

Отзыв

официального оппонента Евтушенко Геннадия Сергеевича

на диссертацию Новикова Романа Сергеевича

**«Методы машинного обучения по спектрам кардиологических данных
для проблемно-ориентированных цифровых продуктов»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.3.5 – математическое и программное обеспечение
вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей

Актуальность темы исследования

Актуальность диссертационной работы Новикова Романа Сергеевича обусловлена необходимостью разработки телемедицинских систем дистанционного мониторинга кардиологических данных, где одними из самых наукоёмких и трудоёмких компонентов для построения являются модули выявления состояний пациента, использующие методы машинного обучения. Данные модули автор рассматривает в качестве проблемно-ориентированных цифровых продуктов.

Применение телемедицинских систем дистанционного мониторинга кардиологических данных позволяет вести удаленный контроль за состоянием пациентов, что повышает эффективность выявления заболеваний, влияющих на сердечно-сосудистую систему. Данные системы характеризуются удаленным и самостоятельным для пациента сбором кардиологических данных, автоматической передачей данных в центр обработки и предоставлением результатов обработки и анализа данных врачу и/или пациенту. Потребность в разработке таких систем обусловлена необходимостью в снижении нагрузки на первичное звено здравоохранения и потенциальной возможностью замещения первичного звена применением телемедицинских систем дистанционного мониторинга кардиологических данных. Данная потребность обострилась в начале 2020-х годов в связи с

угрозой пандемии коронавирусной инфекции, когда пациентам с легкой степенью заболевания нужно было обеспечить дистанционный врачебный контроль с целью снижения риска заражения населения.

Разработка модулей выявления состояний пациента по кардиологическим данным для данных систем является сложным процессом из-за необходимости навыков в построении эффективных и адекватных моделей машинного обучения, особенно в условиях нехватки выборки данных. Для разработчика необходим инструмент, который позволит автоматизировать формирование таких модулей. Однако, при всем многообразии инструментов формирования моделей машинного обучения, среди них отсутствуют варианты, учитывающие при формировании моделей такие особенности исходных данных в виде сигналов, как длительность, частота дискретизации, наличие дефектов и необходимость в их учете для извлечения информативных признаков из спектров сигналов.

В работе предложено для повышения эффективности дистанционного мониторинга кардиологических данных использовать их амплитудно-частотные спектры, что позволяет выделять признаки, касающиеся состояния организма, которые могут быть незаметны на амплитудно-временной форме данных из-за различных искажений.

Научная новизна и практическая значимость исследования

В диссертации Новиковым Р.С. представлены следующие результаты, обладающее научной новизной.

- Разработан метод построения моделей машинного обучения с учителем для бинарной классификации объектов для телемедицинских систем дистанционного мониторинга кардиологических данных на основе машинного обучения

Новизна этого результата заключается в том, что итоговые модели строятся на основе анализа амплитудно-частотного спектра кардиологических данных при расчете параметров модели.

- Разработан метод построения моделей порядковой классификации объектов.

Новизна этого результата заключается в том, данный метод возможно применять в условиях ограниченной выборки.

- Предложена методика формирования выборки данных для создания моделей классификации по спектрам кардиологических данных.

Новизна этого результата заключается в том, что в разработанной методике учитываются требования к исходным кардиологическим данным: к длительности исходного сигнала, частоте дискретизации и др.

- Предложена программная архитектура фреймворка для разработки программных модулей классификации для телемедицинских систем дистанционного мониторинга кардиологических данных на основе машинного обучения.

Новизна этого результата заключается в том, что предложенный фреймворк содержит в себе реализацию разработанных методики формирования выборки данных и методов построения моделей машинного обучения с учителем для бинарной и порядковой классификации по спектрам кардиологических данных.

Практическим результатом работы является реализованная медицинская система управления здоровьем за счет скрининга состояния пациента по последовательности электрокардиограмм сердца первого отведения. Данная система позволяет удаленным образом находить признаки нарушений углеводного обмена (НУО) на ЭКГ на основе анализа их спектров выявлять по серии ЭКГ пациентов, с высокой вероятностью страдающих предиабетом, и пациентов, с высокой вероятностью страдающих сахарным диабетом второго типа. Следует отметить, что методы построения моделей машинного обучения бинарной и порядковой классификации запатентованы в РФ (№ 2728869 и № 2751817) и имеется патент Японии № 7562338.

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов

В рамках диссертационной работы и в ходе двух клинических исследований проведена экспериментальная валидация результатов работы с использованием реализованной медицинской системы. В этой системе содержались модули выявления кардиопризнаков НУО по спектрам кардиологических данных и модуль выявления подозрения на НУО по серии ЭКГ. Для достижения цели автором использованы методы машинного обучения, теория цифровой обработки сигналов, анализ вариабельности сердечного ритма, методы имитационного моделирования и методы программной инженерии.

Апробация полученных результатов.

По теме диссертации опубликовано 5 печатных работ, в том числе в изданиях, рекомендованных ВАК, - 3, а также в 2 патентах РФ. Результаты работы доложены и обсуждены на 7 научных конференциях.

Структура работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 65 наименований. Общий объем работы составляет 138 страниц с 15 рисунками и 19 таблицами.

Во введении доказывается актуальность диссертационной работы, ставятся цель и задачи научного исследования, приведены основные положения, определена теоретическая и практическая значимость исследования, представлена информация об апробации и внедрении результатов исследования.

В первой главе дано общее представление о телемедицинских системах дистанционного мониторинга кардиологических данных и о роли в них модулей классификации состояния здоровья пациента на основе машинного обучения при анализе кардиологических данных.

Во второй главе описаны разработанные методы построения моделей бинарной и порядковой классификации объектов по амплитудно-частотным спектрам кардиологических данных и методика формирования выборки

данных для создания моделей классификации по спектрам кардиологических данных. Во второй половине главы приведено применение разработанных методов в рамках задачи построения моделей выявления кардиопризнаков НУО по спектрам кардиологических данных и моделей выявления подозрения на НУО по серии ЭКГ.

Третья глава посвящена экспериментальной проверке разработанных моделей по кардиологическим данным. Проверка проведена в ходе двух клинических исследований.

Четвертая глава посвящена разработке фреймворка для формирования модулей классификации по спектрам кардиологических данных как цифровых продуктов и его применение для реализации практического результата - медицинской системы самостоятельного управления здоровьем за счет скрининга состояния пациента по кардиологическим данным

В заключении представлены основные результаты и выводы по диссертационной работе.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации и позволяет оценить основные полученные результаты, степень их обоснованности и достоверности.

Замечания

По содержанию работы можно выделить следующие замечания:

1) Автор проводил экспериментальную проверку разработанных моделей на собственной выборке, собранной в рамках клинических исследований, однако в работе отсутствует сравнение качества данных моделей с мировыми аналогами на других выборках.

2) В разделе 2.2.2 при описании методики формирования выборки данных автор упомянул, что на исходной ЭКГ необходимо учитывать такие артефакты, как дрейф изолинии и амплитудные выбросы, вызванные потерей контакта электрода. Однако существуют и другие артефакты на ЭКГ, такие как мышечные артефакты и электромагнитные помехи. Имело бы смысл

рассмотреть в рамках методики существующие алгоритмы устранения данных артефактов.

Приведенные замечания не снижают общей положительной оценки представленной диссертационной работы.

Заключение

Диссертационная работа полностью удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к работам на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5 – математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей, а ее автор, Новиков Роман Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5.

Официальный оппонент:

доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник Государственного
центра экспертизы в сфере науки и инноваций,
Федеральное государственное бюджетное научное
учреждение Научно-исследовательский институт –
Республиканский исследовательский научно-
консультационный центр экспертизы
Министерства науки и высшего образования
Российской Федерации (НИИ РИНКЦЭ)

/Евтушенко Геннадий Сергеевич/

«11» 03 2025 г.