

[2] Солонина А.И., Улахович Д.А., Арбузов С.М., Соловьева Е.Б. «Основы цифровой обработки сигналов. 2-е издание», Санкт-Петербург «БВХ-Петербург» 2005 г.

М.Н. Баранова, Е.И. Лядова, Т.В. Гордяскина
 ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ СИГНАЛОВ В СРЕДЕ MATLAB2007 В КУРСЕ «РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И СИГНАЛЫ»

В работе исследуется простейшее вейвлет–преобразование Хаара для представления детерминированных и фильтрации зашумленных сигналов в программном пакете Matlab2007.

Цель исследования

В настоящее время в радиотехнике широкое применение находит вейвлет - преобразование сигналов, позволяющее проводить сжатие и фильтрацию информации. В основе дискретных вейвлет-преобразований лежит аппроксимация (усреднение) и детализация дискретных отсчётов сигнала. Основным инструментом вычисления вейвлет-преобразований является программный пакет Matlab, в базовый состав которого включен программный пакет Wavelet Toolbox. В курс «Радиотехнические цепи и сигналы» предлагается ввести лабораторную работу по изучению вейвлет-преобразований радиотехнических сигналов.

Детерминированный радиотехнический сигнал, сформированный 4-мя отсчётами, теоретически достаточно просто рассчитать, но на практике используются в основном сжатые во времени вейвлеты, для которых берутся 8, 16...256 и т.д. отсчётов сигнала, что приводит к увеличению размера описывающих их матриц. Для более глубокого понимания основ представления радиотехнических сигналов студентам предлагается выполнить лабораторную работу в пакете Matlab2007 с использованием простейших дискретных вейвлет-преобразований Хаара.

Методика моделирования радиотехнических сигналов в Matlab включает следующие этапы:

- 1) Создание М-файла – сценария для представления исследуемого сигнала;
- 2) Инициализация приложения Wavelet Toolbox командой wavemenu;
- 3) Выбор одномерного вейвлет представления Wavelet-1D;
- 4) Импорт исследуемого сигнала в Wavelet Toolbox;
- 5) Моделирование сигнала простейшим вейвлетом Хаара.

В первом задании лабораторной работы предлагается исследование гармонического сигнала $S(t)=N\sin(2N\omega t)$.

В качестве примера рассмотрим моделирование сигнала $S(t)=5*\sin(10*\omega*t)$ с четырьмя дискретными отсчетами (аналог сигнала в практической работе).

M – файл описания сигнала:

`t=0:0.025:0.1; % Сигнал формируется 4 отсчётами (шаг 0.1 разделён на 4).`

`x=5*sin(10*2*pi*t); % Исследуемый гармонический сигнал.`

`figure(1);`

`plot(t,x);`

`ylabel('Magnitude'), grid on;` } Построение осциллограммы сигнала.

`xlabel('Time[C]');`

При инициализации приложения Wavelet Toolbox командой `wavemenu` появляется рабочее окно, разделенное по назначению на шесть групп кнопочных включателей. В первом задании используется разложение сигналов одномерными вейвлетными функциями «One – Dimensional» – «Wavelet 1-D».

Импортированный в Wavelet 1-D гармонический сигнал подвергается дискретному преобразованию Хаара, определяются коэффициенты аппроксимации – a , детализации – d (рис. 1).

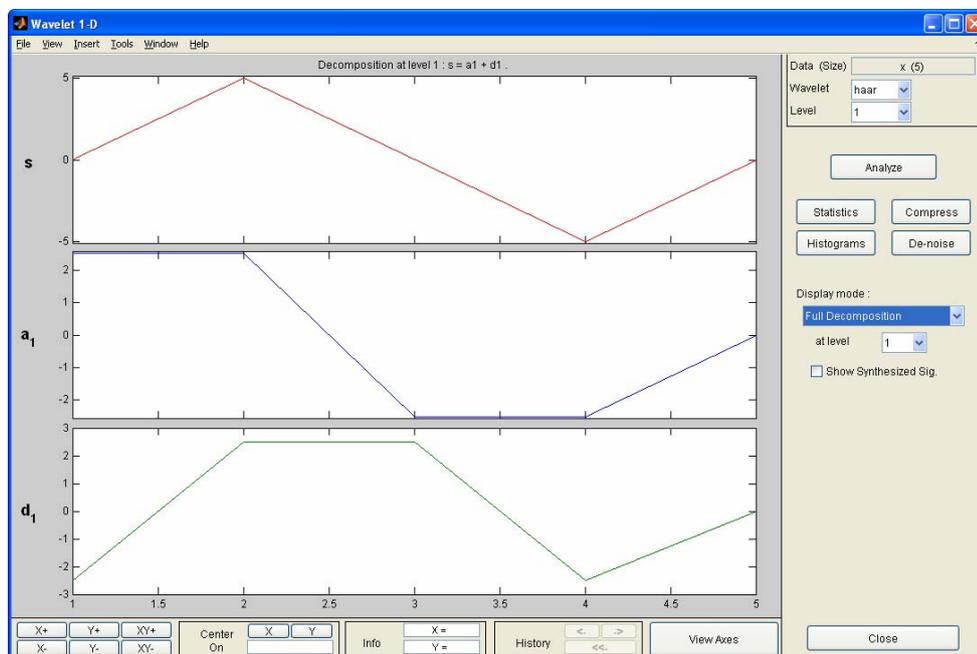


Рис. 1. Вейвлет-разложение Хаара гармонического сигнала, заданного 4 отсчетами

В работе предлагается провести аналогичное исследование при увеличении количества отсчетов исследуемого сигнала до 8, 16, ... 256; при моделировании целесообразно проанализировать дерево представления сигнала S (в поле Display Mode выбрать Tree Mode) (рис. 2).

Анализ рисунков 1 и 2 показывает, что при увеличении числа отсчетов сигнала увеличивается точность его представления, усложняется дерево представления сигнала S .

Во втором задании лабораторной работы предлагается исследование процесса фильтрации зашумленных сигналов.

Матричные представления преобразования Хаара позволяют применить методы цифровой фильтрации в дискретном вейвлет-анализе. Поскольку умножение матрицы на вектор происходит по правилу «строка на столбец», то элементы любой строки матрицы можно рассматривать как коэффициенты КИХ-фильтра 1-го порядка, которые являются отсчетами его импульсной характеристики. В результате свертки (умножения с накоплением) импульсной характеристики и входного сигнала получаются выходные отсчеты фильтра, как раз являющиеся коэффициентами усреднения и детализации. Однако в любом цифровом фильтре после вычисления очередного выходного отсчета входной сигнал сдвигается на одну временную позицию. Но элементы строк матрицы сдвинуты друг относительно друга сразу на две позиции вправо. Это означает, что в выходном сигнале фильтра по сравнению с преобразованием появляется каждый второй «лишний» отсчет, который необходимо убрать. Изъятие каждого второго отсчета выполняется посредством децимации с коэффициентом 2.

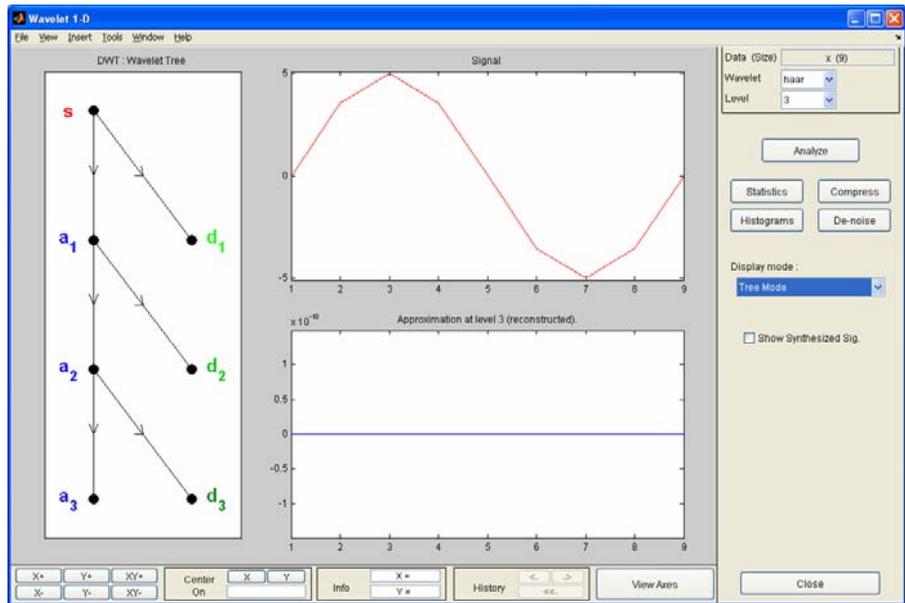


Рис. 2. Пример для 8 отсчетов входного гармонического сигнала

Для более точного представления сигнала, необходимо увеличить число отсчетов сигнала. Поэтому целесообразно обобщить матричное представление преобразования Хаара.

На первом этапе преобразования квадратная ортогональная матрица H_v порядка $N=2^v$ имеет вид:

$$H_v = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (1)$$

В ее состав входят 2 матрицы: подматрица A_v – преобразование усреднения (2) и D_v – преобразование детализации (3):

$$A_v = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$D_v = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (3)$$

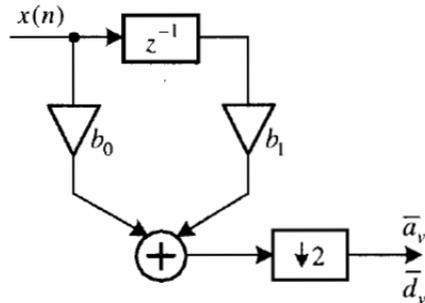


Рис. 3. КИХ-фильтр, реализующий преобразование Хаара

Для подматрицы (2) коэффициенты фильтра должны иметь значения $b_0=1/\sqrt{2}$, $b_1=1/\sqrt{2}$, для подматрицы (3) $b_0=(-1/\sqrt{2})$, $b_1=1/\sqrt{2}$.

Это позволяет создавать адаптивные системы очистки сигналов от шумов в зависимости от их особенностей.

Модель зашумленного сигнала обычно принимается аддитивной: $s(n) = f(n)+k \cdot e(n)$ с равномерным шагом по аргументу n , где $f(n)$ – полезная информационная составляющая (например гармонический сигнал), $e(n)$ – шумовой сигнал, например, белый шум определенного уровня со средним нулевым значением. Процедура удаления шума выполняется с использованием ортогональных вейвлетов и включает в себя следующие операции:

- Вейвлет-разложение сигнала $s(n)$ до уровня N . Значение уровня N определяется частотным спектром информационной части $f(n)$ сигнала, которую желательно оставить в рядах аппроксимационных коэффициентов. Тип и порядок вейвлета может существенно влиять на качество очистки сигнала от шума в зависимости как от формы сигналов $f(n)$, так и от корреляционных характеристик шумов.

- Задание типа и пороговых уровней очистки по известным априорным данным о характере шумов или по определенным критериям шумов во входном сигнале. Пороговые уровни очистки могут быть гибкими (в зависимости от номера уровня разложения) или жесткими (глобальными).

- Модификация коэффициентов детализации вейвлет-разложения в соответствии с установленными условиями очистки.

- Восстановление сигнала на основе коэффициентов аппроксимации и модифицированных детализационных коэффициентов.

Меню в разделе Specialized Tools 1-D имеет кнопку SWT De-noising, включение которой открывает специальные окна работы очистки сигналов от шумов.

Рассмотрим пример моделирования процесса фильтрации зашумленного гармонического сигнала, представленного в виде 256 отсчетов аддитивного сигнала (гармонический сигнал + шум).

M-файл имеет вид:

```
t=0:0.00039063:0.1; % Сигнал формируется 256 отсчётами.
x=5*sin(10*2*pi*t); % Исследуемый гармонический сигнал.
y=rand(1,length(x)); % Случайный сигнал.
```

`sum=x+y;` % Сумма исследуемого и случайного сигналов.

Пример моделирования процесса фильтрации зашумленного сигнала в Wavelet Toolbox приведен на рис. 4. В правой части окна на панели управления устанавливается тип вейвлета (Wavelet – haar) и количество уровней разложения (Level – 5). Нажатием кнопки «Decompose Signal» выполняется вейвлет-преобразование, и на графике в левой половине графической части окна выводятся функции детализирующих коэффициентов d_n всех заказанных уровней и аппроксимирующие коэффициента a_N последнего уровня.

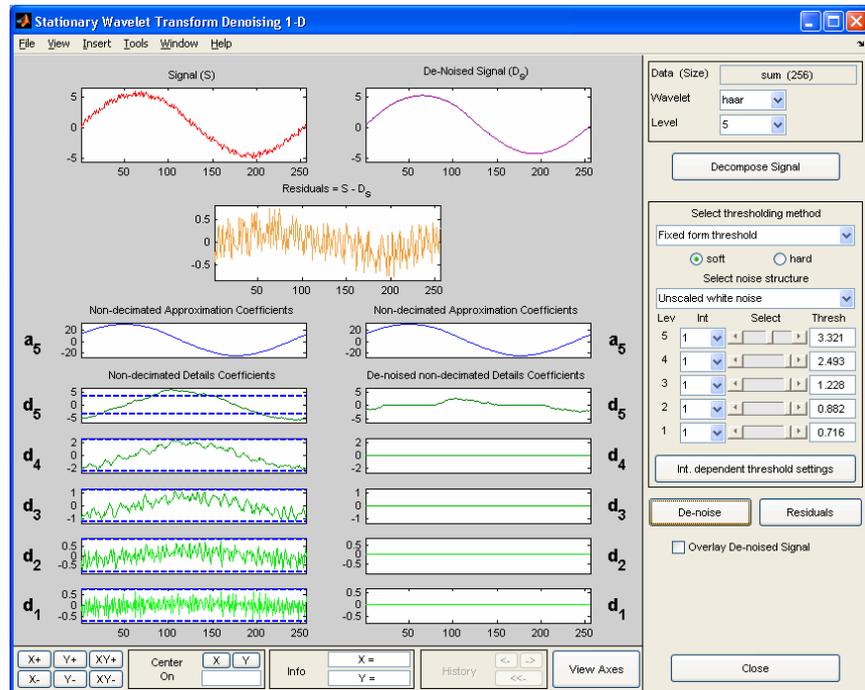


Рис. 4. Фильтрация зашумленного гармонического сигнала в SWT De-noising 1-D

После декомпозиции в окне управления очисткой от шумов (Select thresholding method) появляются предлагаемые системой параметры очистки и значения порогов, которые можно изменять, в том числе по значениям порогов индивидуально для каждого детального уровня. Значения уровней отображаются на графиках детализирующих коэффициентов (см. рис. 4).

После установки порогов режекции шумов нажимается кнопка «De-noise», и на правой части графического окна появляются графики детализирующих коэффициентов после селекции, а в верхней части окна – график реконструкции сигнала по этим коэффициентам и график исключенной из входного сигнала части.

Рассмотренный пример применения вейвлет-преобразований в процедуре фильтрации зашумленных сигналов с выделением составляющих компонентов сигнала находит практическое применение.

Использование предложенной методики обеспечит студентам глубокое изучение теоретических основ представления радиотехнических сигналов, сформирует практические навыки по фильтрации сигналов.

Список литературы:

[1] Баскаков С.И. «Радиотехнические цепи и сигналы», издание третье, переработанное и дополненное, Москва «Высшая школа», 2000г.

- [2] Солонина А.И., Улахович Д.А., Арбузов С.М., Соловьева Е.Б. «Основы цифровой обработки сигналов. 2-е издание», Санкт-Петербург «БВХ-Петербург» 2005 г.
 [3] <http://prodav.narod.ru/wavelet/index.html>.

Л.С. Грошева., В.И. Мерзляков
 ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

ОПТИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕНИ ОЖИДАНИЯ РЕАКЦИИ СИСТЕМЫ КОРПУС–ДВИЖИТЕЛЬ ДЛЯ СУДНА С КОЛЕСНЫМ ДВИЖИТЕЛЬНО-РУЛЕВЫМ КОМПЛЕКСОМ

С помощью пакета MatLab проведено исследование влияния времени ожидания реакции системы на управляющее воздействие на качественные показатели процесса управления.

Для исследования динамических характеристик судна с КДРК при реализации различных алгоритмов управления использована математическая модель, предложенная в [1]:

$$\begin{cases} \tau_p \cdot \frac{dn_1}{dt} + n_1 = f_{pr}(t, U_1) \cdot n_{max}; \\ \tau_p \cdot \frac{dn_2}{dt} + n_2 = f_{pr}(t, U_2) \cdot n_{max}; \\ m \frac{dV}{dt} = A \cdot [C_p(n_1, V) \cdot n_1^2 \cdot \text{sign}(n_1) + C_p(n_2, V) \cdot n_2^2 \cdot \text{sign}(n_2)] - \zeta \frac{\rho V^2}{2} \Omega_{cm}; \\ J \frac{d\omega}{dt} = B \cdot [C_p(n_1, V) \cdot n_1^2 - C_p(n_2, V) \cdot n_2^2] - M_R \cdot \text{sign}(\omega), \end{cases} \quad (1)$$

где n_1 – частота вращения левого гребного колеса, n_2 – частота вращения правого гребного колеса, n_{max} – максимальная частота вращения колеса, $f_{pr}(t, U)$ – кривая разгона частотного привода (программируется при его настройке), V – линейная скорость движения судна, m – масса судна, J – момент инерции судна с учетом присоединенных масс воды относительно центра масс, M_R – момент силы сопротивления воды, ω – угловая скорость поворота судна относительно центра масс, τ – безразмерное время, t_0 – момент изменения управляющего воздействия, Ω_{cm} – площадь смоченной поверхности корпуса судна, ζ – коэффициент сопротивления, ρ – плотность воды, $C_p(n, V)$ – коэффициент упора, полученный в результате модельных испытаний на этапе проектирования судна.

Для исследования перемещений судна на плоскости систему (1) следует дополнить следующими очевидными уравнениями:

$$\begin{cases} \frac{d\alpha}{dt} = \omega; \\ \frac{dx}{dt} = V \cos \alpha; \\ \frac{dy}{dt} = V \sin \alpha. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь ω – угловая скорость, α – угол отклонения судна от заданного курса, x, y – координаты центра масс судна на плоскости.