

Улучшение оказания неотложной медицинской помощи пациентам с пневмотораксом: совершенствование стратегий оказания экстренной помощи в условиях чрезвычайных ситуаций

Г. О. Бондаренко

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

Olakola9@gmail.com

А. С. Сырых

Национальный исследовательский университет
(ИТМО)

Alyoshca.syryh@mail.ru

Аннотация. Развитие технологии компьютерного зрения произвело революцию в медицинской диагностике, предложив решения критических проблем здравоохранения. Одной из этих проблем является эффективный уход и ведение пациентов с пневмотораксом, неотложной медицинской помощью, характеризующейся скоплением воздуха в плевральной полости. В чрезвычайных ситуациях и стихийных бедствиях своевременное и точное выявление пневмоторакса имеет решающее значение, так как задержки в диагностике могут привести к тяжелым последствиям. Данное исследование посвящено тонкостям совершенствования анализа медицинских изображений для оказания неотложной помощи, уделяя особое внимание не только технологическим инновациям, но и потенциальному влиянию на результаты лечения пациентов. Исследование способствует развитию методологий компьютерного зрения в стремлении усовершенствовать методы экстренной диагностики, тем самым повышая стандарт качества оказания помощи пациентам с пневмотораксом в сложных обстоятельствах. Кроме того, исследование выходит за рамки выявления и сегментации пневмоторакса и подчеркивает необходимость комплексной оценки патологий легких. Это включает в себя не только обнаружение, но и количественную оценку степени повреждения легких, предоставляя медицинским работникам инструмент для более точной диагностики.

Ключевые слова: компьютерное зрение; количественная оценка; оценка патологии легких

I. ВВЕДЕНИЕ

Непрерывное развитие технологий компьютерного зрения не только изменило ландшафт медицинской диагностики, но и стало важным союзником в решении важнейших проблем здравоохранения [1, 2]. Одна из таких проблем заключается в эффективном уходе и ведении пациентов, страдающих пневмотораксом, неотложной медицинской помощью, характеризующейся присутствием воздуха в плевральной полости. В чрезвычайных ситуациях и сценариях стихийных бедствий быстрое и точное

выявление пневмоторакса становится первостепенным, так как задержки в диагностике могут иметь серьезные последствия.

Это исследование не только вносит вклад в эволюцию методологий компьютерного зрения и искусственного интеллекта, но и направлено на совершенствование методов оценки состояний, используемых в чрезвычайных ситуациях, в конечном итоге повышая стандарты оказания помощи пациентам, страдающим пневмотораксом в сложных и кризисных ситуациях.

Кроме того, исследование выходит за рамки выявления пневмоторакса и сегментации. В нем подчеркивается необходимость комплексной оценки патологий легких, охватывающей не только выявление, но и количественную оценку, и оценку степени повреждения легких. Такой целостный анализ предоставит медицинским работникам более детальный и точный диагностический инструмент.

Имея такую комплексную оценку поражения легких, системы здравоохранения могли бы более эффективно распределять ресурсы, гарантируя, что пациенты с более обширным поражением легких получают более быстрое и эффективное лечение.

В свете недавнего опыта существуют случаи, такие как чрезвычайные ситуации или стихийные бедствия, когда традиционные методы диагностики могут оказаться неосуществимыми или неэффективными. Например, в случае происшествия с большим количеством жертв или стихийного бедствия медицинские работники могут столкнуться с непосильной нагрузкой на пациентов, что делает нецелесообразным полагаться исключительно на ручные методы оценки, такие как, например, перкуссия, которая включает постукивание по грудной клетке для оценки основных структур на наличие воздуха в плевральной полости.

В таких сценариях потребность в быстрой и автоматизированной оценке становится решающей. Методологии компьютерного зрения предлагают многообещающее решение, обеспечивая быстрый и точный анализ медицинских изображений, таких как рентген грудной клетки или компьютерная томография, даже в условиях высокого стресса, где традиционные диагностические инструменты могут быть недоступны или непрактичны, а большинство медицинского персонала занято.

К сожалению, на сегодняшний день стратегия предоставления помощи больным в экстренных ситуациях предполагает живую очередь, где специалисты предоставляют свою помощь в ограниченное время, изучая сырые данные. Несмотря на эффективность искусственного интеллекта и машинного обучения, такие методы, чаще всего, используются в обычных приемах. В следствии этого рождается потребность для создания моделей и алгоритмов искусственного интеллекта заточенных исключительно под такие сценарии, которые включают в себя комплексную оценку обеспечивая выигрыш времени для пациента и врача.

Данное исследование направлено не только на решение проблем, связанных с анализом медицинских изображений, но и на создание основы для дальнейшего изучения и расширения его возможностей в медицинской сфере. В следствии собранных данных из медицинских учреждений, которые подвергались такому режиму работы установлено, что каждая стратегия помощи пациенту, требует комплексной оценки состояния. Так как такая оценка позволяет выиграть время за счёт более полного представления о состоянии пациента, будь он в современной больнице, или лечебном учреждении с недостаточным набором персонала или медицинских приборов.

II. ОБНАРУЖЕНИЕ И СЕГМЕНТАЦИЯ

Перед сегментации экземпляров пневмоторакса, требуется обратиться к более простой задаче – сегментации легких на рентгеновском снимке.

В контексте анализа изображений легких одной из основных задач является сегментация самих легких. Эта задача, хотя и является фундаментальной, отличается тем, что она не требует предварительного обнаружения объекта. Сегментация легких может быть проведена напрямую, без необходимости предварительной идентификации их как объектов на изображении.

Причина этого заключается в характеристиках, присущих структурам легких на медицинских изображениях, особенно на рентгенограммах грудной клетки и компьютерной томографии. Легкие, как правило, имеют четкую плотность и форму, которые отличают их от окружающих анатомических структур, таких как ребра, сердце и диафрагма. Эти отличительные черты ярко выражены и последовательны, что упрощает процесс сегментации.

Кроме того, необходимость сегментации легких обычно связана с необходимостью последующей оценки и количественной оценки патологий легких, таких как пневмоторакс или пневмония. Эти оценки часто основываются на понимании нормальной структуры легких для определения областей отклонений или аномалий.

Независимо сегментируя легкие, создается область интереса (ОИ), адаптированную к конкретным характеристикам легочной ткани. Этот сегментированная ОИ служит основой для последующих анализов и облегчает точную оценку патологий, поражающих легкие. Таким образом, простота сегментации легких, обусловленная отличительными особенностями структур легких на медицинских изображениях, делает ее ключевым и простым шагом в общем процессе анализа, особенно когда речь идет о последующих оценках патологий легких [3, 4].

После сегментации легких задача состоит в том, чтобы обнаружить и сегментировать пневмоторакс внутри самих легких.

Несмотря на то, что сегментация пневмоторакса представляет собой важнейшую отправную точку, существуют сценарии, в которых использование объектной сегментации становится необходимым в контексте оценки патологии легких. Эта необходимость проистекает из специфических дефектов, присущего сегментационным подходам, особенно в верхних отделах легких. Пример такого дефекта показан на рис. 1, где первое изображение является исходной маской, а второе изображением, предсказанным UNET.

Одной из проблем при анализе визуализации легких, особенно при использовании моделей сегментации, таких как UNET, является их потенциальная слабость в дифференциации между соседними структурами. Эта уязвимость становится особенно очевидной в верхних отделах легких, где легочная ткань и наличие таких патологий, как пневмоторакс, могут тесно примыкать друг к другу.

Неопределенность, присущая таким областям, может привести к сценарию, в котором модель сегментации, не способная идентифицировать объект с абсолютной точностью, а также ошибочно включать пневмоторакс в соседнюю здоровую легочную ткань. Результирующая сегментация, в таком случае, может не точно отражать истинную степень патологии.

В таких случаях предварительное обнаружение служит важнейшей мерой безопасности. Сначала определяем потенциальное присутствие пневмоторакса с помощью методов обнаружения объектов, устанавливается критическая граница. Эта граница очерчивает области, требующие более детальной сегментации и анализа, тем самым помогая точно локализовать и количественно оценить патологии легких.

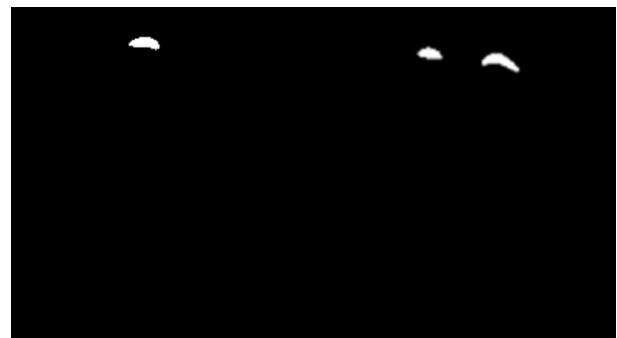


Рис. 1. Дефект сегментации пневмоторакса по UNET

Комбинация обнаружения и последующей сегментации решает проблемы, присущие сегментированию смежных структур, и обеспечивает всестороннюю и точную оценку патологий легких, в том числе их точного расположения в легочной ткани [5]. Этот интегрированный подход использует сильные стороны как обнаружения, так и сегментации, обеспечивая более надежный анализ изображений легких. Этот метод эффективно смягчает артефакт и повышает точность анализа. Результаты этой операции представлены на рис. 2.

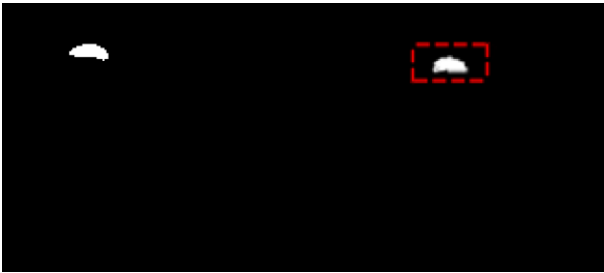


Рис. 2. Сегментация экземпляра пневмоторакса и устранение дефектов

Благодаря предложенному подходу удалось увеличить вероятность точного распознавания сегментированного участка с 88 % до 93 %, в сравнении с традиционной методикой, использующей архитектуру UNET++. Важно отметить, что хотя Mask R-CNN долгое время считалась классической архитектурой для объектной сегментации, на данный момент она уже устарела и не получает поддержку. Тем не менее, современные архитектуры позволяют достичь еще более высоких показателей точности и эффективности в задачах сегментации объектов. Эти современные архитектуры обычно основаны на глубоком обучении и включают в себя инновационные методы. Таким образом, применение современных архитектур позволяет получить более точные и устойчивые результаты в задачах сегментации объектов, чем устаревшие методы

III. ПИКСЕЛЬНАЯ КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПОРАЖЕНИЯ ЛЕГКИХ

Этот этап оценки поражения легких включает в себя тщательное сравнение пиксельных данных в области, где был обнаружен пневмоторакс, и пикселей, представляющих нормальную легочную ткань.

Первоначально следует очертить границу пневмоторакса, обозначая область, где произошло обнаружение. В пределах этой границы происходит идентификация и анализ пикселей, представляющих пневмоторакс. Затем исследуется соотношение пикселей пневмоторакса в сегментированной области легкого.

В результате этого процесса получаем комплексное изображение поражения легких. Проводится углубленный анализ распределения пикселей в области легких суммируя количество пикселей, которые классифицированы как пневмоторакс. Количественная оценка основана на расчете исследуемой площади и оценке того, как распределение пикселей пневмоторакса коррелирует с общей площадью легкого. Этот подробный анализ в значительной степени способствует

способности точно определять природу, степень и распределение поражений легких. Результат этого анализа показан на рис. 3.

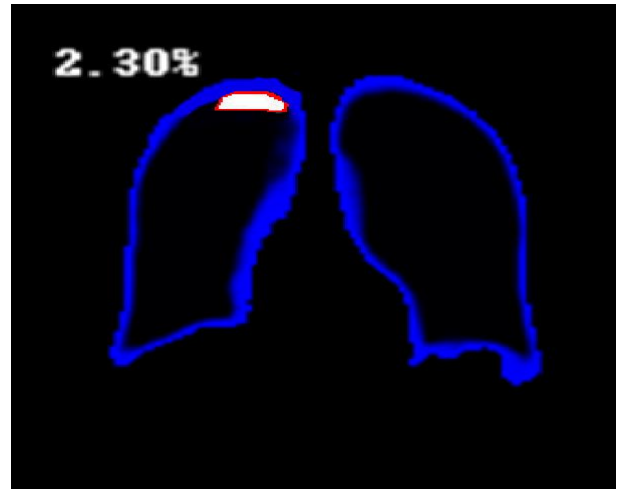


Рис. 3. Совокупный результат анализа

IV. ДИНАМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Современные технологии и инновационные методы медицинского мониторинга трансформируют уход за пациентами с пневмотораксом, особенно в условиях, когда ресурсы ограничены, а доступ к медицинской помощи ограничен. В таких ситуациях, динамический мониторинг становится неотъемлемой частью улучшения медицинской помощи.

В настоящее время наиболее доступным и безопасным способом проведения легочного динамического мониторинга пациента является электроимпедансная томография (ЭИТ).

Одним из основных преимуществ ЭИТ является его безопасность и отсутствие использования ионизирующего излучения, что делает его предпочтительным методом по сравнению с традиционной рентгенографией. Благодаря этому ЭИТ можно использовать для частых и динамических контрольных измерений без риска для здоровья пациента.

Этот метод также обладает способностью обнаруживать изменения в распределении воздуха на ранней стадии, что позволяет быстро реагировать на потенциальные осложнения и предупреждать о прогрессировании пневмоторакса. Таким образом, электроимпедансная томография является перспективным инструментом для улучшения динамического мониторинга пациентов с пневмотораксом, предоставляя точную и оперативную информацию о состоянии их легких.

На сегодняшний день существует ограниченная доступность подробных и крупномасштабных наборов данных, необходимых для эффективного обучения машинных моделей для динамического мониторинга пациентов с пневмотораксом. Отсутствие таких данных затрудняет создание высокоточных алгоритмов, способных прогнозировать и реагировать на изменения состояния пациента с высокой степенью достоверности.

В связи с этим, при отсутствии универсального датасета, мониторинг насыщения крови кислородом может служить альтернативным индикатором ухудшения состояния пациента. Снижение сатурации может свидетельствовать о возможной дыхательной дисфункции и требовать немедленного вмешательства. Этот параметр, легко измеряемый и широко используемый в клинической практике, может быть дополнительным показателем для динамического наблюдения за пациентами с пневмотораксом.

При ухудшении сатурации кислорода или выявлении отклонений от нормы в следствии динамического мониторинга врач должен немедленно отреагировать, приняв экстренные меры для предотвращения возможных осложнений пневмоторакса.

Однако, алгоритм ведения пациентов с пневмотораксом выявляет существенную проблему – отсутствие специфических ориентиров для врача при экстренном вмешательстве. Это может привести к задержкам в лечении, так как врачу нужны четкие указания о принятии решений. Например, при дренировании. Особенно важной, это проблема становится именно тогда, когда провести процедуру становится невозможно, из-за большой загруженности реанимации. Именно по этой причине в некоторых случаях пациенты остаются без надлежащего вмешательства до тех пор, пока не появятся другие специалисты или медицинское оборудование. В условиях, когда ожидание может иметь решающее значение для жизни пациента, существует острая необходимость в разработке дополнительных инструментов оценки состояния пациентов.

В дальнейших исследованиях планируется разработать карту, предоставляющую информацию о предполагаемом распространении пневмоторакса в легких. Это позволит врачу осуществлять процедуру дренирования на основе четких данных и точно определить место установки дренажа. Такая карта станет ключевым ориентиром для врачей в ситуациях, когда дорог каждый момент, а недоступность других специалистов или оборудования требует немедленных действий. Внедрение такой карты в медицинскую практику позволит повысить эффективность и скорость медицинского вмешательства, обеспечив пациентам лучшие шансы на выживание, особенно в тех случаях, когда их состояние крайне тяжелое.

V. РЕЗУЛЬТАТЫ

Применение методологии, изложенной в данном исследовании, дало многообещающие результаты в анализе патологий легких. Благодаря сочетанию обнаружения объектов и точной сегментации система эффективно локализует и количественно оценивает поражение пневмоторакса. И, что не менее важно, делает это автономно.

Этот подход продемонстрировал повышение точности в идентификации пневмоторакса на медицинских изображениях. Объектная сегментация смягчила потенциальные ошибки, вызванные несовершенством устаревших архитектур.

Оценив распределение пикселей в сегментированной области легкого, успешно оценена количественная

степень поражения пневмотораксом. Эта количественная оценка не только идентифицирует пораженную и здоровую легочную ткань, но и демонстрирует наглядно представление о тяжести состояния.

Подход, подробно описанный в данном исследовании, обеспечивает комплексное и эффективное средство обнаружения, количественной оценки и локализации пневмоторакса на изображениях легких. В испытании исследуемой системы отмечено, что такой подход дает более глубокое представление о состоянии больного, при значительном выигрыше во времени.

Кроме того, потенциал для улучшения планирования вмешательств видится в разработке карты распространения пневмоторакса. Алгоритм, который даст четкие указания о местонахождении возможного пневмоторакса, поможет врачам быстро и эффективно принимать оперативные решения, что важно в сценариях, где традиционные методы неэффективны в следствии тяжести ситуации.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение, представленная в данном исследовании методология комплексного анализа патологий легких, представляет собой современное и эффективное решение. Комбинированный подход к обнаружению и сегментации объектов демонстрирует точность, скорость и показательность. Результирующие изображения дают более глубокое представление о состоянии пациента.

Внедрение передовых методов динамического мониторинга, таких как ЭИТ, и разработка дополнительных инструментов, таких как карты распространения пневмоторакса, являются многообещающими шагами в улучшении ухода за пациентами с этими состояниями.

Подход, основанный на точной диагностике, быстром реагировании и планировании вмешательства, может значительно повысить вероятность успешного лечения и выживания пациентов. Эти улучшения, внедренные в медицинскую практику, способствуют повышению качества медицинской помощи, особенно в условиях ограниченных ресурсов и неотложной помощи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Terven G.D. & Cordova-Esparza D. Comprehensive Review of YOLO: From YOLOv1 and Beyond, [Электронный ресурс], arXiv 2023, URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.00501>.
- [2] Ronneberger O., Fischer P., & Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. [Электронный ресурс], arXiv 2015 URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1505.04597>.
- [3] Sharma R., Rabi S., Sakib M., Lin K., & Blumenstein M. Survey on Object Instance Segmentation. SN Informatics, 3. [Электронный ресурс], Springer link, 2022, URL: <https://doi.org/10.1007/s42979-022-01407-3>.
- [4] Carion N., Massa F., Sinnecker G., Uzunov N., Kirillov A., & Zagoruyko S. Object Detection with Transformers. [Электронный ресурс], Springer link, 2020, URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-58452-8_13.
- [5] Zhufen R., Zhang J., Tian J., Shen C., Yu M., & Yan Y. Encoding Masks for Single Shot Instance Segmentation, [Электронный ресурс], arXiv 2023, URL: <https://arxiv.org/abs/2003.11712>.