

УДК.681.396.96:681.32

А.В. Челпанов, О.О. Хмелевська, С.І. Хмелевський, Г.В. Рибалка

Харківській університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

СУПРОВОДЖЕННЯ СКЛАДНИХ БАЛІСТИЧНИХ ЦІЛЕЙ

Розглядаються питання супроводження складних балістичних цілей, можливості підвищення достовірності селекції відміток (вимірювань координат) у стробах, що перекриваються при супроводженні складної балістичної цілі, у тому числі на основі непараметричних методів аналізу. Розглянуто можливості побудування єдиної опорної траєкторії (ЄОТ), параметри якої можуть бути використані для корекції оцінок параметрів траєкторій елементів складної балістичної цілі. Запропоновано метод, що дозволяє зменшити кількість обчислень при селекції відміток у стробі.

Ключові слова: супроводження цілей, складна ціль, селекція відміток.

Вступ

Постановка проблеми. Балістичні цілі (БЦ) визначеного класу можуть бути представлені як складні (СБЦ), що мають у своєму складі декілька елементів, у тому числі хибні цілі. В процесі польоту елементи СБЦ мають близькі параметри траєкторій, з можливістю розльоту, зокрема, за рахунок атмосферної селекції.

У зв'язку із цим в ході супроводження кореляційні строби ототожнення перекриваються та можливе переплутування траєкторій елементів СБЦ через невірну селекцію відміток.

Тому актуальною є задача підвищення ефективності селекції відміток та, відповідно, підвищення точності оцінки параметрів траєкторії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оптиміальний байєсівський алгоритм селекції відміток [1] передбачає обчислення функцій правдоподібності можливих траєкторій, складених із відміток, отриманих за цикли супроводження. Недоліком алгоритму є розгалуження процесу та значний об'єм обчислень.

Субоптимальні алгоритми передбачають обмеження об'єму вибірок відміток, що аналізуються та їх селекцію на основі помилок фільтрації [2, 3]. Підвищення достовірності селекції може бути досягнуто за наявності та використанні сигнальної інформації (амплітуди та похідних координат) [1].

Метою роботи є розгляд алгоритму ототожнення відміток у випадку складної балістичної цілі з використанням додаткових показників достовірності їх селекції.

Основна частина

В сучасних РЛС для отримання радіолокаційної інформації використовується гнучкий алгоритм огляду, різні режими роботи (виявлення, супроводження, уточнення параметрів траєкторії) та різні типи сигналів.

Виявлення СБЦ здійснюється, як правило, в режимі виявлення з використанням вузькосмугового сигналу, з обмеженими можливостями по точності вимірювання координат та без розрізнення елементів СБЦ. Тому будується єдина траєкторія СБЦ з визначенням її параметрів по даним жорсткої програми огляду.

Для підвищення точності визначення параметрів траєкторії та розрізнення елементів СБЦ призначається режим супроводження з використанням широкосмугових сигналів. По причині розльоту елементів СБЦ та близькості параметрів їх траєкторій відбувається перекриття кореляційних стробів супроводження та можлива невірна селекція відбиттів (вимірювань координат), що призводить до переплутування траєкторій (розходження фільтру згладжування) та значному зниженню точності оцінки параметрів траєкторій.

В ході обробки радіолокаційної інформації доцільно додатково будувати єдину опорну траєкторію (ЄОТ) – траєкторію геометричного центру СБЦ, яка достатньо точно характеризує кінематичні властивості СБЦ та може використовуватись для корекції параметрів траєкторій її елементів при розходженні фільтру супроводження.

Єдина опорна траєкторія в режимі супроводження може будуватись двома способами – шляхом усереднення параметрів відміток від елементів СБЦ, що потрапили в широкий строб супроводження, або шляхом усереднення параметрів траєкторій елементів СБЦ [3].

Тип цілі (одиначна, складна) та її склад на початковому етапі супроводження визначається по кількості відміток в стробі ототожнення. Крім того, інформація по складу СБЦ може бути отримана по результатам обробки когерентної пачки імпульсів – за рахунок високого розрізнення по радіальній швидкості $\delta\dot{R}$:

$$\delta\dot{R} = \frac{\lambda}{2NT_{\Pi}}, \quad (1)$$

де N – число імпульсів в пачці; T_n – період повторення; λ – довжина хвилі.

Розміри стробів супроводження ΔS_k визначаються поточними помилками (дисперсіями) вимірювання координат σ_x^2 , помилками екстраполяції

$\sigma_{x_{ек}}^2$ та складової за рахунок прискорення $\frac{1}{4}\sigma_a^2 T_c^4$.

Для СБЦ складова радіального прискорення цілі може бути представлена у вигляді:

$$a = \ddot{R}_{тр} = \frac{v^2 - \dot{R}_{тр}^2}{R_{тр}}, \quad (2)$$

де v – вектор швидкості цілі; $\dot{R}_{тр}$ – радіальна складова швидкості цілі (параметр траєкторії); $R_{тр}$ – відстань до цілі.

Тоді:

$$\Delta S_k = c\sqrt{S_k}, \quad (3)$$

де $S_k = \sigma_x^2 + \sigma_{x_{ек}}^2 + \frac{1}{4}\sigma_a^2 T_c^4$; c – константа, що визначає ймовірність потрапляння відмітки в строб ($c = 2 \dots 3$).

Для траєкторій елементів СБЦ, що пересікаються по дальності (за рахунок їх розльоту або маневру), число циклів супроводження зі стробами супроводження, що пересікаються, буде дорівнювати [1]:

$$m = 2 \sqrt{\frac{4c - (d_{\min} / \sigma_z)^2}{(\Delta \dot{R} \cdot T / \sigma_z)^2}}, \quad (4)$$

де d_{\min} – мінімальна відстань між відмітками у стробах, що перекриваються; σ_z^2 – дисперсія нев'язки Z ; $z_k = x_k - x_{ек}$; $\Delta \dot{R}$ – відносна різниця швидкостей елементів СБЦ.

Ймовірність переплутування траєкторій збільшується при зменшенні $\Delta \dot{R}$ та збільшенні відношення $\frac{m}{M}$, де M – пам'ять фільтру згладжування.

Значення M зворотно пропорційне коефіцієнту підсилення фільтру (α) по координаті.

Для α, β -фільтру $M \approx \frac{4}{\alpha}$, для фільтру експоненціального згладжування

$$M = \frac{1}{1 - \alpha},$$

де α – коефіцієнт згладжування.

Для зменшення об'єму обчислень при селекції відміток у стробах, що перекриваються, для аналізу формуються вибірки із відміток тільки останніх N

циклів супроводження (у межах «вікна, що ковзає» розміром N). При цьому для підвищення достовірності селекції необхідно забезпечити умову $N > M$.

В якості параметрів, що аналізуються, використовуються поточні значення помилок фільтрації – нев'язки z_k або їх квадратичні форми

$$q_k = \frac{z_k^2}{S_k}.$$

При цьому формуються вибірки із N нев'язок у межах «вікна, що ковзає» із циклів супроводження з номерами від $k - N + 1$ до k :

$$Z_{ni}^{lj} = \begin{Bmatrix} Z_{li}^{11}; & Z_{2i}^{11}; & \dots & Z_{Ni}^{11}; \\ & \dots & & \\ Z_{li}^{Lj}; & Z_{2i}^{Lj}; & \dots & Z_{Ni}^{Lj}; \end{Bmatrix}, \quad (5)$$

де n – номер циклу супроводження, $n = k - N + 1; \dots; k$; i – номер відмітки (нев'язки) в стробі n -го циклу; $i = 1, 2, \dots; m_n$; lj – номер l -ї вибірки нев'язок відносно параметрів j -го елементу СБЦ; $l = 1, 2, \dots; L$, $j = 1, 2, \dots; J$.

Загальна кількість вибірок дорівнює $L \cdot J$. Для зменшення кількості вибірок по кожній траєкторії для аналізу використовуються відмітки з мінімальними нев'язками, тобто $m_n \leq 3$.

Критерієм вибору найбільш достовірної вибірки відміток для j -ї траєкторії (з номером $l = d$) може бути мінімальне значення сумарної дисперсії нев'язок або квадратичних форм:

$$l = d \text{ при } Q_d^j = \min_{l \in L} \{Q_l^j\}, \quad (6)$$

$$\text{де } Q_l^j = \frac{1}{N-1} \sum_{n=k-N+1}^k (Z_{ni}^{lj})^2.$$

Для підвищення достовірності селекції відміток в стробі супроводження, зокрема, за наявності завад або залишків стиснутого сигналу, що перевищили поріг, та коли розподіл помилок вимірювання відрізняється від нормального, більш ефективними можуть бути непараметричні методи аналізу [4]. При цьому здійснюється ранжування модульних значень нев'язок (або квадратичних форм) в отриманих вибірках відносно j -ї траєкторії:

$$R_i^1 = \sum_{n=k-N+1}^k \text{sgn}(Z_{ni}^1 - Z_{ni}^0), \quad (7)$$

де Z_{ni}^1 – елементи досліджуваної l -ї вибірки нев'язок; Z_{ni}^0 – елементи опорної вибірки (решти вибірок нев'язок).

Для прийняття рішення використовуються рангові тести виду:

$$G_1 = \sum_{i=1}^N R_i^1. \quad (8)$$

Найбільш достовірною буде вибірка з номером $l = d$, для якої виконується умова:

$$G_d = \min_{l \in L} \{G_l\}. \quad (9)$$

Для прийняття рішення може використовуватись тест рангової кореляції Спірмена:

$$G_1 = \sum_{i=1}^N i \cdot R_i^1. \quad (10)$$

У відповідності з даним критерієм при близьких значеннях дисперсії нев'язок в двох вибірках більш достовірною буде вважатись та, в якій значення нев'язок зменшуються за час супроводження (сталість фільтру підвищується).

Для перевірки можливої розходимості фільтру при супроводженні j -го елемента СБЦ, коли оцінка швидкісної складової траєкторії $\hat{R}_{\text{тр}}^j$ значно відрізняється від реальної, можуть використовуватись параметри ЄОТ, зокрема, $\hat{R}_{\text{ЄОТ}}$:

$$\left| \hat{R}^j - \hat{R}_{\text{ЄОТ}} \right| \leq \Delta \hat{R}. \quad (11)$$

При невиконанні цієї умови значення похідних для траєкторії j -го елемента замінюються (коректуються) відповідними параметрами ЄОТ.

Після ототожнення відміток з супроводжуваними траєкторіями в k -му циклі супроводження отримані вибірки відміток x_k^i фільтруються з уточненням параметрів траєкторій елементів СБЦ.

СОПРОВОЖДЕНИЕ СЛОЖНЫХ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ

А.В. Челпанов, С.И. Хмелевский, О.А. Хмелевская, Г.В. Рыбалка

Рассматриваются вопросы сопровождения сложных баллистических целей (СБЦ), возможности повышения достоверности селекции отметок (измерений координат) в перекрывающихся стробах при сопровождении СБЦ, в том числе на основе непараметрических методов анализа. Рассмотрена возможность построения единой опорной траектории (ЕОТ), параметры которой могут быть использованы для коррекции оценок параметров элементов СБЦ. Предложен метод, позволяющий уменьшить количество вычислений при селекции отметок в стробе.

Ключевые слова: сопровождение целей, сложная цель, селекция отметок.

SUPPORT OF THE COMPLEX BALLISTIC PURPOSES

A.V. Chelpanov, S.I. Khmelevsky, O.A. Khmelevskaya, G.V. Rybalka

Questions of support of the complex ballistic purposes, opportunities of increase of reliability of selection of marks (measurements of coordinates) in overlapped strobes are considered at support of the complex ballistic purposes, including on the basis of nonparametric methods of the analysis. The opportunity of construction of a uniform basic trajectory (EOT) which parameters can be used for correction of estimations of parameters of elements СБЦ is considered. The method, allowing to reduce quantity of calculations is offered at selection of marks in a strobe.

Keywords: support of the purposes, the complex purpose, selection of marks.

Висновки

При супроводженні складних балістичних цілей для селекції відміток у стробах, що перекриваються, можуть застосовуватись як параметричні так і непараметричні методи обробки та аналізу помилок фільтрації.

При цьому доцільне побудування ЄОТ, параметри якої можуть бути використані для корекції оцінок параметрів траєкторій елементів складних балістичних цілей при розходимості фільтру згладжування.

Список літератури

1. Фарина А. Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей: пер. с англ. / А. Фарина, Ф. Студер. – М.: Радио и связь, 1993. – 340 с.
2. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию / С.З. Кузьмин. – К.: КВЦ, 2000. – 428 с.
3. Цифровая обработка радиолокационной информации при сопровождении целей / А.М. Бочкарев и др. // Зарубежная радиоэлектроника. – 1991. – № 3. – С. 3-22.
4. Обнаружение радиосигналов / Под ред. А.А. Колоскова. – М.: Радио и связь, 1989. – 288 с.

Надійшла до редколегії 1.03.2011

Рецензент: д-р техн наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.