

МЕТОДЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММ

Представлен обзор современных алгоритмов анализа электрокардиограмм с целью выявления патологий сердца. Приведено сравнение алгоритмов определения элементов ЭКГ. Представлен обзор открытых датасетов для разработки алгоритмов анализа ЭКГ.

ВВЕДЕНИЕ

В современной медицине анализ электрокардиограммы (ЭКГ) является одним из ключевых инструментов диагностики сердечно-сосудистых заболеваний. Развитие технологий глубокого обучения открыло новые возможности для автоматизации и повышения качества анализа ЭКГ-сигналов. Последние достижения в области глубокого обучения позволили создавать системы анализа ЭКГ с точностью, сопоставимой с опытными кардиологами [1]. Рассмотрим некоторые из ключевых решений, представленных в научной литературе.

I. ОТКРЫТЫЕ ДАТАСЕТЫ ЭКГ

Одним из ключевых ресурсов для тестирования алгоритмов анализа ЭКГ является ресурс PhysioNet [2]. Ресурс содержит датасеты, включающие записи патологий. Особенно важным является наличие аннотаций во многих датасетах, что делает возможным применение методов анализа, для которых характерно обучение с учителем. Во многих работах по теме анализа ЭКГ присутствует ссылка на открытый датасет MIT-BIH Arrhythmia Database [2], содержащий записи ЭКГ в двух отведениях. К пригодным для анализа можно отнести датасет записей холтеровского мониторинга в 12 отведениях компании ИНКАРТ [2]. Отдельно можно отметить наличие специализированных датасетов, позволяющих анализировать конкретные элементы ЭКГ. Это достигается за счёт наличия соответствующей разметки в датасете. Яркий пример – датасет QT Database [3], в котором размечены P, QRS, T и U. Аналогично датасет European ST-T Database [4] содержит разметку сегмента ST и зубца T. Присутствуют датасеты, содержащие размеченные записи определённых патологий. Так, в датасете кардиологического центра университета Крейтон [5] содержатся записи желудочковой тахикардии, трепетания и фибрилляции желудочков.

II. УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА СИГНАЛА

Методы предобработки и улучшения качества сигналов ЭКГ важны для повышения точности анализа. Один из таких методов представлен в работе Волосатовой и Малышева [6] – это алгоритм удаления дрейфа изолинии, позволяющий устранить низкочастотные артефакты за счёт вычитания из сигнала кубического сплайна, построенного по серединам R-R интервалов. Демонстрация работы алгоритма представлена на рисунке 1.

В исследовании Kwon et al. [7] анализируется частота дискретизации ЭКГ, оптимальная для анализа variability сердечного ритма. Итоговая оценка важна для алгоритмов, чувствительных к размерности входных данных (например, классификация сердечных сокращений с помощью нейросетей, где количество измерений в образце фиксировано).

III. ОБНАРУЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭКГ

Перед анализом обязательно осуществляется обнаружение элементов ЭКГ, таких как зубцы, комплексы и другие. В своей работе Величко и Кампос Диас [8] предложили метод определения QRS-комплексов без предварительной обработки. Алгоритм основан на вейвлет-преобразовании. Результат работы алгоритма представлен на рисунке 2. Wu et al. разработали подход [9], использующий анализ изменчивости окна для усиления сигнала ЭКГ и улучшения детектирования R-пикув. Метод показал высокую устойчивость к шумам.

IV. ДИАГНОСТИКИ ПАТОЛОГИЙ

Заключительным этапом работы алгоритмов анализа ЭКГ является диагностика различных патологий, таких как аритмии и другие заболевания миокарда. Так, в работе [10] рассмотрена модель сверточной нейронной сети для классификации сигналов ЭКГ и выявления аритмий. Данное исследование показывает высокую точность при эффективной обработке больших объёмов данных. В схожей по цели работе Lai et al. [1] предложили алгоритм самонаблюдаемого обучения на масштабируемом наборе данных ЭКГ, что позволило улучшить распознавание патологий. Wu и Guo [11] провели обзор методов глубокого обучения в анализе ЭКГ и диагностике сердечно-сосудистых заболеваний.

V. ВЫВОДЫ

В открытом доступе присутствует множество данных, которые могут быть использованы для разработки и тестирования новых алгоритмов анализа ЭКГ. Также существует множество различных подходов и алгоритмов как обнаружения элементов ЭКГ, так и улучшения качества сигнала и обнаружения патологий. Эффективность алгоритмов подтверждает целесообразность дальнейшего развития интеллектуальных систем анализа ЭКГ. Отдельного внимания заслуживает применение нейросетевых методов в связи с бурным развитием таковых

на момент написания статьи. Разработки, представленные в описанных статьях, будут использованы для дальнейшей работы по перспективному (и менее распространённому на данный момент) направлению интеллектуального анализа кардиограмм новорождённых.

- Lai, J., Tan, H., Wang, J. et al. Practical intelligent diagnostic algorithm for wearable 12-lead ECG via self-supervised learning on large-scale dataset. Nat Commun 14, 3741 (2023).
- Goldberger, A., et al. "PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a new research resource for complex physiologic signals. Circulation [Online]. 101 (23), pp. e215–e220."(2000).
- Laguna P, Mark RG, Goldberger AL, Moody GB. A Database for Evaluation of Algorithms for Measurement of QT and Other Waveform Intervals in the ECG. Computers in Cardiology 24:673-676 (1997).
- Taddei A, Distanti G, Emdin M, Pisani P, Moody GB, Zeelenberg C, Marchesi C. The European ST-T database: standard for evaluating systems for the analysis of ST-T changes in ambulatory electrocardiography. Eur Heart J. 1992 Sep;13(9):1164-72.
- Nolle FM, Badura FK, Catlett JM, Bowser RW, Sketch MH. CREI-GARD, a new concept in computerized arrhythmia monitoring systems. Computers in Cardiology 13:515-518 (1986).
- Волосатова Т.М., Малышев А.П. Улучшение сигнала электрокардиограммы на основе алгоритма удаления дрейфа его изолинии // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №4 (2017)
- Kwon O, Jeong J, Kim HB, Kwon IH, Park SY, Kim JE, Choi Y. Electrocardiogram Sampling Frequency Range Acceptable for Heart Rate Variability Analysis. Healthc Inform Res. 2018 Jul;24(3):198-206. doi: 10.4258/hir.2018.24.3.198. Epub 2018 Jul 31. PMID: 30109153; PMCID: PMC6085204.
- Метод определения QRS-комплексов в ЭКГ-сигналах без предварительной обработки / Величко О.Н., Кампос Диас Х.Г. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2019. – № 28 (1353). – С. 142 – 152.
- Wu, L.; Xie, X.; Wang, Y. ECG Enhancement and R-Peak Detection Based on Window Variability. Healthcare 2021, 9, 227. <https://doi.org/10.3390/healthcare9020227>
- ECG Classification System for Arrhythmia Detection Using Convolutional Neural Network [электронный ресурс] Режим доступа: <https://arxiv.org/html/2303.03660v2>. – Дата доступа: 29.03.2025.
- Wu, Z., Guo, C. Deep learning and electrocardiography: systematic review of current techniques in cardiovascular disease diagnosis and management. BioMed Eng OnLine 24, 23 (2025).

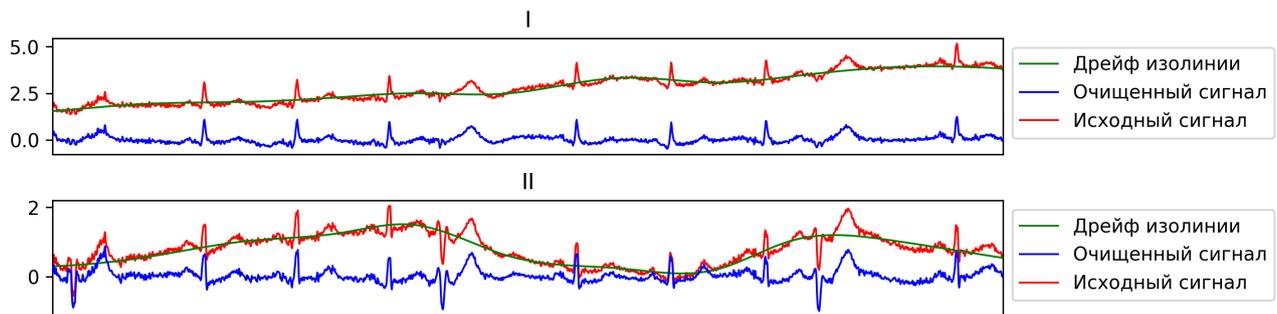


Рис. 1 – Удаление дрейфа изолинии сигнала ЭКГ по отведениям

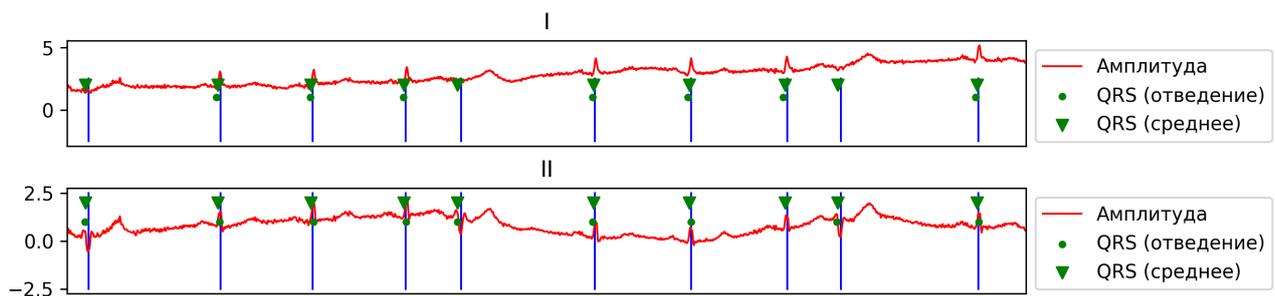


Рис. 2 – Обнаружение QRS комплексов на ЭКГ по отведениям, сравнение с разметкой датасета

Робилко Тимур Маркович, студент кафедры интеллектуальных информационных технологий БГУ-ИП, timur.robilko@gmail.com.

Научный руководитель: Ковалёв Михаил Владимирович, магистр технических наук, старший преподаватель кафедры интеллектуальных информационных технологий БГУИР, kovalev@bsuir.by.