

Погрешность определения вектора скорости по радиолокационным изображениям цели методом продольной интерферометрии

О.В. Горячкин^{1,2}, А.В. Борисенков¹, Н.А. Гусев²

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 предлагается метод измерения полного вектора скорости движущейся цели по радиолокационным изображениям космического радиолокатора с синтезированной апертурой. Для данного метода получены аналитические выражения погрешности измерения тангенциальной и радиальной составляющей скорости движущейся цели.

Ключевые слова

Радиолокационное изображение, продольная интерферометрия, полный вектор скорости

1. Введение

В настоящее время в радиолокационных системах дистанционного зондирования Земли широко применяется режим селекции движущихся целей (СДЦ). Для реализации этого режима применяется метод интерферометрии вдоль пути, который предполагает синхронное получение серии изображений (не меньше двух) вдоль траектории движения носителя радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА). В процессе анализа данного режима обычно интересуются вероятностными характеристиками обнаружения движущихся целей на радиолокационных изображениях (РЛИ). Это объясняется тем, что классический метод позволяет обнаруживать только цели, движущиеся в радиальном направлении. В докладе рассматривается задача обнаружения движущихся целей и измерения их полного вектора скорости. Для решения этой задачи предлагается использовать автоматическую локальную дофокусировку разностного изображения движущейся цели.

2. Погрешность определения вектора скорости по радиолокационным изображениям цели

Рассмотрим случай двухканального космического РСА при работе по движущейся в пространстве цели. Данная проблематика рассмотрена в литературе [1-3]. Опишем движение цели двумя составляющими вектора скорости: V_r - радиальной составляющей и V_t - продольной (тангенциальной) составляющей, в плоскости, в которой лежит вектор наклонной дальности до цели и V - вектор скорости космического аппарата (КА). Как хорошо известно, изображение движущейся цели отличается от РЛИ неподвижной цели. Появление на РЛИ движущейся по поверхности Земли цели приводит к следующим последствиям: 1) РЛИ движущейся цели смещается по путевой дальности на величину $R_0 V_r / V^2$ (R_0 - наклонная дальность); 2) РЛИ движущейся цели смещается по наклонной дальности на величину $R_0 V_r^2 / 2V^2$ вследствие миграции дальности; 3) РЛИ движущейся цели расфокусируется по азимутальной координате

на величину, пропорциональную $|V_t|$. В отличие от [2], разность фаз двух изображений в элементе разрешения для движущейся цели может быть описано следующим образом

$$\Delta\varphi(0, \sigma_0) = \frac{2V_r}{c}(\Delta\theta) + \frac{2(V + V_t)^2}{c^2\sigma_0}\Delta\theta^2, \quad \Delta\theta = \frac{d}{V}. \quad (1)$$

Полученные выражения позволяют предложить метод измерения полного вектора скорости движущейся цели в виде: 1) регистрации фазоразностного РЛИ; 2) обнаружения движущихся целей; 3) дофокусировка фрагментов РЛИ, содержащих отметки движущихся целей. Для восстановления полного вектора скорости необходим знак тангенциальной составляющей скорости. Знак быть оценен по косвенным признакам (плывущий корабль с кильватерным следом, автомобиль на дороге или поезд в пути). Погрешность оценки полного вектора скорости точечной цели описывается следующими выражениями (P_{n1} - мощность аддитивного шума на одном РЛИ, P_{y1} - мощность сигнала точечной цели):

$$\sigma_{V_r} = \frac{\lambda V}{4\pi d} \sqrt{\frac{P_{n1}}{P_{y1}}}, \quad \sigma_{V_t} = \sqrt{\frac{P_{n1}}{P_{y1} \frac{d^2}{dV_t^2} \left(\left| \dot{i}(V_t) \right| \right) \Big|_{V_t=0}}}} \quad (2)$$

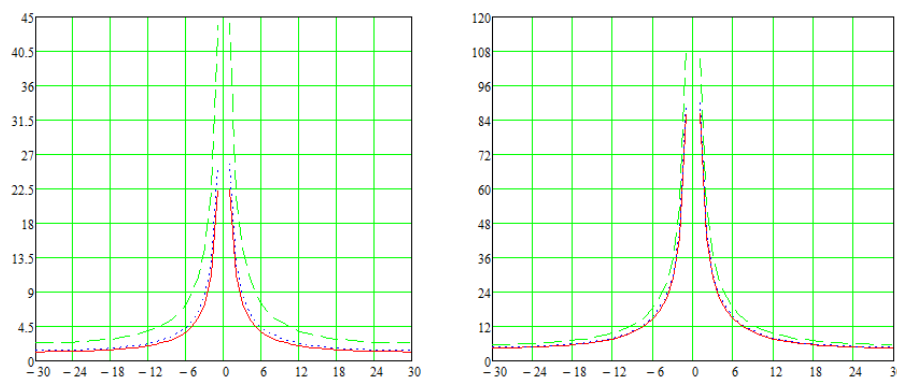


Рисунок 1: Зависимость с.к.о. оценки V_r (слева) и V_t (справа) полного вектора скорости движущейся цели от значения V_r в [м/с] при различном угле визирования цели 20° , 30° , 50° для высоты КА 640 км (пространственное разрешение 6м, база $d=2$ м)

3. Заключение

К особенностям предлагаемого метода необходимо отнести невозможность непосредственного измерения знака тангенциальной составляющей. Кроме этого, метод может дать искаженную оценку тангенциальной составляющей в случае, когда априорное предположение о точечном характере отражающего объекта неверно. Тем не менее, когда оценка вектора скорости возможна, точность оценки тангенциальной составляющей скорости оказывается в 3...5 раз хуже, чем точность оценки радиальной составляющей. Например, для перспективного КА типа TerraSAR-X погрешность оценки радиальной составляющей 2-5 м/с, тангенциальной составляющей 6-18 м/с, если цель движется со скоростью больше 5 м/с.

4. Литература

- [1] Chiu, S. Clutter effects on ground moving target velocity estimation with SAR along-track interferometry // Proc. IGARSS. – 2003. – P. 1314-1319.
- [2] Верба, В.С. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / В.С. Верба, Л.Б. Неронский, И.Г. Осипов, В.Э. Турук. – М.: Радиотехника, 2010. – 680 с.
- [3] Hou, Y. An automatic SAR-GMTI algorithm based on DPCA/ Y. Hou, J. Wang, X. Liu, K. Wang, Y. Gao // Proc. IGARSS. – 2014. – P. 592-595.