

СИГНАТУРНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ В СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

Кузнецов Ю.В., Баев А.Б., Александров А.В.

Московский авиационный институт (государственный технический университет)
125993, Москва, Волоколамское шоссе, 4
Тел.: (095) 158-4047, E-mail: mai_k405@mtu-net.ru

Реферат. В работе представлен алгоритм идентификации объектов в сверхширокополосной радиолокации с использованием кумулянтов высокого порядка на основе формирования сигнатур. Приведены результаты сравнительного анализа алгоритмов цифровой обработки сигналов сверхширокополосного радиолокатора, позволившие установить шумовую границу работоспособности методов идентификации. В качестве сигнатур радиолокационных объектов предложено использовать наборы полюсов на комплексной плоскости.

1. Введение

Современная тенденция развития радиолокационных систем распознавания целей заключается в расширении полосы частот в спектре зондирующего сигнала и полосы частот анализа принятого отклика от цели. В сверхширокополосной радиолокации используются сигналы с длительностью огибающей порядка единиц наносекунд.

В результате электромагнитного взаимодействия зондирующего сигнала с поверхностью радиолокационной цели формируется рассеянное электромагнитное поле, часть которого распространяется в направлении приемной антенны. При этом форма отклика существенно отличается от зондирующего импульса. На форму отраженного импульса существенное влияние оказывают резонансные свойства той части поверхности цели, от которой отразился сигнал. Эти резонансные свойства определяются импульсной характеристикой цели. Рассеянный целью сигнал называется «портретом цели», поскольку он несет в себе информацию не только о наличии цели и ее координатах, но и о ее геометрической форме. Соответствующая обработка рассеянного объектом сигнала позволит произвести распознавание типа цели и ее идентификацию.

Анализу временных и частотных характеристик рассеяния электромагнитных полей телами различной формы посвящено большое количество научных работ [1, 2]. Особый интерес вызывает применение результатов анализа резонансных электромагнитных излучений для решения задач радиолокации. Открывается возможность распознавания летательных аппаратов, представляющих собой групповую цель и неразрешимых обычным способом, классификации объектов по параметрам, связанным непосредственно с типом объекта.

Ранее было установлено, что наибольшую точность оценки информационных параметров резонансных электромагнитных излучений радиолокационных объектов обеспечивает метод Pencil-of-function [3], основанный на анализе собственных значений матриц данных. Для повышения точности оценки параметров радиолокационных объектов могут быть использованы статистики высокого порядка, которые для гауссовских процессов тождественно равны нулю.

Целью данной работы является проведение сравнительного анализа методов оценивания информационных параметров резонансных электромагнитных излучений радиолокационных объектов при использовании кумулянтов высокого порядка, а также разработка алгоритма идентификации объектов в сверхширокополосной радиолокации на основе сигнатур целей.

2. Резонансная модель собственных излучений объектов

Одной из важнейших задач при синтезе алгоритмов идентификации является задача представления исходных данных или образов в виде некоторой модели. Выбор конкретного метода формирования модели объекта и сигнала с одной стороны должен обеспечивать компромисс между точностью воспроизведения рассеянных полей и простотой вычислительных операций, а с другой – отвечать требованиям создания таких математических моделей, которые отражают наиболее существенные для распознавания свойства сигналов и соответствуют возможностям последующей аппаратной реализации.

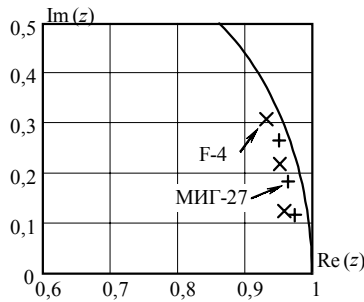


Рис. 1. Диаграмма полюсов на p -плоскости резонансных моделей самолетов

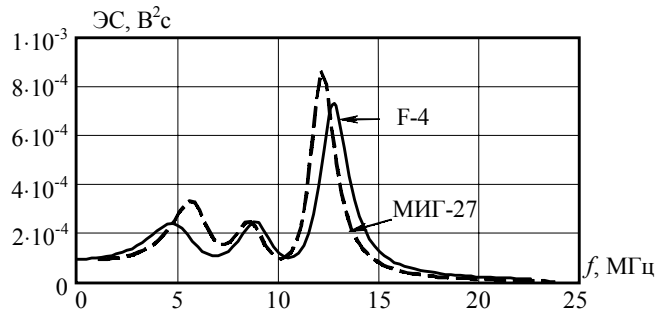


Рис. 2. Энергетический спектр резонансных моделей самолетов

Ранее в [4] было показано, что для описания сверхширокополосных сигналов, рассеянных радиолокационными объектами, используется резонансная модель рассеяния, основанная на методе сингулярных разложений Баума. Она содержит в себе параметры двух типов: зависящие от параметров возбуждающего сигнала (поляризации, формы, направления облучения) и независящие от них. Применение для описания цели параметров второго типа, – собственных комплексных резонансных частот рассеяния (полюсов), – позволяет существенно уменьшить число используемых признаков распознавания и тем самым частично решить проблему снижения размерности каталогов характеристик целей.

Согласно методу сингулярных разложений системная передаточная функция объекта полностью характеризуется набором собственных резонансных частот на комплексной p -плоскости. Резонансная область частот радиолокационных объектов с характерными размерами от 0,1 до 10 метров лежит в диапазоне от единиц до сотен мегагерц.

Для проведения сравнительного анализа методов цифровой обработки сверхширокополосных сигналов с использованием статистик высокого порядка нами были выбраны резонансные частоты, соответствующие резонансам масштабных моделей самолетов. На рис. 1 показаны полюса на p -плоскости для этих моделей самолетов. На рисунке показаны относительные значения полюсов $p_k = (\sigma_k + j\omega_k)L/c\pi$, где L – характерный размер объекта; c – скорость света.

С использованием полюсов моделей самолетов сформируем отклики объектов:

$$y_n = x_n + w_n = \sum_{k=1}^K A_k e^{-\sigma_k n T_o} \cos(2\pi f_k n T_o + \varphi_k) + w_n, \quad (1)$$

где $n = 0, 1, \dots, N-1$ – номера отсчетов сигнала y_n ; N – число отсчетов данных; K – число гармонических составляющих сигнала; w_n – отсчеты шума; A_k , σ_k , f_k и φ_k – значения амплитуд, коэффициентов затухания, частот и начальных фаз компонент сигнала соответственно; T_o – период дискретизации. Полюса z_k и вычеты b_k

$$z_k = \exp(\sigma_k + j2\pi f_k), \quad b_k = A_k \exp(\varphi_k) \quad (2)$$

существуют комплексно-сопряженными парами, поскольку значения отсчетов сигнала – действительные числа. На рис. 2 показаны частотные характеристики моделей самолетов.

3. Результаты численного моделирования

С целью количественного сравнения точности оценки полюсов резонансных моделей самолетов с использованием кумулянтов высокого порядка использовалась суммарную дисперсию полюсов

$$\Phi_{z_k} = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^M \left\{ \frac{1}{M} \frac{|z_{k,i} - z_k|^2}{|\alpha_k|^2} \right\}, \quad (3)$$

где z_k – k -й полюс сигнала, $z_{k,i}$ – оценка k -го полюс сигнала, определенная в результате i -го опыта, α_k – коэффициент затухания k -го полюса, M – число независимых реализаций сигнала.

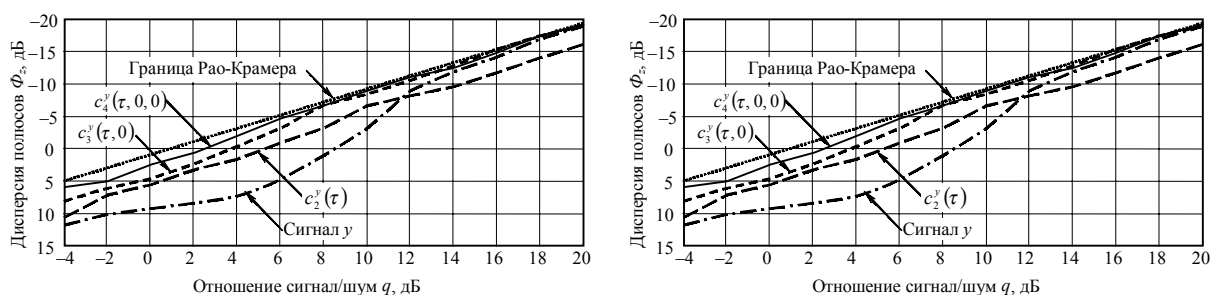


Рис. 3. Зависимость дисперсии полюсов от отношения сигнал/шум. «- - -» – исходный сигнал; «- - -» – АКФ; «- · - ·» – кумулянты третьего порядка; «· · · ·» – кумулянты четвертого порядка

По величине дисперсии полюсов можно судить о точности оценки полюсов резонансной модели. Чем больше по своему абсолютному значению величина Φ_z , тем выше точность.

На рис. 3 представлены зависимости суммарной дисперсии полюсов резонансных моделей от отношения сигнал/шум, полученные для кумулянтных последовательностей высокого порядка от сигналов сверхширокополосного радиолокатора. Из рисунков видно, что при всех отношениях сигнал/шум полюса резонансной модели лучше всего определяются с помощью одномерного сечения $c_4^y(\tau, 0, 0)$ кумулянт четвертого порядка от исходного сигнала. Из графиков видно, что если за граничную точность оценки полюсов принять $\Phi_z = 0$ дБ, то граничное значение отношения сигнал/шум, при котором еще возможна идентификация объектов составляет величину порядка $q = 0$ дБ.

4. Алгоритм идентификации радиолокационных объектов

Для идентификации объектов в сверхширокополосной радиолокации с использованием кумулянт четвертого порядка предложено использовать сигнатуры целей. В качестве сигнатур идентифицируемых объектов выбираются точки в K -мерном пространстве, где K – порядок резонансной модели, каждая из координат которого соответствует истинному значению полюса на комплексной z -плоскости цели. Расстояние между оценкой точки в пространстве сигнатур для идентифицируемого объекта и сигнатурами объектов, хранящимися в банке данных, будет являться критерием для его идентификации. Такой подход позволяет создать автоматизированную систему идентификации радиолокационных объектов.

5. Заключение

В данной статье проведен сравнительный анализ методов цифровой обработки сигналов сверхширокополосной радиолокации совместно с кумулянтами высокого порядка. При выбранных моделях полезного сигнала и шума наиболее перспективным методом, обеспечивающим наивысшую точность при одинаковых аппаратно-временных затратах, является метод, основанный на использовании одномерного сечения кумулянт четвертого порядка. При этом шумовая граница работоспособности методов уменьшается до величины отношения сигнал/шум $q = 0$ дБ. Также в статье представлен алгоритм идентификации объектов в сверхширокополосной радиолокации с использованием сигнатур целей.

Библиография

1. Taylor, James D., Introduction to Ultra-Wideband Radar Systems / editor Taylor, James D., CRC Press, 1995.
2. S. Lawrence Marple, Jr., Digital Spectral Analysis with Applications, Moscow: "MIR", 1990.
3. Кузнецов Ю.В., Баев А.Б., Александров А.В., «Идентификация объектов сверхкороткоимпульсной радиолокации с использованием статистик высокого порядка», Радиотехника, «Радиотехнические комплексы», № 2, 2002 г., стр. 63-70.
4. Кузнецов Ю.В., Александров А.В., Баев А.Б., «Кумулянтная обработка сигналов сверхширокополосной радиолокации», Цифровая обработка сигналов и ее применения, М.: МЦНТИ, февраль 2002 г.

THE SIGNATURE IDENTIFICATION OF ULTRA WIDEBAND RADAR TARGETS

Kuznetsov Yu., Baev A., Aleksandrov A.

Moscow Aviation Institute (State Technical University)
125993, Moscow, Volokolamskoe Shosse, 4
Tel.: (095) 158-40-47, E-mail: mai_k405@mtu-net.ru

Abstract. A method of signature identification for ultra wideband radars and the estimation of the information parameters of ultra wideband radar signals based on the higher order statistics (HOS) are presented. The sets of poles on a complex plane were offered to use as signatures of ultra wideband radar targets. It is shown that the application of the fourth order cumulants for parameter estimation of the resonant model allow to reduces the signal-to-noise ratio till the 0 dB.

Ultra wideband (UWB) radars include methods and systems for detection, parameters' measurement and targets' identification at application of signals, which spectrum has an ultra wide relative band.

In accordance with Baum's singularity expansion method [1] the electromagnetic radar target response can be decomposed into a finite sum of damped sinusoids and so the natural electromagnetic radiation of objects can be described by the resonant model. The model consists of parameters of two types: dependent on an energizing signal (polarization, form, direction of arrival) and the natural complex resonant frequencies of targets [2]. These frequencies are determined by basic geometrical sizes and shape of objects, practically do not depend on an aspect angle and can be used for identification of the radar targets. The natural portion of the response can be used for the aspect-independent active and passive radar target discrimination.

To make the comparative analysis of digital processing methods for the ultra wideband signals with application of the higher order cumulants we have selected resonance frequencies [3], appropriate to resonances of scale models of planes. The distinction in a spectrum of these models allows to make the conjecture of possibility to identify radar targets by using two pairs of models poles.

The higher order cumulants were used for the purpose of parameter estimation of the targets' resonant models. The model consisting of two damped sinusoids and additive Gaussian noise was chosen. Comparison estimation the HOS method with the traditional pencil-of-function method proved its high accuracy of the poles estimation.

It is shown that the application of the fourth order cumulants for parameter estimation of the resonant model allow to reduces the signal-to-noise ratio till the 0 dB. The fourth order statistics can be used as an effective tool for the estimation of resonant model parameters as well in the ultra wideband radar systems as in the others different applications of signals processing.

The identification of ultra wideband radar targets by using of fourth order cumulants was made by using objects' signatures. These signatures are the points in K -dimensional space, each axis of which is proportional to the true value of a pole on a complex z -plane for the expected target. The distance between an estimation of a point in space of signatures for the identified object and the signatures of objects stored in a databank, will be criterion for its identification. Such approach allows creating the automated system of ultra wideband radar target identification.

References

1. S. Lawrence Marple, Jr., *Digital Spectral Analysis with Applications*, Moscow: "MIR", 1990.
2. Ю.В. Кузнецов, Щекатуров В.Ю., Баев А.Б., «Сравнительная характеристика алгоритмов оценки параметров резонансной модели объектов», *Вестник МАИ*, том 4, № 2, М.: МАИ, 1998 г.
3. Taylor, James D., *Introduction to Ultra-Wideband Radar Systems* / editor Taylor, James D., CRC Press, 1995.