

О. В. Онищук, к. т. н.; И. В. Гурман

РАЗВИТИЕ ПРИНЦИПА ОТБРАКОВКИ ЛОЖНЫХ КООРДИНАТ ОБЪЕКТА ДЛЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЛОКАЦИИ

В работе получил дальнейшее развитие принцип проверки достоверности метода определения координат объекта, который основывается на закономерности между положением объекта относительно датчиков и знаками и абсолютными значениями разницы дальностей.

Ключевые слова: принцип определения координат, отбраковка ложных координат.

Анализ последних исследований и публикаций. При решении задачи определения координат объекта с помощью обработки результатов разностно-дальномерным методом измерений, который лежит в основе методов точного определения координат объекта, кроме истинных координат, получают и другие решения. Однако в литературе по радиотехническим, радионавигационным системам вопросу выбора из нескольких решений одного, соответствующего реальному местоположению объекта, надлежащее внимание не уделяется [1 – 3]. Большинство авторов указывают на необходимость привлечения дополнительной информации (априорной или от других систем о возможном местоположении объекта, допуская при этом низкую точность). Решение аналогичного проблемного задания в сейсмолокационных системах относительно определения координат объекта тремя приемниками сводится к рассмотрению восьми равновероятностных соединений знаков задержек сигнала [4; 5]. При этом утверждается, что даже отсутствие систематической погрешности измерений не является признаком точного определения координат, а вероятность определения координат не зависит от дисперсии погрешностей и вида вероятности их распределения, а также топологии пеленгаторов.

Постановка проблемы. С учетом отмеченного, а также результатов проведенного анализа работ в отрасли развития радиотехнических, сейсмолокационных систем контроля можно утверждать, что задача по отбраковке ложных координат, а также уменьшению неоднозначности решения координатометрической задачи не утратила **актуальности**.

Поэтому **целью работы** является исследование причин возникновения ложных координат при осуществлении координатометрии тремя ненаправленными приемниками, а также последующее развитие принципа проверки достоверности метода определения координат объекта.

Основное содержание работы. Задача определения координат объекта на плоскости по набору измеренных значений разницы дальностей относительно нескольких пар сигнализационных приемников, размещённых в фиксированных точках, может быть приведена к математической формулировке. Пусть есть набор фиксированных точек, заданных своими координатами в соответствующей системе координат. Относительно точки, координаты которой необходимо определить, известны разницы расстояний от нее к точкам размещения приемников. Описанный общий алгоритм определения координат допускает нахождение корней системы нелинейных уравнений, которые связывают начальные данные с координатами объекта локации. Решение системы нелинейных уравнений является сложной математической задачей, которая не имеет общего решения. В зависимости от метода получения аналитического решения могут возникать несколько решений, по меньшей мере – два. Причиной возникновения ошибочных корней является некорректность составления математической модели в соответствии с задачей определения координат объекта. Объяснение причин представлено в работах Сайбеля О. Г. [6 – 8]. Уравнение, которое связывает значение разницы дальности с координатами объекта и

датчиков-приемников имеет вид

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

После возведения в квадрат правой и левой частей уравнения получают

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

откуда

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

После упрощения получают

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

то есть, уравнение (1) имеет вид канонического уравнения гиперболы

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

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

Из приведенных аналитических преобразований vyplывает, что точка размещения объекта локации D находится на линии, которая описывается уравнением (3). Однако следует учитывать, что при вознесении в квадрат уравнения (1) состоялась потеря знака значения разницы дальностей Δr_{AB} . Реально точка D может принадлежать только одной ветви гиперболы в соответствии с системой условий

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

В связи с этим рассмотрим подход относительно отбора ложных корней при решении системы уравнений гипербол, основанный на анализе соотношения расположения объекта, датчиков и значений разницы дальностей, которые их связывают.

Пусть заданы два датчика, которые размещаются в точках A и B , а также определено, что разница дальностей Δr_{AB} от объекта к датчикам составляет [6 – 8]

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

где r_A , r_B – расстояние от точек A и B к объекту.

Тогда, если разделить площадь на два сектора линией, перпендикулярной отрезку AB , который проходит через его середину (рис. 1 а), получим следующие условия:

при размещении объекта в секторе 1 выполняется условие $\Delta r_{AB} < 0$;

при размещении объекта в секторе 2 выполняется условие $\Delta r_{AB} > 0$.

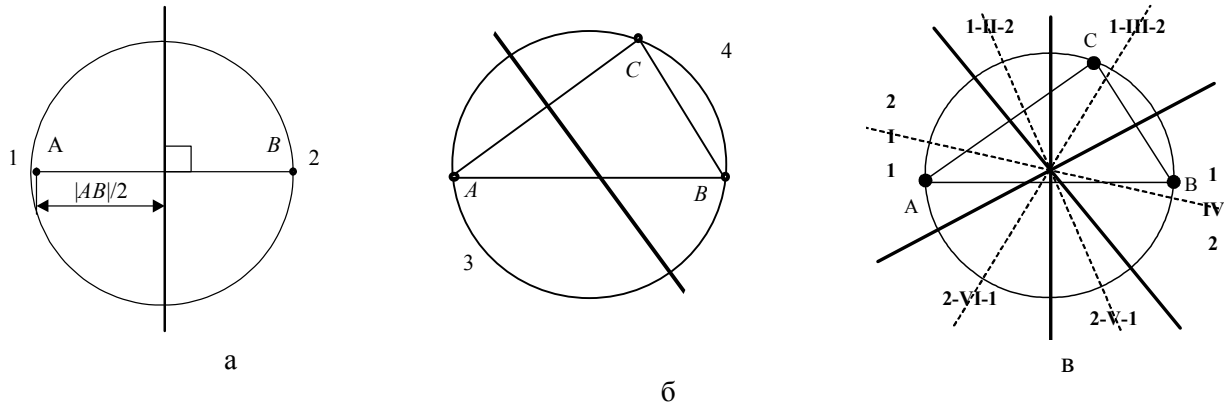


Рис. 1. Сектора расположения объекта

Если задано три датчика в точках A , B и C , а также определены разницы дальностей Δr_{AB} , Δr_{AC} , Δr_{BC} , тогда сделаем аналогичные выводы для каждой пары датчиков. Например, для пары датчиков $\{A, C\}$ получим такие условия (рис. 1 б):

при размещении объекта в секторе 3 выполняется условие $\Delta r_{AC} < 0$;

при размещении объекта в секторе 4 выполняется условие $\Delta r_{AC} > 0$.

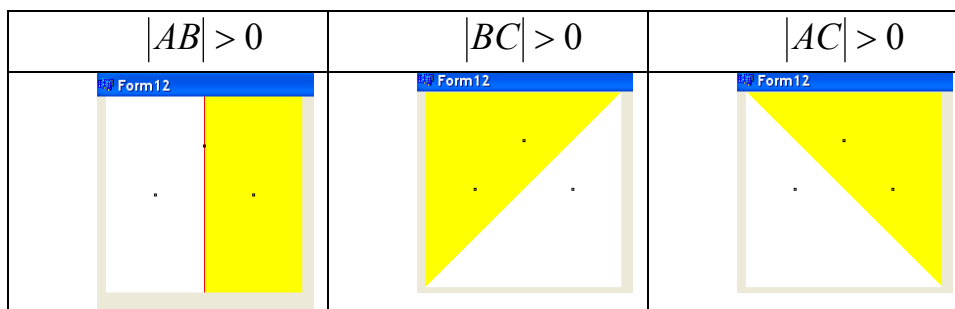
Поскольку известно, что в каждом треугольнике три перпендикуляра к его сторонам, проходящие через середины этих сторон, пересекаются в центре описанного круга, следовательно, три линии, перпендикулярные сторонам треугольника ΔABC , проходят через их середины и разбивают площадь на шесть секторов (рис. 1 в). Для каждого из секторов составляют систему неравенств, что связывают положение объекта относительно датчиков со значениями разницы дальностей, получают известные закономерности (табл. 1, строка 1).

Таблица 1

Закономерности определения координат объекта при использовании триады датчиков

Сектора расположения объекта		I (1, 2)	II (1, 2)	III (1, 2)	IV (1, 2)	V (1, 2)	VI (1, 2)
Условие расположен ия объекта в секторе	по знакам разницы дальностей	$\begin{cases} \Delta r_{AB} < 0; \\ \Delta r_{AC} < 0; \\ \Delta r_{BC} > 0. \end{cases}$	$\begin{cases} \Delta r_{AB} < 0; \\ \Delta r_{AC} > 0; \\ \Delta r_{BC} > 0. \end{cases}$	$\begin{cases} \Delta r_{AB} > 0; \\ \Delta r_{AC} > 0; \\ \Delta r_{BC} > 0. \end{cases}$	$\begin{cases} \Delta r_{AB} > 0; \\ \Delta r_{AC} > 0; \\ \Delta r_{BC} < 0. \end{cases}$	$\begin{cases} \Delta r_{AB} > 0; \\ \Delta r_{AC} < 0; \\ \Delta r_{BC} < 0. \end{cases}$	$\begin{cases} \Delta r_{AB} < 0; \\ \Delta r_{AC} < 0; \\ \Delta r_{BC} < 0. \end{cases}$
	по значениям разницы дальностей	1	2	3	4	5	6
		$ \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} $
		$ \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} $

Новизной принципа является обнаруженная закономерность между размещением объекта в секторе и значениями разницы дальностей к местам размещения датчиков. То есть, дополнительно рассматривают абсолютные значения разницы дальностей, рис. 2.



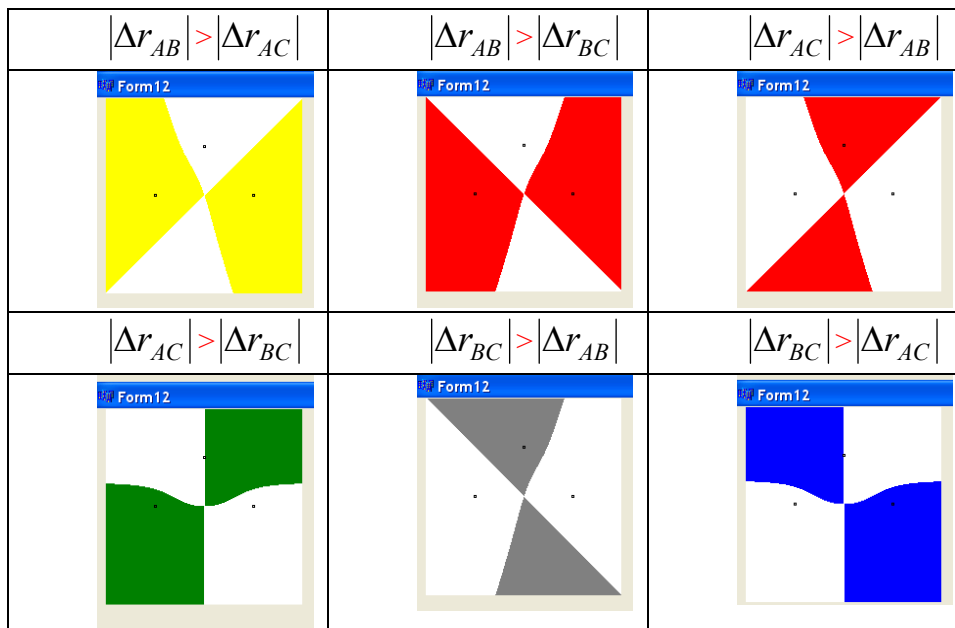


Рис. 2. Сектора размещения объекта с учетом абсолютных значений разницы дальностей, которые измеряются триадой датчиков

Согласно данным рис. 2 установлено свойство нелинейности линии распределения секторов, особенно в ближней зоне. Это объясняется тем, что линия распределения является гиперболой. Отмеченное необходимо учитывать в методике применения принципа для отбраковки ложных координат объекта. Установленная закономерность (сроки 2, 3 табл. 1) дополняет известную закономерность на основе знаков разницы дальностей.

В соответствии с данными табл. 1, количество секторов расположения объекта удваивается по сравнению с учетом только знаков разницы дальностей, рис. 3.

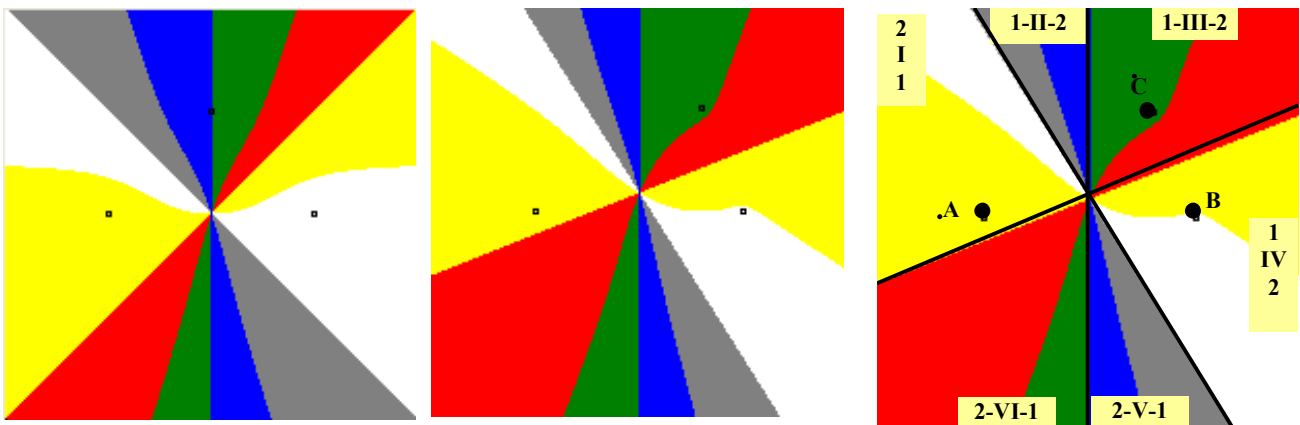


Рис. 3. Закономерности определения координат объекта с учетом абсолютных значений разницы дальностей

Это позволяет уменьшить вдвое вероятность получения ошибочной координаты расположения объекта. Полученные зависимости между расположением объекта и знаками и значениями разницы дальностей Δr могут быть использованы при проверке достоверности метода определения координат объекта.

Порядок применения развитого принципа таков:

1. Определяют, с привязкой к местности, сектора I – VI, в которых расположен объект по знакам разниц дальностей в соответствии с системами неравенств (строка 1, табл. 1).
2. Проводят разделение определенных секторов сектора I – VI на два подсектора 1, 2 по абсолютным значениям разницы дальностей, в соответствии с неравенствами (строки 2, 3, табл. 1).
3. Определяют сектор, которому соответствуют координаты объекта.
4. По знакам и абсолютным значениям разницы дальностей для данных координат также определяют сектор расположения.
5. При совпадении секторов, определенных в п. 3 и 4, получают истинные координаты объекта локации.

Выводы. Таким образом, развит принцип проверки достоверности метода определения координат объекта (принцип отбраковки ложных координат), который базируется на закономерности между положением объекта относительно датчиков и знаками и абсолютными значениями разницы дальностей, что позволило вдвое уменьшить вероятность получения ошибочной координаты местоположения объекта.

Последующим направлением исследования является разработка метода определения координат объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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 Владимирович – к. т. н., доцент кафедры телекоммуникационных систем и телевидения.

Винницкий национальный технический университет.

Гурман Иван Васильевич – заведующий лабораторией кафедры компьютерных систем и сетей.

Хмельницкий национальный университет.