

## ФИЛЬТРАЦИЯ ИСХОДНОГО ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА С ПОМОЩЬЮ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО АНАЛИЗА

Пискун И.В., группа КСД-006

Руководитель доц. Шатохин П.А.

Электрокардиография является одним из основных методов исследования сердца и диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы. Подробное описание теоретических основ электрокардиографии и механизмов формирования электрокардиографических изменений при различных заболеваниях и их симптомах приведено в многочисленных руководствах и монографиях по электрокардиографии, но освоение метода регистрации точной электрокардиограммы и правильной её расшифровки до сих пор представляет ряд трудностей. Работа в области электрокардиографии основана в основном на механическом запоминании конфигурации кривой, привычной для того или иного синдрома.

Основная задача при этом состоит в отделении полезной составляющей сигнала от так называемых шумовых помех, которые в значительной мере искажают полезный сигнал. Существует два пути решения данной проблемы: использование Фурье-преобразования или вейвлет-преобразования для обработки исходного электрокардиографического сигнала.

Для преобразования Фурье базисом являются функции  $w_n(t)$ , полученные из функции:

$$w(t) = e^{it} = \cos(t) + i\sin(t) \quad (1)$$

Базис строится путём масштабного преобразования:

$$w_n(t) = w(n \cdot t) \quad (2)$$

При этом функция  $w(t)$  имеет период  $2\pi$ . [1] Аппарат Фурье-преобразований широко используется при обработке сигналов, так как даёт

достаточно простые формулы для расчётов, но здесь существует ряд недостатков.

Основная компонента электрокардиосигнала – QRS-комплекс – является высокочастотной компонентой, в то время как зубцы Р, Т и U – это компоненты, принадлежащие низким частотам. Следовательно, необходимо точное определение частот электрокардиосигнала во времени. Это и является главным недостатком преобразования Фурье при применении в данной области. Проблема состоит в том, что Фурье-преобразование не позволяет определить точное положение частотных компонент в сигнале. Именно эти компоненты являются изменяющимися во времени.

Вейвлет-преобразование даёт возможность справиться с существующей проблемой, так как обладает самонастраивающимся подвижным частотно-временным окном, которое в равной мере хорошо выявляет как высокочастотные, так и низкочастотные составляющие сигнала на разных временных масштабах. Аппарат вейвлет-преобразования основан на наборе анализирующих функций – вейвлетах, которые раскладывают электрокардиосигнал на некоторую последовательность коэффициентов. Каждый из этих вейвлетов в свою очередь имеет определённую длительность, полосу частот и положение во времени. И поэтому в результате преобразования вейвлет-коэффициенты соответствуют электрокардиографическим компонентам на определённой частотной полосе и временном отрезке.[2]

Вейвлет-преобразование некоторого сигнала  $f(t)$  состоит в разложении вида:

$$f(t) = C_0 \cdot \psi(t) + \sum_{j=1}^N \sum_{k=0}^{2^j-1} C_{jk} \cdot \varphi_{jk}(t) \quad (3)$$

Здесь базис вейвлет-преобразования представлен множеством  $\varphi_{jk}(t)$ . Это функции, которые были получены из материнского вейвлета  $\varphi(t)$  с помощью двух основных операций: сдвига функции на  $2^{-j} \cdot k$  и временного сжатия в  $2^j$  раз, таким образом:

$$\varphi_{jk}(t) = 2^{\frac{j}{2}} \cdot \varphi(2^j t - k) \quad (4)$$

$\psi(t)$  – это отцовский вейвлет, который представляет собой аналог константы.

На сегодняшний день самое мощное программное обеспечение вейвлетного анализа данных – это пакет расширения Wavlet Toolbox системы MatLab. В обычном алгоритме MatLab быстрого вейвлет-преобразования при переходе с предыдущего масштабного уровня  $m$  на последующий уровень  $m+1$  функция аппроксимирующих коэффициентов  $f_{m,k}$  разделяется на низкочастотную ( $c_{m+1,k}$ ) и высокочастотную ( $d_{m+1,k}$ ) части спектрального диапазона, и при дальнейшем увеличении масштабных уровней аналогичному разложению последовательно подвергаются только низкочастотные функции. В пакетном же алгоритме быстрого вейвлет-преобразования операция последовательного частотного расщепления применяется как для низкочастотных, так и для высокочастотных коэффициентов. В результате чего возникает дерево расщепления.

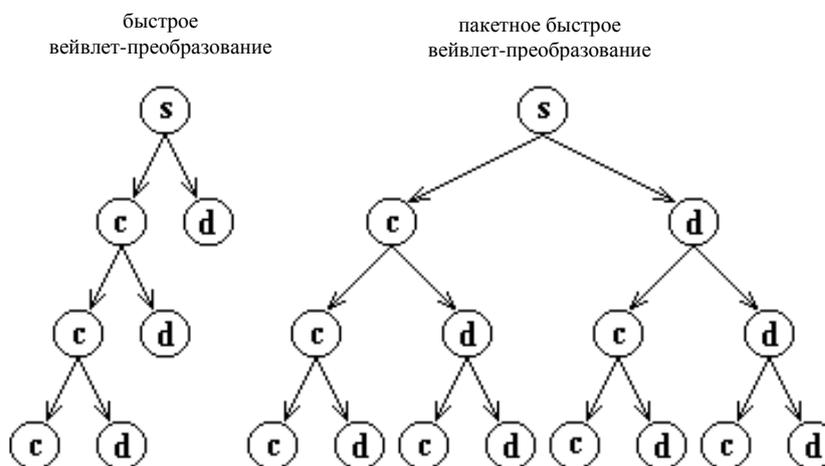


Рисунок 1 – Пример дерева расщепления

При таком расщеплении вейвлеты каждого последующего уровня образуются из вейвлета предыдущего уровня при помощи расщепления на два новых вейвлета. Новые вейвлеты также локализованы в пространстве, но на

вдвое более широком интервале. Полный набор вейвлетных функций разложения называется вейвлет-пакетом. Пакетное вейвлет-преобразование является оптимальным решением при очистке сигналов от шумов. Оно даёт возможность более точно приспособляться к особенностям сигналов путем выбора соответствующей оптимальной формы дерева разложения, которая обеспечивает минимальное количество вейвлет-коэффициентов при заданной точности реконструкции сигнала, и, тем самым, целенаправленно исключает из обратного быстрого вейвлет-преобразования информационно избыточные и незначимые детали сигналов. Мерой оптимальности в данном случае выступает концентрация числа вейвлет-коэффициентов для реконструкции сигнала с заданной точностью, что характеризует погрешность метода. Оценка информативности набора коэффициентов выполняется по энтропии:

$$E = \exp\left(-\sum_n p_n \cdot \log(p_n)\right) \quad (5)$$

$$p_n = |x_n|^2 \cdot \|x\|^{-2} \quad (6)$$

Любое усреднение коэффициентов увеличивает энтропию. При анализе дерева вычисляется энтропия узлов и его разделенных частей. Если при разделении узла энтропия не уменьшается, то дальнейшее ветвление с этого узла не имеет смысла.

Использование данной методики дало результаты, которые с допустимой погрешностью отделяют полезную составляющую электрокардосигнала от шумовых искажений. Ниже приведен график отфильтрованного сигнала при помощи дискретного вейвлета Майера.

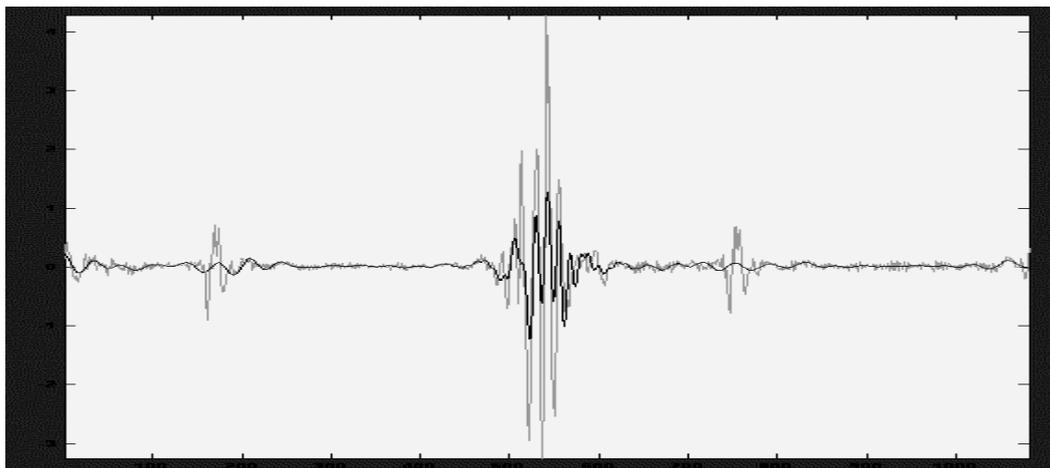


Рисунок 2 – Пример использования быстрого пакетного вейвлет-преобразования для очистки сигнала от шума

#### Перечень ссылок

1. Вейвлет-преобразование. Теоретические сведения и пример использования / Электронный ресурс. Способ доступа: URL:<http://relpress.website.ru/currier/5/wavelet/wavelet.htm>
2. Чесноков Ю.В., Чижиков В.И. «Вейвлет-преобразование в обработке электрокардиограмм» / Электронный ресурс. Способ доступа: URL:[www.mednet.com/koi8/publikac/vmnt/2003/n1/p5.htm](http://www.mednet.com/koi8/publikac/vmnt/2003/n1/p5.htm)
3. Козлов П.В., Чен Б.Б. «Вейвлет-преобразование и анализ временных рядов» / Электронный ресурс. Способ доступа: URL: [www.krsu.edu.kg/vestnik/v2/a15.html](http://www.krsu.edu.kg/vestnik/v2/a15.html)
4. Дьяконов В., Абраменкова И. «MATLAB. Обработка сигналов и изображений: Специальный справочник» – СПб: Питер, 2002, 608 с.