

Оценка вероятностных характеристик обнаружения движущихся целей на изображениях космического радиолокатора дистанционного зондирования Земли

О.В. Горячкин^{1,2}, А.В. Борисенков¹

¹Институт систем обработки изображений РАН - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Молодогвардейская 151, Самара, Россия, 443001

²Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34а, Самара, Россия, 443086

Аннотация

В докладе рассматривается методика оценки вероятностных характеристик обнаружения цели по радиолокационным изображениям космического радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА), работающего в режиме селекции движущихся целей (СДЦ).

Ключевые слова

Радиолокатор с синтезированной апертурой, селекция движущихся целей, вероятность правильного обнаружения, вероятность ложной тревоги

1. Введение

В последние годы в космических системах дистанционного зондирования Земли нашли применение технологии обнаружения движущихся целей. В основе этой технологии метод радиолокационной интерферометрии вдоль пути [1]. Информационные возможности данной технологии могут быть описаны вероятностными характеристиками обнаружения движущихся целей на радиолокационных изображениях (РЛИ). В докладе рассматривается методика расчета этих характеристик, а также влияние на эти тактические параметры различных факторов.

2. Оценка вероятностных характеристик обнаружения движущихся целей

Рассмотрим случай космической РСА, работающей в режиме СДЦ [1,2]. Типовой расчет основных ТТХ РСА в режиме наблюдения неподвижных целей предполагает оценку мощности сигнала, отраженного от точечной цели по следующим формулам

$$P_u = \frac{\lambda^2 G^2 P_{im} B N_s \sigma}{(4\pi)^3 R^4 L_n}, \quad N_s = \frac{R\lambda}{2\Delta x^2}, \quad R = \sqrt{(R_e + H_0)^2 + R_e^2 - 2(R_e + H_0)R_e \cos(\alpha)},$$

где, P_{im} -импульсная мощность РСА, G - коэффициент усиления антенны, B - база сигнала, N_s -длина синтезированной апертуры в отсчетах, σ - ЭПР цели, R - расстояние до цели, L_n -коэффициент потерь в тракте и атмосфере, R_e - радиус Земли, H_0 - высота полета КА.

Пусть V_r - радиальная составляющая, V_t - тангенциальная составляющая вектора скорости движущейся цели, которая на РЛИ смещается по путевой дальности и по наклонной дальности. Кроме этого, РЛИ цели расфокусируется по азимутальной координате на величину, пропорциональную $|V_t|$, при этом амплитуда отметки цели уменьшается на значение, пропорциональное $1/|V_t|$. Амплитуда отметки цели и отношение сигнал-шум равны

$$i(V_t) \approx 2 \int_0^{T_s/2} \cos(\omega_0 \beta t^2) dt, \quad \frac{P_{u1}}{P_{n1}} = \frac{P_u |1 - \exp(j\Delta\psi)|^2}{2P_n} \quad (1)$$

В последнем выражении мы учитываем, что в элементе разрешения сигналы неподвижного фона компенсируются, однако шумы в независимых каналах приема складываются. Вероятности правильного обнаружения цели и вероятности ложной тревоги определим, воспользовавшись следующими известными выражениями [3]

$$p_{\text{am}} = \exp\left(-\frac{h^2}{2}\right), \quad p_{\text{no}} = \int_0^h t I_0(\sqrt{qt}) \exp\left(-\frac{(t^2 + q)}{2}\right) dt, \quad (2)$$

где q - отношение сигнал-шум, h - модифицированный порог обнаружителя.

При обнаружении цели на динамичном фоне, например, взволнованной морской поверхности или колеблющейся на ветру растительности, необходимо учесть, что вычитаемые РЛИ не содержат стационарных элементов, поэтому в анализе необходимо учесть фон. Формула для отношения сигнал шум примет вид

$$\frac{P_{y2}}{P_{n2}} = \frac{P_y |1 - \exp(j\Delta\psi)|^2}{2P_n + 2P_f}, \quad (3)$$

где P_f - мощность сигналов, отраженных от морской поверхности, $\Delta\psi$ - интерферометрическая фаза.

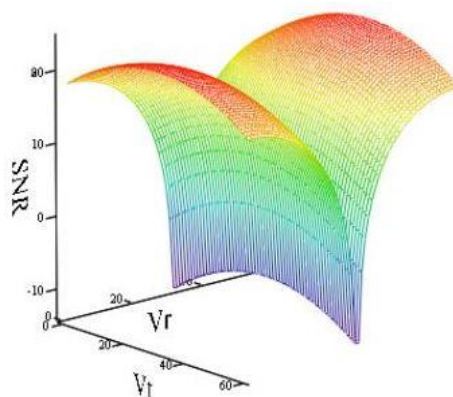


Рисунок 1: Отношение сигнал-шум в канале СДЦ [дБ] в зависимости от $V_r \in [-30, 30]$ [м/с], $V_t \in [-30, 30]$ [м/с], при наблюдении цели с ЭПР $\sigma = 3 \text{ м}^2$, базе интерферометра 2 м, высота орбиты КА 640 км, пространственное разрешение 6 м

3. Заключение

Вероятностные характеристики обнаружения зависят от алгоритма обработки, базы интерферометра, ориентации и значения вектора скорости цели, геометрии съемки. Например, канал СДЦ РСА КА типа TerraSAR-X потенциально обеспечивает обнаружение малоразмерных движущихся целей в диапазоне скоростей 15...30 м/с с вероятностью p_{no} не хуже 0.7 при $p_{\text{am}} = 0.001$.

4. Литература

- [1] Pascazio, V. Moving target detection by along-track interferometry / V. Pascazio, G. Schirinzi, A. Farina // Proc. IGARSS. – 2001. – P. 3024-3026.
- [2] Верба, В.С. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / В.С. Верб, Л.Б. Неронский, И.Г. Осипов, В.Э. Турук. – М.: Радиотехника, 2010. – 680 с.
- [3] Горячкин, О.В. Лекции по статистической теории систем радиотехники и связи. – М.: Радиотехника, 2008. – 192 с.