

# Усовершенствование метода фильтрации биомедицинских сигналов при непрерывном поступлении данных

Чонг Хью Чан

Кафедра Биотехнических систем  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)  
tronghuu@mail.ru

**Аннотация.** В работе рассмотрены методы фильтрации биомедицинских сигналов и проведена оценка их эффективности при фильтрации ЭКС. Предложен алгоритм фильтрации биосигналов при непрерывном поступлении данных на основе интеграции дискретного вейвлет-преобразования и нерекурсивной фильтрации.

**Ключевые слова:** фильтрация; вейвлет-преобразование; биомедицинские сигналы; реальное время

## I. АКТУАЛЬНОСТЬ

В системе измерения биомедицинских сигналов (БМС) требуется фильтрация помех и шумов, возникающих при съеме и регистрации БМС. В последнее время значительное внимание привлекает подход фильтрации БМС на основе дискретного вейвлет-преобразования (ДВП). Однако применение вейвлет-анализа при обработке нестационарных биомедицинских сигналов практически мало проводится в масштабе реального времени [1, 2]. Поэтому, разработка методик и алгоритмов фильтрации БМС при непрерывном поступлении данных, стала актуальной задачей при разработке высококачественных систем измерения биомедицинских сигналов.

Целью настоящей работы является усовершенствование методов фильтрации биомедицинских сигналов при непрерывном поступлении данных на основе дискретного вейвлет-преобразования.

## II. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе нами использовалась БМС из базы данных MIT-BIH полисомнографии открытого доступа Physionet. Для обработки и анализа БМС использовался инструмент Матлаб.

Метод фильтрации помех и шумов БМС на основе ДВП реализуется следующим образом. При независимом пропуске сигнала через низкочастотный  $G$  и высокочастотный  $H$  фильтры получены сигнал аппроксимации и сигнал детализации. Существуют пакетный алгоритм и алгоритм Маллата при реализации ДВП. Пакетный алгоритм, являясь адаптивным и приспосабливаясь к особенности сигналов, позволяет

целенаправленно фильтровать сигналы при заданной точности реконструкции. При пакетном расщеплении с использованием вейвлет-фильтров  $G$  и  $H$  длиной  $L$  на  $j$ -уровни разложения от предыдущего каждого сигнала  $S_{j-1}(t)$  получают два сигнала аппроксимации  $C_{S,j}(t)$  и сигнал детализации  $D_{S,j}(t)$  по формуле:

$$C_{S,j}(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{i=0}^{L-1} S_{j-1}(t-i) * H(i). \quad (1)$$

$$D_{S,j}(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{i=0}^{L-1} S_{j-1}(t-i) * G(i). \quad (2)$$

Синтезируемый сигнал  $S_{j-1}(t)$  получен как сумма отфильтрованных сигнала  $S_{j-1}^1(t)$  и  $S_{j-1}^2(t)$  от  $H'$ ,  $G'$  фильтров при обратном вейвлет-преобразовании на  $j-1$  разложении.

$$S_{j-1}^1(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{i=0}^{L-1} C_{S,j}(t-i) * H'(i). \quad (3)$$

$$S_{j-1}^2(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{i=0}^{L-1} D_{S,j}(t-i) * G'(i). \quad (4)$$

На основе ДВП могут быть предложены некоторые варианты решения для фильтрации БМС. Метод фильтрации SQR-LOG реализуется следующим образом. Проводя прямое ДВП, сигнал детализации  $D_{S,j}(t)$  фильтруется методом мягкого порога с определением пороговых значений методом SQR-LOG для удаления белого шума. Потом осуществляется обратное ДВП для сигнала аппроксимации  $C_{S,j}(t)$  и отфильтрованного сигнала  $D_{S,j}'(t)$ .

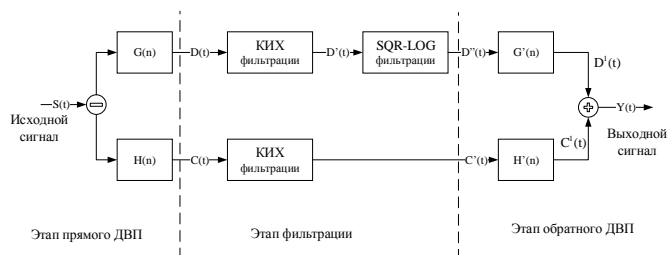


Рис. 1. Предлагаемый метод фильтрации

Метод фильтрации на основе ДВП позволяет фильтровать сигналы в диапазоне частот, зависимой от центральной частоты материнского вейвлета. Нерекурсивный КИХ-фильтр способен выдавать результаты фильтрации БМС в зависимости от его типа, длины и выбранного определенного частотного диапазона. Объединение фильтрации методом ДВП и нерекурсивным методом позволяет предложить алгоритм фильтрации БМС, представленный на рис. 1. Предложенный алгоритм состоит из этапа прямого ДВП, этапа фильтрации, этапа обратного ДВП. В данной работе нами проведен анализ эффективности фильтрации алгоритмов при использовании пакетного ДВП на первом уровне.

При оценке эффективности фильтрации между исходным оригинальным  $S(t)$  и отфильтрованным  $Y(t)$  сигналами длиной отчетов  $N$  предполагается использовать два параметра: средняя квадратическая ошибка СКО (формула 5) и отношение сигнал/шум SNR (формула 6).

$$CKO = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} (S_i - Y_i)^2}. \quad (5)$$

$$SNR = 10 \cdot \log\left(\frac{\sum_{i=0}^{N-1} Y_i^2}{\sum_{i=0}^{N-1} (S_i - Y_i)^2}\right). \quad (6)$$

### III. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки эффективности фильтрации обрабатывают и анализируют фрагменты ЭКС длиной 50000 отсчётов (примерно 200 мс) у каждой записи. Шумовой сигнал получен путем добавки к исходному ЭКС из базы данных MIT-BIH шумов с частотой  $f$  и  $(f+2)$ :

$$d_i = 0,05 \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{f}{F_d} i\right) + 0,05 \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{f+2}{F_d} i\right).$$

где  $F_d$  – частота дискретизации, в данном случае 250 Гц,  $i$  – номер отсчёта

Для фильтрации ЭКС нами применялись вейвлет-фильтры db6, КИХ-фильтр Window с применением оконного сглаживания Хэмминга с порядком 30 и полосой пропускания 0,05-100 Гц. В табл. 1 и 2 представлены СКО и SNR для сравнения эффективности фильтрации

предложенного нами метода по сравнению с КИХ и различными методами SQR-LOG методами для исходного и отфильтрованного сигналов и шумов.

ТАБЛИЦА I  
ЗНАЧЕНИЯ СКО И SNR ДЛЯ ШУМОВ И ОТФИЛЬТРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

записи	СКО			SNR		
	КИХ метод	метод SQR-LOG	Предложенный метод	КИХ метод	метод SQR-LOG	Предложенный метод
Slp01a	0.050185	0.050115	0.050301	23.42	23.50	23.36
Slp02a	0.050635	0.05095	0.05102	25.30	25.19	25.12
Slp03	0.050746	0.051085	0.051174	31.83	31.70	31.64
Slp04	0.050188	0.050311	0.050325	31.90	31.89	31.83
Slp14	0.050043	0.049983	0.05008	27.64	27.71	27.62
Slp16	0.050835	0.051002	0.051494	33.39	33.34	33.11

ТАБЛИЦА II  
ЗНАЧЕНИЯ СКО И SNR ДЛЯ ИСХОДНЫХ И ОТФИЛЬТРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

записи	СКО			SNR		
	КИХ метод	метод SQR-LOG	Предложенный метод	КИХ метод	метод SQR-LOG	Предложенный метод
Slp01a	0.003817	0.005562	0.005503	74.94	67.47	67.62
Slp02a	0.006777	0.011043	0.009341	65.67	55.92	59.23
Slp03	0.007629	0.0119	0.010324	69.72	60.84	63.66
Slp04	0.00391	0.007401	0.005578	82.94	70.22	75.83
Slp14	0.002891	0.004641	0.003949	84.67	75.24	78.42
Slp16	0.009238	0.01271	0.012494	67.49	61.13	61.44

При сравнении эффективности фильтрации сигналов с аддитивными шумами, очевидно, отношения сигнал/шум SNR для рассматриваемых методов практически не отличаются, а значение СКО для предложенного метода больше чем у остальных методов. Это значит, предложенный метод позволяет тщательнее различать полезный сигнал при сохранении уровня влияния шумов на полезный сигнал. В табл. 2 отфильтрованный сигнал, полученный КИХ методом, менее различим от «исходного стандартного» сигнала из-за существования белого шума, который обладает хаотическими свойствами. На основе ДВП, значение SNR у сигнала, отфильтрованного с использованием предложенного метода, выше чем у сигнала, отфильтрованного с использованием стандартного метода SQR-LOG, а значение СКО меньше. Следовательно, предложенный метод позволяет фильтровать помехи и шумы для получения полезного сигнала с минимальными различиями от исходного сигнала. Предложенный метод имеет некоторые преимущества по сравнению с известными методами. На рис. 2 представлены результаты фильтрации на недлительном фрагменте ЭКС с использованием различных методов.

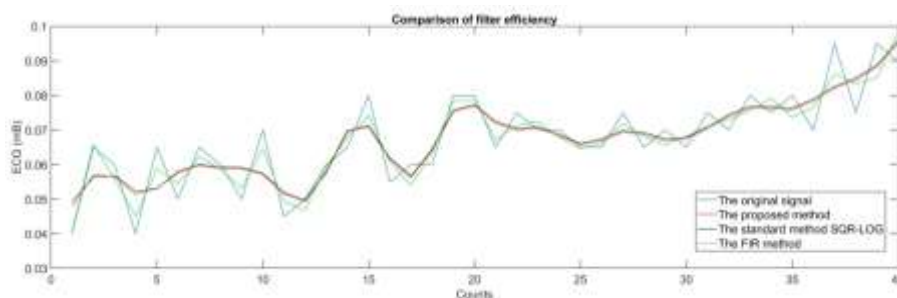


Рис. 2. Результаты фильтрации различными методами

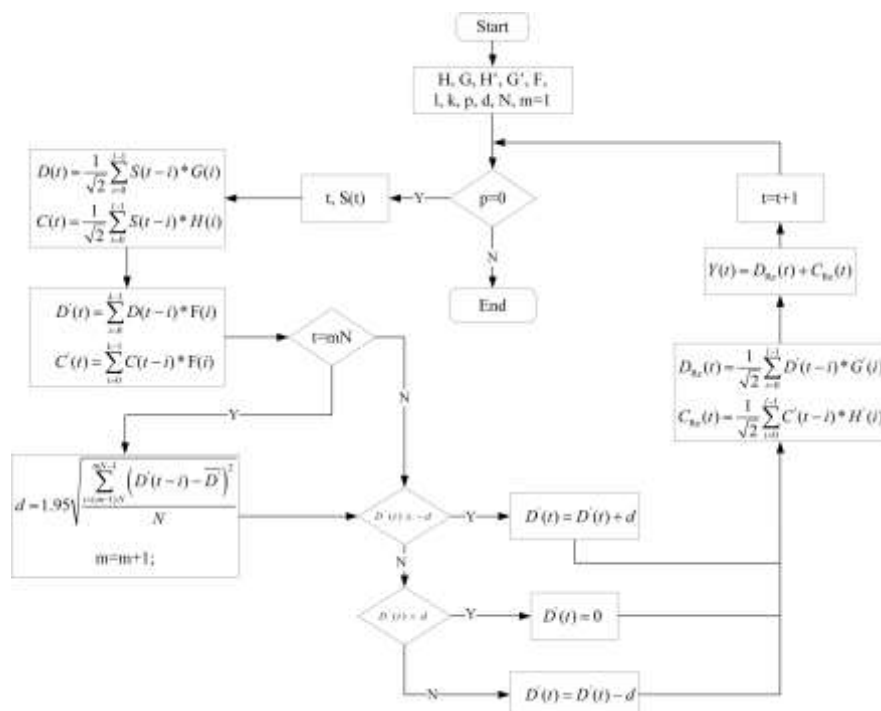


Рис. 3. Алгоритм фильтрации БМС при непрерывном поступлении данных

В медицинских диагностических системах требуются алгоритмы фильтрации БМС, обеспечивающие высокую эффективность фильтрации в масштабе реального времени. Из выше рассмотренного исследования, направленного на сравнение эффективности фильтров, предложен такой алгоритм фильтрации БМС при непрерывном поступлении данных (рис. 3). Заданы четыре фильтра  $H, G, H', G'$  длиной  $l$  и КИХ-фильтр  $F$  длиной  $k$ . Режим  $p=0$  предназначен для непрерывного поступления сигнала, а  $p=1$  для остановки поступления. Алгоритм реализуется для входного сигнала  $S(t)$  в  $t$ -номере отсчета. Алгоритм состоит из блока прямого ДВП, блока КИХ-фильтрации, блока фильтрации SQR-LOG, блока обратного ДВП. Данный алгоритм отличается от известных алгоритмов тем, что пороговое значение для удаления белого шума может быть адаптивным, в зависимости от предыдущего фрагмента  $N$ -отсчетов. Обычно  $N$  выбирают равным частоте дискретизации.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования эффективности фильтрации биомедицинских сигналов с применением

методов на основе вейвлет-анализа и нерекурсивного фильтра можно сделать следующие выводы:

1. Интеграция метода фильтрации на основе дискретного вейвлет-преобразования с использованием метода SQR-LOG для удаления белого шума и метода КИХ-фильтрации позволяет более эффективно фильтровать сигналы с требуемой полосой пропускания без рассмотрения полосы частот помех и шумов.

2. Предложенный алгоритм фильтрации биомедицинских сигналов в режиме реального времени обладает высокой эффективностью и может быть реализован как аппаратно, так и программно.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Абдуллаев Н.Т., Дышин О.А., Хасмамедова Г.Т. Спектральный анализ электрокардиографических сигналов на основе вейвлет-пакетной обработки // Медицинская техника, №1 (259), 2010 г., с. 30-35.
- [2] Radovan Stojanovic, Sasa Knezevic, Dejan Karadaglic, Goran Devedzic Optimization and Implementation of the Wavelet Based Algorithms for Embedded Biomedical Signal Processing // Computer Science and Information Systems - Volume 10(1), pp. 503-523, January 2013, DOI: 10.2298/CSIS120517013S.