

Алгоритм выделения медленных волн и дыхательных ритмов из электрокардиосигнала

Аннотация

Предложен алгоритм, позволяющий выделить медленные волны и дыхательные ритмы из квазипериодических сигналов живой системы. Алгоритм основан на амплитудном детектировании и морфологическом анализе электрокардиосигнала. Алгоритм позволяет локализовать медленные и дыхательные волны кардиосигнала посредством оконного преобразования Фурье.

Важной особенностью систем, описываемых квазипериодическими процессами, являются медленные волны. Система, в частности живая, характеризуется множеством медленных волн, отличающихся частотой основной гармоники и, как следствие, временными интервалами наблюдения сигнала, необходимыми для их выделения. При этом исследователю часто приходится отвечать на следующий вопрос: являются ли медленные волны более низкого порядка проявлением уникальных свойств системы или ее подсистем или это просто более высокие гармоники одного и того же системного ритма? От ответа на этот вопрос будет зависеть структура классификатора, построенного на основе анализа медленных волн [1].

Существующие методы выделения медленных волн на основе анализа квазипериодических биосигналов, в том числе пульсовых сигналов, можно разделить на две группы: 1) методы первичного анализа сигнала, когда производится непосредственное измерение амплитудных и временных значений характерных элементов сигнала; 2) методы вторичного анализа, когда на основе выделенных элементов формируется сигнал («вторичный»), характеризующий новые свойства сигнала.

Методы вторичного анализа квазипериодических сигналов, используемые в настоящее время в основном для оценки вариации сердечного ритма (ВСР), позволяют выявить активность регуляторных механизмов организма (центрального, вегетативного, гуморального, рефлекторного).

Несмотря на огромное число исследований в этой области, возможности методологии анализа ритмической структуры биосигналов далеко не исчерпаны и ее развитие продолжается.

Если выдвинуть гипотезу о модуляции кардиосигнала медленной волной частоты Ω , то выражение, позволяющее оценить спектр амплитудно-модулированного сигнала, имеет следующий вид [2]:

$$u(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi) + \frac{U_0 M}{2} \times \{ \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \varphi + \psi] + \cos[(\omega_0 - \Omega)t + \varphi - \psi] \}, \quad (1)$$

где M – коэффициент модуляции; U_0 , ω_0 и φ – амплитуда, частота и фазовый сдвиг модулируемого сигнала.

Из выражения (1) видно, что колебания $u(t)$ имеют дискретный спектр, состоящий из трех высокочастотных составляющих, поэтому для выделения этих составляющих можем воспользоваться оконным преобразованием Фурье (ОПФ).

Амплитудное ОПФ ЭКС представлено на *рис. 1*. Маркеры на *рисунке* проставлены в области частот 1 и 0,15 Гц. Анализ этого спектра показывает, что энергия ОПФ сосредоточена в области нулевой гармоники. Такое распределение спектральных составляющих сигнала не позволяет локализовать спектры дыхательной составляющей и медленных волн, и, следовательно, не представляется возможным сформировать пространство информативных признаков на основе спектра ОПФ.

Исследование ритмических структур электрокардиосигнала (ЭКС) осуществлялось в соответствии со схемой алгоритма, представленной на *рис. 2*. Для выделения медленных волн из электрокардиосигнала Y определяют абсолютную величину сигнала $|Y|$. Эпюра этого сигнала представлена на *рис. 3а*. В блоке 2 задают длину структурообразующего элемента согласно формуле

$$l_w = (1,3 \dots 1,6) \frac{60 \cdot f_d}{ЧСС}, \quad (2)$$

где f_d – частота дискретизации сигнала Y (выбрана равной 100 Гц).

В блоке 3 осуществляют морфологическую операцию дилатации [3] сигнала $|Y|$ с множеством нулевых элементов, определяемым структурообразующим элементом W , и получают динамический ряд

$$Z1 = |Y| \oplus W. \quad (3)$$

На *рис. 3б* представлена эпюра сигнала, полученного на выходе блока 3. Фрагмент листа MathCad с программным обеспечением для определения этого сигнала представлен на *рис. 4*.

В блоке 4 вычисляют постоянную составляющую сигнала, полученного в результате морфологической опе-

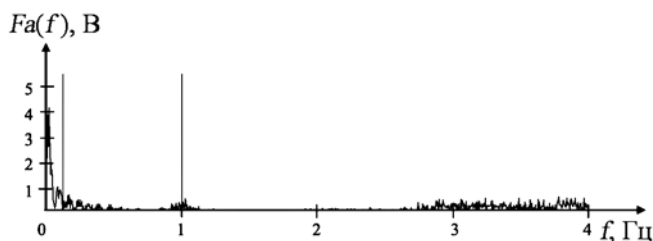


Рис. 1. Оконные преобразования Фурье электрокардиосигнала

рации дилатации, а в блоке 5 эту составляющую вычитают из сигнала, полученного на выходе блока 3. Эпюра сигнала, полученная на выходе блока 5, представлена на рис. 3в.

На рис. 5 представлен спектр медленных волн, полученный в результате ОПФ сигнала, представленного на эпюре рис. 3в.

Заключение

Разработан алгоритм спектрального анализа электрокардосигнала, основанный на методах амплитудного детектирования и морфологического анализа, позво-

ляющий локализовать медленные и дыхательные волны кардосигнала посредством оконного преобразования Фурье. Локализация медленных и дыхательных волн электрокардосигнала в спектральной области позволяет формировать пространства информативных признаков, предназначенные для систем интеллектуальной поддержки диагностики сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний.

Исследования выполнены при поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг., проект «Гибридные технологии анализа и классификации сложноструктурируемых изображений для медицинских приложений».

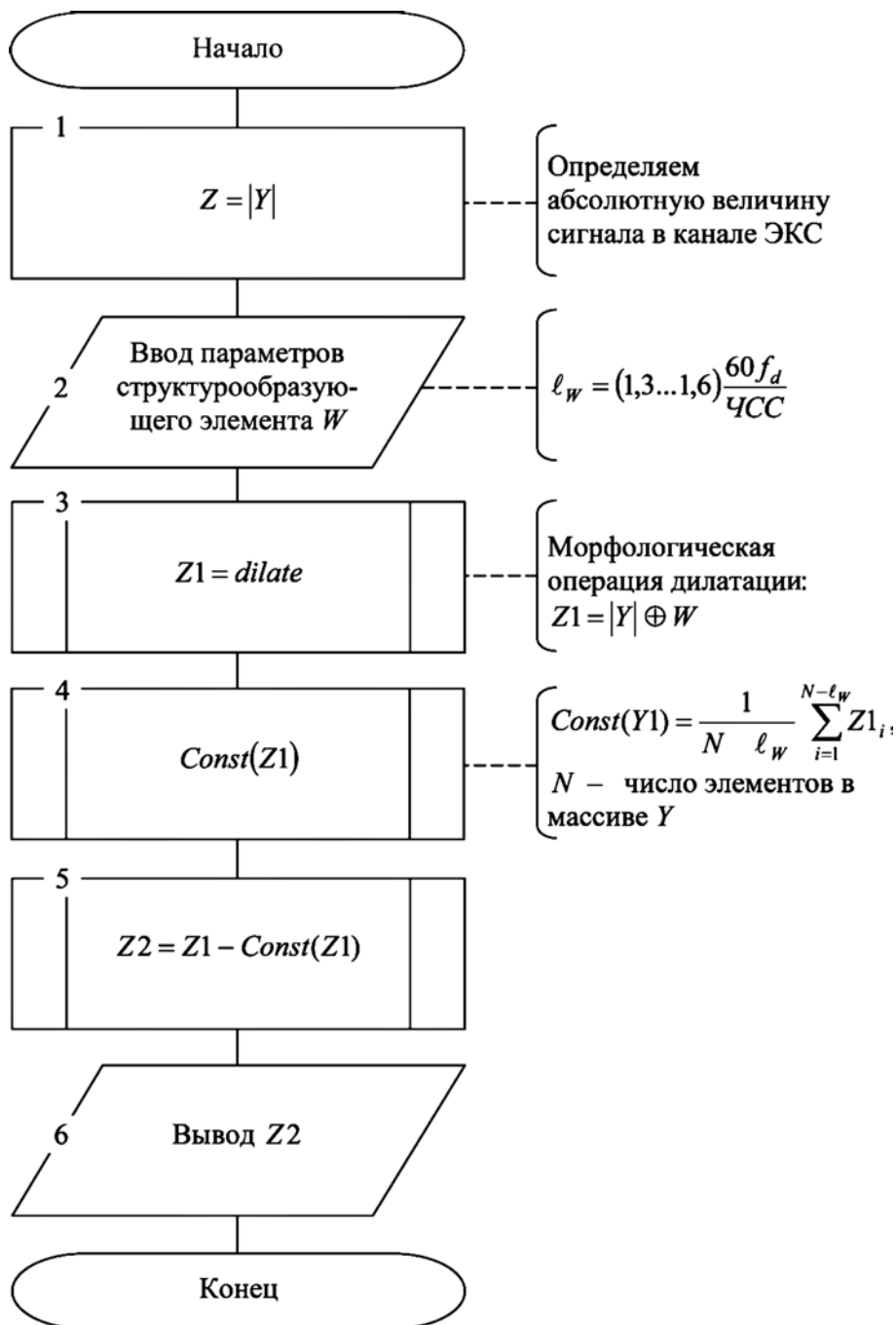


Рис. 2. Схема алгоритма морфологического анализа электрокардосигнала

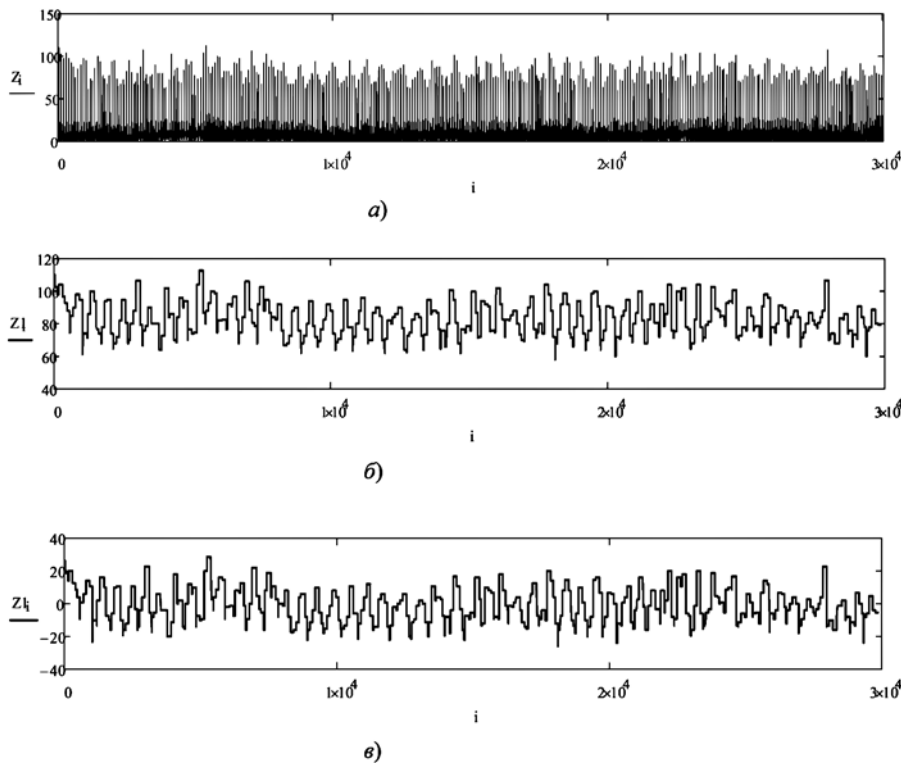


Рис. 3. Эпюры, соответствующие последовательности обработки сигнала

```

W := 140
Z1 :=
  for i ∈ 0..(N - 1 - W)
    k ← 0..W - 1
    k ← 0
    for j ∈ i..i + W - 1
      B_k ← Z_j
      k ← k + 1
    MAX ← max(B)
    Z1_i ← MAX
  Z1
  
```

Рис. 4. Фрагмент листа MathCad с программным обеспечением выделения медленных волн из электрокардиосигнала

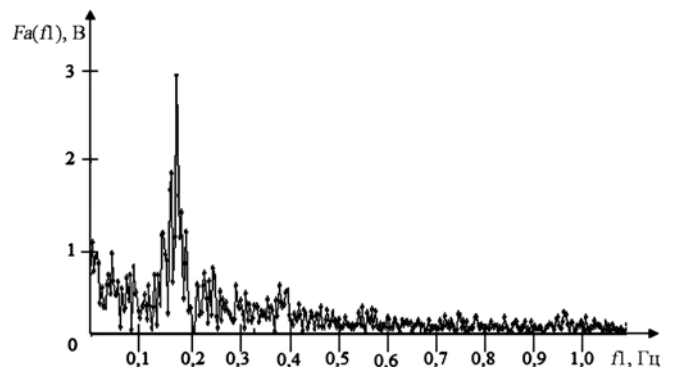


Рис. 5. Спектр медленных волн электрокардиосигнала

Список литературы:

1. *Филист С.А., Волков И.И., Емельянов С.Г.* Метод классификации сложных объектов на основе анализа структурных функций медленных волн // Биомедицинская радиоэлектроника. 2012. № 4. С. 6-11.
2. *Васильев Д.В., Витоль М.Р., Горшенков Ю.Н. и др.* Радиотехнические цепи и сигналы. Уч. пособие для вузов / Под ред. К.А. Самойло. – М.: Радио и связь, 1982. 528 с.
3. *Филист С.А., Зо Зо Тун, Шаталова О.В.* Способы и алгоритмы морфологического анализа в задачах распознавания QRS-комплексов // Научные ведомости БелГУ. 2011. № 7 (102). Вып. 18/1. С. 129-136.

*Сергей Алексеевич Филист,
д-р техн. наук, профессор,
кафедра биомедицинской инженерии,
ФГБОУ ВПО «Юго-Западный
государственный университет»,*

*Валерий Вячеславович Жилин,
канд. техн. наук, доцент,
кафедра высшей и прикладной математики,
ФГБОУ ВПО «Курская государственная
сельскохозяйственная академия им. проф. И.И. Иванова»,
Владимир Николаевич Мишустин,
д-р мед. наук, профессор,
кафедра биомедицинской инженерии,
Виталий Семенович Титов,
д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой,
кафедра вычислительной техники,
ФГБОУ ВПО «Юго-Западный
государственный университет»,
г. Курск,
e-mail: sfilist@gmail.com*