Уточнений принцип невизначеності дійсний для широкого класу локаційних систем: широкосмугових радіолокаційних, ультразвукових, гідролокаційних. І чим менша величина об'єму ШФН, тим менша потенційна невизначеність сумісного виміру дальності і швидкості.

Величина об'єму ШФН повинна бути використана в якості «міри» потенційної невизначеності сумісного виміру дальності і швидкості об'єкту, що виявляється. Цю «міру» потрібно застосовувати для вирішення раціонального вибору зондуючого сигналу.

Таким чином, концепція Вудворда про те, що об'єм нормованої ФН завжди постійний при зміні параметрів сигналу хибна, якщо не розуміти і не приймати всіх допустимих для цього припущень.

Література

1. Woodward P.M. Probability and Information Theory with Application to Radar London: Pergamon, 1953
2. Woodward P.M. Probability and Information Theory with Application to Radar New York: Pergamon, 2nd.ed. 1964.
3. Вудворд Ф.М. Теория вероятностей и теория информации с применениями в радиолокации, М. «Советское радио», 1955.
4. Вакман Д.Е. Сложные сигналы и принцип неопределенности в радиолокации, М. «Советское радио», 1965.
5. Kelly E.J., Wishner R.P. Matched filter theory for high-velocity targets//IEEE Trans. 1965, January, vol MIL-9, №1 pp56÷69
6. Gassner R.L, Cooper G.R. Note on a Generalized Ambiguty Functions IEEE Trans. 1967, January, vol IT-13, №1, pp126.
7. Speiser R. Wide–Band Ambiguty Functions.IEEE Trans.1967,v.IT-13,№1,p 122÷123.
8. Purdy R.J, Cooper G.R. A Note on the Valume of Generalized Ambiguity Functions. IEEE Trans. 1968, January, vol IT-14, №1, pp 153÷154.
9. Мрачковский О.Д. Анализ, формирование и обработка сложных гидролокационных сигналов, используемых в АРГАС. Киевский НИИ гидроприборов. 1977.

Ключові слова: радіолокація, гідролокація, функція невизначеності

Мрачковский О.Д. **Функция неопределенности широкополосного зондирующего сигнала и ее объем** Вычислен объем под квадратом модуля широкополосной функции неопределеннос-ти зондирующего сигнала. Уточнен принцип неопределенности для локационных систем.	Mrachkovsky O.D. **The volume and ambiguity function of wideband sounding signal**. The volume under a square of a module of wideband ambiguity function of a sounding signal is computed. The principle of ambiguity for any radar is updated.

УДК 621.391.26

ТОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХПОЗИЦИОННОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В ДЕКАРТОВОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ

Доценко Д.И., Жук С.Я.

Получены аналитические выражения для дисперсий и взаимных корреляций ошибок измерения двухпозиционной радиолокационной системы в декартовой системе координат и на модельном примере выполнен их расчет и анализ.

Одним из перспективных видов радиолокационных систем являются двухпозиционные (ДП РЛС), в которых передающая и приемная подсистемы разнесены в пространстве. Угловые координаты цели в ДП РЛС измеряются прямым способом, а дальность до цели рассчитывается с использованием измеренной разности расстояний, которые проходят переотраженный от цели сигнал и прямой сигнал от передающей подсистемы. При решении задач вторичной обработки радиолокационной информации выполняется преобразование координат цели из сферической системы координат в декартовую. Поэтому актуальной задачей является определение точностных характеристик ДП РЛС в декартовой системе координат.

Теоретическое обоснование

На рис.1 приведено расположение ДП РЛС и цели в декартовой системе координат, связанной с приемной подсистемой. Показаны координаты передающей подсистемы и измеряемые параметры цели в сферической системе координат.

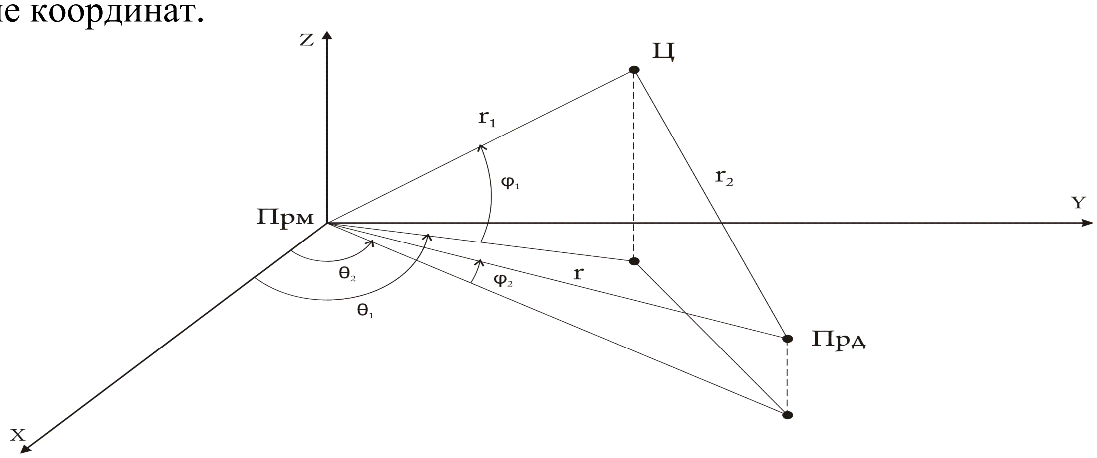

Рис.1.

Как отмечалось выше, азимут θ_1 и угол места φ_1 цели измеряются приемной подсистемой ДП РЛС прямым способом. При этом уравнения измерения для θ_1 и φ_1 на k- м шаге имеют вид:

$$\theta_{1И}(k) = \theta_1(k) + v_\theta(k); \qquad (1)$$

$$\varphi_{1И}(k) = \varphi_1(k) + v_\varphi(k), \qquad (2)$$

где $\theta_{1И}(k)$, $\varphi_{1И}(k)$ – измеренные значения азимута и угла места цели соответственно; $\theta_1(k)$, $\varphi_1(k)$ – истинные значения азимута и угла места цели соответственно; $v_\theta(k)$, $v_\varphi(k)$– ошибки измерения азимута и угла места, являющиеся белыми гауссовскими шумами с нулевыми средними и дисперсиями $\sigma^2{}_\theta$, $\sigma^2{}_\varphi$ соответственно.

Уравнение измерения разности расстояний Δ, которые проходят переотраженный от цели сигнал и прямой сигнал от передающей подсистемы на k- м шаге имеет вид:

$$\Delta_И(k) = \Delta(k) + v_\Delta(k), \qquad (3)$$

где $\Delta_И(k)$–измеренное значение разности расстояний, которые проходят переотраженный сигнал от цели и прямой сигнал от передающей подсистемы; $\Delta(k)$– истинное значение разности расстояний: $\Delta(k) = r_1(k) + r_2(k) - r$;

где $r_1(k)$- истинное расстояние между приемной подсистемой и целью, $r_2(k)$– истинное расстояние между передающей подсистемой и целью; r – база ДП РЛС, которая полагается известной точно и не изменяется во времени; $v_\Delta(k)$– ошибка измерения разности расстояний, являющейся белым гауссовским шумом с нулевым средним и дисперсией $\sigma^2{}_\Delta$.

Дальность до цели r_1 в ДП РЛС измеряется косвенным способом. Уравнение измерения дальности до цели на k- м шаге имеет вид [1]:

$$r_{1И}(k) = \frac{\Delta_И(k)(\Delta_И(k)+2r)}{2(r+\Delta_И(k)-r(\cos\varphi_{1И}(k)\cos\varphi_2\cos(\theta_{2И}-\theta_{1И}(k))+\sin\varphi_{1И}(k)\sin\varphi_2))}, \quad (4)$$

где θ_2, φ_2 - координаты передающей подсистемы, которые полагаются известными точно и не изменяются во времени.

Связь между измерениями ДП РЛС, выполненными в сферической системе координат и координатами цели в декартовой системе координат:

$$x_И(k) = r_{1И}(k)\cos(\varphi_{1И}(k))\cos(\theta_{1И}(k)); \quad (5)$$

$$y_И(k) = r_{1И}\cos(\varphi_{1И}(k))\sin(\theta_{1И}(k)); \quad (6)$$

$$z_И = r_{1И}\sin(\varphi_{1И}). \quad (7)$$

Определим ошибки измерения ДП РЛС в декартовой системе координат. Уравнение измерения дальности до цели (4) является нелинейным. Разлагая нелинейные функции в (4) в ряд Тейлора относительно истинных значений и ограничиваясь рассмотрением линейных членов, можно записать линеаризованное уравнение измерения дальности до цели в виде:

$$r_{1И}(k) = r_1(k) + v_r(k), \quad (8)$$

где; $v_r(k) = a_1(k)v_\Delta(k) - a_2(k)v_\varphi(k) + a_3(k)v_\theta(k)$ – ошибка измерения дальности до цели; $r_1(k)$ – истинное значение дальности до цели; коэффициенты $a_1(k), a_2(k), a_3(k)$ определяются как:

$$a_1(k) = \frac{\Delta + r(k) - r_1(k)}{r(k)+\Delta(k)-r(k)(\cos(\varphi_1)\cos(\varphi_2)\cos(\theta_1-\theta_2)+\sin(\varphi_1)\sin(\varphi_2))};$$

$$a_2(k) = \frac{r(k)r_1(k)(\cos(\varphi_2)\sin(\varphi_1)\cos(\theta_2-\theta_1)+\sin(\varphi_2)\cos(\varphi_1))}{r(k)+\Delta(k)-r(k)(\cos(\varphi_1)\cos(\varphi_2)\cos(\theta_1-\theta_2)+\sin(\varphi_1)\sin(\varphi_2))};$$

$$a_3(k) = \frac{r(k)r_1(k)(\cos(\varphi_2)\cos(\varphi_1)\sin(\theta_2-\theta_1)}{r(k)+\Delta(k)+r(k)(\cos(\varphi_1)\cos(\varphi_2)\cos(\theta_1-\theta_2)+\sin(\varphi_1)\sin(\varphi_2))}.$$

Уравнения (5)-(7), описывающие связь между измерениями ДП РЛС, выполненными в сферической системе координат и координатами цели в декартовой системе координат, также являются нелинейными. Подставим (1),(2),(8) в (4)-(6). Разлагая нелинейные функции в (5)-(7) в ряд Тейлора относительно истинных значений и ограничиваясь линейными членами, можно записать линеаризованные уравнения измерения РЛС в декартовой системе координат в виде:

$$x_И(k) = x(k) + v_x(k); \quad (9)$$

$$y_И(k) = y(k) + v_y(k); \quad (10)$$

$$z_И(k) = z(k) + v_z(k), \quad (11)$$

где $v_x(k), v_y(k), v_z(k)$ – ошибки измерений по соответствующим осям декартовой системы координат, которые определяются по формулам

$$v_x(k) = \cos(\varphi_1(k))\sin(\theta_1)a_1 v_\Delta(k) - \sin(\theta_1)(r_1\sin(\varphi_1) + \cos(\varphi_1)a_2)v_\varphi(k) + \\ +\cos(\varphi_1)(r_1\cos(\theta_1) + a_3\sin(\theta_1))v_\theta(k); \quad (12)$$

$$v_y(k) = \cos(\varphi_1(k))\cos(\theta_1)a_1 v_\Delta(k) - \cos(\theta_1)(r_1\sin(\varphi_1) + \cos(\varphi_1)a_2)v_\varphi(k) + \\ +\cos(\varphi_1)(-r_1\sin(\theta_1) + a_3\cos(\theta_1))v_\theta(k); \quad (13)$$

$$\mathrm{v}_z(\mathrm{k}) = \sin(\varphi_1)\mathrm{a}_1\mathrm{v}_\Delta(\mathrm{k}) - (-r_1\cos(\varphi_1) + \sin(\varphi_1)\mathrm{a}_2)\mathrm{v}_\varphi(k) + \sin(\varphi_1)a_3\mathrm{v}_\theta(k). \quad (14)$$

Из (12)-(14) следует, что ошибки измерения $v_x(k), v_y(k), v_z(k)$ в декартовой системе координат являются функциями сферических координат цели и нестационарные. Поскольку ошибки измерения ДП РЛС $\mathrm{v}_\Delta(\mathrm{k}), \mathrm{v}_\varphi(k), \mathrm{v}_\theta(k)$ имеют нулевые математические ожидания, средние значения ошибок измерения $v_x(k), v_y(k), v_z(k)$ также равны нулю Следуя методике вычисления вторых моментов случайных величин [2], можно показать, что дисперсии и взаимные корреляции ошибок измерения в декартовой системе координат описываются выражениями:

$$\sigma^2{}_x(k) = a_1^2\cos^2(\varphi_1)\sin^2(\theta_1)\sigma^2{}_\Delta(k) + \sin^2(\theta_1)(r_1\sin(\varphi_1) + \cos(\varphi_1)a_2)\sigma^2{}_\varphi(k) + \\ +\cos^2(\varphi_1)(r_1\cos(\theta_1) + a_3\sin(\theta_1))^2\sigma^2{}_\theta(k);$$

$$\sigma^2{}_y(k) = a_1^2\cos^2(\varphi_1)\cos^2(\theta_1)\sigma^2{}_\Delta(k) + \sin^2(\theta_1)(r_1\sin(\varphi_1) + \cos(\varphi_1)a_2)\sigma^2{}_\varphi(k) + \\ +\cos^2(\varphi_1)(-r_1\sin(\theta_1) + a_3\cos(\theta_1))^2\sigma^2{}_\theta(k);$$

$$\sigma\,{}_z(k) = a_1^2\sin^2(\varphi_1)\sigma^2{}_\Delta(k) + (-r_1\cos(\varphi_1) + \sin(\varphi_1)a_2)^2\sigma^2{}_\varphi + \sin^2(\varphi_1)a_3^2\sigma^2{}_\theta(k);$$

$$\sigma^2{}_{xy}(k) = 0.5\cos^2(\varphi_1)\sin(2\theta_1)a^2{}_1\sigma^2{}_\Delta(k) + 0.5\sin(2\theta_1)(r_1\sin(\varphi_1) + \cos(\varphi_1)a_2)\sigma^2{}_\varphi(k) + \\ +\cos^2(\varphi_1(k))(r_1\cos(\theta_1) + a_3\sin(\theta_1))(-r_1\sin(\theta_1) + a_3\cos(\theta_1))\sigma^2{}_\theta(k);$$

$$\sigma^2{}_{xz}(k) = 0.5\sin(2\varphi_1(k))\sin(\theta_1)a^2{}_1\sigma^2{}_\Delta(k) + \sin(\theta_1)(r_1\sin(\varphi_1) + \cos(\varphi_1)a_2)\times \\ \times(-r_1\cos(\varphi_1) + +\sin(\varphi_1)a_2)\sigma^2{}_\varphi(k) + 0.5\sin(2\varphi_1(k))a_3(r_1\cos(\theta_1) + a_3\sin(\theta_1))\sigma^2{}_\theta(k);$$

$$\sigma^2{}_{yz}(k) = 0.5\sin(2\varphi_1(k))\cos(\theta_1)a^2{}_1\sigma^2{}_\Delta(k) + \cos(\theta_1)(r_1\sin(\varphi_1) + \cos(\varphi_1)a_2)\times \\ \times(-r_1\cos(\varphi_1) + \sin(\varphi_1)a_2)\sigma^2{}_\varphi(k) + 0.5\sin(2\varphi_1(k))a_3(-r_1\sin(\theta_1) + a_3\cos(\theta_1))\sigma^2{}_\theta(k).$$

Результаты экспериментальных исследований

Анализ полученных точностных характеристик ДП РЛС выполнен для случая измерения координат цели на плоскости XOY, при этом углы места

φ_1, φ_2 и дисперсия ошибки измерения угла места $\sigma^2{}_{\varphi}$ полагались равными нулю, а σ_Δ=80м, $\sigma_\theta = 0.6^\circ$ На рис. 2а в полярной системе координат (R,θ) показано условное расположение приемника (0 м, 0°), передатчика (25000 м, 0°) и цели, которая перемещается по окружности R=50000 м. На рис. 2б и 2в показаны зависимости СКО ошибок определения координат цели σ_x, σ_y по осям декартовой системы координат *X*, *Y*, а на рис.2г зависимость модуля коэффициента взаимной корреляции $|\gamma_{xy}|$ этих ошибок от угла θ прихода переотраженного сигнала. На рис. 2г сплошная линия соответствует положительным значениям коэффициента взаимной корреляции γ_{xy}, а штриховая – отрицательным значениям.

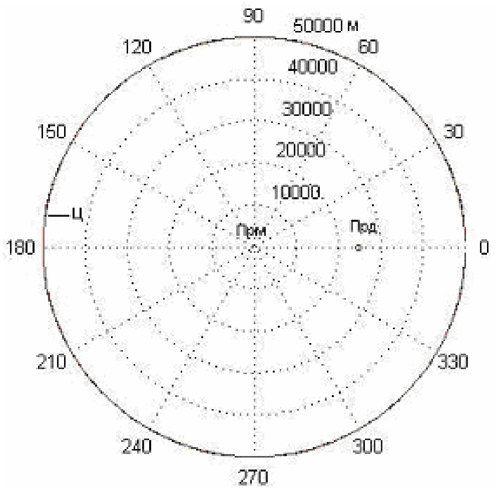

Рис. 2а

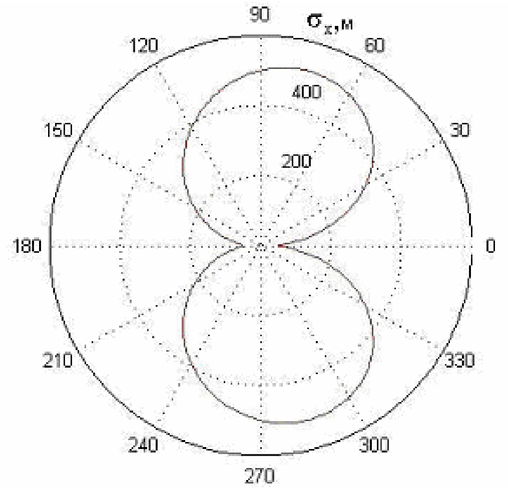

Рис. 2б

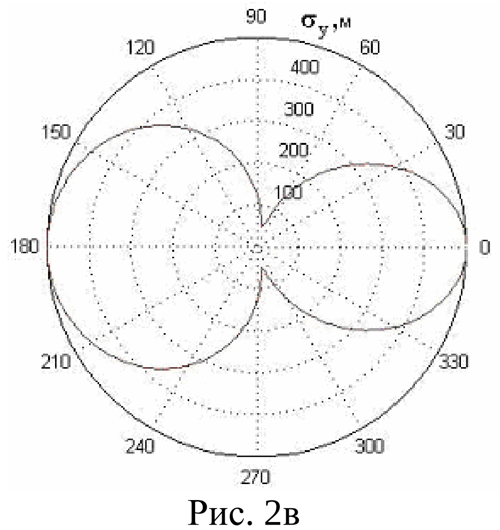

Рис. 2в

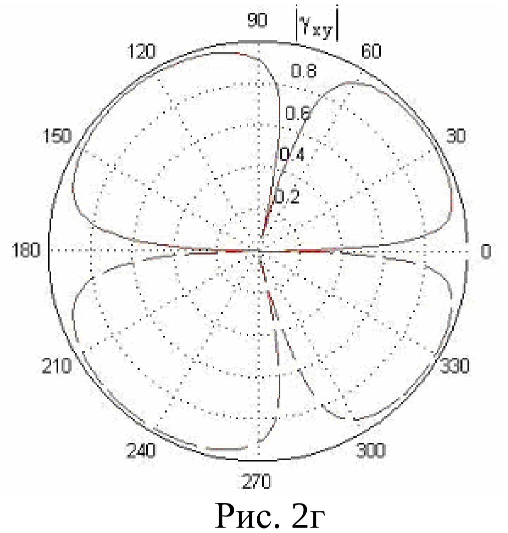

Рис. 2г

Как следует из полученных результатов, СКО ошибок определения координат цели σ_x, σ_y по осям декартовой системы координат *X*, *Y* и коэффициент взаимной корреляции γ_{xy} зависят от угла θ прихода переотраженного сигнала. Основной вклад в ошибки определения координат цели в декартовой системы координат вносит ошибки измерения азимута $v_\theta(k)$. Соответственно СКО ошибки σ_x достигает максимального значения в области углов $\theta=[90^\circ, 270^\circ]$, а СКО ошибки σ_y - в области углов $\theta=[0^\circ,180^\circ]$. С увеличением дальности до цели СКО ошибок определения координат цели σ_x, σ_y увеличиваются. При этом характер их изменения при рассмотренном положении приемной и передающей подсистем сохраняется прежним. Как следует из рис.2г, существует значительная корреляция между ошибками измерения в декартовой системе координат. Минимальные значения корреляции ошибок достигается в области углов $\theta=[0^\circ,90^\circ,180^\circ,270^\circ]$. Это обусловлено тем, что основной вклад в ошибки измерения по осям декартовой системы координат вносят различные ошибки $v_\theta(k)$, $\Delta_И(k)$, которые являются независимыми.

Ошибки определения координат цели в декартовой системе координат нестационарные и являются функциями ее сферических координат. С увеличением дальности до цели СКО ошибок определения координат цели увеличиваются, при этом основной вклад вносят ошибки измерения угловых координат. Существует значительная корреляция между ошибками измерения в декартовой системе координат, что следует учитывать при разработке алгоритмов вторичной обработки радиолокационной информации.

Литература

1. Кондратьев В. С., Котов А. Ф. .Марков Л. Н. Многопозиционные радиотехнические системы. М.: Радио и связь, 1986. -397 с.
2. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. М.: Радио и связь, 1982. -624 с.

Ключові слова: радіолокація, точність радіолокації,

Доценко Д.І., Жук С.Я. **Точносні характеристики двохпозиційної радіолокаційної системи в декартовій системі координат** Отримані аналітичні залежності дисперсій та взаємних кореляцій похибок вимірів двохпозиційної радіолокаційної системи у декартовій системі координат; для прикладу виконано їх розрахунок і аналіз.	Dotcenko D.I., Zuk S.J. **Precision characteristics of two-position radar station in Cartesian coordinate system** Two-position radar station is examined. Analytic expressions for dispersion and intercorrelation of measurement errors in Cartesian coordinate system are obtained. For example error estimation and analysis were performed.

УДК 621.391:621.387

ІДЕНТИФІКАЦІЯ α-ЧАСТИНОК ТА γ-КВАНТІВ ЗА ФОРМОЮ ІМПУЛЬСІВ СЦИНТИЛЯЦІЙНОГО СПАЛАХУ

Корнага В.І., Головін В.А.

Розглянуто методи виявлення та розрізнення сцинтиляційних спалахів α-частинок та γ-квантів за формою імпульсів в експериментальних дослідженнях структури ядер та механізмів ядерних реакцій.

В експерименті з дослідження структури ядер і механізмів ядерних реакцій необхідно не тільки вимірювати енергію частинок, але і ідентифікува-