электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

УДК 621.3.083

Перспективы применения вейвлет-преобразования для описания дальностных портретов в импульсной лазерной локации

Щемеров А.Ю., *студент*
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства»

Научный руководитель: Бурый Е.В., д.т.н, профессор
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
buryi@bmstu.ru

Локация объектов короткими импульсами лазерного излучения позволяет получить значительный объем информации о поверхности этого объекта. Так, может быть оценена протяженность лоцируемого объекта в направлении линии визирования [1], выполнена визуализация объекта [2, 3], а также решена задача его распознавания.

Для решения задачи распознавания необходимо сформировать пространство признаков Ψ, в котором можно с достаточной для решаемой задачи достоверностью представить регистрируемый на выходе фотоприемного устройства сигнал $S(t)$. Форма сигнала определяется как условиями локации объекта, так и его ориентацией относительно лазерной локационной системы (ЛЛС) в пространстве, поэтому

$$S(t) = A \cdot P(t) \otimes G_A(t) \otimes g(t,\alpha,\beta) \otimes G_A(t) \otimes h_{PD}(t),$$

где t – время; α и β – углы азимута и места, определяющие направление вектора наблюдения объекта в системе координат ЛЛС, $P(t)$ – огибающая импульса излучения передатчика ЛЛС, $G_A(t)$ – функция импульсного отклика трассы распространения, $g(t,\alpha,\beta)$ – импульсная характеристика рассеяния объекта, A – коэффициент пропорциональности зависящий от расстояния R до объекта, характера рассеяния излучения его поверхностью и энергетических характеристик передатчика ЛЛС, $h_{PD}(t)$ – импульсная характеристика фотоприемного устройства, символ $\otimes$ обозначает выполнение операции свертки.

Отметим, что только в случае локации объекта, обладающего свойством центральной симметрии – сферы – форма сигнала не изменяется при изменении

положения объекта относительно ЛЛС. В остальных случаях с типом лоцируемого объекта должно быть связано множество реализаций сигналов.

Для эффективного решения задачи распознавания следует стремиться к минимизации размерности пространства Ξ, облегчая тем самым обучение классификатора, который должен формировать решение о типе лоцируемого объекта.

Несмотря на то, что на совокупность признаков, из которых формируется множество Ξ, формальные ограничения не накладываются, необходимо стремиться к использованию тех признаков, которые обладают свойством инвариантности по отношению к изменению условий локации объекта – изменению расстояния между локационной системой и объектом, изменению ориентации объекта в пространстве относительно ЛЛС.

В этой связи достаточно широкое распространение получило формирование пространства признаков на основе отсчетов нормированного амплитудного спектра сигнала $S(t)$, обладающего свойством инвариантности к изменениям R и величины максимального значения $S(t)$ на интервале анализа.

Вместе с тем, известные проблемы применения Фурье-преобразования для анализа широкополосных нестационарных сигналов, обусловленные ограниченными возможностями анализа их сингулярностей и вычислительной сложностью реализации обработки большого числа членов ряда стимулировали развитие вейвлетного преобразования. Вейвлеты по локализации в частотной и временной областях занимают промежуточное положение между базисными гармоническими и импульсными функциями.

Базисные функции вейвлет-преобразования имеют вид [4]

$$\Psi(t) = \frac{1}{\sqrt{a}}\Psi\left(\frac{t-b}{a}\right),$$

где b — параметр сдвига, a — параметр масштаба.

Одна из основных задач выбора параметров этих функций – определение эффективного значения длительности $\Psi(t)$ и ширины её спектра: чем точнее будет осуществляться локализация временного положения функции, тем шире будет становиться ее спектр. Отличительной особенностью вейвлет-анализа является то, что в нем можно использовать семейства функций, реализующих различные варианты соотношения неопределенности.

Изменение параметра a во временном представлении отображается растяжением/сжатием сигнала. Для вейвлетного базиса это можно выполнить, используя функцию вида $\Psi(a^m t)$, где $a = const,\ m = 0,1,\ldots,M,\ m \in \mathbf{N}$. Однако, локальность функции $\Psi(t)$ на временной оси подразумевает наличие независимой переменной, определяющей последовательные сдвиги функции $\Psi(t)$ вдоль оси абсцисс. В этом случае базисная функция должна иметь вид $\Psi(t+k)$, где $k > 0$, причем $k \in \mathbf{R}$.. Одновременное выполнение указанных условий приводит к следующему виду базисной функции [5]:

$$\Psi(t) \Rightarrow \Psi(a^m t + k).$$

Дискретное вейвлет-преобразование обеспечивает получение достаточного объема информации как для анализа сигнала, так и для его синтеза, являясь вместе с тем экономным по числу операций и по числу компонент преобразования. В нем используются дискретные значения параметров a и b, которые задаются, как правило, в виде степенных функций [4, 6]:

$$a = a_0^{-m},\ b = k a_0^{-m},\ a_0 > 1,$$

где $m,\ k \in I,\ I$ – пространство целых чисел на всем временном интервале, m – целочисленный параметр масштаба, k – целочисленный параметр сдвига.

В таком случае базис пространства $L^2(R)$ в дискретном представлении [5] принимает вид:

$$\Psi_{mk}(t) = |a_0|^{m/2} \Psi(a_0^m t - k).$$

Вейвлет-коэффициенты прямого преобразования находятся из выражения:

$$C_{mk} = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \Psi_{mk}(t) dt.$$

Значение a может быть выбрано произвольным, но обычно оно принимается равным 2. При $a = 2$ преобразование называется диадным вейвлет-преобразованием. Для него разработан быстрый алгоритм вычислений, во многом аналогичный алгоритму быстрого преобразования Фурье.

Процедура обратного дискретного вейвлет-преобразования для непрерывных сигналов при нормированном ортогональном вейвлетном базисе пространства представима в следующем виде:

$$S(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_{mk} \Psi_{mk}(t).$$

Анализ эффективности использования вейвлет-преобразования для формирования пространства признаков был проведен путем сравнения чисел компонент преобразований, обеспечивающих примерно равные величины сумм отклонений отсчетов модельного сигнала $S(t)$, и отсчетов, сформированных в результате вычисления обратных Фурье и вейвлет- преобразований, выполненных после редукции базиса функций, приводящей к уменьшению его размера. Сигнал $S(t)$ задается следующей системой неравенств:

$$S(t) = \begin{cases} U, & 55 \le t < 85 \\ \dfrac{(t-40)U}{15}, & 40 \le t < 55 \\ \dfrac{(100-t)U}{15}, & 85 \le t < 100 \end{cases},$$

где U — амплитуда $S(t)$.

Для моделирования использовались средства программного комплекса Mathcad 14 – моделирование прямого вейвлет-преобразования исходного сигнала $S(t)$ осуществлялось с использованием встроенной функции *wave(x)*, которая возвращает значение вейвлет-преобразования входного сигнала (преобразование осуществляется с помощью вейвлета Добеши четвертого порядка). Для выполнения операции обратного преобразования применялась встроенная функция *iwave(x).*

Результаты численного моделирования представлены в таблице. Видно, что применение вейвлет-преобразования обеспечивает при использовании существенно меньшего числа компонент удовлетворительное качество представления сигнала $S(t)$.

Число компонент, используемых для представления трапециидального сигнала $S(t)$

Номер реализации	Фурье-преобразование		Вейвлет-преобразование	
	Число компонент	*СКО*	*Число компонент*	*СКО*
1	256	$3{,}7\cdot10^{-6}$	8	$1{,}3\cdot10^{-7}$
2	128	$2{,}8\cdot10^{-5}$	7	$5{,}4\cdot10^{-5}$
3	64	$3{,}0\cdot10^{-4}$	6	$4{,}6\cdot10^{-4}$
4	32	$2{,}4\cdot10^{-3}$	5	$2{,}2\cdot10^{-3}$
5	16	$1{,}4\cdot10^{-2}$	4	$2{,}9\cdot10^{-2}$

Проведенный анализ показал, что применение вейвлет-преобразования для построения пространства признаков лоцируемых объектов имеет ряд преимуществ по отношению к традиционно используемому для решения этой задачи дискретному преобразованию Фурье. К ним, прежде всего, относится возможность уменьшения размерности пространства признаков при сохранении его информативности.

Список литературы

1. Бурый Е.В. Синтез системы распознавания объектов по форме огибающей импульса лазерного излучения при импульсно-периодической локации // Квантовая электроника. 1998. Т. 25, № 5. С. 471 – 475.
2. Бурый Е.В., Рождествин В.Н. Новые информационные возможности импульсных лазерных локационных систем // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. Приборостроение, 2009. Спец. выпуск «Антенны и устройства радио- и оптического диапазонов». С. 174 – 181.
3. The relations between the basic characteristics of scattered laser irradiation field and the location objects surface parameters / P.V. Arakcheev, E.V. Buryi, D.A. Semerenko [ets.] // CAOL`2010, 10 – 14 September. Sevastopol, (Ukraine). 2010P. 179 – 181.
4. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 464 с.
5. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. М.: СОЛОН-Р, 2002. 448 с.
6. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физических наук. 1996. Т. 166, № 11. С. 1145 – 1170.