

# Обнаружение сердечных аритмий на основе секвенциального и лингвистического анализа

А.С. Менлитдинов<sup>1</sup>, А.В. Коробейников<sup>1,2</sup>, В.А. Степанов<sup>2</sup>, Ю.Л. Кузелин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ООО «ИжТелеМед», Ленина 110, Ижевск, Россия, 426009

<sup>2</sup>Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, Студенческая 7, Ижевск, Россия, 426069

<sup>3</sup>Республиканский клинико-диагностический центр МЗ УР, Ленина 87Б, Ижевск, Россия, 426009

## Аннотация

В статье рассматриваются методы анализа сердечных аритмий, начиная с разбиения сигнала электрокардиограммы (ЭКГ) на циклы и заканчивая формированием последовательности типов аритмий. Исходными данными для анализа являются результаты разбиения ЭКГ-сигнала на циклы. Предлагается использовать модификацию метода Sobweb для кластеризации QRS-комплексов ЭКГ-сигналов. Описано формирование словаря аритмий на основе секвенциального анализа (метод N-грамм) ритма ЭКГ, представленного в форме текста. Предложен лингвистический анализ для классификации типов аритмий. Приведены примеры анализа записи ЭКГ-сигнала из базы данных аритмии МП-ВН. Предложенные методы апробированы в режиме интеграции с системой мониторинга по Холтеру.

## Ключевые слова

Сердечные аритмии, лингвистический анализ, секвенциальный анализ, метод N-грамм, кластеризация Sobweb

## 1. Введение

Электрокардиография - один из важнейших методов диагностики заболеваний сердца. Одной из общепринятых методик анализа ЭКС является анализ аритмий: факта определение нарушения сердечного ритма и классификация этого нарушения [1]. Анализ нарушений ритма является важной задачей автоматизации. Данный анализ выполняется в мониторах безопасности, при анализе записей ЭКС суточных мониторов, в стресс-системах [2-5]. Суточная запись ЭКС содержит около 100 тысяч кардиоциклов, среди которых необходимо обнаруживать и классифицировать единичные нарушения ритма при наличии помех и артефактов.

В данной работе авторы представляют систему анализа аритмий по ЭКС, основанную на лингвистическом подходе [6]. Однако, по сравнению с работой [6] отдельные этапы анализа были усовершенствованы (кластеризация QRS-комплексов, формирование словаря аритмий). Кроме того, в ходе экспериментов было проведено тестирование разработанной системы анализа аритмий по ЭКС из международной базы данных аритмий. Разработанная система анализа аритмий была интегрирована в систему суточного мониторинга по Холтеру.

## 2. Этапы анализа аритмий

Разбиение ЭКС на кардиоциклы. ЭКГ - это результат прохождения электрических импульсов, вызывающих сокращение сердца, через ткани сердца. Импульсы следуют с определенной периодичностью. Отдельный период ЭКГ называется кардиоциклом. Каждый цикл состоит из типичных частей, которые называют зубцами или сегментами. Этап разбиения на кардиоциклы получает на вход ЭКС, отфильтрованный от шумов. В результате этого этапа получают последовательность QRS-комплексов и длительности RR-интервалов. Это основной этап автоматической обработки ЭКС, которого достаточно для простых систем [3-5].

Кластеризация QRS-комплексов. Для решения задачи классификации QRS-комплексов (отнесение к классу: норма, аномалия) необходимо провести обучение. В работе [6] предлагается выполнить кластеризацию QRS-комплексов только текущей суточной записи ЭКС, для чего предлагается использовать метод кластеризации Cobweb, модифицированный для работы с численными данными [16]. Для устранения недостатков работы [6] в данной работе на вход метода Cobweb подаются дифференцированные выборки QRS-комплекса.

Кодирование ритма ЭКС в текстовую форму. Аритмия проявляется в виде характерных изменений последовательности RR-интервалов и QRS-комплексов, и эти особенности необходимо учитывать при анализе. Результат кодирования ритма ЭКГ-сигнала в текстовую форму представлен в виде цепочки букв в [5]:

$M_1 - Z_1 - M_2 - Z_2 - M_3 - Z_3 - \dots - M_i - Z_i - M_{i+1}$ , (1)  
где  $M_i$ -индекс комплексного класса QRS (минимальный набор классов  $M_i \in \{a, b\}$ : a – нормальный; b – аномальный);  $Z_i$ -индекс класса длительности интервала RR.

Формирование словаря аритмий. Построение словаря выполняется на основе метода секвенциального анализа (метод N-грамм) кода ритма ЭКС для текущей записи [6]. Задача рассматривается как словообразование для текста на неизвестном языке с определенным алфавитом. В N-граммовой модели вычисляется вероятность последнего (N-ого) элемента, если известны предыдущие (N-1) элементы [10]. В этой работе, в отличие от работы в [6], используется метод N-грамм, который находит наиболее устойчивые части текста как в работе [11]. Рассматривается формирование словаря аритмий на основе N-грамм с  $N=2\dots 4$ .

Лингвистический анализ кода ритма. Выявление аритмий на данном этапе представляет собой задачу разбиения текста на слова по заданному словарю. Анализируемый текст может содержать ошибки. Подход, предложенный в работе [12], был апробирован с использованием текста, сформированного ритмом ЭКГ. Последовательность (букв) ритма преобразуется в последовательность типов аритмий (слов) в соответствии со словарем аритмий.

### 3. Результаты экспериментов

Было разработано программное обеспечение на языке C++, в котором реализованы предложенные методы. Для экспериментов использовались записи ЭКГ-сигналов из базы данных аритмии MIT-BIH [13-14]. В данной работе исходными данными послужили результаты разбиения ЭКГ-сигнала на сердечные циклы, реализованные в программном обеспечении itmHolter ООО "ИжТелеМед". (Ижевск, Россия) [15]. Результаты полученные разработанной системой анализа аритмий затем загружались в базу данных itmHolter.

### 4. Заключение

1. Результаты экспериментов показали применимость предложенных методов анализа для выявления и классификации аритмий по ЭКС.

2. Для кластеризации QRS-комплекса в целом успешно использовался модифицированный метод Cobweb с дифференцированными выборками QRS-комплекса в качестве входных данных. Ему удалось получить ограниченное количество кластеров и уменьшить количество ошибок по сравнению с работой в [6].

3. Для формирования словаря аритмий был использован метод N-грамм кода ритма ЭКС, который показал более стабильные показатели по сравнению с [6].

4. Реализован лингвистический анализ для распознавания аритмий по записям ЭКГ-сигналов из базы данных [13-14].

5. Предложенные методы апробированы в интеграции с системой мониторинга по Холтеру (суточные записи ЭКС).

6. Для практического использования предложенного подхода необходимо дальнейшее совершенствование методов анализа и обучение системы анализа аритмий на большом массиве маркированных записей ЭКС.

## 5. Литература

- [1] De Luna, A.B. Clinical electrocardiography: A textbook. – Hoboken: Wiley-Blackwell, 2012.
- [2] Galli, A. Holter monitoring and loop recorders: From research to clinical practice / A. Galli, F. Ambrosini, F. Lombardi // *Arrhythmia & Electrophysiology Review*. – 2016. – Vol. 5(2). – P. 136-143. DOI:10.15420/AER.2016.17.2.
- [3] Velic, M. Computer aided ECG analysis - State of the art and upcoming challenges / M. Velic, I. Padavic, S. Car // *IEEE EUROCON International conference on computer as a tool*. – 2013. DOI: 10.1109/EUROCON.2013.6625218.
- [4] Менлитдинов, А.С. Обзор состояния исследований по алгоритмам анализа аритмий / А.С. Менлитдинов, А.В. Коробейников, Д.Ю. Ивашкин // *Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова*. – 2016. – Т. 19, № 1. – С. 50-54.
- [5] Коробейников, А.В. Алгоритмы и комплексы программ мониторно-компьютерных систем для анализа морфологии и ритма электрокардиограмм: дис. канд. техн. наук: 05.13.18, 05.11.16. – Ижевск, 2004. – 170 с.
- [6] Менлитдинов, А.С. Алгоритм анализа сердечных аритмий с использованием лингвистического и секвенциального анализа и алгоритма кластеризации Cobweb / А.С. Менлитдинов, М.А. Барков, А.В. Коробейников // *Интеллектуальные системы в производстве*. – 2013. – Т. 1, № 21. – С. 131-136.
- [7] Arslan, A. Cardiac arrhythmia analysis using Hidden Markov Model and murmur diagnosis / A. Arslan, O. Yildiz // *22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*. – 2014. DOI:10.1109/SIU.2014.6830658.
- [8] Molina, A.M. Review on higher-order neural units to monitor cardiac arrhythmia patterns / A.M. Molina, R.R. Jorge, R. Villa-Angulo, J. Bila, J. Mizera-Pietraszko, V. Torres // *Frontiers in artificial intelligence and applications*. – 2017. – P. 219-231. DOI: 10.3233/978-1-61499-773-3-219.
- [9] Kumari, V.S. Optimization of multi-layer perceptron neural network using genetic algorithm for arrhythmia classification // *Communications*. – 2015. – Vol. 3(5). – P. 150-157. DOI: 10.11648/j.com.20150305.21.
- [10] Luger, G.F. Structures and strategies for complex problem solving. – Addison Wesley, 2009.
- [11] Коробейников, А.В. Стохастический подход к секвенциальному анализу событий корпоративного сетевого трафика системы Cisco MARS / А.В. Коробейников, А.В. Конин, А.С. Менлитдинов // *Вестник КИГИТ*. – 2012. – № 7(25). – С. 60-70.
- [12] Mottl, V.V. Algorithmical implementation of a linguistic approach to the analysis of experimental curves / V.V. Mottl, I.B. Muchnik, V.G. Yakovlev // *Automation and Remote Control*. – 1984. – Vol. 45(4). – P. 417-433.
- [13] MIT-BIH arrhythmia database directory. Hypertext edition [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.physionet.org/physiobank/database/html/mitdbdir/> (01.01.2021).
- [14] Moody, G.B. The impact of the MIT-BIH arrhythmia database / G.B. Moody, R.G. Mark // *IEEE Engineering in medicine and biology*. – 2001. – P. 45-50.
- [15] ООО «ИжТелеМед» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://web.archive.org/web/20161004203124/> (01.01.2021).
- [16] Коробейников, А.В. Модификация алгоритма концептуальной кластеризации Cobweb для количественных данных с использованием нечеткой функции принадлежности / А.В. Коробейников, И.И. Исламгалиев // *Приволжский научный вестник*. – 2013. – № 3. – С. 9-14.