

МЕТОДЫ АУГМЕНТАЦИИ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ ДЛЯ ЗАДАЧ РАСПОЗНАВАНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Ярмолович М.А.¹

Научный руководитель - Русак Алена Викторовна¹

¹Университет ИТМО
mishanay38@gmail.com

Введение

Автоматический анализ электрокардиографических сигналов с использованием методов машинного обучения является перспективным направлением разработки систем поддержки принятий врачебных решений. Однако эффективность моделей глубокого обучения существенно ограничивается дисбалансом классов и недостаточным объёмом клинически размеченных данных [1].

В медицинских задачах увеличение обучающей выборки путём сбора новых данных сопряжено со значительными организационными и этическими ограничениями. В связи с этим активно применяются методы аугментации сигналов, а также генерации синтетических данных с использованием глубоких генеративных моделей [2].

Несмотря на потенциальную эффективность таких подходов, использование синтетических ЭКГ-сигналов требует оценки их физиологической достоверности, поскольку визуально правдоподобные сигналы могут нарушать фундаментальные биофизические соотношения между отведениями [3].

Целью данной работы является исследование влияния различных методов аугментации и синтеза ЭКГ-данных на качество классификации сердечно-сосудистых патологий и оценка физиологической корректности сгенерированных сигналов.

Основная часть

В качестве исходных данных использовался открытый клинический датасет PTB-XL, содержащий более 21 000 двенадцатиканальных ЭКГ-записей. Задача формулировалась как мультиклассовая классификация сигналов по пяти диагностическим суперклассам: нормальная ЭКГ, нарушения проводимости, гипертрофия, инфаркт миокарда и изменения сегмента ST-T.

В роли базовой модели применялась архитектура одномерной Residual Neural Network, адаптированная для анализа многоканальных временных рядов. Архитектура модели оставалась неизменной во всех экспериментах, что позволило оценивать влияние исключительно методов формирования обучающей выборки.

В работе были реализованы классические методы аугментации ЭКГ-сигналов, включая добавление шума, масштабирование амплитуды, временные сдвиги и растяжения, каналные аугментации. Также были исследованы методы генерации полностью синтетических сигналов на основе вариационных автоэнкодеров, генеративно-состязательных сетей и диффузионных моделей.

Для оценки физиологической достоверности сигналов использовался набор метрик, характеризующих дрейф базовой линии, уровень шумов, межканальную согласованность отведений, выполнение закона Эйнтховена, корректность детекции R-пиков и распределение частоты сердечных сокращений.

Результаты экспериментов показали, что классические методы аугментации в наибольшей степени сохраняют физиологические свойства ЭКГ-сигналов. Синтетические данные, полученные с использованием генеративных моделей, демонстрируют различные типы искажений: вариационные автоэнкодеры приводят к сглаживанию морфологических элементов, GAN частично нарушает межканальные

зависимости, а диффузионные модели склонны к накоплению низкочастотных искажений базовой линии.

Выводы

Проведённое исследование показало, что применение методов аугментации и генерации синтетических ЭКГ-сигналов позволяет повысить устойчивость моделей машинного обучения к шумам и вариативности клинических данных. Однако использование полностью синтетических сигналов без дополнительной физиологической валидации может приводить к нарушению фундаментальных биофизических закономерностей электрокардиограммы.

Наиболее эффективной стратегией является комбинированный подход, при котором синтетические данные используются в качестве вспомогательного источника вариативности в сочетании с физиологически корректными методами аугментации.

Литература

1. Самбунова М. И. Аугментация данных в обработке медицинских сигналов //ББК 22.18 я43 М34. – 2023. – С. 80.
2. Свиридов И. А., Егоров К. С. Условная генерация электрокардиограмм с помощью иерархических вариационных автокодировщиков //Электронные библиотеки. – 2025. – Т. 28. – №. 5. – С. 1186-1206.
3. Немирко А. П., Салем Б. М. А., Манило Л. А. Распознавание опасных аритмий по скалограммам ЭКГ //Компьютерная оптика. – 2024. – Т. 48. – №. 1. – С. 149-156.