

УДК 621.396.96

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ПО РАДИОЛОКАЦИОННОЙ И КАРТОГРАФИЧЕСКИМ ДАННЫМ

*Вашкевич В.С., Гордиевич А.В.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: Васковская Л. Ф. – ведущий системный аналитик Открытого  
Акционерного Общества «АГАТ – системы управления»*

**Аннотация.** В работе приводится алгоритм анализа радиолокационных данных, и использования картографической информации о местности для принятия решений об идентификации воздушных, наземных и надводных объектов в реальном масштабе времени.

**Ключевые слова:** радиолокационные данные, инфраструктура, интегральный рейтинг, тренд.

**Введение.** При радиолокационном наблюдении за воздушным пространством имеется проблема выделения таких объектов как обнаруживаемые наземные и (или) надводные цели [1]. К ним относятся, например, автомобильные средства, речные и морские суда, эти цели должны быть идентифицированы и отделены от воздушных целей. В ходе выполненной работы предложен метод разделения наземных (надводных) и воздушных целей на основе анализа получаемых радиолокационных данных и картографических сведений о местности в части природного ландшафта, инфраструктуры, логистики. В основу метода положена статистическая оценка параметров местоположения и движения обнаруживаемых радиолокационно объектов в процессе получения данных и принятие решения на основе интегрального рейтинга, рассчитываемого по совокупности оценок параметров и учета картографических сведений.

В настоящее время «отсеивание» наземных (надводных) объектов от воздушных при наблюдении за воздушной обстановкой является актуальной задачей в связи с расширением области применения радиолокационных средств и увеличения интенсивности движения и разнообразия всех видов транспорта. В то время как для каждого вида транспорта необходимы специфические средства контроля, управления, обеспечения безопасности движения и принятия при необходимости адекватных мер воздействия.

Разработка алгоритма задачи выделения наземных (надводных) целей, которые обнаруживаются радиолокационными средствами (наземными радиолокационными станциями) совместно с воздушными целями выполнена на основе созданной модели радиолокационных наблюдений с помощью РЛС кругового обзора за различными видами целей - воздушными, наземными, надводными. Для определения движения целей были применены кинематические модели движения прямолинейного движения объектов с постоянной скоростью на постоянной высоте, а также с изменяющейся высотой – с набором и снижением высоты.

В модели, как в РЛС, информация об объектах поступала через некоторые временные интервалы, образующие дискретную последовательность совокупности данных  $x_i$  (вектор параметров) об объекте в моменты времени  $t_1, t_2, \dots, t_i, i = 1, \dots, k$  [2]. Для обзорной РЛС  $t_i$  – это равноотстоящие моменты времени, кратные периоду обзора. В модели использовалось значение  $T_0 = 5$ с. При этом использовалась дискретная модель описания векторов параметров объекта во времени, описанная системой уравнений

$$x_{k+1} = f(x_k) + w_k \quad (1)$$

$x_k$  – вектор состояния объекта в момент времени  $k$ .

В состав параметров вектора  $x_k$  состояния объекта входят параметры траектории объекта – координаты  $X, Y, H$  и время их измерения. Здесь  $X, Y$  – координаты объекта на плоскости в системе координат радиолокационного наблюдения за объектами,  $H$  – высота объекта. Выражение (1) для  $x_k, f(x_k)$  – отражает зависимость между предыдущими и последующими значениями параметров вектора  $x_k$ . Величина  $w_k$  – это вектор случайных возмущений произвольного вида, искажающих измеренные параметры объекта.

Для принятия решения о принадлежности объекта типу «воздушный» или «наземный (надводный)» предложен алгоритм построения системы оценок различных параметров:

– осуществляется сбор отметок, полученных от РЛС от трассы наблюдаемого объекта за ряд обзоров РЛС. Этот набор называется «скользящим окном». Далее выполняются следующие операции по отметкам этого окна:

– строится линия тренда, отражающая зависимость изменения высоты полученных отметок. Выбрано построение линии первого порядка. По совокупности полученных отметок рассчитывается сглаженное значение высоты  $H_{m(i)}$  на момент получения  $i$  последней (текущей) отметки в скользящем окне:

$$H_{m(i)} = at_i + b \quad (2)$$

Для расчета коэффициентов  $a$  и  $b$  использован метод наименьших квадратов и система уравнений [3]:

$$\begin{cases} a \sum_{i=n-k}^n t_i + b \cdot k = \sum_{i=n-k}^n H_i \\ a \sum_{i=n-k}^n t_i^2 + b \sum_{i=n-k}^n t_i = \sum_{i=n-k}^n (H_i \cdot t_i) \end{cases} \quad (3)$$

где  $H_i$  – высоты отметок, приходящих по трассе, рассчитывается среднеквадратическая ошибка  $\sigma_h$  определения высот на линии тренда по данным скользящего окна на момент получения последней  $i$  отметки по формуле:

$$\sigma_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=n-k}^n (H_i - H_{m(i)})^2}{k}} \quad (4)$$

Рассчитанное значение  $\sigma_h$  сравнивается с порогом и результат наличия или отсутствия превышения учитывается которое как коэффициент  $K_{\sigma h} = 0$  или  $1$  учитывается в расчете интегральной оценки. В расчете интегральной оценки определяется наличие или отсутствие набора, или снижения высоты по линии тренда высоты. Для этого вычисляется угол наклона  $\gamma$  линии тренда в системе координат  $H(t)$  по формуле

$$\pm\gamma = \arctg(a) \quad (5)$$

где  $a$  – коэффициент, который определяется по (3).

Вычисленное значение и знак угла наклона  $\pm\gamma$  сравнивается с порогом. В случае превышения порога принимается решение о наличии набора (знак плюс) или снижения (знак минус) высоты, которое как отдельный коэффициент  $K_{\gamma} = 0$  или  $1$  учитывается в расчете интегральной оценки.

– вычисляется среднеквадратическое отклонение  $\sigma_{\gamma}$  угла наклона линии тренда по формуле (6):

$$\sigma_{\gamma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=n-p}^n (\gamma_i - \gamma_m)^2}{p}} \quad (6)$$

где  $\gamma_m = \frac{\sum_{i=n-p}^n \gamma_i}{p}$

$p = k - 3$ , (расчет начинается с получения четвертой отметки в скользящем окне).

Рассчитанное значение  $\sigma_{\gamma}$  сравнивается с порогом и результат наличия или отсутствия превышения как отдельный коэффициент  $K\sigma_{\gamma} = 0$  или 1 учитывается в расчете интегральной оценки. Рассчитывается средняя скорость движения объекта  $V_i$  на момент получения последней  $i$ -ой отметки объекта по составляющим  $v_x, v_y$ . Скорость рассчитывается по двум соседним отметкам. Далее по получении последующих отметок рассчитывается среднее значение скорости по всем отметкам, находящимся в скользящем окне. Используются следующие формулы:

$$v_i = \sqrt{v_{x(i)}^2 + v_{y(i)}^2} \quad (8)$$

$$v_{x(i)} = \frac{x_i - x_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \quad (9),$$

$$v_{y(i)} = \frac{y_i - y_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \quad (10),$$

$$v_{m(i)} = \frac{\sum_{i=n-l}^l v_i}{l} \quad (11)$$

Рассчитанное значение  $V_i$  сравнивается с порогом и результат наличия или отсутствия превышения как отдельный коэффициент  $KV_i = 0$  или 1 учитывается в расчете интегральной оценки.

Как указано ранее, расчёт всех указанных параметров производится в скользящем окне при наборе количества пришедших отметок по трассе  $n = k$ , где  $k$  - размер скользящего окна. При приходе каждой последующей  $i$ -той отметки,  $i > k$ , для расчетов используются отметки трассы на интервале получения отметок от  $[n - k; n]$ , где  $n$  - номер последней пришедшей отметки.

Далее на основе произведенных вычислений и по полученным значениям частных коэффициентов  $K$  формируется **суммарный интегральный критерий идентификации S**. Для его определения используются значения всех коэффициентов  $K$ , рассчитанные по трем последним наборам точек скользящего окна объекта. Каждому коэффициенту присваивается вес  $w$  в зависимости от его важности для отделения объектов  $B$  итоге из нижеприведенных соотношений формируется интегральное значение показателя (12) для распознавания объекта – воздушный или наземный (надводный).

$$H_{m(i)} < H_{m \text{ пороговое}} - \text{критерий выполнен, } K_{H(i)} = 1,$$

$$H_{m(i)} > H_{m \text{ пороговое}} - \text{критерий не выполнен, } K_{H(i)} = 0, S_{H(i)} = K_{H(i)} \cdot w_1;$$

$$\sigma_{h(i)} < \sigma_{h \text{ пороговое}} - \text{критерий выполнен, } K_{\sigma_h(i)} = 1,$$

$$\sigma_{h(i)} > \sigma_{h \text{ пороговое}} - \text{критерий не выполнен, } K_{\sigma_h(i)} = 0, S_{\sigma_h(i)} = K_{\sigma_h(i)} \cdot w_2$$

$$\gamma(i) < \gamma_{\text{пороговое}} - \text{критерий выполнен, } K_{\gamma(i)} = 1,$$

$$\gamma(i) > \gamma_{\text{пороговое}} - \text{критерий не выполнен, } K_{\gamma(i)} = 0, S_{\gamma(i)} = K_{\gamma(i)} \cdot w_3;$$

$\sigma_{\gamma(i)} > \sigma_{\gamma \text{ пороговое}}$  - критерий выполнен,  $K_{\sigma_{\gamma(i)}} = 1$ ,  
 $\sigma_{\gamma(i)} < \sigma_{\gamma \text{ пороговое}}$  - критерий не выполнен,  $K_{\sigma_{\gamma(i)}} = 0, S_{\sigma_{\gamma(i)}} = K_{\sigma_{\gamma(i)}} \cdot w_4$ ;  
 $v_{m(i)} < v_{m \text{ пороговое}}$  - критерий выполнен,  $K_{v_{m(i)}} = 1, S_{v_{m(i)}} = K_{v_{m(i)}} \cdot w_5$ ,  
 $v_{m(i)} > v_{m \text{ пороговое}}$  - критерий не выполнен,  $K_{v_{m(i)}} = 0, S_{v_{m(i)}} = K_{v_{m(i)}} \cdot w_5$ .  
 где  $w_1, w_2, w_3, w_4, w_5$  – весовые коэффициенты.

$$S = \sum_{i=n-2}^n S_{H(i)} + \sum_{i=n-2}^n S_{\sigma_h(i)} + \sum_{i=n-2}^n S_{\gamma(i)} + \sum_{i=n-2}^n S_{\sigma_{\gamma(i)}} + \sum_{i=n-2}^n S_{v_m(i)} \quad (6)$$

Вычисленное значение интегрального показателя  $S$  сравнивается с порогом.

$S > S_{\text{пороговое}} = 1$ ,

$S < S_{\text{пороговое}} = 0$ .

При проведении указанных расчетов по трем наборам отметок объекта в скользящем окне и получении при этом одинаковых результатов принимается решение, что объект является наземным или воздушным. Если в трех наборах  $e$  получены разные результаты, то нельзя сделать однозначный вывод об отнесении объекта к воздушному или наземному (надводному).

Дополнительно результаты расчетов сопоставлялось с картографической информацией, что вносило дополнительные баллы в интегральный показатель и повышало достоверность распознавания объектов.

По предложенному алгоритму разработана компьютерная программа для реализации в среде MatLab. Проверка проводилась по созданному набору траекторий движения нескольких наземных и воздушных объектов. Темп обзора РЛС был задан 5 с. В координаты объектов вносились ошибки, создаваемые с помощью датчика случайных чисел, распределенных по нормальному закону.

**Заключение.** Проведенное моделирование решения задачи автоматизированной идентификации объектов по радиолокационным и картографическим данным показало, что предложенный алгоритм в создаваемых приближенных к реальным условиям позволяет правильно идентифицировать воздушные и наземные (надводные) объекты.

### Список литературы

1. INTRODUCTION TO RADAR SYSTEMS International edition 2001 third edition / Merril I. Skolnik/ McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITION / Electrical Engineering Series – Pp. 369 – 397.

2. А.А. Коновалов / Основы траекторной обработки радиолокационной информации часть 1, Санкт-Петербург 2018, Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ» 2013 – Pp. 24 – 39.

3. И. Н. Бронштейн, К.А. Семендяев Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / Издание третье, переработанное / ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ / Москва 1953 – Pp. 565 – 570.

UDC 621.396.96

## AUTOMATED OBJECTS IDENTIFICATION USING RADAR AND MAP DATA

Vashkevich V.S., Gordievich A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

**Annotation.** The algorithm of radar and map data analysis for making a decision about aerial and ground (overwater) object real time identification is provided in this article.

**Key words:** radar data, infrastructure, integral rating, trend.