

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Маркова Никиты Сергеевича

Модели машинного обучения для автоматизированного анализа интервалограмм ритма сердца в диагностике аритмии», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Актуальность темы исследований следует с одной стороны из необходимости ранней диагностики фибрилляции предсердий (далее – ФП), в т.ч. за счёт снятия интервалограмм с потребительских устройств, ставших доступнее в последнее время, с другой стороны – из возможности применения современных методов машинного обучения для прогнозирования эпизодов ФП.

Диссертационная работа Маркова Н.С. посвящена разработке математической модели предсказания ФП по интервалограммам синусоидального ритма сердца, созданию комплекса программ, поддерживающего диагностику, эффективной реализации модели предсказания, допускающей исполнение на носимых устройствах. В силу изложенного, актуальность темы диссертационной работы Маркова Н.С. несомненна.

Краткое содержание диссертационной работы.

В первой главе излагается обзор по применяемым методам и подходам для задачи исследования сердечного ритма и диагностики фибрилляции предсердий на его основе. Представлены основы кардиологии, методы детекции ФП по интервалограммам, теория классификации сжатием и индексы вариабельности ритма сердца (BPC). Обзор показывает актуальность разработки новых методов анализа ритма, особенно для работы с малыми данными и носимых устройств.

Во второй главе приводится подробное описание методов конечных разностей и сжатия для вычисления дополнительных характеристик интервалограмм. Разработана модель детекции ФП на основе сжатия информации и нового пятиточечного разностного представления интервалограммы (Δ_5RR). Модель показала высокую точность (до 96.37% чувствительности) и способность эффективно обучаться на малых выборках (10-20 примеров).

В третьей главе приводятся линейные регрессионные модели, связывающие индексы BPC при синусовом ритме и ФП. Обнаружены статистически значимые связи, объясняющие до 74% дисперсии ключевых показателей ФП через характеристики нормального ритма.

В четвертой главе предложена свёрточно-рекуррентная нейросеть (СРНС) для предсказания эпизода ФП за 24 часа по синусовому ритму. Модель превзошла чисто свёрточную сеть, достигнув 71.45% чувствительности. Карты внимания выявили важность фрагментации ритма.

В пятой главе описан программный комплекс, объединяющий модели детекции и предсказания ФП в единую систему для поддержки врачебных решений. Система использует открытые библиотеки и адаптирована для работы с длинными записями ЭКГ.

В заключении приводятся основные выводы по теме диссертации.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем.

1. Применение метода сжатия информации для детектирования аритмии, в результате чего построена качественная модель классификации временных последовательностей биологических сигналов, не требующая для обучения больших объёмов данных.
2. Построены линейные регрессионные модели, демонстрирующие клинически релевантные статистические связи между характеристиками квазихаотического ритма ФП и нормального синусового ритма пациентов.
3. Предложен новый способ разностного пятиточечного представления интервалограммы, улучшающий чувствительность классификации аритмии по сравнению со стандартными представлениями интервалограмм.
4. Разработан и апробирован комплекс программ, осуществляющий автоматизированную классификацию аритмии, разметку ЭКГ на нормальный и патологический ритмы, и оценивающий вероятность возникновения аритмии у предположительно здоровых пациентов.
5. Разработан эффективный метод классификации ритмов, допускающий реализацию на носимых устройствах с малым электропотреблением

Обоснованность научных результатов подтверждается материалами публикаций, выполненных автором. По теме диссертации в рецензируемых научных изданиях автором опубликовано 8 печатных работ, 3 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК, 7 – в научных изданиях, индексируемых Web of Science и Scopus, 7 – в научных изданиях, индексируемых РИНЦ. Получено свидетельство в Роспатенте и РОСРИДе о регистрации программы для ЭВМ и патент на изобретение.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что созданные признаковые пространства и алгоритмы позволяют выявлять ФП и предсказывать

эпизоды ФП за 24 часа до его появления, а также данные алгоритмы можно использовать на маломощных устройствах.

Апробация работы. Все положения диссертационной работы докладывались на международных и российских конференциях, научных семинарах, в том числе на Санкт-Петербургском аритмологическом форуме в 2023 и 2024 годах.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Достоверность и обоснованность проведенных исследований обеспечивается достаточным количеством численных экспериментов, правильным выбором методов проверки статистической значимости обнаруженных зависимостей, использованием верифицированных исходных данных. Также достоверность результатов подтверждается публикациями в рецензируемых изданиях.

Отдельно следует отметить чёткое следование научной методологии в вопросе отбора данных для исследований, что является редким в научных работах по машинному обучению.

Замечания по диссертационной работе, не снижающие общего высокого уровня исследования.

1. Стр. 38 пропущено слово «Вследствие этого».
2. Стр. 40. В отсутствие дополнительных требований на функцию «квантования» вывод автора о том, что области определения с одинаковыми значениями представляют из себя интервалы ошибочен. Контрпример: чётные числа квантуем как 0, остальные как 1. Вероятно имеется в виду какое-то дополнительное ограничение на функцию квантования (например, монотонность).
3. Стр. 41. Неясно, что является центроидом полуинтервала $(-\infty; b_1]$, это происходит из-за отсутствия чёткого определения центроида. Также не сказано, что X – это конечная последовательность значений, именно для бесконечных последовательностей и возникает неясность.
4. Стр. 43. Не обосновывается, почему именно gzip применяется для сжатия? Есть ли разница между другими алгоритмами сжатия?
5. Стр. 46. Термин популяция изменил значение, ему не дано определение. Ранее по тексту это была человеческая популяция, а здесь – элемент разбиения в ходе «кросс-валидации». В целом не хватает определения терминов обучающая, тестовая выборка, пробы и популяции.

Общая оценка диссертационной работы. Диссертация Маркова Н.С. «Модели машинного обучения для автоматизированного анализа интервалограмм ритма сердца в диагностике аритмии» является самостоятельной законченной научно-квалификационной

работой, в которой содержатся решения задач выбора эффективных информативных признаков для диагностики аритмии, развития методов классификации в машинном обучении на основе использования методов из теории информации, а также эффективные реализации этих методов в виде программного комплекса.

Отмеченные выше замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы.

Считаю, что диссертационная работа Маркова Никиты Сергеевича «**Модели машинного обучения для автоматизированного анализа интервалограмм ритма сердца в диагностике аритмии**» выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет требованиям п.9 Положения о присуждении учёных степеней в УрФУ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Заведующий лабораторией аналитики потоковых данных
и машинного обучения ММФ НГУ

К.ф.-м.н.

Подпись Павловского Е.Н. заверяю

« 3 » октября 2025 г.




Павловский Евгений Николаевич



Официальный оппонент: Павловский Евгений Николаевич, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией аналитики потоковых данных и машинного обучения Механико-математического факультета Новосибирского государственного университета

Контактные данные:

Тел.  email: e.pavlovskiy@g.nsu.ru

Адрес места работы: 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова 1, каб. 5205. НГУ