

ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗНЕСЕННЫХ РЛС НА ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ПОЛОЖЕНИЕ ОСИ ЦЕЛИ

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

В статье получены выражения для оценивания ошибок, возникающих за счет неточности определения углов, характеризующих положение оси симметрии цели в пространстве (ψ , Θ_1 и Θ_2).

Постановка проблемы. В настоящее время существует значительное количество аэродинамических, баллистических и космических целей, которые по своей форме могут быть представлены как осесимметричные тела вращения. Вероятность правильного распознавания таких целей в большой степени зависит от ошибок, возникающих за счет неточности определения углов ψ , Θ_1 и Θ_2 . Углы Θ_1 и Θ_2 характеризуют соответственно положение плоскости, проходящей через каждую РЛС и ось симметрии цели, а угол ψ определяет половину угла разноса РЛС [1]. Эта проблема может быть решена путем расчета и оценивания значений данных ошибок.

Анализ литературы. До настоящего времени в различных публикациях [1 – 3] рассматривались вопросы распознавания целей по информации, содержащейся в переотраженном целью сигнале для совмещенной и разнесенной РЛС. Однако не оценивались ошибки, возникающие за счет неточности определения углов ψ , Θ_1 и Θ_2 .

Целью статьи является получение выражений для оценки ошибок, возникающие за счет неточности определения углов ψ , Θ_1 и Θ_2 и анализ их численных значений.

1. Ошибки за счет неточности измерения угла ψ . Как было показано в [1], выражение для угла ξ , характеризующего положение оси симметрии цели в системе координат $X_1 Y_1 Z_1$, представляется в виде

$$\xi = \arctg \left[A \frac{\sin(\Theta_2 - \Theta_1)}{\sin(\Theta_2 + \Theta_1)} \operatorname{ctg} \psi \right], \quad (1)$$

где

$$A = \frac{\cos \gamma \sin \alpha - \sin \gamma \sin \beta \cos \alpha + \sin \gamma \sin \alpha + \cos \gamma \cos \beta \cos \alpha - \sin \beta \cos \alpha}{\cos \gamma \cos \alpha + \sin \gamma \cos \beta \sin \alpha + \sin \gamma \cos \alpha - \cos \gamma \cos \beta \sin \alpha - \sin \beta \sin \alpha}. \quad (2)$$

Продифференцировав выражение (1) по углу ψ , получим составляющую ошибки измерения ξ за счет неточности определения угла ψ :

$$\delta \xi_{\psi} = \frac{1}{\sin^2 \psi + A^2 \frac{\sin^2(\Theta_2 - \Theta_1)}{\sin^2(\Theta_2 + \Theta_1)} \cos^2 \psi} \delta \psi, \quad (3)$$

где $\delta \psi$ – ошибка определения угла ψ .

Из выражения (3) следует, что эта составляющая ошибки измерения угла ξ зависит от величины коэффициента A , угла ψ и ошибки определения угла ψ .

Если рассматривать случай изменения углов Θ_1 и Θ_2 от 0 до $\pi/2$, то

$$\frac{\sin^2(\Theta_2 - \Theta_1)}{\sin^2(\Theta_2 + \Theta_1)} \ll 1,$$

и эту величину при анализе выражения (3) можно не учитывать.

Величина A (2) определяется положением базы (угол α), направлением полета цели относительно базы (угол γ) и траекторией полета цели (угол β). Анализ выражения (2) показывает, что величина A^2 меняется в диапазоне значений от 0 до 1,5.

Величина угла ψ определяется дальностью слежения РЛС за целью и величиной базы O_1O_2 (рис. 1):

$$\psi = \frac{1}{2} \arccos \frac{OO_1^2 + OO_2^2 - O_1O_2^2}{2OO_1 \cdot OO_2}. \quad (4)$$

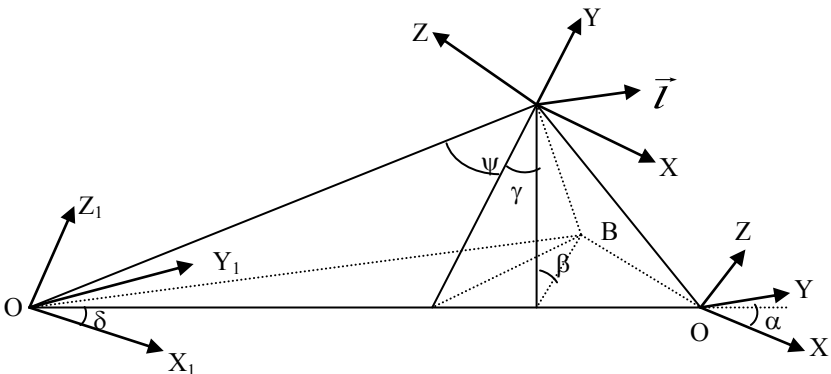


Рис. 1. Расположение РЛС на местности

При изменении дальности до цели от 2000 до 800 км и базе 400 км значение угла ψ находится в пределах $(6 \div 17)^\circ$. Следовательно, величина $\sin^2 \psi$ принимает значения $(0,11 \div 0,56)$.

Если получить из выражения (4) значение ошибки измерения $\delta\psi$ и проанализировать ее для тех же дальностей и реальных точностей измерения дальности в точках O_1 и O_2 , то получим, что эта ошибка измерения очень мала и составляет десятые и сотые доли угловых минут, а относительная ошибка $\approx (0,01 \div 0,0001)\%$.

Сравнивая полученные значения величин, входящих в выражение (3), можно сделать вывод о том, что величина $\delta\xi_\psi$ мала и при оценке суммарной ошибки определения ξ ее можно не учитывать.

2. Ошибки за счет неточности измерения углов Θ_1 и Θ_2 . Из выражения (1) находим ошибку измерения ξ за счет неточности определения Θ_1 :

$$\delta\xi_\psi = -\frac{A \sin 2\Theta_2 \operatorname{ctg} \psi d\Theta_1}{\sin^2(\Theta_1 + \Theta_2) + A^2 \sin(\Theta_2 - \Theta_1) \operatorname{ctg}^2 \psi}. \quad (5)$$

Анализ выражения (5) показывает, что максимальная ошибка $\delta\xi_{\Theta_1 \max}$ имеет место при $\Theta_1 = \Theta_2$ и составляет

$$\Theta \xi_{\Theta_1 \max} = -\frac{A \operatorname{ctg} \psi d\Theta_1}{\sin 2\Theta_2}. \quad (6)$$

Ошибки резко возрастают при $\Theta_1 = \Theta_2 \rightarrow 0; 90^\circ$, что подтверждает вывод, сделанный в [1], о необходимости использования в этом случае 3-й РЛС.

Уменьшение ошибок $\delta\xi_{\Theta_1 \max}$ и $\delta\xi_{\Theta_2 \max}$ можно добиться за счет уменьшения величины A , т.е. за счет соответствующего расположения базовой линии по отношению к траектории полета цели.

Пусть базовая линия расположена вдоль географического меридиана ($\alpha = 0$), тогда из выражения (2) имеем

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

Решая это уравнение относительно $\cos \gamma$, получим

$$\cos \gamma = \frac{2 \sin \beta \cos \beta - 2A \sin \beta \pm \sqrt{(2A \sin \beta - \sin \beta \cos \beta)^2 - 4(A^2 + 2 \cos^2 \beta) \cdot B}}{2(A^2 + 2 \cos^2 \beta)}, \quad (7)$$

где $B = \sin^2 \beta - \cos^2 \beta - 2A \cos \beta - A^2$.

При рассматриваемых дальностях до цели (2000 \div 800) км величина угла β лежит в пределах (25 \div 30)°. Подставляя эти значения в уравнение (7), получаем: при $A = 0$, $\gamma = 21^\circ$; при $A = -0,1$, $\gamma = 28^\circ$; при $A = 0,1$, $\gamma = 14^\circ$.

Таким образом, если расположение базовой линии по отношению к направлению полета цели выбрано так, чтобы угол γ лежал в пределах (14 \div 28)°, то ошибки $\delta\xi_{\Theta_1 \max}$ и $\delta\xi_{\Theta_2 \max}$ могут быть уменьшены в 10 и более

раз.

Величина ошибок $\delta\xi_{\Theta_1 \max}$ и $\delta\xi_{\Theta_2 \max}$ при рассматриваемых дальностях до цели, при выбранных углах γ , углах $\Theta_1 = \Theta_2 = 15^\circ$ и максимальных ошибках измерения $\delta\Theta_{1\max} = \delta\Theta_{2\max} = 10^\circ$ составляет $\approx 15^\circ$.

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

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 означает:

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

Выводы. Из полученных выражений следует, что для определения ориентации цели в пространстве по одному измерению элементов поляризационной матрицы рассеяния с ошибками, не превышающими $(15 \div 20)^\circ$, необходимо использовать систему разнесенных на местности на расстояние ≈ 400 км станций (максимально три РЛС), которые назначаются для каждой распознаваемой цели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казаков Е.Л., Казаков А.Е. Способ определения ориентации осесимметричной цели при измерении поляризационной матрицы рассеяния в нескольких пунктах наблюдения // Системы обработки информации. – X.: ХВУ. – 2003. – Вып. 2. – С. 174 – 178.
2. Казаков Е.Л. Радиолокационное распознавание космических объектов по поляризационным признакам. – Одесса: Институт управления и менеджмента, 1999. – 230 с.
3. 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.

Поступила 24.12.2003

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, канд. 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.