

УДК 621.396

О.В. Висоцький

*Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*

## ВАГОВИЙ КРИТЕРІЙ СУМІСНОГО ПОШУКУ І ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ В ПОТОЧНІЙ ЗОНІ ОГЛЯДУ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

*Проводиться уточнення вагового критерію при сумісному пошуку та виявленні об'єктів в поточній зоні огляду радіолокаційної системи. Встановлено, що, на відміну від відомих, в уточненому критерію з'явився додатковий множник, який характеризує вагу апріорних даних.*

**Ключові слова:** ваговий критерій, сумісний пошук та виявлення, радіолокаційна система, байєсівський критерій.

### Вступ

#### Постановка проблеми у загальному вигляді.

Відомо [1, 2], що при вирішенні проблеми сумісної оптимізації пошуку і виявлення об'єктів в радіолокаційних системах однією з задач є задача синтезу вирішальних правил сумісної оптимізації пошуку і виявлення об'єктів. В якості критерію оптимізації, як правило, обирається байєсівський критерій мінімуму середнього ризику [1, 2]. Такий критерій широко використовується в теорії виявлення сигналів [3-6] та добре зарекомендував себе на практиці.

Для оптимізації вирішального правила в системах виявлення наряду з байєсівським критерієм мінімуму середнього ризику широко використовується критерій максимальної правдоподібності [3-6]. Розглянемо особливості використання критерію максимальної правдоподібності при сумісній оптимізації пошуку і виявлення об'єктів в радіолокаційній системі.

**Мета статті** – уточнити ваговий критерій при сумісному пошуку та виявленні об'єктів в поточній зоні огляду радіолокаційної системи.

**Аналіз останніх досягнень та публікацій.** У задачі сумісної оптимізації пошуку та виявлення об'єктів кінцевою є задача виявлення. Тому, в якості кінцевих критеріїв сумісної оптимізації пошуку та виявлення об'єктів доцільно вибирати критерії оптимізації, що характеризують ефективність виявлення об'єкта [3, 7], а рішення про виявлення приймати за результатами аналізу сигналів, що приймаються від об'єкта спостереження. У зв'язку з цим алгоритм сумісної оптимізації пошуку та виявлення будемо шукати в класі оптимальних байєсівських алгоритмів прийняття рішень, при використанні якого досягається мінімальне значення (нижня межа) середнього ризику [1-3].

У роботах [3-5, 7] розглянуто випадок прийняття простої гіпотези проти простої альтернативи та отримано вираз для значення середнього ризику.

При цьому встановлено, що основними характеристиками середнього ризику і його складових елементів є такі характеристики, як [1-3]:

$p_j$  – апріорні ймовірності гіпотез про відсутність об'єкта  $H_0$  та про його наявність  $H_1$ ;

$W(y / H_j)$  – функція правдоподібності вибірки

$Y$  при умові, що вірна гіпотеза  $H_j$ ;

$P(\gamma_i / H_j)$  – умовна ймовірність прийняття рішення  $\gamma_i$  в зоні огляду  $\Omega$  при умові, що вірна гіпотеза  $H_j$ ;  $i, j = 0, 1$ .

Вказані характеристики відносяться або до зони пошуку в цілому, або до її окремих складових частин і є їх інтегральними характеристиками [1, 2]. За допомогою інтегральних характеристик можливо отримати показники вирішального правила та ефективності виявлення об'єкту в деякій заданій зоні огляду  $\Omega$  в цілому. При цьому параметрами оптимізації є параметри виявлення, які визначаються умовними ймовірностями  $P(\gamma_i / H_j)$ , що є достатнім для вирішення задачі виявлення. Параметри пошуку об'єкту при цьому відсутні або присутні у вигляді інтегральних показників  $p_j$ . Очевидно, що одним і тим же інтегральним показником якості буде задовольняти нескінченна множина стратегій пошуку, що ускладнює знаходження оптимальних вирішальних правил як для випадку оптимізації тільки пошуку, так і для випадку сумісної оптимізації пошуку та виявлення [1, 2].

Інтегральні характеристики виявлення об'єктів не тільки не враховують особливості пошуку об'єктів, але і слабо узгоджуються з умовами пошуку та виявлення об'єктів.

До основних умов виявлення у радіолокаційних системах відносяться [8-10]:

- великий просторовий розмах зон огляду;
- нерівномірність апріорного розподілу об'єктів в зоні огляду та інші.

З урахуванням вказаних умов пошуку та виявлення в роботі [2] зроблено висновок про те, що значення середнього ризику в межах зони огляду не може бути прийнятним рівномірним. В зв'язку з цим доцільним є перехід від інтегральних характеристик середнього ризику до диференціальних характеристик середнього ризику.

Диференціальні характеристики будемо розглядати в такому вигляді [1, 2]:

$u(x)$  – апіорна щільність розподілу місцезнаходження об'єкту в заданій зоні огляду  $\Omega$  по просторовим координатам  $x$ ;

$dp_1(x) = u(x)dx$  – апіорна ймовірність наявності об'єкту в елементарній чарунці  $dx$  зони огляду  $\Omega$ ;

$dp_0(x) = \tilde{u}(x)dx$  – апіорна ймовірність відсутності об'єкту в елементарній чарунці  $dx$  зони огляду  $\Omega$ ;

$\tilde{u}(x)$  – апіорна щільність ймовірності відсутності об'єкту в заданій зоні огляду  $\Omega$  по просторовим координатам  $x$ ;

$dR(x) = \dot{R}(x)dx$  – середній ризик при прийнятті рішення про наявність або відсутність об'єкту в елементарній чарунці  $dx$ ;

$\dot{R}(x)$  – щільність середнього ризику в зоні огляду;

$P(\gamma_i / H_j, x)$  – умовна ймовірність прийняття рішення  $\gamma_i$  при умові, що вірна гіпотеза  $H_j$  в елементарній чарунці  $dx$  зони огляду  $\Omega$ ;  $i, j = 0; 1$ .

Елементи матриці втрат залишаються незмінними та постійними в межах зони огляду  $\Omega$  [3, 6, 7].

В роботах [1, 2] зроблено висновок про те, що введені диференціальні характеристики середнього ризику мають лише теоретичне значення та безпосередньо на практиці застосовуватися не можуть, так як передбачують обчислення середнього ризику та безумовного відношення правдоподібності для кожної елементарної чарунки  $dx$ , що практично не реалізуємо, до того ж залишається невідомим, який алгоритм використовувати при вирішенні задачі перегляду елементарних чарунок зони огляду [1, 2].

В роботі [2] введено в розгляд поточну зону огляду  $\Omega(t)$  при умові, що  $\Omega(t) \rightarrow \Omega$  при  $t \rightarrow T$ , де  $T$  – час огляду заданої зони  $\Omega$ . Положення поточної зони огляду в загальній зоні огляду представлено на рис. 1.

В роботі [2] поставлена та вирішена задача знаходження оптимального байєсівського правила прийняття рішення в поточній зоні огляду з урахуванням введених диференціальних характеристик.

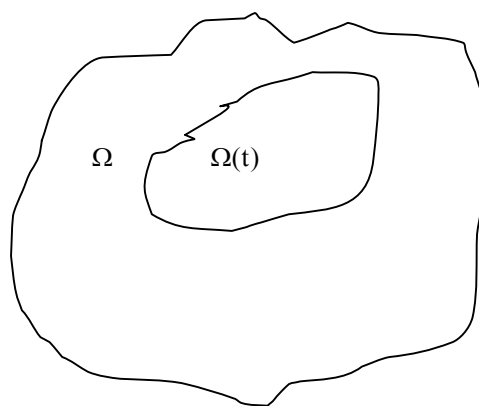


Рис. 1. Співвідношення поточної зони огляду  $\Omega(t)$  та зони огляду  $\Omega$

Відомо [3, 6, 7], що для оптимізації вирішального правила в системах виявлення наряду з байєсівським критерієм мінімуму середнього ризику широко використовується критерій максимальної правдоподібності.

### Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

Характерною особливістю вирішення завдань пошуку та виявлення об'єктів в цілому класі інформаційних системах є обов'язкова наявність відомостей про апіорне місцезнаходження об'єкта в зоні пошуку.

Найбільш повно місце розташування об'єкта в зоні пошуку характеризується апіорною щільністю ймовірності місця розташування об'єкта. У зв'язку з цим, в якості вихідних даних для вирішення завдання сумісної оптимізації пошуку та виявлення об'єктів виберемо апіорні щільності ймовірності знаходження та відсутності об'єкта в поточній зоні огляду, такі що

$$\int_{\Omega(t)} u(x)dx + \int_{\Omega(t)} \tilde{u}(x)dx = 1, \quad (1)$$

$$\int_{\Omega(t)} u(x)dx \rightarrow 1, \text{ при } t \rightarrow T, \quad (2)$$

$$\int_{\Omega(t)} \tilde{u}(x)dx \rightarrow 0, \text{ при } t \rightarrow T, \quad (3)$$

де  $t$  – поточний час;

$$\int_{\Omega(t)} u(x)dx = P(\Omega(t)) \text{ – апіорна ймовірність}$$

знаходження об'єкта в поточній зоні огляду;

$$\int_{\Omega(t)} \tilde{u}(x)dx = 1 - P(\Omega(t)) \text{ – апіорна ймовірність}$$

відсутності об'єкта в поточній зоні огляду.

Тут враховується, що розміри зони огляду вибираються такими, щоб ймовірність знаходження в ній об'єкта спостереження дорівнювала 1.

Для диференціальних характеристик середнього ризику значення середнього ризику  $dR(x)$  для випадку двохальтернативного рішення можна обчислити згідно з виразом (4)

$$dR(x) = \Pi_{10} dp_1(x) \times \left( \frac{\Pi_{00}}{\Pi_{01}} dl_0(x) P(\gamma_0 / H_0, x) + P(\gamma_1 / H_0, x) dl_0(x) + P(\gamma_0 / H_1, x) + \frac{\Pi_{11}}{\Pi_{10}} P(\gamma_1 / H_1, x) \right), \quad (4)$$

де  $dl_0(x) = \frac{\Pi_{01} dp_0(x)}{\Pi_{10} dp_1(x)}$  – ваговий множник.

Вважаючи, як прийнято в роботах [3, 6, 7], нульові плати за втрати при прийнятті правильних рішень

$$\Pi_{00} = \Pi_{11} = 0,$$

і враховуючи, що

$$\Pi_{10} dp_1(x) > 0,$$

отримаємо ваговий критерій оптимальності виявлення об'єкта в елементарній чарунці  $dx$  зони огляду  $\Omega$

$$P(\gamma_0 / H_1, x) + P(\gamma_1 / H_0, x) dl_0(x) \Rightarrow \min. \quad (5)$$

Враховуючи, що

$$P(\gamma_0 / H_1, x) = 1 - P(\gamma_1 / H_1, x),$$

вираз (5) запишемо у вигляді

$$1 - (P(\gamma_1 / H_1, x) - P(\gamma_1 / H_0, x) dl_0(x)) \Rightarrow \min.$$

Отже, ваговий критерій (5) оптимальності виявлення об'єкта в елементарній чарунці  $dx$  зони огляду  $\Omega$  переписується в вигляді

$$P(\gamma_1 / H_1, x) - P(\gamma_1 / H_0, x) dl_0(x) \Rightarrow \max. \quad (6)$$

Середнє значення ризику в поточній зоні огляду  $\Omega(t)$  тепер може бути знайдено згідно такого виразу.

$$R(t) = \Pi_{01} \int_{\Omega(t)} P(\gamma_1 / H_0, x) \tilde{u}(x) dx + \Pi_{10} \int_{\Omega(t)} P(\gamma_0 / H_1, x) u(x) dx. \quad (7)$$

Враховуючи, що

$$P(\gamma_0 / H_1, x) = 1 - P(\gamma_1 / H_1, x),$$

приходимо до вагового критерію оптимальності виявлення в поточній зоні  $\Omega(t)$  зони пошуку  $\Omega$

$$\int_{\Omega(t)} P(\gamma_1 / H_0, x) u(x) dx - l_0 \int_{\Omega(t)} P(\gamma_1 / H_0, x) \tilde{u}(x) dx \Rightarrow \max, \quad (8)$$

де  $l_0 = \frac{\Pi_{01}}{\Pi_{10}}$  – ваговий множник.

Аналогічно [3], введемо в розгляд вирішальну функцію  $\hat{A}(y)$  – функціонал прийнятої реалізації  $y(t)$ , поки неоптимальну.

Тоді вираз для умовної ймовірності правильного виявлення приймає вигляд

$$P(\gamma_1 / H_1, x) = \int_Y \hat{A}(y) W(y / H_1) dy, \quad (9)$$

де  $Y$  – область всіх можливих реалізацій  $y(t)$ .

Вираз для умовної ймовірності хибної тривоги приймає вигляд

$$P(\gamma_1 / H_0, x) = \int_Y \hat{A}(y) W(y / H_0) dy. \quad (10)$$

Підставивши вирази (9), (10) у вираз (8), опускаючи залежність умовних ймовірностей правильного виявлення і хибної тривоги від координати  $x$ , отримуємо ваговий критерій оптимальності виявлення в поточній зоні  $\Omega(t)$  зони пошуку  $\Omega$  в наступному вигляді

$$\int_Y \hat{A}(y) W(y / H_1) \int_{\Omega(t)} u(x) dx dy - l_0 \int_Y \hat{A}(y) W(y / H_0) \int_{\Omega(t)} \tilde{u}(x) dx dy \Rightarrow \max. \quad (11)$$

Після ряду перетворень, аналогічних [3], вираз (11) перепишемо у вигляді

$$\int_Y \int_{\Omega(t)} (\hat{A}(y) W(y / H_1) u(x) - l_0 \hat{A}(y) W(y / H_0) \tilde{u}(x)) dx dy \Rightarrow \max. \quad (12)$$

Перетворюючи (12), отримаємо

$$\hat{A}(y) W(y / H_0) \tilde{u}(x) \times \int_Y \int_{\Omega(t)} \times \left( \frac{W(y / H_1) u(x)}{W(y / H_0) \tilde{u}(x)} - l_0 \right) dx dy \Rightarrow \max$$

або

$$\hat{A}(y) W(y / H_0) \tilde{u}(x) \times \int_Y \int_{\Omega(t)} \times \left( l(y, t) \frac{u(x)}{\tilde{u}(x)} - l_0 \right) dx dy \Rightarrow \max, \quad (13)$$

де

$$l(y, t) = \frac{W(y / H_1)}{W(y / H_0)} - \quad (14)$$

умовне відношення правдоподібності [3], що характеризує правдоподібність гіпотез про наявність і відсутність сигналу від об'єкту на момент часу  $t$ .

У порівнянні з відомими результатами роботи [3] у виразі (13) з'явився додатковий множник  $\frac{u(x)}{\tilde{u}(x)}$ , який будемо називати вагою апіорних даних:

$$k_a = \frac{u(x)}{\tilde{u}(x)}. \quad (15)$$

### Висновки

Таким чином, проведено уточнення вагового критерію при сумісному пошуку та виявленні об'єктів в поточній зоні огляду радіолокаційної системи.

Встановлено, що, на відміну від відомих, в уточненому критерію (13) з'явився додатковий множник  $\frac{u(x)}{\tilde{u}(x)}$  – вага апіорних даних.

У подальших дослідженнях необхідно провести синтез оптимального вирішального правила прийняття рішення про виявлення об'єкта за критерієм максимальної правдоподібності в інтересах сумісної оптимізації пошуку та виявлення об'єктів в радіолокаційних системах.

### Список літератури

1. Голкин Д.В. Совместная байесовская оптимизация поиска и обнаружения объектов в космических радиолокационных системах дистанционного зондирования / Д.В. Голкин, Г.В. Худов // Космична наука і технологія. – К., 2003. – Т. 9, № 4. – С. 84-93.

2. Голкин Д.В. Совместная байесовская оптимизация поиска и обнаружения объектов в радиолокационных системах / Д.В. Голкин, Г.В. Худов // Успехи современной радиоэлектроники. – М., 2003. – № 11. – С. 23-32.

3. Ширман Я.Д. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех / Я.Д. Ширман, В.Н. Манжос. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.

4. Де Гроот М. Оптимальные статистические решения / Де Гроот М.; пер. с англ. под ред. Ю.В. Линника и А.М. Когана. – М.: Мир, 1974. – 491 с.

5. Современная радиолокация / Пер. с англ. под ред. Ю.Б. Кобзарева. – М.: Сов. радио, 1969. – 704 с.

6. Хэлстром К. Статистическая теория обнаружения сигналов / К. Хэлстром; пер. с англ. под ред. Ю.Б. Кобзарева. – М.: ИЛ, 1963. – 640 с.

7. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Б.Р. Левин. – М.: Радио и связь, 1989. – 654 с.

8. Татарский Б.Г. Оптимизация процедуры обзора пространства радиолокационной системой на основе методов искусственного интеллекта / Б.Г. Татарский, Г.С. Романенко, Р.З. Дыморез // Радиотехника. – 1998. – № 4. – С. 87-91.

9. Васильев О.В. Управляемый радиолокационный поиск воздушных целей, оптимизированный по информационному критерию / О.В. Васильев, В.В. Карев // Радиотехника. – 2000. – № 3. – С. 84-88.

10. Васильев О.В. Управляемый радиолокационный поиск воздушных целей / О.В. Васильев, В.И. Меркулов, В.В. Карев // Успехи современной радиоэлектроники. – 2002. – № 1. – С. 49-61.

Надійшла до редколегії 18.06.2015

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

### ВЕСОВОЙ КРИТЕРИЙ СОВМЕСТНОГО ПОИСКА И ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В ТЕКУЩЕЙ ЗОНЕ ОБЗОРА РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

О.В. Высоккий

Проводится уточнение весового критерия при совместном поиске и обнаружении объектов в текущей зоне обзора радиолокационной системы. Установлено, что, в отличие от известных, в уточненном весовом критерии появился дополнительный множитель, который характеризует вес апіорных данных.

**Ключевые слова:** весовой критерий, совместный поиск и обнаружение, радиолокационная система, байесовский критерий.

### WEIGHT CRITERION OF JOINT SEARCH AND DETECTION OF OBJECTS IN THE CURRENT ZONE OF THE REVIEW OF THE RADAR-TRACKING SYSTEM

O.V. Vysotsky

Specification of weight criterion by joint search and detection of objects in a current zone of the review of the radar-tracking system is spent. It is established that, unlike known, in the specified weight criterion there was an additional multiplier which characterises weight of the apіoristic data.

**Keywords:** weight criterion, joint search and detection, the radar-tracking system, Baies's criterion.