

# Розвиток, бойове застосування та озброєння зенітних ракетних військ

УДК 681.396.96:681.32

А.В. Челпанов, Р.Г. Сидоренко, Є.О. Меленті

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ФІЛЬТРАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ТРАЄКТОРІЇ МАНЕВРУЮЧОЇ ЦІЛІ

Розглядається можливість підвищення ефективності супроводження цілей, які маневрують. Для цього пропонується використання непараметричних методів аналізу помилок фільтрації, оцінка прискорення маневру за даними когерентної обробки і відповідна корекція оцінок параметрів траєкторії цілі.

**Ключові слова:** супроводження цілей, маневр цілей, оцінка параметрів траєкторії.

### Вступ

**Постановка проблеми.** При супроводженні цілей, які маневрують збільшуються помилки оцінок параметрів траєкторії при фільтрації позначок (вимірювань координат) і можливе розходження фільтру згладжування та зрив цілі із супроводження. Тому актуальною є задача своєчасного виявлення маневру цілі, визначення його інтенсивності (прискорення маневру) і відповідної корекції параметрів фільтру та поточних оцінок параметрів траєкторії цілі.

**Аналіз літератури.** Для виявлення маневру цілі та оцінки його інтенсивності, як правило, використовуються поточні помилки фільтрації позначок – значення нев'язок чи їх квадратичних форм [1]. Для підвищення достовірності інформації здійснюється згладжування нев'язок чи їх усереднення в межах "ковзного вікна" циклів супроводження [2, 3]. Адаптація процесу обробки до маневру цілі можлива за рахунок модифікації фільтру з включенням додаткової складової прискорення чи переключення на фільтр більш високого порядку.

**Мета роботи** розгляд можливості оцінки характеристики маневру з використанням непараметричного методу аналізу динамічних помилок фільтрації і результатів когерентної обробки сигналів з адаптивною корекцією параметрів фільтру та оцінок параметрів траєкторії цілі.

### Основна частина

При маневрі цілі збільшуються динамічні помилки фільтрації, зокрема, поточні значення нев'язок  $z_i$ :

$$z_i = x_i - x_{ei}, \quad (1)$$

де  $x_i$ ,  $x_{ei}$  – відповідно результат вимірювання (параметр позначки) та екстрапольоване значення координати цілі;  $i$  – номер циклу супроводження.

Для підвищення достовірності виявлення маневру

(обмеження хибної тривоги) доцільно використовувати згладжене значення нев'язки:

$$\bar{z}_i = B\bar{z}_{i-1} + (1-B)z_i, \quad (2)$$

де  $B$  – коефіцієнт згладжування, який визначає ефективну смугу аналізу  $\Pi_a$  (кількість останніх циклів супроводження, які впливають на результат);

$$\Pi_a = \frac{1}{1-B}.$$

При  $\bar{z} > z_{\text{пор}}$  приймається рішення про наявність маневру.

Аналіз доцільно здійснювати у межах "ковзного вікна" із  $N$  циклів супроводження, зокрема  $N \approx \Pi_a$ , від  $i = k - N + 1$  до  $i = k$ .

Для оцінки прискорення маневру  $g_m$  можливе використання поточних значень нев'язки –  $z_i$  та  $\bar{z}_i$ .

Середнє значення згладженої нев'язки за рахунок маневру з інтенсивністю  $g_m$  визначиться як [2]:

$$M[\bar{z}] = -\frac{1}{12}\phi(B, k) \cdot g_m \cdot T^2(k-m)^2, \quad (3)$$

де  $k$ ,  $m$  – відповідно номера поточного циклу супроводження та циклу початку маневру;  $T$  – період слідування циклів супроводження;  $\phi(B, k)$  – коефіцієнт урахування згладжування нев'язок;

$$\phi(B, k) = \frac{1}{(Bk)^2} \left[ (Bk-1)^2 + 1 - 2(1-B)^k \right].$$

Тоді оцінка прискорення маневру  $\hat{g}_m$  може бути отримана із співвідношення (3).

Після виявлення маневру та оцінки прискорення здійснюється адаптивна корекція оцінок параметрів траєкторії та екстрапольованих значень  $\ddot{x}_T$ ,  $x_{eT}$ ,  $\dot{x}_{eT}$ :

$$\hat{\ddot{x}} = \ddot{x}_T - \hat{g}_m; \quad x_e = x_{eT} + \bar{z}; \quad (4)$$

$$\hat{\dot{x}}_e = \dot{x}_{eT} - \frac{1}{2}\hat{g}_m \cdot T(k-m).$$

У залежності від прийнятого методу корекції проводиться модифікація фільтру – збільшення розмірності вектору стану цілі за рахунок оцінки прискорення чи перемикання на фільтр більш високого порядку. Для оцінки радіального прискорення маневру цілі можливо використовувати сигнальну інформацію, зокрема, результати кореляційної обробки функції фази когерентної послідовності із  $N$  луна-сигналів:

$$\phi_i = \frac{2R(t_i)}{c} = \frac{4\pi}{\lambda} R_0 + \frac{4\pi}{\lambda} \dot{R}(t_i - t_0) + \frac{2\pi}{\lambda} \ddot{R}(t_i - t_0)^2. \quad (5)$$

Обробка здійснюється за рахунок порівняння отриманої функції фази з набором еталонних функцій, що мають різні параметри за прискоренням  $\ddot{R}_j$ , а параметр швидкості відповідає траєкторній оцінці  $\dot{R}_T$ :

$$\phi_{\text{ет}}^j = \frac{4\pi}{\lambda} \dot{R}_T(t_i - t_0) + \frac{2\pi}{\lambda} \ddot{R}_j(t_i - t_0)^2.$$

Порівняння здійснюються за рахунок обчислення кореляційного інтегралу:

$$\psi_j = \frac{1}{N} \sqrt{\left[ \sum_{i=1}^N \sin(\phi_i - \phi_{\text{ет}}^j) \right]^2 + \left[ \sum_{i=1}^N \cos(\phi_i - \phi_{\text{ет}}^j) \right]^2} \quad (6)$$

де  $\ddot{R}_j = \pm \left( j - \frac{J}{2} \right) \delta \ddot{R}$ ;  $j = 0, 1, 2, \dots, J$ .

За оцінку прискорення маневру  $g_m$  приймається параметр  $\ddot{R}_j$  тієї еталонної функції фази (з номером  $j = d$ ), при порівнянні з якою отримане максимальне значення кореляційного інтегралу:

$$\psi_d = \max_{j \in J} \{ \psi_j \}. \quad (7)$$

Розглянуті вище параметричні методи виявлення та оцінки прискорення маневру передбачають розподіл помилок вимірювань і, відповідно, помилок фільтрації за нормальним законом. Однак ці умови часто не виконуються (наприклад, за наявності завад).

Тому далі розглянемо можливість використання непараметричних методів аналізу значень нев'язок для оцінки характеристик маневру, який може забезпечити більшу ефективність обробки, зокрема, при наявності завад.

При розходженні фільтра (збільшенні динамічних помилок фільтрації) в  $k$ -тому циклі супроводження здійснюється додаткова обробка вибірки із  $M$  позначок  $x_i$ , отриманих в циклах від  $i = k - N + 1$  до  $k$ .

Дана вибірка порівнюється з  $J$  опорними вибірками позначок, які відповідають  $J$  опорним (можливим) траєкторіям цілей з різними параметрами за швидкістю та прискоренням:

$$x_{oi}^j = \hat{x}_T + \left( \hat{x}_T + \Delta \dot{x}_j \right) (t_i - t_0) + \frac{1}{2} \ddot{x}_j (t_i - t_0)^2. \quad (8)$$

Параметри опорних траєкторій обираються відносно оцінок параметрів супроводжуваної траєкторії  $\hat{x}_T$ ,  $\hat{x}_T$  та відрізняються за швидкістю та прискоренням:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{x}_j &= \pm n \cdot \delta \dot{x}; & n &= 0, 1, 2, \dots, N; \\ \ddot{x}_j &= \pm l \cdot \delta \ddot{x}; & l &= 0, 1, 2, \dots, L; \\ j &= 0, 1, 2, \dots, J; & J &= N \cdot L. \end{aligned} \quad (9)$$

Параметри  $j$ -тої траєкторії  $(\dot{x}^j; \ddot{x}^j)$ , яка у найбільшій мірі відповідає оптимальній вибірці позначок, приймаються за параметри траєкторії цілі, тобто:

$$\dot{x}_0^j = \hat{x}; \quad \ddot{x}^j = \hat{g}_m. \quad (10)$$

Порівняння здійснюється за рахунок непараметричного аналізу розходжень вибірки позначок траєкторії, яка супроводжується  $(x_i)$ , з вибірками  $j$  опорних траєкторій  $x_{oi}^j$  (аналог нев'язок):

$$Z_i^j = |x_i - x_{oi}^j|; \quad Z_i^j = \begin{vmatrix} Z_1^j & Z_2^j & \dots & Z_M^j \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ Z_1^j & Z_1^j & \dots & Z_M^j \end{vmatrix}.$$

Далі, при використанні непараметричного методу аналізу здійснюється ранжування елементів отриманих вибірок розходжень  $Z_i^j$ :

$$R_i^j = \sum_{i=1}^M \text{sgn} \left( Z_i^j - Z_i^r \right), \quad (12)$$

де  $r = 1, 2, \dots, (J-1)$ ,  $r \neq j$ .

Тобто опорною вибіркою для  $j$ -ої траєкторії є сукупність вибірок  $(J-1)$  опорних траєкторій.

Для прийняття рішення, яка опорна траєкторія (з номером  $d$ ) відповідає траєкторії цілі, використовуються рангові тести виду [6]:

$$G^j = \sum_{i=1}^M R_i^j; \quad (13)$$

а також тест рангової кореляції:

$$G^j = \sum_{i=1}^M i \cdot R_i^j. \quad (14)$$

Тоді

$$j = d \text{ при } G^d = \min_{j \in J} \{ G^j \}. \quad (15)$$

При виконанні умови (15) забезпечується мінімум сумарних відхилень позначок від обраної опорної траєкторії. Ранговий тест виду (14) додатково враховує сходиність позначок відносно опорної траєкторії.

Отримані оцінки похідних (10) використовуються далі для корекції оцінок параметрів траєкторії, яка супроводжується, і параметрів фільтра.

## ВИСНОВОК

При супроводженні цілі, що маневрує, необхідно забезпечити своєчасне виявлення маневру, визначення його характеристик і відповідну корекцію параметрів (структури) фільтру і оцінок параметрів траєкторії.

У залежності від умов супроводження для рішення даної задачі використовуються як параметричні, так і непараметричні методи обробки.

## Список літератури

1. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию / С.З. Кузьмин. – К.: КВІЦ, 2000, – 428 с.

2. Саврасов Ю.С. Алгоритмы и программы в радиолокации / Ю.С. Саврасов. – М.: Радио и связь, 1985. – 216 с.

3. Фарина А. Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей: пер. с англ. / А. Фарина., Ф. Студер. – М.: Радио и связь, 1993. – 340 с.

4. Гришин Ю.П. Динамические системы, устойчивые к отказам / Ю.П. Гришин, Ю.М. Казаринов– М.: Радио и связь, 1985. – 176 с.

5. Обработка сигналов в многоканальных РЛС. / Под ред. А.П. Лукошкина. – М.: Радио и связь, 1983. – 328 с.

6. Лапий В.Ю. Устройства ранговой обработки информации / В.Ю. Лапий, А.Я. Калюжный, Л.Г. Красный. – К.: Техніка, 1986. – 120 с.

Надійшла до редколегії 21.04.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.Д. Карлов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## ФИЛЬТРАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРАЕКТОРИИ МАНЕВРИРУЮЩЕЙ ЦЕЛИ

А.В. Челпанов, Р.Г. Сидоренко, Е.О. Меленти

Рассматривается возможность повышения эффективности сопровождения маневрирующих целей. Для этого предлагается использование непараметрических методов анализа ошибок фильтрации, оценка ускорения маневра по данным когерентной обработки и соответствующая коррекция оценок параметров траектории цели.

**Ключевые слова:** сопровождение целей, маневр целей, оценка параметров траектории.

## FILTRATION OF A TRAJECTORY PARAMETERS OF THE MANEUVERING PURPOSE

A.V. Chelpanov, R.G. Sidorenko, Ye.O. Melenty

The opportunity of increase of efficiency of support of the maneuvering purposes is considered. For this purpose use of nonparametric methods of the analysis of mistakes of a filtration, an estimation of acceleration of maneuver according to coherent processing and corresponding correction of estimations of parameters of a trajectory of the purpose is offered.

**Keywords:** support of the purposes, maneuver of the purposes, an estimation of parameters of a trajectory.