УДК 621.396.96

С. Г. Шило, С. М. Балакірева, А. М. Пахомова

РОЗРОБКА ФОРМАЛІЗОВАНИХ ПРОЦЕДУР ВИЯВЛЕННЯ ТРАЄКТОРІЙ МАНЕВРУЮЧИХ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ В АСУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Анотація. *У роботі розглянуто шляхи вдосконалення процесів автоматичного виявлення та супроводження маневруючих повітряних об'єктів в автоматизованих системах управління спеціального призначення. Досліджено особливості обробки радіолокаційної інформації, що надходить від різнотипних джерел у різні моменти часу, та запропоновано підходи до підвищення точності формування траєкторій. Наведено результати математичного моделювання, які підтверджують ефективність розроблених процедур.*

Ключові слова: *повітряний об'єкт, радіолокаційна інформація, автозахоплення, траєкторна обробка, асинхронні вимірювання.*

Abstract. *The paper considers ways to improve the automatic detection and tracking of maneuvering airborne objects in specialized automated control systems. Particular attention is paid to radar data processing from heterogeneous sources arriving at different time intervals and to approaches aimed at improving trajectory estimation accuracy. The mathematical modeling results confirm the effectiveness of the developed procedures.*

Keywords: *airborne object, radar information, automatic acquisition, trajectory processing, asynchronous measurements.*

Сучасні умови функціонування систем протиповітряної оборони потребують постійного вдосконалення засобів отримання та обробки інформації про повітряну обстановку. Зміна характеру повітряних загроз, застосування об'єктів із різними характеристиками та можливість виконання ними складних маневрів суттєво ускладнюють процеси їх своєчасного виявлення й подальшого супроводження. У зв'язку з цим особливого значення набуває підвищення ефективності алгоритмів траєкторної обробки в автоматизованих системах управління спеціального призначення.

Одним із важливих етапів обробки радіолокаційної інформації є формування траєкторії повітряного об'єкта на основі послідовності отриманих вимірювань. Складність цього процесу полягає в тому, що дані від різних радіолокаційних засобів можуть надходити з неоднаковими часовими інтервалами та відрізнятися за точністю [5-7]. Додатковий вплив створюють хибні радіолокаційні відмітки, які ускладнюють визначення належності вимірювань до конкретної цілі. Особливо це проявляється під час маневрування повітряного об'єкта, коли його фактична траєкторія може суттєво відрізнятися від попередньо прогнозованої. За таких умов традиційні алгоритми автоматичного захоплення не завжди забезпечують необхідну точність.

Одним із напрямів вирішення цієї проблеми є вдосконалення процедур первинного відбору та накопичення радіолокаційних відміток. Важливим елементом такого процесу виступає формування стробу автозахоплення, у межах якого здійснюється пошук нових вимірювань, що можуть належати певному повітряному об'єкту. Правильне визначення його параметрів дозволяє зменшити ймовірність включення сторонніх відміток та підвищити можливість виявлення істинних вимірювань [9-10]. Удосконалення відповідних процедур спрямоване на підвищення надійності накопичення інформації навіть за умов нерівномірного надходження даних.

Для більш точного визначення траєкторії запропоновано використовувати не лише координатні характеристики, а й параметри руху повітряного об'єкта [3-4]. Зокрема, розглянуто підхід, що передбачає отримання оцінок швидкості, прискорення та кутової швидкості з подальшим їх групуванням за близькими значеннями. Такий спосіб дозволяє виділяти сукупності радіолокаційних відміток, які найбільш імовірно відповідають одному об'єкту та його реальному руху. Перевагою запропонованого рішення є можливість скорочення кількості альтернативних варіантів формування траєкторій без необхідності побудови великої кількості гіпотез ототожнення.

Окрему увагу приділено особливостям формування потоку істинних радіолокаційних відміток у багатопозиційних радіолокаційних системах [2]. Для оцінювання цього процесу розглянуто ймовірнісні характеристики надходження вимірювань, які дозволяють визначати їх очікувану кількість та ймовірність накопичення необхідного обсягу інформації за встановлений проміжок часу [8]. Використання таких залежностей дає змогу оцінити можливості системи щодо своєчасного формування траєкторної інформації за умов одночасної роботи декількох джерел спостереження.

Для перевірки ефективності розроблених процедур проведено математичне моделювання. Отримані результати свідчать про можливість досягнення ймовірності виявлення траєкторії на рівні 0,99 і вище за встановленого порогового значення 0,95 [1]. Ефективність відбору істинних радіолокаційних відміток становить близько 98%, тоді як частка хибних відміток, що потрапляють до сформованого кластера, складає приблизно 0,7% [1]. Крім того, результати моделювання підтверджують достатню точність оцінювання швидкості повітряного об’єкта, що дозволяє використовувати отримані значення для початкової ініціалізації траєкторного фільтра.

Таким чином, застосування розроблених формалізованих процедур дозволяє вдосконалити процес автоматичного виявлення траєкторій маневруючих повітряних об’єктів та підвищити достовірність обробки радіолокаційної інформації. Отримані результати можуть бути використані під час подальшого розвитку алгоритмічного забезпечення автоматизованих систем управління спеціального призначення, зокрема для підвищення оперативності та точності формування моделі повітряної обстановки.

Список використаних джерел:

1. Пахомова А. М. Розробка формалізованих процедур виявлення траєкторій маневруючих повітряних об’єктів в АСУ спеціального призначення : кваліфікаційна робота бакалавра за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології». Харків : Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2025. 96 с.
2. Жуйков Д. Б. Пропозиції щодо підвищення ефективності виявлення трас повітряних об’єктів в автоматизованих системах управління радіотехнічних військ. Системи озброєння і військова техніка. 2015. № 3(43). С. 42-44.
3. Minglei Li, Jiasong Li, Alexis Tamayo, Liangliang Nan. Multiple object tracking using a transform space. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2022. Vol. V-4-2022. P. 137-143. DOI: https://doi.org/10.5194/isprs-annals-V-4-2022-137-2022.
4. Шило С. Г., Головняк Д. В., Хмелевський С. І., Тімочко О. О. Метод сумісної обробки координатної та ознакової інформації в системах обробки радіолокаційної інформації спеціального призначення. Системи управління, навігації та зв’язку. 2019. № 6(58). С. 123-128. DOI: https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.6.123.
5. Ghawas Ali Shah, Sumair Khan, Sufyan Ali Memon, Mohsin Shahzad, Zahid Mahmood, Uzair Khan. Improvement in the Tracking Performance of a Maneuvering Target in the Presence of Clutter. Sensors. 2022. Vol. 22, No. 20. P. 1–18. DOI: https://doi.org/10.3390/s22207748.
6. Свид І. В., Мальцев О. С., Заволодько Г. Е., Чернишов М. В. та ін. Обробка даних в інформаційній мережі радіолокаційних систем спостереження повітряного простору. Інформаційні системи та технології : зб. тез доп. 9-ї Міжнар. наук.-техн. конф., м. Харків, 17-20 лист. 2020 р. Харків, 2020. С. 136–140.
7. Shrivathsa V. S. Cell Averaging - Constant False Alarm Rate Detection in Radar. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 2018. Vol. 5, No. 7. P. 2433-2438.
8. Wei Xiong, Yuan Lu, Jie Song, Xiaolong Chen. A Two-Stage Track-before-Detect Method for Non-Cooperative Bistatic Radar Based on Deep Learning. Remote Sensing. 2023. Vol. 15, No. 3757. P. 1–22. DOI: https://doi.org/10.3390/rs15153757.
9. Imil Hamda Imran, Aydin Can, Rustam Stolkin, Allahyar Montazeri. Real time nonlinear parameter estimation and tracking control of unmanned aerial vehicles in closed loop. Scientific Reports. 2023. Vol. 13, No. 3125. P. 1–19. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-023-29544-6.

10. Сидоренко Ю. В. Теорія ймовірностей. Випадкові величини : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп'ютерний моніторинг та геометричне моделювання процесів і систем». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 33 с. https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/e4db778a-6b4f-414f-9ec4-5d9cf645ce7a/content.

Шило Сергій Георгійович *– кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри бойового застосування та експлуатації АСУ, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61023, e-mail: shilosg@i.ua, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5782-552X.*

Пахомова Анастасія Миколаївна *– начальник комплексу автоматизованих засобів управління роти зв'язку військової частини А3730, слухач, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: nastyapahomova95@gmail.com.*

Балакірева Світлана Михайлівна *– кандидат технічних наук, старший дослідник, старший викладач кафедри бойового застосування та експлуатації АСУ, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61023, e-mail: sv13011980@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2535-0798.*

Serhii Georgiovych Shylo – *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, associate professor at the department of combat employment and operation of automated control systems, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska St., Ind. 61023, e-mail: shilosg@i.ua, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5782-552X.*

Anastasiia Mykolaivna Pakhomova – *head of the automated control systems complex, communications company, military unit A3730, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine, e-mail: nastyapahomova95@gmail.com.*

Svitlana Mykhailivna Balakireva – *Candidate of Technical Science, Senior Researcher, Senior lecturer at the department of combat employment and operation of automated control systems, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine, e-mail: sv13011980@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2535-0798.*