

АНАЛІЗ АЛГОРИТМУ ВИЯВЛЕННЯ ТРАЕКТОРІЇ ЦІЛІ «L/N-D» З ВИКОРИСТАННЯМ ФІЛЬТРІВ КАЛМАНА ЗА ДАНИМИ ІМПУЛЬСНО-ДОПЛЕРІВСЬКОЇ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Лакійчук А. П., Жук С. Я., д.т.н., професор

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» м. Київ, Україна

Одним з основних режимів роботи імпульсно-доплерівських радіолокаційних систем (ІДРЛС) є супровід цілей в режимі огляду [1]. Важливим етапом вторинної обробки радіолокаційної інформації є виявлення траєкторії цілі, який також називається зав'язкою траєкторії [2]. Широке використання на практиці знаходять послідовні методи виявлення траєкторії цілі з використанням евристичних критеріїв послідовних серійних випробувань « $l/n-d$ » [3]. Відповідно до цього критерію необхідно отримати виявлення цілі l раз в не більш ніж n суміжних періодах огляду, при цьому допускається $d-1$ невиявлень цілі поспіль.

На рис. 1. зображена узагальнена схема алгоритму « $l/n-d$ » при $d=2$, де pop – кількість попадань відмітки в строб, pr – кількість непопадань відмітки в строб поспіль, k – номер кроку алгоритму.

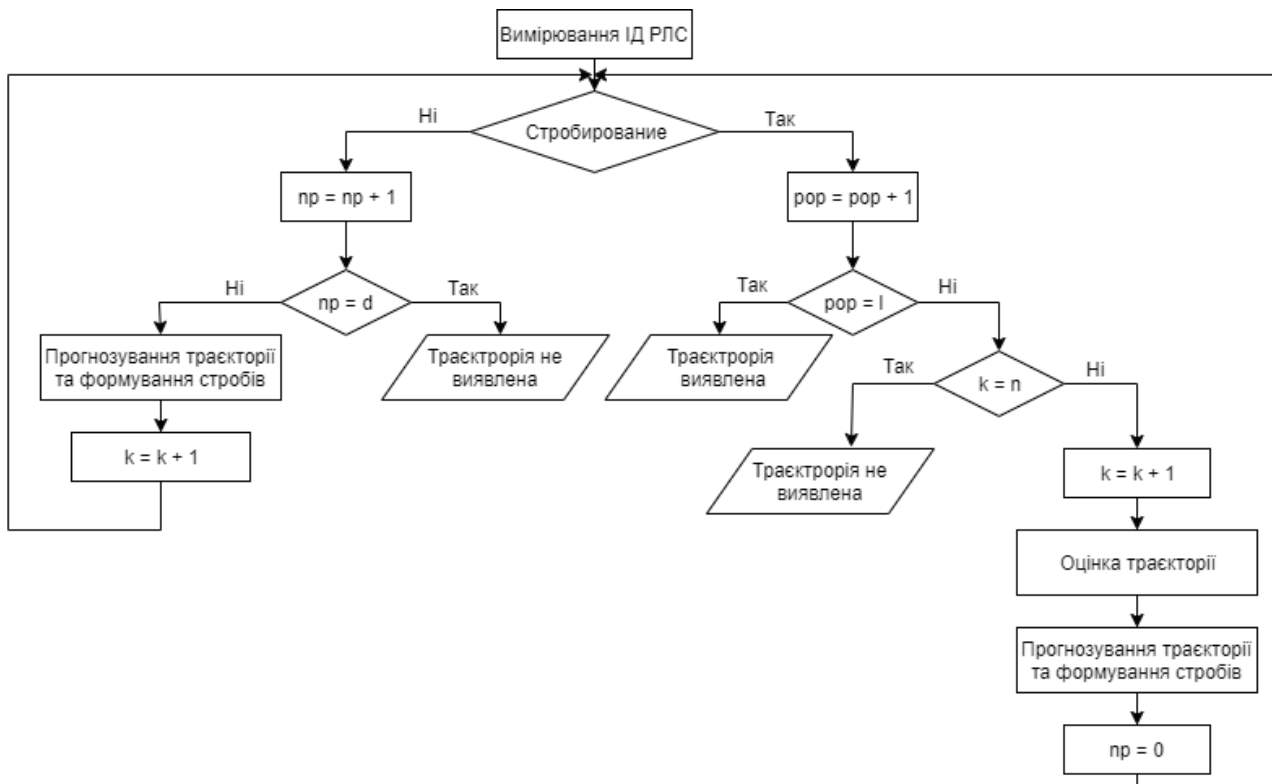


Рисунок 1. Алгоритм методу серійних випробувань « $l/n-d$ »

Оскільки в каналі огляду апріорна інформація про траєкторні параметри, як правило, вкрай обмежена, розміри стробу при зав'язці обираються

великими. Це може привести до попадання в область стробу декількох вимірювань, що значно ускладнює задачу зав'язки траєкторії.

Використання алгоритму калманівської фільтрації при зав'язці траєкторії в сферичній системі координат за даними ІДРЛС дозволяє забезпечити формування оптимальних стробів в далекомірному каналі з першого такту роботи пристрою виявлення, що дозволяє уникнути процедури розгалуження траєкторій [1]. При цьому ототожнення відмітки траєкторії виконується в далекомірному каналі на основі вирішального правила

$$\hat{l} = \arg \min_l \left\{ \frac{(r_1^l - r_1^*)^2}{p_{r,1}^* + \sigma_r^2} + \frac{(\dot{r}_1^l - \dot{r}_1^*)^2}{p_{\dot{r},1}^* + \sigma_{\dot{r}}^2} \right\}, \quad (1)$$

де r_1^l, \dot{r}_1^l — виміряні РЛС дальність, радіальна швидкість l -ї відмітки; $r_1^*, \dot{r}_1^*, p_{r,1}^*, p_{\dot{r},1}^*$ — розраховані фільтром Калмана прогнозовані значення та дисперсії похибок прогнозу дальності та радіальної швидкості цілі.

В загальному випадку ототожнення відмітки траєкторії виконується з використанням даних далекомірних і кутомірних каналів по формулі:

$$\hat{l} = \arg \min_l \left\{ \frac{(r_k^l - r_k^*)^2}{p_{r,k}^* + \sigma_r^2} + \frac{(\beta_k^l - \beta_k^*)^2}{p_{\beta,k}^* + \sigma_{\beta}^2} + \frac{(\varepsilon_k^l - \varepsilon_k^*)^2}{p_{\varepsilon,k}^* + \sigma_{\varepsilon}^2} + \frac{(\dot{r}_k^l - \dot{r}_k^*)^2}{p_{\dot{r},k}^* + \sigma_{\dot{r}}^2} \right\}. \quad (2)$$

Дослідження ефективності алгоритму зав'язки траєкторій цілі на основі евристичних критеріїв послідовних серійних іспитів « $l/n-d$ » з використанням калманівської фільтрації за даними ІДРЛС проведено за допомогою статистичного моделювання. На рис. 2а показані залежності ймовірності виявлення траєкторії цілі p_{ob} при її наявності, а на рис. 2б ймовірності невиявлення траєкторії p_{nob} при її відсутності в залежності від ймовірності хибної тривоги α .

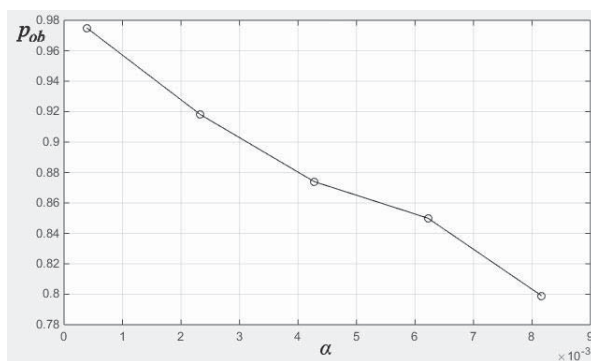


Рисунок 2а

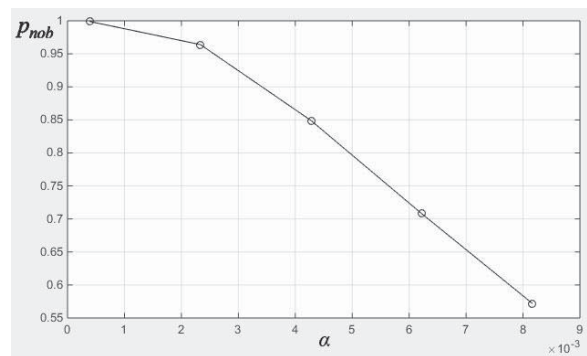


Рисунок 2б

На рис. 3а та рис. 3б суцільною та штриховою лініями зображені відповідно залежності математичних очікувань m_{τ} та середніх квадратичних відхилень σ_{τ} часу правильного виявлення та невиявлення в залежності від ймовірності хибної тривоги α . Розроблений алгоритм забезпечує високі показники зав'язки траєкторії цілі при рівні ймовірності хибної тривоги α

порядку $10^{-5} \dots 10^{-4}$, що дозволяє рекомендувати його для використання в ІДРЛС.

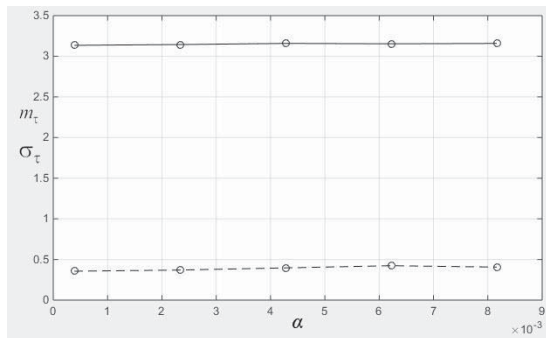


Рисунок 3а

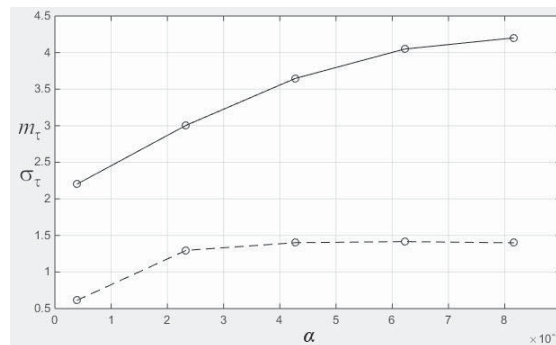


Рисунок 3б

Перелік посилань

1. Лакійчук А. П. (Науковий керівник — д.т.н., проф. Жук С. Я.) Застосування калманівської фільтрації при зав'язці траєкторії цілі за даними імпульсно-доплерівської РЛС // РАДІОЕЛЕКТРОНІКА В ХХІ СТОЛІТТІ. - Київ: 2019. - С. 53-55.

2. Верба. В.С. Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Состояние и тенденция развития / В.С. Верба. – М.: Радиотехника, 2008. – 432 с.

3. Коновалов А.А. Основы траекторной обработки радиолокационной информации / А. А. Коновалов. - Санкт-Петербург : Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2013.-164с..

Анотація

За допомогою статистичного моделювання проведено оцінку ефективності алгоритмів зав'язки траєкторії цілі на основі евристичних критеріїв послідовних серійних випробувань « $l/n-d$ » з використанням фільтрів Калмана за даними ІД РЛС.

Ключові слова: імпульсно-доплерівська радіолокаційна система, зав'язка траєкторії, фільтр Калмана.

Анотация

С помощью статистического моделирования проведена оценка эффективности алгоритмов завязки траектории цели на основе эвристических критериев последовательных серийных испытаний « $l/n-d$ » с использованием фильтров Калмана по данным ИД РЛС.

Ключевые слова: импульсно-доплеровская радиолокационная система, завязка траектории, фильтр Калмана.

Annotation

Statistical simulation has been used to evaluate the effectiveness of goal trajectory link algorithms based on heuristic « $l/n-d$ » sequential test criteria using Kalman filters based on radar IDs.

Keywords: pulse-doppler radar, trajectory link, Kalman filter.