

Прогнозирование прогрессирования пневмоторакса: методика, использующая сравнительный анализ легочных масок

Г. О. Бондаренко

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Olakola9@gmail.com

А. С. Сырых

Университет ИТМО
Alyoshca.syryh@mail.ru

Аннотация. Статья представляет глубокое исследование передового метода анализа медицинских изображений, основанного на сравнении и прогнозировании медицинских масок. Этот метод позволяет эффективно восстанавливать поврежденные участки на медицинских изображениях и прогнозировать заболевания на основе аналогичных клинических случаев. В статье исследуются потенциальные применения этого метода в области медицинской практики, охватывающие диагностику различных медицинских состояний, мониторинг состояния пациентов и отслеживание прогресса заболевания. Обсуждения обращены к потенциалу улучшения точности и скорости диагностики через использование этой методологии. Эта статья стремится вдохновить исследователей и экспертов в области обработки медицинских изображений, предоставляя новые возможности для улучшения диагностических процедур и мониторинга состояния здоровья.

Ключевые слова: пневмоторакс; анализ медицинских изображений; прогностическое моделирование; диагностическое прогнозирование

I. ВВЕДЕНИЕ

Значимость анализа медицинских изображений не может быть недооценена. В мире, где здравоохранение становится все более ориентированным на данные, эффективная интерпретация медицинских изображений является ключом к раннему выявлению заболеваний, персонализированным планам лечения и улучшенному уходу за пациентами. История анализа медицинских изображений отмечена непрерывными усилиями по преодолению вызовов, таких как снижение шума, регистрация изображений и извлечение признаков. Ранние системы компьютерной помощи в диагностике (CAD) предлагали надежду, но часто не оправдывали ожиданий из-за ограничений вычислительной мощности и доступности данных. Появление глубокого обучения и сверточных нейронных сетей (CNN) революционизировало область, позволив разработать высокоточные и эффективные алгоритмы анализа изображений.

В свете трансформационного воздействия современных технологий на анализ медицинских изображений настоящее исследование исследует передовой подход, основанный на сравнении и

прогнозировании распространения патологий на основе медицинских масок. Этот метод направлен на повышение точности и эффективности анализа медицинских изображений, потенциально переопределяя способы диагностики заболеваний, мониторинга здоровья пациентов и использования медицинской визуализации в полной мере.

Данная статья сосредоточена на практической значимости подхода, используя пневмоторакс (состояние, характеризующееся наличием воздуха в плевральном пространстве вокруг легких) в качестве примера. Пневмоторакс требует немедленной диагностики и лечения, что делает его идеальным кандидатом для демонстрации практической значимости данного метода [1, 2].

II. СУТЬ МЕТОДА

В данном разделе представлено описание методики исследования, которая заключается в создании обширного репозитория масок пневмоторакса с целью определения наиболее близких соответствий для заданного случая. Эта методика лежит в основе подхода к анализу медицинских изображений.

Методика начинается с комплектования медицинских изображений, в данном случае, экземпляров различных примеров рентгеновских снимков с пневмотораксом. Эти изображения берутся из различных клинических баз данных, обеспечивая широкое представление состояния у пациентов с различными демографическими характеристиками. Важно собрать разнообразный набор данных, чтобы учесть потенциальную изменчивость презентаций пневмоторакса.

Следующим шагом является точная сегментация масок пневмоторакса на полученных изображениях. В данном случае предполагается, что пневмоторакс уже был обнаружен и маски были сегментированы, и основная задача состоит в прогнозировании его распространения.

Суть методики заключается в разработке алгоритма сопоставления. Этот алгоритм разработан для сравнения целевой маски пневмоторакса со всем репозиторием масок пневмоторакса. Цель состоит в том, чтобы найти наиболее близкие соответствия на основе сходства признаков. Важно подчеркнуть, что наиболее близкое

соответствие – это соответствие, описывающее более крупный радиус поражения, чем исходная маска, но схожее с исходной по размеру и локализации.

III. МАСШТАБИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В этом сегменте рассмотрим важнейший аспект масштабирования в рамках данной исследовательской методологии. Хотя важность сверточных нейронных сетей (СНС) и методологий глубокого обучения, сложно переоценить, на данном этапе исследования решено реализовать подход, не рассматривая СНС для сегментации жизненно важных участков тканей и поражений. Вместо этого акцентируется внимание на использовании предварительно сегментированных легочных масок для прогнозирования распространения пневмоторакса.

Маски легких, полученные из медицинских изображений, используются в качестве основного компонента методологии. Эти маски представляют собой область легких и играют ключевую роль в диагностическом анализе. Предполагается, что маски доступны и точно сегментированы, поскольку основная цель – исследовать аспекты масштабирования и сопоставления подхода. Кроме того, в процессе сравнения должен использоваться пример наиболее успешного изображения. Он будет использоваться в качестве ссылки для входных масок во время процесса масштабирования. Пример такого эталона и входной маски показан на рис. 1.



Рис. 1. Образцы легочных масок перед масштабированием

Для эффективного масштабирования масок необходимо выполнить процесс выравнивания, начиная с поиска центра каждого из двух легких. Определение центра выполняется путем вычисления центра массы, которые наложены в формулах (1) для нахождения центра масс x и (2) для нахождения центра масс y .

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

$$y_c = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (2)$$

После нахождения центров их позиции сравниваются, и в случае значительного наклона между ними можно сделать вывод, что изображение сильно наклонено относительно эталона. После исправления этого наклона применяется процесс выравнивания, где устанавливаются прямоугольники, представляющие масштаб по ширине и высоте. Эти прямоугольники также корректируются к эталонному изображению, учитывая возможные различия в масштабе и перспективе, вызванные разными устройствами,

условиями съемки и другими факторами. Этот процесс объединяет изображения и улучшает их согласованность для последующего анализа. Процесс данного алгоритма масштабирования показан на рис. 2.

После выполнения масштабирования, которое показано на Рис.3, становится очевидным, что, несмотря на приближение к эталону, уникальные особенности структуры человеческого тела приводят к значительным отличиям. Более тщательное масштабирование может привести к искажению изображения и оказаться непоказательным в свете разнообразия физиологических различий между отдельными пациентами. Учитывая это, необходимо разработать дополнительные алгоритмы для прогнозирования распространения, учитывающие уникальные особенности каждого человека и обеспечивающие более точные и индивидуализированные прогнозы.

После тщательного исследования и проверки масштабирования и поворота можно перейти к следующей фазе исследования, которая включает поиск наиболее близких соответствий среди всего репозитория случаев пневмоторакса. Этот этап потребует разработки алгоритма сопоставления, предназначенного для выявления наиболее похожих случаев, открывая путь для прогностического моделирования.

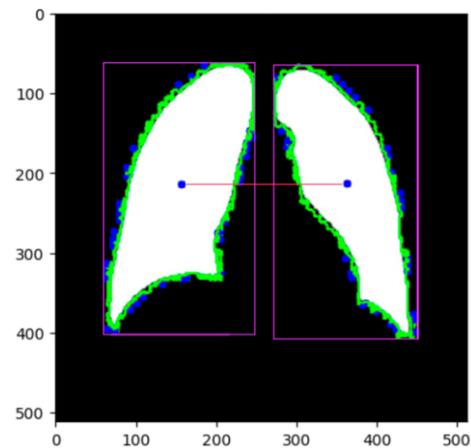


Рис. 2. Процесс масштабирования легочных масок



Рис. 3. Образцы легочных масок после масштабирования

IV. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОРАЖЕНИЯ ЛЕГКИХ

После того как маски прошли процесс масштабирования, они готовы к следующей ключевой фазе исследования: поиск соответствий и совпадений. Методология базируется на предположении, что алгоритм полностью полагается на существующие случаи и известные характеристики, тем самым

минимизируя возможность того, что маска пневмоторакса стремится к анатомически неправдоподобной области. Например, область поражения пневмоторакса вряд ли будет стремиться к центру легких игнорируя заполнение всей плевральной области. Учитывая характер набора данных, такие маловероятные сценарии природным образом исключаются. Следовательно, точность прогнозов зависит от разнообразия и обширности данных, при условии, что пациенты находятся в схожих условиях и имеют приблизительно одинаковое строение тела, и уровень физического развития. По сути, происходит формирование обучающей выборки.

Для учета анатомических особенностей индивида в подходе предлагается использовать центры легких, выявленные в процессе масштабирования. После этапа масштабирования анализ расширяется, сосредотачиваясь на построении градиентов вдоль всего контура легких. Такой подход позволяет учитывать различия в форме и структуре между пациентами. Пример такого градиента показан на рис. 4.

Использование градиентов обеспечивает детальный анализ анатомических особенностей каждого пациента, позволяя модели лучше адаптироваться к разнообразию форм легких. Этот контекстуализированный подход позволяет учитывать индивидуальные различия, сохраняя важные аспекты распределения воздушных полостей и повышая точность прогнозов. Такое дифференцированное обращение с данными отражает разнообразие анатомических вариаций между пациентами, что важно для достижения более точных результатов в прогнозировании распространения.

На следующем этапе подхода накладывается маска пневмоторакса непосредственно в маску градиентов, учитывающих контур легких. Это важный шаг, поскольку позволяет сохранить структурные детали, связанные с анатомическими особенностями легких, при анализе распространения пневмоторакса. Эта операция показана на рис. 5.

Перекрытие маски пневмоторакса на градиенты легких создает контекстуализированное представление, учитывающее как наличие воздушной полости, так и конкретную анатомию пациента. Запоминание этой маски, включая информацию о градиентах легких, будет являться основой для будущих шагов в анализе структур и динамики распространения пневмоторакса. Этот интегрированный подход позволяет учитывать важные параметры для более точного и индивидуализированного прогнозирования патологических изменений в легких.

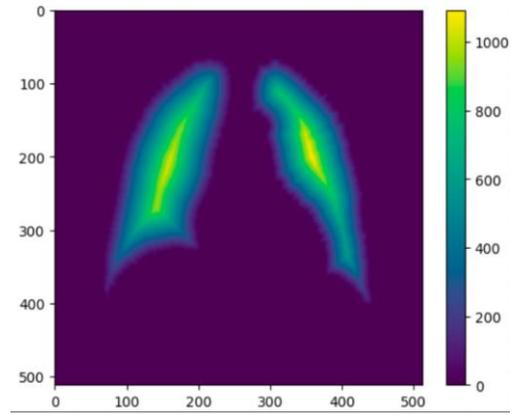


Рис. 4. Образец градиента легких

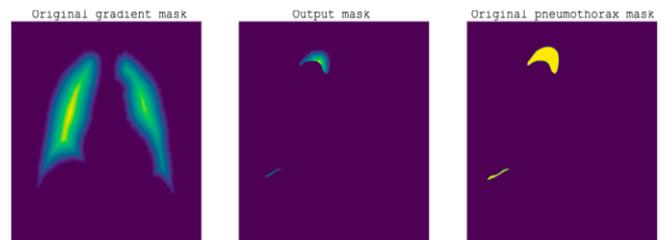


Рис. 5. Процесс наложения градиентного переноса

Этап прогнозирования начинается с выбора наборов масок пневмоторакса с соответствующими градиентами, которые сравнимы или чуть больше размера исследуемого образца. Важно исключить части наборов, которые не связаны с патологией в исследуемом образце, чтобы сохранить актуальность прогноза.

Например, если у пациента обнаружен пневмоторакс в левом легком, выбираются только те наборы, которые также содержат пневмоторакс в левом легком. В этом случае правые части легких исключаются, поскольку у пациента нет этой патологии в образце.

Выбранные наборы затем сортируются по возрастанию, чтобы определить наиболее похожие и актуальные варианты для дальнейшего анализа. Этот шаг позволяет сосредоточиться на наборах данных, наиболее близких по параметрам, а также построить порядок конструкции для прямого прогнозирования распространения. Важно отметить, что при построении распространения исследуемого образца, используется только значения градиентов масок, а не их абсолютные значения расположения пикселей. То есть, в процессе анализа, используя сохраненные градиенты и их расположение относительно центра легкого, которые учитывают структурные особенности исследуемого образца. Различия в расстоянии от центра легкого до краев маски градиента служат важными данными для точного позиционирования исследуемого образца относительно сравниваемых наборов.

Например, в выборке присутствуют два образца лёгких, отличающихся размерами по ширине. Если значение 1024 от центра легкого до края градиента равно 3 см, а для следующего образца в наборе это же значение ограничено 2 см, использование градиента позволяет учесть эту разницу. Так как край градиента, так и будет равен значению 1024, хотя без его учета, это значение будет стремиться к 683. Этот контекст дает нам возможность уточнить предполагаемую границу исследуемого образца, учитывая структурные особенности и различия в масштабе между наборами данных.

Очевидно, что градиенты служат ключевым инструментом для правильного выравнивания и учета структурных различий, что значительно повышает точность прогнозов и адаптирует модель к индивидуальным характеристикам каждого пациента.

В контексте прогностического моделирования распространения пневмоторакса в масках легких существует несколько методов для анимации или визуализации процесса прогнозирования. Можно просто переключать изображения, которые попали под сортировку и являются результатом прогноза распространения. Однако если набор был существенно мал, то такой подход будет давать не совсем глубокое представление о распространении. Переход между двумя масками, исходной и немного большей, может быть плавным процессом, при котором пиксели добавляются постепенно к каждой стороне маски пневмоторакса, пока не будет достигнут указанный предел. Это обеспечивает динамическое визуальное представление предсказанного расширения. Пример рассматриваемых масок показан на рис. 6. Для ясности использовано более маленькое расхождение размеров изображений, чтобы лучше описать процесс заполнения пикселей в процессе прогнозирования. Сам процесс пошаговой анимации показан на рис. 7.

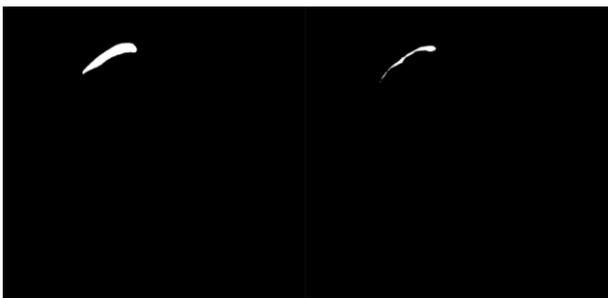


Рис. 6. Образцы подобранных масок пневмоторакса

Важно подчеркнуть важность однородности данных для обеспечения надежности прогностических моделей. Предположение о сходных условиях для пациентов является фундаментальным для точности прогнозов. Так как в контролируемой и стандартизированной среде разнообразие данных пациентов может быть эффективно управляемо.

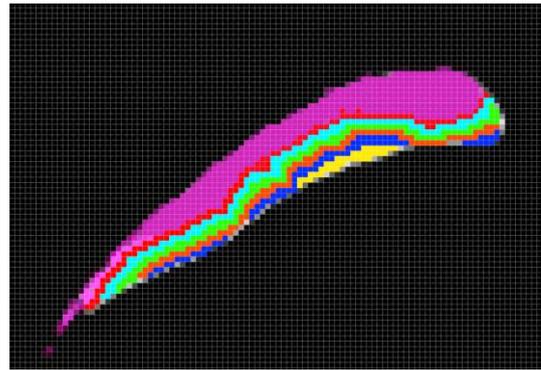


Рис. 7. Шаги по заполнению маски до следующего экземпляра состояния поражения

Предсказательная сила подхода заключается в его основе на данных, направляемых уникальными характеристиками масштабированных и сопоставленных масок. Используя существующие случаи и установленные закономерности, появляется возможность предоставить более точные сведения о местоположении и степени развития пневмоторакса, что является ценным вкладом для диагностики и клинического управления за этим состоянием.

Благодаря этому методичному подходу, основанному на обучающих данных, исследования направлены на то, чтобы внести свой вклад в улучшение диагностики и прогнозирования пневмоторакса в контексте здравоохранения, где разнообразие обучающих данных, масштабирование, сопоставление и прогностическое моделирование объединяются для получения более точных и эффективных результатов.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует отметить, что предлагаемая методология прогнозирования пневмоторакса, основанная на систематическом сравнении легочных масок и масок пневмоторакса, открывает перспективные возможности для повышения точности диагностических прогнозов в целом. В исследованиях используется методичный подход к масштабированию, сопоставлению и анимации прогнозов, демонстрируя потенциальное распространение пневмоторакса в полости легких.

Предварительные результаты свидетельствуют о том, что эта методология может стать ценным инструментом в диагностике и прогнозировании пневмоторакса, предлагая информацию, которая может помочь в принятии клинических решений. Опираясь на существующие данные и установленные закономерности, исследования стремятся повысить точность прогнозирования распространенности пневмоторакса, что в конечном итоге улучшит уход за пациентами и их ведение.

Будущие исследования в этой области будут сосредоточены на разработке архитектур машинного обучения, способных автономно генерировать прогнозные модели. Эти модели будут играть ключевую роль в составлении точных прогнозов в режиме реального времени при диагностике пневмоторакса. Используя возможности передовых алгоритмов машинного обучения, предполагается повысить точность

и эффективность предиктивного моделирования в клинических контекстах, что в конечном итоге улучшит уход за пациентами и результаты лечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Aranguren J. Tejero et al. "Endobronchial treatment of persistent pneumothorax in acute respiratory distress syndrome." *Medicina intensiva*, том 43, №8, 2019: 516. [Электронный ресурс] URL: <https://doi.org/10.1016/j.medin.2019.01.005>.
- [2] DeMaio A., & Semaan R. Management of Pneumothorax. *Clin Chest Med*. Декабрь 2021; 42(4): 729-738. [Электронный ресурс] URL: <https://doi.org/10.1016/j.ccm.2021.08.008>.
- [3] Wang Yu-Shuen, Chiew-Lan Tai, Olga Sorkine-Hornung и Tong-Yee Lee. "Optimized scale-and-stretch for image resizing." *ACM Transactions on Graphics*, том 27, выпуск 5, статья № 118, стр. 1–8. [Электронный ресурс] URL: <https://doi.org/10.1145/1409060.1409071>.
- [4] Talebi H., & Milanfar P. Learning to resize images for computer vision tasks. *Proceedings of the IEEE, CVF international conference on computer vision*, 2021, стр. 497-506. [Электронный ресурс] URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2103.09950>.
- [5] Yang Y. et al. Deconvolution-and-convolution networks. *arXiv preprint*, 2021, 13 стр. [Электронный ресурс] URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2103.11887>.