

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИИ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ЦЕЛИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ МАТРИЦЫ РАССЕЯНИЯ В НЕСКОЛЬКИХ ПУНКТАХ НАБЛЮДЕНИЯ

д.т.н., проф. Е.Л. Казаков, к.т.н. А.Е. Казаков

В статье рассматривается способ определения ориентации осесимметричной цели при измерении поляризационной матрицы рассеяния (ПМР) в нескольких радиолокационных станциях.

Постановка проблемы. В связи с наличием в настоящее время большого количества различных классов аэродинамических, баллистических и космических целей на первый план выходит проблема установления их целевого назначения и отнесения вновь появляющихся к одному из установленных классов, или новому классу, т.е. распознавание целей. Эта проблема может быть решена путем проведения анализа информации, которую несет переотраженный целью радиолокационный сигнал.

Анализ литературы. До настоящего времени в различных публикациях [1 – 3], рассматривались вопросы распознавания целей по информации, содержащейся в переотраженном целью радиолокационном сигнале. Однако эти исследования проводились только для совмещенных радиолокационных станций (РЛС), и не рассматривалась разнесенная на местности радиолокационная система.

Целью статьи является обоснование способа определения ориентации осесимметричной цели при измерении элементов ПМР в разнесенной на местности радиолокационной системе.

Предлагаемый способ состоит в определении по измеренным значениям элементов ПМР каждой РЛС, в соответствии с методикой [4, 5], величины угла, характеризующего положение плоскости, проходящей через ось симметрии цели и точку стояния РЛС. Пересечение этих плоскостей, определяемых для каждой РЛС, и дает положение оси симметрии цели в пространстве.

Получим выражение, определяющее связь между ориентацией оси цели в пространстве и положением плоскостей, проходящих через точки стояния РЛС и ось цели.

Введем подвижную систему координат, начало которой точка О распо-

ложена в центре тяжести цели (рис. 1). Две РЛС, осуществляющие наблюдение за целью, расположенные в точках O_1 и O_2 . Ось Y подвижной системы координат направим по биссектрисе угла O_1OO_2 в направлении от базовой линии O_1O_2 . Ось Z направим перпендикулярно плоскости O_1OO_2 , а ось X расположим так, чтобы образовать правостороннюю координатную систему.

Волновые фронты полей обеих РЛС (картинные плоскости) представляют собой плоскости, перпендикулярные плоскости O_1OO_2 и проходящие через ось Z . Одновременно с этим картинная плоскость первой РЛС проходит через прямую $O\Phi_1$, лежащую в плоскости O_1OO_2 и перпендикулярную прямой O_1O (рис. 2), а картинная плоскость второй РЛС проходит через прямую $O\Phi_2$, перпендикулярную прямой O_2O (рис. 3).

Предположим, что обе РЛС излучают линейно-поляризованные сигналы в базисе $\bar{Z}, \bar{\Phi}_1$ и $\bar{Z}, \bar{\Phi}_2$. Тогда положение плоскости, проходящей через РЛС и ось цели (Q_1), для первой РЛС характеризуется углом Θ_1 (рис. 2), а для второй РЛС (Q_2) – углом Θ_2 (рис. 3).

Прямая пересечения плоскостей Q_1 и Q_2 совпадает с осью цели и характеризуется направляющим вектором \bar{l} . Для определения этого вектора надо векторно перемножить нормальные векторы плоскостей Q_1 и Q_2 : $\bar{l} = \bar{n}_1 \times \bar{n}_2$.

Направляющие косинусы нормальных векторов в системе координат XYZ равны:

$$\begin{aligned} n_1: \quad \cos\alpha_1 &= \cos\Theta_1 \cos\Psi; & \cos\beta_1 &= -\cos\Theta_1 \cos\Psi; & \cos\gamma_1 &= \sin\Theta_1; \\ n_2: \quad \cos\alpha_2 &= \cos\Theta_2 \cos\Psi; & \cos\beta_2 &= \cos\Theta_2 \cos\Psi; & \cos\gamma_2 &= -\sin\Theta_2. \end{aligned}$$

В сферических координатах направление вектора описывается углами ξ, ϑ (рис. 4), которые определяются выражениями:

$$\operatorname{tg}\xi = \frac{\bar{l}^0 \cdot \bar{Y}^0}{\bar{l}^0 \cdot \bar{X}^0}; \quad \operatorname{tg}\vartheta = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z}. \quad (1)$$

Произведя вычисления, получим:

$$\begin{aligned} \xi &= \operatorname{arctg} \left[\operatorname{ctg}\Psi \frac{\sin(\Theta_1 - \Theta_2)}{\sin(\Theta_1 + \Theta_2)} \right]; \\ \vartheta &= \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{1 - \cos 2\Theta_1 \cos 2\Theta_2 - \cos 2\Psi \sin 2\Theta_1 \sin 2\Theta_2}}{\sqrt{2 \sin 2\Psi \cos \Theta_1 \cos \Theta_2}}. \end{aligned} \quad (2)$$

Из выражений (2) следует, что при $\Theta_1 = \Theta_2 = 0$, $\Theta_1 = \Theta_2 = \pi/2$ система двух разнесенных РЛС не позволяет определять положение оси цели в пространстве и в этом случае необходимо для проведения измерений иметь еще одну вынесенную от базовой линии O_1O_2 РЛС.

Произведем пересчет углов ξ, Θ , характеризующих положение оси цели в пространстве, из подвижной системы координат в неподвижную, связанную с одной из РЛС.

Пусть $X_1Y_1Z_1$ – неподвижная прямоугольная система координат, связанная с первой РЛС, а $X_2Y_2Z_2$ – со второй РЛС; $X_1 X_2$ – направление на север; $Z_1 Z_2$ – направление по радиусу земли.

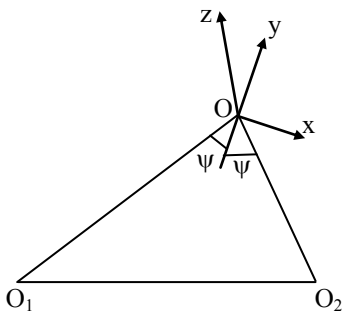


Рис. 1. Система координат

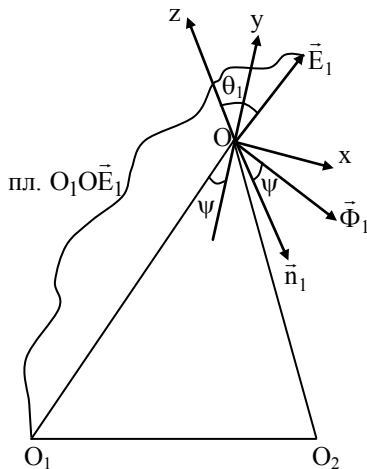


Рис. 2. Плоскость 1-й РЛС

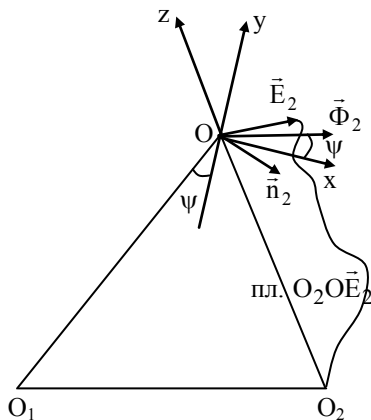


Рис. 3. Плоскость 2-й РЛС

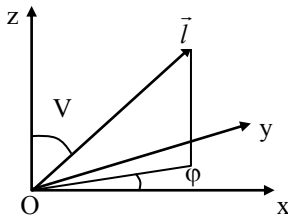


Рис. 4. Сферическая система координат

Найдем матрицу перехода от подвижной системы координат к системе координат $X_1Y_1Z_1$. Для этого необходимо осуществить (рис. 5):

- поворот системы координат XYZ вокруг оси OZ на угол γ ;
- поворот вновь полученной системы $X'Y'Z'$ вокруг оси OX' на угол β ;
- поворот вновь полученной системы $X''Y''Z''$ вокруг оси OZ'' на угол α .

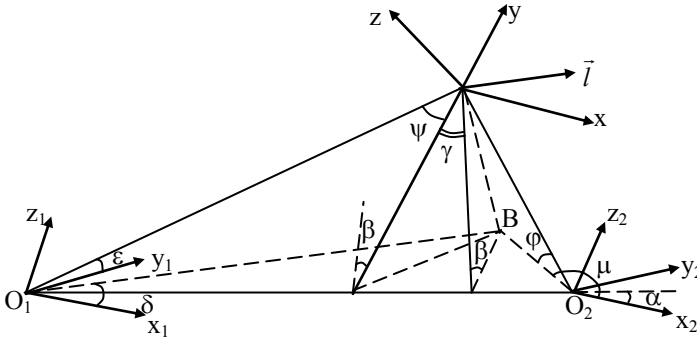


Рис. 5. Связь между системами координат

Матрица перехода при осуществлении перечисленных поворотов системы координат имеет вид:

$$A_{\Pi} = \begin{pmatrix} \cos \gamma + \sin \gamma \cos \beta \sin \alpha & \sin \gamma - \cos \gamma \cos \beta \sin \alpha & \sin \beta \sin \alpha \\ -\sin \gamma \cos \beta \cos \alpha + \cos \gamma \sin \alpha & \cos \gamma \cos \beta \cos \alpha + \sin \gamma \sin \alpha & -\sin \beta \cos \alpha \\ -\sin \gamma \sin \beta & \cos \gamma \sin \beta & \cos \beta \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Вектор \vec{l} в системе координат $X_1Y_1Z_1$ можно записать как

$$|l_{X_1Y_1Z_1}| = |A_{ij}| |l_{XYZ}|, \quad (4)$$

где $|l_{XYZ}|$ – матрица-столбец, характеризующая координаты вектора \vec{l} в системе XYZ .

Из (4), учитывая (2) и (3), получаем выражение для угла ξ в системе координат $X_1Y_1Z_1$:

$$\xi = \arctg \left[A \frac{\sin(\Theta_2 - \Theta_1)}{\sin(\Theta_2 + \Theta_1)} \cdot \text{ctg} \Psi \right], \quad (5)$$

где

$$A = \frac{\cos \gamma \sin \alpha - \sin \gamma \sin \beta \cos \alpha + \sin \gamma \sin \alpha + \cos \gamma \cos \beta \cos \alpha - \sin \beta \cos \alpha}{\cos \gamma \cos \alpha + \sin \gamma \cos \beta \sin \alpha + \sin \gamma \cos \alpha - \cos \gamma \cos \beta \sin \alpha - \sin \beta \sin \alpha}. \quad (6)$$

Аналогично может быть получено выражение для угла ϑ в координатной системе $X_3Y_1Z_1$.

С использованием полученных выражений был проведен анализ влияния точностных характеристик используемых РЛС и их расположения на местности по отношению к траектории полета цели на погрешности определения углов, характеризующих положение оси цели в системе координат РЛС.

Анализ полученных ошибок показывает, что их величина при соответствующем выборе положения базы не превышает $(15 - 20)^\circ$, если Θ_1 и Θ_2 лежат в пределах $(10 - 80)^\circ$.

Таким образом, уменьшение ошибки определения углов, характеризующих положение оси симметрии цели в пространстве, может быть достигнуто за счет оптимального выбора РЛС, следящих за целью. Оптимальность выбора станций означает:

- получение величины коэффициента A , характеризующего направление движения цели по отношению к базовой линии РЛС, меньше 0,1;
- для каждой станции значения Θ_1 и Θ_2 должны лежать в пределах от 10 до 80° .

Выводы. Для определения ориентации цели в пространстве, по одному измерению элементов ПМР с ошибками, не превышающими $(15 - 20)^\circ$, необходимо использовать систему разнесенных на местности станций (максимально три РЛС), которые назначаются для каждой распознаваемой цели. Расстояние между РЛС определяется в зависимости от дальности до цели. В дальнейших исследованиях целесообразно рассчитать расстояние между используемыми РЛС в зависимости от классов наблюдаемых целей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Селекция и распознавание на основе локационной информации / А.Л. Горелик, Ю.Л. Барабаш, О.В. Кривошеев, С.С. Эпштейн. Под ред. А.Л. Горелика. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.*
2. *Васильев В.И. Распознающие системы. – К.: Наук. думка, 1983. – 422 с.*
3. *Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания. – М.: Высшая школа, 1989. – 232 с.*
4. *Бике Л.С. Некоторые инвариантные свойства ПМР // ТИИЭР. – 1965. – Т. 53, № 8. – С. 1218 – 1220.*
5. *Казаков Е.Л. Радиолокационное распознавание космических объектов по поляризационным признакам. – Одесса: Одесский институт управления и менеджмента, 1999. – 230 с.*

Поступила 11.04.2003

КАЗАКОВ Евгений Леонидович, доктор технических наук профессор, главный научный сотрудник научного центра при ХВУ. В 1958 году окончил АРТА СА им. Л.А. Говорова. Область научных интересов – распознавание различных классов радиолокационных целей.

КАЗАКОВ Александр Евгеньевич, кандидат технических наук старший научный сотрудник, начальник НИЛ научного центра при ХВУ. В 1994 году окончил ВИРТА ПВО им. Л.А. Говорова. Область научных интересов – радиолокационное распознавание образов.
