АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА В ДВУХПОЗИЦИОННОЙ РЛС С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕЙВЛЕТ АНАЛИЗА

Красников А.В., Андрющенков Е.Е., Соколов А.В.

Ярославское зенитное ракетное училище ПВО (военный институт), г. Ярославль

В настоящее время вейвлет-анализ начинает применяться для прямого численного моделирования — как иерархический базис, хорошо приспособленный для описания динамики сложных нелинейных, в том числе нестационарных, процессов, характеризующихся взаимодействием возмущений в широких диапазонах пространственных и временных частот. Он позволяет выявить пространственно распределенные свойства изучаемого объекта, получить локальную высокочастотную и глобальную крупномасштабную информацию об объекте и многое другое достаточно точно и без избыточности.

Как будет показано далее, вейвлет-преобразование оказывается очень удобным инструментом для решения радиолокационных задач третьего уровня иерархии (классификации объектов), поскольку элементы его базиса хорошо локализованы и обладают подвижным частотно-временным окном.

Считаем рассматриваемый сигнал принадлежащим к пространству $L^2(R)$ функций, определенных на всей действительной оси $R(-\infty,\infty)$ и обладающих конечной энергией (нормой)

(1) $$E_f = \int_{-\infty}^{\infty} \left| f(t) \right|^2 dt < \infty$$

Для практических целей обработки эхо-сигналов базисные функции разложения, образующие пространство $L^2(R)$, должны стремиться к нулю на $\pm\infty$. Этому условию как раз и удовлетворяют вейвлет-функции — хорошо локализованные "маленькие волны". В силу локализованности во времени одна вейвлет-функция $\psi_0(t)$, не может покрыть все пространство $L^2(R)$ поэтому для вейвлет-разложения формируется базисное пространство, порожденное одной "материнской" вейвлет-функцией.

Вейвлет-базис формируется на основе $\psi_0(t)$ путем перемещения ее во времени функции $\psi_0(t-b), b \in R$ и масштабирования $a^{-1/2}\psi_0\left(\frac{t}{a}\right), при \quad a>0, a \in R^+ - \{0\}$,

Где параметр a – задает ширину пакета а b – его положение во времени. Тогда функция

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

Набор возможных функций $\psi_0(t)$ достаточно велик, однако все они должны удовлетворять условиям локальности во времени:

(3) $$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t)dt = 0$$

и конечности энергии:

(4) $$\int_{-\infty}^{\infty} \psi^2(t)dt < \infty$$

Наибольший интерес с точки зрения решаемой задачи имеют ортонормированные базисы. Отсюда вейвлет-функции должны удовлетворять двум условиям:

(5) $$\int_{-\infty}^{\infty} \psi_k(t)\psi_l(t)dt = \delta_{k,l}$$

где $\delta_{k,l}$ - символ Кронекера;

(6) $$\int_{-\infty}^{\infty} \psi^2(t)dt = 1$$

Выражение (5) означает некоррелированность вейвлет-функций выбранного базиса, а (6) единичность их нормы.

Выше изложенное позволяет представить отражённый сигнал в виде взвешенной суммы простых составляющих – базисных функций $\psi(t)$ помноженных на коэффициенты C_k:

(7) $$y(t) = \sum_k C_k \psi_k(t)$$

Так как базисные функции $\psi_k(t)$ заданы как функции вполне определенного вида, то только коэффициенты C_k содержат информацию о конкретном эхо-сигнале. Следовательно, именно они могут использоваться как признаки объектов при решении задачи радиолокационного распознавания. Коэффициенты C_k рассчитываются по формуле [3]:

(8) $$C(a,b)=\langle y(t),\psi(a,b,t)\rangle=\int_{-\infty}^{\infty} y(t)a^{-1/2}\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)dt$$

где $\langle\ \rangle$ означает скалярное произведение соответствующих сомножителей.

С учетом локальности частотного спектра эхо-сигналов выражение (8) приводится к виду:

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

Выражения (8), (9) определяют прямое непрерывное вейвлет-преобразование – разложение сигнала по заданному базису. Обратное непрерывное вейвлет-преобразование осуществляется по формуле реконструкции во временной области, которая имеет ряд форм, зависящих от определения областей существования сигнала:

(10) $$y(t)=C_\psi^{-1}\iint_{R.R} C(a,b)a^{-1/2}\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)\frac{dadb}{a^2}$$

Нормирующая постоянная C_ψ определяется на основе Фурье-образа $\hat{\psi}(\omega)$ от базисного вейвлета следующим выражением:

(11) $$C_\psi=\int_{-\infty}^{\infty}\frac{|\hat{\psi}(\omega)|^2}{|\hat{\psi}(\omega)|}d\omega$$

Константа $C_\psi<\infty$, что сужает класс функций ψ из пространства $L^2(R)$, которые могут быть использованы в качестве базисных функций вейвлет-преобразования. В случае положительно определенных функций ψ пределы интегрирования в (10, 11) ограничиваются областью R^+. В краткой записи вейвлет-преобразование представим в виде: $W[y]=W(a,b)$.

Таким образом, основными требованиями к базисным функциям вейвлет-преобразования при решении задачи спектральной обработки сигнала являются:

- хорошая локализованность по времени и частоте, обеспечивающая выявление особенностей тонкой структуры эхо-сигналов;
- ортонормированность.

Для примера рассмотрим квазинепрерывное гармоническое колебание в качестве зондирующего. Отраженный от цели сигнал в двухпозиционной РЛС будет иметь вид (рис. 1).

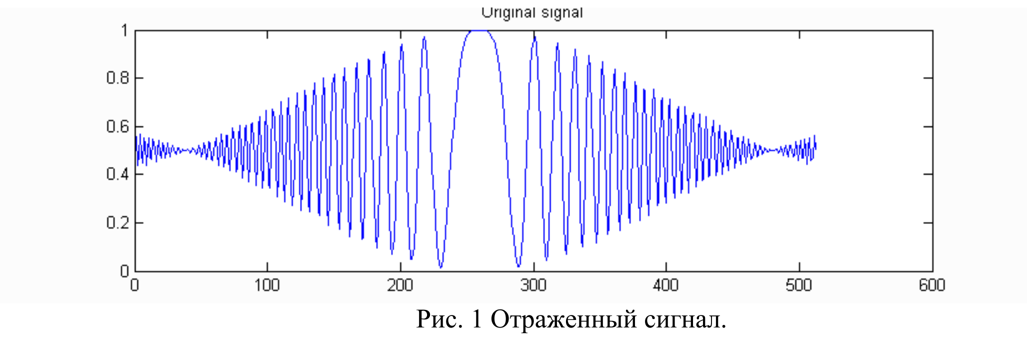
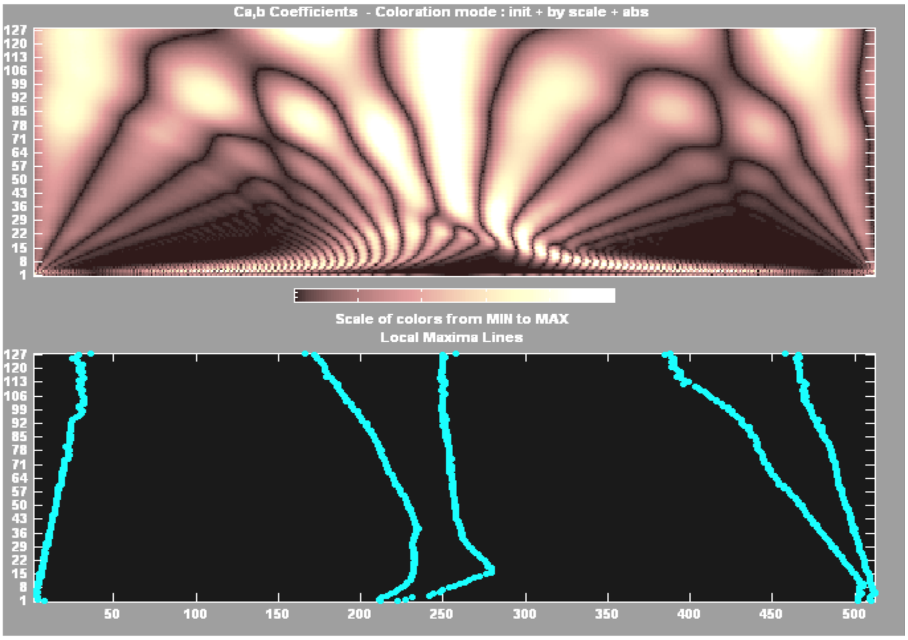


Рис. 1 Отраженный сигнал.

Проведенный спектральный анализ отраженного сигнала с использованием вейвлет анализа позволяет выявить локальные особенности сигнала, невидимые при разложении сигнала в ряд Фурье[3]. Результирующая спектрограмма отраженного сигнала при использовании в качестве базиса вейвлета Добеши 8-го порядка будет иметь вид (рис. 2).

а)



б)

Рис. 2 а) Спектрограмма отраженного сигнала. б) Линии локальных максимумов.

Одним из достоинств вейвлет преобразования является возможность сжатия сигнала при незначительных потерях энергии, что позволяет снизить затрату аппаратных средств для хранения эталонов, а также использование вейвлет-фильтров для очистки сигналов от шума. Так например при использовании метода сжатия с установкой локального порога ограничения вейвлет-коэффициентов (до 5 уровня) сигнала потери энергии составляют 4%.

Литература

1. Василенко Г. И. Теория восстановления сигналов. – М.: Советское радио, 1979.
2. Кобак В.О. Радиолокационные отражатели. – М.: Советское радио, 1975.
3. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. –М.: ДМК, 2005.

ALGORITHM OF THE PROCESSING THE SIGNAL IN DOUBLE-POSITION RADARS BY USING WAVELET ANALYSIS

Krasnikov A., Andryuschenkov E., Sokolov A.

At present wavelet-analysis begins be used for direct numerical modeling-as hierarchical base, well tailored for description dynamic complex nonlinear, including unstabilizability processes, characterized by interaction of the indignations in broad range spatial and temporary frequencies It allows to reveal the space portioned characteristic of the under study object, get local radio-frequency and global large-scale information on object and a great deal other it is enough exactly and without redundancy.

As will is shown here in after, wavelet-transformation turns out to be very suitable instrument for decision of the radar problems third level to hierarchies (the categorizations object) since elements of its base are well localized and possess rolling frequency-temporary window.

Wavelet-base is formed on base wavelet function $\psi_0(t)$ by displacement it at time $\psi_0(t-b), b \in R$ and scaling $a^{-1/2}\psi_0\left(\frac{t}{a}\right), при \quad a>0, a \in R^+ - \{0\}$, Where parameter a - will assign the width of the package, b - its position at time.

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

Ratios, containing information on concrete signal will calculate by formula

$$\tilde{N}(a,b) = \int_R y(t) a^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt$$

One of the value wavelet transformations is a possibility of the compression of the signal under small loss of the energy that allows to reduce the expenses of the hardware for keeping standard, as well as use wavelet-filter for peelings signal from noise.

For example by use the method of the compression with installing the local threshold of the restriction wavelet-factor (before 5 levels) of the signal of the loss to energy form 4%.