

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Пастушенко Н.С., Пастушенко А.Н.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, 14, каф. телекоммуникационных систем, тел. (057) 702-13-20,
E-mail: tkc@khture/kharkov/ua, факс (057) 702-55-92

Procedures and results of processing of real audible tones which testify to substantial increase of a signal/noise ratio of an analyzed timed sequence are resulted.

Известные методы анализа цифровых данных в виде временных рядов ориентированы на обработку линейных и стационарных сигналов. Только в конце прошлого тысячелетия начали развиваться методы анализа нелинейных, но стационарных и детерминированных систем, и линейных, но нестационарных данных (Вейвлет анализ, распределение Wagner-Ville и др.). Между тем, большинство регистрируемых сигналов от реальных физических систем в той или иной мере являются нелинейными и нестационарными. Несмотря на ограничения, доказанные достаточно давно в известных теоремах Бедрозиэна и Наттолла, анализ этих сигналов осуществляется традиционными методами, полагая справедливыми упрощения, особенно относительно базиса (как правило, гармонического) обрабатываемых данных.

Известно, что качество результатов цифровой обработки во многом зависит от возможностей регистрации (или восстановления) приемным устройством параметров аналитического (комплексного) сигнала и в первую очередь, его квадратурной составляющей. В ряде радиотехнических приложений (радиосвязь, активная радиолокация, радионавигация и т.д.) квадратурная составляющая (мнимая часть) может быть сформирована аппаратно, например, с помощью фазового детектора. В этом случае, как правило, известно и используется опорное колебание. При этом предполагается, что все составляющие частотных спектров вещественной и квадратурной частей аналитического сигнала имеют фазы, различающиеся на 90° .

Регистрация вещественной и восстановление квадратурной составляющей, а также уточнение в процессе расчетов большинства параметров аналитического сигнала дает возможности использовать, например, преимуществ пространственно-временной обработки и достигать более высокого качества цифровой обработки данных в радиотехнических приложениях.

Вместе с тем, в ряде приложений, таких как акустика, сейсмология, пассивная радиолокация (радиоразведка, радиоперехват излучений), гидролокация регистрируется только вещественная часть сигнала с неизвестным несущим колебанием и она подвергается цифровой обработке, что существенно ограничивает ее возможности.

При необходимости квадратурная часть формируется с помощью фильтров (аппаратных или программных), которые выполняют функции фазовращателя или быстрого преобразования Фурье. Следует отметить, что эти процедуры базируются на преобразовании Гильберта.

Вместе с тем, со середины девяностых годов прошлого столетия делаются попытки разработки процедур обработки нелинейных нестационарных сигналов. Процедуры EMD-HSA (эмпирический метод декомпозиции – Гильбертов спектральный анализ) были предложены Норденом Е. Хуангом в 1995 в США (NASA) для изучения поверхностных волн тайфунов, с обобщением на анализ произвольных временных рядов коллективом соавторов в 1998 г. К сожалению, справедливость указанных процедур теоретически не доказана. Предложенные эмпирические процедуры ориентированы на формирование адаптивного базиса на основе обрабатываемых данных, а затем к этому базису применяется преобразование Гильберта. Такой подход позволяет более точно восстановить квадратурную составляющую анализируемого сигнала. К сожалению, имеют место значительные краевые эффекты и ошибка аппроксимации с помощью формируемого базиса, а также неточности, обусловленные преобразованием Гильберта.

В докладе анализируются возможности процедур EMD-HSA на примере обработки зашумленных акустических сигналов с целью повышения отношения сигнал/шум регистрируемого сигнала и более точного восстановления его квадратурной составляющей.

В качестве контрольного сигнала будем использовать акустический сигнал x_i , например, формируемый с помощью телефонной гарнитуры и программы «Звукозапись» из группы «Стандартные / Развлечения». Здесь $i = 1, \dots, N$ – номер анализируемого отсчета, N – объем анализируемой выборки. Имея контрольный сигнал x_i , с помощью последовательности белого шума, можем получить аддитивную смесь x_i и шума (y_i) с требуемым отношением сигнал/шум, которую будем подвергать дальнейшей цифровой обработке.

Эмпирическая декомпозиция сигналов, предложенная Н. Хуангом, основана на предположении, что любые данные состоят из различных режимов (процессов) колебаний. В любой момент времени данные могут содержать различные сосуществующие режимы колебаний. Любой режим, линейный или нелинейный, стационарный или нестационарный, представляет простое колебание, которое имеет экстремумы и нулевые пересечения. Кроме того, колебание будет в определенной степени «симметрично» относительно локального среднего значения. Результат – конечные сложные данные.

Каждый из этих колебательных режимов может быть представлен «существенной функцией» (intrinsic mode function - IMF).

EMD - высокоадаптивный метод анализа нелинейных и нестационарных сигналов. Его главное преимущество в том, что базис, используемый при разложении (набор эмпирических мод) конструируется непосредственно из тех данных (того сигнала), с которым ведется работа. Это позволяет учесть все его локальные особенности, внутреннюю структуру, наличие нежелательных особенностей (шумы, тренды, аномальные выбросы, пропущенные значения). EMD обладает важными для практических приложений свойствами: ортогональность, локальность, полнота и адаптивность. Важно, что строго ни ортогональность, ни полнота пока не доказаны, и это является одной из важнейших теоретических проблем данного метода.

Эмпирическая мода – это такая функция, которая обладает следующими свойствами:

- общее число экстремумов должно равняться числу нулей с точностью до 1;
- среднее значение 2-х огибающих – верхней, интерполирующей локальные максимумы, и нижней – интерполирующей локальные минимумы должно быть равно нулю.

IMF представляет собой колебательный режим, как часть простой гармонической функции, но вместо постоянной амплитуды и частоты, как в простой гармонике, у IMF могут быть переменная амплитуда и частота, как функции времени. Любую функцию и любой произвольный сигнал можно разделить на семейство функций IMF, придерживаясь изложенной ниже методики.

Выделяем массивы максимумов и минимумов из анализируемого ряда u_i , которые служат исходными данными для вычисления с помощью кубического сплайна верхней и нижней огибающих сигнала. Далее определяется функция средних значений m_{1i} между огибающими. Затем из анализируемого сигнала вычитается m_{1i} . В результате находим первое приближение к первой функции IMF – s_{1i} , которая включает высокочастотные составляющие анализируемого сигнала.

Полученная IMF удаляется из анализируемого сигнала, а остаток обрабатывается по методике изложенной выше. Акустический сигнал, как правило, включает девять IMF. При этом в трех первых сосредоточен сигнал белого шума, который целесообразно отбросить. Шесть оставшихся IMF включают компоненты акустического сигнала, которые в последующем подвергаются преобразованию Гильберта с помощью известных процедур.

В качестве критерия качества восстановления акустического сигнала использовался коэффициент корреляции между последовательностями восстановленного и контрольного сигналов. Более сложно оценить качество восстановления квадратурной составляющей, поскольку отсутствует эта составляющая для контрольного акустического

сигнала. В тоже время, обрабатываемые компоненты акустического сигнала с помощью преобразования Гильберта являются более гладкими, что дает право надеяться на более точное восстановление квадратурной составляющей.

В заключение приводятся результаты обработки реальных акустических сигналов, которые свидетельствуют о значительном повышении отношения сигнал/шум анализируемой последовательности, а также предлагаются направления дальнейших исследований.