

УДК 621.396

А.А. Коротя, О.О. Адамовський, С.М. Піскунов

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## МЕТОД МІНІМІЗАЦІЇ ЧАСУ ПОШУКУ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ В ОГЛЯДОВИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СТАНЦІЯХ

В даній статті пропонується метод оптимізації процесу пошуку повітряних цілей РЛС з електронним управлінням променем в умовах стохастичної невизначеності, яка дозволяє суттєво скоротити середній час їх знаходження.

**Ключові слова:** принцип максимуму, гамільтоніан, апостеріорна ймовірність, умова трансверсально-сті, радіолокаційна станція, пошук, повітряна ціль.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Теорія пошуку рухомих об'єктів бере початок у роботах Купмана [1]. Згодом з'явився ряд робіт [2 – 4], присвячених різним аспектам цієї теорії. В даній час представляє інтерес застосування даної теорії в сучасних радіолокаційних засобах.

**Мета статті.** В даній роботі пропонується підхід, пов'язаний з дискретизацією процесу, як за часом, так і за станом. На кінцевій множині станів задається закон перетворення функції розподілу стану у вигляді рекурентного алгоритму формування апостеріорних щільностей [5].

### Викладення основного матеріалу

Для оптимізації процесу пошуку використовується дискретний аналог принципу максимуму. Припустимо, що область, в якій рухаються цілі, розділена на комірки, кожна з яких будемо ототожнювати з деяким станом. Цілі знаходяться в кожній з комірок протягом випадкового по тривалості проміжку часу і потім стрибкоподібно пересуваються в інші комірки. Таким чином, отримуємо динамічний процес з кінцевим числом станів і дискретним часом. Використовуючи підхід, запропонований в [6], вираз для екстрапольованої ймовірності наявності цілі в комірці прийме вигляд:

$$P_{zi}(t+1) = \hat{P}_i(t) + \left[ \hat{P}_1(t)P(i/1) + \dots + \hat{P}_{i-1}(t)P(i/i-1) + \hat{P}_{i+1}(t)P(i/i+1) + \dots + \hat{P}_N(t)P(i/N) \right] + P_{ti}, \quad (1)$$

де  $\hat{P}_i(t)$  – апостеріорна ймовірність наявності цілі та осередку в момент часу  $t$ ;  $P(i/j)$  – ймовірність того, що протягом часу  $(t, t+1)$  ціль переміститься з  $j$ -ої комірки в  $i$ -ту;  $P_{ti}$  – ймовірність появи в  $i$ -й комірці нової цілі;  $N$  – кількість комірок в зоні огляду.

Введемо наступне позначення:

$$P_{ij} = \hat{P}_1P(i/1) + \dots + \hat{P}_{i-1}(t)P(i/i-1) +$$

$+ \hat{P}_{i+1}(t)P(i/i+1) + \dots + \hat{P}_N(t)P(i/N)$  – ймовірність переміщення цілей з інших осередків зони в комірку з номером  $i$ , та  $j$  з його урахуванням отримуємо:

$$P_{zi}(t+1) = \hat{P}_i(t)P(i/j) + P_{ij} + P_{ti}. \quad (2)$$

Надалі будемо вважати, що ймовірність  $P_{ti} = 0$ . Ця обставина не впливає на рішення задачі  $i$ , в разі необхідності, її завжди можна врахувати.

Після чергового огляду  $i$ -го осередку апостеріорна ймовірність наявності цілі в комірці визначається за формулою [6]:

$$\hat{P}_i(t) = \frac{P_{zi}(t-1)[1 + z_i(x/u, t-1)]}{1 + P_{zi}(t-1)z_i(x/u, t-1)}, \quad (3)$$

де  $z_i(x/u, t) = \frac{P_{li}(x/u, t) - P_{0i}(x/u, t)}{P_{0i}(x/u, t)}$  при цьому

$$P_{\lambda i}(x/u, t) = \begin{cases} P_{li}(x/u, t); \\ P_{0i}(x/u, t); \end{cases} \text{ - щільності імовірності,}$$

які має випадкова величина  $x(t) = x$  на виході пошукового пристрою, якщо у відповідній області простору ціль є  $\lambda = 1$  або цілі немає  $\lambda = 0$ .

Показником оптимальності огляду виберемо середній час пошуку цілі [7], бажано, щоб він був мінімальним. З урахуванням вище викладеного завдання управління пошуком невідомої кількості рухомих цілей можна сформулювати наступним чином. На заданому часовому інтервалі  $[0, L]$  організувати пошук таким чином, щоб в кінці цього інтервалу було мінімальним значення середнього часу пошуку цілі. Таким чином, необхідно знайти набір параметрів управління  $u_0 = \{u_1(t)\}$ , які задовольняють критерій:

$$\bar{T} \Rightarrow \min(u), \quad (4)$$

при обмеженнях

$$u_i(t) = \begin{cases} 1; \\ 0, i = 1, \dots, N; \end{cases} \quad \sum_{i=1}^N u_i(t) = 1. \quad (5)$$

Розглянута задача зводиться до відомої в теорії автоматичного управління задачі оптимального управління з вільним правим кінцем [7], в якій еле-

ментами фазового простору є екстрапольовані ймовірності наявності цілі в комірці зони огляду.

Оптимізаційну задачу, поставлену вище, зручніше вирішувати за допомогою дискретного аналогу принципу максимуму. Його застосування дає не тільки необхідні, але і достатні умови оптимальності. Для задачі (4) рівняння стану фазових змінних запишемо у вигляді такого співвідношення:

$$P_i(t+1) = \left[ P_i(t) \frac{1 + u_i(t)z_i(t)}{1 + P_i(t)u_i(t)z_i(t)} + P_{ij} \right] \times \left[ U_+(P_i(t)) - U_+(P_i(t) - P^*) \right], \quad (6)$$

де  $P^*$  – граничне значення апостеріорної ймовірності наявності цілі в комірці, при якому вона виключається з розгляду на наступному кроці рішення;  $U_+$  – ступінчаста функція.

Запишемо гамільтоніан задачі у вигляді:

$$H[P(t), u(t), \gamma(t+1)] = \sum_{i=1}^N \gamma_i(t+1) P_i(t+1). \quad (7)$$

де  $\gamma_i(t)$  – спряжені змінні.

Згідно з принципом максимуму канонічне рівняння для спряжених змінних має вигляд:

$$\gamma_i(t) = -\gamma_i(t+1) \frac{1 + u_i(t)z_i(t)}{[1 + P_i(t)u_i(t)z_i(t)]^2} \times \left[ U_+(P_i(t)) - U_+(P_i(t) - P^*) \right]. \quad (8)$$

Умова трансверсальності:

$$\gamma_i[L] = -1, \quad i = 1, \dots, N. \quad (9)$$

$$H[P^{\text{opt}}(t), u^{\text{opt}}(t), \gamma(t+1)] = \max H[P(t), u(t), \gamma(t+1)]. \quad (10)$$

У ході рішення задачі (4) у відповідності з умовою (10) отримано параметр управління в кожний момент часу:

$$u_i(t) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } a_i \cdot (1 - P_i(t)) / (1 + P_i(t)z_i(t)) = \\ = \min_{j=1, \dots, N} \left\{ a_j \cdot (1 - P_j(t)) / (1 + P_j(t)z_j(t)) \right\}, \\ 0, \text{ для всіх інших } j \neq i, \end{cases} \quad (11)$$

де  $a_{i,j} = \gamma_{i,j}(t+1)P_{i,j}z_{i,j}(t)$ ;  $i \neq j$ ;  $i, j = 1, \dots, N$ .

Однак вирішити задачу (4) при обмеженнях (5) аналітично не вдається, так як існує взаємозв'язок між  $N$ ,  $\gamma$ ,  $u$ . У зв'язку з цим вона розв'язана чисельно, з використанням методу послідовних наближень.

## Висновок

На основі розробленого методу синтезовано алгоритм оптимального управління пошуку невідомої кількості рухомих цілей.

За допомогою ПЕОМ проведено математичне моделювання процесу роботи оглядової РЛС з електронним управлінням променя, що реалізує розроблений алгоритм пошуку невідомої кількості рухомих цілей. Для порівняння використовувався алгоритм з рівномірним розподілом пошукових зусиль по осередках зони огляду і їх послідовним оглядом. Результати моделювання показують, що при використанні алгоритму оптимального управління середній час пошуку цілей, в залежності від умов інформативності, може бути скорочено в 1,5 – 3,5 рази.

## Список літератури

1. Koopman B.O. The theory of search. 1-3 / B.O. Koopman // Operation Research. – 1956. – № 4. – P. 503 – 531; 1957. – № 5. – P. 613 – 626.
2. Абчук В.А. Поиск объектов / В.А. Абчук, В.Г. Суздаль. – М.: Сов. радио, 1977. – 336 с.
3. Альсведе-Веженер И. Задачи поиска / И. Альсведе-Веженер. – М.: Мир, 1982. – 368 с.
4. Чикрий А.А. Дискретная задача поиска при априорной информированности / А.А. Чикрий, Е.В. Клименко // Кибернетика и выч. техника. – К.: 1988. – Вып. 79. – С. 60 – 70.
5. Бакут П.А. Обнаружение движущихся объектов / П.А. Бакут, Ю.В. Жулина, Н.А. Иванчук. – М.: Сов. радио, 1980. – 288 с.
6. Хеллман О. Введение в теорию оптимального поиска / О. Хеллман. – М.: Наука, 1985. – 245 с.
7. Дулевич В.Е. Теоретические основы радиолокации / В.Е. Дулевич. – М.: Сов. радио, 1978. – 732 с.

Надійшла до редколегії 3.04.2014

**Рецензент:** канд. техн. наук проф. В.М. Закорюкін, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## МЕТОД МИНИМИЗАЦИИ ВРЕМЕНИ ПОИСКА ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ В ОБЗОРНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЯХ

А.А. Коротя, О.О. Адамовский, С.Н. Пискунов

Предлагается метод оптимизации процесса поиска воздушных целей РЛС с электронным управлением лучем в условиях стохастической неопределенности, позволяющий существенно сократить среднее время их нахождения.

**Ключевые слова:** принцип максимума, гамильтониан, апостериорная вероятность, условие трансверсальности, радиолокационная станция, поиск, воздушная цель.

## METHOD TO MINIMIZE TIME NEEDED BY SURVEILLANCE RADAR STATIONS TO LOCATE AIRBORNE TARGETS

A.A. Korotya, O.O. Adamovskij, S.N. Piskunov

This article offers the method to optimize the process of airborne target location by radar stations with the electronic beam control under the conditions of stochastic uncertainty. The method allows for significantly reduction of average time needed to locate the target.

**Keywords:** principle of maximum, Hamiltonian, posterior probability, transversality condition, radar system, target location, airborne target.