

Отзыв официального оппонента

доктора технических наук, профессора,

Приорова Андрея Леонидовича,

профессора кафедры цифровых технологий и машинного обучения

ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»

на диссертационную работу

Демушкиной Ксении Михайловны

«Методики и алгоритмы обработки цифровых данных электрокардиографии и биоимпедансометрии для систем поддержки принятия решений»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки)

1. Актуальность темы исследования

В диссертации представлено решение актуальной научно-технической задачи – совершенствование систем поддержки принятия решений (СППР) в области анализа цифровых данных электрокардиографии и биоимпедансометрии. В настоящее время наиболее актуальным подходом к анализу информации в различных областях является «черный ящик», который не имеет высокой степени доверия среди пользователей по причине отсутствия визуализации процесса анализа и получения результата. Ярким примером такого подхода являются нейронные сети. Они зачастую демонстрируют высокую эффективность, но в такой сфере как медицина, есть запрос на объяснимость и интерпретируемость процесса принятия решений. Для систем поддержки принятия врачебных решений требуется не только высокая точность результатов, но и визуальное представление причин, на основании которых это решение было принято, промежуточных решений и т. п. На сегодняшний день СППР остаются вспомогательным инструментом для врача, которые способны сигнализировать об имеющейся проблеме, но не принимать решение за него. Развитие СППР требует разработки соответствующего алгоритмического и программного обеспечения, применения современных технологий обработки данных. В связи с этим тема диссертационного исследования, состоящая в разработке методик и алгоритмов анализа цифровых данных электрокардиографии и биоимпедансометрии для СППР, является актуальной как с научной, так и с практической точек зрения.

2. Краткая характеристика основного содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 142 наименований и двух приложений. Работа изложена на 152 страницах машинописного текста, включает 87 рисунков и 17 таблиц.

Введение включает обоснование актуальности тематики исследования, формулировки цели и задач работы, выносимые на защиту положения, научную новизну, практическую значимость, общую характеристику работы.

Первая глава посвящена критическому обзору области исследования по научно-техническим источникам. В обзоре рассматривались методы проектирования СППР, их достоинства и недостатки. В части разработки алгоритмов обработки цифровых данных электрокардиографии рассматривались существующие методы и алгоритмы анализа ЭКГ. В части биоимпедансометрии анализировались методики обработки ее цифровых данных, их применимость в СППР. По результатам обзора установлено, что важным требованием, предъявляемым к СППР, является интерпретируемость результатов. Выводы по главе 1 содержат формулировки задач дальнейшего исследования.

Вторая глава посвящена разработке методики анализа цифровых данных электрокардиографии с использованием инструментов технологии Process Mining (далее – «анализ процессов»). В основу методики входит оригинальная идея о представлении сердечной деятельности в виде журнала событий. Для трансформации цифровых данных электрокардиографии в журнал событий модифицируется алгоритм Пана-Томпкинса для определения R-пиков ЭКГ. Модификация состоит в адаптивном расчете границ R-пика, что позволяет более эффективно идентифицировать его в сигнале ЭКГ. Предлагается, опираясь на локализацию R-пика, определять оставшиеся пики, вычисляя для каждого из них точку их начала и окончания. На основании полученных точек строится журнал событий, который позволяет проанализировать цифровые данные электрокардиографии с помощью инструментов анализа процессов, а именно, плагина MRPE. Данный плагин позволяет сравнить контрольную модель процесса с исследуемой, выделяя существующие отклонения. Предлагается также использовать эту методику в СППР для визуализации процесса анализа.

Третья глава посвящена разработке методики анализа цифровых данных биоимпедансометрии с помощью агрегированной оценки статистических параметров и метрики Хаусдорфа. В качестве объектов экспериментального исследования выступают лабораторные фантомы, их диэлектрические параметры измеряются в заданном диапазоне частот. Результаты такого измерения представляются в виде кривых. Определены параметры для анализа кривых АЧХ, а также рассмотрены методы нормирования и агрегирования этих параметров. Они включают ряд статистических параметров и метрику Хаусдорфа. Для анализа этих данных выбраны методы MinMax (нормирование) и PCA (агрегирование). Приведены этапы анализа результатов биоимпедансометрии, выделены инструменты технологии анализа процессов для исследования полученных оценок.

Четвертой глава посвящена программной реализации предложенных алгоритмов, их тестированию и интеграции в рамках мультимодальной СППР. Разработанные программы протестированы на 2-х наборах из открытой базы PhysioNet: «The impact of the MIT-BIH Arrhythmia Database» и «A large scale 12-lead electrocardiogram database for arrhythmia study». По результатам тестирования проведен сравнительный анализ полученных метрик. Для сравнительной оценки авторского алгоритма определения R-пика использованы: алгоритм из библиотеки работы с ЭКГ Neurokit2 и классический алгоритм Пана-Томпкинса. Алгоритм сегментации сравнивался с алгоритмом сегментации Neurokit2. По результатам сравнительного анализа разработанные алгоритмы доказали свою работоспособность и эффективность.

В **заключении** представлены основные результаты диссертационной работы.

3. Новизна полученных результатов

Основные положения диссертации, отличающиеся научной новизной, заключаются в следующем:

1. Разработана методика анализа цифровых данных электрокардиографии, отличающаяся применением технологии анализа процессов, что позволяет улучшить интерпретируемость процесса анализа путем контроля промежуточных результатов за счет представления процесса сердечной деятельности в виде журнала событий и последующей компьютерной обработки и визуализации этапов поиска решения (соответствует пп. 2 и 12 паспорта специальности 2.3.1 в части постановки задачи обработки информации и разработки методики обработки информации).

2. Предложен модифицированный алгоритм определения R-пика на цифровых данных электрокардиографии, основанный на алгоритме Пана-Томпкинса, отличающийся адаптивным определением границ QRS комплекса, который позволяет повысить точность определения пиков в среднем на 2 % во всех отведениях электрокардиографии по сравнению с аналогами (соответствует п. 4 паспорта специальности 2.3.1 в части разработки алгоритма обработки информации).

3. Предложен алгоритм формирования цифровых данных электрокардиографии для визуализации процессов сердечной деятельности, отличающийся тем, что данные представляются в виде журнала событий, что позволяет обеспечить возможность анализа цифровых данных электрокардиографии средствами технологии анализа процессов и повысить интерпретируемость процесса принятия решения (соответствует пп. 4 и 12 паспорта специальности 2.3.1 в части разработки алгоритма обработки информации и трансформации информации на основе компьютерных методов обработки информации).

4. Предложена методика анализа данных биоимпедансометрии, отличающаяся применением комплексной оценки статистических параметров и метрики Хаусдорфа, что позволяет ранжировать объект по возрастанию неоднородных включений и расширить возможности практического применения метода биоимпедансометрии (соответствует п. 4 паспорта специальности 2.3.1 в части разработки алгоритма обработки информации в части разработки методики обработки информации).

4. Значимость результатов диссертации

С теоретической точки зрения наиболее значимыми представляются постановка задачи и разработка соответствующих методик и алгоритмов применения технологии анализа процессов для работы с биомедицинскими данными. Также заслуживает внимание методика оценки результатов биоимпедансных исследований с помощью агрегированной оценки, включающей как статистические параметры, так и метрику Хаусдорфа.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что применение разработанных методик и алгоритмов позволит улучшить интерпретируемость решений применения технологии анализа процессов в СППР.

Разработанные методики и алгоритмы обработки цифровых данных электрокардиографии и биоимпедансометрии используются в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Разработка технологии раннего обнаружения новообразований молочной железы на основе методов микроволновой томографии и биоимпедансной спектроскопии» (рег. № 124020200015-7). Кроме того, они используются в учебном процессе по направлениям подготовки 09.03.03 «Прикладная информатика» и 09.05.01 «Применение и эксплуатация автоматизированных систем специального назначения» в ФГБОУ ВО «ПГУ» (г. Пенза) и при подготовке специалистов Передовой медицинской инженерной школы по программам «Инженерия искусственного интеллекта» и «Телемедицина и поддержка принятия врачебных решений» направления подготовки 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника» в СамГМУ Минздрава России (г. Самара). Ряд разработок и программно-технических решений, полученных в проводимом исследовании, реализованы и внедрены в АО «НПП «Рубин» (г. Пенза) и ООО «Максфот» (г. Москва) (имеются акты внедрения).

5. Соответствие диссертации и автореферата паспорту научной специальности

Диссертационная работа и автореферат соответствуют паспорту специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки):

п. 2 – формализация и постановка задачи системного анализа, оптимизации, управления, принятия решения, обработки информации и искусственного интеллекта;

п. 4 – разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта;

п. 12 – визуализация, трансформация и анализ информации на основе компьютерных методов обработки информации.

6. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов, представленных в диссертации, определяется корректным применением инструментов компьютерной обработки информации, технологии анализа процессов, обработки сигналов, статистического анализа, а также результатами тестирования разработанных методик и алгоритмов с использованием данных открытой базы PhysioNet.

7. Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати

По теме диссертационного исследования опубликовано 15 работ, в том числе 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 2 статьи, проиндексированные в международной базе данных Scopus, и 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Основные результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на Всероссийских и Международных научных конференциях, включая конференцию DSPA на базе ИПУ РАН (г. Москва). Основные положения и результаты диссертационной работы в достаточной мере опубликованы в профильных изданиях.

8. Оценка языка и стиля диссертации и автореферата

Автореферат выдержан по форме, объему и отражает основные положения диссертационного исследования. Язык и стиль написания диссертации характеризуется ясностью и четкостью изложения материала.

9. Общие замечания по содержанию и оформлению диссертации

По диссертационной работе и автореферату имеются следующие замечания:

1. Не рассматриваются вопросы индивидуальной изменчивости формы ЭКГ. В случаях значительного изменения формы методы машинного обучения могут показывать большую эффективность при должном обучении, чем более

детерминированные алгоритмы анализа сегментации ЭКГ, основанные на анализе амплитудно-временных параметров, предложенные в работе.

2. При конвертации цифровых данных электрокардиографии в журнал событий утрачиваются некоторые важные диагностические параметры, например, особенности формы сегмента ST и зубца Т, что ограничивает набор анализируемой информации.

3. В работе, в основном, уделяется внимание анализу информации по данным одного отведения ЭКГ. Современное клиническое оборудование позволяет регистрировать 12 отведений и даже учитывать зависимости между ними.

4. В главе 3 не рассмотрена возможность применения нейросетей для классификации диэлектрических параметров объекта в зависимости от объема включения.

5. Данные биоимпедансометрии объектов получены с использованием 200 частот из определенного диапазона, на определенном оборудовании. В тексте главы 3 не указано, будет ли применима предложенная методика анализа данных биоимпедансометрии при других параметрах исследования (другом количестве частот, другом диапазоне, с использованием другого оборудования), что затруднит ее практическую применимость.

6. В диссертации и автореферате имеется ряд недочетов оформления. Например, на рисунке 2.33 не указаны единицы измерения по осям X и Y; на рисунке 2.31 надписи слишком мелкие; на фрагменте программного кода на рисунке 2.20 присутствуют волнистые подчеркивания, изображения рабочих окон программных модулей ProM содержат надписи и обозначения на английском языке и т.п.

Отмеченные замечания не носят принципиального характера, не снижают существенным образом значимости проведенной работы, не влияют на теоретические и практические результаты диссертационного исследования и положительное мнение о данной работе.

10. Заключение

Диссертационная работа Демушкиной Ксении Михайловны «Методики и алгоритмы обработки цифровых данных электрокардиографии и биоимпедансометрии для систем поддержки принятия решений» представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему, отличается научной новизной и практической значимостью, соответствует требованиям пунктов 9-14 действующего положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Демушкина Ксения Михайловна заслуживает присуждения

ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

Официальный оппонент:

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры цифровых технологий и машинного обучения
ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»

 Приоров Андрей Леонидович

Дата: 21.11.2025 г.

Почтовый адрес (рабочий): 150003, г. Ярославль, ул. Советская. д. 14, ауд. 309

Телефон: +7 (4852) 79-77-75

E-mail: andcat@yandex.ru

Диссертация доктора технических наук защищена в 2011 году по специальности 05.12.04 Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Сведения об организации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»

Адрес: 150003, Ярославская область, г. Ярославль, ул. Советская, д. 14

Телефон: +7 (4852) 79-77-02, <http://www.uniyar.ac.ru>, e-mail: rectorat@uniyar.ac.ru

