раметра не приведет к заметной загрузке каналов связи АИС. В то же время, использование рассмотренного метода передачи технологической информации в рамках существующей диспетчерской системы на базе судовых и береговых АИС позволяет отказаться от аренды дополнительных каналов связи.

Список литературы:

[1] Судовая автоматическая идентификационная система, А.Н. Маринич, И.Г. Проценко, В.Ю. Резников, Ю.М. Устинов, Р.Н. Черняев, А.Г. Шигабутдинов. Под общей ред. Ю.М. Устинова. – СПб.: Судостроение, 2004.

[2] О выборе бинарного сообщения АИС для передачи технологической информации в системах мониторинга, Д.А. Борисов, В.И. Плющаев, 12-й Международный научно-промышленный форум «Великие реки'2010». [Текст]: труды конгресса. В 2 т. Т. 2 / Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т; отв. ред. Е.В. Копосов – Н.Новгород: ННГАСУ, 2011. – с. 153–155, ISBN 978-5-87941-731-1

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ В КУРСЕ «РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И СИГНАЛЫ»

В работе рассматривается использование простейших вейвлет-преобразований Хаара детерминированных сигналов в курсе «Радиотехнические цепи и сигналы». Предлагается методика выполнения практической работы по изучению теоретических основ применения вейвлетов Хаара, вычисления прямых и обратных дискретных вейвлетов Хаара детерминированных сигналов.

Цель исследования

Современные специалисты по техническому обслуживанию транспортного радиооборудования должны иметь практические навыки работы с системами связи и радионавигации, основываясь на базовых теоретических знаниях в области теории радиотехнических сигналов.

В настоящее время наряду с традиционными представлениями математической модели радиосигналов, включающей аналитическое, временное и частотное описания, в радиотехнике используется вейвлет-преобразование. Вейвлет-преобразование широко применяется на практике при сжатии информации, фильтрации сигналов, поэтому его практическое изучение целесообразно включить в базовую дисциплину «Радиотехнические цепи и сигналы» для студентов специальности «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования».

Методы исследования

Вейвлеты – это обобщенное название семейств математических функций определенной формы, которые локальны во времени и по частоте, и в которых все функции получаются из одной базовой (порождающей) посредством ее сдвигов и растяжений по оси времени.

По сравнению с разложением сигналов на ряды Фурье вейвлеты способны с гораздо более высокой точностью представлять локальные особенности сигналов, вплоть до разрывов 1-го рода (скачков). В отличие от преобразований Фурье, вейвлет-преобразование одномерных сигналов обеспечивает двумерную развертку, при этом частота и координата рассматриваются как независимые переменные, что дает возможность анализа сигналов сразу в двух пространствах [1].

Теоретическое изучение вейвлет-преобразований сигналов целесообразно проводить на примере простейшего преобразования Хаара, что позволит студентам получить базовые знания и практически навыки получения дискретного прямого и обратного вейвлет-преобразования.

В первом задании практической работы студентам необходимо доказать возможность использования вейвлетов Хаара в качестве ортонормированного базиса для разложения радиосигналов наравне с нормированным базисом ортогональных функций Фурье с кратными частотами, предварительно изучив матричное представление функций Хаара.

В качестве простейшего примера предлагается рассмотреть N-точечную последовательность отсчетов цифрового сигнала. Для простоты расчета принять

$N = 2^2 = 4$. Исходную 4-точечную последовательность отсчетов цифрового сигнала $\bar{x}$ представим в виде вектора – столбца:

$$\bar{x} = \begin{bmatrix} x(1) \\ x(2) \\ x(3) \\ x(4) \end{bmatrix} \tag{1}$$

Первый этап преобразования – вычисление двух полусумм и двух полуразностей.

$$H_2 \cdot \bar{x} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \end{bmatrix} \cdot \bar{x} \tag{2}$$

Верхние две строки полученной матрицы усредняют два соседних отсчета сигнала, а нижние – детализируют. Нормируем матрицу для ортогональной системы функций, для этого умножаем все компоненты на √2 (матрица H_2). Сохраняем полуразности и преобразуем полусуммы. Этой процедуре соответствует матрица H_1.

$$H_2 = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}, \; H_1 = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3}$$

Таким образом, первая строка матрицы H_1 усредняет отсчеты, вторая – детализирует, третья и четвертая, образуя единичную матрицу, сохраняют предыдущие полуразности.

Произведение матриц H_1 и H_2 дает искомое дискретное вейвлет-преобразование вектора $\overline{x}$:

$$H = H_1 \cdot H_2 = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \qquad (4)$$

Матрица H является ортогональной и представляет собой известное *преобразование Хаара*, которое является вейвлет-преобразованием:

$$H \cdot \overline{x} = \overline{w}, \qquad (5)$$

где элементы вектора-столбца $\overline{w}$ – вейвлет-коэффициенты [2].

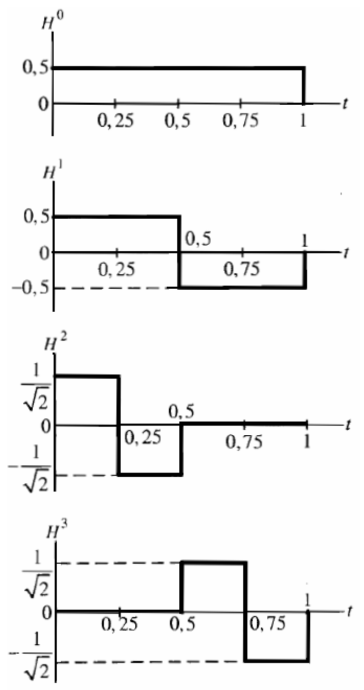

Рис. 1. Ступенчатые функции Хаара

Если каждую строку преобразования Хаара представить в виде ступенчатой функции на единичном интервале, эти функции будут иметь вид, представленный на рис. 1.

Ортогональность этих функций следует из принципа их построения и может быть проверена непосредственно [1].

Студентам предлагается самостоятельно доказать ортогональность функций Хаара (H^0, H^2), (H^0, H^3), (H^1, H^2), (H^1, H^3), (H^2, H^3).

В качестве примера докажем ортогональность функций (H^0, H^1):

$$\left(H^i, H^j\right) = \left(H^0, H^1\right) = \int_0^{T/2} 0{,}5 \cdot 0{,}5 dt +$$

$$+ \int_{T/2}^{T} 0{,}5 \cdot (-0{,}5) dt = \frac{T}{8} - \frac{T}{4} + \frac{T}{8} = 0$$

Обобщим матричный алгоритм усреднения и детализации на произвольную N-точечную последовательность, когда $N=2^v$, при этапном процессе преобразования.

На первом шаге ортогональная матрица имеет вид:

$$Hv = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & . & . & . & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & . & . & 0 \\ . & . & . & . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & . & . & . & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & . & . & . & . & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & . & . & 0 \\ . & . & . & . & . & . & . & . \\ 0 & . & . & . & . & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \tag{6}$$

Матрица (6) – квадратная порядка $N=2^v$. Две матрицы, входящие в состав H_v:

$$Av = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & . & . & . & . & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & . & . & 0 \\ . & . & . & . & . & . & . & . \\ 0 & . & . & . & . & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}, \quad Dv = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & . & . & . & . & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & . & . & 0 \\ . & . & . & . & . & . & . & . \\ 0 & . & . & . & . & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}, \tag{7}$$

где подматрицы: A_v – преобразование усреднения, D_v – преобразование детализации.

Векторы – столбцы результатов поэтапного вейвлет – преобразования, которые являются векторами коэффициентов усреднения и детализации, имеют вид:

$$\overline{a}_{v-1} = \begin{bmatrix} 0 \\ a_{v-1} \\ . \\ . \\ . \\ a_{v-1}^{2^{v-1}-1} \end{bmatrix} \qquad \overline{d}_{v-1} = \begin{bmatrix} 0 \\ d_{v-1} \\ . \\ . \\ . \\ d_{v-1}^{2^{v-1}-1} \end{bmatrix} \tag{8}$$

На каждом шаге вейвлет – преобразования сохраняются детализирующие коэффициенты d и обрабатываются результаты усреднения a. [2] Таким образом, итоговый результат вейвлет – преобразования можно представить в виде вектора-столбца, содержащего $N=2^v$ элементов:

$$\overline{w} = \begin{bmatrix} a_0 \\ d_0 \\ \overline{d_1} \\ \overline{d_2} \\ . \\ . \\ . \\ \overline{d}_{v-1} \end{bmatrix} \tag{9}$$

Во втором задании практической работы предлагается определить прямое дискретное преобразование сигнала $\overline{x}$, заданного четырьмя отсчетами в соответствии с предложенными преподавателем вариантами.

Рассмотрим пример, пусть сигнал $\overline{x} = \sin(\omega t)$ задан 4 отсчетами на интервале своей периодичности: [0,1,0,-1]. Тогда вейвлет – коэффициенты $\overline{w}$ дискретного разложения Хаара входного сигнала $\overline{x}$:

$$H\cdot\overline{x}=\begin{bmatrix}\frac{1}{2}&\frac{1}{2}&\frac{1}{2}&\frac{1}{2}\\ \frac{1}{2}&\frac{1}{2}&-\frac{1}{2}&-\frac{1}{2}\\ \frac{1}{\sqrt{2}}&-\frac{1}{\sqrt{2}}&0&0\\ 0&0&\frac{1}{\sqrt{2}}&-\frac{1}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}0\\1\\0\\-1\end{bmatrix}=\overline{w}=\begin{bmatrix}0\\1\\-\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{1}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}$$

В третьем задании практической работы необходимо по известному вейвлет преобразованию $\overline{w}$ восстановить исходный сигнал $\overline{x}$. На практике в этом случае используется обратное вейвлет – преобразование, т.е. по вектору $\overline{w}$ нужно восстановить N – точечную последовательность исходного сигнала $\overline{x}$. Для этого нужно умножить обе части равенства вейвлет-преобразования на обратную матрицу H^{-1}:

$$H^{-1}\cdot H\overline{x}=H^{-1}\overline{w}$$

Так как произведение $H^{-1}H$ образует единичную матрицу, то

$$\overline{x}=H^{-1}\overline{w} \tag{10}$$

Следствием ортогональности матрицы H является простота ее обращения, а именно, обычное транспонирование. [2] Поэтому выражение (10) для обратного вейвлет – преобразования примет вид:

$$\overline{x}=H^{T}\overline{w} \tag{11}$$

В рассмотренном примере восстановим исходный сигнал $\overline{x}$ по вейвлет – коэффициентам:

$$\overline{x}=\begin{bmatrix}\frac{1}{2}&\frac{1}{2}&\frac{1}{\sqrt{2}}&0\\ \frac{1}{2}&\frac{1}{2}&-\frac{1}{\sqrt{2}}&0\\ \frac{1}{2}&-\frac{1}{2}&0&\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{1}{2}&-\frac{1}{2}&0&-\frac{1}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}0\\1\\-\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{1}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0\\1\\0\\-1\end{bmatrix}$$

Таким образом, сигнал $\overline{x}$ восстановлен.

Предложенная методика исследования простейшего вейвлет – преобразования Хаара радиотехнических сигналов позволит студентам приобрести базовые знания теории сигналов, методов их описания с целью дальнейшего применения для обработки дискретных 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.

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)=NSin(2Nωt).*

В качестве примера рассмотрим моделирование сигнала *S(t)*=5*Sin(10*ω**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*]');