

## СЖАТИЕ-ВОССТАНОВЛЕНИЕ СИГНАЛОВ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

М.Г. Мясникова

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Б.В. Цыпин  
ФГОУ ВО «Пензенский государственный университет»,  
Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40, 440026  
E-mail: [mariagen@yandex.ru](mailto:mariagen@yandex.ru)

Характерной чертой современных телеизмерительных систем является то, что они обеспечивают одновременную передачу большого числа измеряемых величин по одному каналу связи. Такие системы передачи информации являются многоканальными. Количество каналов системы определяется числом независимых информационных входов.

Контролируемые параметры с помощью датчиков преобразуются в цифровые сигналы. Блок сбора и обработки данных формирует пакеты данных в соответствии с выходным интерфейсом. Пакеты данных могут представлять сжатые сигналы, при этом сжатые данные должны позволять восстановить сигналы с требуемой точностью.

Наиболее естественной для описания свободных и вынужденных колебаний модели порядка  $p$  является уравнение, представляющее собой сумму  $q$  колебательных (и (или) инерционных) составляющих с соответствующими частотами  $f_i$ , амплитудами  $U_i$ , фазами  $\varphi_i$  и затуханиями  $\alpha_i$ :

$$x_i = \sum_{j=1}^p a_j \cdot x_{i-j} = \sum_{j=1}^q A_j \cdot \exp(-\alpha_j \cdot t_i) \cdot \cos(2\pi f_j t_i + \varphi_j). \quad (1)$$

Эти параметры могут быть определены на основе процедуры Прони [1].

Коэффициенты авторегрессии  $a_k, k = 1..p$  несут полную информацию о сигнале – его частотных свойствах, но для восстановления сигнала по формуле (1) необходимы начальные значения сигнала  $x_j, j = 1..p$ . Параметры  $\{A_k, f_k, \varphi_k, \alpha_k\}, k = 1, 2, .., q$  также могут быть использованы для восстановления.

Предлагается использовать предварительное разложение на моды, что позволит существенно снизить трудоемкость последующего параметрического анализа, так как удастся свести одну сложную задачу к простым задачам оценивания параметров составляющих первого и второго порядков (вместо применения порядка  $p$  к исходной выборке). При этом трудоемкость определения АР-коэффициентов снижается пропорционально порядку  $p$ .

Аналогичное разложение может быть получено на основе экстремальной фильтрации (ЭФ) [2]. В основе разложения лежит адаптивная полосовая фильтрация. По экстремальным значениям  $x_{\varepsilon_i}$  в моменты  $t_{\varepsilon_i}, i = 1..K$  (где  $K$  - количество экстремумов на интервале) производится сглаживание:  $x_{ci} = 0,25x_{\varepsilon_{i-1}} + 0,5x_{\varepsilon_i} + 0,25x_{\varepsilon_{i+1}}$  (исключается из сигнала самая высокочастотная составляющая), и выделяется знакопеременная составляющая (адаптивный полосовой фильтр с центральной частотой где  $\Delta$  - расстояние между экстремумами на текущем шаге разложения  $f_{\varepsilon_i} = \frac{1}{2 \cdot \Delta}$ )  $x_{pi} = -0,25x_{\varepsilon_{i-1}} + 0,5x_{\varepsilon_i} - 0,25x_{\varepsilon_{i+1}}$ .

Результат разложения совпадает с EMD-разложением [3], но составляющие в этом разложении представлены только своими экстремумами. При этом за счет того, что сокращается объем обрабатываемой информации (т.к. используются только экстремумы сигнала), а коэффициенты фильтров являются степенями числа 2 (что позволяет заменить при

реализации алгоритма умножения сдвигами двоичных чисел вправо) в разы снижается вычислительная трудоемкость алгоритма.

Для снижения трудоемкости в обоих случаях предложен метод декомпозиции, в котором практически не искажается форма составляющих сигнала, а меняются только амплитуды и фазы. Метод основан на многократном интегрировании и дифференцировании [4].

Для извлечения мод в порядке возрастания их частот многократное интегрирование сигнала для подавления высокочастотных компонент до тех пор, пока количество экстремумов не перестанет меняться, т.е. пока не останется одна (самая низкочастотная) составляющая. Выделенные из интегрированных последовательностей составляющие дифференцируются по схеме Ланцоша столько раз, сколько раз последовательность интегрировалась.

Для извлечения мод в порядке убывания их частот многократное дифференцирование для акцентирования высокочастотных компонент до тех пор, пока не будет выделена последовательность со знакопеременными экстремумами. Выделенные из дифференцированных последовательностей составляющие интегрируются с использованием весовой обработки, столько раз, сколько раз последовательность дифференцировалась.

Проведено сравнение методов декомпозиции по следующим параметрам: СКО выделенной компоненты и одноименной составляющей; погрешность определения параметров [5].

Отметим, что зашумление сигнала несущественно влияет на результаты анализа на основе декомпозиции, т.к. шум «высыпается» в первые составляющие и может быть отделен от информативных компонент. А вот метод Прони дает те же результаты лишь при завышении порядка, а значит за счет более высокой трудоемкости.

В зависимости от задачи (измерение параметра, диагностика объекта, обнаружение объекта и т.д.), от временных ограничений может выбираться один из рассмотренных методов. По результатам исследования на моделях и реальных сигналах общая тенденция: Прони с предварительным разложением приводит к снижению трудоемкости минимум в 2 раза; экспресс-анализ – в 4 раза.

Таким образом, не только предложено применение предварительного разложения, но и созданы способы декомпозиции, упрощающие эту процедуру, что позволяет использовать их в телеметрических системах, в ИИС, в системах диагностики, мониторинга, в управляющих системах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марпл.-мл. С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 584с.
2. Мясникова Н.В., Берестень М.П. Экстремальная фильтрация и ее приложения // Датчики и системы. – 2004. – №4. – С. 8-11.
3. Flandrin P., Conçalves P., Rilling G. Empirical mode decomposition as filter bank// IEEE Sig. Proc. Lett., 2004. V. 11. No. 2. P. 112-114.
4. Мясникова Н.В., Берестень М.П., Цыпин Б.В., Мясникова М.Г. Использование разложения на эмпирические моды на основе дифференцирования и интегрирования в ИИС // Перспективные информационные технологии: Труды Международной научно-технической конференции. – Самара, 2016. – С. 510-514.
5. Ломтев Е.А., Мясникова М.Г., Мясникова Н.В., Цыпин Б.В. Совершенствование алгоритмов сжатия-восстановления сигналов для систем телеизмерений // Измерительная техника. – 2015. – № 3. – С. 11-15.