

УДК 681.31

## РАЗЛОЖЕНИЕ НА ЭМПИРИЧЕСКИЕ МОДЫ НА ОСНОВЕ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

*Мясникова Н.В., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика»  
ФГОУ ВПО «Пензенский государственный университет», e-mail: avitel@pnzgu.ru, genok123@mail.ru;  
Берестень М.П., к.т.н., доцент кафедры «Автоматика и телемеханика»  
ФГОУ ВПО «Пензенский государственный университет», e-mail: avitel@pnzgu.ru, beresten@sura.ru.*

**Ключевые слова:** экстремальная фильтрация, знакопеременные составляющие, разложение на эмпирические моды.

### Введение

Метод декомпозиции на эмпирические моды (EMD) является одним из новых в области цифровой обработки сигналов. Этот подход обладает высокой степенью адаптации к исследуемым сигналам, что позволяет проводить точное оценивание реальных свойств процессов, в том числе и нестационарных. Ключевым моментом является использование «декомпозиции на эмпирические моды», с помощью которой любой сложный сигнал может быть разложен на конечное и часто довольно малое число «эмпирических мод», каждая из которых содержит определенную информацию об исследуемом процессе.

В настоящее время EMD-разложение не имеет такой стройной и глубоко изученной теоретической базы, которой наделен классический анализ Фурье или вейвлет-анализ. Алгоритм имеет эмпирическую природу [1-3].

Авторы уже неоднократно указывали на сходство EMD-разложения и экстремальной фильтрации, позволяющей разложить многоэкстремальный сигнал на знакопеременные составляющие [4-6]. Причем в последних статьях алгоритм экстремальной фильтрации излагали таким образом, чтобы подчеркнуть сходство с EMD-разложением [5], а затем и преобразованием Гильберта-Хуанга (ННТ) [7]. Мы хотим представить теоретическое обоснование метода экстремальной фильтрации, результатом которой является разложение на знакопеременные составляющие.

Первоначально метод экстремальной фильтрации (ЭФ) тоже позиционировался как эмпирический, т.е. не имеющий теоретического обоснования. Теоретического обоснования структуры фильтров и их коэффициентов не было. Авторами предпринимались попытки найти оптимальные структуры фильтров и значений их коэффициентов.

В дальнейшем авторам удалось теоретически обосновать метод разложения на знакопеременные составляющие и доказать, что это единственно возможные коэффициенты. Приведем это доказательство.

*Приведено описание метода экстремальной фильтрации. Метод основан на последовательном выделении высокочастотных составляющих, локально определенных экстремумами сигнала. Показано сходство с разложением на эмпирические моды и преимуществами по сравнению с ним. Приведено теоретическое обоснование метода экстремальной фильтрации.*

### Теоретическое обоснование экстремальной фильтрации

Экстремальная фильтрация основана на параллельном выполнении двух процедур – низкочастотной и высокочастотной фильтрации:

– по экстремальным значениям  $y_{\varepsilon i}$  в моменты  $t_{\varepsilon i}, i = 1..K$  производится сглаживание оператором вида

$$y_{\varepsilon i} = 0,25y_{\varepsilon i-1} + 0,5y_{\varepsilon i} + 0,25y_{\varepsilon i+1}, \quad (1)$$

– выделяется знакопеременная составляющая

$$y_{\rho i} = -0,25y_{\varepsilon i-1} + 0,5y_{\varepsilon i} - 0,25y_{\varepsilon i+1}. \quad (2)$$

На последующих итерациях уже из сглаженной составляющей  $y_{\varepsilon i}$ , полученной на предыдущем шаге, извлекается следующая высокочастотная составляющая и производится ее сглаживание.

В основе метода лежит итерационная процедура выделения из сигнала составляющей с известной частотой, локально определяемой временными интервалами между экстремумами, что соответствует пропуску сигнала через адаптивный фильтр высоких частот (2), параллельно происходит и адаптивная низкочастотная фильтрация (сглаживание(1)).

Удаление известных составляющих из сигнала (временного ряда) описано в [8]. Если имеется последовательность  $y_i, i = 0, 1, \dots, N$ , то новая последовательность  $y_{\varepsilon i}$ , уже не содержащая колебательной составляющей частоты  $\omega_1$ , может быть получена с помощью операции свертки, осуществляющей узкополосную фильтрацию исходной последовательности

$$y_{\varepsilon i} = \sum_{k=0}^2 c_k \cdot y_{i-k},$$

где  $c_0 = 1, c_1 = -2 \cdot \exp(-\alpha \cdot \Delta t) \cdot \cos(\omega_1 \cdot \Delta t), c_2 = \exp(-2\alpha \cdot \Delta t), \alpha$  – коэффициент затухания,  $\Delta t$  – шаг дискретизации.

Информацию о высокочастотной составляющей несут экстремумы процесса. Будем исходить из гипотезы, что в сигнале сложной формы содержится колебательная со-



ставляющая с частотой  $f_1 = \frac{1}{2 \cdot \Delta}$ , где  $\Delta$  – минимальное расстояние между экстремумами сигнала. С учетом того, что мы выбрали только экстремумы, получим коэффициенты  $c_0 = 1$ ,  $c_1 = 2 \cdot \exp(-\alpha \cdot \Delta)$ ,  $c_2 = \exp(-2\alpha \cdot \Delta)$ . Можно выбрать небольшой участок процесса, на котором затухание процесса слабо выражено. Тогда получим  $c_0 = 1$ ,  $c_1 = 2$ ,  $c_2 = 1$ , и для удаления высокочастотной составляющей необходимо выполнить действие  $\bar{y}_{ci} = y_{\bar{y}_{i-1}} + 2y_{\bar{y}_i} + y_{\bar{y}_{i+1}}$ .

С учетом нормирования получим сглаженную последовательность

$$y_{ci} = \frac{1}{4}y_{\bar{y}_{i-1}} + \frac{1}{2}y_{\bar{y}_i} + \frac{1}{4}y_{\bar{y}_{i+1}}.$$

А самая высокочастотная знакопеременная составляющая может быть выделена следующим образом

$$y_{pi} = y_{i-1} - y_{ci} = -\frac{1}{4}y_{\bar{y}_{i-1}} + \frac{1}{2}y_{\bar{y}_i} - \frac{1}{4}y_{\bar{y}_{i+1}}.$$

Удобней трактовать действия как осреднение  $i$ -ой точки по соседним, поэтому «сместим» отсчеты на единицу и будем пользоваться формулами (1) и (2).

Применение преобразования (1) соответствует пропуску данных через цифровой фильтр нижних частот с передаточной функцией, определяемой отношением спектров входного и выходного сигналов фильтра

$$G(f) = \frac{Y_c(f)}{Y_s(f)} = 0,25(e^{j2\pi f(t_{\bar{y}_{i-1}} - t_{\bar{y}_i})} + 2 + e^{j2\pi f(t_{\bar{y}_{i+1}} - t_{\bar{y}_i})}).$$

Этот фильтр исключает из сигнала самую высокочастотную составляющую. Положим для простоты, что экстремумы равноудалены друг от друга, тогда передаточная функция примет вид

$$G(f) = 0,25(e^{-j2\pi f \Delta} + 2 + e^{j2\pi f \Delta}) = 0,5(1 + \cos(2\pi f \Delta)).$$

Преобразование (2) реализует цифровой фильтр высоких частот с передаточной функцией

$$G(f) = \frac{Y_p(f)}{Y_s(f)} = 0,25(-e^{j2\pi f(t_{\bar{y}_{i-1}} - t_{\bar{y}_i})} + 2 - e^{j2\pi f(t_{\bar{y}_{i+1}} - t_{\bar{y}_i})}). \quad (3)$$

При тех же допущениях, что были сделаны для первого фильтра, получим выражение для передаточной функции

$$G(f) = 0,25(-e^{-j2\pi f \Delta} + 2 - e^{j2\pi f \Delta}) = 0,5(1 - \cos(2\pi f \Delta)) \quad (4)$$

Отметим, что формулы (3), (4) описывают передаточную функцию фильтра высоких частот. Однако это верно лишь по отношению к частотному диапазону

$$\left[0, \frac{1}{\Delta}\right] \quad (\Delta = \min(t_{\bar{y}_{i+1}} - t_{\bar{y}_i}, t_{\bar{y}_i} - t_{\bar{y}_{i-1}}), \text{ где } t_{\bar{y}_i} - \text{ абсцисса } i\text{-го экстремума), а т.к. при выделении экстремумов из временного ряда происходит их прореживание, а значит – и сужение частотного диапазона последовательности, то по отношению к частотному диапазону } \left[0, \frac{1}{\Delta t}\right] \text{ описываемый фильтр – адаптивный полосовой с центральной частотой } f_y = \frac{1}{2 \cdot \Delta}.$$

$$f_y = \frac{1}{2 \cdot \Delta}.$$

Адаптивность фильтра обеспечивается тем, что минимальное расстояние между экстремумами определяется лишь частотным составом сигнала: на первой итерации величина  $\Delta$  определяется самой высокочастотной составляющей, на следующих итерациях – более низкочастотными составляющими, т.е.  $\Delta$  увеличивается от итерации к итерации, а количество итераций определяется количеством мод.

Очевидно сходство процедур EMD и ЭФ:

- производится выделение экстремумов;
- при вычислении по формуле (1) по экстремумам оценивается среднее между огибающими, представленными экстремумами – соседние экстремумы всегда разноименные (минимумы и максимумы, принадлежащие, соответственно, нижней и верхней огибающей);
- вычисление по формуле (2) соответствует извлечению деталей (при этом в алгоритме не используются сложные алгоритмы построения огибающих с помощью сплайн-интерполяции);
- алгоритм последовательно применяют к сглаженной последовательности экстремумов  $y_{ci}$ .

#### Доказательство знакопеременности составляющих

К модам предъявляется два требования:

- общее число экстремумов равняется общему числу нулей с точностью до 1;
- полусумма значений верхней огибающей, интерполирующей локальные максимумы, и нижней огибающей, интерполирующей локальные минимумы, близка к нулю.

При фильтрации по экстремальным значениям первое требование вырождается в требование знакопеременности соседних экстремумов полученных последовательностей  $y_{pi}^{(j)}$  ( $j$  – номер составляющей). То есть, соседние элементы последовательности всегда имеют разные знаки, поэтому составляющую можно легко отнести к определенной полосе частот. Докажем это положение.

Для доказательства рассмотрим составляющую сигнала, представленную последовательностью своих экстремумов. Признаком знакопеременности является выполнение условия

$$y_{pi}^{(j)} \cdot y_{pi+1}^{(j)} < 0 \quad (5)$$

для всех значений  $i$ .

Не нарушая общности доказательства, предположим, что  $y_{\bar{y}_i}^{(j)}$  – максимум. Тогда  $y_{\bar{y}_{i-1}}^{(j)}$ ,  $y_{\bar{y}_{i+1}}^{(j)}$ ,  $y_{\bar{y}_{i+2}}^{(j)}$  можно представить в виде соотношений:

$$\begin{aligned} y_{\bar{y}_{i-1}}^{(j)} &= y_{\bar{y}_i}^{(j)} - s_1, \\ y_{\bar{y}_{i+1}}^{(j)} &= y_{\bar{y}_i}^{(j)} - s_2, \\ y_{\bar{y}_{i+2}}^{(j)} &= y_{\bar{y}_{i+1}}^{(j)} + s_3, \end{aligned} \quad (6)$$

причем величины  $s_1, s_2, s_3$  всегда положительны. Подставив (6) в (2) и проведя соответствующие преобразования, получим

$$\begin{aligned} y_{pi}^{(j)} &= \frac{1}{4}s_1 + \frac{1}{4}s_2, \\ y_{pi+1}^{(j)} &= -\frac{1}{4}s_2 - \frac{1}{4}s_3. \end{aligned}$$

Так как значения  $s_1, s_2, s_3$  всегда положительны, то  $y_{pi}^{(j)} > 0$ , а  $y_{pi+1}^{(j)} < 0$ . Следовательно, неравенство (5) справедливо. Аналогично можно провести доказательство из предположения, что  $y_{pi}^{(j)}$  – минимум.

Следовательно, в отличие от EMD-разложения, в котором выделяют «кандидата в моды» в методе экстремальной фильтрации всегда выделяется «мода».

Второе требование к модам обеспечивается тем фактом, что знакопеременная последовательность является результатом вычитания скользящего среднего из сигнала на первом этапе или из сглаженной составляющей на последующих этапах.

Так как основным авторским применением экстремальной фильтрации были задачи диагностики и идентификации, то дополнительное центрирование знакопеременных составляющих (как в алгоритме EMD) не применялось. Однако расширение сферы применения экстремальной фильтрации привело к необходимости совершенствования алгоритма экстремальной фильтрации. Необходимость центрирования обусловлена методической погрешностью при выделении знакопеременных составляющих – затухание при обосновании значений коэффициентов полагалось равным нулю.

Для каждой выделенной составляющей вычисляется скользящее среднее по формуле (1). Это среднее затем вычитается из составляющей  $y_{pi}^{(j)}$ , вычисленной по формуле (2). Результат совершенствования – уменьшение дисперсии экстремумов «чистого» тона, более точное выделение низкочастотных составляющих.

Очевидно что, выбирая или, наоборот, отбрасывая выделенные составляющие, можно легко реализовать традиционные виды фильтров (нижних частот, верхних частот, полосовой, заграждающий).

Подчеркнем, что предлагаемая фильтрация как нельзя лучше подходит к экспресс-анализу, т.к. коэффициенты фильтра  $-0,5=2^{-1}$  и  $0,25=2^{-2}$  допускают использование вместо умножения сдвига вправо на 1 или 2 разряда, соответственно, что более экономично с точки зрения вычислений. Этот же факт может стать решающим при использовании вычислительных средств малой мощности с ограниченным набором команд.

**Представление результатов фильтрации**

Форма представления результатов многократной адаптивной фильтрации зависит от решаемой задачи и определяется следующими факторами:

- необходимостью восстановления исходного сигнала и точностью этого восстановления;
- необходимостью обеспечить заданную степень сжатия исходного сигнала;
- необходимостью обеспечить заданные требования по точности и быстродействию вычисления характеристик исходного сигнала.

В зависимости от этого можно предложить две предельные формы представления результатов разложения сигнала с помощью адаптивной фильтрации: сжатая (фиксируются только экстремумы составляющих, а их привязка ко времени игнорируется) и полная (фиксируются абс-

циссы и ординаты экстремумов всех составляющих).

Распределение по шкале времени экстремумов в разных составляющих имеет важное свойство: самая высокочастотная составляющая содержит экстремумы, абсциссы которых определяют положение экстремумов всех более низкочастотных составляющих. Этот факт может быть использован для дополнительного сжатия данных без потерь информации об абсциссах экстремумов.

Полная форма представления результатов экстремальной фильтрации будет иметь вид:

$$\begin{pmatrix} t_{\varepsilon 1}^{(1)} & t_{\varepsilon 2}^{(1)} & t_{\varepsilon 3}^{(1)} & t_{\varepsilon 4}^{(1)} & t_{\varepsilon 5}^{(1)} & t_{\varepsilon 6}^{(1)} & t_{\varepsilon 7}^{(1)} & t_{\varepsilon 8}^{(1)} & \dots & t_{\varepsilon K_1}^{(1)} \\ t_{\varepsilon 1}^{(2)} & & t_{\varepsilon 2}^{(2)} & & & t_{\varepsilon 3}^{(2)} & & t_{\varepsilon 4}^{(2)} & \dots & t_{\varepsilon K_2}^{(2)} \\ \dots & \dots \\ t_{\varepsilon 1}^{(p)} & & & & & t_{\varepsilon 2}^{(p)} & & & \dots & t_{\varepsilon K_p}^{(p)} \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{pmatrix} y_{\varepsilon 1}^{(1)} & y_{\varepsilon 2}^{(1)} & y_{\varepsilon 3}^{(1)} & y_{\varepsilon 4}^{(1)} & y_{\varepsilon 5}^{(1)} & y_{\varepsilon 6}^{(1)} & y_{\varepsilon 7}^{(1)} & y_{\varepsilon 8}^{(1)} & \dots & y_{\varepsilon K_1}^{(1)} \\ y_{\varepsilon 1}^{(2)} & & y_{\varepsilon 2}^{(2)} & & & y_{\varepsilon 3}^{(2)} & & y_{\varepsilon 4}^{(2)} & \dots & y_{\varepsilon K_2}^{(2)} \\ \dots & \dots \\ y_{\varepsilon 1}^{(p)} & & & & & y_{\varepsilon 2}^{(p)} & & & \dots & y_{\varepsilon K_p}^{(p)} \end{pmatrix} \quad (8)$$

В (7) и (8) представлены временные и амплитудные параметры составляющих. Каждая строка матрицы соответствует определенной составляющей. Подчеркнем, что в матрице (7) все значимые элементы в каждом столбце одинаковы.

Матрицы (7), (8) служат основой сжатия-восстановления сигналов, а матрица (8) с привязкой по времени (7) – это фактически время-частотная характеристика, т.к. каждая строка соответствует определенной частоте.

Матрица (7) содержит данные для оценивания частот  $f_l = \frac{K_l}{2T}$  составляющих ( $T$  – длительность интервала анализа), а матрица (8) – для оценивания их амплитуд  $A$  или дисперсий  $\sigma^2$ .

Параметры  $\{f_l, \sigma_l^2\}$ ,  $l = 1, \dots, p$  описывают модель быстропеременного процесса (БПП) суммой узкополосных составляющих. Модель БПП отражает свойства объекта: по изменению параметров составляющих можно судить об изменении состояния объекта, т.е. разложение – основа для экспресс-идентификации или экспресс-диагностики (экспресс-распознавания).

Применение предложенной модели БПП оправдано тем фактом, что в измерительных системах контролируются сложные технические объекты. В них, как правило, наблюдаются вибрации, акустические шумы, пульсации давления и т.д. Кроме того в системах действуют импульсные помехи, возбуждающие собственные колебания. Такие объекты описываются универсальной моделью – сумма узкополосных составляющих смешанных с шумом. Параметры модели отображают свойства исследуемого объекта, что позволяет использовать эти данные в системах диагностики, контроля и мониторинга параметров объекта.

Параметры разложения частота и амплитуда (мощность) каждой составляющей сигнала могут быть интерпретированы как текущий спектр. Изменение этих же параметров в скользящем окне может интерпретировано



как ВЧР, имеющее сходство с преобразованием Гильберта-Хуанга [7].

### Свойства разложения на основе экстремальной фильтрации

Итак, мы получаем разложение, в котором моды представлены своими экстремумами. Если есть необходимость восстановить значения в дискретные моменты времени, то можно воспользоваться процедурой аппроксимации колокольными составляющими [7] или интерполировать «полукосинусами».

Адаптивный базис, основанный на выделении из данных эмпирических мод, удовлетворяет традиционным требованиям для базиса. Он является финитным, сходящимся, ортогональным и единственным.

Разложение на знакопеременные составляющие при использовании экстремальной фильтрации обладает следующими свойствами:

– всегда дает единственное разложение, вследствие жесткого детерминированного алгоритма;

– является сходящимся, так как алгоритм основан на выделении самой высокочастотной составляющей сначала из сигнала (процесса), а потом из сглаженной составляющей, а количество значимых составляющих в сигнале (процессе) всегда конечно;

– так как моды определены лишь в точках экстремумов и ортогональность можно проверить лишь на интерполированных данных, то следует говорить об  $\epsilon$ -ортогональности.

Авторами предложен метод разложения на знакопеременные составляющие, имеющий сходство с разложением на эмпирические моды, при этом преимуществом метода является низкая трудоемкость, что позволяет использовать его в системах реального времени или в вычислителях малой мощности. Можно использовать сжатое представление данных – экстремумами процесса.

### Применение результатов экстремальной фильтрации

Перечислим основные применения результатов фильтрации:

1. Экспресс-идентификация – определение количества составляющих, их типа (колебательные, инерционные), и параметров этих составляющих [10].
2. Экспресс-оценка спектра [4,5].
3. Интерпретация полученных результатов фильтрации как время-частотного распределения [7].
4. Адаптивная фильтрация (НЧ, ВЧ и т.д.) [4].
5. Использование параметров как диагностических признаков [10, 11].
6. Упрощение определения параметров сигнала

$$\text{сложной формы } y_i = \sum_{j=1}^q A_j \cdot \exp(-\alpha_j \cdot t_i) \cdot \cos(2\pi f_j t_i + \phi_j)$$

за счет предварительного разложения на моды [6].

Приведем пример разложения сигнала сложной формы широко известным методом декомпозиции на эмпирические моды (рис. 1) и с применением экстремальной фильтрации (рис. 2). Строго говоря, на втором рисунке мы получаем разложение только в точках экс-

тремумов, т.е. каждая из знакопеременных составляющих определена в точках своих экстремумов. Непрерывные кривые – результат интерполяции.

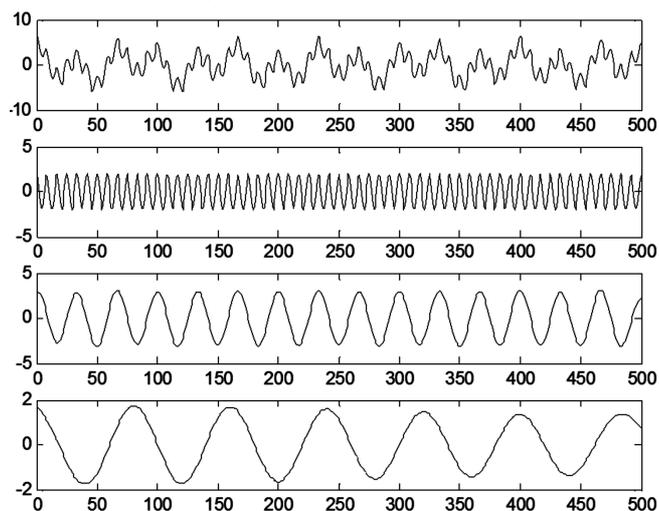


Рис. 1. Разложение сигнала на эмпирические моды

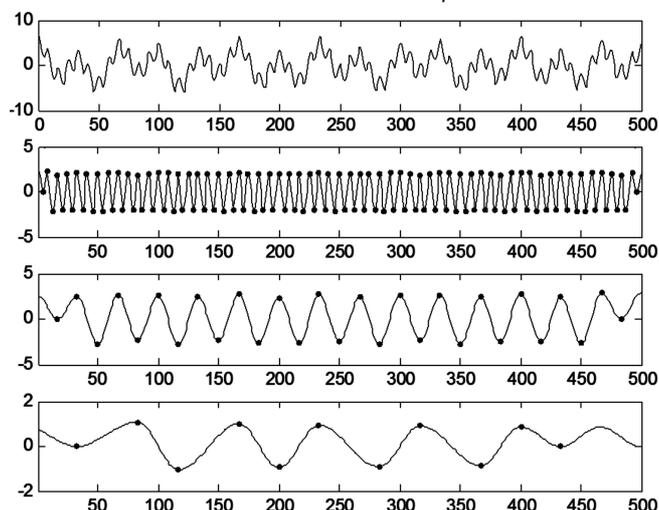


Рис. 2. Разложение на составляющие экстремальным фильтром

Из этих рисунков видно, что результаты практически одинаковы, а алгоритм разложения значительно проще и его вычислительная трудоемкость существенно меньше. Последние два фактора делают его эффективным инструментом экспресс-анализа в технических и информационных системах.

### Заключение

Экстремальная фильтрация – не модификация известного алгоритма разложения на эмпирические моды, а независимое направление, развиваемое на протяжении ряда лет. Предлагаемый алгоритм осуществляет разложение на знакопеременные составляющие на основе адаптивной фильтрации сигнала по его экстремальным значениям. Такая фильтрация для краткости была названа экстремальной фильтрацией.

### Литература

1. Клионский, Д.М. Декомпозиция на эмпирические моды в современной цифровой обработке сигналов /

Д.М. Клионский // 10-я Междунар. конф. и выставка «Цифровая обработка сигналов и ее применение». Москва. 26-28 марта 2008. Труды Росс. науч. техн. общества радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова. Сер. Цифровая обработка сигналов и ее применение. Вып. X-1. – М., 2008. – С. 188-190.

2. Клионский, Д.М. Декомпозиция на эмпирические моды и ее использование при анализе дробного броуновского движения/ Д.М. Клионский, Н.И. Орешко, В.В. Геппенер // Цифровая обработка сигналов. 2008. № 3. С. 37-45.

3. Клионский, Д.М. Декомпозиция на эмпирические моды с параболической интерполяцией огибающих в задачах очистки сигналов от шума/ Д.М. Клионский, Н.И. Орешко, В.В. Геппенер // Цифровая обработка сигналов. 2011. № 2. С. 51-60.

4. Мясникова, Н. В. Экстремальная фильтрация и ее приложения / Н. В. Мясникова, М. П. Берестень // Датчики и системы. – 2004. – № 4. – С. 8–11.

5. Мясникова, Н.В. Методы разложения сигналов на основе экстремальной фильтрации / Н.В. Мясникова, М.П. Берестень, Л.А. Долгих // Датчики и системы. – 2011. – № 2. – С. 8–12.

6. Мясникова, Н.В. Применение разложения по эмпирическим модам в задачах цифровой обработки сигналов / Н.В. Мясникова, Л.А. Долгих, М.Г. Мясникова // Датчики и системы. – 2011. – № 5. – С. 8-10.

7. Мясникова, Н.В. Время-частотное распределение на основе экстремальной фильтрации в цифровой обра-

ботке сигналов/ Н.В. Мясникова, М.П. Берестень // Датчики и системы. – 2013. – № 10. – С. 9-12.

8. Марпл.-мл., С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 584 с.

9. Мясникова, Н.В. Аппроксимация многоэкстремальных функций и ее приложения в технических системах/ Н.В. Мясникова, М.П. Берестень, М.П. Строганов// Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2011. – № 2. – С. 113-119.

10. Мясникова, Н.В. Экспресс-анализ в технических и информационных системах / Н. В. Мясникова, М.П. Берестень // Инновационные информационные технологии. – 2013. – Т. 2. – № 2. – С. 328-333.

11. Зенов, А.Ю. Концепция организации обработки информации в системах диагностики и распознавания / А.Ю. Зенов, М.П. Берестень // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 1. – URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1568> (дата обращения: 10.04.2013).

## THEORETICAL FUNDAMENTALS OF EXTREME FILTERING

*Myasnikova N.V., Beresten M.P.*

Extremal filtration methods are considered. The method proposed is based on successive selection of the high-frequency components which are locally determined by signal's extrema. It is shown that this method is similar to Empirical Mode Decomposition and has some improvements compared with it. Theoretical basis of an extremal filtration method are given.

### У в а ж а е м ы е к о л л е г и !

**Приглашаем Вас принять участие в формировании тематических выпусков журнала «Цифровая обработка сигналов» и размещению рекламы продукции (услуг) Вашей организации на его страницах. В случае положительного решения просим представить в редакцию журнала Ваши предложения по плановому размещению информационных материалов и макет рекламы продукции (услуг) с указанием желаемого её месторасположения: обложка (2-я, 3-я или 4-я стр.), цветная внутренняя полоса (объем полосы).**

Журнал «Цифровая обработка сигналов» издается с 1999 года. Выходит ежеквартально, тиражом – 700 экз. Распространяется по подписке через агентство «Роспечать» в России (индекс 82185), СНГ и странах Балтии (индекс 20630), а также на Конференции: «Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA'» и Выставках: «ExpoElectronica», «СвязьЭкспокомм», «ЭЛЕКТРОНИКА: компоненты, оборудование, технологии» (г. Москва) и др.

Научно-технический журнал «Цифровая обработка сигналов» включен в Список изданий, рекомендуемый ВАК РФ для публикации результатов научных исследований соискателями ученой степени доктора и кандидата технических наук в области радиотехники, связи, вычислительной техники, электроники, информационно-измерительных и управляющих систем.

### П л а н и р у е м ы е с р о к и и з д а н и я о т д е л ь н ы х н о м е р о в ж у р н а л а :

№ 1 – март 2015 г. Тематический выпуск: «ЦОС в информационно-измерительных системах»

№ 2 – июнь 2015 г. Тематический выпуск: «Теория и методы цифровой обработки сигналов» (по материалам международной научно-технической конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA' 2015»).

№ 3 – сентябрь 2015 г. Тематический выпуск: «Цифровая обработка изображений».

№ 4 – декабрь 2015 г. Тематический выпуск: «ЦОС в радиотехнике и системах телекоммуникаций».

### О р и е н т и р о в о ч н а я с т о и м о с т ь р е к л а м н ы х у с л у г :

4-я (внешняя) страница цветной обложки – 25 тысяч рублей.

2-я и 3-я (внутренние) страницы цветной обложки – 15 тысяч рублей.

1\2 цветной внутренней полосы – 8 тысяч рублей.

Ждем Ваших предложений.

С наилучшими пожеланиями, зам. главного редактора  
д.т.н., профессор Витязев Владимир Викторович, телефон 8-903-834-81-81.

Предложения прошу направлять по адресу: E-mail: [vityazev.v.v@rsreu.ru](mailto:vityazev.v.v@rsreu.ru) или [info@dspa.ru](mailto:info@dspa.ru)