

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТРАЖЕННЫХ СИГНАЛОВ
ПРИ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ МЕСТНОСТИ
В БОРТОВОМ КОСМИЧЕСКОМ РАДИОЛОКАТОРЕ
С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ**

О.С. Бутенко

(представил д.т.н., проф. Д.В. Голкин)

Приводится методика и результаты расчета статистических пространственно-временных характеристик мешающих отражений и полезного сигнала в бортовом космическом радиолокаторе с синтезированной апертурой (БК РСА).

В отличие от известных результатов [1, 2, 3] при нахождении пространственно-временных характеристик отраженных сигналов будем комплексно учитывать специфику условий функционирования БК РСА, построения синтезированных апертур и телескопического режима обзора. С учетом этих особенностей пространственно-временную корреляционную функцию помехи будем рассчитывать по формуле

$$\Psi(t, t_1, \xi - \xi_1) = \iint \sum_n \dot{\Pi}_0 \left(t - nT_n - \frac{r(H, \alpha_i, \beta_i)}{c} \right) \sum_k \dot{\Pi}_0^* \left(t_1 - kT_n - \frac{r(H, \alpha_i, \beta_i)}{c} \right) \times \quad (1)$$

$$\times F_{\alpha}^2[\alpha_i - (\alpha_0 - \dot{\alpha}t)] \cdot \exp \left\{ -\frac{2\pi j}{\lambda} \cdot [(t - t_1) \cdot 2W_1\alpha_i + (\xi - \xi_1) \cdot \alpha_i] \right\} d\alpha_i d\beta_i,$$

где $\dot{\Pi}_0(\cdot)$ - комплексная огибающая одиночного импульса; * - знак комплексного сопряжения; F_{α} - диаграмма направленности антенны; $r(\cdot)$ - дальность действия РСА; \vec{W}_1 - составляющая вектора относительной скорости перемещения КА, лежащая в плоскости раскрыва антенны и определяющая спектр доплеровских частот, наблюдаемых при одной и той же задержке отраженных колебаний; α_i, β_i - параметры, учитывающие изменение углового положения i -го отражателя относительно перемещающейся в пространстве антенны; $\dot{\alpha} = \frac{W}{r}$ - скорость сканирования луча антенны при телескопической съемке; α_0 - угол отворота луча антенны от бокового направления.

Произведя замену переменных, получим

$$\Psi(t, t_1, \Delta\xi) = \iint_{\infty} \dot{\Pi}_0^*(\zeta) \sum_m \dot{\Pi}_0(t - mT_{\Pi} - t_1 + \zeta) \cdot F_{\alpha}^2[\alpha_i - (\alpha_0 - \dot{\alpha}t)] \times \exp\left\{-\frac{j2\pi}{\lambda} [(t - t_1)2W_1\alpha_i + \Delta\xi\alpha_i]\right\} d\zeta d\alpha_i. \quad (2)$$

Так как $\tau = t - t_1$ и $\sum_m \int \dot{\Pi}_0(\tau - mT_{\Pi} + \zeta) \dot{\Pi}_0^*(\zeta) = \Psi_1(\tau - T_{\Pi})$ - автокорреляционная функция одиночного зондирующего сигнала, то

$$|\Psi_{T_{\Pi}}(t, t_1, \Delta\xi)| = \sum_m \Psi_1(\tau - mT_{\Pi}) \times \int_{-\infty}^{\infty} F_{\alpha}^2[\alpha_i - (\alpha_0 - \dot{\alpha}t)] \cdot \exp\left\{-\frac{j2\pi}{\lambda} [2W_1\tau\alpha_i + \Delta\xi\alpha_i]\right\} d\alpha_i. \quad (3)$$

Поскольку преобразование Фурье от $F_{\alpha}^2[\cdot]$ является сверткой преобразований Фурье от функции $F_{\alpha}[\cdot]$, то

$$\Psi = \sum_m \Psi_1(\tau - mT_{\Pi}) \cdot E(2W_1\tau + \Delta\xi) \cdot \exp\left\{-\frac{j2\pi}{\lambda} (2W_1 + \Delta\xi) \cdot (\alpha_0 - \dot{\alpha}t)\right\}. \quad (4)$$

Воспользуемся двойным преобразованием Фурье. Применяя изложенную ранее методику, получим

$$\Phi_{T_{\Pi}}(\alpha, f) = \Phi_{\text{ф.л}}(\alpha, f) \otimes \Phi_{3c}(\alpha, f) \otimes \Phi_{\Pi}(\alpha, f) = F_{\alpha}^2(\alpha_{0_T} - \dot{\alpha}t - \alpha) \times \sum_m \Phi_0^2(mF_{\Pi}) \cdot \Phi_{\text{ф.л}}\left(f - \frac{2W_1 \text{Sin}\alpha}{\lambda} - mF_{\Pi}\right), \quad (5)$$

где \otimes - знак свертки; $\Phi_{\text{ф.л}}(\alpha, f)$ - двумерный спектр флуктуаций помехи; $\Phi_{3c}(\alpha, f)$ - двумерный спектр зондирующего сигнала; $\Phi_{\Pi}(\alpha, f)$ - спектр мешающих отражений.

Таким образом, получен двумерный спектр мощности, который является важной характеристикой мешающих отражений и представляет собой зависимость энергетического спектра от направления приема радиоволн в горизонтальной плоскости. Двумерный спектр мощности имеет гребенчатую структуру, обусловленную импульсным характером излучения (рис. 1). Положение гребней двумерного спектра мощности помехи на плоскости зависит от текущей ориентации луча БК РСА в процессе телескопической съемки. Выражение для детерминированной структуры полезного сигнала на входе произвольной точки приемной апертуры запишем в виде

$$S(t, \xi, \eta) = U_0 \iint_{\theta} E(\xi_1) E(\eta_1) \dot{\Pi}\left(t - \frac{r(H, t, \xi, \eta, \xi_1, \eta_1)}{c}\right) \exp\left\{j\frac{2\pi}{\lambda} r(t, \xi, \eta, \xi_1, \eta_1)\right\} d\xi_1 d\eta_1, \quad (6)$$

где $\mathbf{E}(\xi_1), \mathbf{E}(\eta_1)$ – амплитудно-фазовое распределение в излучающем раскрыве.

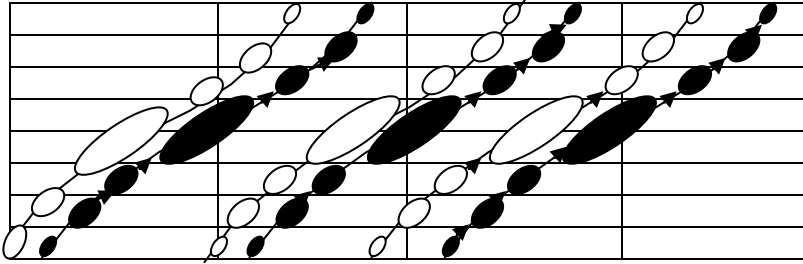


Рис. 1. Двумерный спектр мощности мешающих отражений и полезного сигнала

Пространственно-временную автокорреляционную функцию полезного сигнала определим как

$$\Psi_c(\tau, \Delta\xi, \Delta\eta) = \iint_{\xi \eta} \int_t \dot{S}(t, \xi, \eta) \dot{S}^*(t - \tau, \xi - \Delta\xi, \eta - \Delta\eta) dt d\xi d\eta. \quad (7)$$

С учетом особенностей телескопической съемки местности в результате вычислений получим

$$\begin{aligned} \Psi_c(\tau, \Delta\xi) = & \Psi_0 \int_{-\infty}^{\infty} F_{\alpha}^2(\text{Sin}\alpha_t - \text{Sin}(\alpha_0 - \dot{\alpha}t)) \times \\ & \times \exp\left\{-j \frac{2\pi}{\lambda} \left[\tau 2W_{\text{отн}} \text{Sin}(\gamma_{\text{отн}} - \alpha_t) + \right. \right. \\ & \left. \left. + \Delta\xi \text{Sin}\alpha_t \right]\right\} d\alpha_t, \end{aligned} \quad (8)$$

где α_t - текущее положение луча антенны; Ψ_0 - учитывает постоянные множители, получающиеся в результате замены переменных.

Кроме этого считаем, что Якобиан преобразования, как медленно меняющаяся функция по сравнению с функцией $F_{\alpha}^2(\text{Sin}\alpha_t - \text{Sin}(\alpha_0 - \dot{\alpha}t))$, равен *const*. С учетом последнего выражения получим следующее значение квадрата угло-частотного спектра полезного сигнала

$$\begin{aligned} G^2(\alpha, f) = & \iiint F_p^2(\text{Sin}\alpha_t - \text{Sin}(\alpha_0 - \dot{\alpha}t)) \times \\ & \times \exp\left\{-j \frac{2\pi}{\lambda} \left[\tau 2W_{\text{отн}} \text{Sin}(\gamma_{\text{отн}} - \alpha_t) + \right. \right. \\ & \left. \left. + \Delta\xi \text{Sin}\alpha_t + \Delta\xi \text{Sin}\alpha \right] - j2\pi f\tau \right\} d\alpha_t d\tau d\Delta\xi, \end{aligned} \quad (9)$$

где $\gamma_{\text{отн}}$ - угол ориентации вектора относительной скорости движения цели $\vec{W}_{\text{отн}} = \vec{V}_{\text{ц}} - \vec{W}_{\text{КА}}$ в траектории движения РЛС; W - относительная

скорость движения КА.

$$\text{Учтем, что } \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left\{-j \frac{2\pi}{\lambda} \Delta \xi (\text{Sin} \alpha_t + \text{Sin} \alpha)\right\} d\Delta \xi = \delta(\text{Sin} \alpha_t + \text{Sin} \alpha).$$

Следовательно, интегрируя (9) с использованием фильтрующих свойств δ -функций, получим

$$G^2(\alpha, f) = F_p^2(\text{Sin} \alpha) \delta\left(f - \frac{2W}{\lambda} \text{Sin}(\gamma - \alpha_t)\right), \quad (10)$$

где $F_p^2(\cdot)$ - диаграмма направленности реальной антенны.

Для пачки зондирующих импульсов запишем

$$G_T^2(\alpha, f) = F_p^2(\text{Sin} \alpha - \text{Sin}(\alpha_{0_T} - \dot{\alpha} t)) \Phi_0^2(f) \times \\ \times \sum_k \Phi_{\phi, \lambda} \left[f - \frac{2W_{\text{отн}}}{\lambda} \text{Sin}(\alpha - \gamma_{\text{отн}}) - k F_{\Pi} \right].$$

Из сравнения результатов (5) и (10) можно сделать следующие выводы. Двумерные спектры мощности помехи и полезного сигнала имеют одинаковую структуру, зависящую от текущего положения луча БК РСА при телескопической съемке. Их отличие состоит в смещении гребней двумерного спектра мощности полезного сигнала по оси частот на величину, пропорциональную доплеровскому смещению частоты полезного сигнала $2V_r / \lambda$, а также в небольшом изменении наклона гребней двумерного спектра мощности полезного сигнала (рис. 1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Фалькович С.Е., Пономарев В.И., Шкварко Ю.В.. Оптимальный прием пространственно-временных сигналов в радиоканалах с рассеянием. – М.: Радио и связь, 1989. – С. 129 - 133.
2. Справочник по радиолокации. / Под ред. М. Скольника. – М.: Сов. радио, 1977. – Т.1. – 443 с.
3. Фельдман Ю.И., Гидаспов Ю.Б., Гомзин В.Н. Сопровождение движущихся целей. – М.: Сов. радио, 1978. – С. 53 - 69.

Поступила в редколлегию 25.09.2000