

УДК 623.626

Ю.В. Глебов, Р.В. Світлик

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## АЛГОРИТМ ОЦІНКИ ПЛОЩИННИХ КООРДИНАТ ПОСТАНОВНИКІВ АКТИВНИХ ЗАВАД В БАГАТОПОЗИЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ПЕЛЕНГАЦІЇ ПРИ НАЯВНОСТІ В ПРОСТОРІ ДЕКІЛЬКОХ РАДІОВИПРОМІНЮЮЧИХ ОБ'ЄКТІВ

Пропонується альтернативна структура алгоритму обробки пеленгової інформації, здатна функціонувати на пунктах обробки радіолокаційної інформації радіотехнічних військ. В основу алгоритму закладено факт групування істинних точок перетину пеленгів навколо істинної точки знаходження постановника активних завад (ПАЗ). Здійснено перевірку можливості використання ефекту групування точок перетину для визначення місцезнаходження ПАЗ. Визначено закон розподілу істинних точок перетину. Отримані результати підтверджують можливість використання альтернативних принципів побудови алгоритму визначення координат ПАП. Запропоновано структуру алгоритму відбору істинних точок перетину пеленгів та отримання оцінки площинних координат ПАЗ.

**Ключові слова:** алгоритм, закон розподілу, ефект групування, постановник активних завад, істинні точки перетину, хибні точки перетину, пеленгація.

### Вступ

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій.** В алгоритмах виявлення і супроводження постановників активних завад, що реалізовані на даний час в комплексах засобів автоматизації пунктів обробки радіолокаційної інформації, для визначення координат ПАЗ розв'язується триангуляційна задача. Суть цієї задачі зводиться до визначення точки перетину двох пеленгів на радіовипромінюючий об'єкт та оцінки належності точки перетину істинному місцезнаходженню об'єкта. Задача підтвердження істинності точки перетину виникає при наявності в зоні дії пеленгаторів декількох радіовипромінюючих об'єктів. Процес підтвердження полягає у перевірці наявності пеленга на цю точку від «третього» пеленгатора. Якщо точка не являється істинною, то проводиться перевірка можливості підтвердження істинності кожним із наявних пеленгаторів. Як показала оцінка відносних часових затрат складових частин алгоритму триангуляції, на підтвердження істинності точки перетину пеленгів припадає значна частина часу реалізації всього алгоритму виявлення і захоплення на супроводження ПАЗ [1]. В той же час являється очевидним, що можуть бути запропоновані й альтернативні алгоритми виявлення і супроводження ПАЗ, побудовані на інших принципах підтвердження істинності точки перетину пеленгів. Одним із можливих варіантів такого алгоритму являється алгоритм, побудований на ефекті групування істинних точок перетину пеленгів навколо точки, в якій знаходиться ПАЗ. Вивчення систем і принципів визначення координат ПАЗ показало, що в прямій постановці задачі визначення координат постановників активних завад ефект групування істинних точок

перетинів в просторі навколо точки знаходження ПАЗ не використовується [2, 3].

#### Мета статті:

- перевірка можливості використання ефекту групування істинних точок перетину пеленгів;
- оцінка законів розподілу істинних і хибних перетинів пеленгів;
- побудова на основі отриманих результатів структури альтернативного алгоритму отримання оцінок площинних координат ПАЗ.

### Основний матеріал

Відхилення істинних точок перетину пеленгів відносно місцезнаходження ПАЗ пов'язано з наявністю помилки пеленгації, що розподілена по нормальному закону з математичним сподіванням, рівним азимуту на постановник завади відносно точки стояння пеленгатора та середньоквадратичним відхиленням, що залежить від характеристик пеленгатора, відстані до ПАЗ від першого і другого пеленгаторів та кута перетину пеленгів. Вид цієї залежності можна отримати із наступних припущень.

Нехай маємо два джерела інформації, що видають азимутальні пеленги на ПАЗ. У зв'язку з тим, що на визначення оцінки площинних координат здійснює вплив тільки випадкова складова помилки визначення пеленга (існують методики компенсації систематичної помилки вимірювання), будемо вважати, що ПАЗ знаходиться всередині фігури, що утворилася при перетині секторів найбільш ймовірного перебування постановника завад за даними першого і другого джерел (рис. 1).

Враховуючи те, що помилка визначення пеленга мала, а відстань до ПАЗ значна, можна вважати, що фігура, отримана при перетині секторів, являється паралелограмом.

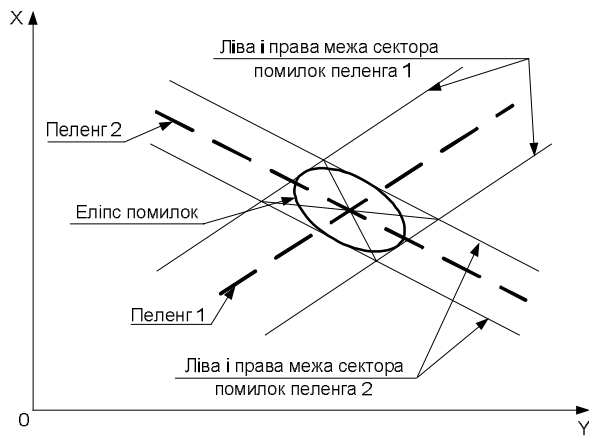


Рис. 1. Визначення параметрів сектора помилок

У цьому випадку помилки визначення місця розташування об'єкта визначаються розміром діагоналей паралелограма, що утворився. Позначимо їх  $u$  та  $v$ . Ці величини можна вважати незалежними і розподіленими по нормальному закону. Спільна щільність ймовірності цих величин має вид (1):

$$f(u, v) = \frac{1}{2\pi\delta_u\delta_v} e^{-1/2(u^2/\delta_u^2 + v^2/\delta_v^2)}, \quad (1)$$

де  $\delta_\beta$  – помилка визначення пеленга;  $\delta_u = \delta_\beta d_1$ ,  $\delta_v = \delta_\beta d_2$ ;  $d_1, d_2$  – відстань від першого та другого пеленгаторів до центра паралелограма.

Величина середньоквадратичної помилки визначення місця розташування постановника завади визначається виразом (2):

$$\delta_r = \frac{\delta_\beta}{|\sin(\theta)|} \sqrt{d_1^2 + d_2^2}, \quad (2)$$

де  $\theta$  – кут, під яким перетинаються пеленги.

Із наведених виразів видно, що еліпс помилок координат точки перетину пеленгів відносно точки знаходження ПАЗ, побудованих за даними від різних пеленгаторів, буде мати різні розміри та орієнтацію на площині, але центр цих еліпсів буде знаходитися в точці знаходження постановника завади (рис. 2).

Із рисунка видно, що об'єднання випадкових множин, розподілених по нормальному закону, має складну форму, але з достатньою точністю для рішення практичних задач можна стверджувати, що при однаковому математичному сподіванні випадкових величин в області їх перетину об'єднання множин буде мати закон, близький до нормального. При цьому математичним сподіванням об'єднаної випадкової величини буде точка знаходження ПАЗ.

Можна сказати, що істинні точки перетину групуються навколо точки знаходження ПАЗ.

Для перевірки правильності даної гіпотези була розроблена імітаційна модель вимірювання пеленгів на ПАЗ при наявності в угрупованні радіотехнічних військ декількох пеленгаторів (три і більше).

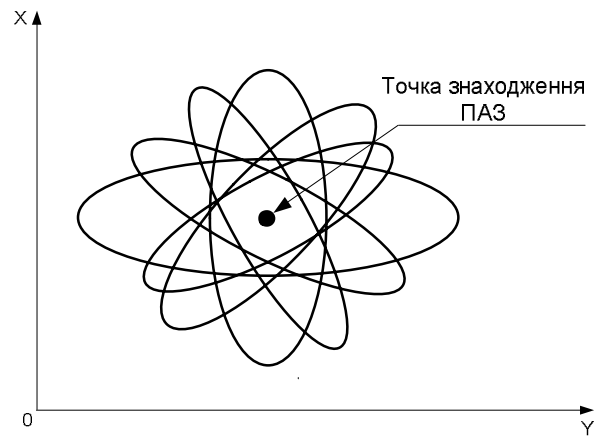


Рис. 2. Варіант області розподілу точок перетину пеленгів на ПАЗ (при наявності пеленгів від 4-х пеленгаторів)

Рішення задачі проводилося в прямокутній системі координат, при наступних умовах:

- кількість ПАЗ в зоні дії угруповання пеленгаторів – 5 (їх повинно бути більше одного, щоб були і хибні перетини);
- кількість пеленгаторів – 4;
- координати ПАЗ задавалися рівномірно розподіленими всередині бойового порядку угруповання пеленгаторів;
- пеленгатори однотипні, закон розподілу помилок пеленгації нормальний з математичним сподіванням, рівним азимуту ПАЗ відносно точки стояння пеленгатора.
- точки перетину, які утворилися пеленгами, що перетинаються під кутами, дуже далекими від 90 градусів, не розглядалися, оскільки не можуть відповідати умовам достатньої точності визначення координат ПАЗ.

В процесі проведення експерименту створювалося чотири масиви результатів моделювання:

- масиви координат  $X$  та  $Y$  істинних точок перетину;
- масиви координат  $X$  та  $Y$  хибних точок перетину.

Для кожного положення ПАЗ в межах угруповання пеленгаторів було виконано по 100 моделювань [4, 5] процесу вимірювання пеленгів на ПАЗ.

В процесі проведення експерименту визначалася середня кількість точок перетину ( $k$ ), що знаходиться в квадраті розміром  $1 \times 1$  км.

По результатам моделювання побудовано трьохмірну гістограму, яка представлена на рис. 3.

Наведений рисунок дозволяє зробити такі висновки:

1. Піки гістограми відповідають істинному місцезнаходженню постановників завад, що підтверджує правильність припущення про наявність ефекту групування істинних точок перетину пеленгів навколо місця розташування ПАЗ.

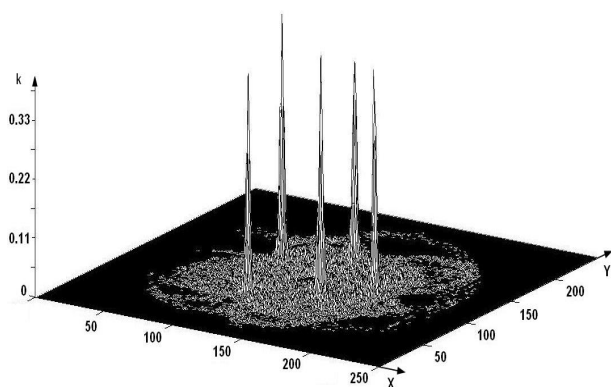


Рис. 3. Гістограма середньої кількості точок перетину в  $1 \text{ км}^2$

2. Хибні точки перетину пеленгів розподілені на площині практично рівномірно, та їх середня кількість на  $1 \text{ км}^2$  не перевищує 10% від середньої кількості істинних точок на  $1 \text{ км}^2$ .

Оцінка закону розподілу істинних точок перетину пеленгів проводилася при наступних умовах:

1. Кількість ПАЗ в межах угруповання – 1.
2. Кількість пеленгаторів – 4.
3. Закон розподілу помилок вимірювання пеленга – нормальний.
4. Пеленгатори в угрупованні однотипні.

Для отримання достовірного результату було проведено 100 реалізацій моделі. Область значень випадкових величин була розбита на 17 інтервалів однакової величини. При функціонуванні моделі фіксувалися  $X$  та  $Y$  координати точок перетину пеленгів, які записувалися у відповідні їм масиви, та визначалася відносна частота ( $f$ ) попадання точок перетину в елементарні інтервали. Гістограми результатів моделювання представлені на рис. 4, 5.

Візуальна оцінка гістограми випадкової величини дозволяє зробити висновок про те, що закон розподілу відхилення координати істинної точки перетину від координат ПАЗ є нормальним або  $\beta$ -розподілом. Перевірка по критерію  $\chi^2$  показала, що найбільш прийнятним для згладжування отриманої гістограми являється нормальний закон розподілу (на рівні значимості 0,95). При цьому математичне сподівання цієї випадкової величини дорівнює координаті точки знаходження ПАЗ, а середньоквадратичне відхилення залежить від характеристик пеленгатора і місцезнаходження ПАЗ відносно пеленгаторів.

Отриманий результат дозволяє запропонувати принципово новий алгоритм визначення області знаходження ПАЗ при будь-якій реально можливій кількості ПАЗ в зоні дії угруповання радіотехнічних військ.

Основними операціями даного алгоритму являються:

- приведення всіх пеленгів, що поступили на пункт обробки радіолокаційної інформації до єдиного часу і єдиної системи координат;

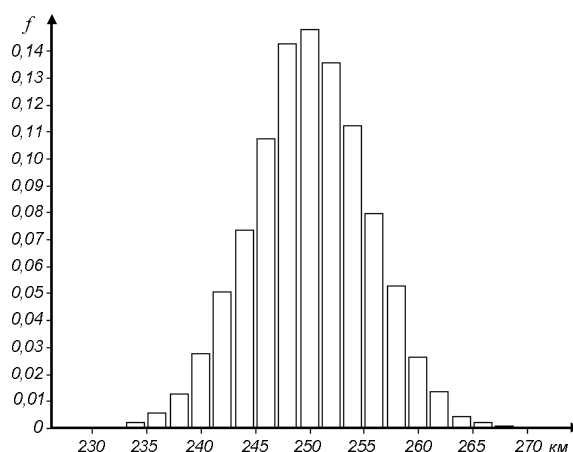


Рис. 4. Гістограма розподілу відносної частоти попадання координати  $X$  в елементарний інтервал

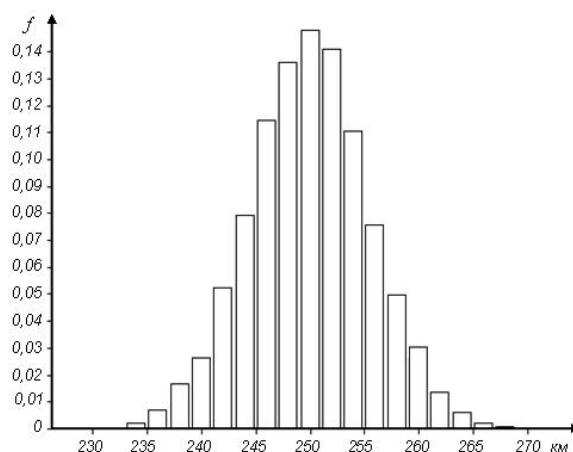


Рис. 5. Гістограма розподілу відносної частоти попадання координати  $Y$  в елементарний інтервал

- визначення точок перетину всіх допустимих комбінацій пеленгів, отриманих від власних засобів розвідки та зовнішніх джерел;

- виявлення компактно розташованих на площині точок перетину;

- оцінка площинних координат ймовірної точки знаходження ПАЗ по координатам точок перетину, що потрапили в межі перевірного строга;

- постановка задачі одному із висотомірів на визначення висоти об'єкта в ймовірному місці знаходження ПАЗ.

Розглянемо коротко змістовну частину наведених вище операцій.

Приведення пеленгів до єдиного часу полягає в отриманні екстрапольованих на єдиний момент часу значення пеленгів на постановники завад по результатам їх супроводження (швидкість та прискорення обертання пеленга, часу останнього згладжування координат пеленга). Прив'язка пеленгів до єдиної системи координат полягає в урахуванні кута збли-

ження меридіанів, на яких розташовані пеленгатори і пункт обробки інформації. Дані операції виконуються і в традиційному алгоритмі.

Розрахунок координат точок перетину пеленгів виконується згідно відомої методики [2]. При виборі пари пеленгів для розрахунку вважається неприпустимою пара пеленгів, що поступили від одного пеленгатора.

Для визначення компактно розташованих точок перетину може бути застосований метод “ковзаючого вікна”, суть якого полягає в регулярному перегляді всієї області відповідальності угруповання РТВ в проекції на горизонтальну площину і підрахунок кількості точок перетину, що потрапили в межі даного вікна. Якщо ця кількість перевищує деякий пороговий рівень, то приймається рішення про виявлення компактної групи та оцінюються координати точки знаходження ПАЗ. Суттєвим недоліком даного методу являється те, що при його реалізації буде здійснюватися перегляд великих «порожніх» площ. У зв'язку з цим, пропонується метод спрямованого перегляду області відповідальності.

Суть цього методу полягає у використанні сформованого масиву точок перетину. Здійснюється послідовний перегляд даного масиву. Вибирається наступна точка перетину пеленгів та перевіряється, чи немає поблизу неї ще точок перетину. Якщо кількість точок перетину, що потрапили в строб, побудований відносно вибраної точки, перевищує встановлений поріг, то приймається рішення про виявлення ПАЗ. Всі точки перетину, що потрапили в строб, із подальшого розгляду виключаються. Застосування даного підходу дозволяє суттєво скоротити часові затрати, необхідні для реалізації пошуку компактно розташованих груп точок перетину пеленгів.

Найпростішим варіантом отримання оцінки площинних координат ПАЗ являється визначення середнього арифметичного значення координат точок перетину, що потрапили в строб. Даний спосіб доцільно застосовувати в тому випадку, якщо результати вимірювання являються рівноточними (результат вимірювань вважається рівноточним, якщо вони проводилися одним і тим же інструментом і в однакових умовах). В нашому ж випадку координати точок перетину отримані за допомогою пеленгів, що надійшли від різних пеленгаторів і належать різним генеральним сукупностям. Якщо ж вимірювання нерівноточні, то здійснюється усереднення результату вимірювання з ваговими коефіцієнтами, що враховують точність вимірювання [5]. Дана методика знаходить застосування в тому випадку, коли кожним із інструментів виконано не менше двох вимірювань. Якщо вимірювання одноразові (при обробці пеленгової інформації має місце саме цей випадок), то її застосування неефективно.

В існуючих автоматизованих системах управління радіотехнічних військ в подібних випадках використовується метод призначення пріоритетного джерела. Пріоритетним називається найкраще в деякому розумінні джерело. Принцип вибору пріоритетного джерела може бути застосований і при отриманні оцінки координат постановника активних завад за вибіркою випадкових величин, що потрапили в межі строба. Кращою будемо вважати точку, отриману при перетині пари пеленгів, які отримані від пеленгаторів, що забезпечують мінімальне середньоквадратичне відхилення точки від ПАЗ. Визначення цієї точки можна виконати, використовуючи відношення 2.

## Висновки

1. Ефект групування істинних точок перетинів пеленгів навколо точки знаходження ПАЗ існує. Даний факт може бути використаний при побудові алгоритму виявлення ПАЗ.

2. Хибні точки перетину пеленгів розкидані в просторі в хаотичному порядку та можуть вважатися шумом, на фоні якого необхідно виявити скупчення істинних точок перетину пеленгів.

3. У даній постановці завдання виявлення і супроводження ПАЗ зводиться до типової задачі виявлення і супроводження повітряних об'єктів на фоні шумів.

4. Запропонована структура алгоритму визначення оцінки координат постановника завад по пеленгам, що поступили від рознесених в просторі пеленгаторів.

5. Приведена методика рішення основних окремих задач запропонованого алгоритму.

## Список літератури

1. Глебов Ю.В. Оцінка часових параметрів складових програми взяття на супроводження постановника активних завад методом триангуляції / Ю.В. Глебов, Р.В. Світлик // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х. : ХУПС, 2011. – Вип. 1(27). – С. 68-71.
2. Автоматизовані системи управління радіотехнічних військ: навч. посібник / [А.П. Багаєв, В.В. Ковкин, В.І. Боровий та ін.]. – Х.: ХУПС, 2009. – 168 с.
3. Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации и радионавигации / Я.Д. Ширман. – М.: Сов. радио, 1970. – 560 с.
4. Смирнов Н.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений / Н.В. Смирнов, И.В. Дунин-Барковский. – М.: Наука, 1969. – 512 с.
5. Маркин Н.С. Основы теории обработки результатов измерений / Н.С. Маркин. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 173 с.

Надійшла до редколегії 11.11.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.О. Кузнецов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

**АГОРИТМ ОЦЕНКИ ПЛОСКОСТНЫХ КООРДИНАТ ПОСТАНОВЩИКОВ АКТИВНЫХ ПОМЕХ  
В МНОГОПОЗИЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ПЕЛЕНГАЦИИ ПРИ НАЛИЧИИ В ПРОСТРАНСТВЕ  
НЕСКОЛЬКИХ РАДИОИЗЛУЧАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ**

Ю.В. Глебов, Р.В. Свитлык

*Предлагается альтернативная структура алгоритма обработки пеленговой информации, способная функционировать на пунктах обработки радиолокационной информации радиотехнических войск. В основу алгоритма заложен факт группировки истинных точек пересечения пеленгов вокруг истинной точки нахождения постановщика активных помех (ПАП). Осуществлена проверка возможности использования эффекта группировки точек пересечения для определения местонахождения ПАП. Определен закон распределения истинных точек пересечения. Полученные результаты подтверждают возможность использования альтернативных принципов построения алгоритма определения координат ПАП. Предложена структура алгоритма отбора истинных точек пересечения пеленгов и получения оценки плоскостных координат ПАП.*

**Ключевые слова:** алгоритм, закон распределения, эффект группирования, постановщик активных помех, истинные точки пересечения, ложные точки пересечения, пеленгация.

**ALGORITHM OF THE EVALUATION OF PLANE ACTIVE JAMMING SOURCES COORDINATES  
IN A MULTIPositional BEARING SYSTEM FOR MULTIPLE RADIO OBJECTS**

Y.V. Glebov, R.V. Svitlyk

*An alternative structure of the algorithm of processing of bearing information that can function at points of radar information of radio-technical troops is proposed. The algorithm is based on the fact of points grouping around real position of active jamming source (AJS). Testing of possibility for usage an effect of bearing intersection points grouping for AJS location detection. Real intersection points law was determined. Acquired results confirm possibility for usage of alternative algorithm creation principles for AJS coordinates detection. A structure of the algorithm of selection bearing real intersection points and receiving an evaluation of plane AJS coordinates is proposed.*

**Keywords:** algorithm, distribution law, effect of grouping, active jamming source, real intersection points, false intersection points, direction finding.