

О. В. Онищук, к. т. н.; І. В. Гурман

РОЗВИТОК ПРИНЦИПУ ВІДБРАКОВУВАННЯ ХИБНИХ КООРДИНАТ ОБ'ЄКТА ДЛЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ЛОКАЦІЇ

У роботі дістав подальшого розвитку принцип перевірки достовірності методу визначення координат об'єкта, який ґрунтується на закономірності між положенням об'єкта відносно датчиків і знаками та абсолютними значеннями різниць дальностей.

Ключові слова: принцип визначення координат, відбраковування хибних координат.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Під час розв'язання задачі визначення координат об'єкта за допомогою різницево-дальномірною методу вимірювань, який лежить в основі методів точного визначення координат об'єкта, крім істинних координат, отримують й інші розв'язки. Проте в літературі з радіотехнічних, радіонавігаційних систем питанню вибору з декількох розв'язків одного, який відповідає реальному розташуванню об'єкта, належної уваги не приділяється [1 – 3]. Більшість авторів вказують на необхідність залучення додаткової інформації (ап'іорної або від інших систем про можливе розташування об'єкта, допускаючи при цьому низьку точність). Розв'язок аналогічного проблемного завдання в сейсмолокаційних системах щодо визначення координат об'єкта трьома приймачами зводиться до розгляду восьми рівноймовірних сполучень знаків затримок сигналу [4; 5]. При цьому стверджується, що навіть відсутність систематичної похибки вимірювань не є ознакою точного визначення координат, а ймовірність визначення координат не залежить від дисперсії похибок вимірювань і виду ймовірності їхнього розподілу, а також топології пеленгаторів.

Постановка проблеми. З урахуванням зазначеного, а також результатів проведеного аналізу робіт у галузі розвитку радіотехнічних, сейсмолокаційних систем контролю можна стверджувати, що завдання щодо відбракування хибних координат, зменшення неоднозначності розв'язку координатометричної задачі не втратило **актуальності**.

Тому, **метою роботи** є дослідження причин виникнення хибних координат при здійсненні координатометрії трьома ненаправленими приймачами, а також подальший розвиток принципу перевірки достовірності методу визначення координат об'єкта.

Основний зміст роботи. Задачу визначення координат об'єкта на площині за набором вимірних значень різниць дальностей щодо декількох пар сигналізаційних приймачів, які розміщені у фіксованих точках, може бути зведено до математичного формулювання. Нехай є набір фіксованих точок, заданих своїми координатами відповідно в деякій системі координат. Щодо точки, координати якої необхідно визначити, відомі різниці відстаней від неї до точок розміщення приймачів. Описаний загальний алгоритм визначення координат припускає знаходження коренів системи нелінійних рівнянь, які пов'язують початкові дані з координатами об'єкта локації. Розв'язання системи нелінійних рівнянь є складною математичною задачею, що не має загального розв'язку. Залежно від методу отримання аналітичного розв'язку може виникати декілька розв'язків, щонайменше – два. Причиною виникнення хибних коренів є некоректність складання математичної моделі відповідно до завдання щодо визначення координат об'єкта. Пояснення причин зазначеного подано в роботах Сайбеля О. Г. [6 – 8]. Рівняння, яке зв'язує значення різниці дальності з координатами об'єкта й датчиків-приймачів, має вигляд

$$\Delta r_{AB} = \sqrt{(a+x)^2 + y^2} - \sqrt{(a-x)^2 + y^2}. \quad (1)$$

Після піднесення до квадрата правої та лівої частин рівняння отримують

$$\Delta r_{AB}^2 = 2 \left(a^2 + x^2 + y^2 - \sqrt{(a+x)^2 + y^2} \sqrt{(a-x)^2 + y^2} \right),$$

звідки

$$\left((a+x)^2 + y^2 \right) \left((a-x)^2 + y^2 \right) = \left(a^2 + x^2 + y^2 - \Delta r_{AB}^2 / 2 \right)^2.$$

Після спрощення отримують

$$\frac{4x^2}{\Delta r_{AB}^2} - \frac{4y^2}{4a^2 - \Delta r_{AB}^2} = 1, \quad (2)$$

тобто, рівняння (1) має вигляд канонічного рівняння гіперболи

$$\frac{x^2}{a_1^2} - \frac{y^2}{b_1^2} = 1, \quad (3)$$

$$\text{де } a_1 = \Delta r_{AB} / 2; \quad b_1 = \sqrt{4a^2 - \Delta r_{AB}^2} / 2.$$

Із наведених аналітичних перетворень випливає, що точка розміщення об'єкта локації D належить лінії, що описується рівнянням (3). Проте слід враховувати, що при піднесенні до квадрата рівняння (1) відбулася втрата знака значення різниці дальностей Δr_{AB} . Реально точка D може належати тільки одній гілці гіперболи відповідно до системи умов

$$\begin{cases} \frac{4x^2}{\Delta r_{AB}^2} - \frac{4y^2}{4a^2 - \Delta r_{AB}^2} = 1; \\ \Delta r_{AB} \cdot x > 0. \end{cases} \quad (4)$$

У зв'язку з цим розглянемо підхід щодо відбору хибних коренів під час розв'язання системи рівнянь гіпербол, заснований на аналізі співвідношення розташування об'єкта, датчиків і значень різниць дальностей, які їх зв'язують.

Нехай задано два датчики, розташовані в точках A й B і визначено, що різниця дальностей Δr_{AB} від об'єкта до датчиків становить [6 – 8]

$$\Delta r_{AB} = r_A - r_B,$$

де r_A, r_B – відстані від точок A й B до об'єкта.

Тоді, якщо розділити площину на два сектори лінією, перпендикулярною відрізка AB , яка проходить через його середину (рис. 1 а), отримуємо такі умови:

при розташуванні об'єкта в секторі 1 виконується умова $\Delta r_{AB} < 0$;

при розташуванні об'єкта в секторі 2 виконується умова $\Delta r_{AB} > 0$.

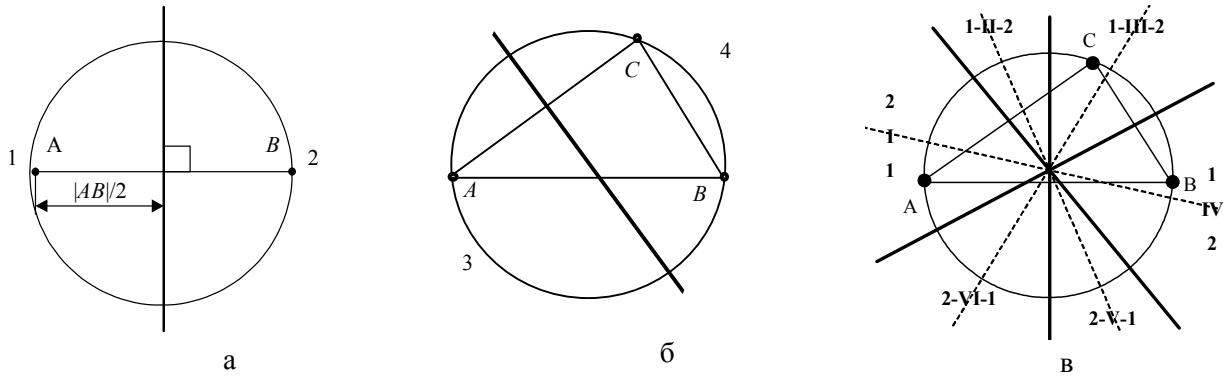


Рис. 1. Сектори розташування об'єкта

Якщо задано три датчики в точках A, B і C й визначено різниці дальностей $\Delta r_{AB}, \Delta r_{AC}, \Delta r_{BC}$, тоді зробимо аналогічні висновки для кожної пари датчика. Наприклад, для пари датчиків $\{A, C\}$ отримаємо такі умови (рис. 1 б):

при розташуванні об'єкта в секторі 3 виконується умова $\Delta r_{AC} < 0$;

при розташуванні об'єкта в секторі 4 виконується умова $\Delta r_{AC} > 0$.

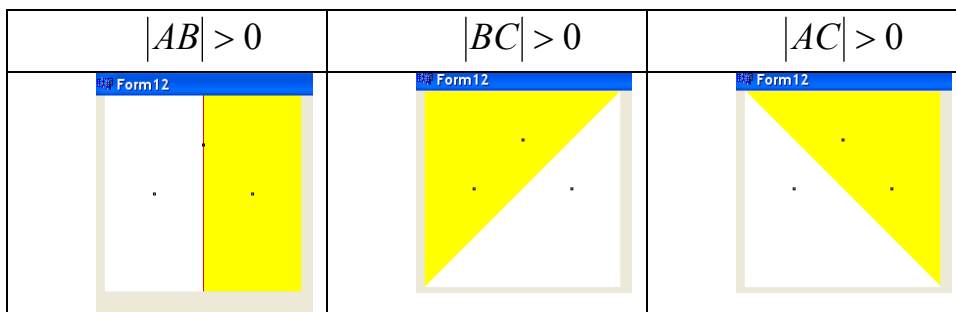
Оскільки відомо, що в кожному трикутнику три перпендикуляри до його сторін, які проходять через середини цих сторін, перетинаються в центрі описаного кола, отже, три лінії, перпендикулярні сторонам трикутника ΔABC , проходять через їхні середини, розбивають площу на шість секторів (рис. 1 в). Для кожного із секторів складають систему нерівностей, що зв'язують положення об'єкта відносно датчиків із значеннями різниць дальностей, отримують відомі закономірності (табл. 1, рядок 1).

Таблиця 1

Закономірності визначення координат об'єкта при використанні тріади датчиків

Сектор розташування об'єкта		I (1, 2)	II (1, 2)	III (1, 2)	IV (1, 2)	V (1, 2)	VI (1, 2)
Умова розташування об'єкта в секторі	за знаками різниць дальностей	$\begin{cases} \Delta r_{AB} < 0; \\ \Delta r_{AC} < 0; \\ \Delta r_{BC} > 0. \end{cases}$	$\begin{cases} \Delta r_{AB} < 0; \\ \Delta r_{AC} > 0; \\ \Delta r_{BC} > 0. \end{cases}$	$\begin{cases} \Delta r_{AB} > 0; \\ \Delta r_{AC} > 0; \\ \Delta r_{BC} > 0. \end{cases}$	$\begin{cases} \Delta r_{AB} > 0; \\ \Delta r_{AC} > 0; \\ \Delta r_{BC} < 0. \end{cases}$	$\begin{cases} \Delta r_{AB} > 0; \\ \Delta r_{AC} < 0; \\ \Delta r_{BC} < 0. \end{cases}$	$\begin{cases} \Delta r_{AB} < 0; \\ \Delta r_{AC} < 0; \\ \Delta r_{BC} < 0. \end{cases}$
	за значеннями різниць дальностей	1 $ \Delta r_{AC} > \Delta r_{BC} $ 2 $ \Delta r_{AC} < \Delta r_{BC} $	$ \Delta r_{AC} < \Delta r_{AB} $	$ \Delta r_{BC} > \Delta r_{AB} $	$ \Delta r_{AC} > \Delta r_{BC} $	$ \Delta r_{AC} < \Delta r_{AB} $	$ \Delta r_{BC} > \Delta r_{AB} $

Новизною принципу є виявлена закономірність між розташування об'єкта в секторі і значеннями різниць дальностей до місць розташування датчиків. Тобто, додатково розглядають абсолютні значення різниць дальностей, рис. 2.



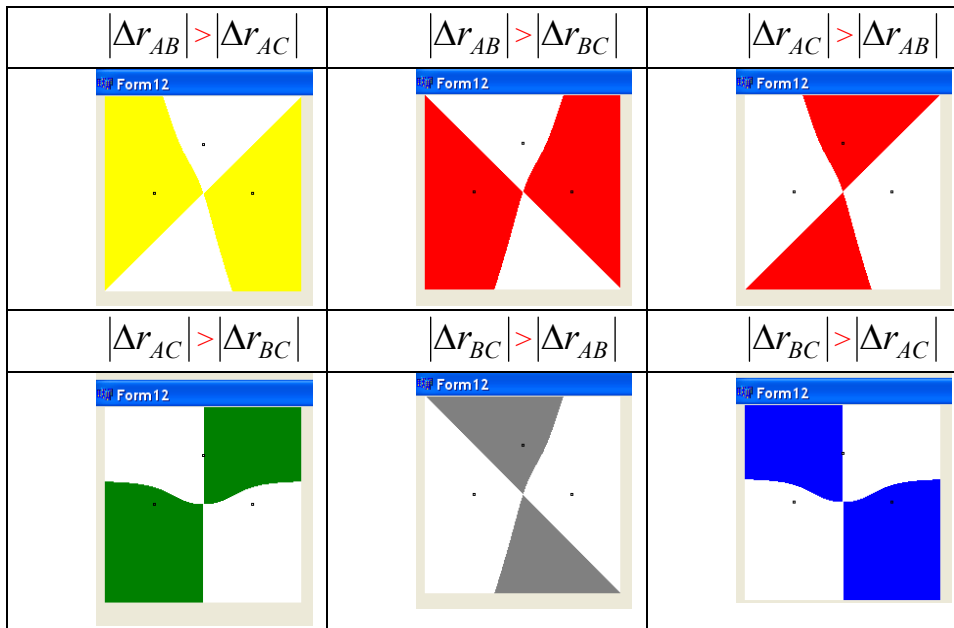


Рис. 2. Сектори розташування об'єкта з урахуванням абсолютних значень різниць дальностей, які вимірюють тріадою датчиків

Згідно з даними рис. 2, встановлено властивість нелінійності лінії розподілу секторів, особливо у ближній зоні. Це пояснюється тим, що лінія розподілу є гіперболою. Зазначене необхідно враховувати в методиці застосування принципу для відбракування хибних координат об'єкта. Установлена закономірність (рядки 2, 3 табл. 1) доповнює відому закономірність на основі знаків різниць дальностей.

Відповідно до даних табл. 1, кількість секторів розташування об'єкта подвоюється порівняно з урахуванням тільки знаків різниць дальностей, рис. 3.

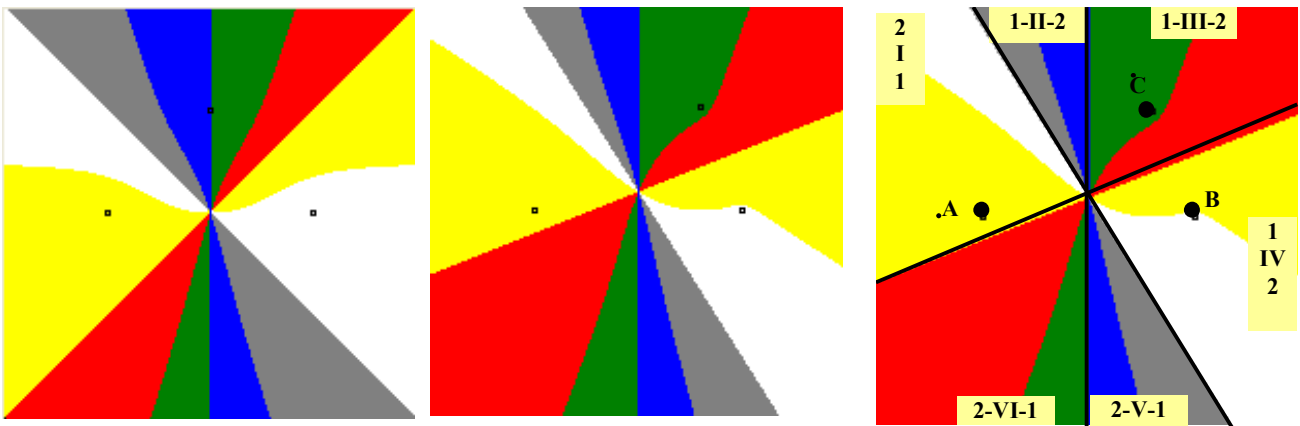


Рис. 3. Закономірності визначення координат об'єкта з урахуванням абсолютних значень різниць дальностей

Це дозволяє зменшити вдвічі ймовірність отримання хибної координати розташування об'єкта. Отримані залежності між розташуванням об'єкта і знаками та значеннями різниць дальностей Δr можуть бути використані під час перевірки достовірності методу визначення координат об'єкта.

Порядок застосування розвинутого принципу такий:

1. Визначають, з прив'язкою до місцевості сектора I – VI, в яких розташований об'єкт за знаками різниць дальностей відповідно до систем нерівностей (рядок 1, табл. 1).
2. Проводять поділ визначених секторів сектора I – VI на два підсектори 1, 2 за абсолютними значеннями різниць дальностей відповідно до нерівностей (рядки 2, 3, табл. 1).
3. Визначають сектор, якому відповідають координати об'єкта.
4. За знаками й абсолютними значеннями різниць дальностей для цих координат також визначають сектор розташування.
5. За умови збігу секторів, визначених у п. 3 і 4, отримують істинні координати об'єкта локації.

Висновок. Отже, розвинуто принцип перевірки достовірності методу визначення координат об'єкта (принцип відбраковування хибних координат), який ґрунтується на закономірності між положенням об'єкта відносно датчиків і знаками та абсолютними значеннями різниць дальностей, що дозволило вдвічі зменшити ймовірність отримання хибної координати розташування об'єкта.

Подальшим напрямком дослідження є розробка методу визначення координат об'єкта.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Каразинов Ю. М. Радиотехнические системы / Ю. М. Каразинов. – М.: Высш. шк., 1990. – 496 с.
2. Сосулин Ю. Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации / Ю. Г. Сосулин. – М.: Радио и связь, 1992. – 304 с.
3. Беляевский Л. С. Обработка и отображение радионавигационной информации / Л. С. Беляевский, В. С. Новиков, П. В. Оленюк. – М.: Радио и связь, 1990. – 232 с.
4. Дудкин В. А. Системы и средства управления физической защитой объектов : Монография / [Дудкин В. А., Джазовский Н. Б., Оленин Ю. А. и др.] ; под ред. Ю. А. Оленина. – Пенза : ПГУ, 2003. – [Кн. 2]. – 256 с.
5. Дудкин В. А. Вариант построения пассивных сейсмических локаторов, основанных на измерении временных задержек / В. А. Дудкин // Современные технологии безопасности. – 2005. – № 4. – С. 24 – 29.
6. Пат. 2309420 С1 Российская Федерация, МПК⁶ G 01 S 3/46. Разностно-дальномерный способ определения координат источника радиоизлучения и реализующее его устройство / Сайбель А. Г., Гришин П. С.; заявитель и патентообладатель Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского. – № 2006103054/09 ; заявл. 02.02.06; опубл. 27.10.07.
7. Сайбель А. Г. Разностно-дальномерный метод радиопеленгования / А. Г. Сайбель // Радиотехника / под ред. Ю. В. Гуляева. – М.: «Радиотехника», 2003. – № 4. – С. 39 – 41.
8. Сайбель, А. Г. О снижении систематической погрешности пеленгования / А. Г. Сайбель, Б. А. Ушаков // Радиоконтроль / под ред. Г. С. Емельянов. – М.: «Связь», 2005. – № 8. – С. 25 – 35.

Онищук Олег Володимирович – к. т. н., доцент кафедри телекомунікаційних систем і телебачення.

Вінницький національний технічний університет.

Гурман Іван Васильович – завідувач лабораторії кафедри комп'ютерних систем та мереж.

Хмельницький національний університет.