



СПОСОБЫ И АЛГОРИТМЫ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В ЗАДАЧАХ РАСПОЗНАВАНИЯ QRS - КОМПЛЕКСОВ

30 30 ТУН
С.А. ФИЛИСТ
О.В. ШАТАЛОВА

Юго-Западный
государственный университет

e-mail:
SFilist@gmail.com

В представленной работе исследуется один из подходов к выделению и описанию QRS-комплексов: мультимасштабное морфологическое преобразование, основанное на использовании морфологических операций дилатации и эрозии в движущемся «окне». Оно позволяет выявить характерные точки QRS-комплексов, на основе которых находятся интегральные и точечные описания ЭКГ-сигнала. Использование предложенного преобразования позволяет описать морфологию ЭКГ-сигнала в пространстве и времени и сформировать вектор информативных признаков, предназначенный для нейросетевого анализатора кардиодиагноза.

Ключевые слова: морфологический оператор, электрокардиосигнал, морфологический признак, алгоритм сегментации.

При распознавании желудочкового ЭКГ (QRS-комплекса) решаются задачи обнаружения комплекса и определения характерных точек комплекса (опорной точки, служащей для изменения RR-интервала, точек начала и конца комплекса, а также крайних точек и вершин его зубцов).

Для очерчивания и сегментирования QRS-комплексов из кардиоциклов ЭКС используется морфологические операторы, полученные на основе мультимасштабного морфологического преобразования (ММП). Особая точка в одномерном сигнале определена как точка, у которой производная справа и производная слева имеют различные знаки [1]. Для особой точки ММП определяется следующим образом. Производная справа в точке n может быть представлена морфологическим оператором $M_f^+(n)$, который определен как:

$$M_f^+(n) = \frac{(f(n) \oplus B_s)(n) - f(n)}{s}, \quad (1)$$

где s – масштаб, определяемый шириной «окно» B_s в отсчетах; B_s - окно масштабного структурирования.

Подобным образом, производная слева может быть представлена морфологическим производной $M_f^-(n)$, которая определена как:

$$M_f^-(n) = \frac{f(n) - (f(n) \ominus B_s)(n)}{s}. \quad (2)$$

В уравнениях (1) и (2) используются две фундаментальных операции мультимасштабной морфологии.

Операция дилатация:

$$(f(n) \oplus B_s)(n) = \max_{m=1, \dots, s} \{f(n-m) + B_s(m)\}, \quad (3)$$

где $n=N-m, \dots, N$, $m = \{1, 2, \dots, s\}$.

Операция эрозии:

$$(f(n) \ominus B_s)(n) = \min_{m=1, \dots, s} \{f(n+m) - B_s(m)\}, \quad (4)$$

где $n=1, \dots, N-m$, $m = \{1, 2, \dots, s\}$.

На рис.1. приведен алгоритм сегментации QRS-комплексов в отфильтрованном сигнале ЭКГ. В начале процедуры сегментирования QRS-комплексов выполняется ввод сигнала, отфильтрованного при предварительной обработке ЭКС.

В блоках 2 и 3 параллельно выполняются операции нахождения мульти-масштабных морфологических производных: производной справа и производной слева.

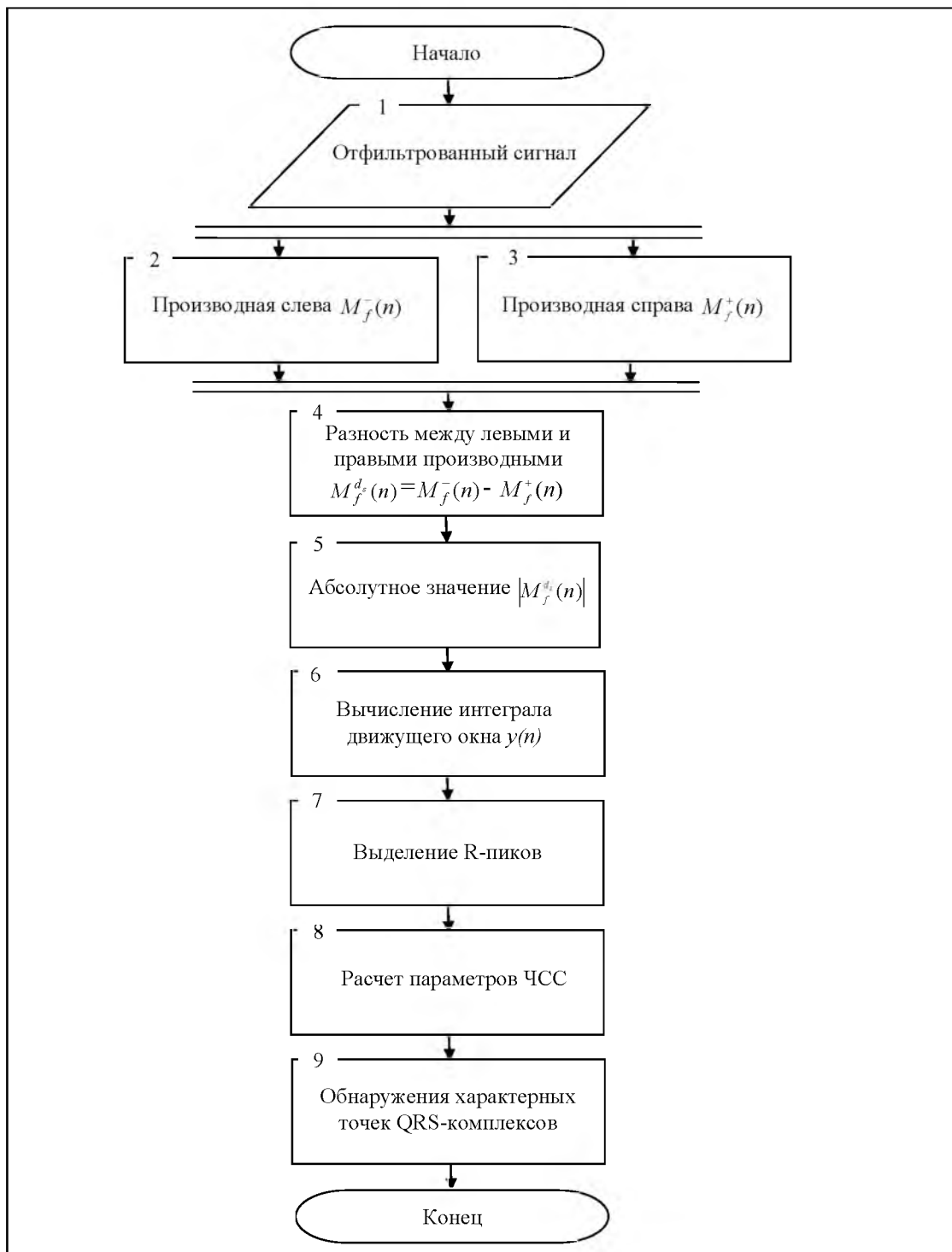


Рис. 1. Схема алгоритма сегментации QRS-комплексов

Разность между левыми и правыми производными определяется следующим образом (блок 4 на рис. 1):



$$M_f^{d_s}(n) = M_f^+(n) - M_f^-(n) = \frac{(f(n) \oplus B_s)(n) - f(n)}{s} - \frac{f(n) - (f(n) \ominus B_s)(n)}{s} = \frac{(f(n) \oplus B_s)(n) + (f(n) \ominus B_s)(n) - 2f(n)}{s} \tag{5}$$

На рис. 2. представлены результаты работы ММП.

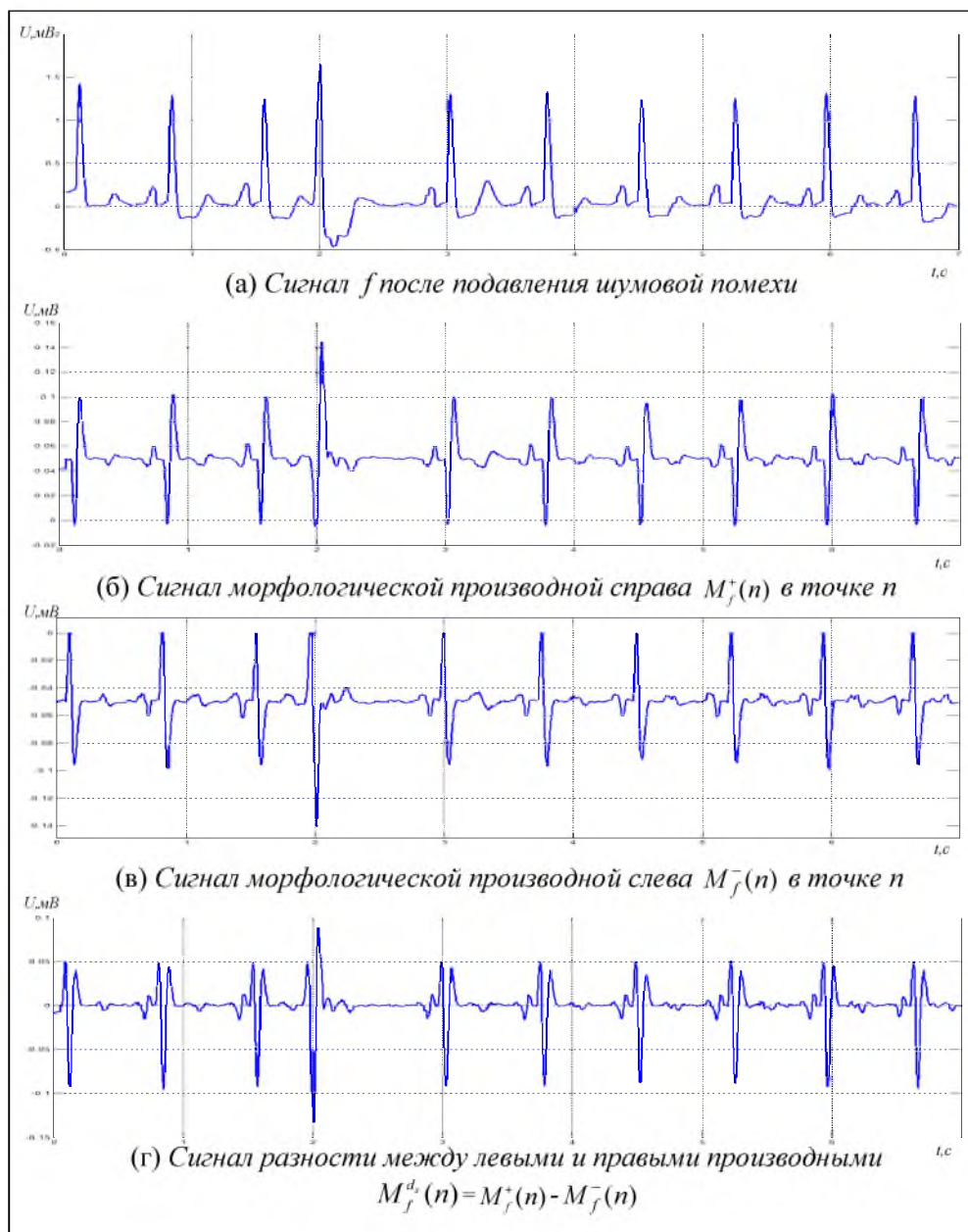


Рис. 2. Графическое представление сигналов преобразования ММП ($M_f^{d_s}(n)$) в масштабе $s=20$

В блоке 5 на рис.1. вычисляется абсолютное значение сигнала ММП (показан на рис. 3б). Для того, чтобы определить координаты R-пиков, нужно вычислять интеграл движущего окна $y(n)$ (блок 6 на рис. 1):

$$y(n) = \frac{M_a(n-m) + M_a(n-(m-1)) + M_a(n-(m-2)) + \dots + M_a(n)}{2m+1} +$$



$$+ \frac{M_a(n+1) + M_a(n+2) + \dots + M_a(n+m)}{2m+1}, \quad (6)$$

где $\xi=1, \dots, N$, $m=20$, $M_a(n) = |M_f^{d_s}(n)|$.

На рис.3. (в) видно, что все волны ЭКГ (P, Q, R, S, T) объединялись в одной волне. Здесь локальные максимумы, большие, чем порог, определяют центры “окон” для R-пиков. Для определения окон для R-пиков в сигнале $y(n)$ нужно вычислить выражение (7) (блок 7 на рис. 1).

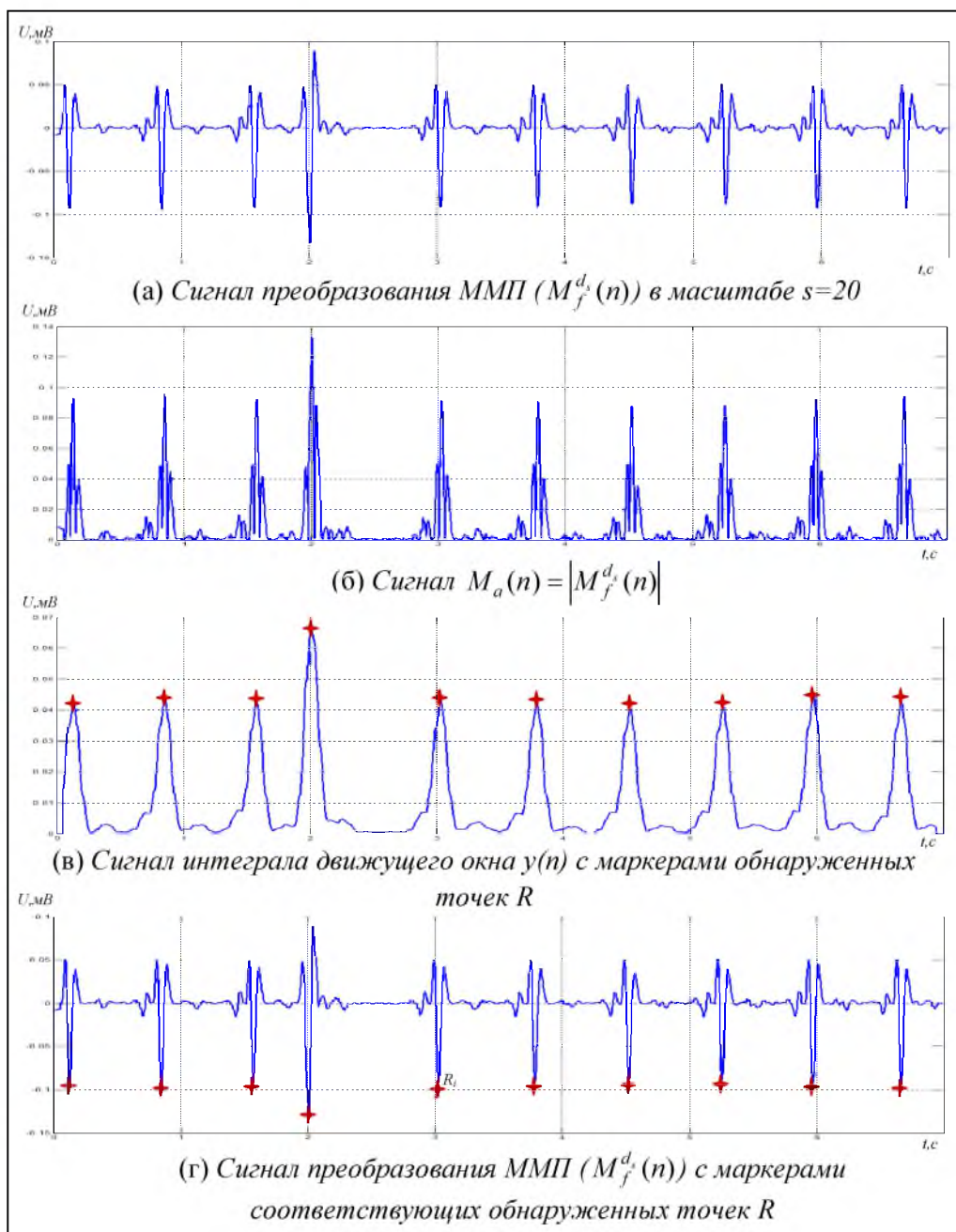


Рис. 3. Графическое представление сигналов обработки обнаружения нахождения R-пиков в сигнале интеграла окна движения

Если $((y(\xi) > \sup\{y(\xi-1), y(\xi-2), \dots, y(\xi-m)\})$ И $(y(\xi) > \sup\{y(\xi+1), y(\xi+2), \dots, y(\xi+m)\})$ И $(y(\xi) > \text{порог})$, то

$$R = \{\xi-m, \xi-m+1, \dots, \xi, \xi+1, \dots, \xi+m\}, \tag{7}$$

где $\xi=1, \dots, N$, $m=20$, R – множество координат R-пиков. Здесь значение порога выбрано по гистограмме $h(n)$ интеграла движущего окна.

Значение порога вычисляется следующим образом:

$$\text{Если } h(n) \leq (F/60)*t, \text{ то } p = x(n), \tag{8}$$

где p – порог, $h(n)$ – количество отсчетов в соответствующем интервале динамического диапазона $x(n)$, $x(n)$ – амплитуды сигнала в точках n , t – длительность сигнала, F – частота дискретизации. Здесь значение порога выбирается 0.0177.

В блоке 8 на рис.1 выполняется вычисление частоты сердечных сокращений. После обнаружения R-пиков вычисляются значения RR-интервала каждого кардиоцикла ($T_{RR_i} = T_{R_i} - T_{R_{i-1}}$). При расчете частоты сердечных сокращений ЧСС используют следующие способы:

- Текущее ЧСС – $Hb_i = 60/T_{RR_i}$ (T_{RR_i} – длительность RR-интервала текущего кардиоцикла);
- Среднее ЧСС – $Hb_i^c = 60/T_{RR}^c$ (T_{RR}^c – средняя длительность RR-интервала);
- Минимальное ЧСС – $Hb_i^{\min} = 60/T_{RR}^{\min}$ (T_{RR}^{\min} – минимальная длительность RR-интервала);
- Максимальное ЧСС – $Hb_i^{\max} = 60/T_{RR}^{\max}$ (T_{RR}^{\max} – максимальная длительность RR-интервала);
- ЧСС в интервале 3 минут – $Hb_i^3 = (60 \times R)/3$,

где R – количество R-пиков в интервале $T_{RR_i}^3$ ($T_{RR_i}^3$ – интервал от $T_{RR_i} - 1.5$ до $T_{RR_i} + 1.5$);

- ЧСС в интервале 5 минут – $Hb_i^5 = (60 \times R)/5$,

где R – количество R-пиков в интервале $T_{RR_i}^5$ ($T_{RR_i}^5$ – интервал от $T_{RR_i} - 2.5$ до $T_{RR_i} + 2.5$).

На рис.4 проиллюстрированы три из вышеперечисленных способов расчета ЧСС.

На рис.1 в блоке 9 выполняется обнаружение характерных точек QRS-комплекса в ЭКС. Принцип обнаружения характерных точек QRS-комплекса иллюстрируется на рис. 5. После определения локальных окон движения для R-пиков выдаются локальные окна по номерам отсчетов. Локальным минимумам в $M_{f_s}^d(n)$ соответствуют R-пики в ЭКС.

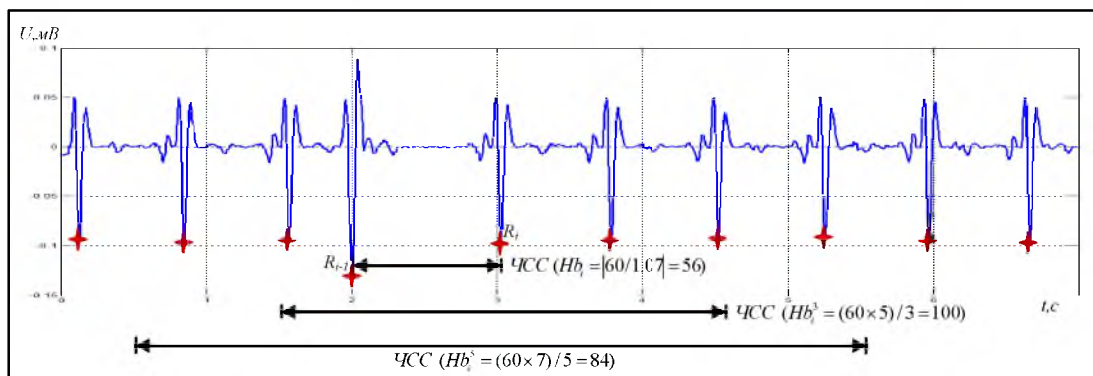


Рис. 4. Иллюстрация способов расчета ЧСС



Для каждого найденного R-пика первый локальный максимум с его левой стороны определяет начало волны R (rOn), первый локальный максимум на его правой стороне определяет конец волны R (rOff).

Первый локальный минимум слева от положительной волны R определяется как волна Q. Если минимум не может быть определен, то волна Q отсутствует. (Есть временной интервал для обнаружения волны Q, который установлен здесь равным 0.12 с).

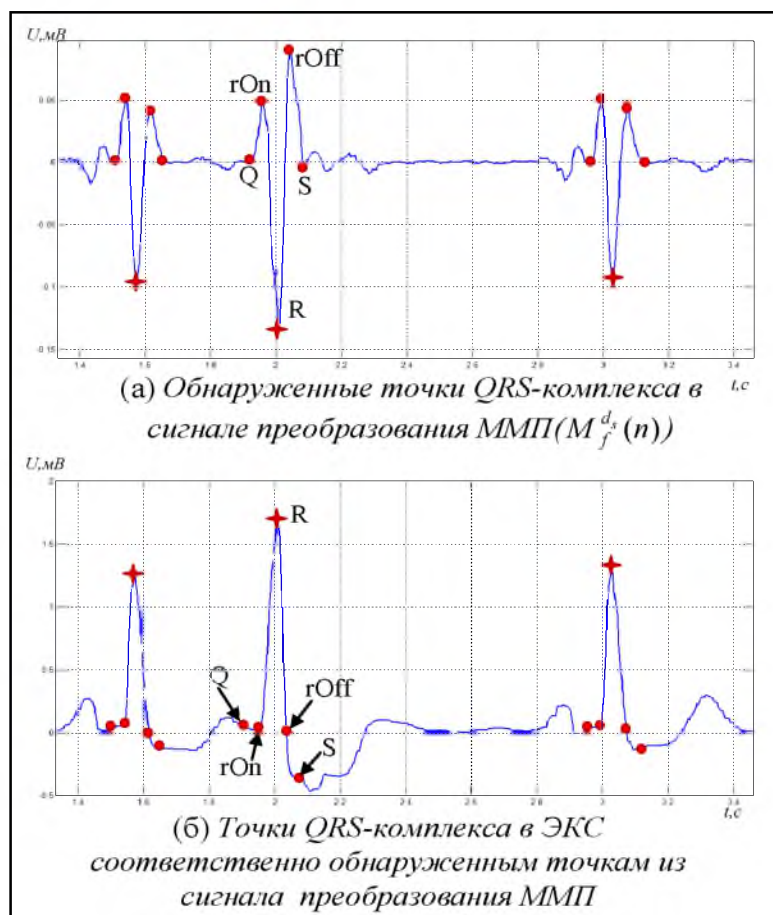


Рис. 5. Обнаружения характерных точек QRS-комплекса

Первый локальный минимум справа от положительной волны R определяет как волна S. Иначе, волна S отсутствует. Для обнаружения волны S выбран интервал 0.12 с.

Затем определяются характерные точки QRS-комплекса в ЭКГ соответственно обнаруженным точкам из сигнала ММП $M_f^{d_s}(n)$.

При вычислении морфологических признаков из кардиоциклов ЭКГ используются следующие обозначения:

- a) R – амплитуда R-пика;
- b) rOn – амплитуда начала R-пика;
- c) rOff – амплитуда конца R-пика;
- d) T_R – время нахождения R-пика;
- e) T_Q – время нахождения начала QRS-комплекса;
- f) T_S – время нахождения конца QRS-комплекса;
- g) T_{rOn} – время нахождения Q-пика;



- h) T_{rOff} – время нахождения S-пика;
- i) $rPrev$ – время нахождения предыдущего R-пика;
- j) $rNext$ – время нахождения следующего R-пика;
- k) T_i^+ – интервал положительных отчетов QRS-комплекса;
- l) T_i^- – интервал отрицательных отчетов QRS-комплекса;
- m) R_i^+ – положительные отчеты QRS-комплекса;
- n) R_i^- – отрицательные отчеты QRS-комплекса.

По этим значениям вычисляются морфологические признаки ЭКС. Описание вычисленных морфологических признаков представлено на рис. 6.

По значениям отчетов сигнала, полученных после проведения мультимасштабного преобразования, вычисляются морфологические признаки ЭКС по следующим формулам:

- Ширина QRS-комплекса (W)
- $$W = T_S - T_Q, \tag{9}$$

- Интервал от начала волны Q до R-пика (Ip)
- $$Ip = T_R - T_Q, \tag{10}$$

- Интервал от начала волны Q до S-пика (In)
- $$Ip = T_{rOff} - T_Q, \tag{11}$$

- Площадь положительных отчетов QRS-комплекса (Ap)
- $$Ap = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N-1} (T_i^+ R_{i+1}^+ - T_{i+1}^+ R_i^+), \tag{12}$$

где N – количество положительных отчетов QRS-комплекса,

- Площадь отрицательных отчетов QRS-комплекса (An)
- $$An = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N-1} (T_i^- R_{i+1}^- - T_{i+1}^- R_i^-), \tag{13}$$

где N – количество отрицательных отчетов QRS-комплекса,

- QRS-наклон для интервала от начала волны R до R-пика ($S1$)
- $$S1 = \frac{R - rOn}{T_R - T_{rOn}}, \tag{14}$$

- QRS-наклон для интервала от R-пика до S-пика ($S2$)
- $$S2 = \frac{rOff - R}{T_{rOff} - T_R}, \tag{15}$$

- Разница между амплитудами R-пика и S-пика (dRS)
- $$dRS = rOff - R, \tag{16}$$

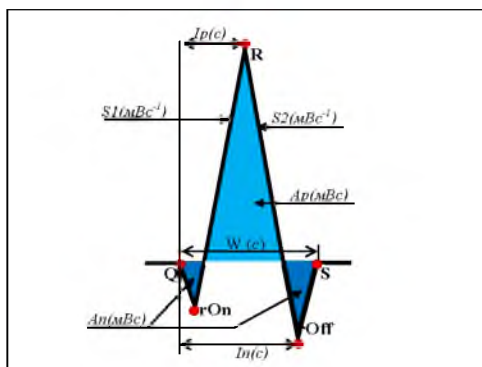


Рис. 6. Графическая иллюстрация морфологических признаков, выделенных из ЭКГ



Таким образом, разработан способ формирования пространства информативных признаков для интеллектуальных систем классификации ЭКГ- сигналов и предложен алгоритм для его реализации. Способ основан на морфологической обработке отсчетов электрокардиосигнала в скользящем окне и отличается тем, что для вычисления морфологических признаков QRS- комплексов используют маркеры сигнала, координаты которых определяются посредством мультимасштабного морфологического преобразования в скользящем окне. После вычисления морфологических признаков, набор векторов морфологических признаков QRS-комплекса кардиоциклов и набор параметров ЧСС подаются на вход нейронной сети для классификации кардиоциклов ЭКС. При обработке ЭКС и обнаружении QRS-комплексов в ЭКС пропускаются самый первый и последний кардиоциклы. Векторы информативных признаков, полученные посредством вычисления морфологических признаков, и наборы параметров ЧСС можно использовать при классификации кардиоциклов ЭКС и постановке кардиодиагноза.

Исследования проведены при поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

Литература

1. Зо Зо Тун. Программный модуль для кодирования QRS-комплексов на основе морфологических признаков [Текст] / Зо Зо Тун, С.А. Филист, С.А. Горбатенко// Биомедицинская радиоэлектроника. №2, 2010. С.24-29.

WAYS AND ALGORITHMS OF THE MORPHOLOGICAL ANALYSIS IN PROBLEMS OF RECOGNITION QRS-COMPLEXES

ZAW ZAW TUN
S. A. FILIST
O. V. SHATALOVA

South-west State University

e-mail:
SFilist@gmail.com

In the presented work one of approaches to allocation and the description of QRS-complexes is investigated: the multiscale morphological transformation based on use of morphological operations dilatation and erosion in moving "window". It allows to reveal characteristic points of QRS-complexes on which basis there are integrated and dot descriptions of an ECG-signal. Use of the offered transformation allows to describe ECG-signal morphology in space and time and to generate the vector of informative signs intended for the neural network analyzer of the cardiological diagnosis.

Key words: the morphological operator, ECG-signal, a morphological sign, algorithm of segmentation.