

УДК 681.396.96: 681.32

А.В. Челпанов¹, О.В. Буяло², К.П. Квіткін¹¹ Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків² Військово-дипломатична академія, Київ

ПРИСТРОЇ ТА АЛГОРИТМИ СУПРОВОДЖЕННЯ ГРУПОВИХ ЦІЛЕЙ

Розглядаються можливості підвищення точності оцінок параметрів траєкторії цілі та забезпечення необхідної стійкості її супроводження, якщо цілі входить до складу групової. При цьому достовірність поточних оцінок параметрів траєкторії цілі перевіряється за рахунок її порівняння з кінематичними характеристиками єдиної опорної траєкторії групової цілі, яка додатково будується в пристрої.

Ключові слова: супроводження цілей, групова цілі, селекція відміток.

Вступ

Постановка проблеми, аналіз літератури: Однією з проблем в теорії обробки радіолокаційної інформації є супроводження складних і групових цілей [1].

Залежно від можливостей РЛС супроводу розрізняють групові цілі (ГЦ) з розрізняючимися та нерозрізняючимися елементами.

Як правило, є можливість розділу елементів ГЦ по дальності – при використанні ширококутових сигналів (наприклад, маніпульованих за фазою) і по радіальній швидкості – шляхом обробки когерентної пачки радіоімпульсів великої тривалості.

У разі ГЦ, що розрізняються, отримані відмітки можуть корелювати з декількома траєкторіями, у зв'язку з чим відбувається їх переплутування, що приводить до значних помилок в оцінці параметрів траєкторії і зриву з супроводу [2].

Слід також враховувати, що для луна-сигналів, які перекриваються в часі, окрім апаратних помилок вимірювання з'являються додаткові – так звані кутові і далекомірні шуми ГЦ.

Тому актуальною є проблема компенсації кутових і далекомірних шумів ГЦ і підвищення розрізняючої здатності і точності оцінки параметрів траєкторії елементів ГЦ [3].

Мета роботи: розробка пристрою та алгоритму обробки луна-сигналів від ГЦ, аналіз можливостей підвищення точності оцінок параметрів траєкторії цілі, зокрема, з побудовою єдиної опорної траєкторії (ЕОТ) групової цілі.

Основна частина

Як правило, комплексний алгоритм функціонування РЛС передбачає обробку радіолокаційної інформації (РЛІ) в два етапи: етап виявлення та етап супроводу цілей.

На етапі виявлення використовується зазвичай немодульований вузькосмуговий зонduючий сигнал з низькою розрізняючою здатністю за дальністю, і

обробка луна-сигналів здійснюється в так званому "грубому" каналі.

В цьому випадку елементи ГЦ, як правило, не розрізняються, тому виявляється і будується траєкторія деякого центру, що здається (ЗЦ) ГЦ. Параметри траєкторії ЗЦ в загальному випадку відрізняються від параметрів траєкторії радіолокаційного або геометричного центру ГЦ за рахунок апаратних помилок одиничних вимірювань і шумів ГЦ.

Далекомірний шум виникає за рахунок флуктуацій (зміни) групового часу запізнення сумарного луна-сигналу від елементів ГЦ. При побудові траєкторії ГЦ за даними режиму виявлення точність оцінки параметрів визначатиметься величинами дисперсій одиничних вимірів σ_r^2 і далекомірного шуму σ_v^2 :

$$\sigma_0^2 = \sigma_r^2 + \sigma_v^2. \quad (1)$$

Закон розподілу апаратних помилок одиничних вимірювань можна прийняти нормальним з середнім значенням $M[\Delta r] = 0$ і дисперсією σ_r^2 .

Алгоритм обробки РЛІ передбачає фільтрацію позначок (вимірів координат цілі) x_i в кожному i -му циклі супроводження, де $i = 1, \dots, n$, з визначенням поточних оцінок параметрів траєкторій \hat{x}_i [3]. В одномірному випадку (по координаті x) отримуємо:

$$\begin{aligned} \hat{x}_i &= x_{ei} + K_i(x_i - x_{ei}); \\ x_{ei} &= \hat{x}_{i-1} + \hat{x}_{i-1}(t_i - t_{i-1}); \\ Z_i &= x_i - x_{ei}, \end{aligned} \quad (2)$$

де \hat{x}_{i-1} , \hat{x}_{i-1} – оцінки параметрів траєкторії цілі (координати і швидкості) в попередньому ($i - 1$)-ому циклі супроводження; t_i – момент часу, який відповідає i -му циклу супроводження, Z_i – значення нев'язок, K_i – коефіцієнт підсилення фільтру.

При необхідності (наприклад, при виявленні маневру цілі) екстрапольовані значення корегуються в залежності від прискорення маневру на величину [4]:

$$\Delta x_{ei} = \bar{Z}_i; \Delta \dot{x}_{ei} = -\frac{1}{2}qT_i, \quad (3)$$

де \bar{Z}_i – згладжене значення нев'язки за рахунок прискорення q ; T_i – часовий цикл супроводження;

$$\bar{Z}_i = \alpha \bar{Z}_{i-1} + (1 - \alpha) Z_i; \quad (4)$$

$\bar{Z}_i = -\varphi \cdot q T_i^2 / 12$; α – коефіцієнт згладжування; φ – коефіцієнт за рахунок усереднення.

Значення коефіцієнту підсилення фільтру K_i рекурентно розраховуються з використанням значень елементів кореляційної матриці помилок (КМП) фільтрації ψ_i , КМП екстраполяції ψ_{ei} та КМП вимірювань R_i [3, 4].

В матричному вигляді:

$$K_i = \psi_i H^T (H \psi_{ei} H^T + R_i)^{-1}, \quad (5)$$

де H – відома матриця перерахунку.

В одномірному випадку:

$$K_i = \frac{\sigma_i^2}{\sigma_{ei}^2 + \sigma_{xi}^2}, \quad (6)$$

де σ_i^2 , σ_{xi}^2 , σ_{ei}^2 – відповідно дисперсії помилок оцінки координати, помилок вимірювань і екстраполяції.

Наявність групової цілі і склад групи (кількість цілей $N_{гi}$) визначаються в межах стробу супроводження (при $N_{гi} \geq 2$). Розмір стробу супроводження $\Delta x_{г}$ розраховується на основі розміру типового бойового порядку групової цілі по відповідній координаті ($\Delta x_{Б}$), та можливих помилок вимірювань координат (дисперсії σ_x^2) і динамічних помилок супроводження ε_i , наприклад:

$$\Delta x_{г} = \Delta x_{Б} + \varepsilon_i + \sigma_x. \quad (7)$$

Для визначення складу групи можливо використовувати сигнали в вигляді когерентної послідовності з M радіоімпульсів.

В результаті кореляційної обробки забезпечується розрізняюча спроможність за швидкістю окремих цілей [4]:

$$\sigma_v = 0,55 / M T_{п}. \quad (8)$$

При послідовності з $M = 16$ радіоімпульсів з періодом повторення $T_{п} = 35 \cdot 10^{-3}$ с отримуємо $\sigma_v = 1$ м/с. Структурна схема пристрою, що реалізує алгоритм обробки РЛІ при наявності групової цілі, приведена на рис. 1 [5].

Робота пристрою полягає у наступному.

На вхід блоку віднімання 2 надходять позначки від цілей (виміри координат) x_i в кожному i -му циклі супроводження, де $i = 1, 2, \dots, n$.

На другий вхід блоку надходять екстрапольовані (очікувані) значення координат x_{ei} , які визначаються в блоці екстраполяції 5 за даними попередніх циклів супроводження.

В блоці віднімання обчислюються розходження між вимірюваним x_i та екстрапольованим x_{ei} значеннями параметру – значення нев'язок Z_i .

В блоці підсилювача 3, блоці суматора 4 та блоці екстраполяції 5 здійснюється фільтрація позначок з визначенням поточних оцінок параметрів траєкторії \hat{x}_i відповідно із співвідношенням (2).

Значення коефіцієнту підсилення фільтру K_i рекурентно розраховуються в блоці 6 відповідно із співвідношенням (5).

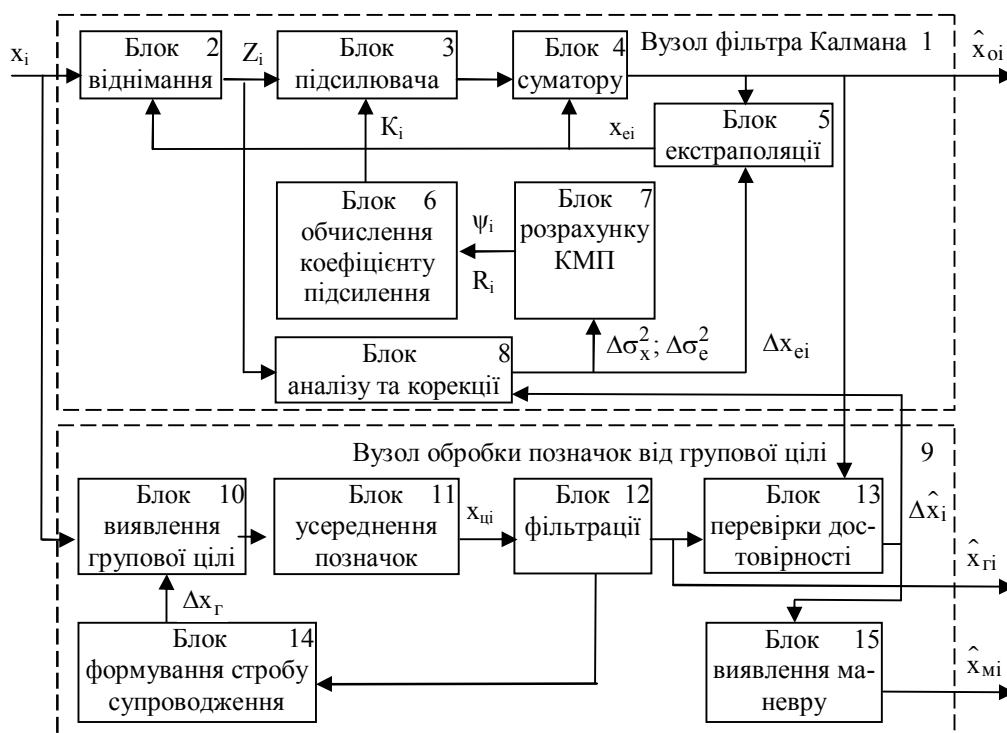


Рис. 1. Структурна схема пристрою

Значення елементів КМП оцінок параметрів руху ψ_i і КМП вимірювань R_i визначаються в блоці 7 з урахуванням корекції дисперсії $\Delta\sigma_x^2$ та $\Delta\sigma_e^2$ при виявленні значних динамічних помилок супроводження, наприклад, при збільшенні помилок вимірювань координат цілі та при її маневрі. Зокрема, параметри екстраполяції за швидкістю та прискоренню уточнюються відповідно з (3).

Вузол обробки позначок від групової цілі 9 забезпечує підвищення надійності супроводження складових групової цілі.

В блоці 10 здійснюється виявлення групової цілі (якщо цілі здійснюють політ в групі, тобто бойовому порядку). Кількість цілей $N_{ц}$ визначається в межах стробу супроводження (при $N_{ц} \geq 2$).

Розмір стробу супроводження Δx_r розраховується в блоці 14 відповідно з (7).

В блоці усереднення позначок 11 визначається координата центра групи:

$$x_{ці} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ji}, \quad (9)$$

де j – номер цілі зі складу групи з N цілей; i – номер циклу супроводження.

В блоці фільтрації 12 здійснюються фільтрація усереднених позначок відповідно із співвідношеннями для фільтра Калмана (2), (5) і визначаються оцінки параметрів траєкторії центра групи $\hat{x}_{гi}$.

Параметри центральної траєкторії використовуються для оцінки достовірності параметрів траєкторії окремих цілей групи.

Переплутування цих траєкторій виявляється при розходженні їх параметрів (кінематичних характеристик) з параметрами траєкторії центра групи, зокрема, за швидкістю і прискоренням на деякі величини $\Delta\hat{x}_m$, $\Delta\hat{x}_m$:

$$\Delta\hat{x}_i > \Delta\hat{x}_m; \Delta\hat{x}_i > \Delta\hat{x}_m. \quad (10)$$

В блоці 8 здійснюється корекція параметрів траєкторії окремих цілей і тому підвищується ймовірність правильного ототожнення чергових позначок.

В блоці 15 здійснюється виявлення маневру окремих цілей при їх віддаленні від групи (якщо параметри їх траєкторії відрізняються від бічних траєкторій елементів групової цілі на величину $\Delta\hat{x}_i$, яка визначається прискоренням маневру).

Відповідно в блоці 8 корегуються параметри траєкторії x_{ei} , x_i і параметри фільтру (коефіцієнт підсилення).

На вихід пристрою видаються вектор оцінок параметрів траєкторії центра групи (єдиної опорної траєкторії) $\hat{x}_{гi}$, параметри окремих траєкторій супроводжуваних цілей зі складу групи $\Delta\hat{x}_{oi}$, та цілей, що відділяються від групи, здійснюючи маневр \hat{x}_{mi} .

Висновки

При супроводженні групової цілі (ГЦ) доцільно забезпечити компенсацію кутових та далекомірних шумів ГЦ, побудувати єдину опорну траєкторію ГЦ з її використанням для перевірки достовірності параметрів траєкторій елементів ГЦ.

Список літератури

1. Островитянов Р.В. Статистическая теория радиолокации протяженных целей [Текст] / Р.В. Островитянов, Ф.А. Басалов. – М.: Радио и связь, 1982. – 232 с.
2. Фарина А. Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей [Текст] / А. Фарина, Ф. Студер. – М.: Радио и связь, 1993. – 340 с.
3. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию [Текст] / С.З. Кузьмин – К.: КВІЦ, 2000. – 428 с.
4. Саврасов Ю.С. Алгоритмы и программы в радиолокации [Текст] / Ю.С. Саврасов. – М.: Радио и связь, 1985. – 216 с.
5. Патент на корисну модель 96900, Україна, МПК G01S 13/52. Пристрій фільтрації та супроводження цілей [Текст] / Челпанов А.В. та ін. № 201409041. Заяв. 11.08.2014. Опубл. 26.02.2015. Бюл. № 4.

Надійшла до редколегії 22.12.2015

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

УСТРОЙСТВА И АЛГОРИТМЫ СОПРОВОЖДЕНИЯ ГРУППОВЫХ ЦЕЛЕЙ

А.В. Челпанов, А.В. Буяло, К.П. Квиткин

Рассматриваются возможности повышения точности оценок параметров траектории цели и обеспечения необходимой устойчивости ее сопровождения, если цель входит в состав групповой. При этом достоверность текущих оценок параметров траектории цели проверяется путем ее сравнения с кинематическими характеристиками единой опорной траектории групповой цели, которая дополнительно строится в устройстве.

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

DEVICES AND TRACKING ALGORITHM GROUP TARGETS

A.V. Chelpanov, A.V. Buyalo, K.P. Kvitkin

The possibilities of improving the accuracy of estimates of the parameters of the trajectory targets and ensure the necessary stability of its support, if the target is a member of the group. At the same time the accuracy of current estimates of the parameters of the trajectory of the target is checked by comparing it with the reference kinematic characteristics of a single trajectory of a group target, which further builds on the device.

Keywords: target tracking, group target, selection markers.