

Розв'язання більшості проблем аналізу часових рядів та сигналів різної природи неможливі без попередньої обробки. Застосування вейвлет-аналізу в обробці нестационарних сигналів набуває все більшої популярності

Ключові слова: вейвлет-перетворення, ентропія, частотний фільтр

Решения многих проблем анализа временных рядов и сигналов различной природы невозможны без предварительной обработки. Применение вейвлет-анализа в обработке нестационарных сигналов приобретает всё большую популярность

Ключевые слова: вейвлет-преобразование, энтропия, частотный фильтр

The solving of many problems of time series analysis and signals of different nature is impossible without preliminary treatment. Application of wavelet analysis in the treatment of non-stationary signals is becoming increasingly popular

Keywords: wavelet transform, entropy, frequency filter

МЕТОД УДАЛЕНИЯ ШУМОВЫХ ПОМЕХ ИЗ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ПАКЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ- АНАЛИЗА

С.С. Кротких

Аспирант

Кафедра прикладной математики

Харьковский национальный университет

радиоэлектроники

пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61000

Контактный тел.: 066-939-69-34

E-mail: seemann@inbox.ru

1. Введение

Эффективный анализ частотно-временных процессов зависит от качества их предварительной обработки. Анализ естественных сигналов, таких как звук, биологические сигналы, геологические процессы, особенно усложнен из-за недостатков регистрации этих процессов. Неточность приборов, регистрация посторонних сигналов, наличие артефактов все это ведет к необходимости предварительной обработки сигналов.

Основным инструментом фильтрации и удаления помех из сигнала являются спектральные методы, основанные на преобразовании Фурье (ПФ). В частности, количественным показателем меры сложности сигнала является спектральная энтропия, которая позволяет оценить меру упорядоченности сигнала. Вся энергия упорядоченного сигнала, такого как гармонический, сконцентрирована в соответствующих гармониках, что говорит о низкой энтропии сигнала. С другой стороны, зашумленный сигнал содержит широкий диапазон частот, следовательно, обладает высокой энтропией.

Спектральные методы достаточно просты для расчетов и имеют прозрачную интерпретацию результатов, однако, обладают рядом недостатков, основным из которых является требование стационарности процесса. ПФ эффективно использовать в тех случаях, когда интервал наблюдений содержит большое число колебаний, форма и периоды колебаний постоянны на всем интервале наблюдения.

Как правило, реальные временные ряды или сигналы являются нестационарными, зашумленными и неоднородными. Вейвлет-преобразование (ВП) было разработано как альтернатива ПФ для исследования

временных рядов с сильной неоднородностью. ВП одинаково хорошо выявляет как низко-частотные, так и высокочастотные характеристики сигнала на разных временных масштабах. Для анализа сигналов с широким частотным спектром был разработан пакетный вейвлет-анализ, который предоставляет информацию не только о низкочастотных составляющих, но и детализирует высокочастотные коэффициенты [1,2].

В данной работе предлагается в качестве инструмента для удаления помех из нестационарного сигнала использовать метод на основе пакетного вейвлет-преобразования. На примере звукового сигнала будет продемонстрировано применение метода для удаления аддитивного шума.

2. Пакетное вейвлет-преобразование

Вейвлет-преобразование в настоящее время широко используется для анализа сложных сигналов, удаления артефактов и шумов из них. В обычном алгоритме быстрого вейвлет-преобразования (БВП) при переходе с масштабного уровня m на уровень $m+1$ функция аппроксимирующих коэффициентов $c_{m,k}$ разделяется на низкочастотную ($c_{m+1,k}$) и высокочастотную ($d_{m+1,k}$) части спектрального диапазона, и при дальнейшем увеличении масштабных уровней разложению подвергаются только низкочастотные функции (аппроксимирующие). В пакетном алгоритме БВП операция последовательного частотного расщепления применяется как для низкочастотных (аппроксимирующих), так и для высокочастотных (детализирующих) коэффициентов. В результате возникает дерево расщепления, пример которого (в

предельной форме расщепления на всех уровнях) показан на рис. 1.

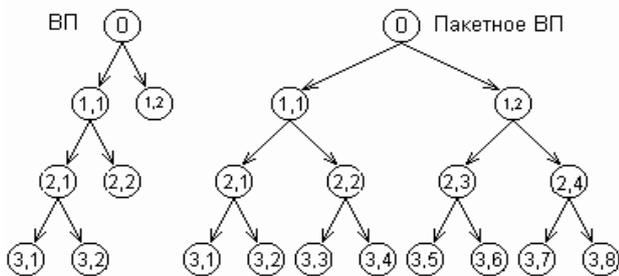


Рис. 1. Дерево обычного ВП (слева) и пакетного ВП (справа)

Каждый узел вейвлет-дерева расщепляется на два подузла с высокочастотными и низкочастотными коэффициентами. Последовательное разложение узлов осуществляется наложением высокочастотного и низкочастотного фильтров и определяется следующими формулами:

$$y_{низ}(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k)g(2n-k)$$

$$y_{выс}(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k)h(2n-k)$$

Новые вейвлеты также локализованы в пространстве, но на вдвое более широком интервале. Полный набор вейвлетных функций разложения называют вейвлет-пакетом. Пакетное вейвлет-преобразование является адаптивным и широко используется для компрессии сигналов и их очистки от шумов. Оно позволяет более точно приспособляться к особенностям сигналов путем выбора соответствующей оптимальной формы дерева разложения, которая обеспечивает минимальное количество вейвлет-коэффициентов при заданной точности реконструкции сигнала, и, тем самым, целенаправленно исключает из обратного БВП незначимые, информационно избыточные или ненужные детали сигналов.

3. Описание метода

Используя пакетное вейвлет-преобразование, можно выделить частотные особенности исследуемого сигнала, в частности наличие шумовой составляющей.

Пакетное ВП часто графически представляют деревом, корнем которого является исходный сигнал. Пакеты, являющиеся ветками, можно соотнести с определенным частотным диапазоном. Пакеты, не содержащие информации о сигнале, можно рассматривать как шумовые или артефакты. Мерой информативности набора коэффициентов служит показатель энтропии. Наиболее часто используют энтропию Шеннона:

$$E = \exp(-\sum_n p_n \cdot \log(p_n)), p_n = |x_n|^n / \|x\|^2, \quad (1)$$

где p_n - распределение вейвлет-коэффициентов на уровне разложения n .

Более отдаленные от корня узлы дерева содержат низкочастотные коэффициенты и несут в себе больше информации об исследуемом сигнале. Этот факт подтверждается тем, что энтропия Шеннона убывает, начиная с определенного уровня разложения $N > 1$.

Метод построения оптимального дерева заключается в последовательном разложении узлов с низкой энтропией и занулении узлов с высокой энтропией. Изменяя порог допустимой энтропии узла и тип вейвлет-функции, можно подобрать оптимальный метод построения вейвлет-дерева для определенной задачи.

Алгоритм построения вейвлет-дерева включает в себя два этапа. Первый этап – наращивание узлов дерева. Для начала строится дерево с двумя уровнями (рис. 2).

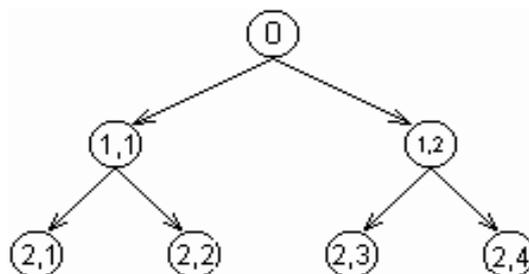


Рис. 2. Вейвлет-дерево с двумя уровнями разложения

На каждом из узлов конечного уровня рассчитывают энтропию по формуле (1). Узел с наименьшим значением энтропии раскладывается еще на 2 узла. Всего на каждом уровне для разложения выбирается один узел l таким образом:

$$l = \arg(\min_i (E_i)), i = \overline{1, n},$$

где E_i – энтропия на узле i . Функция arg возвращает индекс уровня, на котором значение энтропии минимально. Коэффициенты остальных узлов устанавливаются в нуль. Процесс продолжается до тех пор, пока значение энтропии на одном из конечных узлов не достигнет заданного минимального:

$$\min_i (E_i) < E_{min}, i = \overline{1, n}.$$

Второй этап алгоритма заключается в обратном преобразовании вейвлет-дерева в числовую последовательность.

$$x(t) = \sum_k y(t)\psi^{-1}(t)$$

Такое преобразование однозначно переводит коэффициенты дерева вейвлет-разложения в числовую последовательность, которую оно представляет. Следует отметить, что такое преобразование единственно [1].

4. Эксперимент

В качестве модельного сигнала был выбран звуковой сигнал, содержащий звуковую запись чело-

веческой речи. Сигнал был зашумлен белым шумом (рис. 3).

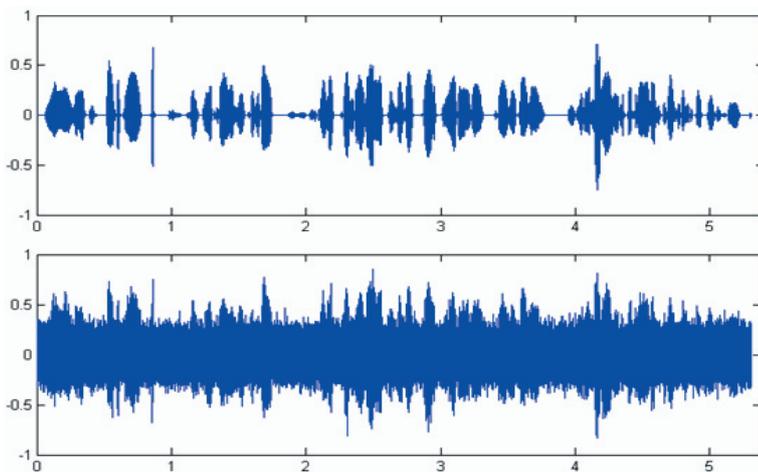


Рис. 3. Звукозапись человеческой речи (вверху). Звукозапись человеческой речи, зашумленная белым аддитивным шумом (внизу)

Используя алгоритм, описанный в пункте 2, было построено дерево пакетного вейвлет-преобразования (рис. 4).

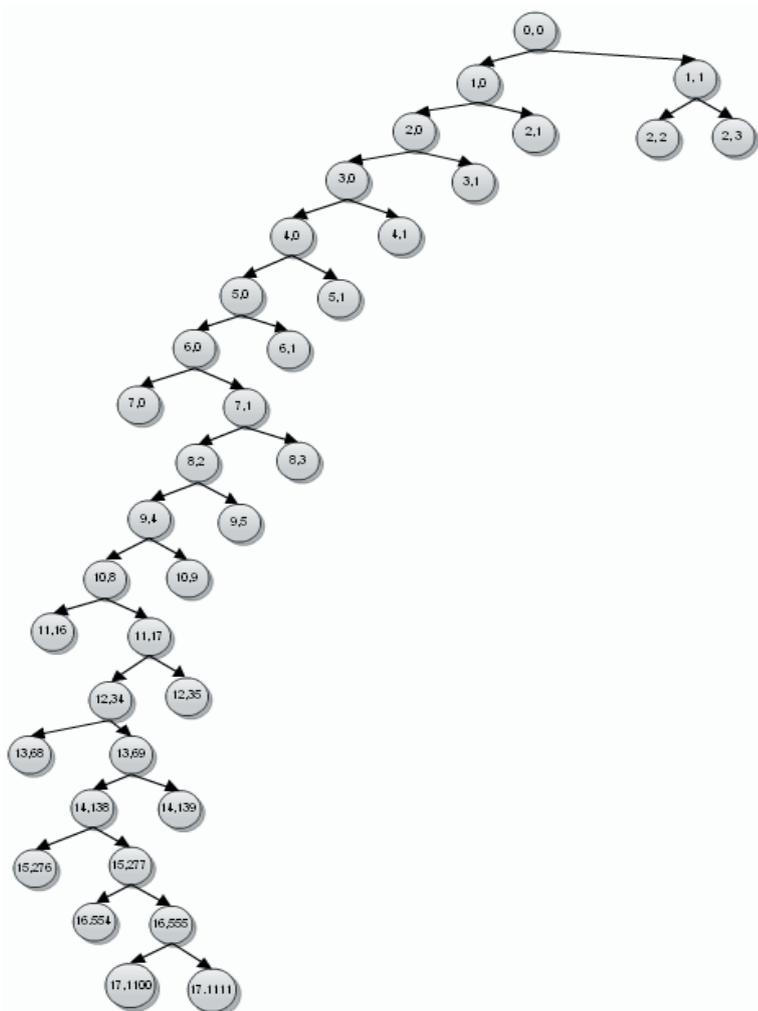


Рис. 4. Дерево вейвлет-разложения

На первом этапе алгоритма верхние узлы дерева содержали высокие значения энтропии, приблизительно 10^5 . Очевидно, чем меньше выбранное значение энтропии, тем более упорядоченный будет результирующий сигнал. Однако, при занулении большого числа узлов есть опасность потери информации значимого сигнала. В связи с этим, опытным путем было выбрано значение оптимального значения минимальной энтропии $E_{\min} = 10$.

Правильный выбор вейвлет-функции значительно влияет на точность восстановленного сигнала. Для определения качества удаления шума воспользуемся оценкой погрешности восстановленного сигнала R :

$$R = \frac{1}{N} \sum_i |X_i - X_{i_{\text{восстанов.}}}|$$

Где X_i – не зашумленный сигнал, $X_{i_{\text{восстанов.}}}$ – восстановленный сигнал, N – длина исследуемого сигнала. Для выбора наиболее подходящей вейвлет-функции был проведен сравнительный анализ погрешностей 11 различных вейвлет функций, данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

Погрешность восстановления зашумленного сигнала, используя различные вейвлет-функции

Название вейвлет-функции	Погрешность восстановления (R)
Ф-ция Хаара	$1,42 \cdot 10^{-8}$
Ф-ция Добеши-1	$0,95 \cdot 10^{-8}$
Ф-ция Добеши-4	$0,12 \cdot 10^{-8}$
Ф-ция Добеши-5	$3,02 \cdot 10^{-8}$
Коифлет функция-1	$0,13 \cdot 10^{-8}$
Коифлет функция-2	$0,46 \cdot 10^{-8}$
Коифлет функция-3	$2,13 \cdot 10^{-8}$
Симлет функция-3	$0,61 \cdot 10^{-8}$
Симлет функция-3	$5,29 \cdot 10^{-8}$
Дискретная функция Мейера	$2,57 \cdot 10^{-8}$
Биортогональная функция-2.2	$0,64 \cdot 10^{-8}$

Наименьшее значение погрешности наблюдалось при использовании функции Добеши-4. Эта функция была применена для построения вейвлет-дерева и восстановления сигнала. На рис. 5 приведен сигнал, прошедший фильтрацию.

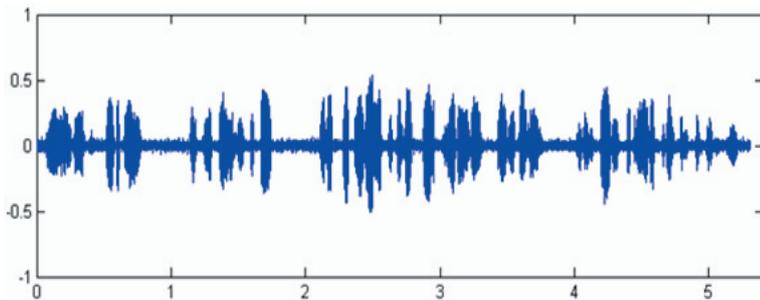


Рис. 5. Сигнал после обработки с помощью пакетного ВП

5. Выводы

Предложенный метод удаления шумов из сигнала является универсальным и подходит как для стационарных так и не стационарных сигналов. Пакетное вейвлет-преобразование является гибким адаптивным методом анализа. Совместное использование пакетного ВП и энтропии Шеннона позволяет пода-

вить воздействие шумов и помех различной природы. Задавая допустимый барьер энтропии, можно регулировать степень остаточной зашумленности. При сильной корреляции шума с базовым сигналом полное исключение шума является сложной задачей. В этом случае можно прибегнуть к уменьшению допустимого порога энтропии и возможно разбиению сигнала на более короткие участки.

Был проведен сравнительный анализ влияние выбранной вейвлет-функции на погрешности при фильтрации. Выделена функция Добеши-4, как наиболее оптимальная для удаления шума из звукового сигнала. В каждом отдельном случае необходимо уделять внимание выбору вейвлет-функции и значению минимального порога энтропии. Более детальный анализ выбора этих параметров формирует область для дальнейших исследований.

Литература

1. Дьяконов В., Абраменкова И. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002, 608 с.
2. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов: Пер. с англ. С. Малла. – М.: Мир, 2005. – 671 с.

Система автоматичного керування (САК) створюється для забезпечення необхідної точності та достовірності вимірюваних параметрів незалежно від динамічних режимів роботи об'єкту вимірювання

Ключові слова: система автоматичного керування, стійкість системи

Система автоматического управления (САУ) создается для обеспечения необходимой точности и достоверности измеряемых параметров независимо от динамических режимов работы объекта измерения

Ключевые слова: система автоматического управления, устойчивость система

Automatic control system (ACS) is created to maintain the accuracy and reliability of the measured parameters independently of the dynamic modes of the measurement object

Keywords: automatic control system, system stability

УДК 62-50 (075-8)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАДАЧІ АНАЛІЗУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ ВИМІРЮВАНЬ В ІВІС

Н. М. Бєлова
Аспірантка

Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет
вул. Петровського, 25, м. Харків, Україна, 63000
Контактний тел.: 095-495-74-90
E-mail: Garnetred@rambler.ru

1. Вступ

Останнім часом все більшого поширення набувають цифрові системи автоматичного керуван-

ня. Принципам побудови та дослідження таких систем присвячено багато літератури, в якій розглядається математичний апарат для дослідження імпульсних САК, передаточні функції та частотні