

УДК 621.396

О.В. Висоцький

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

**АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ СУМІСНОГО ПОШУКУ ТА ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ**

Проводиться аналіз відомих показників якості пошуку та виявлення об'єктів з використанням класичної теорії виявлення. З урахуванням нерівномірного розподілу об'єктів в зоні огляду РЛС отримано показники якості сумісного пошуку та виявлення об'єктів. Проведена оцінка виграшу отриманих показників якості у порівнянні з класичною теорією виявлення.

**Ключові слова:** показники якості, сумісний пошук та виявлення, радіолокаційна станція, умовна ймовірність виявлення.

**Вступ**

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Відомо [1 – 3], що енергетичний потенціал більшості радіолокаційних станцій (РЛС) при веденні радіолокаційної розвідки повітряного простору розподіляється рівномірно по всій зоні огляду. Це пов'язано з конструкцією антени та відсутністю апаратного і програмного управління розподілом енергії по зоні пошуку. Дана проблема вирішується при використанні фазованої антенної решітки. До РЛС з ФАР відносяться РЛС 64ЛБ-1 «Гамма-С1», 67Н6 «Гамма-Д», 59Н6 «Противник-Г» (Російська Федерація), AN/TPS77, AN/TPS117 (США), S-763 (Англія), YLC-2 (Китай).

**Мета статті** – проаналізувати показники якості виявлення при сумісному пошуку та виявленні об'єктів.

**Аналіз останніх досягнень та публікацій.** Відомо [3], що реалізація прийнятих коливань залежить в загальному випадку від вектора неінформативних параметрів сигналу  $\vec{\beta}$ , який об'єднує сукупність його початкових фаз, амплітудних множників, а іноді й деяких інших неінформативних параметрів, які не фіксуються при виявленні. Сигнал, що характеризується тільки однією випадковою початковою фазою і одним випадковим амплітудним множником, в основному ще зберігає свою структуру і є когерентним.

У загальному випадку стосовно до вирішення задачі виявлення когерентного корисного сигналу з випадковими неінформативними параметрами на фоні гаусових перешкод відношення правдоподібності має вигляд [3]:

$$l = \int_{\vec{\beta}} e^{\zeta(\vec{\beta}) - q^2(\vec{\beta})/2} p(\vec{\beta}) d\vec{\beta}, \quad (1)$$

де  $\zeta(\vec{\beta}) = \text{Re } Z$ ,  $Z$  – комплексний ваговий інтеграл;  $q^2(\vec{\beta})$  – параметр виявлення;  $\vec{\beta}$  – вектор неінформативних випадкових параметрів сигналу;  $p(\vec{\beta})$  – апіорний розподіл вектора.

В [3] розглянуті окремі випадки вирішення задачі виявлення. Встановлено, що для випадку вияв-

лення сигналу з випадковою початковою фазою вектор  $\vec{\beta}$  вироджується в єдиний скалярний параметр – початкову фазу  $\beta$ . Відношення правдоподібності приймає вигляд:

$$l = e^{-q^2/2} \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{|Z|\cos(\beta - \text{arg} Z)} d\beta. \quad (2)$$

Інтеграл у виразі (2) зводиться до табличного:

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{u \cos(\beta - \beta_0)} d\beta = I_0(u), \quad (3)$$

де  $I_0(u)$  – модифікована функція Бесселя нульового порядку.

Відношення правдоподібності (3) переписується у вигляді:

$$l = e^{-q^2/2} I_0(|Z|). \quad (4)$$

Розглянемо випадок виявлення сигналу з випадковими амплітудою і початковою фазою, коли широкий клас реальних розподілів амплітудного множника описується моделлю  $m$ -розподілу Накагами. Для цього випадку вираз відношення правдоподібності має вигляд [3]:

$$l = (-1)^{m-1} K_m \frac{d^{(m-1)}}{dv^{(m-1)}} \left[ \frac{1}{2v} \exp\left(\frac{\mu^2}{4v}\right) \right], \quad (5)$$

де  $K_m = \frac{2m^m}{\Gamma(m)}$  – нормуючий коефіцієнт;  $\Gamma(m)$  – гамма-функція;  $v = m + \frac{q^2}{2}$ ;  $\mu = |Z| = q|Z_n|$ ;  $Z_n$  – нормоване значення вагового інтегралу.

Пороговий рівень визначимо з виразу для умовної ймовірності хибної тривоги, враховуючи той факт, що за відсутності корисного сигналу значення вагового інтеграла розподілено за законом Релея [3]:

$$F = \int_{S_0}^{\infty} a e^{-\frac{a^2}{2}} da = e^{-\frac{S_0^2}{2}}, \quad (6)$$

де  $F$  – умовна ймовірність хибної тривоги.

Рівень порога визначимо з виразу (6):

$$S_0 = \sqrt{2 \ln \left( \frac{1}{F} \right)}. \quad (7)$$

Умовну ймовірність правильного виявлення знайдемо із співвідношення

$$D = \int_{S_0}^{\infty} p_{cn}(s) ds = \int_{S_0}^{\infty} l(s) p_n(s) ds. \quad (8)$$

Для сигналу з випадковими амплітудою і рівномірно розподіленою початковою фазою отримаємо вираз для умовної ймовірності правильного виявлення отримаємо відповідно до виразу [3]:

$$D = (-1)^{m-1} K_m \frac{d^{(m-1)}}{dv^{(m-1)}} \left[ \frac{e^{-S_0^2 \frac{2v-q^2}{4v}}}{2v-q^2} \right], \quad (9)$$

Для релеєвського розподілу  $m = 1$  отримаємо [3]:

$$D = F \frac{1}{1 + \frac{q^2}{2}}, \quad (10)$$

Для розподілу  $m = 2$  (Сверлінга) знайдемо [3]:

$$D = \left[ 1 + \frac{\frac{q^2}{4}}{(1 + \frac{q^2}{4})^2} \ln \frac{1}{F} \right] F^{\frac{1}{(1 + \frac{q^2}{4})^2}}. \quad (11)$$

При отриманні виразів (1) – (11) враховувався той факт, що апіорна ймовірність наявності та відсутності об'єкту дорівнює 0,5, що узгоджуються з результатами класичної теорії виявлення радіолокаційних об'єктів [1 – 3]. В роботах [4 – 6] показано, що класичне припущення про рівномірну апіорну ймовірність об'єкта в зоні огляду РЛС не відповідає дійсності. В деяких випадках є можливість отримання апіорної ймовірності щодо місця знаходження об'єктів. Такою інформацією не можна нехтувати. Проведемо розрахунок показників якості виявлення об'єкта при наявності апіорної інформації.

### Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

З урахуванням сказаного вище здійснимо корегування виразів (1) – (11). Для сигналу з випадковою амплітудою та рівномірно розподіленою початковою фазою стосовно до довільного  $m$ -розподілу амплітудного множника, вираз (9) для умовної ймовірності правильного виявлення має наступний вигляд:

$$P_1(\gamma_1 / H_1, x, t) = (-1)^{m-1} K_m \frac{d^{(m-1)}}{dv^{(m-1)}} \times \left[ \frac{e^{-S_0^2 \frac{2v-q^2(x,t)}{4v}}}{2v-q^2(x,t)} \right], \quad (12)$$

де  $P_1(\gamma_1 / H_1, x, t)$  – умовна ймовірність правильного виявлення об'єкта в околиці точки з координатою  $x$  на момент часу  $t$  при умові вірності гіпотези  $H_1$

щодо наявності об'єкта;  $v = m + \frac{q^2(x,t)}{2}$ ;  $S_0$  – пороговий рівень;  $q^2(x,t)$  – відношення сигнал/шум в околиці точки  $x$  зони огляду  $\Omega$ ;  $\Omega$  – зона огляду радіолокаційної системи [4 – 6].

Рівень порога визначимо з виразу (6) і врахуємо вагу апіорних даних [6]:

$$S_0 = \sqrt{2 \ln \left( \frac{1}{F} \right) \frac{1-P(\Omega(t))}{P(\Omega(t))}}. \quad (13)$$

де  $P(\Omega(t))$  – ймовірність знаходження об'єкту в поточній зоні огляду радіолокаційної системи  $\Omega(t)$  на момент часу  $t$  [4 – 6].

У виразі (13) враховано, що вплив ваги апіорних даних може бути замінено еквівалентним зменшенням порога виявлення.

Для сумісного пошуку об'єктів з великим числом випадково розташованих, незалежно відбиваючих і рівноцінних елементів (блискучих точок) (розподіл Накагамі амплітудного множника при  $m = 1$ ), вираз (10) для умовної ймовірності правильного виявлення отримаємо у вигляді:

$$P_1(\gamma_1 / H_1, x, t) = F^{\frac{1-P(\Omega(t))}{(1 + \frac{q^2(x,t)}{2})P(\Omega(t))}}. \quad (14)$$

Проведемо розрахунок умовної ймовірності правильного виявлення від величини сигнал/шум відповідно до виразу (14) при різних значеннях умовної ймовірності хибної тривоги.

На рис. 1 – 3 наведені криві виявлення, які розраховано за виразом (14), об'єктів з великим числом випадково розташованих, незалежно відбиваючих і рівноцінних елементів (блискучих точок) (розподіл Накагамі амплітудного множника при  $m = 1$ ) з урахуванням ваги апіорних даних  $P(\Omega(t))$  при різних значеннях  $F$ .

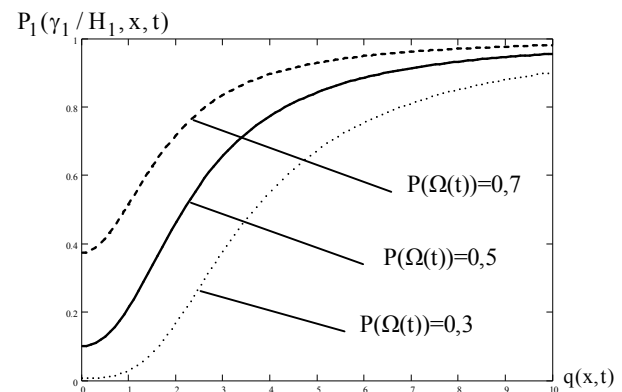


Рис. 1. Умовна ймовірність правильного виявлення при  $F = 10^{-1}$

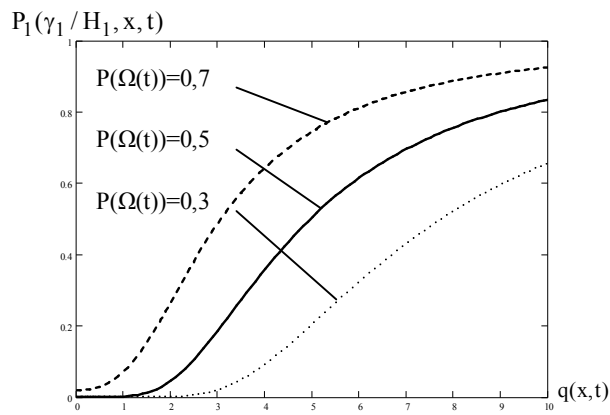


Рис. 2. Умовна ймовірність правильного виявлення при  $F = 10^{-4}$

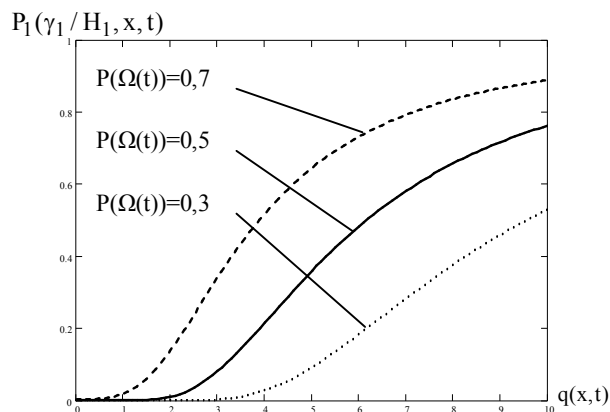


Рис. 3. Умовна ймовірність правильного виявлення при  $F = 10^{-6}$

## Висновки

З аналізу рис. 1 – 3 з'ясовуються наступні особливості ймовірнісних характеристик виявлення в системах сумісного пошуку та виявлення об'єктів, що відрізняються від класичної теорії. Перша особливість полягає в тому, що при значенні параметра виявлення  $q^2(x, t) = 0$  умовна ймовірність правиль-

ного виявлення не дорівнює умовної ймовірності хибної тривоги, що безпосередньо впливає з виразу (13). Друга особливість полягає в наступному. При значенні апіорної ймовірності  $P(\Omega(t)) \rightarrow 1$  при будь-якому кінцевому значенні умовної ймовірності хибної тривоги умовна ймовірність правильного виявлення  $P(\gamma_1 / H_1, x, t) \rightarrow 1$ , що також впливає з виразу (13).

При малих значеннях  $q(x, t) \leq 4$  та при значенні апіорної ймовірності  $P(\Omega(t)) > 0,5$  умовна ймовірність правильного виявлення зростає більш ніж у 2 рази у порівнянні з класичною теорією виявлення об'єктів.

У подальших дослідженнях необхідно провести оцінку можливості технічної реалізації адаптивного огляду зони виявлення РЛС.

## Список літератури

1. Современная радиолокация: пер. с англ. / под ред. Ю.Б. Кобзарева. – М.: Сов. радио, 1969. – 704 с.
2. Теоретические основы радиолокации / под ред. В.Е. Дулевича. – М.: Сов.радио, 1964. – 732 с.
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. 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.
5. 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.
6. 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 11.12.2015

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

## АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СОВМЕСТНОГО ПОИСКА И ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

О.В. Высокский

Проводится анализ известных показателей качества поиска и обнаружения объектов с использованием классической теории обнаружения. С учетом неравномерного распределения объектов в зоне обзора РЛС получены значения показателей качества при совместном поиске и обнаружении объектов. Проведена оценка выигрыша полученных показателей качества в сравнении с результатами классической теории обнаружения.

**Ключевые слова:** показатели качества, совместный поиск и выявление, радиолокационная станция, условная вероятность обнаружения.

## ANALYS OF QUALITY VALUES JOINT SEARCH AND DETECTION OF OBJECTS

O.V. Vysotsky

The analysis of known quality values of search and detection of objects using the classical theory. Given the not round distribution of objects in the zone of detection of radar values of quality are obtained joint search and detection of objects. The conducted estimation of winning of quality detection is in comparing to the classic theory of detection.

**Keywords:** quality indicators identification, distribution, joint search and detection, radar, the conditional probability of detection.