

долговечности и способности выдерживать циклические нагрузки.

Приемные гильзы – это наиболее успешное применение 3D-печати в данной области. Индивидуально спроектированные и напечатанные гильзы обеспечивают оптимальное распределение давления, что предотвращает развитие потер-тостей, мацераций кожи и других осложнений. 3D-печать позволяет создавать сложные геометрические структуры (решетчатые или сотовые заполнения), которые обеспечивают требуемую жесткость и прочность при значительном снижении массы протеза по сравнению со сплошными конструкциями из традиционных материалов.

Хотя основные силовые компоненты (пиромиды, коленные модули, стопы) все еще производятся классическими методами из углеводородного волокна и титана, ведутся активные исследования по 3D-печати из металлических сплавов (сплавы титана, алюминия) для создания нестандартных или экспериментальных дизайнов.

Несмотря на впечатляющие преимущества аддитивных технологий, а именно 3D протезирование верхних и нижних конечностей, их повсеместное внедрение в клиническую практику протезирования сдерживается рядом существенных технологических и регуляторных вызовов.

Ключевой проблемой остается то, что прочностные характеристики и усталостная выносливость большинства 3D-печатных полимеров (таких как PLA, ABS, нейлон) объективно уступают свойствам традиционных композитных материалов, используемых в протезировании, например, углеводородному волокну или высокопрочным смолам. Это связано с анизотропией и наличием микродефектов структуры, возникающих на границах между слоями во время 3D-печати. В результате, для высоконагруженных протезов нижних конечностей или активных тяговых протезов рук долговременная надежность напечатанных компонентов все еще вызывает вопросы и требует дальнейших исследований в области материаловедения, включая разработку армированных композитных филаментов.

Литература

1. Вересовский, С. А. Применение 3D-печати в протезировании конечностей / С. А. Вересовский // Вестник науки и образования. – 2018. – № 2. – С. 25–28.
2. Голуб, И. В. Использование 3D-принтинга в протезировании / И. В. Голуб, А. В. Лебедев // Биомедицинская инженерия и электроника. – 2017. – № 4. – С. 6.
3. Бионический протез кисти руки: пат. 176303 РФ, МПК А61F 2/54 / С. А. Муравьев; опубл. 16.01.2018.

УДК: 615.47:616-072.7

ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ БИМЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ЛЕГОЧНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ ОСНОВАННЫЙ НА СВЕРТОЧНЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

Магруппов Т. М.¹, Ахмаджонов Р. Р.¹, Носиров М. У.¹, Раджабов А. Г.²

¹Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан

²Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. В статье приведены результаты исследования методологических и алгоритмических основ обработки и анализа биомедицинских изображений легочных заболеваний. Разработаны методы, алгоритмы обучения и архитектура сверточных нейронных сетей для классификации изображений легких. Сформирована база биомедицинских изображений легочных заболеваний с последующей их обработкой. Предложен способ оцифровки изображений и клинических данных, чтобы получить данные для моделей в форме, удобной и готовой для анализа. Предложенные алгоритмы основаны на сверточных нейронных сетях, и обеспечивают автоматически извлекать и анализировать ключевые признаки на изображениях.

Ключевые слова: модель нейронной сети, обработка и анализ изображений, классификация заболеваний легких, обучение и оценка модели.

PROCESSING AND ANALYSIS OF BIOMEDICAL IMAGES IN PULMONARY DISEASES BASED ON CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

Magrupov T. M.¹, Ahmadjonov R. R.¹, Nosirov M. U.¹, Radjabov A. G.²

¹Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

²United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. The article investigates the methodological and algorithmic foundations of processing and analyzing biomedical images of pulmonary diseases. Methods, training algorithms, and architecture of convolutional neural networks for classifying lung images are developed. A database of biomedical images of pulmonary diseases is formed with their subsequent processing. A method for digitizing images and clinical data is proposed to obtain data for models in a form convenient and ready for analysis. The proposed algorithms provide automatic extraction and analysis of key features in images.

Keywords: neural network model, image processing and analysis, lung disease classification, model training and evaluation.

Адрес для переписки: Магруппов Т. М., Университетская улица 2, г. Ташкент, Республика Узбекистан
e-mail: talatmi@rambler.ru

В последнее годы заболевания легких занимают одно из ведущих мест в статистике потерь трудоспособности во всех странах мира. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), легочные или респираторные заболевания по-прежнему являются одной из самых распространенных причин смерти во всем мире [1–3]. По оценкам ВОЗ, более 3 миллионов человек ежегодно умирают от различных легочных заболеваний.

Легочные заболевания могут вызывать различные проблемы для здоровья человека, их раннее выявление, диагностика и лечение очень важны. Поэтому методы выявления заболеваний легких по изображениям должны быть реализованы с использованием высокоточных моделей [4–8]. Нейронные сети и особенно технологии глубокого обучения открывают новые возможности для диагностики и прогнозирования легочных заболеваний на основе обработки и анализа биомедицинских изображений легких.

Целью исследования является разработка модели сверточных нейронных сетей для анализа, обработки и классификации биомедицинских изображений легких для определения типа заболеваний.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи исследования: формирование базы данных, предварительная обработка изображений, перевод данных в цифровой вид, проектирование архитектуры модели сверточной нейронной сети для классификации, обучение модели, оценка модели.

Материалы и методы. Исследована структура нейронной сети для классификации заболеваний легких на основе сверточных нейронных сетей (CNN). Определены архитектурные слои, их роли, а также процесс обучения и оценки модели. Поэтапно показано, как модель обнаруживает заболевания легких. Эффективное их решение позволили улучшить качество данных и сохранить высокий уровень точности модели.

На рисунке 1 представлены алгоритм процесса квалификации биомедицинских изображений легких и предложена последовательность решения задач.

Формирование базы данных. Процесс сбора данных имеет решающее значение для успешной классификации изображений легких с помощью искусственного интеллекта. В работе проводится обучение модели нейронных сетей на основе изображений, полученных с помощью мультиспиральной компьютерной томографии (MSKT) в формате DICOM, для выявления заболеваний легких.

При этом основное внимание уделено на: анонимность и конфиденциальность данных; преобразованию формата DICOM в другие форматы; интеграции с метаданными; устранению искажения данных; переобозначению и балансировке; размеру и структуре данных; способам расширения базы данных.



Рисунок 1 – Алгоритм процесса квалификации биомедицинских изображений легких

Предварительная обработка изображений обеспечивает максимальную эффективность процесса обучения модели. Собранные изображения MSKT были обработаны, прежде чем их можно будет использовать непосредственно для моделей.

Перевод данных в цифровой вид. После предварительной обработки изображений следующим шагом будет их преобразование в цифровые представления. Основная цель – обеспечить преобразование данных в читаемый и обрабатываемый вид для цифрового представления модели: преобразование изображений в цифровой массив; преобразование данных в тензорное представление; нормализация данных; цифровизация клинических данных в цифровой формат; организация набора данных; хранение и загрузка данных.

Проектирование архитектуры модели сверточной нейронной сети для классификации особенно эффективна для классификации изображений, поскольку она может изучать сложные характеристики изображений и делать на их основе точные выводы благодаря своей многоуровневой структуре.

Базовая структура CNN состоит из нескольких слоев, каждый слой выполняет определенную функцию: ввод, свертка, объединение в пул, сглаживание, полное соединение, вывод. Основным компонентом CNN является сверточный слой, который выполняет свертки по изображению, выделяя важные признаки, такие как края, текстуры и узоры, которые могут быть связаны с патологией.

Обучение модели. Для выявления типа заболеваний легких произведено обучение модели на основе изображений, полученных с помощью MSKT. При этом данные разделены на обучающую и тестовую выборки с помощью `train_test_split`, а обучение модели осуществлено данными обучения.

Оценка модели. После обучения модели оценена ее эффективность по тестовым данным. На этом этапе модель демонстрирует свою способность правильно классифицировать заболевания легких на основе данных испытаний. При этом модель проверен на реальных данных в клинических и практических испытаниях.

Заключение. Проанализированы изображения легких, полученные с помощью мультиспиральной компьютерной томографии при фиброзе.

и пневмонии. Разработана архитектура сверточных нейронных сетей для анализа, обработки и классификации легочных заболеваний. Предложены алгоритмы проектирования, обучения и оценки модели CNN для обнаружения заболеваний легких с использованием библиотек Keras и TensorFlow.

Литература

1. Levitan, R. The Importance of Lung Sound Analysis in Medical Diagnosis / R. Levitan, J. Stephen // *Journal of Pulmonary Medicine*. – 2020. – № 5. – P. 345–357.
2. Wang, Y. Deep Learning Applications in Medical Diagnosis: A Comprehensive Review / Y. Wang, X. Chen // *International Journal of Medical Informatics*. – 2019. – Vol. 112. – P. 66–77.
3. Lee, K. S. Neural Networks for Automated Respiratory Sound Analysis / K. S. Lee // *Biom. Signal Processing and Control*. – 2019. – Vol. 51. – P. 79–85.

4. Singh, P. Challenges in Respiratory Sound Data Collection for Disease Classification / P. Singh, A. Kumar // *Respiratory Medicine and Research*. – 2021. – № 2. – P. 103–110.

5. Ghorbani, M. Assessment of Acoustic Features in Respiratory Sound Analysis / M. Ghorbani, H. M. Amir // *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. – 2020. – Vol. 67, № 9. – P. 2895–2903.

6. He, Q.-H. An improved lung sound de-noising method by wavelet packet transform with PSO-based threshold selection / Q.-H. He [et al.] // *Intelligent Automation & Soft Computing*. – 2018. – Vol. 24, № 2. – P. 223–230.

7. Magrupov, T. M. Formation of a database of lung disease sound signals / T. M. Magrupov, R. M. Nazirov, I. N. Abdullaev // *Science and Innovation. International Scientific Journal*. – 2024. – Vol. 3, № 9. – P. 90–95.

8. Магруппов, Т. М. Алгоритмическая и программная реализация технологии классификации биомедицинских изображений легочных / Т. М. Магруппов [и др.] // *Медицинская техника*. – 2025. – № 2. – С. 18–22.

УДК 681

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КРИМПЛИРОВАНИЯ РЕНТГЕНОКОНТРАСТНЫХ МАРКЕРОВ ВО ВНУТРИСОСУДИСТЫЕ ИМПЛАНТАТЫ

Розов Д. В.¹, Бодяк Д. А.¹, Минченя В. Т.¹, Савченко А. Л.²

¹РИУП «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

²Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Аннотация. В статье рассмотрена автоматизированная система для установки рентгеноконтрастных маркеров в каркасы внутрисосудистых имплантатов, устраняющая недостатки ручного метода и снижающая риск брака. Система включает модуль точного позиционирования, кинематический модуль с тензорезистивным контролем усилия (0–200 Н, дискретность 1 Н) и управляющий контроллер с автоматическим и ручным режимами. Конструкция обеспечивает универсальность, надежную фиксацию имплантатов и безопасность оператора. Программное обеспечение позволяет адаптировать процесс под различные типы маркеров, повышая качество, эффективность и надежность производства медицинских изделий.

Ключевые слова: внутрисосудистые имплантаты, рентгеноконтрастные маркеры, автоматизация, нитиновые стенты, кримпирование.

AUTOMATED SYSTEM FOR CRIMPING RADIOCONTRAST MARKERS INTO INTRAVASCULAR IMPLANTS

Rozov D. V.¹, Bodyak D. A.¹, Minchenya V. T.¹, Savchenko A. L.²

¹State enterprise “Science and technology park of BNTU «Polytechnic»”

Belarussian National Technical University

Minsk, Belarus

Abstract. This article discusses an automated system for installing radiopaque markers into intravascular implant frames, eliminating the drawbacks of the manual method and reducing the risk of defects. The system includes a precision positioning module, a kinematic module with strain gauge force control (0–200 N, 1 N resolution), and a controller with automatic and manual modes. The design ensures versatility, secure implant fixation, and operator safety. The software allows for process adaptation to various marker types, improving the quality, efficiency, and reliability of medical device production.

Keywords: intravascular implants, radiopaque markers, automation, nitinol stents, crimping.

Адрес для переписки: Розов Д. В., ул. Сурганова, 37/1, к. 208, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: rozovdima.2004@mail.ru

Введение. Одной из основных проблем, возникающих при производстве внутрисосудистых имплантатов, является установка в каркасы нитиновых стентов рентгеноконтрастных маркеров. При ручном способе отсутствуют методы контроля качества запрессовки маркеров, ввиду чего

возрастает вероятность брака. При недостаточном усилии маркеры будут иметь недостаточную деформацию, вследствие чего могут выпасть из каркаса стента в процессе эксплуатации. В случае избыточного усилия возникает вероятность нанести ущерб имплантату, что приведет его к негодности. Для решения данной проблемы была