

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ

Коваленко А.В.

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

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

Аннотация. В работе рассматривается разработка программного комплекса для бесконтактной оценки параметров внешнего дыхания на основе анализа видеозаписи пациента. Предложенный подход использует методы компьютерного зрения для отслеживания движения маркеров, расположенных на теле человека, и последующего анализа динамики дыхательных движений. Система выполняет сегментацию изображения, детекцию и трекинг маркеров, автоматическую калибровку масштаба и формирование временных рядов изменения положения грудной клетки и брюшной области. На основе полученных данных строятся графики дыхательных колебаний и вычисляются основные параметры дыхания, такие как частота дыхания, амплитуда дыхательных движений и стабильность ритма. Практическая значимость разработки заключается в возможности получения количественных характеристик дыхания без использования специализированного медицинского оборудования.

Ключевые слова: внешнее дыхание, бесконтактная, компьютерное зрение, видеоанализ, дыхательные движения, трекинг маркеров, графики дыхания

Введение. Функция внешнего дыхания является одним из важнейших показателей состояния дыхательной системы человека. Нарушения дыхательной функции могут свидетельствовать о развитии различных заболеваний лёгких, включая хроническую обструктивную болезнь лёгких, бронхиальную астму и другие патологии. Для диагностики и мониторинга таких заболеваний широко применяются методы исследования функции внешнего дыхания, в частности спирометрия, позволяющая измерять такие параметры, как дыхательный объём, частота дыхания и минутная вентиляция лёгких [1].

Классические методы исследования дыхательной функции предполагают использование специализированного медицинского оборудования, такого как спирометры и спирографы. Несмотря на высокую точность таких устройств, их применение связано с рядом ограничений: необходимостью использования контактных датчиков, специализированного оборудования и присутствия медицинского персонала. В связи с этим в последние годы активно развивается направление бесконтактного мониторинга физиологических параметров человека на основе анализа видеоданных [2] и методов компьютерного зрения [3].

Современные исследования показывают, что анализ движения грудной клетки и брюшной области на видеозаписях может использоваться для оценки частоты дыхания и других параметров дыхательного процесса. Методы компьютерного зрения позволяют выявлять даже небольшие колебания поверхности тела, вызванные дыхательными движениями, и преобразовывать их в цифровые сигналы, пригодные для дальнейшего анализа [4].

Развитие технологий машинного обучения и нейронных сетей значительно расширило возможности обработки медицинских изображений и видеоданных. Использование нейросетевых алгоритмов позволяет автоматизировать процессы сегментации изображения, обнаружения ключевых точек и анализа временных рядов, полученных при наблюдении за движениями человека [5].

Целью данной работы является разработка программного обеспечения для получения и визуализации параметров внешнего дыхания на основе анализа видеозаписи пациента.

Предлагаемый программный комплекс позволяет автоматически извлекать дыхательные сигналы из видеопотока, строить графики дыхательных движений и вычислять основные показатели дыхательной активности.

Основная часть. Разрабатываемый программный комплекс предназначен для анализа видеозаписей пациента с целью получения количественных характеристик дыхательного процесса. Основная идея метода заключается в отслеживании движения отдельных участков тела, связанных с дыхательными движениями грудной клетки и брюшной области.

В процессе работы система выполняет несколько последовательных этапов обработки данных. На первом этапе производится загрузка видеозаписи и её предварительная обработка. Видео разбивается на отдельные кадры, после чего осуществляется их анализ с использованием алгоритмов компьютерного зрения. Для реализации данного этапа используются современные библиотеки обработки изображений и видеоданных, такие как *OpenCV* и другие инструменты языка программирования *Python*.

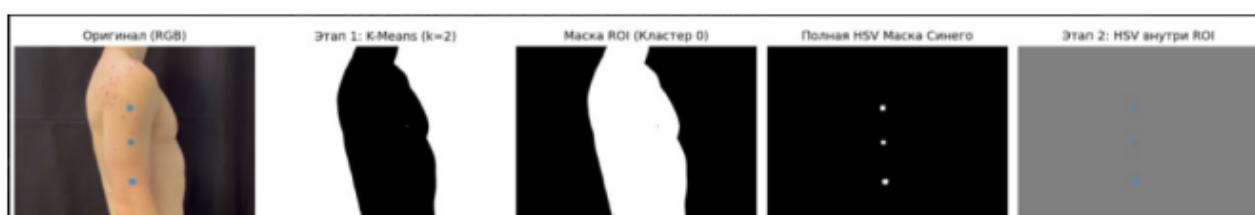


Рисунок 1 – Демонстрация различных тестов детектирование с библиотекой *OpenCV*

Следующим этапом является обнаружение области интереса на изображении. В большинстве случаев дыхательные движения наиболее выражены в области грудной клетки и верхней части живота. Для повышения точности измерений система выполняет выделение ключевых точек или маркеров, расположенных на поверхности тела пациента. Отслеживание положения этих точек позволяет регистрировать даже небольшие перемещения, возникающие в процессе дыхания.

После определения ключевых точек выполняется их трекинг на последовательности видеок кадров. В результате формируется временной ряд координат, отражающий изменение положения каждой точки во времени. Такие временные ряды представляют собой сигнал, содержащий информацию о дыхательных колебаниях. Анализ движения пикселей и координат точек позволяет эффективно выделять дыхательный сигнал даже при наличии шумов и незначительных движений тела [6].

Полученные данные подвергаются дальнейшей математической обработке. На этом этапе применяются методы фильтрации и сглаживания сигналов (медианный фильтр, фильтр скользящего среднего, фильтр Баттерворта), позволяющие устранить случайные колебания и повысить стабильность измерений. После фильтрации формируется дыхательная кривая, представляющая собой график изменения положения грудной клетки во времени.

Графическое представление дыхательных сигналов играет важную роль в анализе состояния пациента. На основе полученных временных рядов строятся графики дыхательных движений, позволяющие визуально оценить форму дыхательного цикла, амплитуду движений и регулярность дыхательного ритма. Каждый дыхательный цикл на графике соответствует последовательности фаз вдоха и выдоха.

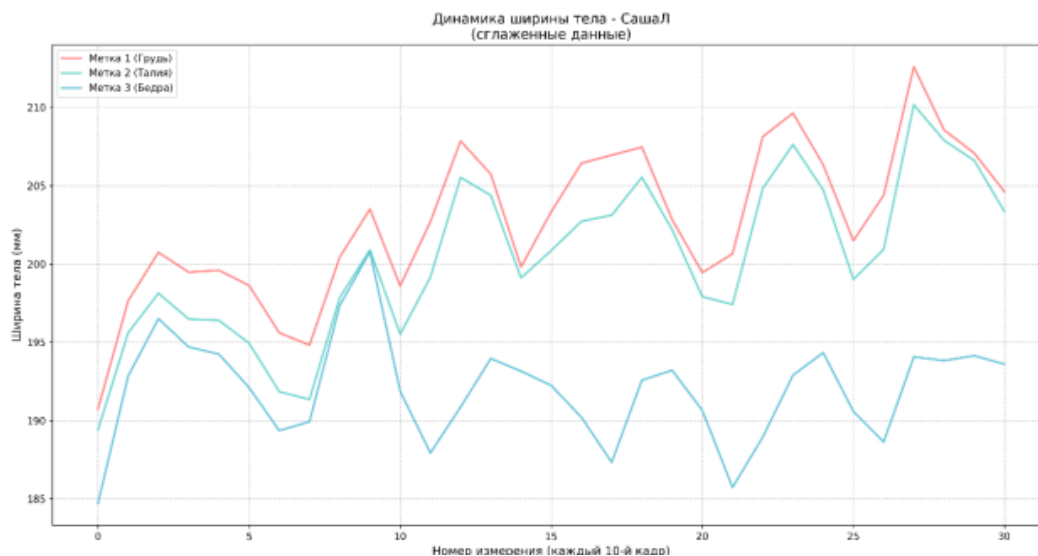


Рисунок 2 – Общий график всех меток одного пациента

Анализ формы дыхательной кривой позволяет автоматически определять ключевые параметры дыхания. Одним из основных показателей является частота дыхания, которая определяется как количество дыхательных циклов за определённый интервал времени. Кроме того, по амплитуде колебаний графика можно оценить интенсивность дыхательных движений и приблизительно определить дыхательный объём.

Дополнительно система может анализировать регулярность дыхательного ритма, выявляя возможные отклонения или нерегулярные дыхательные паттерны. Такие нарушения могут быть связаны с различными физиологическими или патологическими состояниями организма. Использование алгоритмов анализа временных рядов позволяет автоматически обнаруживать подобные особенности дыхательного процесса.

Современные исследования показывают, что методы анализа видеоданных могут обеспечивать достаточно высокую точность измерения частоты дыхания. В ряде работ показано, что алгоритмы обработки видеосигнала способны определять частоту дыхания с небольшой погрешностью по сравнению с традиционными медицинскими измерительными системами [7]. Это подтверждает перспективность использования компьютерного зрения для разработки систем дистанционного мониторинга дыхания.

Для повышения точности измерений в разрабатываемой системе используется метод калибровки масштаба изображения. При наличии маркеров известного размера на поверхности тела пациента возможно преобразование координат из пикселей изображения в реальные физические величины. Это позволяет более корректно оценивать амплитуду дыхательных движений и получать количественные показатели, приближенные к реальным физиологическим значениям.

Важной частью системы является модуль визуализации данных. Он обеспечивает построение различных графиков, отображающих изменения дыхательных параметров во времени. Такие графики могут использоваться врачами для анализа дыхательного ритма, выявления отклонений и сравнения результатов различных измерений. Наглядное представление данных облегчает интерпретацию результатов и способствует более эффективной диагностике.

Использование программных методов анализа видеоданных открывает новые возможности для развития телемедицины и дистанционного мониторинга состояния пациента. Бесконтактные методы измерения физиологических параметров могут применяться в условиях, когда использование традиционного медицинского оборудования затруднено или невозможно.

Заключение. Использование современных библиотек языка программирования *Python* и инструментов обработки изображений позволяет реализовать гибкую систему анализа видеоданных. Полученные результаты демонстрируют перспективность применения методов компьютерного зрения для разработки систем бесконтактного мониторинга физиологических параметров человека. В дальнейшем развитие программного обеспечения может быть направлено на повышение точности алгоритмов обработки видеоданных, расширение перечня анализируемых параметров дыхания и интеграцию системы с веб-приложениями для удалённого мониторинга состояния пациентов.

Список литературы

1. Полянская М.А. Спирометрия в оценке нарушений функции дыхательной системы. [Электронный ресурс].
2. Ревинская, И. И. Методика оценки легочных объемов на основе записи биомеханики дыхательных движений = *Methodology for Assessing Lung Volumes Based on Recording the Biomechanics of Respiratory Movements* / И. И. Ревинская, П. В. Камлач // Доклады БГУИР. – 2023. – Т. 21, № 6. – С. 92–98
3. NumPy: фундаментальная библиотека для научных вычислений в Python [Электронный ресурс]. – Режим доступа: numpy.org.
4. Matplotlib: Visualization with Python [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://matplotlib.org>.
5. Motion magnification algorithms for video-based breathing monitoring. *Biomedical Signal Processing and Control*. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: scikit-learn.org.
6. Методы компьютерного зрения в медицинской диагностике: современное состояние и перспективы [Электронный ресурс].
7. OpenCV: Open Source Computer Vision Library [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://opencv.org>

UDC 616-78

SOFTWARE FOR VISUALIZATION OF EXTERNAL RESPIRATION PARAMETERS USING NEURAL NETWORK ALGORITHMS

Kovalenko A.V.

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

Revinskaya I.I. – Senior lecturer of the department of ETT

Annotation. The paper presents a software system for visualization and analysis of external respiration parameters based on patient video processing. The proposed approach combines computer vision techniques and neural network algorithms for body segmentation and respiratory motion analysis.

Keywords: external respiration, neural networks, computer vision, video analysis, respiratory parameters, data visualization.