

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

А. С. Воронов, А. В. Новичихин, Е. М. Крючков

ОАО «МКБ Компас»

г. Москва

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова

г. Барнаул

Вейвлет-анализ – это вид математического преобразования в котором сложный сигнал превращается в множество более простых форм. При вейвлет-преобразовании получается последовательность импульсов (волнофрагментов), ограниченных как по частоте, так и по длительности, – это и есть вейвлеты. Сигналы реального мира, звук, цифровые изображения или сигналы с оптических датчиков и оптоэлектронных систем отличаются конечной длительностью, резкими изменениями частоты и грубыми контурами, и поэтому вейвлет-преобразование лучше подходит для их обработки и более эффективно с точки зрения требуемой памяти.

Появление вейвлет-анализа, обусловленное потребностью решения прикладных задач, можно отнести к середине восьмидесятых годов XX века. К возникновению формулы непрерывного вейвлет-преобразования привела необходимость анализировать сейсмические сигналы с большей чувствительностью, чем могла быть достигнута методами Фурье. Но оказалось, что новую методику можно успешно применять и к некоторым проблемам теоретической физики и математики.

Вскоре выяснилось, что вейвлет-анализ можно успешно применять к решению различных задач обработки сигналов. Анализ сигналов с помощью вейвлетов позволяет обнаруживать в них наличие скачков и нерегулярностей. Одним из первых известных примеров выявления скачков стал анализ Медицинских сигналов, таких, как электрокардиограмма [3].

Еще одна важная область применения вейвлетов – сжатие сигналов: на использовании техники вейвлетов базируется современная версия международного стандарта сжатия неподвижного изображения – стандарт JPEG 2000 [1].

Обычно для анализа сигналов применяется преобразование Фурье. Параметром анализирующей функции преобразования

Фурье является циклическая (круговая) частота ω , а анализирующая функция имеет вид:

$$g_{\omega}(u) = e^{ju\omega} \quad (1)$$

Таким образом, преобразованный сигнал есть функция, зависящая от ω , которую обозначим $\dot{f}(\omega)$:

$$\dot{f}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(u) \overline{g_{\omega}(u)} du \quad (2)$$

Вейвлет-преобразование обладает свойством масштабируемости. В отличие от преобразования Фурье, при вейвлет-преобразовании не осуществляется поиск циклических частот, а определяются коэффициенты масштабирования в некоторое время t . Как уже отмечалось, высокие частоты соответствуют более мелким деталям сигнала и наоборот, поэтому при сравнении вейвлет- и Фурье-преобразований примем во внимание, что частота и размер детали являются обратно пропорциональными величинами. То есть существует такая константа β , что:

$$a = \frac{\beta}{\omega} \quad (3)$$

Покажем коротко, как осуществляется вейвлет-преобразование. Рассмотрим (действительную или комплексную) анализирующую функцию g , осциллирующую относительно оси времени t (что выражается формулой:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} g(u) du = 0) \text{ и быстро затухающую}$$

при $u \rightarrow \pm\infty$.

Такую функцию называют «вейвлетом». Константа β в формуле (1.3) связывающей коэффициенты масштабирования с частотами, зависит от вида функции g .

Взяв за основу функцию g , построим следующее семейство функций:

$$g_{(a,t)}(u) = \frac{1}{\sqrt{a}} g\left(\frac{u-t}{a}\right). \text{ Члены этого семейства}$$

получены посредством сдвигов функции g

на некоторые величины t , сопровождаемые сжатием ($a < 1$) или растяжением ($a > 1$) этой функции. Таким образом, вейвлет-преобразование имеет вид:

$$L_g f(a, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(u) \overline{g_{(a,t)}(u)} du \quad (4)$$

В [1] приведено сравнение вейвлет преобразования с преобразованием Фурье. Рассмотрим результаты сравнения более подробно.

Для эксперимента был выбран локальный сигнал, т. е. в небольшой окрестности точки, в которой начинается полезная его часть, будут содержаться высокие частоты, или, другими словами, в малом масштабе будут происходить значительные изменения. В этом случае масштабирующее свойство вейвлет-преобразования должно давать преимущество по сравнению с преобразованием Фурье.

Вычислялось Фурье-преобразование сигнала, из значений преобразованного сигнала отбиралось 4% наибольших по абсолютной величине. Оставшиеся значения приравнивались к нулю, и сигнал восстанавливался из модифицированных таким образом значений Фурье-преобразования.

Аналогичные операции были проведены с использованием вейвлет-преобразования вместо Фурье-преобразования.

Результаты эксперимента приведены на рисунке 1. Пунктирной линией показан результат Фурье-реконструкции сигнала, результат вейвлет-реконструкции обозначен крестиками, сплошной линией обозначен исходный сигнал.

Очевидно, при использовании Фурье-преобразования, подавление 96% преобразованных значений сигнала ведет к глобальному сглаживанию сигнала (низкочастотная фильтрация), и поэтому локальные пики в момент атаки не восстанавливаются. Напротив, применение той же самой процедуры подавления к вейвлет-преобразованию не мешает восстановлению этих пиков. Этот пример хорошо иллюстрирует масштабирующие свойства вейвлет-преобразования. Очевидно, что полученный результат может быть использован не только для целей компрессии, но и для выделения случайной составляющей зашумленного сигнала.

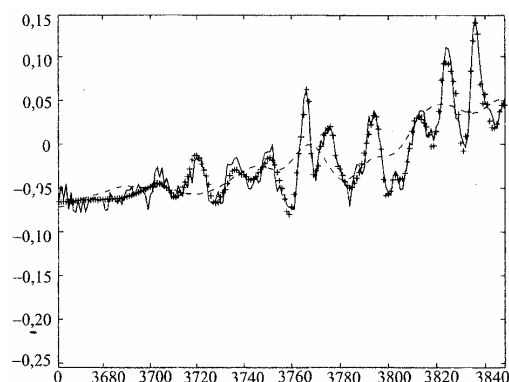


Рисунок 1 – Результаты эксперимента

В оптико-электронных системах интересно применение вейвлетов как для обработки изображений, так и для обработки сигналов с точечных оптических датчиков (например, светодиодов). В первом случае мы имеем распределение сигнала в пространстве, во втором – временное представление сигнала.

При обработке пространственно-распределенных сигналов ставятся следующие задачи: достижение нужной степени сжатия графического файла, фильтрация мелких оптических деталей или сглаживание изображения, идентификация графических данных, анализ последовательности изображений в динамике.

При обработке одномерных сигналов круг возможных применений вейвлет преобразования расширяется. Решаются задачи идентификации, моделирования, аппроксимации стационарных и нестационарных процессов, исследуются вопросы наличия разрывов в производных, осуществляется поиск точек склеивания данных, удаляется тренд в данных, отыскиваются признаки фрактальности информации. В измерительной технике известно достаточно большое количество примеров применения вейвлетов для очистки от шума сигналов, получаемых с датчиков различных конструкций [1, 3, 4, 5].

На кафедре Информационных технологий, Алтайского Государственного технического университета, была разработана система измерения микро и нано перемещений оснащенная программно-аппаратными средствами адаптивной фильтрации [6]. Блок-схема измерительной системы представлена на рисунке 2.

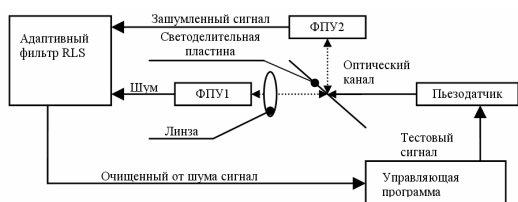


Рисунок 2 – Схема оптико-электронной измерительной системы

Применяемый алгоритм адаптивной RLS фильтрации хорошо справляется с шумами, вызываемыми внешними источниками электромагнитных полей. Однако остаются внутренние источники шума, например, тепловые шумы электрической схемы. Для фильтрации такого рода шумов больше подходит алгоритм на базе дискретного вейвлет-преобразования. Применение подобного алгоритма, позволит значительно увеличить точность разработанной оптико-электронной измерительной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Г.-Г. Штарк. Применение вейвлетов для ЦОС, М.: Техносфера 2007.
2. И. Добеши. Десять лекций по вейвлетам. М., Ижевск: РХД. 2001.
3. Чесноков Ю.В., Чижиков В.И., Резинькова С.А. Вейвлет-преобразование для удаления шума, сжатия и анализа электрокардиограмм // Цифровая обработка сигналов №1-2004.
4. A. K. Louis, P. Maab, A. Illeder (1997). Wavelet, Theory and Applications. Wiley, New York.
5. Орешко Н. И., Князева Т. Н. Вейвлет-технология анализа и очистки сигналов от шума // Цифровая обработка сигналов №3-2008.
6. Воронов А.С. Применение адаптивных алгоритмов для отчистки сигнала от шума / А.С. Воронов, Е.М. Крючков, А.В. Новичихин // Измерение, контроль, информатизация: Материалы девятой международной научно-технической конференции. – Барнаул, 2009. – С. 26-33.