

МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКГ

MULTIFRACTAL ANALYSIS
OF ECG RESULTS**M. Koreshkov
N. Krapuhina**

Summary. This article describes the method of determining the presence or absence of heart disease in the ECG using the methods of fractal geometry. Algorithm and software complex was built to calculate the range of dimensions Renyi for each lead EKG to determine the presence of heart disease.

Keywords: ECG, fractal geometry, Renyi dimension spectrum.

Корешков Михаил Александрович

Аспирант, Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС», Москва
koreshkovma@mail.ru

Крапухина Нина Владимировна

К.т.н., профессор, Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС», Москва

Аннотация. В статье излагается метод определения наличия либо отсутствия заболевания сердца по ЭКГ с помощью методов фрактальной геометрии. Разработан алгоритм и построен программный комплекс для вычисления спектра размерностей Реньи для каждого из отведений ЭКГ, позволяющий определить наличие сердечного заболевания.

Ключевые слова: ЭКГ, фрактальная геометрия, спектр размерностей Реньи.

ВВЕДЕНИЕ

По данным медицинской статистики более 17 миллионов человек в мире умирают от сердечно-сосудистых заболеваний. Это число в несколько раз превышает смертность от дорожно-транспортных происшествий. Более 85% от общего числа медицинских функциональных исследований занимают исследования сердечно-сосудистой системы. Несмотря на активное развитие новой высокоразрешающей аппаратуры, одной из важных проблем является разработка методов, позволяющих получить наиболее полную информацию об электро-физиологических свойствах сердца. Именно поэтому в наши дни актуальны поиск, разработка и исследование более сложных, точных и надежных компьютерных алгоритмов обработки временных кардиологических рядов.

Одним из наиболее распространенных инструментов диагностики работы сердечно-сосудистой системы является электро-кардиография (ЭКГ). С помощью электрокардиографии можно получить как оценку работы сердечно-сосудистой системы, так и всего организма в целом. Автоматический анализ ЭКГ является сложной технической задачей ввиду физиологического происхождения сигнала. В свою очередь физиологическое происхождение сигнала ЭКГ приводит к тому, что сигнал является детерминированным, нестационарным и изменчивым. Одним из методов анализа нестационарных процессов является фрактальная геометрия.

На сегодняшний день результаты ЭКГ анализируют с помощью спектрального анализа [3,4], вейвлетов [5,6] и нейронных сетей [7,8]. Несмотря на все преимущества описанных выше методов, они обладают рядом

недостатков в основном потому, что основаны на стационарности и периодичности кардиосигналов. Так же на точность диагностики значительно влияет выбор точки отсчета и длительность исходного кардиосигнала. Наиболее ярко данные недостатки проявляются в критических состояниях, когда для диагностики более информативны изменения в сердечном ритме, нежели чем усредненные оценки.

В данной работе рассматривается возможность анализа ЭКГ с использованием методов фрактальной геометрии. Б.Мандельброт определял фрактал как «структуру, состоящую из частей, которые в каком-то смысле подобны целому». Фракталом называется математическое множество, обладающие свойством однородности в различных шкалах измерения. [1] Структура нервной системы, дыхательных путей и кровеносных сосудов так же имеют фрактальные свойства. Наиболее полно столь сложные структуры можно описать с помощью мультифракталов [2], для определения которых, в отличие от регулярных фракталов, недостаточно введения всего лишь одной величины, его фрактальной размерности d_H , а необходим целый спектр таких размерностей, число которых, вообще говоря, бесконечно. Причина этого заключается в том, что наряду с чисто геометрическими характеристиками, определяемыми величиной d_H , такие фракталы обладают и некоторыми статистическими свойствами.[2]

При параметризации мультифрактальных структур в сложных системах в настоящее время используют спектр обобщенных размерностей Реньи [9,10]. С их помощью можно оценить структурную, информационную и динамическую неоднородность фрактала, что в свою очередь может быть полезным при анализе ЭКГ.

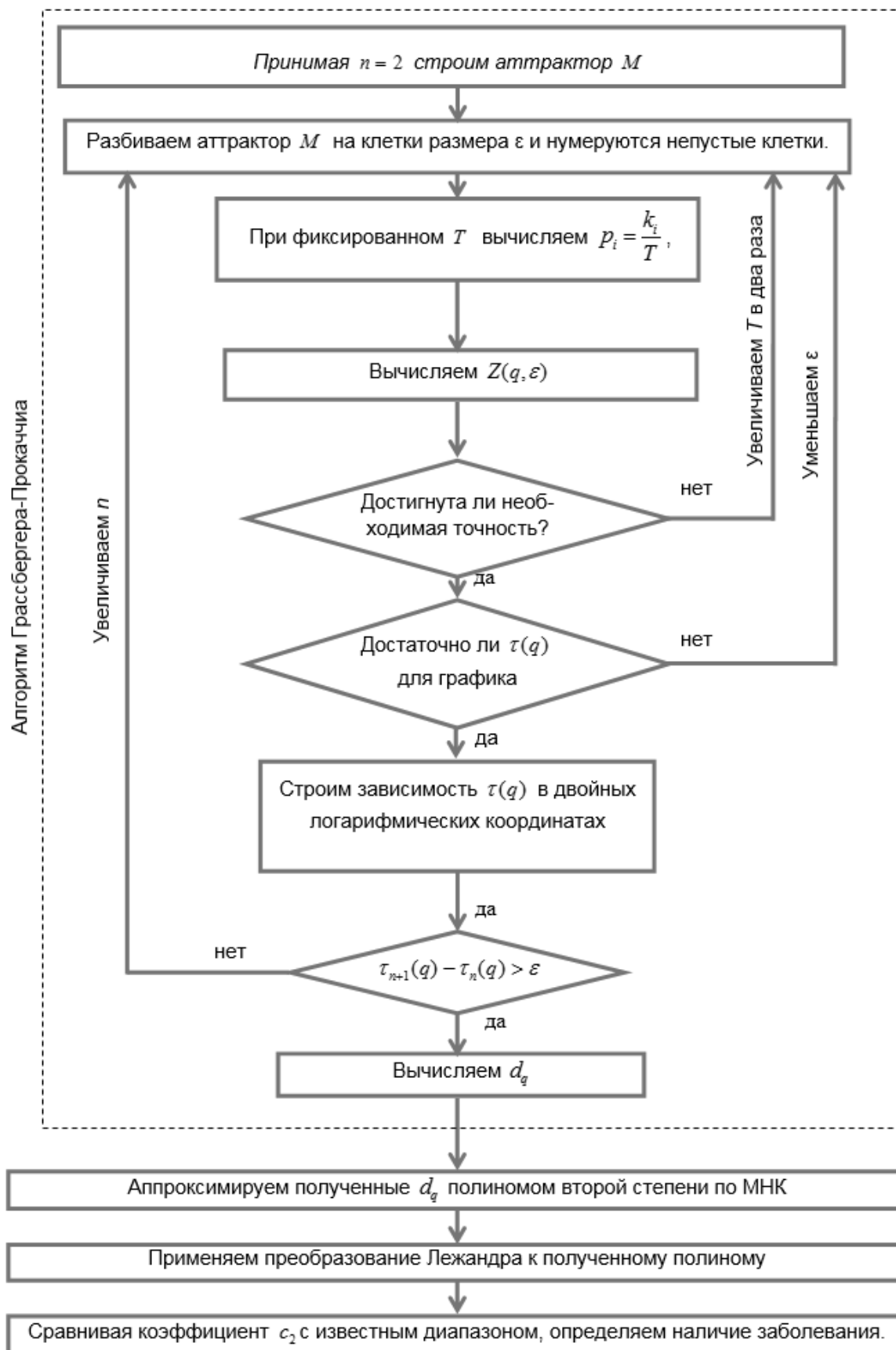


Рис. 1. Алгоритм разработанного программного комплекса

Таблица 1. Максимальные и минимальные значения для каждого из отведений

	I	II	III	V1	V2	V3
Минимальные значения	1,08	1,12	1,04	0,96	1,12	1,10
Максимальные значения	1,20	1,29	1,38	1,21	1,23	1,29

Таблица 2. Максимальные и минимальные значения для каждого из отведений

	AVR	AVL	AVF	V4	V5	V6
Минимальные значения	1,08	1,06	1,06	1,11	0,98	1,10
Максимальные значения	1,20	1,24	1,47	1,24	1,19	1,23

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Основной целью данной работы является построение математического, алгоритмического и программного обеспечения для исследования ЭКГ методами фрактальной геометрии.

Исходные данные представляют собой файлы в графическом формате, содержащие ЭКГ, снятые в 12 стандартных отведениях, а также сведения о пациенте и диагнозе.

Для выполнения данной цели необходимо:

- ◆ Разработать программное обеспечение, вычисляющее спектр размерностей Реньи.
- ◆ Провести эксперименты на реальных данных.

АЛГОРИТМ

Для того что бы вычислить значения спектра Реньи для каждого из отведений ЭКГ требуется:

1. По стохастической кривой построить аттрактор M в псевдофазовом пространстве \mathbb{R}^N

$$M = \{(f(t_i), f(t_{i+1}), \dots, f(t_{i+n-1})) | i = 0, \dots, K - N + 1\},$$

где $[t_0, t_k]$ — область определения кривой $t_{i+1} = t_i + \Delta$, Δ — шаг выборки $2 \leq n \ll K$.

2. Вычислить значения спектра Реньи d_q для $M(n)$. Для этого необходимо:

Вычислить $p_i = \frac{k_i}{T}$, где k_i — число точек в i -ой непустой клетке, $T(\varepsilon)$ — общее количество точек, вычисляемое по формуле $T = K - n + 1$

Найти d_q по формуле, $d_q = \frac{\tau(q)}{q-1}$, где (4)

$$\tau(q) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln Z(q, \varepsilon)}{\ln \varepsilon} \quad (5)$$

$$Z(q, \varepsilon) = \sum_{i=1}^{T(\varepsilon)} p_i^q \quad (6)$$

Увеличивая n находим $\tau_n(q)$, по графику $\tau_n(q)$ находим точку n_0 , после которой $\tau_n(q) = \text{const}(n), n \geq n_0$, тогда n_0 — размерность вложения, $\tau_n(q)$ — искомая $\tau(q)$.

Было предположено, что аппроксимировав вычисленные $\tau(q)$ полиномом второй степени по методу наименьших квадратов и применив преобразование Лежандра

$$\alpha = \frac{d\tau}{dq} \quad (7)$$

$$f(\alpha) = q \frac{d\tau}{dq} - \tau, \quad (8)$$

станет возможным определение отсутствия либо наличия заболевания сердца на основе вычисленных параметров. Для проверки данного предположения был построен программный комплекс, работающий по алгоритму, представленному на рис. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В качестве исходных данных были взяты 450 ЭКГ из тестовой версии компьютерного электрокардиографа «Миокард-12», среди которых были 8 ЭКГ здоровых людей, и 442 ЭКГ людей, с различными заболеваниями сердца. В результате анализа построенное программное обеспечение диагностировало наличие заболеваний у 386 пациентов. Таким образом, точность определения заболеваний составила 85,78%.

Так же в ходе эксперимента было выяснено, что для здоровых людей полученные значения лежат в интервалах, приведенных в табл. 1 и табл. 2

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основе вышеописанной методики построен программный комплекс для диагностики нали-

чия заболеваний сердца по ЭКГ. Данный метод пока позволяет определить лишь отсутствие либо наличие заболевания, но он может быть использован как для экспресс-диагностики, так и как составная часть более сложного

диагностического комплекса. К недостаткам данной методики следует отнести то, что пока полученные результаты нельзя считать точными, так как среди исследуемых пациентов крайне мало людей без отклонений в работе сердца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федер Е. Фракталы. // Пер. с англ.-М.: Мир, 1991.-254с. (Jens Feder, Plenum Press, NewYork, 1988)
2. С.В. Божокин, Д. А. Паршин. Фракталы и мультифракталы. // М: Бином.2001
3. Омельченко В.П., Демидова А. А., Караханян К. С. Применение методов нелинейной динамики для оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы при различных функциональных пробах // Известия ЮФУ. Технические науки. 2010. № 8 (109). С. 139–143.
4. Серебряков П.В., Мелентьев А. В., Демина И. Д. Клинико-диагностическое значение variability сердечного ритма у работников, подвергающихся воздействию шумовибрационного фактора // Медицина труда и промышленная экология. 2010. № 7. С. 1–6
5. Коломейцева А.В., Мишугова Г. В., Мул А. П., Рябых Г. Ю. Применение вейвлет-преобразования и метода Прони для идентификации биогенных сигналов // Вестник Донского государственного технического университета. 2010. Т. 10. № 4 (47). С. 455–465.
6. Пигаль А.С., Пигаль П. Б. Применение вейвлет-преобразования для анализа кардиосигналов: предварительные результаты исследования // Здоровье для всех. 2014. № 1. С. 914.
7. Кривцов А.Ю., Новикова Н. М. Использование математического аппарата нейронных сетей для обработки графических сигналов ЭКГ // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации. 2012 с. 114–116
8. Зо Зо Тун, Филист С. А. Искусственная нейронная сеть на основе радиальных базисных функций для классификации кардиоциклов электрокардиосигналов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2010. № 8 (109). С. 80–85.
9. Рогов А.А., Спиридонов К. Н. Применение спектра фрактальных размерностей Реньи как инварианта графического изображения // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2008. № 2. С. 30–43.
10. Светова Н. Ю. Относительные размерности Реньи // Проблемы анализа. 2012. № 19. С. 015–023.

© Корешков Михаил Александрович (koreshkovma@mail.ru), Крапухина Нина Владимировна.

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

