



Литература

1. Каханер Д., Моулер К., Нэш С. Численные методы и математическое обеспечение. Пер. с англ. – М.: Мир, 1998. – 575 с.
2. Райс Дж. Матричные вычисления и математическое обеспечение. Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
3. Митюков В.В. Обобщенный алгоритм и дискретная унифицированная структура для вычислительных задач. «Современные информационные технологии и IT-образование». Сборник докладов научно-практической конференции: учебно-методическое пособие. Под ред. проф. В.А. Сухомлина. – М.: ИНТУИТ.РУ, 2009. – с. 675–681
4. Митюков В.В. Универсальное программное решение для задач дифференцирования и интегрирования одномерных дискретных множеств. Матеріали ХІ міжнародної науково-технічної конференції «АВІА–2013». –Т.1. –К.: НАУ, 2013. – с. 6.33–6.36

Н.В. Мясникова, М.П. Берестень

РАЗЛОЖЕНИЕ НА ЭМПИРИЧЕСКИЕ МОДЫ НА ОСНОВЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ И ИНТЕГРИРОВАНИЯ

(Пензенский государственный университет)

Метод декомпозиции на эмпирические моды (EMD) является одним из самых современных 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.

Авторами развивается метод разложения на знакопеременные составляющие на основе экстремальной фильтрации, имеющий сходство с разложением на эмпирические моды. Преимуществом метода является низкая трудоемкость, что позволяет использовать его в системах реального времени или в вычислителях малой мощности [1-3].

Основное применение обоих методов: экспресс-идентификация – определение количества составляющих, их типа (колебательные, инерционные), и параметров этих составляющих; экспресс-оценка спектральных и время-частотных характеристик; адаптивная фильтрация (НЧ, ВЧ и т.д.); использование параметров мод как диагностических признаков.

В способе EMD преобразование осуществляется за несколько шагов: а) выделяют все экстремумы x_{\min}, x_{\max} сигнала x ; б) строят огибающие e_{\min}, e_{\max} ; в)



вычисляют среднее $m = \frac{e_{\min} + e_{\max}}{2}$; г) выделяют моду $d = x - m$; д) применяют процедуры а-г к остаткам m .

К недостаткам способа EMD относятся трудоемкость сплайн – аппроксимации для вычисления огибающих при больших выборках данных, а также нарушение структуры составляющих сигнала за счет сплайн аппроксимации, что важно, если предполагается дальнейший параметрический анализ.

Попробуем решить задачу декомпозиции на моды по-другому. Метод строится на акцентировании высокочастотных компонент дифференцированием. Дифференцирующее звено имеет передаточную функцию $G(j\omega) = j\omega$, поэтому при дифференцировании (может быть и многократном) будут усиливаться высокочастотные составляющие и «маскироваться» низкочастотные колебания. Покажем подход на многомодальном сигнале $x(t) = x_1(t) + x_2(t) + x_3(t)$. Сигнал и его традиционное разложение на эмпирические моды представлены на рисунке 1, где показаны только информативные составляющие разложения. На всех графиках по осям x отложены временные отсчеты, а по осям y – значения сигнала в размерных единицах.

Будем проводить дифференцирование сигнала до тех пор, пока не будет выделена мода – составляющая со знакопеременными экстремумами и близким к нулю средним. Допустим, что последовательность, соответствующая производной 3-го порядка четко выделяет высокочастотную компоненту. Эта последовательность описывается уравнением: $\frac{d^3 x(t)}{dt^3} = \frac{d^3 x_1(t)}{dt^3} + \frac{d^3 x_2(t)}{dt^3} + \frac{d^3 x_3(t)}{dt^3}$, а выделенная знакопеременная составляющая $-\frac{d^3 x_1(t)}{dt^3}$ (предположено, что x_1 – самая высокочастотная мода). Если из последовательности, полученной дифференцированием 2-го порядка $\frac{d^2 x(t)}{dt^2} = \frac{d^2 x_1(t)}{dt^2} + \frac{d^2 x_2(t)}{dt^2} + \frac{d^2 x_3(t)}{dt^2}$ вычесть интеграл от выделенной составляющей, то получим последовательность, которая не содержит самой высокочастотной составляющей.

Действуя таким образом, можно получить разложение, представленное на рисунке 2.

Очевидно, что дифференцирование – слабое звено предлагаемого алгоритма, т.к. при выполнении этой операции многократно усиливаются промахи, помехи. Выход – применение дифференцирования на основе интегрирования по Ланцошу [4]. Такое дифференцирование позволяет решить поставленную задачу. Для восстановления самой высокочастотной компоненты применяют обычное дифференцирование на основе вычисления первых разностей.

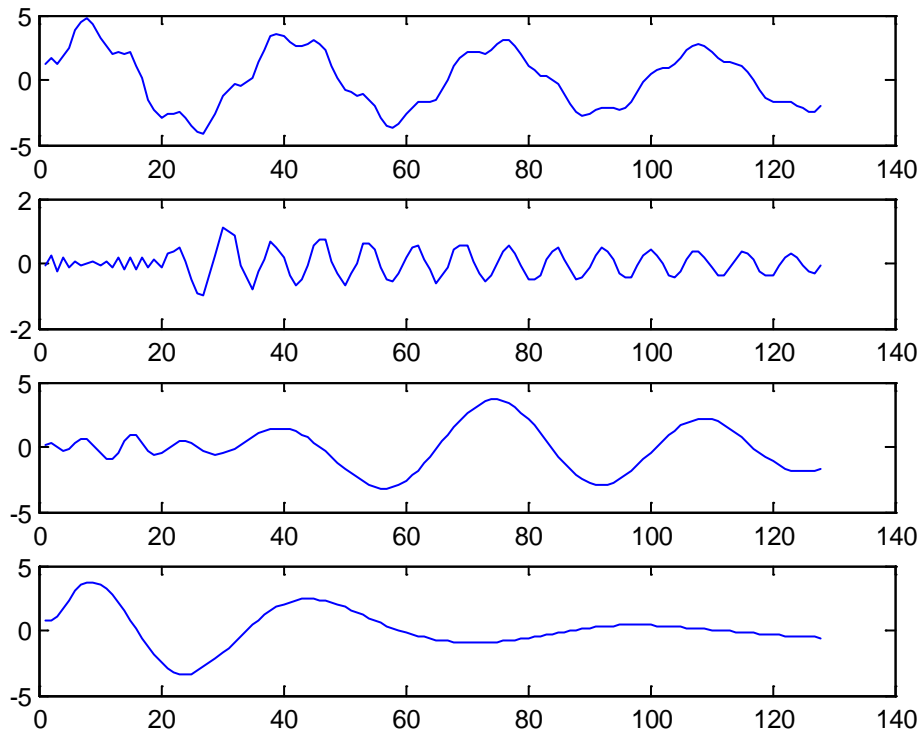


Рис. 1. Анализируемый сигнал со слабой высокочастотной компонентой и его разложение на эмпирические моды

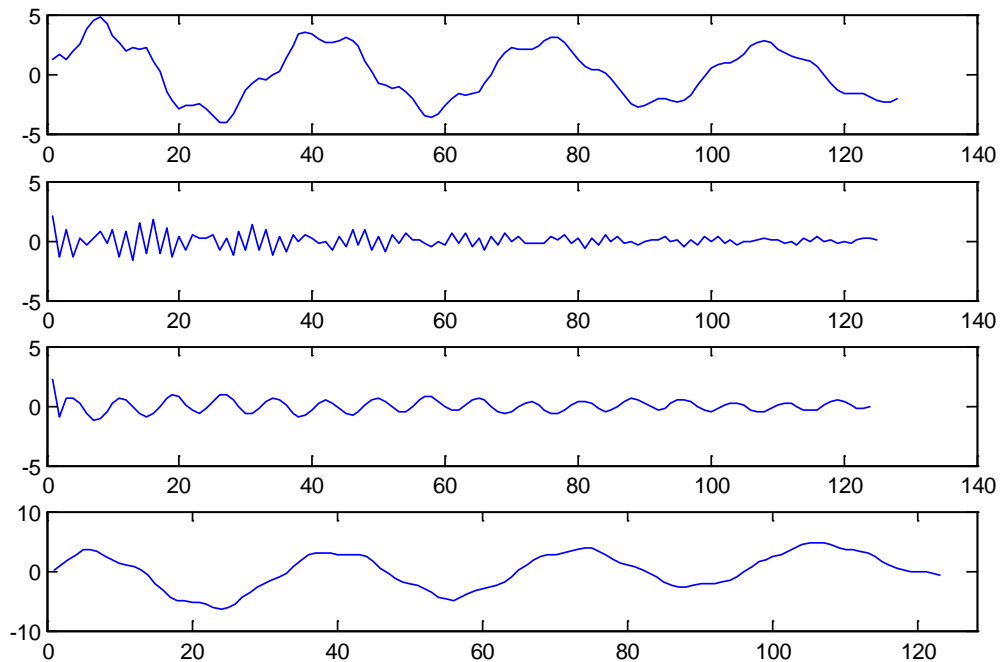


Рис. 2. Сигнал со слабой высокочастотной компонентой и его разложение на основе дифференцирования-интегрирования



Моды могут быть выделены из дифференцированных последовательностей путем интегрирования, вычитания выделенной составляющей из дифференцированных последовательностей более низкого порядка, повторения таких же действий с уже удаленной высокочастотной составляющей над дифференцированными последовательностями, начиная с предыдущей.

Из рисунка 2 видно, что имеется просачивание более высокочастотной компоненты на более низкочастотную. Это проявляется в том, что на нижнем графике рисунка 2 кривая не такая гладкая, как на рисунке 1. Но зато предложенный метод четко выделяет даже слабую высокочастотную компоненту.

Рисунок 1 показывает, что при уменьшении амплитуды колебаний алгоритм EMD перестает ее «видеть», следующая составляющая (более низкочастотная) «проталкивается» на ее место. Соответственно смещается вся картина. Рисунок 2 показывает, что этого не происходит при применении алгоритма на основе дифференцирования-интегрирования. На низкочастотной составляющей видны «следы» предыдущей моды.

Предлагаемый алгоритм несложен, так как используются лишь интегрирование и дифференцирование на основе интегрирования. Достоинство – лучше выделяются слабые высокочастотные составляющие, а для декомпозиции не требуется выделение огибающих сигнала, не используется сплайн-интерполяция как в классическом методе EMD.

Цель статьи показать возможность и принцип выделения компонент на основе дифференцирования-интегрирования, т.е. за счет естественных преобразований сигнала.

В заключении отметим, что аналогично можно построить алгоритм выделения мод, начиная с низкочастотной моды. Метод строится на подавлении высокочастотных компонент интегрированием. Интегрирование сигнала до тех пор, пока количество экстремумов не перестанет меняться – это говорит о том, что уже на предыдущем шаге осталась только одна – самая низкочастотная мода. Моды могут быть непосредственно выделены из интегрированных последовательностей путем дифференцирования, вычитания выделенной составляющей из интегрированных последовательностей более низкого порядка, повторения таких же действий с уже удаленной низкочастотной составляющей над интегрированными последовательностями, начиная с предыдущей.

Учитывая, что в любом методе накапливаются методические погрешности при последовательном выделении составляющих, то в дальнейшем будет исследован комбинационный метод – высокочастотные составляющие будут выделяться на основе акцентирования высокочастотных составляющих дифференцированием, а низкочастотные – на основе подавления высокочастотных компонент интегрированием.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-08–01065).



Литература

1. 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.
2. Мясникова, Н.В. Время-частотное распределение на основе экстремальной фильтрации в цифровой обработке сигналов/ Н. В. Мясникова, М. П. Берестень // Датчики и системы. – 2013. – № 10. – С. 9–12.
3. Мясникова, Н.В. Разложение на эмпирические моды на основе экстремальной фильтрации/ Н.В. Мясникова, М.П. Берестень// Цифровая обработка сигналов. – 2014. – № 4. – С. 13–17.
4. Ланцош, К. Практические методы прикладного анализа. – М.: Мир, 1996. – 524 с.

В.А. Печенин, Н.В. Рузанов, М.А. Болотов

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РАБОТЫ АЛГОРИТМА НАИЛУЧШЕГО СОВМЕЩЕНИЯ ИЗМЕРЕННЫХ И ЭТАЛОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

(Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет))

В современных производствах детали получают по их САД-моделям. На стадии производственного контроля детали измеряют при помощи 3-х координатной КИМ, контактным или бесконтактным методом. В результате измерения получают облако точек в пространстве, характеризующих поверхности детали. САД-модель характеризует идеальную форму объекта, поверхность которой всегда отлична от измеренной. Для расчета отклонения формы измеренных деталей от их моделей необходимо найти оптимальное Евклидово преобразование координат (перемещение и вращение в пространстве координат измеренных точек) которое совмещает наилучшим образом САД-модель с измеренными данными. Это позволяет определить погрешности изготовления и классифицировать их. Результат любых измерений содержит ошибки (погрешности).

Целью работы является создание метода, повышающего точность оценки отклонения формы изделия за счет повышения точности совмещения измеренных координат и САД-модели изделия при координатном контроле его геометрии.

Стандартным алгоритмом, решающим проблему наилучшего совмещения, является итеративный алгоритм ближайших точек (ICP), предложенный в [1]. Это итерационный алгоритм, у которого на каждой итерации методами нелинейного оптимизационного поиска рассчитываются углы поворота и перемещения вдоль осей. Целевую функцию алгоритма можно представить в виде:

$$f(R, t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \|R \cdot p_i + T - q_i\|^2 \rightarrow 0, \quad (1)$$

где n – количество точек припасовки (измеренных точек);