3. Кондратенко А. Н., Куклин В. М. — Радиотехника и электроника, 1980, 25, № 7.
4. Романов Ю. А. — ЖЭТФ, 1964, 47, вып. 6, с. 2129.
5. Кондратенко А. Н., Куклин В. М, Ткаченко В. И. — УФЖ, 1976, 21, вып. 11, с. 1882.

Харьковский государственный университет

Поступила в редакцию 19 июня 1979 г., после сокращения 18 августа 1980 г.

УДК 621.396.67

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИГНАЛОВ, ОТРАЖЕННЫХ ОТ ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В БЛИЖНЕЙ РАДИОЛОКАЦИИ

О. И. Шелухин

Задача обнаружения близко расположенных от РЛС объектов должна решаться с учетом протяженности объектов, а также кривизны фронта падающей волны. Как отмечалось в [1], наиболее перспективным РЛС ближнего действия являются многоканальные устройства с пространственно-временной обработкой сигналов

Целью предлагаемой работы является определение пространственно-временной корреляционной функции сигналов, отраженных от протяженных объектов в случае многоканального построения РЛС.

Будем считать, что передатчик РЛС и приемник разнесены в пространстве, а источник излучения, характеризуемый диаграммой направленности $F_{\text{пер}}[\theta_1(x, y)]$, располагается в точке с координатами (x_0, y_0, r_0). Определим поле, отраженное от распределенного плоского объекта $D(x, y)$, находящегося в зоне Френеля, в случае одного приемного канала с координатами (μ, ν, r), полагая, что диаграмма направленности приемной антенны $F_{\text{пр}}[\theta_2(x, y)]$

$$e(\mu, \nu, r) = \frac{iE_{\text{пад}}}{\lambda} \iint\limits_{D(x,y)} \frac{S(x, y)}{\varkappa\rho} F_{\text{пер}}[\theta_1(x, y)]\, F_{\text{пр}}[\theta_2(x, y)] \exp[ik(\varkappa + \rho) - i\omega t]\, dx\, dy, \tag{1}$$

где $\rho = \sqrt{(\mu - x)^2 + (\nu - y)^2 + r^2}$, $\varkappa = \sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2 + r_0^2}$, а $S(x, y)$ — функция рассеяния объекта.

Определим функцию пространственно-временной корреляции сигнала, отраженного от объекта, в случае двухканальной системы, в которой приемные антенны расположены симметрично относительно точки (μ, ν, r) и имеют координаты $X_1(\mu - R_0/2, \nu, r)$ и $X_2(\mu + R_0/2, \nu, r)$ соответственно. При этом поле в соответствующих каналах определяется аналогично [1] с заменой ρ на $\rho_{\text{I}} = \sqrt{\rho^2 + (1/4)R_0^2 - R_0\rho\cos\theta(x, y)}$ для координаты $X_1(\mu - R_0/2, \nu, r)$ и на $\rho_{\text{II}} = \sqrt{\rho^2 + (1/4)R_0^2 + R_0\rho\cos\theta(x, y)}$ для координаты $X_2(\mu + R_0/2, \nu, r)$.

Под $\theta(x, y)$ понимается угол между направлением на точку $C(x, y)$ и линией, соединяющей обе приемные антенны.

Воспользовавшись методом стационарной фазы, найдем для каждого из каналов

$$e_{1(2)}(i\omega, R_0, t) = -\frac{f(x_{1(2)}, y_{1(2)})}{A(x_{1(2)}, y_{1(2)}, R_0)} \exp\left\{ i\frac{\omega}{c}\varphi(x_{1(2)}, y_{1(2)}, R_0) - i\omega t \right\}, \tag{2}$$

где $x_{1(2)}$, $y_{1(2)}$ — координаты точек стационарной фазы, соответствующие точкам зеркального отражения, определяемые из системы уравнений

$$\left.\frac{d\varphi(x, y, R_0)}{dy}\right|_{x=x_{1(2)},\ y=y_{1(2)}} = 0,$$

$$\left.\frac{d\varphi(x, y, R_0)}{dx}\right|_{x=x_{1(2)},\ y=y_{1(2)}} = 0,$$

а

$$f(x_{1(2)}, y_{1(2)}) = E_{\text{пад}} S(x_{1(2)}, y_{1(2)}) F_{\text{пер}}[\theta_1(x_{1(2)}, y_{1(2)})]\, F_{\text{пр}}[\theta_2(x_{1(2)}, y_{1(2)})],$$

$$A(x_{1(2)}, y_{1(2)}, R_0) = \varkappa(x_{1(2)}, y_{1(2)})\, \rho_{\text{I(II)}}(x_{1(2)}, y_{1(2)}, R_0) \sqrt{[\varphi''_{xx}\varphi''_{yy} - (\varphi''_{xy})^2]_{x=x_{1(2)},\ y=y_{1(2)}}},$$

$$\varphi(x_{1(2)}, y_{1(2)}, R_0) = \varkappa(x_{1(2)}, y_{1(2)}) + \rho_{\text{I(II)}}(x_{1(2)}, y_{1(2)}, R_0).$$

В случае, когда в качестве зондирующего сигнала используется немодулированное гармоническое колебание, взаимную корреляционную функцию $B_1(R_0, \tau)$ в двух каналах приема с координатами $X_1(\mu - R_0/2, \nu, r)$ и $X_2(\mu + R_0/2, \nu, r)$ можно определить из соотношения

$$B_1(R_0\ \tau) = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} e_1^*(i\omega, R_0, t)\, e_2(i\omega, R_0, t-\tau)\, dt.$$

Отсюда, оставляя только действительную часть, найдем для корреляционной функции в случае немодулированного колебания

$$B_1(R_0, \tau) = \frac{f(x_1, y_1) f(x_2, y_2)}{2A(x_1, y_1, R_0) A(x_2, y_2, R_0)} \cos\left\{\omega\left[\tau - \frac{1}{c}(\varphi(x_1, y_1, R_0) - \varphi(x_2, y_2, R_0))\right]\right\}.$$

Для обеспечения высокой разрешающей способности РЛС по дальности в качестве зондирующих сигналов часто используют шумовые сигналы [1]. Если энергетический спектр $F(\omega)$ зондирующего сигнала определен с учетом [2], то взаимную корреляционную функцию $B_2(R_0; \tau)$ в случае шумовых зондирующих сигналов в двух каналах приема можно определить из соотношения [2]

$$B_2(R_0, \tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega)\, e_1^*(i\omega, R_0, t)\, e_2(i\omega, R_0, t)\, e^{i\omega\tau} d\omega, \tag{3}$$

где $e_1^*(i\omega, R_0, t) = e_1(-i\omega, R_0, t)$.

В случае, когда в качестве зондирующего сигнала используется узкополосный случайный процесс $\xi(t)$ с дисперсией, пропорциональной σ_ξ^2, полосой Δ и энергетическим спектром $F(\omega) = (2\pi/\Delta)\sigma_\xi^2 \exp[-(\omega-\omega_0)^2/\Delta^2]$, $\Delta \ll \omega_0$, соотношение (3) может быть представлено в виде

$$B_2(R_0, \tau) = \frac{\sigma_\xi^2 f(x_1, y_1) f(x_2, y_2)}{\Delta A(x_1, y_1, R_0) A(x_2, y_2, R_0)} \times$$

$$\times \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left\{-\frac{(\omega-\omega_0)^2}{\Delta^2} + i\omega\left\{\tau - \frac{1}{c}\left[\varphi(x_1, y_1, R_0) - \varphi(x_2, y_2, R_0)\right]\right\}\right\} d\omega,$$

откуда для действительной части найдем ([3], стр. 499)

$$B_2(R_0, \tau) = \frac{\sigma_\xi^2 \sqrt{\pi} f(x_1, y_1) f(x_2, y_2)}{A(x_1, y_1, R_0) A(x_2, y_2, R_0)} \exp\left\{-\frac{\Delta^2}{4}\left\{\tau - \frac{1}{c}\left[\varphi(x_1, y_1, R_0) -\right.\right.\right.$$

$$\left.\left.\left. - \varphi(x_2, y_2, R_0)\right]\right\}^2\right\} \cos\left\{\omega_0\left[\tau - \frac{1}{c}(\varphi(x_1, y_1, R_0) - \varphi(x_2, y_2, R_0))\right]\right\}.$$

Положив в (4) $\tau = 0$, получим функцию пространственной корреляции сигналов в каналах приема, отстоящих на расстояние R_0 друг от друга:

$$B_2(R_0, 0) = \frac{\sigma_\xi^2 \sqrt{\pi} f(x_1, y_1) f(x_2, y_2)}{A(x_1, y_1, R_0) A(x_2, y_2, R_0)} \exp\left\{-\frac{\Delta^2}{4c^2}[\varphi(x_1, y_1, R_0) -\right.$$

$$\left. - \varphi(x_2, y_2, R_0)]^2\right\} \cos\left\{\frac{\omega_0}{c}[\varphi(x_1, y_1, R_0) - \varphi(x_2, y_2, R_0)]\right\}.$$

Анализ полученного соотношения (4) показывает, что в случае, когда обнаружение объекта $D(x, y)$ на фоне отражений от подстилающей поверхности и местных предметов производится по максимуму функции взаимной корреляции [1], величина $\varphi(x_1, y_1, R_0) - \varphi(x_2, y_2, R_0)$ определяет смещение оценки местоположения препятствия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шелухин О. И. — Радиотехника, 1977, 32, № 10, с. 89
2. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника. — М: Сов. радио, 1966.
3. Градштейн И. С., Рыжик И. М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений — М, Наука, 1971.

Московский институт инженеров железнодорожного транспорта

Поступила в редакцию 15 ноября 1979 г., после доработки 1 августа 1980 г.