

УДК 004.02

Волков А.Ф.¹, Ярошук Р.В.²

¹ начальник кафедри Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

² курсант 642 гр. Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТИПУ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ТА ФІЛЬТРА КАЛМАНА

Високотехнологічні війни сучасності вимагають прийняття рішень в умовах обмеження часу, невизначеності та недостовірності інформації. Для системи протиповітряної оборони держави однією з основних проблем є ідентифікація типу засобів повітряного нападу для прийняття рішення на

застосування адекватної зброї для їх ефективного знищення. Методи ідентифікації які на сьогоднішній день використовуються мають низьку точність та ефективність у нелінійних системах та швидкоплинних умовах обстановки.

Для вирішення зазначеної проблеми пропонується алгоритм ідентифікації типу повітряних цілей, який поєднає метод нечіткої логіки та розширений фільтр Калмана (ЕКФ), який використовує лінеаризацію нелінійних рівнянь за допомогою методів Тейлора, що дозволяє розширеному фільтру працювати з нелінійними системами, хоча він все ще може бути менш точним при сильно нелінійних траєкторіях. В цілому поєднання методу нечіткої логіки та розширеного фільтра Калмана (ЕКФ) дозволить:

- здійснити фільтрацію інформації, яка надходить в умовах застосування противником завад та наявності різносторонніх шумів, корекцію помилок через розширений фільтр Калмана (ЕКФ), що дозволить точно оцінити параметри повітряної цілі, такі як ефективна площа розсіювання, швидкість, висота, курс тощо;

- працювати з неточними або неповними даними та приймати рішення в умовах невизначеності використовуючи нечітку логіку для класифікації цілей на основі нечітких правил “ЯКЩО - ТО”.

Основні етапи розробки алгоритму наступні.

Етап 1. Збір та фільтрація даних про параметри повітряної цілі за допомогою розширеного фільтра Калмана (ЕКФ): узагальнення, обробка інформації про параметри повітряної цілі від засобів радіолокаційної розвідки; обробка отриманої інформації з використанням розширеного фільтра Калмана (ЕКФ) з метою зменшення впливу активних завад, стороннього шуму та помилок вимірювань, прогнозування наступного положення цілі на основі попередніх вимірів. Кінцевий результат на цьому етапу це отримання більш точних оцінок параметрів цілі в реальному часі, зменшуючи похибки в умовах зашумлених вимірювань і змінних умов.

Етап 2. Формування нечітких множин для параметрів цілі: після відфільтрування кожний параметр повітряної цілі класифікується за допомогою нечітких множин, для кожного параметра встановлюються нечіткі множини, які описують значення як “низькі”, “середні”, “високі” (наприклад, швидкість може бути визначена через нечіткі категорії: “низька” (до 100 м/с), “середня” (100–330 м/с), “висока” (понад 330 м/с). Результатом етапу є можливість урахування невизначеності параметрів повітряної цілі та можливість створити гнучку модель, здатну адаптуватися до умов, де дані не є чіткими.

Етап 3. Класифікація цілей за допомогою правил нечіткої логіки: класифікація типу повітряної цілі на основі правил “ЯКЩО – ТО”

(наприклад, “Якщо швидкість висока, ефективна площа розсіювання велика, висота польоту велика, то це літак”); правила нечіткої логіки базуються на експертних знаннях, досвіді або попередніх даних і дозволяють системі обробляти ситуації, де кілька можливих рішень можуть бути частково правильними (наприклад, об’єкт може бути частково класифікованим як літак або ракета, в залежності від параметрів); на основі нечіткої логіки обчислюється ступінь належності цілі до різних типів, таких як “літак”, “БпЛА”, “ракета”, “вертольот” і система генерує кілька можливих варіантів ідентифікації.

Етап 4. Дефазифікація для визначення конкретного типу цілі: після нечіткої класифікації система переходить до етапу дефазифікації, на якому нечіткі висновки перетворюються в чіткі рішення (наприклад, якщо об’єкт має 70% належності до категорії “вертольот” і 30% до категорії “БпЛА”, система вибирає варіант з найвищим ступенем належності), це дозволяє отримати конкретний тип цілі, який може бути переданий в систему управління для прийняття рішень, таких як визначення пріоритетності загрози або вибір адекватного озброєння для знищення цілі.

Запропонований алгоритм дозволить підвищити точність та надійність ідентифікації повітряних цілей в умовах динамічних змін та зашумлених даних. Поєднання розширеного фільтра Калмана (EKF) з нечіткою логікою забезпечує адаптивність системи до змінних умов, зокрема маневреності цілі та зовнішніх впливів. Це рішення має потенціал для впровадження в системи ППО для більш ефективного захисту від загроз з повітря.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Yaroshchuk, R. (2024). Development of a model for determining the priority of air targets based on fuzzy logic. *International Competition of Student Scientific Works Black Sea Science 2024, Proceedings*, 422–433. Available: https://drive.google.com/file/d/17Rjl2sjs02vdB0vh4jehhFP59TL_xAH4/view
2. Kumar, M., & Mondal, S. (2023). A fuzzy-based adaptive unscented Kalman filter for state estimation of three-dimensional target tracking. *International Journal of Control, Automation, and Systems*. <https://doi.org/10.1007/s12555-022-0441-9>
3. Asl, R. M., Palm, R., Wu, H., & Handroos, H. (2020). Fuzzy-based parameter optimization of adaptive unscented Kalman filter: Methodology and experimental validation. *IEEE Access*, 8, 54887–54904. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2979987>
4. Bonyan Khamseh, H., Ghorbani, S., & Janabi-Sharifi, F. (2019). Unscented Kalman filter state estimation for manipulating unmanned aerial vehicles. *Aerospace Science and Technology*, 92, 446–463. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2019.06.009>

5. Impraïmakis, M., & Smyth, A. W. (2022). An unscented Kalman filter method for real time input-parameter-state estimation. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 162, 108026. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2021.108026>