

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ДЫХАНИЯ

Жуковский Н.Е.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ревинская И.И – ст. преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. В работе рассматривается разработка веб-приложения для автоматизированной функциональной диагностики дыхания на основе бесконтактного анализа видеопотока. Исследование выполнено путем проектирования и реализации клиент-серверной архитектуры, включающей модули аутентификации, управления пациентами, работы с видеофайлами и анализа дыхательных движений. Анализ проведен на основе применения алгоритмов компьютерного зрения и методов цифровой обработки сигналов для выделения паттернов дыхания. Предложенный подход позволяет визуализировать процесс дыхания и на основе полученных данных движений грудной клетки оценить временные характеристики дыхания и косвенно определить дыхательные объемы.

Ключевые слова: функциональная диагностика дыхания, визуализация дыхания, веб-приложение, компьютерное зрение, анализ видеопотока, клиент-серверная архитектура, FastAPI, цифровая обработка сигналов.

Введение. Функция внешнего дыхания служит важнейшим индикатором состояния дыхательной системы человека. Распространенность респираторных заболеваний, таких как бронхиальная астма и ХОБЛ, требует не только точной первичной диагностики, но и постоянного динамического наблюдения [1]. Традиционные методы, такие как спирометрия, несмотря на свою надежность, требуют дорогостоящего оборудования и активного участия пациента, что ограничивает их применение для массовых скрининговых исследований [2]. В настоящее время актуальными и перспективными являются методы, основанные на бесконтактном анализе дыхательных движений грудной клетки [3].

Целью работы являлась разработка веб-приложения для визуализации процесса дыхания на основе бесконтактного анализа видеопотока с камеры. Приложение является кроссплатформенным, что позволяет работать с ним из любого современного браузера без установки дополнительного ПО.

Основная часть. В рамках исследования была спроектирована трехуровневая архитектура системы «клиент-сервер». Серверная часть реализована на асинхронном фреймворке *FastAPI (Python)* с использованием *JWT*-аутентификации для разграничения прав доступа врачей [4]. Выбор *FastAPI* обусловлен его высокой производительностью, наличием автоматической генерации документации и встроенной поддержкой асинхронных операций, что критически важно для задач обработки видеоданных.

Для хранения медицинских данных и метаданных видеофайлов используется *PostgreSQL* – реляционная система управления базами данных, соответствующая принципам *ACID*, что гарантирует целостность медицинской информации [5]. Архитектура базы данных включает три основные таблицы: *users* (учетные данные врачей), *patients* (характеристики пациентов) и *patient_videos* (метаданные видеофайлов). Для хранения видеофайлов используется гибридный подход: метаданные хранятся в *PostgreSQL*, а сами файлы сохраняются в файловой системе сервера в иерархической структуре папок.

Система безопасности реализована как многоуровневая архитектура, включающая аутентификацию по *JWT*-токенам (с разделением на *access* и *refresh* токены), валидацию загружаемых файлов по типу контента и размеру (максимум 500 МБ), проверку прав доступа для каждого запроса [6]. Все операции включают проверку принадлежности текущему авторизованному врачу, что предотвращает несанкционированный доступ к медицинским данным.

Модуль управления пациентами реализует полный *CRUD*-функционал для работы с медицинскими картами. Врач может создавать новые карты пациентов с указанием персональных данных (имя, фамилия, возраст, пол), антропометрических показателей (рост, вес) и информации о курении. Система автоматически рассчитывает индекс массы тела (ИМТ) на основе введенных данных. Интерфейс отображает список пациентов в виде карточек с основной информацией и предоставляет поиск для быстрого доступа к нужной карте.

Клиентская часть разработана на нативном *JavaScript*, *HTML5* и *CSS3*, что минимизирует требования к ресурсам. Интерфейс предоставляет врачам инструменты для аутентификации, управления картотекой пациентов, загрузки видеофайлов с записью дыхательных движений и просмотра результатов анализа.

Основу аналитического ядра системы составляет алгоритм обработки видеопотока, реализованный на языке *Python* с использованием библиотек компьютерного зрения *OpenCV* и машинного обучения *scikit-learn*. Процесс анализа включает несколько последовательных этапов. Первым этапом является сегментация человека на видео с использованием алгоритма кластеризации *K-Means*. Исходный кадр преобразуется из цветового пространства *BGR* в *LAB*, которое обеспечивает лучшую инвариантность к изменениям освещения. Использование *BGR* в качестве исходного формата обусловлено стандартами библиотеки *OpenCV*, однако прямое применение этого пространства для анализа малоэффективно из-за сильной корреляции каналов и чувствительности к яркости. Именно поэтому выполняется преобразование в цветное пространство *LAB*. В отличие от *BGR*, пространство *LAB* приближено к человеческому восприятию цвета и разделяет информацию об интенсивности и цветовых компонентах. Благодаря этому алгоритм кластеризации *K-Means* получает возможность более устойчиво группировать пиксели, ориентируясь на цветовые характеристики объекта, что позволяет эффективнее отделить фигуру человека от фона даже при неоднородном освещении.

Полученная бинарная маска подвергается морфологической обработке: операция открытия для удаления шумов и операция закрытия для заполнения небольших пробелов внутри области человека (рисунок 1).

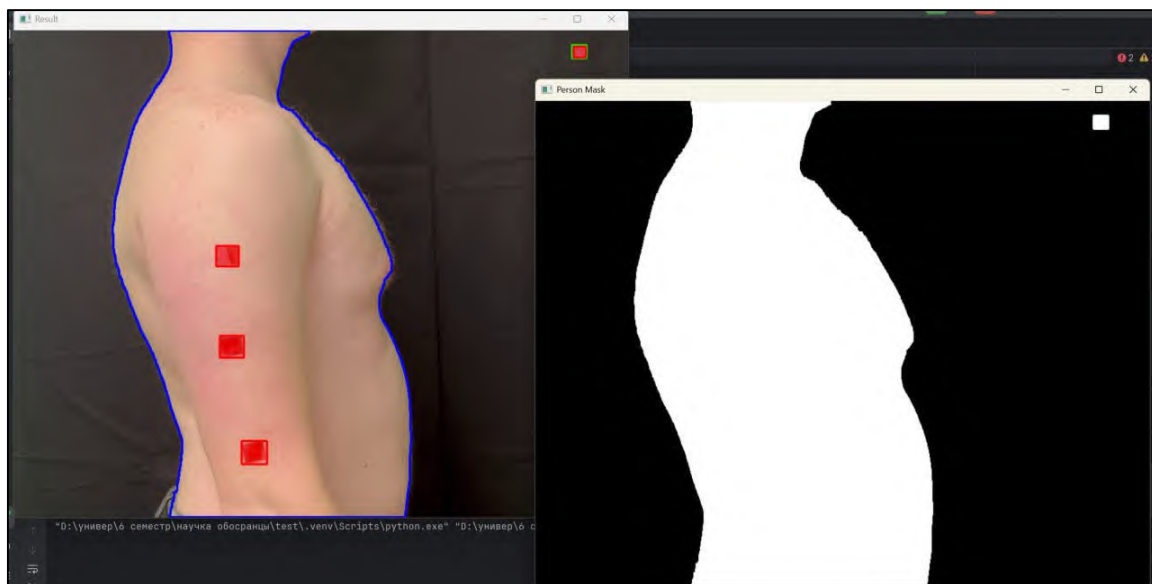


Рисунок 1 – Выделение маски

Вторым этапом является обнаружение цветовых маркеров на теле пациента. Для обеспечения инвариантности к интенсивности освещения используется цветное пространство *HSV* [7]. Для каждого поддерживаемого цвета (красный, зеленый, синий) в системе заданы диапазоны нижних и верхних границ. Для красного цвета, ввиду его

расположения на границе цветового круга, применяются два диапазона: 0–10 и 170–180 градусов. После применения пороговых фильтров и морфологической обработки выделенные контуры анализируются: отбрасываются контуры площадью менее 25 пикселей, а для оставшихся вычисляется соотношение сторон, которое должно находиться в диапазоне 0,7–1,4, что соответствует квадратной форме маркера.

Для устойчивого отслеживания маркеров между кадрами реализован трекер, использующий алгоритм сопоставления на основе евклидова расстояния. Каждому обнаруженному маркеру присваивается уникальный идентификатор. В последующих кадрах для каждого нового маркера вычисляется расстояние до всех активных маркеров из предыдущих кадров, и выбирается ближайший, если расстояние не превышает порогового значения (30 пикселей). Это позволяет отслеживать перемещение маркеров при небольших движениях пациента и обеспечивает временную согласованность данных.

Модуль анализа дыхания предоставляет возможность запуска автоматизированного анализа загруженных видео. В интерфейсе настройки анализа врач выбирает цвет маркера (красный, зеленый, синий) и указывает его физический размер в миллиметрах. После запуска система отображает прогресс выполнения анализа в реальном времени. По завершении формируется детальный отчет, включающий: частоту дыхания, амплитуду дыхательных движений, графики дыхательных движений для каждой линии, текстовое заключение с классификацией типа дыхания (нормальное, тахипноэ, брадипноэ). Все результаты сохраняются в истории анализов пациента и доступны для повторного просмотра (рисунок 2).

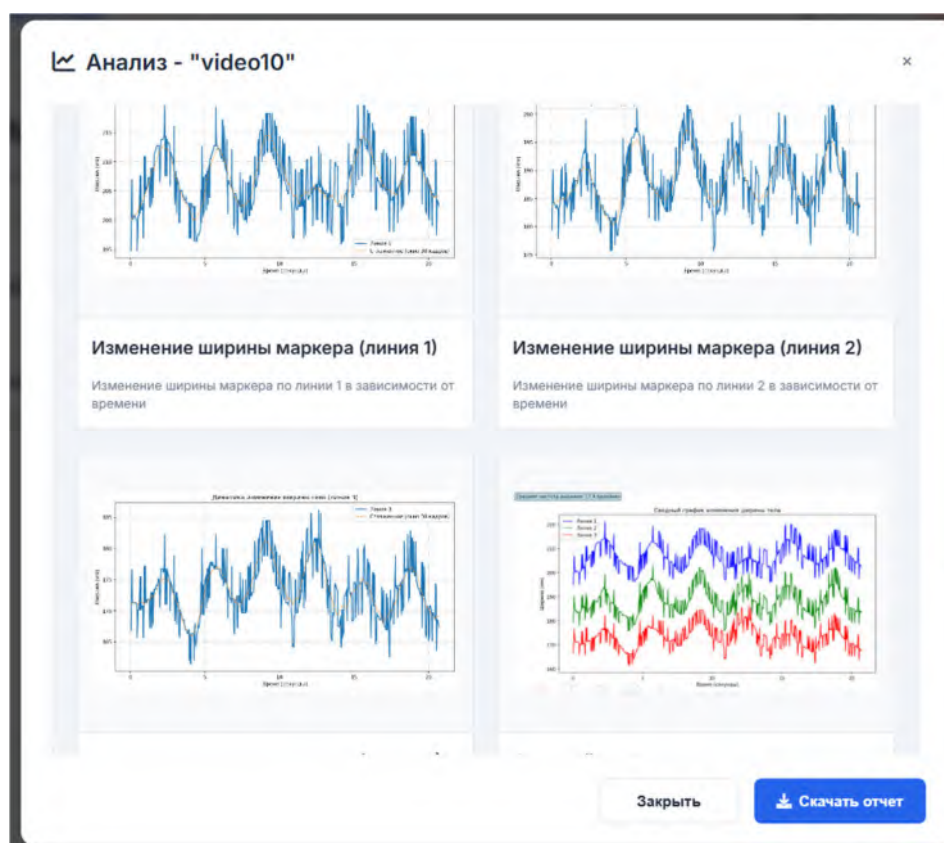


Рисунок 2 – Модальное окно графического анализа

Заключение. Практическая значимость работы заключается в создании инструмента, который позволяет провести оценку количественных показателей дыхательной функции. В результате разработки получено полностью функционирующее веб-приложение для бесконтактной диагностики дыхания, обеспечивающее автоматическое выделение контура пациента с помощью алгоритма *K-Means* и точное отслеживание дыхательных движений посредством детекции цветовых маркеров. Система вычисляет ключевые клинические

параметры: частоту дыхания через спектральный анализ Фурье и амплитуду, предоставляя врачу структурированные результаты в личном кабинете пациента.

Теоретическая ценность исследования состоит в демонстрации эффективности применения методов компьютерного зрения (алгоритма кластеризации *K-Means*) и цифровой обработки сигналов для решения задач медицинской диагностики. Перспективы дальнейшего применения приложения связаны с возможностью использования разработанного приложения как инструмента экспресс-диагностики дыхания.

Список литературы

1. Всемирная организация здравоохранения. Хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-\(copd\)](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-(copd)).
2. Standardization of Spirometry 2019. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.atsjournals.org/doi/10.1164/rccm.201908-1590ST>
3. Revinskaya, I. I. Hardware-software complex for studying of breathing volume parameters = Аппаратно-программный комплекс для исследования объемных параметров дыхания / I. I. Revinskaya, P. V. Kamlach, Y. I. Liashchevich // Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series = Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. – 2023. – Vol. 68, no. 2. – P. 149–155.
4. FastAPI Documentation – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fastapi.tiangolo.com/tutorial/>
5. PostgreSQL Documentation – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.postgresql.org/docs/current/tutorial-transactions.html>
6. OWASP Cross Site Scripting – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cheatsheetseries.owasp.org/cheatsheets/css>
7. OpenCV. OpenCV Documentation [Электронный ресурс]. – 2025. – Режим доступа: <https://docs.opencv.org>.

UDC 616-78

WEB APPLICATION FOR FUNCTIONAL DIAGNOSTICS OF RESPIRATION

Zhukovskiy N.E.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Revinskaya I.I. – Senior Lecturer at the Department of the department of ETT

Annotation. This work presents the development of a web application for automated functional diagnostics of respiration based on contactless video stream analysis. The study was carried out by designing and implementing a client-server architecture, which includes modules for authentication, patient management, video file handling, and respiratory motion analysis. The analysis was conducted using computer vision algorithms and digital signal processing methods to identify breathing patterns. The proposed approach makes it possible to visualize the breathing process and, based on the obtained data on chest movements, assess the temporal characteristics of respiration and indirectly determine respiratory volumes.

Keywords. functional respiratory diagnostics, breathing visualization, web application, computer vision, video stream analysis, client-server architecture, FastAPI, digital signal processing