

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 σ_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 σ_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 γ 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 σ_{γ} 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 σ_{γ} 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.