

УДК 621.396

О.В. Висоцький, Г.В. Худов

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

ОПТИМАЛЬНЕ ПРАВИЛО ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ПРИ СУМІСНОМУ ПОШУКУ І ВИЯВЛЕННІ ОБ'ЄКТІВ ПО КРИТЕРІЮ МАКСИМАЛЬНОЇ ПРАВДОПОДІБНОСТІ

Проводиться синтез оптимального правила прийняття рішення про виявлення об'єкту при сумісному пошуку і виявленні об'єктів угрупуванням радіолокаційних станцій по критерію максимальної правдоподібності. Враховано вплив ваги апріорних даних на ефективність виявлення об'єктів при двухальтернативній перевірці гіпотез в поточній зоні огляду радіолокаційних систем.

Ключові слова: синтез, сумісний пошук та виявлення, критерій максимальної правдоподібності, радіолокаційна система, вирішальне правило.

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 даної статті – провести синтез оптимального вирішального правила прийняття рішення про виявлення об'єкту за критерієм максимальної правдоподібності в інтересах сумісної оптимізації пошуку та виявлення об'єктів в радіолокаційних системах.

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

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

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

Найбільш повно місце розташування об'єкта в зоні пошуку характеризується апріорною 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 апріорні щільності ймовірності знаходження та відсутності об'єкта в поточній зоні огляду, такі що виконуються наступні умови:

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

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

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

де t – поточний час;

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

знаходження об'єкта в поточній зоні огляду;

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

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.

Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

Для оптимізації вирішального правила в системах виявлення поряд з байєсівський критерієм мінімуму середнього ризику широко використовується критерій максимальної правдоподібності. Проведено синтез оптимального вирішального правила прийняття рішення про виявлення об'єкта за критерієм максимальної правдоподібності в інтересах сумісної оптимізації пошуку та виявлення об'єктів у групуванням РЛС.

Для вирішення поставленого завдання уточнюється ваговий критерій при сумісному пошуку та виявленні об'єктів в поточній зоні огляду та проводиться оптимізація двухальтернативних рішень за обраним критерієм.

Оптимізація двухальтернативних рішень полягає у виборі доцільного правила прийняття рішення при перевірці статистичних гіпотез з позицій вагового критерію оптимальності виявлення в поточній зоні $\Omega(t)$ зони пошуку Ω [3]

$$\int_Y \int_{\Omega(t)} \left(\hat{A}(y) W\left(\frac{y}{H_0}\right) \tilde{u}(x) \right) dx dy \Rightarrow \max, \quad (4)$$

де
$$l(y, t) = \frac{W(y / H_1)}{W(y / H_0)} - \quad (5)$$

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

$\hat{A}(y)$ – функціонал прийнятої реалізації $y(t)$;

l_0 – ваговий множник.

У порівнянні з відомими результатами роботи [3] у виразі (4) з'явився додатковий множник $\frac{u(x)}{\tilde{u}(x)}$, який будемо називати вагою апіорних даних [8]

$$k_a = \frac{u(x)}{\tilde{u}(x)}. \quad (6)$$

Для випадку, що розглядається, проаналізуємо вираз (4).

Оскільки щільність ймовірності $W(y / H_0)$ і щільність ймовірності відсутності об'єкту в області $\Omega(t)$ зони огляду Ω $\tilde{u}(x)$ – невід'ємні величини, найбільше значення зваженої різниці досягається при найбільших значеннях добутку

$$\hat{A}(y) \left(l(y, t) \frac{u(x)}{\tilde{u}(x)} - l_0 \right)$$

для кожного можливого значення $y(t)$.

Значення добутку для таких можливих значень $\hat{A}(y) = 1$ і $\hat{A}(y) = 0$ дорівнюють відповідно $l(y, t) \frac{u(x)}{\tilde{u}(x)} - l_0 > 0$ і 0 .

Якщо $l(y, t) \frac{u(x)}{\tilde{u}(x)} > l_0$, то більшим є значення $l(y, t) \frac{u(x)}{\tilde{u}(x)} - l_0$, яке досягається при рішенні $\hat{A}(y) = 1$, кращому в даному випадку.

Якщо $l(y, t) \frac{u(x)}{\tilde{u}(x)} < l_0$, то більшим є значення 0 , яке досягається при рішенні $\hat{A}(y) = 0$.

Якщо $l(y, t) \frac{u(x)}{\tilde{u}(x)} = l_0$, то вибір рішення $\hat{A}(y)$ неістотний.

Умова оптимізації при двоальтернативній перевірці гіпотез в поточній зоні $\Omega(t)$ зони пошуку Ω в приймає вигляд:

$$\hat{A}(y) = \begin{cases} 1, & \text{если } l(y, t) \frac{u(x)}{\tilde{u}(x)} > l_0, \\ 0, & \text{если } l(y, t) \frac{u(x)}{\tilde{u}(x)} < l_0. \end{cases} \quad (7)$$

Таким чином, для вироблення оптимального рішення в поточній зоні огляду $\Omega(t)$ на момент часу t після прийому багатовимірної реалізації у обчислюється умовне відношення правдоподібності $l(y, t)$ і вага апіорних даних $\frac{u(x)}{\tilde{u}(x)}$. Виважене умо-

вне відношення правдоподібності $l(y, t) \frac{u(x)}{\tilde{u}(x)}$ порівнюється з пороговим рівнем l_0 . Якщо воно нижче порога, то приймається гіпотеза H_0 , в іншому випадку – гіпотеза H_1 . Таке рішення забезпечує на момент часу t мінімум середнього ризику (3) і максимум різницевого вагового критерію (4).

Розглянемо більш докладно вагу апіорних даних $\frac{u(x)}{\tilde{u}(x)}$. Із умови (1) отримаємо:

$$\int_{\Omega(t)} \tilde{u}(x) dx = \int_{\Omega(t)} \left(\frac{1}{\int_{\Omega(t)} u(x) dx} - 1 \right) u(x) dx. \quad (8)$$

Враховуючи (1), (2), а також необхідність виконання умови (8) для будь-якого моменту часу $0 \leq t \leq T$, прівняємо підінтегральні вирази в умові (8):

$$\tilde{u}(x) = u(x) \left(\frac{1}{\int_{\Omega(t)} u(x) dx} - 1 \right). \quad (9)$$

Із виразу (9) маємо:

$$\frac{u(x)}{\tilde{u}(x)} = \frac{\int_{\Omega(t)} u(x)dx}{1 - \int_{\Omega(t)} u(x)dx} \quad (10)$$

Враховуючи позначення:

$$P(\Omega(t)) = \int_{\Omega(t)} u(x)dx -$$

ймовірність знаходження об'єкту в поточній зоні огляду $\Omega(t)$ на момент часу t , вираз (10) з урахуванням (6) перепишемо у вигляді:

$$k_a = \frac{u(x)}{\tilde{u}(x)} = \frac{P(\Omega(t))}{1 - P(\Omega(t))} \quad (11)$$

З урахуванням (11) вирішальне правило при двухальтернативній перевірці гіпотез в поточній зоні $\Omega(t)$ і сумісній оптимізації пошуку та виявлення об'єктів (7) приймає вид:

$$\hat{A}(y) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } l(y, t) \frac{P(\Omega(t))}{1 - P(\Omega(t))} > l_0, \\ 0, & \text{якщо } l(y, t) \frac{P(\Omega(t))}{1 - P(\Omega(t))} < l_0. \end{cases} \quad (12)$$

Таким чином, для вироблення оптимального рішення в поточній зоні огляду $\Omega(t)$ на момент часу t після прийому багатовимірної реалізації обчислюється умовне відношення правдоподібності $l(y, t)$ і вага апіорних даних:

$$\frac{P(\Omega(t))}{1 - P(\Omega(t))}$$

Виважене умовне відношення правдоподібності

$$l(y, t) \frac{P(\Omega(t))}{1 - P(\Omega(t))}$$

порівнюється з пороговим рівнем l_0 . Якщо воно нижче порога, то приймається гіпотеза H_0 , в іншому випадку – гіпотеза H_1 .

Таке рішення забезпечує на момент часу t мінімум середнього ризику (3) і максимум різницевого вагового критерію (4).

На рис. 1 наведена залежність ваги апіорних даних від імовірності знаходження об'єкта в поточній зоні огляду $P(\Omega(t))$. Видно різке зростання ваги апіорних даних при наближенні ймовірності $P(\Omega(t))$ до одиниці.

На рис. 2, 3 представлено більш детальна поведінка ваги апіорних даних у різних межах числового діапазону зміни ймовірності $P(\Omega(t))$.

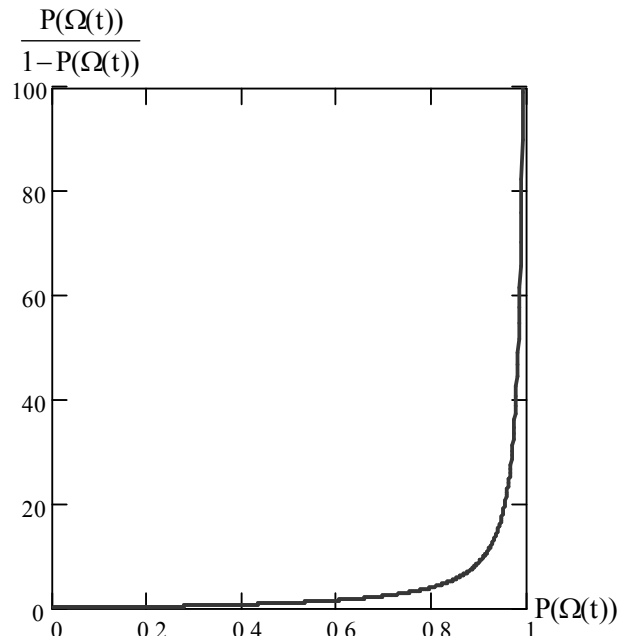


Рис. 1. Залежність ваги апіорних даних від величини $P(\Omega(t))$

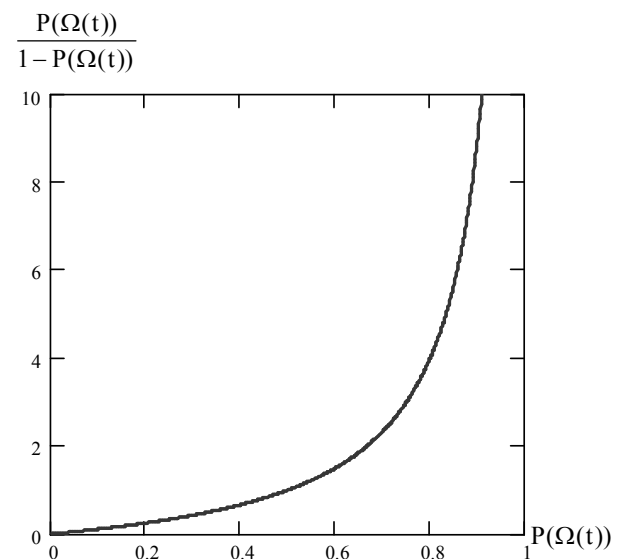


Рис. 2. Залежність ваги апіорних даних від величини $P(\Omega(t))$

Характерна особливість ваги апіорних даних полягає в тому, що при апіорній ймовірності

$$P(\Omega(t)) \rightarrow 1$$

вага апіорних даних

$$k_a = \frac{P(\Omega(t))}{1 - P(\Omega(t))} \rightarrow \infty,$$

а при

$$P(\Omega(t)) \rightarrow 0 \quad k_a \rightarrow 0.$$

При $P(\Omega(t)) = 0,5$ і $k_a = 1$ вирішальне правило при сумісній оптимізації пошуку і виявлення пе-

реходить у відоме [7] вирішальне правило при виявленні об'єктів.

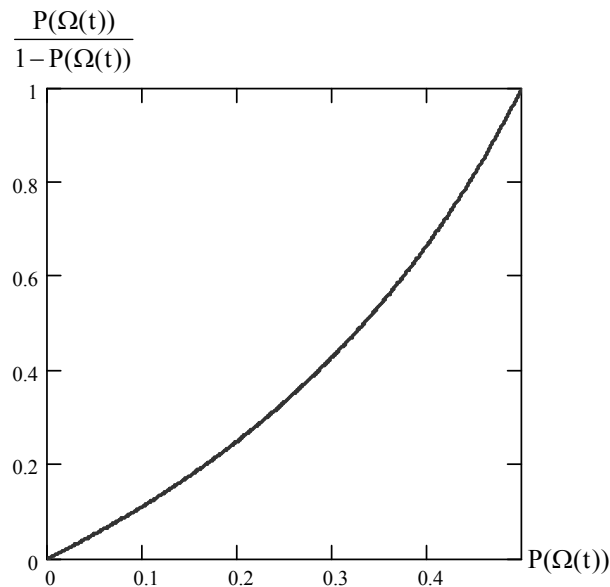


Рис. 3. Залежність ваги апіорних даних від величини $P(\Omega(t))$

Висновки

Таким чином, уточнено ваговий критерій при сумісному пошуку та виявленні об'єктів в поточній зоні огляду та проведено оптимізація двоальтернативних рішень за обраним критерієм. Проведено синтез вирішального правила при двоальтернативній перевірці гіпотез в поточній зоні і сумісній оптимізації пошуку та виявлення об'єктів за критерієм максимальної правдоподібності в інтересах сумісної оптимізації пошуку та виявлення об'єктів у групуванням РЛС.

У подальших дослідженнях необхідно провести синтез структури радіолокаційної системи сумісного пошуку і виявлення об'єктів.

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 // Космічна 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: Пер. с англ./ Под ред. Ю.В. Линника и А.М. Когаана. – 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. Висоцький О.В. Ваговий критерій сумісного пошуку і виявлення об'єктів в поточній зоні огляду радіолокаційної системи / О.В.Висоцький // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2015. – Вип. 9 (134). – С. 12-15.

Надійшла до редколегії 5.01.2016

Рецензент: д-р техн. наук проф. К.С. Васюта, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРАВИЛО ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ СОВМЕСТНОМ ПОИСКЕ И ОБНАРУЖЕНИИ ОБЪЕКТОВ ПО КРИТЕРИЮ МАКСИМАЛЬНОГО ПРАВДОПОДОБИЯ

О.В. Высоккий, Г.В. Худов

Проводится синтез оптимального правила принятия решения об обнаружении объекта при совместном поиске и обнаружении объектов группировкой радиолокационных станций по критерию максимального правдоподобия. Учтено влияние веса априорных данных на эффективность обнаружения объектов при двухальтернативной проверке гипотез в текущей зоне обзора радиолокационных систем.

Ключевые слова: синтез, совместный поиск и обнаружение, критерий максимального правдоподобия, радиолокационная система, решающее правило.

OPTIMAL RULE DECISION-MAKING OF JOINT SEARCH AND DETECTION OF OBJECTS ON THE CRITERION OF MAXIMUM VERISIMILITUDE

O.V. Vysotsky, G.V. Khudov

Carry out the synthesis of optimal decision rules of the object is detected in the joint search and object grouping radar maximum verisimilitude. Taken into account the effect of the weight of a priori data on the effectiveness of detection of objects with two alternative hypothesis testing in the area of the current review of radar.

Keywords: synthesis, joint search and detection, the criterion of maximum verisimilitude.