

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ СУПРОВОДЖЕННЯ ТРАЄКТОРІЙ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ В СИСТЕМАХ ВТОРИННОЇ ОБРОБКИ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

к.т.н. С.А. Войтович, к.т.н. В.А. Музичук, А.М. Мацько, С.Г. Шило
(подав проф. Б.М. Судаков)

Розглядаються показники ефективності функціонування алгоритмів супроводження траєкторій повітряних об'єктів та запропонована методика їх оцінювання.

Актуальним завданням систем вторинної обробки радіолокаційної інформації залишається виявлення та супроводження траєкторій повітряних об'єктів (ПО) з необхідною для споживачів якістю. При цьому важливим є питання оцінки ефективності функціонування цих алгоритмів з використанням математичного моделювання.

При вирішенні питань про вибір показників якості функціонування алгоритмів та пристроїв вторинної обробки радіолокаційної інформації необхідно [1-4], щоб вони відображали основне призначення алгоритмів (пристроїв), а також відповідали меті аналізу; були критичними по відношенню до змінних параметрів; були наочними і, по можливості, просто визначалися.

Згідно перерахованих міркувань, при порівняльному аналізі алгоритмів вторинної обробки, зокрема алгоритмів супроводження траєкторій повітряних об'єктів, використовуються такі групи показників ефективності [4].

1. Показники, які визначають можливості алгоритмів щодо повноти відображення обстановки в зоні огляду джерела радіолокаційної інформації. Для оцінки ефективності алгоритму супроводження траєкторій може бути використаний показник середнього часу безперервного супроводження об'єкта

$$\bar{t}_c = t_c^\Sigma / \eta_c^\Sigma, \quad (1)$$

де t_c^Σ - сумарний час супроводження всіх об'єктів; η_c^Σ - сумарна кількість відрізків супроводжуваних об'єктів.

2. Показники, які визначають можливості алгоритмів щодо достовірності відображення обстановки в зоні огляду РЛС. При дослідженні алгоритмів супроводження траєкторій ПО може бути використаний показник, який називається коефіцієнтом хибних траєкторій

$$K_F = \frac{t_F^\Sigma}{t_F^\Sigma + t_T^\Sigma}, \quad (2)$$

де t_F^Σ - сумарний час супроводження всіх хибних траєкторій; t_T^Σ - сумарний час супроводження траєкторій істинних об'єктів.

3. Показники, які визначають динамічні характеристики алгоритмів і відповідних пристроїв.

Серед динамічних характеристик основне значення мають точнісні характеристики отримуваних оцінок координат та параметрів траєкторій ПО.

Класичні математичні моделі процесу оцінювання параметрів випадкових сигналів і процесів розроблені в статистичній теорії оптимальної фільтрації. Стосовно обробки радіолокаційної інформації, оцінюванню підлягають параметри і координати супроводжуваних ПО, а саме завдання фільтрації результатів радіолокаційного спостереження ставиться і вирішується як завдання послідовного оцінювання траєкторних параметрів об'єктів [3].

При цьому помилки оцінювання координат та параметрів траєкторій ПО являються функцією від помилок спостереження і фільтрації. Сумарна помилка оцінювання може бути представлена у вигляді

$$\xi(t) = \xi_D(t) + \xi_{II}(t), \quad (3)$$

де $\xi_D(t)$ - динамічна помилка, тобто помилка спостереження за ПО при відсутності завад; $\xi_{II}(t)$ - випадкова помилка, яка обумовлена впливом завад і помилок вимірювань.

В якості математичної моделі алгоритмів фільтрації параметрів траєкторії звичайно використовуються лінійні рекурентні фільтри (фільтри Калмана) з різноманітними доробками, які направлені на забезпечення надійного супроводження повітряних об'єктів при виконанні ними маневру [4].

Загалом, алгоритми супроводження траєкторій ПО, які реалізовані в існуючих системах вторинної обробки радіолокаційної інформації, можна умовно розбити на дві великі підгрупи: алгоритми супроводження зі змінними коефіцієнтами згладжування координат та параметрів руху; алгоритми супроводження з постійними коефіцієнтами згладжування координат та параметрів руху. Аналітичні вирази для опису рекурентних алгоритмів фільтрації траєкторій ПО мають вигляд:

- для координат повітряних об'єктів

$$\hat{x}_i = x_i^e + a(\tilde{x}_i - \hat{x}_i^e); \quad \hat{y}_i = y_i^e + a(\tilde{y}_i - \hat{y}_i^e); \quad (4)$$

- для складових швидкості по координатах

$$\hat{V}_{x_i} = \hat{V}_{x_i}^e + b(\tilde{V}_{x_i} - \hat{V}_{x_i}^e); \quad \hat{V}_{y_i} = \hat{V}_{y_i}^e + b(\tilde{V}_{y_i} - \hat{V}_{y_i}^e); \quad (5)$$

де $\hat{x}_i, \hat{y}_i, \hat{V}_{x_i}, \hat{V}_{y_i}$ - оцінені значення координат та складових швидкості;

$\tilde{x}_i, \tilde{y}_i, \tilde{V}_{x_i}, \tilde{V}_{y_i}$ - виміряні значення координат та складових швидкості;

\mathbf{a}, \mathbf{b} – коефіцієнти згладжування по координатах та складових швидкості;

$\tilde{x}_i^e, \tilde{y}_i^e, \tilde{v}_{x_i}^e, \tilde{v}_{y_i}^e$ - екстрапольовані значення координат та складових

швидкості; i – номер огляду джерела радіолокаційної інформації.

Для отримання перерахованих показників ефективності математична модель для дослідження алгоритмів супроводження траєкторій ПО повинна мати в своєму складі [3,4]:

- модель траєкторії ПО, яка повинна враховувати можливий маневр (випадковий чи навмисний) ПО;

- модель шуму траєкторії (помилки вимірювання) на основі датчика випадкових чисел розподілених по нормальному закону з дисперсією, величина котрої залежатиме від наявності чи відсутності радіозавад;

- модель імітації хибних відміток на основі датчика випадкових чисел, розподілених по рівномірному закону. Інтенсивність появи хибних відміток в зоні виявлення джерела радіолокаційної інформації також залежить від наявності чи відсутності радіозавад;

- алгоритм порівняння координат і параметрів істинної траєкторії з відповідними вихідними значеннями алгоритму супроводження траєкторій ПО. Результатами функціонування алгоритму порівняння являються: помилки оцінювання координат та параметрів руху ПО по трьох координатах в прямокутній системі координат; середній час безперервного супроводження ПО; коефіцієнт хибних траєкторій.

Структура математичної моделі для дослідження ефективності алгоритмів супроводження траєкторій ПО в системах вторинної обробки радіолокаційної інформації в спрощеному вигляді наведена на рис. 1.

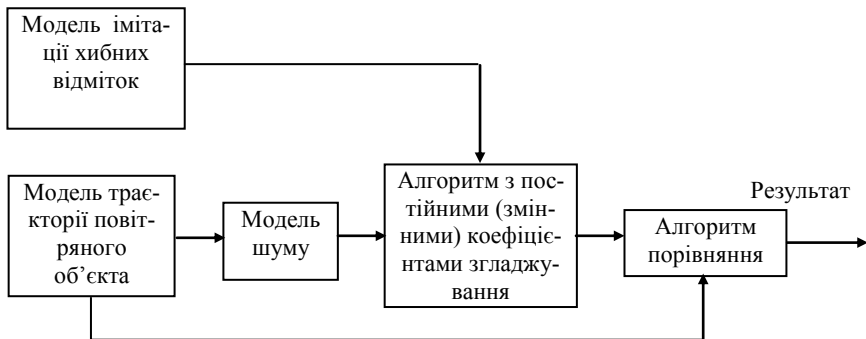


Рис. 1. Структура моделі дослідження ефективності алгоритмів супроводження траєкторій ПО в системах вторинної обробки радіолокаційної інформації

З точки зору наочності та простоти порівняння отримані при моделюванні результати доцільно розглядати в залежності від змінних входних ве-

личин, тобто отримати функції залежності згаданих показників ефективності супроводження траєкторії ПО від:

- помилок вимірювання координат ПО джерелами радіолокаційної інформації при постійних інших величинах;
- інтенсивності маневру ПО при постійних інших величинах (ступені викривлення траєкторії порівняно з моделлю прямолінійного рівномірного руху);
- інтенсивності постановки радіозавад при постійних інших величинах (інтенсивності появи хибних відміток ПО).

Крім того, при дослідженні алгоритмів супроводження траєкторій ПО які перетинаються, доцільно розглядати коефіцієнт хибних траєкторій як функцію від розрізнявальної спроможності джерела радіолокаційної інформації.

Таким чином, дослідження ефективності алгоритмів супроводження траєкторій ПО передбачає такі дії.

1. Задання траєкторії руху ПО з врахуванням можливого випадкового або навмисного маневру.
2. Визначення діапазону можливих помилок вимірювання координат ПО джерелами радіолокаційної інформації.
3. Визначення інтенсивності появи хибних відміток ПО в зоні виявлення джерела радіолокаційної інформації як функції від інтенсивності радіозавад.
4. Визначення часу моделювання траєкторій руху ПО.
5. Дослідження алгоритмів супроводження траєкторій ПО.
6. Статистична обробка отриманих результатів.
7. Формулювання висновків та рекомендацій щодо шляхів підвищення ефективності алгоритмів супроводження траєкторій ПО в системах вторинної обробки радіолокаційної інформації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кузьмин С.З. Цифровая обработка радиолокационной информации. – М.: Сов. радио, 1967. – 399 с.
2. Кузьмин С.З. Основы цифровой обработки радиолокационной информации. – М.: Сов. радио, 1974. – 432 с.
3. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. – М.: Радио и связь, 1986. – 352 с.
4. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию. – К.: Изд. КВИЦ, 2000. – 428 с.

Подана до редколегії 28.02.2001