

Методика моделирования двумерных радиолокационных изображений космических объектов при зондировании сигналами с синтезом спектра

77-48211/654659

10, октябрь 2013

Вертемягин С. А., Чепурнов И. А.

УДК 621.386

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

sergevert@mail.ru

chepurnov@bmstu.ru

Одним из перспективных направлений расширения информационных возможностей современных РЛС обнаружения и распознавания космических объектов (КО) является радиовидение. Это направление позволяет формировать радиолокационные изображения (РЛИ) объектов, находящихся в зоне облучения РЛС. Постановка натурных экспериментов для описания вторичного излучения КО в интересах получения РЛИ достаточно сложна. Между тем, необходимые результаты можно получить путем математического моделирования. Различные подходы к процессу моделирования РЛИ КО предлагаются как отечественными, так и иностранными специалистами в этой области в [1–3], но данные методы не достаточно универсальны и состоят, в основном, в использовании широкого набора решений, полученных в рамках эвристических подходов.

Предлагаемая методика моделирования двумерных РЛИ КО обладает относительной универсальностью, а также обеспечивает достаточную точность расчетов и относительную простоту задания исходных данных, что крайне важно в практике моделирования сложных конструкций КО.

Данная методика следует из обобщения физико-оптического решения обратной задачи дифракции (ОЗД) на тела негладкой формы и предполагает, что поверхность рассеивателя представляется поверхностью вписанного многогранника в соответствии с электродинамическим методом эквивалентов [1]. Данное предположение позволяет

считать известным местоположение (x_n, y_n) локальных центров рассеяния (ЛЦР) и их количество N , поскольку они получаются в результате модельных разбиений. Сущность данного метода заключается в том, что широкополосный отклик объекта представляется суперпозицией откликов отдельных ЛЦР. Таким образом, модель РЛИ КО можно описать выражением

$$G(x, y) = \sum_{n=1}^N A_n \cdot \left(e^{j2k_{x0}(x-x_n)} \cdot \frac{L_x}{\pi} \cdot \operatorname{sinc} \left(\frac{L_x}{\pi} (x-x_n) \right) \right) \times \left(e^{j2k_{y0}(y-y_n)} \cdot \frac{L_y}{\pi} \cdot \operatorname{sinc} \left(\frac{L_y}{\pi} (y-y_n) \right) \right), \quad (1)$$

где A_n – амплитуды рассеяния ЛЦР объекта, k_x и k_y – пространственные частоты (проекции волнового вектора $\vec{k}$ на оси x и y), k_{y0} – центральная пространственная частота, L_x и L_y – размеры РЛИ по оси x и y .

Как видно из выражения (1), каждый из откликов отдельных ЛЦР описывается одинаковой функцией типа $\operatorname{sinc} x = (\sin x) / x$, определяемой параметрами зондирующего сигнала.

Выбор зондирующего сигнала зависит и от ряда условий, определяемых особенностями получения двумерных (радиально-доплеровских) РЛИ. Одним из таких условий является необходимость высокой разрешающей способности по дальности и угловым координатам, которая достигается применением широкополосных сигналов. Однако использование таких сигналов предъявляет ряд существенных требований к приемо-передающему тракту РЛС. Помимо этого, в РЛС необходимо использовать высокопроизводительные аналого-цифровые преобразователи и мощные средства первичной обработки радиолокационных данных. Альтернативным решением данной проблемы является использование в качестве зондирующих частотно-манипулированных когерентных сигналов со ступенчатым законом изменения частоты (сигналов с синтезом спектра). Такие сигналы сравнительно просто вводятся в РЛС с перестройкой частоты от импульса к импульсу [2, 5]. Это позволяет резко повысить разрешающую способность и получать высококачественные двумерные РЛИ КО без существенного изменения структуры РЛС.

Предлагаемая методика состоит из следующих этапов.

1) Определение количества N , местоположения (x_n, y_n) и амплитуд рассеяния A_n ЛЦР объекта (моделирование характеристики рассеяния КО).

2) Определение двумерной функции рассеяния точки (ФРТ) системы формирования РЛИ $h(x, y)$. ФРТ представляет собой отклик системы формирования РЛИ на сигнал отдельного ЛЦР [3]. Двумерная ФРТ описывается выражением

$$h(x, y) = \left(e^{j2k_{x0} \cdot x} \cdot \frac{L_x}{\pi} \cdot \operatorname{sinc} \left(\frac{L_x}{\pi} \cdot x \right) \right) \cdot \left(e^{j2k_{y0} \cdot y} \cdot \frac{L_y}{\pi} \cdot \operatorname{sinc} \left(\frac{L_y}{\pi} \cdot y \right) \right). \quad (2)$$

3) Привязка ФРТ к конкретным ЛЦР. С учетом выражения (2), модель РЛИ можно описать сверткой

$$G(x, y) = \sum_{n=1}^N A_n \cdot \delta(x - x_n, y - y_n) * h(x, y),$$

где $\delta(x - x_n, y - y_n)$ – двумерная дельта-функция.

4) Формирование двумерных РЛИ объектов.

С целью демонстрации возможностей описанной методики с использованием системы Matlab проведено моделирование РЛИ объекта, представленного четырьмя ЛЦР. Характеристика рассеяния объекта представлена на рис. 1.

Моделирование проводилось для условий:

- зондирующий сигнал – сигнал с синтезом спектра, состоящий из 100 сомкнутых импульсов;
- несущая частота зондирующего сигнала 10 ГГц;
- перестройка частоты от импульса к импульсу 15 МГц, что обеспечивает получение сплошного спектра шириной 1,5 ГГц.

На рис. 2-4 изображены изометрические представления двумерной ФРТ и двумерного РЛИ модельного объекта, а также картографическое представление двумерного РЛИ, полученные при проведении моделирования.

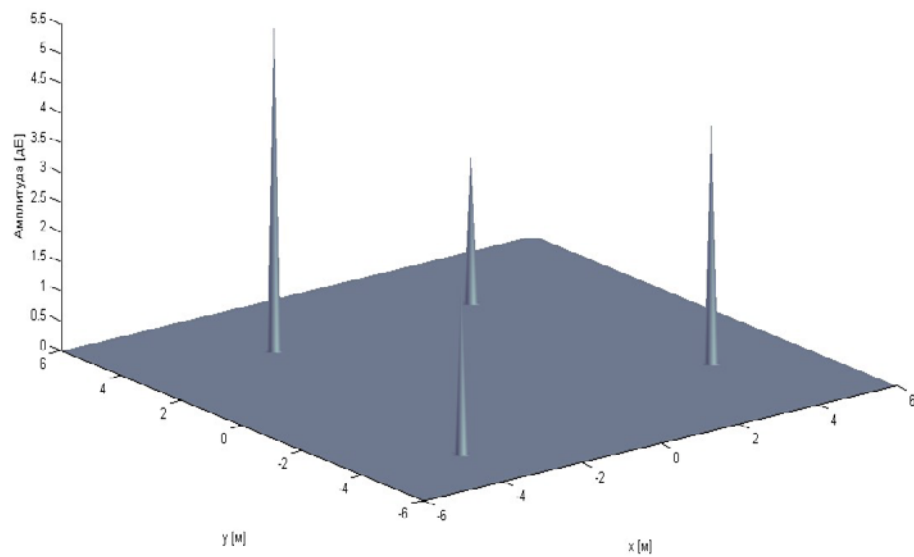


Рис. 1. Характеристика рассеяния модельного объекта

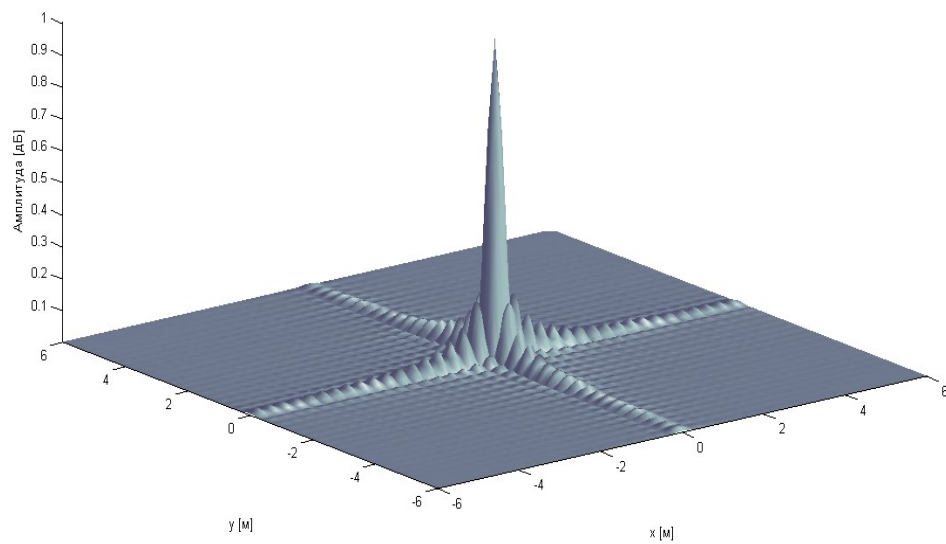


Рис. 2. Двумерная ФРТ системы формирования РЛИ

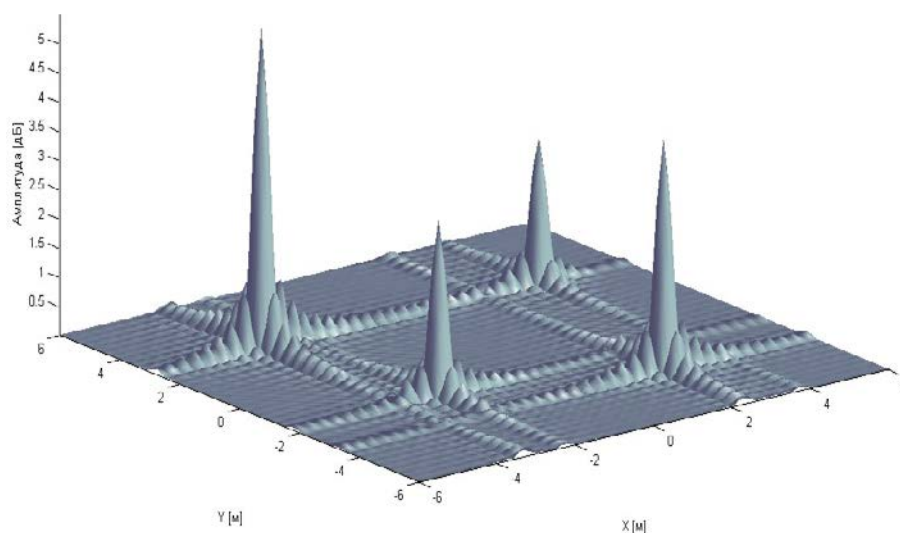


Рис. 3. Двумерное РЛИ модельного объекта

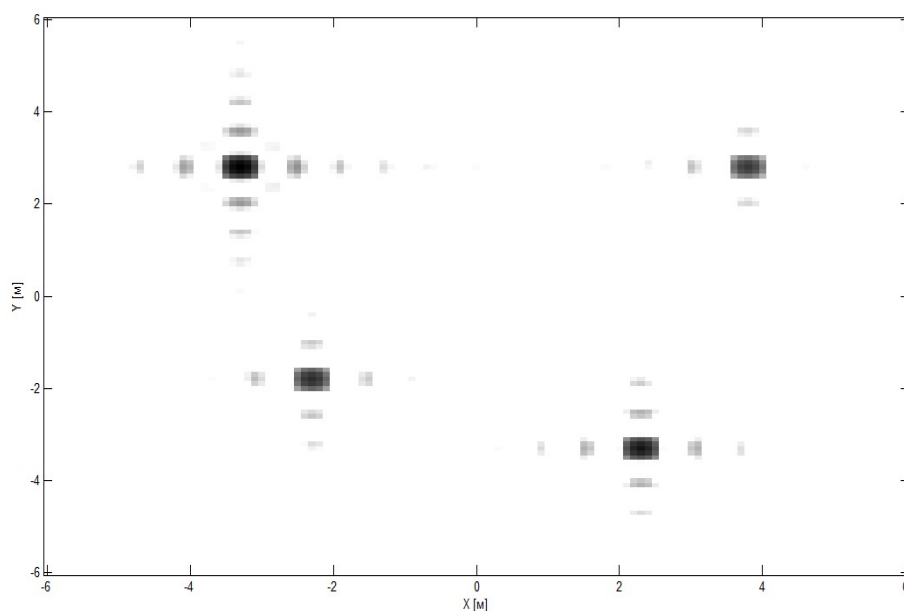


Рис. 4. Двумерное РЛИ модельного объекта (картографическое представление)

Результаты моделирования показали, что использование предлагаемой методики позволяет моделировать высококачественные двумерные РЛИ КО, находящихся на дальности 1000 км и выше, с разрешением порядка 10 см, которые в дальнейшем можно использовать как признаки для решения задачи распознавания.

Список литературы

1. Козлов Н.Н., Лучин А.А., Труфанов Е.Ю. Радиоинформационные системы. Математическое обеспечение проектирования, испытаний и функционирования. – М.: Знание, 2011. С. 245-254.

2. Обнаружение и распознавание объектов радиолокации. Коллективная монография / Под ред. Соколова А.В. – М.: Радиотехника, 2006. С. 80-85.
3. Ozdemir C. Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging with MATLAB Algorithms. – New Jersey: Wiley, 2012. С. 202-205.
4. Грузман И.С., Киричук В.С. и др. Цифровая обработка изображений в информационных системах: Уч. пособие. – Новосибирск: НГТУ, 2002. С. 93-99.
5. Усачев В. А., Голов Н. А., и др. Моделирование и обработка сигнала со ступенчатым изменением частоты. – Наука и образование, 2011, №11. С. 6-9.