

Обнаружение инфаркта миокарда с использованием вейвлет анализа ЭКГ сигнала

Н.С. Давыдов¹, А.Г. Храмов¹

¹Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

Аннотация. В данной работе для исследования и анализа электрокардиограммы (ЭКГ) сигналов было использовано вейвлет преобразование. Вейвлет преобразование позволяет определить частотно-временные параметры кардиосигнала, которые в дальнейшем могут быть использованы для обнаружения признаков сердечно-сосудистых заболеваний. В данной работе было использовано дискретное вейвлет преобразование и перекрёстное вейвлет преобразование, основывающееся на непрерывном вейвлет преобразовании, с целью поиска различий между двумя формами ЭКГ-сигналов. В качестве объекта анализа были использованы сердечные такты, которые были извлечены из кардиосигнала и обработаны с помощью вейвлет-функций.

1. Введение

Задача анализа сигнала (ЭКГ) является актуальной в современной медицине и биотехнологиях. Именно в сигнале ЭКГ заключена наиболее важная информация о здоровье пациента, необходимая для того, чтобы поставить правильный диагноз. На данный момент существуют различные методы анализа кардиосигналов, которые основываются на преобразовании Фурье [1, 6], преобразовании Гильберта [2] или иных методах выделения значимых областей кардиограммы.

Однако сигнал кардиограммы не является стационарным потому, одним из наиболее перспективных подходов в анализе нестационарных сигналов является вейвлет-преобразование [3]. Благодаря вейвлет-анализу можно получить вид сигнала в частотно-временной области, что позволяет локализовать определённые пики и частоты, позволяющие провести дальнейшее исследование сигнала и его особенностей [4, 7]. Также данный подход позволяет производить фильтрацию входного сигнала посредством дискретного вейвлет-преобразования с последующим восстановлением сигнала по коэффициентам определённого уровня.

В данной работе было произведено обнаружение признаков инфаркта миокарда. Чтобы различить здоровый сигнал и сигнал с патологией было применено перекрёстное вейвлет-преобразование, основывающееся на непрерывном вейвлет-преобразовании с вейвлетом Морле в качестве материнской функции. Выбранный вейвлет предоставляет сбалансированное представление сигнала в частотно-временной области. С использованием данных методов была выделена QT зона, содержащая в себе основные признаки наличия инфаркта миокарда, и различия между областями были обнаружены в спектре вейвлет-преобразования исследуемого сигнала и стандартного шаблона [5].

Все сигналы ЭКГ для исследования были взяты с сайта MIT Physionet. Каждый из использованных в исследовании сигналов имеет частоту дискретизации 1000 Гц и продолжительность снятия ЭКГ составляет 60 секунд.

ЭКГ сигнал состоит из повторяющихся пиков Q, R, S, T, U. В данной работе изначально выделяется QRS-комплекс, который отражает процесс возбуждения желудочков сердца. После QRS-комплекса оба желудочки охвачены возбуждением до пика T. Именно в промежутке QT находятся основные признаки инфаркта миокарда, рассматриваемого в этой работе.

2. Первичная обработка кардиосигнала

В качестве базы данных для входных сигналов была использована база Physikalisch-Technische Bundesanstalt [8]. Записи в выбранной базе данных сопровождаются аннотациями с описанием пациента и диагноза, который был ранее поставлен врачом-кардиологом.

Для того, чтобы провести поиск сходств в волновых формах сигнала, требуется выделить такты биения сердца, основным элементом которого является R-пик. Для того, чтобы обнаружить и отметить данный пик на кардиосигнале требуется применить дискретное вейвлет-преобразование сигнала с последующим восстановлением сигнала по коэффициентам 4 и 5 уровней. Коэффициенты 4 и 5 уровней содержат ту частотную информацию, которая отвечает R-пику ЭКГ сигнала, что требуется для выделения сердечных тактов. Таким образом, сигнал примет вид показанный на рисунке 1.

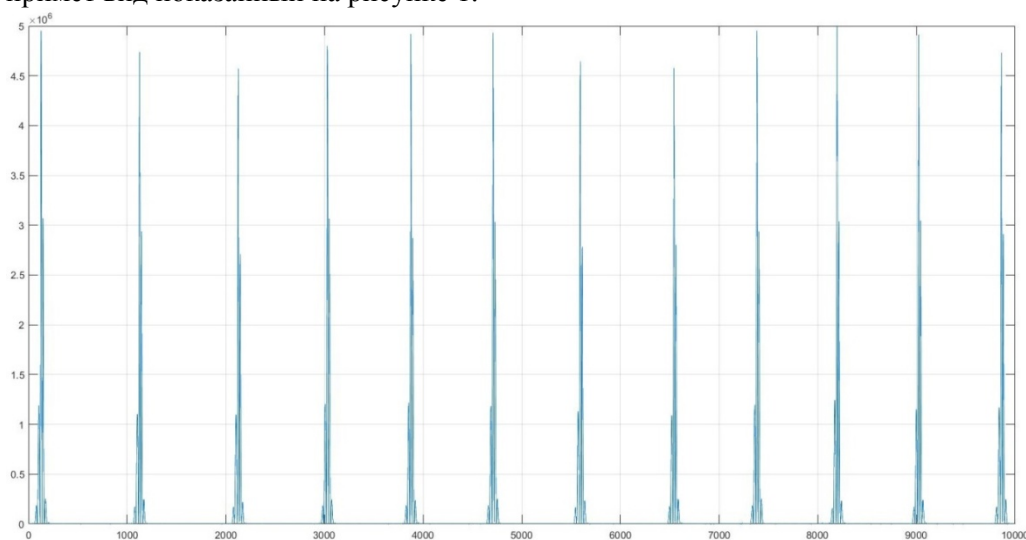


Рисунок 1. Восстановленный сигнал.

Найденные пики соответствуют R-пику в исходном, необработанном, ЭКГ-сигнале. Основываясь на координатах найденных пиков, производится выделение каждого сердечного ритма в сигнале. ЭКГ сигнал не является периодическим, и период биения сердца варьируется у каждого человека. В связи с этим, чтобы каждый такт в сигнале был одинаковой длины, рассчитывается количество отсчётов, требуемых для одного такта в данном сигнале.

$$n = \frac{60 \cdot \text{samplingRate}}{\text{HeartRate}}. \quad (1)$$

Каждый сегмент берётся из сигнала с опорой на R-пик, выделенный ранее. Для выделения такта берётся треть длины всего такта влево от пика и две трети длины вправо от пика. Длина сердечных тактов также варьируется от пациента к пациенту, потому для того, чтобы привести весь набор данных к единой длине, требуется провести интерполяцию всех выделенных сердечных тактов. В качестве требуемой длины было выбрано значение в 1000 отсчётов. Для преобразования сигнала к нужной длине была использована линейная интерполяция по двум точкам.

3. Перекрёстное вейвлет-преобразование

Перекрёстное вейвлет преобразование базируется на непрерывном вейвлет-преобразовании, взятом для материнского вейвлета на определённом наборе масштабов. В данной работе в качестве материнского вейвлета был использован вейвлет Морле, который обеспечивает сбалансированное представление сигнала в частотной и временной областей.

$$\psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0\eta} e^{-\eta^2/2}. \tag{2}$$

При перекрёстном вейвлет-преобразовании находится перекрёстный спектр двух сигналов и корреляция между ними в соответствии со следующими формулами.

$$W_{xy} = W_x \cdot W_y^*, \tag{3}$$

$$R_n^2(s) = \frac{|S(s^{-1}W_{xy}^n(s))|^2}{S(s^{-1}|W_x^n(s)|^2) \cdot S(s^{-1}|W_y^n(s)|^2)}. \tag{4}$$

Результат перекрёстного преобразования двух сигналов представлен на рисунке 2 и рисунке 3.

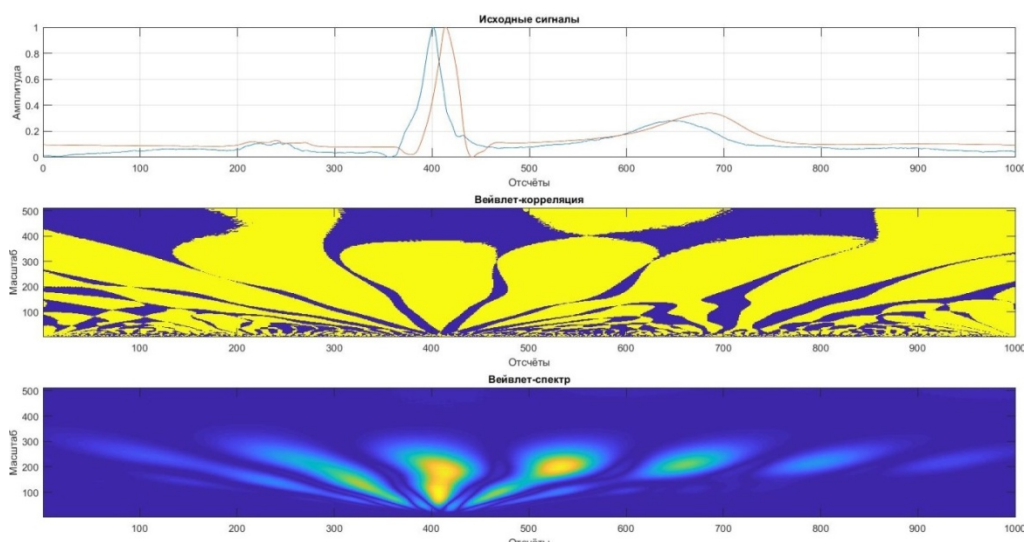


Рисунок 2. Перекрёстное вейвлет преобразование здорового сигнала.

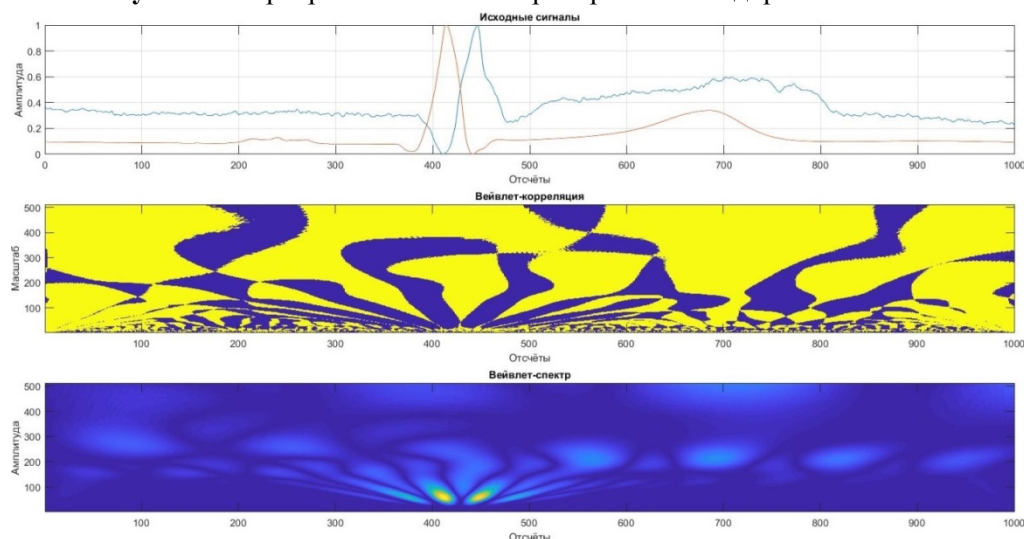


Рисунок 3. Перекрёстное вейвлет преобразование патологического сигнала.

Из полученных графиков видно, что область QT-зоны находится в интервале отсчётов от 350 до 750 – слева от пика R и на некотором расстоянии от него же справа. Более точные значения связанные будут получены в ходе дальнейших экспериментов. Это означает, что для дальнейшего исследования требуется рассмотреть именно этот временной промежуток. Для

этого требуется просуммировать значения спектра или корреляции в интервале от 350 до 750 по времени и по всем значениям масштабов, согласно следующей формуле.

$$WCS(s) = \sum_{t=350}^{750} WCS(s, t). \tag{5}$$

Далее требуется определить значимый для обнаружения инфаркта миокарда интервал масштабов, который позволит различить здоровый и патологический сигнал. Из рисунка 4 видно, что данный интервал масштабов находится между 75 и 325 масштабами.

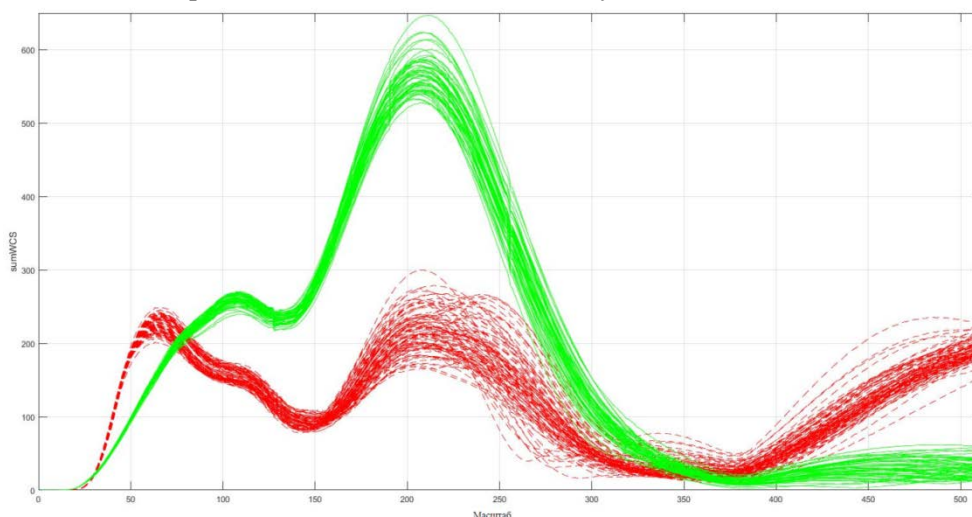


Рисунок 4. Просуммированный спектр здорового и патологического сигналов.

На основе полученных в интервалах по времени и масштабам суммарных значений спектра и корреляции строится точечный график зависимости вейвлет-спектра от вейвлет-корреляции, представленный на рисунке 5.

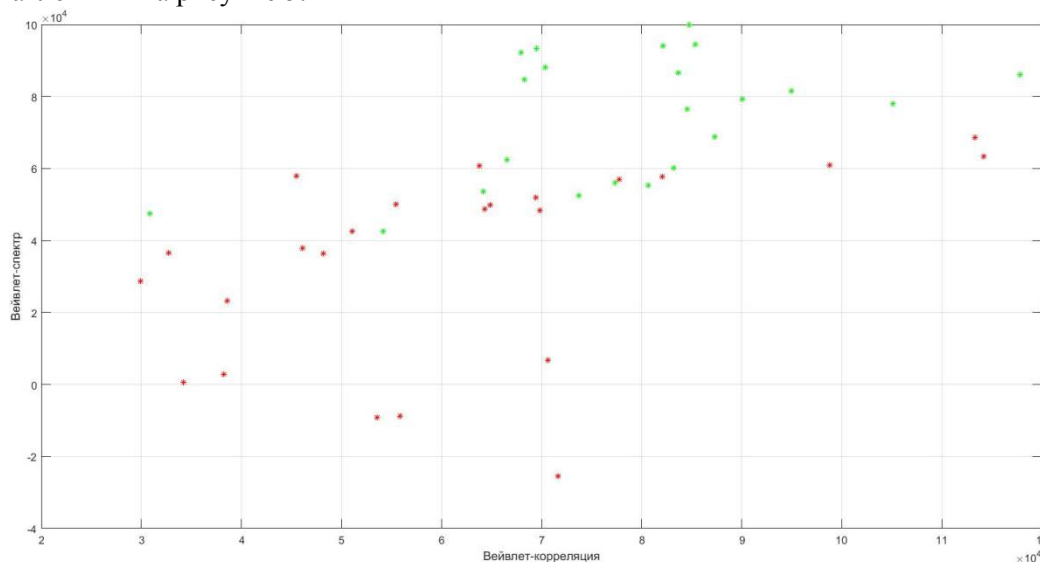


Рисунок 5. Расположение выделенных признаков в пространстве.

4. Заключение

В результате данной работы были получены частично разделимые множества точек, которые в дальнейшем позволят различать пациентов с инфарктом миокарда от здоровых пациентов. Также подобный подход, основанный на перекрестном вейвлет-преобразовании может быть применён для дальнейшего анализа кардиосигналов и обнаружении признаков иных сердечно-сосудистых заболеваний.

Для бинарной классификации полученного набора признаков будут использованы различные методы классификации, такие как: метод опорных векторов, метод ближайших соседей и методы градиентного бустинга, что позволит создать систему автоматического обнаружения сердечно-сосудистых заболеваний.

5. Литература

- [1] Surda, J. Spectral Properties of ECG Signal / J. Surda, S. Lovas, J. Pucik, M. Jus // 17th International Conference Radioelektronika, 2007. – 5 p. DOI: 10.1109/RADIOELEK.2007.371653.
- [2] Fedotov, A.A. Effective QRS-Detector Based on Hilbert Transform and Adaptive Thresholding / A.A. Fedotov, A.S. Akulova, S.A. Akulov // IFMBE Proceedings. – 2016. – Vol 57. – P. 140-144.
- [3] Грибунин, В.Г. Введение в вейвлет-преобразование / В. Г. Грибунин. – Санкт-Петербург, АВТЭКС, 2000 – 59 с.
- [4] Daubechis, I. The wavelet transform time frequency localization and signal analysis / I. Daubechis // IEEE Transactions on Information Theory. – 1990. – Vol. 36(5) – P. 961-1004.
- [5] Banerjee, S. Application of Cross Wavelet Transform for ECG Pattern Analysis and Classification / S. Banerjee, M. Mitra // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2014. – Vol. 63(4) – P. 326-333. DOI: 10.1109/TIM.2013.2279001.
- [6] Liping, L. A Quality Assessment Method of Single-Lead ECG Signal Based on Spectral Analysis / Liping Li // 8th International Conference on Information Technology in Medicine and Education, 2016 – P. 35-38. DOI: 10.1109/ITME.2016.0018.
- [7] Dey, D. Cross-wavelet transform as a new paradigm for feature extraction from noisy partial discharge pulses / D. Dey, B. Chatterjee, S. Chakravorti, S. Munshi // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. – 2010 – Vol. 17(1) – P. 157-166. DOI: 10.1109/TDEI.2010.5412014.
- [8] База данных ЭКГ-сигналов MIT Physionet [Электронный ресурс]. – Режим доступа. <https://physionet.org/physiobank/database/ptbdb/>.

Myocardial infarction detection using wavelet analysis of ECG signal

N.S. Davydov¹, A.G. Khramov¹

¹Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

Abstract. In this paper wavelet transformation is used for study and analysis of ECG signal. Wavelet transformation allows to determine the frequency-time parameters of a cardiac signal, which can later be used to detect signs of cardiovascular diseases. In this paper, a discrete wavelet transformation and a cross wavelet transformation based on a continuous wavelet transformation is used to detect differences between two waveforms of ECG signals. As the object of analysis, cardiac cycles is used, which were extracted from the cardiac signal and processed by wavelet functions.

Keywords: Myocardial infarction detection, ECG signal, Cross-wavelet transform.