

## НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В.М. Коновалов

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

*Дан обзор основных характеристик зарубежных космических радиолокаторов бокового обзора с синтезированной апертурой антенны. Показано, что эффективность этих систем в значительной степени определяется повышением разрешающей способности получаемых радиолокационных изображений и оперативностью получения информации.*

**Введение.** В настоящее время наиболее информативным радиолокационным средством дистанционного зондирования земли является космические радиолокаторы бокового обзора с синтезированной апертурой антенны (РСА). Практическое использование информации, получаемой с помощью РСА, позволяет решать широкий круг задач. К основным задач относятся [1, 2]:

- геологические исследования;
- определение динамики снежных и ледовых покровов;
- выявление процессов техногенного характера;
- мониторинг океана;
- обеспечение поисково–спасательных работ;
- составление цифровых топографических карт;
- ведение земельного кадастра;
- военно–прикладные задачи;
- научные исследования;
- экологический мониторинг;
- сельскохозяйственный мониторинг;
- мониторинг лесных массивов и др.

По этой причине в последние годы особое внимание уделяется радиолокационным изображениям (РЛИ) земной поверхности высокого разрешения, получаемых с помощью РСА.

**Анализ публикаций.** Создание РСА с разрешением до 1 – 5 м связано с повышением качества радиолокационных систем (увеличение размеров бортовых антенн, повышение энергетических характеристик

передающих устройств, улучшение качества приемных устройств и др.), а также построение принципиально новых систем синтеза РЛИ, позволяющих устранить нелинейности в форме отраженного сигнала в сочетании с постоянно возрастающими объемами обрабатываемой информации. Качество и необходимая оперативность получения РЛИ определяется аппаратно-программными средствами цифровой обработки зондирующего сигнала.

Из анализа литературы [3, 5] видно, что большое внимание уделяется разрешению изображений по дальности и по азимуту, устранению в изображениях «спекл» – шума, шириной охвата и оперативности получения информации.

**Основная часть.** Одни из основных технических параметров РСА является разрешающая способность получаемых РЛИ. В табл. 1 приведены основные характеристики зарубежных РСА.

Таблица 1

Основные характеристики зарубежных РСА

ИСЗ, страна	Высота разведки, км	Ширина полосы обзора, км	Линейное разрешение, м	Точность определения координат, км	Диапазон частот, МГц	Угол визирования антенны, град
ERS (ЕСА)	780	250	25	2 – 3	5300	23
Лакросс (США)	680	1000	20	1 – 3	9850	30
Радарсат (Канада)	790	800	55; 100; 500	1 – 2	5300	20-49
Алмаз-1В (Россия)	350	150	20	10	3000	–
«Джерс» (Япония)	570	90	18	2 – 3	1275	35

Антенна радиолокатора, установленного на ИСЗ, в соответствии с диаграммой направленности высвечивает на земной поверхности радиолокационное пятно с размерами в направлении осей азимута  $a$  и дальности  $d$  (рис. 1). Передающая излучает зондирующие импульсы  $u_x = U_x \cos \omega t$ , в виде коротких простых длительностью  $T_d$ , строго фиксированных по частоте и начальной фазе или в виде длинных сложных модулированных сигналов длительностью  $t_{\text{И}}$ , подлежащих последующему сжатию до величины  $T_d$ .

РСА ИСЗ в моменты времени  $t_{-n/2}, t_0, t_{n/2}$  с интервалом  $\Delta t_a = T_a$  излучает зондирующий непрерывный сигнал фиксированной по частоте:

$$u_x = U_x \cos \omega t,$$

где  $\omega$  – несущая частота;  $U_x$  – амплитуда сигнала.

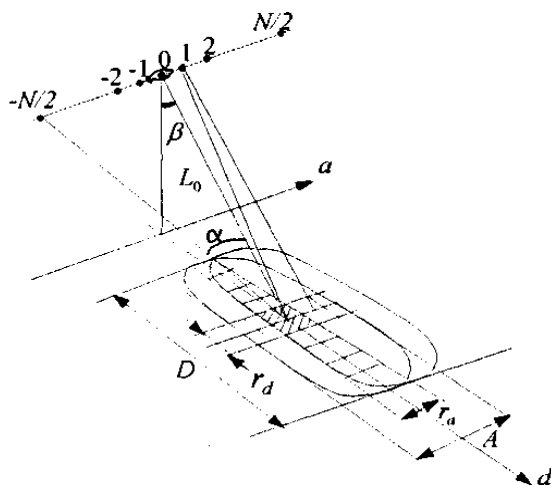


Рис. 1. Принцип работы РСА

Информация о РЛИ поверхности земли содержится в амплитуде  $U$  и фазе  $\varphi$  отраженного сигнала:

$$u_y = U_y \cos (\omega t + \varphi).$$

Для разрешения по азимуту земную поверхность целесообразно зондировать несколькими импульсами:  $u_{\xi \eta} = \{u_{\xi(-n/2)}, \dots, u_{\xi(0)}, \dots, u_{\xi(n/2)}\}$  посылаемые с временным интервалом  $T_a$  в моменты времени  $(-n/2), \dots, (0), \dots, (n/2)$ , где  $n$  – размер радиолокационного пятна по азимуту.

Радиолокационное пятно смещается за РСА ИСЗ в направлении его движения, а отраженные сигналы несут информацию о смещении полюсов изображения, разрешенных по дальности.

Множество отраженных сигналов целесообразно записывать в виде матрицы размером  $N \times M$ . С помощью этой матрицы можно получить один столбец изображения. Для получения РЛИ размером  $M \times K$  радиоголограмма должна быть расширена до размера  $(N + K) \times M$ . Для неперенацеливаемой диаграммы направленности антенны длина синтезированной апертуры совпадает с азимутальным размером пятна радиояркости (рис. 1). А для перенацеливаемой антенны – может быть в несколько раз больше.

Таким образом, после обработки каждой  $m$ -й строки матрицы можно получить  $m$ -ю строку изображения с заданным разрешением по азимуту.

Для получения разрешения по дальности используют принцип разделения по времени. Излучаемый зондирующий сигнал  $u_{x0}$  заменяют короткими отрезками синусоидального сигнала с фиксированной частотой и начальной фазой. В этом случае отраженный сигнал можно записать в виде последовательно отрезков:

$$u_{y0} = \left\{ u_{y0}^{(-m/2)}, \dots, u_{y0}^{(0)}, \dots, u_{y0}^{(m/2)} \right\},$$

где  $m$  – размер радиолокационного пятна по дальности.

Каждый из этих отрезков  $u_{y0}$  соответствует прохождению фронта волны зондирующего сигнала через  $m$ -ю полосу земной поверхности и содержит информацию о РЛИ этой полосы, т.е. информация о РЛИ поверхности земли содержится в амплитуде  $U$  и фазе  $\varphi$  отраженного сигнала. Величины  $U_{y0}^0, U_{y0}^1, \dots$  считаются элементами изображения с разрешением по дальности, в тоже время разрешение по азимуту остается равным  $A$  (рис. 1).

**Выводы.** В РЛИ, полученных с помощью РСА, разрешение изображения по дальности достигается за счет разделения отраженного сигнала по времени с соответствующим периодом дискретизации, а по азимуту – обработкой отраженного сигнала с помощью линейного согласованного фильтра.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Спутники радиолокационного зондирования Земли. Прил. №1 к Ежегоднику «Спутниковые системы связи и вещания».* – М.: Радиотехника, 2000. – 82 с.
2. *Radarsat. Special issue. Canadian Journal of Remote Sensing.* – Vol. 19, № 4, Nov. – Dec. – 1993.
3. *Kramer H.J. Observations on the Earth and its Environment. Survey of Missions and Sensors. 3-rd enlarged Edition. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 1996.*
4. *New Views of the Earth. Scientific Achievements of ERS-1 // European Space Agency.* – Gilford, UK: ESYS Ltd, 1995. – 162 p.
5. *Попов М.О. Шляхи отримання космічної інформації в інтересах національної безпеки та оборони // Наука і оборона.* – 2003. – № 2. – С. 38 – 50.

Поступила 18.11.2004

**КОНОВАЛОВ Валерий Михайлович**, старший научный сотрудник Объединенного научного исследовательского института Вооруженных Сил. Область научных интересов – обработка радиолокационных снимков.