

# Способ определения координат и угловой ориентации бортовой пеленгаторной антенны по результатам радиопеленгования радиоориентиров

---

Виноградов Д.А.<sup>1</sup>, Минин Л.А.<sup>2</sup>, Морозов Е.Ю.<sup>2</sup>, Ушаков С.Н.<sup>2</sup>.

XXV Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь», 2019

<sup>1</sup>Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е.Жуковского и Ю.А.Гагарина

<sup>2</sup>Воронежский Государственный Университет

Определение координат и угловой ориентации подвижных объектов производится с помощью GPS и ГЛОНАСС.

Такие системы используют дальномерно-угломерный подход и работоспособны только при синхронном излучении радиосигналов радиоориентиров.

Существуют угломерные системы, не накладывающие требования синхронности излучения.

Угломерные системы, способные однозначно и одновременно определять координаты и угловую ориентацию подвижного объекта только с помощью азимутально-угломестного радиопеленгования радиоориетиров, не исследованы.

## Постановка задачи

Пусть  $N$  радиоориентиров размещены в точках пространства с известными координатами.

Подвижный объект оснащен бортовой пеленгаторной антенной, способной для каждого РО определить азимут и угол места в связанной системе координат.

Необходимо определить пространственную ориентацию подвижного объекта, используя минимальное число РО.

Всего необходимо определить шесть параметров — три координаты и три угла Эйлера, определяющих угловую ориентацию подвижного объекта.

БПА подвижного объекта измеряет два параметра для каждого из радиоориентиров — азимут и угол места.

Таким образом, минимальное число РО равно трем.

Image placeholder

Детерминированный подход к определению координат и пространственной ориентации подвижного объекта можно представить в виде трехэтапной процедуры:

1. Нахождение совокупности расстояний от фазового центра (ФЦ) БПА до радиоориентиров;
2. Определение координат подвижного объекта;
3. Нахождение матрицы вращения и связанных с ней углов Эйлера, определяющих угловую ориентацию БПА.

Задачи второго и третьего этапов являются стандартными для радионавигации подвижных объектов.

Система уравнений для нахождения расстояний (этап 1):

$$\begin{cases} \ell_1^2 + \ell_2^2 - 2\ell_1\ell_2 \cos \alpha_{12} = d_{12}^2 \\ \ell_1^2 + \ell_3^2 - 2\ell_1\ell_3 \cos \alpha_{13} = d_{13}^2 \\ \ell_2^2 + \ell_3^2 - 2\ell_2\ell_3 \cos \alpha_{23} = d_{23}^2 \end{cases} \quad (1)$$

Представим, что объект поднимается вверх относительно плоскости радиоориентиров.

До определенной критической высоты, система (1) имеет единственное решение.

Начиная с первой критической высоты, из одной из вершин выходит первое «паразитное» решение.

Всего решений у системы (1) не более четырех.



## Особенности решения. Первый этап

Как показали вычислительные эксперименты, произведенные в пакете Mathematica, увеличение числа РО не приводит к улучшению разрешимости.

В этом случае система становится переопределенной, а с учетом погрешностей измерений — несовместной.

Функционал МНК минимизации невязки в квадрате приводит к повышению степени и усложнению вычислений.

## Особенности решения. Первый этап

Исходим из того, что аппарат способен хранить свое предыдущее положение.

В этом случае запрашивается решение системы (1) методом Ньютона.

Метод Ньютона для данной системы сходится к истинному решению очень быстро и содержит в себе только элементарные арифметические операции — обратная матрица выписывается в явном виде.

## Особенности решения. Второй этап

После нахождения расстояний, координаты подвижного объекта можно найти из следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2 = \ell_1^2 \\ (x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 + (z_2 - z)^2 = \ell_2^2 \\ (x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 + (z_3 - z)^2 = \ell_3^2 \end{cases} \quad (2)$$

Интересно, что удобнее решать систему (2) в системе координат, связанной с плоскостью радиоориентиров — в таком случае, нахождение координат существенно упрощается.

Осложняется следующими факторами:

- Система уравнений (1) может иметь до четырех решений
- Система уравнений (1) решается итерационным методом
- Точность решения зависит от конфигурации системы
- Подвижный объект может находиться около точек бифуркации

Ведутся работы над оценкой погрешностей в определенных конфигурациях.

# Способ определения координат и угловой ориентации бортовой пеленгаторной антенны по результатам радиопеленгования радиоориентиров

---

Виноградов Д.А.<sup>1</sup>, Минин Л.А.<sup>2</sup>, Морозов Е.Ю.<sup>2</sup>, Ушаков С.Н.<sup>2</sup>.

XXV Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь», 2019

<sup>1</sup>Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е.Жуковского и Ю.А.Гагарина

<sup>2</sup>Воронежский Государственный Университет