

СПОСОБ АНАЛИТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ПОРТРЕТОВ ОБРАЗОВ ОБЪЕКТОВ

© 2016 г. С.А. КУЛЕШОВ

Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, г. Воронеж
e-mail: smersh-2@mail.ru

Целью работы явилось создание базы эталонных образов объектов, описываемых аналитическими выражениями, для функционирования автоматизированной системы обработки радиолокационных изображений.

По информационным и тактическим характеристикам современные радиолокационные системы (РЛС) воздушной разведки (ВР) существенно превосходят видовые системы разведки оптического диапазона волн. Благодаря использованию радиолокатора с синтезированной апертурой антенны (РСА) они дают возможность осуществлять непрерывное наблюдение объектов и местности независимо от времени суток и метеорологических условий [1]. При этом особенно эффективно обнаруживаются на фоне отражений от земной (морской) поверхности искусственные и естественные объекты с металлическими поверхностями, представляющие наибольший интерес для ВР [1]. При радиолокационном наблюдении может использоваться информация, заключенная не только в интенсивности отраженных сигналов, но и в их фазовой структуре, поляризации, доплеровском смещении частоты [2]. Радиолокационным системам значительно сложнее организовать противником противодействие путем маскировки и имитации объектов, чем средствами оптического диапазона [1].

Однако используемые визуальные и визуально-инструментальные методы обработки данных радиолокационной разведки традиционные для средств разведки оптического диапазона в силу существенных особенностей радиолокационных изображений (РЛИ) не обеспечивают требуемой полноты, достоверности, точности и особенно оперативности получения разведывательной информации [1]. Дело в том, что производительность современных РСА ВР может составлять $10^6 \dots 10^7$ элементов (пикселей) РЛИ в секунду и выше, а производительность оператора-дешифровщика при визуальной обработке РЛИ характеризуется величиной порядка $10^3 \dots 10^4$ пикселей в секунду [1]. Кроме того, при визуальном анализе РЛИ практически невозможно учесть ряд вторичных признаков объектов разведки, информация о которых заключена в радиолокационном сигнале [1].

Время обработки материалов радиолокационного наблюдения, получаемых за один полет носителя РСА и после его приземления, составляет от десятков минут до нескольких часов. Эффективность же решения большой группы важных разведывательных и разведывательно-ударных задач при современной мобильности и маневренности войск, а также высокой подвижности объектов обеспечивается при задержке данных от 3 до 15 минут [1].

Разрешение возникшего противоречия между требованиями к полноте, достоверности, точности, с одной стороны и к срокам представления данных по результатам ВР, с другой стороны, можно обеспечить путем автоматизации процесса обработки радиолокационной информации с использованием современных высокопроизводительных средств цифровой вычислительной техники в составе бортовой и наземной аппаратуры обработки данных ВР [1].

Для работы автоматизированной системы анализа РЛИ необходимо иметь банк эталонных образов интересующих нас объектов. В настоящее время в качестве эталонных изображений используют радиолокационные портреты объектов (РЛП). Использование РЛП объектов в качестве эталонов имеет свои недостатки: необходимость хранения большого объема данных, значительные вычислительные затраты на обработку, сложность получения самих РЛП. Поэтому предлагается использовать модели радиолокационных изображений объектов.

Основной проблемой при моделировании РЛП является способ описания поверхности объекта. Выбор способа описания поверхности должен быть тесно связан с используемыми методами решения задач электромагнитного рассеивания, так как точность решения задачи дифракции и точность моделирования геометрии модели должны быть согласованы [1]. При выборе способа описания поверхности объекта, как правило, предъявляются такие требования как: простота, алгоритмичность, удобство задания поверхности оператором при моделировании на ЭВМ.

Поскольку реальные изображения объектов на РЛИ не имеют четких границ (рис. 1, а), т.е. изменение яркости объекта описывается некоторой монотонной функцией (рис. 1, б), в качестве математической модели формы объектов была выбрана двумерная убывающая экспонента, показателем которой являются линии высших порядков.

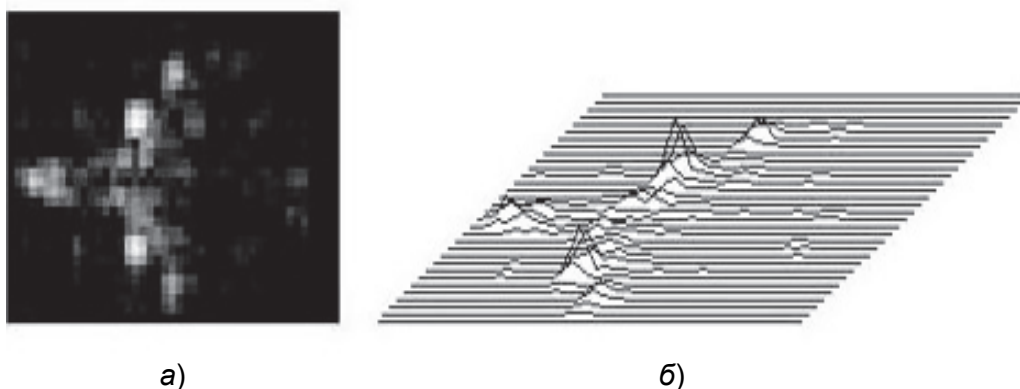


Рис. 1. Радиолокационное изображение самолёта. а) РЛИ самолета; б) модель РЛИ самолета.

Для описания объектов имеющих круглую или эллиптическую форму подставим в показатель экспоненты уравнение эллипса и получим следующие выражение

$$C(x, y; x_0, y_0) = A \exp - \frac{1}{2(1 - R_s^2)} \times \left[\frac{(x - x_0)^2}{d_x^2} - \frac{2R_s(x - x_0)(y - y_0)}{d_x d_y} + \frac{(y - y_0)^2}{d_y^2} \right], \quad (1)$$

где A – максимальное значение яркости; x_0, y_0 – координаты центра фигуры; x, y – пространственные координаты; d_x, d_y – параметры характеризующие размеры фигуры по осям x и y соответственно; $R_s \in [-1, 1]$ – коэффициент формы фигуры. В сечении $C(x, y; x_0, y_0)$ плоскостью $x_0 y_0$ при $R_s = 0$ получаем круг, при $R_s = \pm 1$ имеет место прямая линия, при всех остальных значениях – эллипс.

Полученная фигура имеет вид двумерной гауссоиды, меняя параметры которой d_x, d_y и R_s можно получить модели объектов различной формы.

На рис. 2 приведена гауссоида с $R_s = 0$, которая описывает изображение объекта имеющего круглую форму.

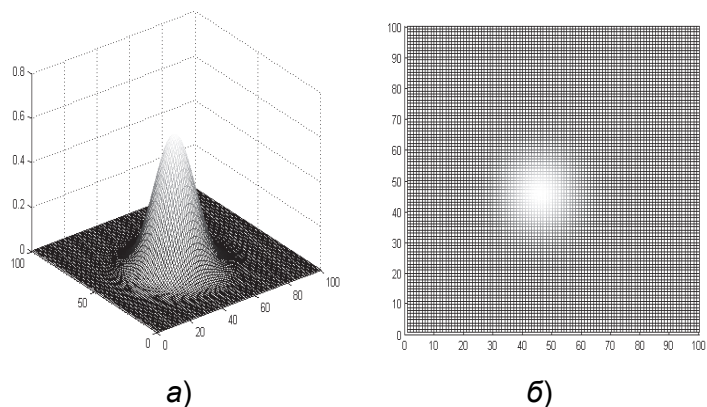


Рис. 2. Двумерная гауссоида. а) двумерная гауссоида; б) сечение двумерной гауссоиды.

Для описания кораблей достаточно менять параметры гауссоиды тем самым получая модели нужной формы. На рис. 3 представлено радиолокационное изображение надводных кораблей и модель формы объекта для их описания.

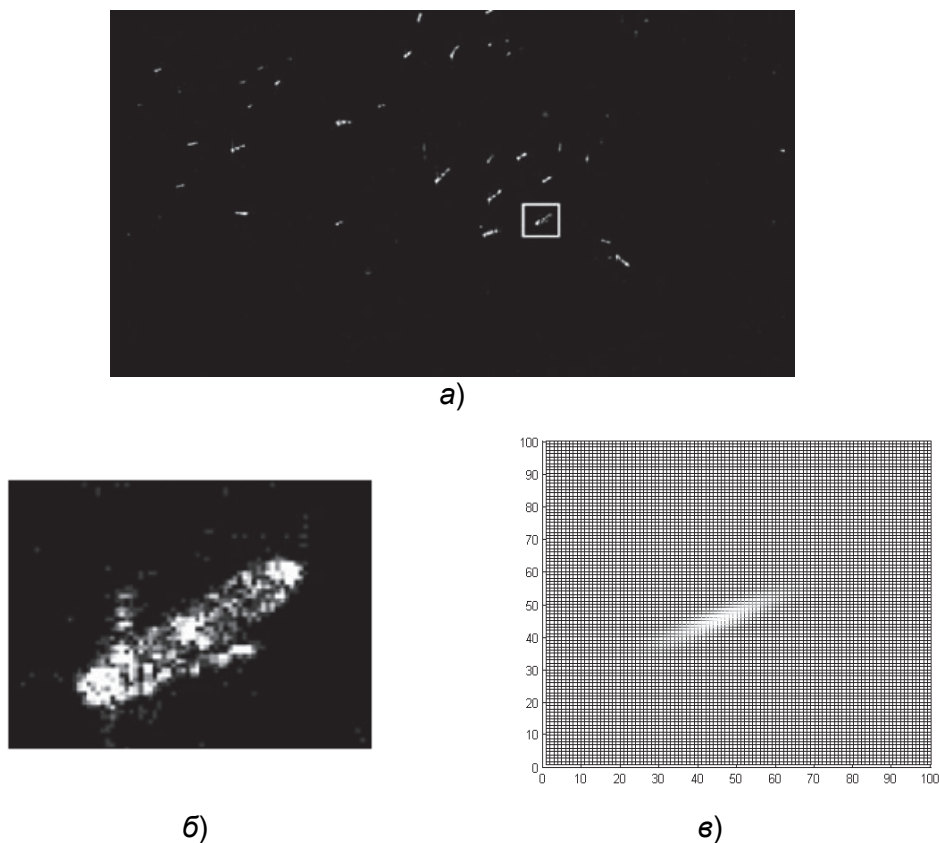


Рис. 3. РЛИ кораблей и их модель. а) РЛИ разномерных кораблей; б) РЛИ корабля; в) модель корабля.

Размеры эталонного изображения объекта зависят от размеров реального объекта, а также от высот полета носителя РСА и масштаба получаемого изображения. Данные сведения заранее известны, поэтому подобрать размеры эталонных изображений кораблей не составит особого труда.

Более сложные объекты, такие как самолеты, вертолеты и различная наземная техника можно описывать уравнениями линий высших порядков [3] подставляя их в показатель экспоненты.

На рис. 4 приведено РЛИ танка (рис. 4, б) и его модель. Форму данного объекта можно описать выражением двухлепестковой розы [3]

$$C(x, y; x_0, y_0) = A \exp \left\{ - \left(\left[\frac{(x-x_0)^2}{d_x^2} + \frac{(y-y_0)^2}{d_y^2} - 4r_1^2 \right]^3 - 108r_1^4 \frac{(y-y_0)^2}{d_y^2} \right) \right\} \quad (2)$$

с параметрами $r = 0,4$, $d_x = 100$, $d_y = 30$, (рис. 4, в).

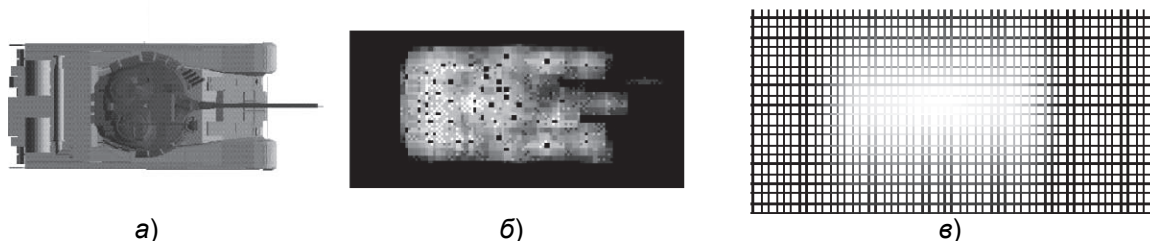


Рис. 4. РЛИ танка и его модель. а) танк; б) РЛИ танка; в) модель танка.

Для определения адекватности выбранной модели реальному изображению объекта использовался критерий минимума среднеквадратического отклонения изображения модели $C(x, y)$ от реального изображения объекта $C_p(x, y)$ [4]

$$\min \{ \delta^2 \} = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (C_p(x, y) - C(x, y))^2, \quad (3)$$

где M – число строк изображения, N – число столбцов изображения, минимизация δ^2 производится по параметрам модели.

Так для изображения корабля (рис. 3, б) и его модели, задаваемой выражением (1), величина δ_{\min}^2 составила 1,9 %, что говорит о высоком сходстве модели и реального изображения объекта.

Таким образом, используя линии высших порядков в показателе экспоненты, можно создать базу данных эталонных моделей образов объектов, которые достаточно точно описывают реальные объекты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Школьный Л.А., Толстов Е.В., Детков А.Н., Карпов О.А. и др. Радиолокационные системы воздушной разведки, дешифрирование радиолокационных изображений. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008. 532 с.
2. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны / В.Н. Антипов, В.Т. Горяинов, А.Н. Кулин и др. / Под ред. В.Т. Горяинова. – М.: Радио и связь, 1988. 304 с.
3. Савелов А.А. Плоские кривые. Систематика, свойства, применения. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960. 294 с.
4. Обнаружение, распознавание и определение параметров образов объектов. Методы и алгоритмы / под ред. А.В. Коренного. – М.: Радиотехника, 2012. 112 с.