе [21].

Далее определяется, в какое из легких попадает кубоид, ограничивающий конкретный узел, после чего рассчитываются координаты относительно кубоида, ограничивающего легкое, по трем осям (каждая из координат представляет собой значение от 0 до 1).

Визуализация, запись в отчет

Для удобства визуальной оценки результатов определения двумерных размеров специалистом-рентгенологом на исходные срезы КТ наносятся контуры, соответствующие маскам, отрезки, соответствующие коротким и длинным осям, а также длины их этих отрезков в мм. Для визуализации результатов работы модуля используются аксиальные срезы, так как они несут больше полезной для визуального восприятия информации в силу своего высокого разрешения (как правило, 512 на 512 пикселей), тогда как стандартная толщина срезов (рекомендованное для СРЛ значение $\leq 2,5$ мм [4]) служит причиной малого разрешения масок сагиттальной и коронарной проекций. Пример обработанного аксиального среза показан на Рис. 4.

По итогам анализа масок, соответствующих исследованию НДКТ, модуль также формирует отчет, содержащий следующую информацию:

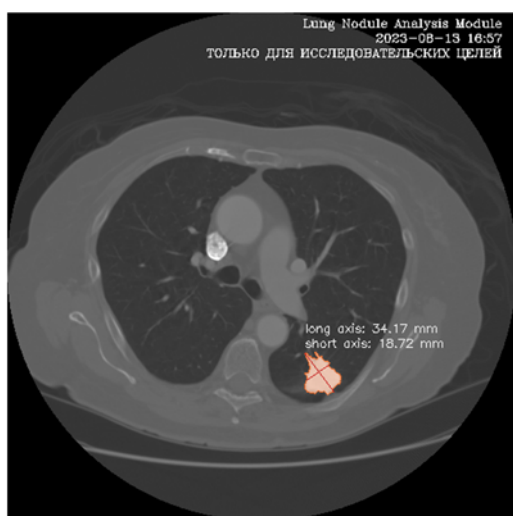


Рис. 4. Пример обработанного аксиального среза

Consultation report:	
Модальность:	СТ
Идентификатор исследования:	1.3.6.1.4.1.14519.5.2.1.6279.6001.29880613728633453246975630178
Время формирования модулем структурированного отчета:	2023.08.13 16:10:52
Предупреждение: Заключение получено при поддержке алгоритма искусственного интеллекта. Только для исследовательских целей.	
Наименование модуля:	Lung Nodule Analysis Module
Назначение модуля:	Автоматическое определение объемов и размеров легочных узлов по маскам сегментации
Технические параметры:	
Толщина среза:	2,5 мм
Количество срезов:	133
Количество узлов:	1
Объемы:	
Узел 1:	3000.222 мм ³
Двумерные размеры (общие):	
Узел 1:	
Аксиальная проекция (длинная и короткая оси):	34.172 мм, 18.722 мм
Коронарная проекция (длинная и короткая оси):	27.216 мм, 15.066 мм
Сагиттальная проекция (длинная и короткая оси):	29.952 мм, 17.514 мм
Размеры, специфичные для рекомендаций BTS:	
Узел 1:	
Максимальный двумерный размер:	34.172 мм (соответствует аксиальной проекции)
Размеры, специфичные для рекомендаций общества Флейшнера:	
Узел 1:	
Максимальный средний двумерный размер:	26.447 мм (соответствует аксиальной проекции)
Размеры, специфичные для рекомендаций Европейского консорциума:	
Согласно рекомендациям Европейского консорциума по скринингу рака легкого, предпочтительными являются объемные измерения узлов. Обратитесь к разделу 'Объемы' или (в случае применения двумерных размеров) к разделу 'Двумерные размеры (общие)'.	
Размеры, специфичные для рекомендаций общества Lung-RADS:	
Узел 1:	
Максимальный средний двумерный размер:	26.447 мм (соответствует аксиальной проекции)

Рис. 5. Пример DICOM SR

- метаданные (идентификатор исследования, описание модуля, время обработки исследования);
- общее количество узлов;
- объемы в мм³ (для каждого узла);
- двумерные размеры, описывающие длинные и короткие оси каждого из узлов в аксиальной, коронарной и сагиттальной плоскостях, в мм;
- размеры, специфичные для рекомендаций Британского торакального общества, общества Флейшнера, Европейского консорциума по СРЛ и Lung-RADS (для каждого узла).

Данные об относительном положении не включаются в отчет, так как необходимы для вычисления различий размеров одних и тех же узлов при загрузке исследований одного и того же пациента, сделанных в разное время (для такого случая предусмотрено добавление в отчет поля с указанием изменений объемов и размеров и временного интервала, за который произошли эти изменения). Пример структурированного отчета, сформированного модулем для исследования «0001» из LIDC-IDRI, показан на Рис. 5.

Заключение

Реализован модуль СППВР для упрощения процесса анализа снимков НДКТ, получаемых при проведении СРЛ. Программное средство

анализирует бинарные маски, определяет объемы легочных узлов и их двумерные размеры (в аксиальной, коронарной и сагиттальной проекциях), формирует структурированные отчеты, содержащие информацию для ведения узлов по Lung-RADS, согласно рекомендациям Британского торакального общества, общества Флейшнера и Европейского консорциума по СРЛ. Модуль позволяет снизить нагрузку на рентгенологов и вероятность влияния человеческого фактора на точность измерения размеров узлов и, как следствие, на корректность их ведения. Стоит также отметить, что описанная в статье методика определения объемов патологических новообразований или внутренних органов по маскам, соответствующим снимкам томографического исследования, универсальна для ряда случаев, что обеспечивает возможность модификации разработанного в рамках исследования программного кода под решение аналогичных задач для других модальностей и нозологических единиц. Это касается и описанных методов определения двумерных размеров для аксиальной, коронарной и сагиттальной проекций. Планируется применять их при разработке других модулей СППВР.

В рамках дальнейшего развития созданного модуля СППВР возможна реализация следующего функционала, основанного на применении методов компьютерного зрения:

- сегментация легочных узлов на снимках НДКТ (позволит получать маски для срезов загружаемых исследований в автоматическом режиме);

- классификация легочных узлов (возможность автоматического отнесения узлов к злокачественным и доброкачественным, солидным и субсолидным, типичным и атипичным периферическим).

Литература

1. Siegel R. L. et al. Cancer statistics // *CA: A Cancer Journal for Clinicians*. 2023. Vol. 73(1). P. 17–48.
2. Стилиди И. С. и др. Снижение заболеваемости злокачественными опухолями – еще одно последствие эпидемии COVID-19 // *Общественное здоровье*. 2022. № 2 (1). С. 5–14.
3. Фадеева Е. В. Онкологическая помощь в условиях пандемии COVID-19 // *Социологическая наука и социальная практика*. 2021. № 1. Т. 9. С. 61–73.
4. Гомболевский В. А. и др. Основные достижения низкодозной компьютерной томографии в скрининге рака легкого // *Туберкулез и болезни легких*. 2021. № 99 (1). С. 61–70.
5. Гомболевский В. А. и др. Методические рекомендации по скринингу рака легкого // *Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики»*. 2020. № 56. 60 с.
6. Lee J. et al. A narrative review of deep learning applications in lung cancer research: from screening to prognostication // *Translational Lung Cancer Research*. 2022. Vol. 11(6). P. 1217–1229.
7. Chassagnon G. et al. Artificial intelligence in lung cancer: current applications and perspectives // *Japanese Journal of Radiology*. 2023. Vol. 41. P. 235–244.
8. Li R. et al. Deep Learning Applications in Computed Tomography Images for Pulmonary Nodule Detection and Diagnosis: A Review // *Diagnostics*. 2022. Vol. 12(2). P. 298.
9. Zhou J. Emerging artificial intelligence methods for fighting lung cancer: A survey // *Clinical eHealth*. 2022. Vol. 5. P. 19–34.
10. Abrar A., Rajpoot P. "Classification and Detection of Lung Cancer Nodule using Deep Learning of CT Scan Images": A Systematic Review. [Электронный ресурс]. 2022. URL: <https://assets.researchsquare.com/files/rs-2145172/v1/2a94278e-c16b-4346-ae89-3042ca2fb409.pdf?c=1666567759> (дата обращения: 11.09.2023).
11. Jassim M. M., Jaber M. M. "Systematic review for lung cancer detection and lung nodule classification: Taxonomy, challenges, and recommendation future works" // *Journal of Intelligent Systems*. 2022. Vol. 31(1). P. 944–964.
12. Larici A. R. et al. Lung nodules: size still matters // *European Respiratory Journal*. 2017. Vol. 20(26). P. 170025.
13. de Margerie-Mellon C., Heidinger B., Bankier A. 2D or 3D measurements of pulmonary nodules: preliminary answers and more open questions // *Journal Of Thoracic Disease*. 2018. Vol. 10(2). P. 547–549.
14. Gross C. F. et al. Comparability of Pulmonary Nodule Size Measurements among Different Scanners and Protocols: Should Diameter Be Favored over Volume? // *Diagnostics*. 2023. Vol. 13. P. 631.
15. Heuvelmans M. A. et al. Disagreement of diameter and volume measurements for pulmonary nodule size estimation in CT lung cancer screening // *Thorax*. 2018. Vol. 73(8). P. 779–781.
16. Heuvelmans M. A., Oudkerk M. Pulmonary nodules measurements in CT lung cancer screening // *Journal of Thoracic Disease*. 2018. Vol. 10. P. S2100–S2102.
17. Han D., Heuvelmans M., Oudkerk M. Volume versus diameter assessment of small pulmonary nodules in CT lung cancer screening // *Translational Lung Cancer Research*. 2017. Vol. 6(1). P. 52–61.
18. Yoon S. et al. Volumetric analysis of pulmonary nodules: reducing the discrepancy between the diameter-based volume calculation and voxel-counting method // *Quantitative Imaging In Medicine And Surgery*. 2021. Vol. 12(3). P. 1674–1683.
19. Николаев А. Е. и др. Тактика ведения легочного очага в зависимости от клинической ситуации: методические

- рекомендации // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». 2022. № 78. 36 с.
20. Armato 3rd S. G. et al. The Lung Image Database Consortium (LIDC) and Image Database Resource Initiative (IDRI): a completed reference database of lung nodules on CT scans // *Medical Physics*. 2011. Vol. 38(2). P. 915–931.
 21. Теплякова А. Р., Кузнецов А. А. Разработка модуля для диагностики COVID-19 по снимкам компьютерной томографии органов грудной клетки на базе методов компьютерного зрения // *Информационные технологии*. 2023. №4, Т. 29. С. 204–214.

Теплякова Анастасия Романовна. Обнинский институт атомной энергетики – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Обнинск, Россия. Преподаватель, аспирант. Область научных интересов: компьютерное зрение, информационные технологии. E-mail: anastasija-t23@mail.ru.

Development of a Module for Determining the Size and Volume of Pulmonary Nodules

A. R. Teplyakova

Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russia

Abstract. The article describes the development of the software module, which allows determining the size and volume of pulmonary nodules detected during low-dose computed tomography of the chest organs. The main focus of the article is on automatic quantification of nodules in accordance with the guidelines for the management of pulmonary nodules of the British Thoracic Society, the Fleischner Society, the Lung-RADS and European position statement on lung cancer screening. The approach presented is based on classical image processing methods and methods based on the use of neural networks (U-Net architecture). The input data are masks being obtained as a result of segmentation (it can be performed by a radiologist manually, in automatic or semi-automatic mode) of low-dose CT scans. The output data are DICOM image files being obtained from the original low-dose CT slice files by overlaying metadata, pulmonary nodule contours, long and short axes, and their lengths in mm, and a structured report (DICOM SR) containing lung nodule data in an easy-to-read format. An algorithm for calculating the position of the nodules relative to the lungs is also implemented for the possibility of comparing two studies of one patient in order to estimate the volume doubling time of the pulmonary nodules. The module being described is the part of the medical decision support system, that is being developed to solve the problems of reducing the heavy workload of radiologists and improve the accuracy of diagnosis of various diseases through the analysis of medical images.

Keywords: computer vision, lung cancer, lung nodule, low-dose computed tomography, medical images, volumetry, lung nodule diameter, diagnostics, medical decision support system.

DOI 10.14357/20718632240105

EDN EWDLPX

References

1. Siegel R. L. et al. Cancer statistics. CA: A Cancer Journal for Clinicians. 2023;73(1):17-48. doi: 10.3322/caac.21763.
2. Stilidi I. S. et al. The decrease in the incidence of malignant tumors as a consequence of the epidemic of COVID-19. *Public Health*. 2022;2(1):5-14. (In Russ.). doi: 10.21045/2782-1676-2021-2-1-5-14.
3. Fadeeva E. V. Oncological Care During the COVID-19 Pandemic, *Sociologicheskaya nauka i social'naya praktika*. 2021;9(1):61-73 (in Russ.). doi: 10.19181/snsp.2021.9.1.7874.
4. Gombolevskiy V. A. et al. Main achievements of low-dose computed tomography in lung cancer screening. *Tuberculosis and lung diseases*. 2021. 99(1):61-70 (in Russ.). doi: 10.21292/2075-1230-2021-99-1-61-70.
5. Gombolevskiy V. A. et al. Methodological recommendations for lung cancer screening. *Seriya "Luchshie praktiki luchevoj i instrumental'noj diagnostiki"*. 2020, no. 56, 60 p. (in Russ.).

6. Lee J. et al. A narrative review of deep learning applications in lung cancer research: from screening to prognostication. *Translational Lung Cancer Research*. 2022;11(6):1217-1229. doi: 10.21037/tlcr-21-1012.
7. Chassagnon G. et al. Artificial intelligence in lung cancer: current applications and perspectives. *Japanese Journal of Radiology*. 2023;41(3):235-244. doi: 10.1007/s11604-022-01359-x.
8. Li R. et al. Deep Learning Applications in Computed Tomography Images for Pulmonary Nodule Detection and Diagnosis: A Review. *Diagnostics*. 2022;12(2):298. doi: 10.3390/diagnostics12020298.
9. Zhou J. Emerging artificial intelligence methods for fighting lung cancer: A survey. *Clinical eHealth*. 2022;5:19-34. doi: 10.1016/j.ceh.2022.04.001.
10. Abrar A., Rajpoot P. "Classification and Detection of Lung Cancer Nodule using Deep Learning of CT Scan Images": A Systematic Review. 2022. Available from: <https://arxiv.org/abs/2104.11272v1> [Accessed 11 September 2023].
11. Jassim M. M., Jaber M. M. "Systematic review for lung cancer detection and lung nodule classification: Taxonomy, challenges, and recommendation future works". *Journal of Intelligent Systems*. 2022;31(1): 944-964. doi: 10.1515/jisys-2022-0062.
12. Larici A. R. et al. Lung nodules: size still matters. *European Respiratory Journal*. 2017;26(146):170025. doi: 10.1183/16000617.0025-2017.
13. de Margerie-Mellon C., Heidinger B., Bankier A. 2D or 3D measurements of pulmonary nodules: preliminary answers and more open questions. *Journal Of Thoracic Disease*. 2018;10(2):547-549. doi: 10.21037/jtd.2018.01.67.
14. Gross C. F. et al. Comparability of Pulmonary Nodule Size Measurements among Different Scanners and Protocols: Should Diameter Be Favorized over Volume? *Diagnostics*. 2023;13(4):631. doi: 10.3390/diagnostics13040631.
15. Heuvelmans M. A. et al. Disagreement of diameter and volume measurements for pulmonary nodule size estimation in CT lung cancer screening. *Thorax*. 2018;73(8):779-781. doi: 10.1136/thoraxjnl-2017-210770.
16. Heuvelmans M. A., Oudkerk M. Pulmonary nodules measurements in CT lung cancer screening. *Journal of Thoracic Disease*. 2018;10(Suppl 17):S2100-S2102. doi: 10.21037/jtd.2018.05.166.
17. Han D., Heuvelmans M., Oudkerk M. Volume versus diameter assessment of small pulmonary nodules in CT lung cancer screening. *Translational Lung Cancer Research*. 2017;6(1):52-61. doi: 10.21037/tlcr.2017.01.05
18. Yoon S. et al. Volumetric analysis of pulmonary nodules: reducing the discrepancy between the diameter-based volume calculation and voxel-counting method. *Quantitative Imaging In Medicine And Surgery*. 2021;12(3):1674-1683. doi: 10.21037/qims-21-485.
19. Nikolaev A. E. et al. Tactics of management of the pulmonary nodule depending on the clinical situation: methodological recommendations. *Seriya "Luchshie praktiki luchevoy i instrumental'noj diagnostiki"*. 2022, no. 78, 36 p. (in Russ.).
20. Armato 3rd S. G. et al. The Lung Image Database Consortium (LIDC) and Image Database Resource Initiative (IDRI): a completed reference database of lung nodules on CT scans. *Medical Physics*. 2011;38(2):915-31. doi: 10.1118/1.3528204.
21. Teplyakova A. R., Kuznetsov A. A. Development of a Module for COVID-19 Diagnostics Based on Computed Tomography Images of the Chest Based on Computer Vision Methods. *Information Technologies*. 2023;29(4):204-214 (in Russ.). doi: 10.17587/it.29.204-214.

Teplyakova Anastasia R. Lecturer, Postgraduate Student, Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, 1 Studgorodok, Obninsk, Kaluga region, 249039, Russia. E-mail: anastasija-t23@mail.ru