

**Критерий качества радиолокационного
изображения когерентных систем
дистанционного зондирования**

**О. В. Сытник, А. В. Кабанов, В. Б. Ефимов,
А. С. Курекин, В. Н. Цымбал**

Центр радиофизического зондирования Земли НАН и НКА Украины
им. А. И. Калмыкова, Харьков

Радиолокационные станции с синтезированием апертуры антенны (РСА) находят широкое применение при решении различных научных и практических задач. РСА позволяют получать радиолокационное изображение земной поверхности и расположенных на ней объектов независимо от времени суток, уровня освещенности, облачности, осадков и других факторов, мешающих работе оптических систем наблюдения. Принцип действия РСА основан на использовании перемещения бортовой антенны локатора вдоль линии полета и одновременной записи когерентных импульсных сигналов для последующего формирования антенной решетки больших размеров [1]. Интенсивность сигнала на выходе такой «фиктивной» антенной решетки, представленная в координатах азимут—дальность и есть радиолокационное изображение подстилающей поверхности.

Отличие реальной траектории от модели приводит к ошибкам при воспроизведении радиолокационных изображений. Так, например, ошибки в положении координаты носителя приводят к общему смещению изображения, и как результат — к ошибкам целеуказания. Ошибка в скорости приводит соответственно к расфокусировке изображения (т. е. потере разрешающей способности) и снижению потенциала РСА в целом. Ошибки по ускорению движения делают синтезированную диаграмму направленности (ДН) антенны несимметричной, приводят к росту уровня боковых лепестков синтезированной ДН антенны, снижению потенциала и расфокусировке изображения [3].

Само понятие «качество изображения» в значительной мере зависит от назначения радиолокационной системы и от требований к решению конкретных радиофизических задач. Так, для локатора, предназначенного для работы с пространственно-распределенными целями, важнейшим показателем

качества являются величина и количество градаций яркости, различимых на изображении (контрастно-фоновая чувствительность). Локатор, решающий задачи целеуказания, должен иметь возможность получать снимки поверхности с предельным пространственным разрешением контрастных целей на однородном фоне. Задачи картографирования требуют минимальных ошибок смещения и геометрических искажений объектов на изображениях. Легко видеть, что эти требования противоречивы. С другой стороны, разработка и создание узкоспециализированных РСА-систем оказывается экономически неоправданным. В особенности это относится к системам космического базирования.

Поэтому целесообразно создание технических средств дистанционного зондирования подстилающей поверхности многофункционального профиля и оптимизация цифровой обработки с учетом специфики конкретных прикладных задач. Информативность таких систем исследовалась, в частности, в работе [2]. Однако такой подход не дает ответа на вопрос относительно оптимальности собственно изображений. В докладе обсуждаются пути построения обобщенных критериев, в которых увязаны характеристики системы наблюдения, характеристики платформы носителя РСА и параметры радиолокационного изображения.

Анализ различных радиолокационных изображений подстилающих поверхностей, полученных различными РСА-системами, показывает, что для большинства практически важных задач по тематической обработке изображений необходимо учитывать не более четырех-пяти факторов, характеризующих многомерные функции неопределенности радиолокационных систем. В частности, это:

1) разрешающая способность локатора δ_{az} по контрастным точечным целям в азимутальной плоскости;

2) отношение $P_{ml/sl}$ мощности сигнала принятого по главному лепестку синтезированной ДН к мощности сигналов по боковым лепесткам (способность системы различать радиолокационные контрасты);

3) максимальный уровень боковых лепестков P_{sl} (характеристика повторов или пятнистости изображения);

4) искажения формы главного лепестка синтезированной ДН, выраженные средней квадратичной ошибкой σ_{ml} по отношению к неискаженной ДН.

Совместно эти показатели можно рассматривать как некоторый обобщенный критерий качества. На его основе введем функцию цели оптимизационной задачи, где показатели критерия выступают в качестве параметров: $Q(\delta_{az}, P_{ml/sl}, P_{sl}, \sigma_{ml})$. В простейшем случае зависимость этой функции от параметров можно выразить в следующем виде:

$$Q = \frac{\gamma_1 P_{ml/sl}}{\gamma_2 \delta_{az}' + \gamma_3 P_{sl}' + \gamma_4 \sigma_{ml}'}, \quad (1)$$

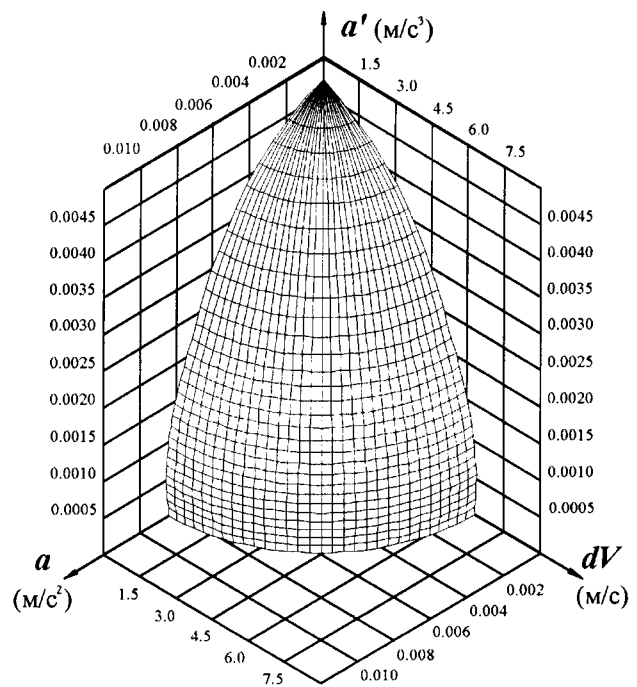
где штрихом отмечены нормированные к потенциальному значению величины соответствующего показателя критерия, а коэффициенты γ , $i = 1 \dots 4$ определяют вес каждого показателя.

Таким образом, решение параметрической оптимизационной задачи сводится к максимизации функции (1) по ее параметрам. С другой стороны каждое значение функции (1) для фиксированных параметров δ_{az} , $P_{ml/sl}$, P_{sl} , σ_{ml} есть совокупность требований к алгоритму обработки, аппаратуре, системе стабилизации и измерения параметров движения носителя РСА.

Максимизация целевой функции (1) путем выбора вида опорной функции и перебора ее параметров позволяет еще на этапе проектирования РСА построить поверхности допустимых траекторных ошибок с учетом требований конкретных задач обработки сигналов. Причем каждая точка на этих поверхностях будет соответствовать локальному экстремуму целевой функции (1), ограничивающему предельно допустимые неучтенные ошибки в оценке параметров движения платформы.

Для иллюстрации сформирована поверхность допустимых ошибок при следующих значениях параметров: скорость $v = 180.0$ м/с, наклонная дальность $r = 15000$ м, длина волны $\lambda = 1.8$ м и требованиях $\delta_{az} = 8.3$ м, $P_{ml/sl} = -6$ дБ, $P_{sl} = -20$ дБ, $\sigma_{ml} = 2.0$ м, целевой функции (1) при $\gamma_i = 1$ и весовой функции Хэмминга в системе координат «скорость dV , ускорение a , производная от ускорения a' » (рисунок).

Таким образом, для каждой системы дистанционного зондирования при фиксированных точностях измерителей параметров движения платформы носителя РСА возможно получение заданных харак-



Поверхность максимально допустимых ошибок

теристик результирующего изображения и оптимизация их с учетом требований конкретных радиолокационных задач. Однако рассмотренный подход позволяет решать и обратную задачу оценки потенциальных возможностей многофункциональной системы дистанционного зондирования еще на этапе ее проектирования, а также обоснованно формулировать требования к системам стабилизации платформы и измерения дестабилизирующих факторов. Кроме того, при разработке алгоритмов синтезированной апертуры, предназначенных для работы в реальном масштабе времени на борту носителя РСА, возможно задание поверхностей допустимых ошибок в табличном виде в память бортового компьютера в качестве критерия, что позволит организовать автоматическое переключение режимов работы локатора в зависимости от выполняемой в данный момент задачи и условий полета.

1. Антипов В. Н., Горяинов В. Т., Кулин А. Н. и др. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны. — М.: Радио и связь, 1988.
2. Калмыков А. И., Сеницын Ю. А., Сытник О. В., Цымбал В. Н. Информативность радиолокационных систем зондирования земли из космоса // Изв. Вузов СССР. Радиофизика.—1989.—32, № 9.—С. 1055—1062.
3. Томиясу К. Радиолокационные станции с синтезированием апертуры и их применение для отображения поверхности океана // ТИИЭР.—1978.—66, № 1.—С. 40—67.