

ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ В МАТЛАБ РЕАЛЬНЫХ ОСЦИЛЛОГРАММ

WAVELET SIGNAL ANALYSIS OF ACTUAL OSCILLOGRAMS USING MATLAB

Дьяконов В. П. (V.Dyakonov), д.т.н., проф., Смоленский государственный университет

Статья посвящена новейшим средствам вейвлет-анализа сигналов, которые пока аппаратно в цифровых осциллографах не реализованы. Эти средства обеспечивают тонкий анализ сигналов и обнаружение порою скрытых их особенностей. Благодаря применению системы MATLAB, где эти средства реализованы в пакете расширения Wavelet Toolbox, они уже могут практически использоваться при анализе реальных осциллограмм. Статья завершает тему, поднятую в [1,2].

ВЕЙВЛЕТЫ ПРОТИВ РЯДОВ ФУРЬЕ

Как известно [2-4], теоретически представление сигналов возможно в виде суммы составляющих — базисных функций $\Psi_k(t)$, помноженных на коэффициенты C_k :

$$s(t) = \sum_k C_k \psi_k(t) \quad (1)$$

Т.к. базисные функции $\Psi_k(t)$ предполагаются заданными как функции вполне определенного вида, то только коэффициенты C_k содержат информацию о конкретном сигнале. Ряды Фурье используют единственную базовую функцию — синусоиду. Уже в силу этого для нестационарных сигналов классический спектральный анализ просто неприменим. Причины этого детально описаны в [3,4].

Около четверти века назад математики открыли новые базисные функции в виде коротких «волночек» — вейвлетов, которые способны перемещаться по оси времени (параметр b) и меняться по ширине (параметр a):

$$\psi(t) \equiv \psi(a, b, t) = a^{-1/2} \psi_0\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2)$$

Разумеется, чтобы точно представлять сигналы, вейвлеты должны удовлетворять особым условиям, которые указаны в [3,4]. В частности — условиям ортогональности. Прямым вейвлет-преобразованием (Continuous Wavelet Transform — CWT) называют вычислительные вейвлет-коэффициентов в области определения R :

$$C(a, b) = \int_R s(t) a^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (3)$$

Интегральное преобразование (3) называют непрерывным, если параметры масштаба a и сдвига b , в ходе обработки сигнала, принимают любые действительные значения. Оно избыточно по затратам времени на вычисления, но зато позволяет добиться наибольшей детализа-

ции при анализе сигналов. Она ограничена лишь принципом неопределенности. Практически на современных персональных компьютерах (ПК) время такого анализа составляет доли-единицы секунды. Т.е. оно того же порядка (а часто намного меньше), что у современных анализаторов спектра с аппаратной реализацией Фурье-анализа [2]. Для прямого вейвлет-преобразования и получения вейвлет-спектрограмм не обязательно применение ортогональных вейвлетов.

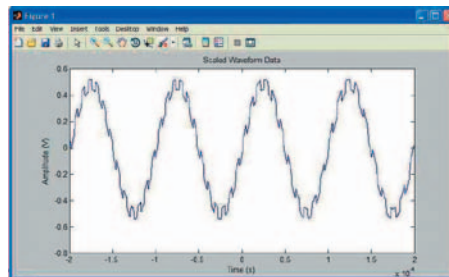


Рис. 1. Отрезок осциллограммы синусоиды с наложенными на нее прямоугольными импульсами с меняющейся частотой

Вейвлетов оказалось великое множество — только в пакете расширения Wavelet Toolbox системы MATLAB их десятки. Это означает большие возможности в подборе наиболее удачных для анализа сигналов вейвлетов. Последнее можно сравнить разве что с подбором красок для холста художника, желающего отразить натуру. Фурье анализ это унылые серые краски, а вейвлет-анализ — яркие цвета радуги! Скоро мы убедимся, что это не просто образное сравнение. Так оно и есть на самом деле! Список всех классов вейвлетов выводит команда `wavemngr('read')`, а команда `help wavelet` выводит список всех функций пакета.

Реализуется CWT функцией `COEF = cwt(ydata, start:step:end, 'W', 'opt')`, где `ydata` — вектор сигнала, `start` и `end` — начальный и конечный уровни разложения, `W` — тип вейвлета и `opt` — опция, задающая тип окраски

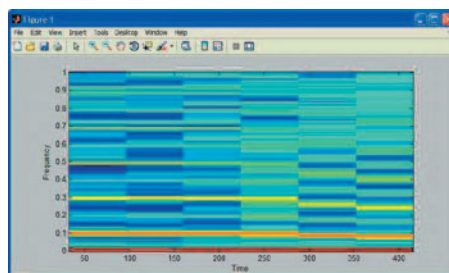


Рис. 2. Спектрограмма сигнала, показанного на рис. 1

вейвлет-спектрограммы, которую строит эта функция. Функция возвращает вектор вейвлет-коэффициентов `COEF`.

Начнем с сенсационного примера — анализа синусоиды, на которую наложены прямоугольные импульсы с небольшой изменяющейся амплитудой. Этот, ставший классическим пример, иллюстрирует важные преимущества вейвлет-анализа при описании им нестационарных сигналов. В спектре наложенный сигнал обнаружить невозможно — его спектральные составляющие просто размываются по оси частот и сливаются с шумом.

До сих пор этот пример приводился в литературе на уровне математически заданного сигнала [3, 4]. Мы же приведем этот пример с реальным сигналом (синусоида от генератора AFG 3101 с наложенным частотно-модулированным меандром от функционального генератора MXG-9810A). Сразу отметим, что на экране осциллографа такой сигнал выглядит просто как зашумленная синусоида и плохо синхронизируется. Разглядеть, что именно наложено на сигнал невозможно, если только не «заморозить» сигнал в памяти и затем рассмотреть его участок — например с помощью фирменного средства `Wave Inspector`, введенного во многие модели осциллографов фирмы `Tektronix`. Программа `osc` [1] также «замораживает» кадр осциллограммы (рис. 1).

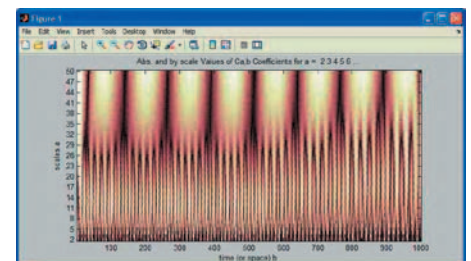


Рис. 3. Вейвлет-спектрограмма сигнала, показанного рис. 1

Покажем, что даже коротко-оконный Фурье анализ не справляется с задачей выделения перепадов у такого сигнала. На рис. 2 показано построение спектрограммы данного сигнала командой `specgram(ydata)`. Увы, ничего из спектрограммы выяснить нельзя — неясна форма сигналов (основного и наложенного) и временное положение его тонких особенностей. По сути дела спектрограмма просто бесполезна.

А теперь рассмотрим вейвлет-спектрограмму этого же сигнала, полу-

ченную командой `swt(ydata,2:1:50,'db2','abslvl')`. Она показана на рис. 3. Сразу видно, что она даже в одном цвете куда более детализирована, чем обычная спектрограмма. Внизу при малых a отчетливо виден шум сигнала, а при a порядка 10-20 отчетливо выявляется наложенный сигнал. Постоянство оттенков цвета указывает на наличие у сигнала плоских частей, что говорит о близости наложенного сигнала к прямоугольной форме. Каждый перепад выделяется характерным «зубом»

При числе коэффициентов порядка 40 и выше отчетливо просматривается уже только основной сигнал. Плавные переходы от светлых тонов к темным характерны для синусоидальной формы. По краям (особенно слева) отчетливо выделяются «зубы» краевых разрывов. Легко судить о местоположении любого фрагмента сигнала на оси времени. Таким образом, вейвлет-спектрограмма дает исчерпывающие данные о характере представляемой ею осциллограммы сигнала и его особенностях.

СРЕДСТВА GUI MATLAB ДЛЯ РАБОТЫ С ВЕЙВЛЕТАМИ

Пакет Wavelet Toolbox имеет прекрасные средства на основе графического интерфейса пользователя (GUI), заметные облегчающие работу со столь сложной материей, как вейвлеты. Для вызова этих средств достаточно исполнить команду `wavemenu`. Она приведет к появлению окна с обширным списком указанных средств — рис. 4.



Рис. 4. Окно на основе GUI со списком разделов применения вейвлетов

С назначением этих средств разобратся несложно, хотя их названия даны на английском языке. К примеру, средства SWT представлены в разделе одномерных вейвлетов One Dimensional позицией Continuous Wavelet 1-D. Активизируя кнопку этой позиции можно вызвать окно для детального анализа сигналов с применением SWT.

Теперь, вооружившись этим новым инструментом, можно продолжить наш эксперимент по вейвлет-анализу реальных осциллограмм. Уменьшим амплитуду прямоугольных импульсов до очень малого уровня, при котором он еще конечно, но эти импульсы на реальной осциллограмме уже не просматриваются на глаз. Пустив программу `osc`, загрузи-

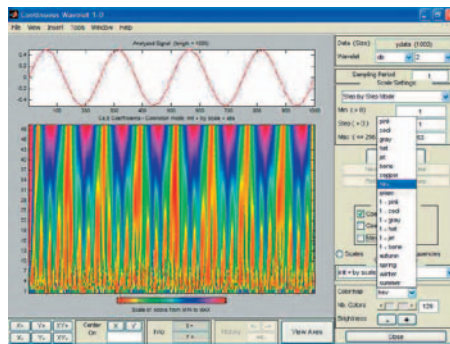


Рис. 5. Вейвлет-анализ синусоиды с наложенными на нее прямоугольными импульсами малой амплитуды

зим вектор данных `ydata` из рабочего пространства MATLAB в окно GUI, используя для этого меню File окна. В правой части окна можно выбрать тип вейвлета — выбран `db2`, указать шаг дискретизации и задать параметры масштаба Scale.

Нетрудно убедиться, что на графике временной зависимости синусоиды (на рис. 5 он сверху) в этом случае меандр вообще не наблюдаются. Нажав клавишу Analyze в правой части окна, мы получим вейвлет-спектрограмму, на которой по-прежнему четко выделяются прямоугольные импульсы и можно оценить их длительность и местоположение на оси времени.

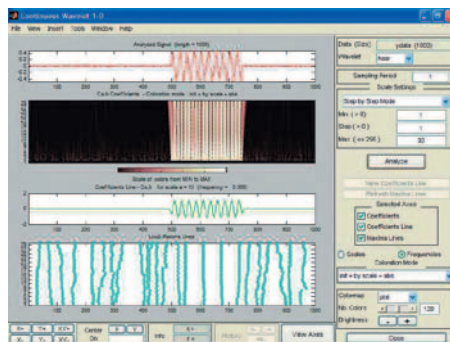


Рис. 6. Вейвлет-анализ пачки из 10 треугольных колебаний

Помимо выбора типа вейвлета для анализа в окне GUI можно выбрать одну из множества цветовых схем вейвлет-спектрограмм. Так, на рис. 5 выбрана схема `hsv` и показано открытое меню выбора цветовой схемы. Нетрудно заметить, что эта красочная схема дает превосходную четкость в выделении деталей вейвлет-спектрограммы и обеспечивает построение вейвлет-спектрограмм с множеством цветов. Можно экспериментировать с выбором типа вейвлета и методами масштабирования.

ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ ПАЧЕК РАЗЛИЧНЫХ СИГНАЛОВ

В [1] было показано, что Фурье-анализ пачек сигналов не эффективен. А как тут поведет себя вейвлет-анализ? Прямо скажем — превосходно! В силу свойств вейвлетов как масштабируемых и сдвигаемых «коротких волночек» он почти идеально приспособлен для вы-

деления пачек. Покажем практические примеры этого.

На рис. 6 приведены данные анализа пачки из 10 треугольных импульсов. Отчетливо выделяются периоды всех колебаний и положение пачки на временной оси. О принадлежности сигнала в треугольном свидетельствует равномерность яркости светлых вертикальных полос. Она говорит о том, что в их пределах крутизна изменения сигнала постоянна. Начало и конец пачки выделяется особо треугольными зубцами с пониженной яркостью. График 15-го коэффициента хорошо выделяет первую гармонику сигнала пачки. Выделение линий экстремумов внизу окна работает некорректно, поскольку пачка содержит слишком быстрые изменения сигнала.

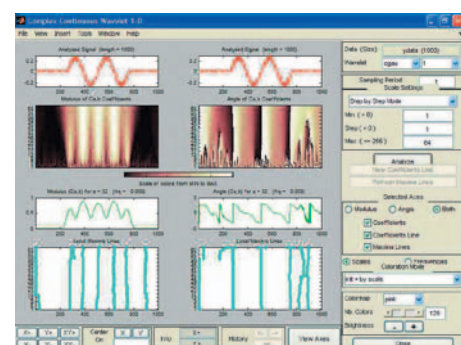


Рис. 7. Вейвлет анализ пачки из двух зашумленных синусоид с помощью комплексных вейвлетов

Расширить возможности визуализации вейвлет-анализа позволяют комплексные вейвлеты с действительной и мнимой частями. В примере на рис. 7 использован комплексный вейвлет Гаусса. Его применение позволяет строить спектрограммы отдельно для модуля и фазы вейвлет-коэффициентов. На рис. 7 представлен анализ пачки из

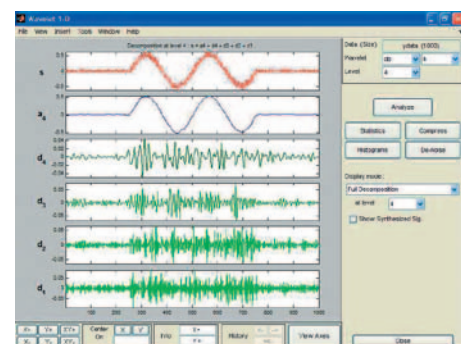


Рис. 8. Вейвлет анализ зашумленной пачки из двух синусоид с применением вейвлета Добеши `db4`

двух зашумленных синусоид. Умеренные шумы слабо сказываются на результатах анализа, при этом выделение линий экстремумов работает довольно четко.

ВЕЙВЛЕТ-ОЧИСТКА СИГНАЛА ОТ ШУМА И КОМПРЕССИЯ СИГНАЛА

Важным применением вейвлетов стала очистка сигналов от шума и их сжатие (компрессия). Они основаны на

ограничении уровня используемых коэффициентов. Ограничимся применением одномерных вейвлетов. На рис. 8 показан пример анализа двух периодов зашумленной синусоиды с помощью вейвлета Добеши db4. Окно позволяет выбрать и другие вейвлеты разного порядка и с разным числом уровней. Видны графики аппроксимирующих коэффициентов a_i и детализирующих d_i , а также график сигнала s .

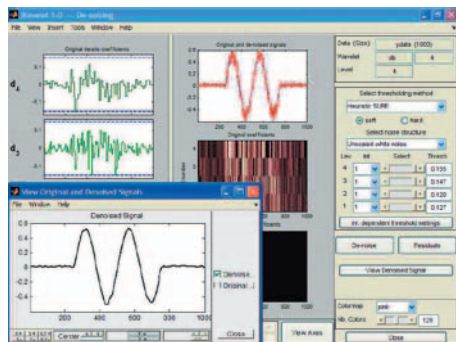


Рис. 9. Очистка сигнала от шума

Активизируя кнопку De-noise можно вызвать окно очистки сигнала от шума. Оно показано на рис. 9. В этом окне можно задать вид ограничения порогов и, нажав снова кнопку De-noise, провести очистку сигнала от шума. Очищенный от шума сигнал появляется в виде тонкой синей линии в графике зашумленного сигнала. Активизация большой кнопки View Denoised Signal позволяет наблюдать большое окно с зашумленным сигналом и очищенным сигналом — рис. 9 слева внизу.

Окна вейвлет-анализа позволяют получить детальную статистику сигнала и его вейвлет разложения и реконструкции. Для примера на рис. 10 показано окно такой статистики для нашего последнего примера. К статистическим параметрам сигнала относится и его Фурье-спектр. Для выбора видов статистического анализа служат опции, указанные в правой части окна.

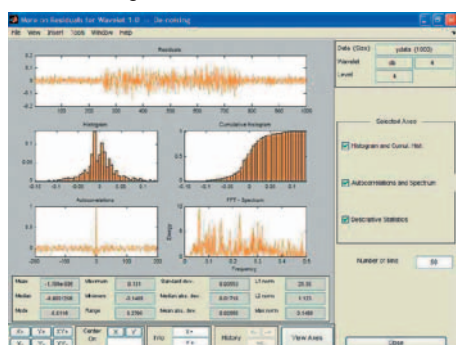


Рис. 10. Окно статистики сигнала и его вейвлет-преобразований

На рис. 11 показан еще один пример вейвлет анализа пачки из двух синусоид с применением пакетного вейвлета Добеши db4 с тремя уровнями разложения. Разложение можно представить деревом, причем пакетные вейвлеты имеют две ветви такого дерева — оно и

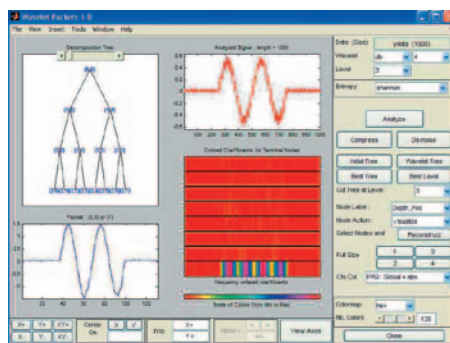


Рис. 11. Иллюстрация очистки сигнала от шума с помощью пакетного вейвлета

показано на рисунке. Активизируя точки перехода с одной ветви на другую можно наблюдать реконструированный в этом месте сигнал. К примеру, в точке (3,0) он уже восстановлен и практически очищен от шума. На рисунке представлена также вейвлет-спектрограмма для этого случая. Для получения лучшей очистки можно выбрать наилучшее дерево (Best Three) и наилучший порог (Best Level). Возможен выбор фиксированных и адаптивных порогов. Алгоритмы такого выбора описаны в [3].

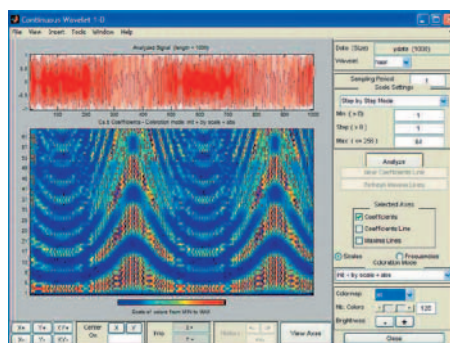


Рис. 12. Вейвлет-спектрограмма частотно-модулированного сигнала

Вейвлет-очистка сигнала от шума принципиально отличается от фильтровых методов очистки на основе спектрального метода — она ограничивает значения вейлет коэффициентов, а не номеров гармоник. Поэтому она не связана с частотными составляющими сигналов и применима к нестационарным сигналам. Но и в случае стационарных сигналов такая очистка может быть более эффективной. Для этого в Wavelet Toolbox введены специальные стационарные вейвлеты.

Поскольку удаление части вейвлет-коэффициентов сокращает затраты памяти под их хранение, то оно может использоваться и для компрессии сигналов — например, звука или изображения. Это уже нашло полезное применение в новом формате сжатия сигналов JPEG 2000 и показало заметные преимущества вейвлет-сжатия перед сжатием на основе блочного косинусного преобразования сигналов, получившего поистине массовое применение в технике обработки изображений и в производстве оптических дисков.

ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

Теперь рассмотрим, что дает вейвлет-анализ модулированных сигналов. Вейвлет-спектрограмма сигнала амплитудно-модулированного сигнала четко показывает наличие модуляции и ее частоту. Но, все же это случай, когда классический спектральный анализ выглядит более выигрышно — он позволяет получить спектр в виде несущей и боковых частот, по уровням которых можно найти коэффициент модуляции.

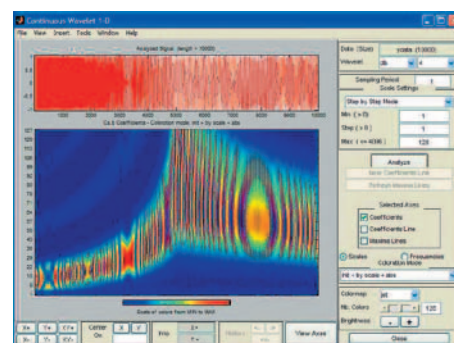


Рис. 13. Вейвлет-спектрограмма сигнала с меняющейся частотой (свип-генератора)

А вот вейвлет-спектрограмма частотно-модулированного (ЧМ) сигнала выглядит впечатляюще — рис. 12. Она позволяет легко оценить, где частота сигнала максимальна, а где минимальна. Можно даже судить о законе модуляции.

Необычный вид имеет и спектрограмма сигнала от генератора качающейся частоты. Спектрограмма (рис. 13) выглядит куда более информативной, чем осциллограмма такого колебания. Как и в случае ЧМ-сигнала, она требует дополнительного осмысления.

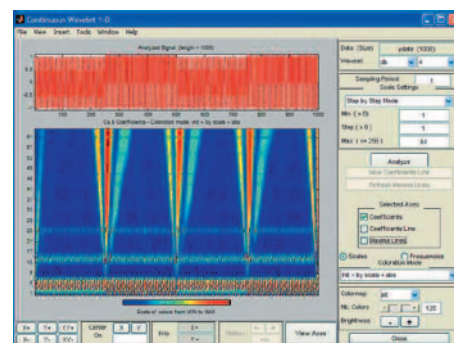


Рис. 14. Вейвлет-спектрограмма фазоманипулированного сигнала

Очень интересно и наглядно выглядит вейвлет-спектрограмма сигнала с фазовой манипуляцией. По осциллограмме и обычному спектру такого сигнала нельзя сделать вывод о характере манипуляции. Однако вейвлет-спектрограмма дает четкие данные о быстром переключении фазы и моментах времени, в которые такое переключение происходит — рис. 14.

Вейвлет-спектрограмма прямоугольного сигнала с широтно-импульсной модуляцией (рис. 15) вы-

глядит не очень разборчиво. Но, при удачном подборе типа вейвлета и световой гаммы спектрограммы, удается даже выявить, что модулирующий сигнал имеет треугольную форму. Это видно в верхней части вейвлет-спектрограммы.

ВЕЙВЛЕТ-СПЕКТРОГРАММЫ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ

Глюки (аномалии) в сигналах обычно нельзя обнаружить по результатам обычного спектрального анализа — их спектр «размывается» по оси частот и маскируется шумами. Да и коротко-оконный спектральный анализ в этом помогает мало. Зато вейвлет-спектрограмма (рис. 16) позволяет четко обнаруживать глюки (в данном случае провалы двух верхушек сигнала) и четко определять время их появления и даже характерную асимметрию. Каждый провал четко фиксируется характерным и отчетливо видимым красным пиком. По его высоте можно судить о величине провала.

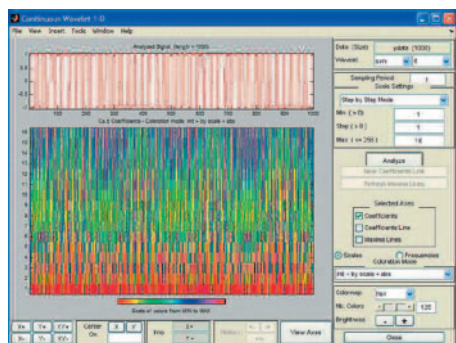


Рис. 15. Вейвлет осциллограмма сигнала с ШИМ

Сложные сигналы, например ступенчатой формы, также плохо анализируются методами спектрального Фурье-анализа, зато вейвлет-спектрограмма (рис. 17) дает четкое представление о длительности ступенчатых импульсов, числе их ступенек и месте расположения каждой на временной оси. По постоянству окраски областей спектрограммы, отражающих пологие части ступенек, можно сделать вывод, что они горизонтальны. А неяркие, но четкие, зубчики четко указывают на малые перепады всех ступенек. Особенно отчетливы (как большие яркие зубцы) видны общие перепады такого сигнала.

В наше время широко применяются

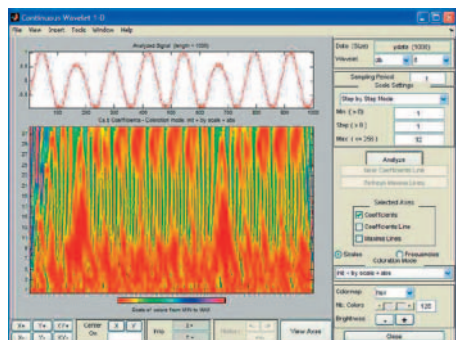


Рис. 16. Вейвлет-спектрограмма сигнала с глюками (провалами 2-го и 6-го пиков)

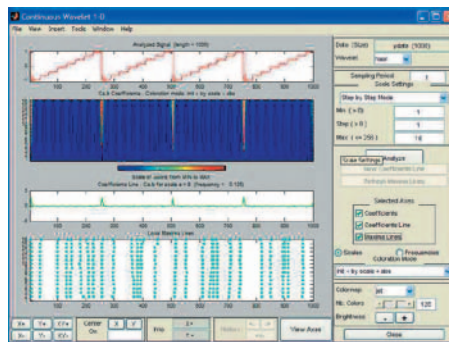


Рис. 17. Вейвлет-спектрограмма ступенчатого сигнала

последовательные шины и интерфейсы. На рис. 18 показана вейвлет-спектрограмма реального сигнала данных от шины PC. Нетрудно заметить, что все особенности сигнала четко локализованы и выделены. Между тем, такой сигнал бесполезно исследовать методами обычного спектрального анализа.

ДИСКРЕТНЫЙ ДИАДИЧЕСКИЙ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ

До сих пор мы использовали только непрерывные вейвлеты различного типа. У них параметр масштаба a меняется непрерывно, в соответствии с изменением значений простых чисел. Это ведет к избыточности вычислений, но зато к хорошему разрешению спектрограмм. При дискретном вейвлет-преобразовании изменение масштаба

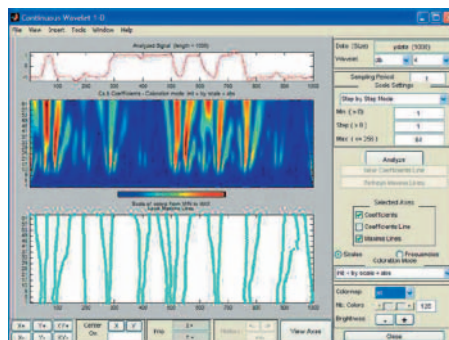


Рис. 18. Вейвлет-спектрограмма данных последовательного порта PC

задается дискретно, чаще всего по закону 2^i , где $i=0, 1, 2, 3$ и т.д. Такое преобразование называют также диадическим. Оно реализуется выбором значения Power 2 Mode опции Scaling Setting. На рис. 19 показана вейвлет-спектрограмма для этого случая. Если максимальная степень i велика, то можно получить высокое разрешение вейвлет-спектрограмм. Дискретное вейвлет-преобразование выполняется заметно быстрее, чем непрерывное.

СКЕЙЛИНГГРАММЫ В НОВЫХ ВЕРСИЯХ WAVELET TOOLBOX

Учитывая особую роль непрерывных вейвлет-преобразований в тонкой оценке свойств сигнала в новые версии пакета расширения Wavelet Toolbox (например, Wavelet Toolbox системы

MATLAB R2009a) было введено новое средство — скейлингграммы. Рассмотрим их суть на примере сигнала в виде пачки из двух треугольных импульсов. Исполнив команды

```
osc;
COEFS = cwt(ydata, 1:5:250, 'cgau4', '3Dplot');
```

мы вычислим вейвлет-коэффициенты данного сигнала при использовании комплексного вейвлета Гаусса cgau4 . Опция '3Dplot' позволяет получить очень интересные данные о них с помощью трехмерного графика, показанного на рис. 20.

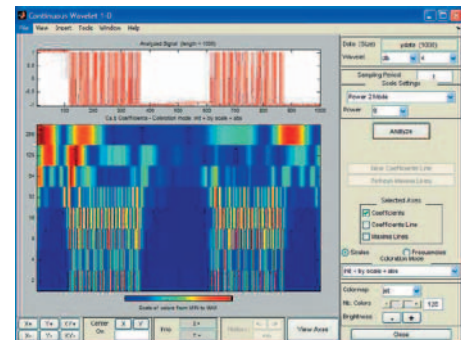


Рис. 19. Вейвлет-спектрограмма полученная диадическим методом

Сами по себе эти графики прекрасны характеризуют детали сигнала. Однако, исполнив команду построения скейлингграммы с опцией 'image' figure; `wscalogram('image', COEFS, 'ydata', ydata);`

получим рисунок исследуемого сигнала и скейлингграмму в виде цветного рисунка (рис. 21). Последняя очень четко и наглядно характеризует сигнал.

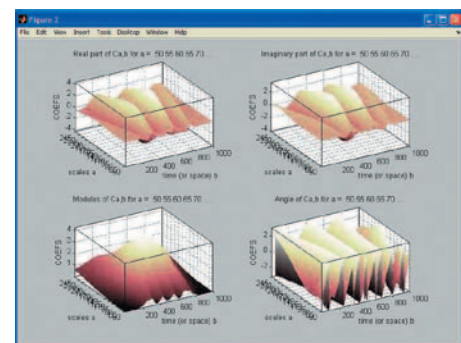


Рис. 20. Трехмерные (3D) графики вейвлет-коэффициентов CWT

А следующая команда `figure; wscalogram('contour', COEFS, 'ydata', ydata);`

позволяет построить скейлингграмму в виде цветного контурного графика (рис. 22). Она выглядит попроще, но тоже прекрасно выявляет особенности сигнала. В частности, отчетливо виден шум (неровности контурных линий), который был добавлен в сигнал.

Итак, оба варианта скейлингграмм отличаются высокой наглядностью и позволяют выявлять детали анализируемого сигнала. Как и другие вейвлет-спектрограммы они требуют осмысле-

ния и не всегда дают сразу очевидный результат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выше, в основном, использовалось только прямое вейвлет-преобразование. Но даже оно позволяет детально анализировать множество сложных сигналов и выявлять их тонкие особенности. К таким сигналам относятся кардиограммы сердечной деятельности человека и животных, сигналы от деятельности их мозга, осциллограммы взрывных и сейсмических процессов, искажения в сетях переменного тока, отражения от объектов рефлектоскопии и т.д. и т.п. Везде применение описанных методов дает новую и порою очень ценную информацию о тонких особенностях сигналов.

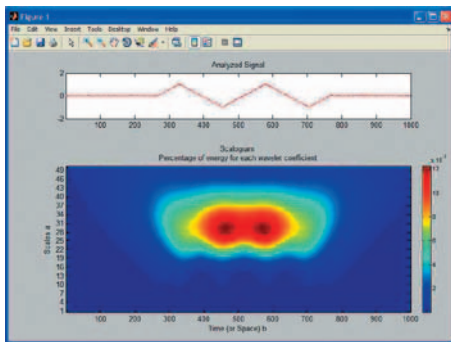


Рис. 21. Скейлингграмма пачки из двух зашумленных треугольных импульсов

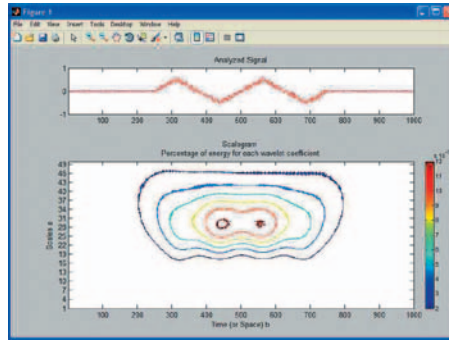


Рис. 22. Скейлингграмма зашумленного сигнала в виде цветного контурного графика

Применение СКМ существенно расширяет возможности измерительных приборов. Это видно на примерах Фурье-анализа и, особенно, вейвлет-анализа сложных реальных сигналов, полученных непосредственно от современных цифровых осциллографов. Для полноценного применения этих новейших методов анализа сигналов вполне подходит матричная СКМ MATLAB, ставшая общепризнанным во всем мире языком программирования научно-технических расчетов и математического моделирования. Можно ожидать, что предлагаемые СКМ средства вскоре будут реализованы в новых поколениях осциллографов и анализаторов сигналов и спектров. Лучше всего для этого подходят приборы с открытой архитектурой на базе ПК, но вполне возможно эффективное применение и приборов с

закрытой архитектурой — в том числе массовых и с умеренной стоимостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяконов В. П. Математический и спектральный анализ в MATLAB реальных осциллограмм. Контрольно-измерительные приборы и системы, 2010, № 1, с. 30.
2. Дьяконов В. П. Современные методы Фурье- и вейвлет-анализа и синтеза сигналов. Контрольно-измерительные приборы и системы, 2009, №2, с. 25.
3. Дьяконов В. П. М.: Вейвлеты. От теории к практике. Издание 2-е переработанное и дополненное. М.: Солон-Р. 2004. с. 438.
4. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7.0 + Simulink 5/6. Обработка сигналов и проектирование фильтров. М. СОЛОН-Пресс. 2005. с. 576. □

This article is devoted to the newest means of wavelet signal analysis which haven't been implemented yet in digital oscilloscopes hardware. These new means provide precise signal analysis and detection of hardly detectable signal characteristics. In MathLab these features are already applied in additional Wavelet Toolbox package and can be used in practice for actual oscillograms analysis. This article closes the theme started in the previous editions of our magazine.

НОВОСТИ на www.kipis.ru

НОВЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕРВИЧНЫЙ ЭТАЛОН

Во ФГУП «Уральский научно-исследовательский институт метрологии» (ФГУП «УНИИМ») создан эталон единиц массовой (молярной) доли и массовой (молярной) концентрации компонента в жидких и твердых веществах и материалах на основе кулонометрического титрования.

Новый эталон, разработанный ФГУП «УНИИМ» — первый из запланированного комплекса государственных первичных эталонов единиц величин на основе высокоточных методов кулонометрии, титрометрии, ионометрии, атомной абсорбции, масс-спектрометрии с изотопным разбавлением, жидкостной и газовой хромато-масс-спектрометрии, жидкостной хроматографии, объединенных одной государственной поверочной схемой.

Новый Государственный первичный эталон единиц массовой (молярной) доли и массовой (молярной) концентрации компонента в жидких и твердых веществах и материалах на основе кулонометрического титрования утвержден на основании решения коллегии приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 мая 2010 г. № 1718 и ему присвоен регистрационный номер ГЭТ 176-2010.

Ученым хранителем Государственного первичного эталона единицы крутящего момента силы назначена ведущий инженер лаборатории физических и химических методов аттестации стандартных образцов Скутина Алена Вячеславовна. Местом хранения эталона установлено ФГУП «УНИИМ».

www.uniim.ru

УТВЕРЖДЁН ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕРВИЧНЫЙ ЭТАЛОН ЕДИНИЦЫ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА СИЛЫ

В настоящее время существенно возросла потребность в высокоточных измерениях крутящего момента силы как в области малых (приборостроение, точная механика), так и в области больших (авиация, газоперекачивающие станции) крутящих моментов сил.

Государственный первичный эталон единицы крутящего момента силы, модернизированный ФГУП «Уральский научно-исследовательский институт метрологии» (ФГУП «УНИИМ»), расширяет диапазон воспроизведения единицы крутящего момента силы в восемь раз по сравнению с возможностями действовавшего до настоящего времени государственного первичного эталона.



Модернизированный государственный эталон представляет собой комплекс из трех установок и имеет диапазон воспроизведения единицы крутящего момента силы от 1.0 до 250 Нм; от 20.0 до 2500 Нм и от 200 до 20000 Нм. Стандартная неопределенность по типу А не превышает $0.8 \cdot 10^{-4}$ в диапазоне от 1.0 до 2500 Нм и $1.5 \cdot 10^{-4}$ в диапазоне от 2500 Нм до 20000 Нм, по типу В не превышает $1.0 \cdot 10^{-4}$ в диапазоне от 1.0 до 2500 Нм и $2.0 \cdot 10^{-4}$ в диапазоне от 2500 Нм до 20000 Нм.

Государственный первичный эталон единицы крутящего момента силы утвержден на основании решения коллегии приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 мая 2010 г. № 1717 и ему присвоен регистрационный номер ГЭТ 149-2010 (взамен ГЭТ 149-85).

Ученым хранителем Государственного первичного эталона единицы крутящего момента силы назначен исполняющий обязанности ведущего лабораторией метрологии крутящего момента силы и переменного давления ФГУП «УНИИМ» Черепанов Борис Алексеевич. Местом хранения эталона установлено ФГУП «УНИИМ».

www.uniim.ru