

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ

Чубинский Н.П., Кирьяшкин В.В., Хи Н.К.

Московский физико-технический институт (государственный университет)

nchub@mail.mipt.ru

Рассмотрены подходы к задаче распознавания радиолокационных целей. Показано, что использование для радиолокации сверхширокополосных (СШП) сигналов представляется в этом смысле достаточно перспективным. Сформулированы приближённые способы решения поставленной задачи для плоских и осесимметричных объектов, опирающиеся на использование короткого СШП радиосигнала в виде производной δ -функции. Кроме того, для определения формы осесимметричных объектов предложено развитие метода профильных функций Кенно-Моффата.

В классической относительно узкополосной радиолокации пространственная длительность излучаемого цуга электромагнитных волн как, правило, заметно больше геометрических размеров наблюдаемых объектов, а угловые размеры объектов – существенно меньше эффективной ширины диаграммы направленности антенн. В этом случае объект отображается в виде точки, а его геометрическая конфигурация никак не влияет на параметры отражённого сигнала. Идентификация объектов может быть осуществлена очень грубо по вторичным признакам: средней величине эффективной поверхности рассеяния $\sigma(f; \theta_{обл}, \varphi_{обл}; \theta_{рег}, \varphi_{рег})$ (ЭПР), радиальной относительной скорости v_r и т. п. Для повышения информативности радиолокационного обнаружения и идентификации объектов (с близкими величинами ЭПР) активно используют сверхширокополосные (СШП) сигналы [1]. Например, излучённый СШП радиоимпульс $f(t)$ минимальной длительности имеет относительную ширину спектра около октавы $k_f = f_B / f_H \approx 2$, где f_B , f_H – верхняя и нижняя частоты спектра. Во временной области этому соответствует сигнал с эффективной длительностью τ , 90% энергии которого сосредоточено в двух полупериодах (полуволнах) разной полярности. Пространственную длительность СШП сигнала $\Delta r \approx c\tau$ будем предполагать гораздо меньшей по сравнению с характерными размерами исследуемого радиолокационного объекта $L_i \gg \Delta r$. В этом случае, возможно резко повысить информативность рассеянного объектом сигнала, выделив в отражённом сигнале отдельные компоненты с разным запаздыванием. Они обусловлены так называемыми «блестящими» точками, краевыми и угловыми волнами [2].

Как известно, регистрируемый сигнал в классической относительно узкополосной радиолокации представляет собой свертку зондирующего сигнала с импульсной характеристикой радиолокационного объекта:

$$g(t) = \int_0^t h(\tau) f(t - \tau) d\tau, \quad (1)$$

где $f(t)$ – зондирующий (излучаемый) сигнал, $h(t)$ – импульсная характеристика объекта, которые считаются финитными функциями. Влиянием среды распространения в этом случае можно пренебречь. При использовании СШП сигналов нельзя пренебрегать в общем случае дисперсионными свойствами среды распространения. Аналогично должны быть учтены частотные свойства антенны (антенн) радиолокатора. Тогда соотношение (1) следует представить в виде цепочки свёрток:

$$g(t) = h_T(t) \otimes h_M(t) \otimes h_O(t) \otimes h_R(t) \otimes f_T(t), \quad (2)$$

где $f_T(t)$ – сигнал возбуждения излучающей антенны, $h_T(t)$ – импульсная характеристика излучающей антенны, $h_M(t)$ – импульсная характеристика среды распространения, $h_O(t)$ – импульсная характеристика объекта и $h_R(t)$ – импульсная характеристика приёмной антенны и приёмника [АК] (в наиболее распространённой однопозиционной радиолокации $h_R(t) \approx h_T(t)$). В частотной области это эквивалентно произведению соответствующих частотных характеристик. Однако в работе [3] и многих других не всегда учитывается тот важный факт, что импульсная характеристика объекта и связанная с ней частотная характеристика зависят от ракурса его облучения и наблюдения. Она имеет очень сложную пространственную структуру, содержащую сотни и тысячи локальных экстремумов. Это определяется сложностью угловых зависимостей ЭПР объектов больших электрических размеров, как при обратном и тем более двухпозиционном обнаружении. Тогда для полноценной идентификации радиолокационного объекта только при однопозиционной регистрации необходимо найти $h(t; \theta, \varphi)$ во всём угловом пространстве и в диапазоне времён задержки $t_{\max} \geq 2L_{\max}(\theta, \varphi)/c$ по измеренному массиву сигналов $g(t; \theta_i, \varphi_j)$ в очень ограниченном диапазоне ракурсов облучения, зная форму излучённого сигнала $f(t)$. Здесь L_{\max} – максимальная протяжённость объекта (группы объектов) в направлении зондирования. Возможность решения такой задачи в настоящее время является весьма сомнительной.

Более продуктивным представляется приближённый подход, суть которого заключается в следующем. Проводится моделирование обратного отражения максимально упрощённых СШП радиосигналов, удовлетворяющих принципу Рэлея, от объектов простейшей формы: плоских (прямоугольная, трапециевидальная, круглая, эллиптическая и треугольная пластины) и объёмных (шар, эллипсоид, конус, пирамида, призма, параллелепипед). Анализируется динамика изменения импульсной характеристики в широком диапазоне ракурсов и устанавливаются основные закономерности их изменений в ограниченных диапазонах углов наблюдения. Строятся алгоритмы идентификации, связанные с определением максимального числа геометрических параметров простейших целей и предельные возможности для различных случаев обнаружения. Только потом можно обратиться к более сложным объектам, близким по геометрии к интересующим целям.

Эта работа является началом решения поставленной выше задачи. Обратимся к отдельным подходам моделирования. Заметим, что очень короткий, состоящий из двух полупериодов сигнал может быть приближённо представлен как производная δ -функции. Таким образом, принимаемый сигнал $g(t)$ можно интерпретировать как разность функций $h(t)$, сдвинутых на полупериод сигнала $f(t)$, или приближенно, как производную функции $h(t)$, то есть:

$$\int_0^t g(\tau) d\tau \approx h(t).$$

Как следует из свойств свертки, для финитных функций пространственная длительность результирующего сигнала $g(t)$ равна сумме пространственных длительностей $h(t)$ и $f(t)$. Чтобы можно было рассматривать $f(t)$ как производную δ -функции необходимо выполнение некоторых условий. В частности, пространственная длительность $f(t)$ должна быть такова, чтобы изменение функции $h(t)$ на протяжении каждой из полуволн функции $f(t)$ было достаточно малым. Результаты проведенного авторами моделирования находятся в удовлетворительном соответствии с результатами решения поставленной задачи для прямоугольной проводящей пластины [3].

Другой приближённый подход предложен в работах Кенно-Моффата и связывает форму объекта с импульсной характеристикой [4,5]. Будем рассматривать поле рассеяния только в

дальней зоне (облучающая радиоволна считается плоской в пределах максимального поперечного сечения объекта) и ограничимся случаем только обратного рассеяния. Рассмотрим плоскую волну, падающую на идеально проводящий осесимметричный объект, и предположим, что выполнены условия приближения Кирхгофа. В принятых предположениях, как показано в [4-6], импульсная характеристика $h(t)$ пропорциональна второй производной по z от так называемой профилльной функции цели:

$$h(t) \sim d^2 A(z)/dz^2, \quad (3)$$

где $z = ct/2$. Профилльную функцию $A(z)$ можно определить как площадь сечения цели плоскостью, параллельной фронту падающей плоской волны. В результате моделирования установлено, что соотношение (3) выполняется только при условии $A(z) = const$ в областях тени. То есть, импульсная характеристика $h(t)$ представляет собой сигнал, пропорциональный второй производной от $A(z)$ [5]. При этом оказывается, что сигнал изменяется во времени так, что секущая плоскость, используемая для определения $A(z)$, перемещается со скоростью, равной половине скорости света. Таким образом, оказывается возможным по принятому сигналу сделать заключения о форме исследуемого объекта путем двукратного интегрирования полученной функции $h(t)$.

Однако этот способ не дает возможности однозначно определить истинную форму и ориентацию объекта в пространстве вследствие невозможности получения информации о скрытых в области тени частях объекта. Для восстановления формы объекта представляется полезным использовать предлагаемый выше метод для ряда ракурсов, например, зондируя перемещающийся объект на протяжении некоторого участка его траектории. Информация, полученная в результате такого зондирования, позволяет восстановить участки объекта, находившиеся ранее в области «тени».

Таким образом, предлагается метод определения импульсной характеристики радиолокационных объектов, основанный на интерпретации зондирующего СШП сигнала как приближения производной δ -функции. Указаны требования к зондирующему сигналу для корректного использования предлагаемого подхода. Приведены результаты иллюстрирующих расчетов. Показано соответствие модельных расчетов экспериментальным данным по рассеянию СШП радиоимпульсов простейшими объектами. Указан способ приближенного определения формы объекта по вычисленной импульсной функции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кошелев В.И., Шипилов С.Э., Якубов В.П. Восстановление формы объектов при малоракурсной сверхширокополосной радиолокации // РЭ. Т. 44, № 3, с. 301-305. 1999
2. Нгуен К.Х., Чубинский Н.П. Особенности радиолокационного рассеяния сверхширокополосного импульсного сигнала прямоугольной платиной // Тр. РНТОРЭС им А.С. Попова, Вып. 65. Москва, 14-15 мая, 2008, с. 329-331
3. Астанин Л.Ю., Костылев А.А. Основы сверхширокополосных радиолокационных измерений. М.: Радио и связь 1989 – 192 стр.
4. Kennaugh E.M., Moffatt D.L. Transient and impuls response approximations // Proc. IEEE, № 8, p. 893-901, 1965
5. Кенно, Моффат. Аппроксимации переходных и импульсных переходных характеристик // ТИИЭР. -- 1965. -- Т.53, № 8. -- С. 1025-1034.
6. Moffatt D.L., Mains R.K. Detection and discrimination of radar targets // IEEE Trans. AP-23, p. 358-367, 1975