

## ОБ ИССЛЕДОВАНИИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

© 2018 С. М. Логвиненко, В. Н. Кострова, Н. А. Коростелева

*Воронежский институт высоких технологий (г. Воронеж, Россия)  
Воронежский государственный технический университет (г. Воронеж, Россия)  
Открытое акционерное общество «Воронежский завод  
полупроводниковых приборов-сборка» (г. Воронеж, Россия)*

*Проблема оценки когерентности заключается в ее зависимости от фазового уклона, обусловленного рельефом, при рассмотрении топографической фазы. В данной статье при исследовании радиолокационных изображений земной поверхности предложен метод подавления влияния топографической фазы.*

*Ключевые слова: радиолокационное изображение, фаза, интерферометрия.*

Обработка интерферометрических данных для извлечения информации о рельефе Земли и его изменениях становится одним из общих ориентиров в развитии современных космических радиолокационных систем наряду с реализацией режимов сверхвысокого пространственного разрешения (1-3 метра) и полнополяриметрической обработки.

Метод космической радиолокационной интерферометрии предполагает совместную обработку фазовых полей, полученных при одновременном рассеянии на местности с двумя антеннами или при не одновременном рассеянии с одной антенной, перемещаемой по двум различным параллельным орбитам.

Этот метод сочетает высокую точность фазовых измерений с высоким разрешением технологии синтетических апертурных радаров (SAR).

Технология дифференциальной SAR-интерферометрии (InSAR) позволяет получать карты изменения высот между радиолокационными проходами.

Этапы интерферометрической обработки реализуются в специализированных программных комплексах для обработки данных дзз, таких как SARscape, IMAGINE Radar Mapping, Photomod Radar, RadarTools.

---

Логвиненко Сергей Михайлович – Воронежский институт высоких технологий, студент, krugozwoty0031@yandex.ru.

Кострова Вера Николаевна – Воронежский государственный технический университет, д. т. н., профессор, kost\_3\_veranikol@yandex.ru.

Коростелева Наталья Александровна – Открытое акционерное общество «Воронежский завод полупроводниковых приборов-сборка», сотрудник, koerolostor99\_34@yandex.ru.

Поэтому можно говорить об информационных технологиях (ИТ) генерации цифровых моделей рельефа (ЦМР) по данным дистанционного зондирования.

Однако для практического применения этих технологий, необходимо преодолеть ряд серьезных проблем.

Двумя общими проблемами интерферометрии являются временная и пространственная декорреляция полученных данных и задача фазового разворачивания, т. е. восстановления абсолютной фазовой информации из относительной фазы, которая находится в  $[-\pi, \pi]$ -интервале.

Другим важным направлением исследований в радиолокационной интерферометрии является выбор наиболее эффективных алгоритмов обработки и получение экспериментальных оценок генерируемой точности ЦМР.

В статье рассматривается первая из перечисленных проблем-декорреляции данных (суммарной временной и пространственной) и ее оценке.

Интерферометрическая когерентность является важным показателем пригодности сцены данных, полученных радиолокационной системой дистанционного зондирования, для дальнейшей обработки и решения конечной задачи, т. е. формирования цифровой модели рельефа или карты изменений рельефа.

Коэффициент когерентности вычисляется как абсолютное значение коэффициента корреляции между образцами двух сложных радиолокационных изображений (однослойного комплекса данных, SLC), полученными в локальных окнах:

$$\hat{\gamma}_0 = |\hat{\rho}_0| = \frac{\sum \dot{z}_1(m, n) \cdot \bar{z}_2(m, n)}{\sqrt{\sum |\dot{z}_1(m, n)|^2 |\bar{z}_2(m, n)|^2}}, \quad (1)$$

где  $z_{1(2)}(m, n)$  - образцы ( $\bar{z}_{1(2)}(m, n)$ ) являются комплексно-сопряженными образцами),  $\hat{\gamma}_0$  принимает значения в интервале  $[0, 1]$ , близкие к нулю значения соответствуют областям высокой или полной декорреляции, которые не подходят для обработки интерферометрических данных.

Значения выше 0,5 означают хорошую корреляцию данных. Однако этот подход влечет за собой некоторые проблемы, потому что на самом деле здесь оценивается случайная величина, а не случайный процесс.

Таким образом, любой этап погрешности, обусловленные как естественной изменением топографии и геометрии (радиолока-

ционных систем бокового рассеяния конфигурации) приводят к деградации оценки (1).

Ее значение зависит от уклона и стремится к значению  $|\rho_{12}(N)| \rho = 0, i.e.$

Смещение оценки для независимых Гауссовских значений коэффициента корреляции (N-число выборок) на практике принимает значение около 0,1–0,3.

Таким образом, когерентность теряет свои свойства как мера качества интерферограммы, ее значение становится зависимым от соотношения топографической и флуктуационной составляющих фазы.

Для устранения описанного выше дефекта может быть предложена следующая модификация оценки когерентности с учетом влияния топографической составляющей.

Модифицированная когерентность оценивает не выборки  $z_1(m, n)$  и  $z_2(m, n)$  пары SLC-изображение, а следующие значения:

$$\dot{\omega}_1(m, n) = \dot{z}_1(m, n) \cdot \bar{z}_1(m+1, n), \dot{\omega}_2(m, n) = \dot{z}_2(m, n) \cdot \bar{z}_2(m+1, n), \quad (2)$$

где новые фазовые значения  $\omega_1(m, n)$  и  $\omega_2(m, n)$  будут характеризовать наклон топографической фазы в направлении роста координаты  $m^{\text{th}}$  изображения.

Таким образом, эта операция выполняет фазовую оценку по одной координате.

Аналогично можно использовать градиенты вдоль N-й координаты. Выражение для оценки когерентности с использованием значений (2) выглядит следующим образом:

$$\hat{\gamma}_1 = \frac{\sum \dot{\omega}_1(m, n) \cdot \bar{\omega}_2(m, n)}{\sqrt{\sum |\dot{\omega}_1(m, n)|^2 \cdot |\bar{\omega}_2(m, n)|^2}}. \quad (3)$$

Хотя эта оценка не является Гауссовой, она информативна, и можно показать, что она нечувствительна к линейному фазовому тренду.

Протестируем работу алгоритмов оценки когерентности данных RADARSAT-1 (длина волны 56 мм).

Дифференциальная фаза сигнала для данного фрагмента имеет наклон в горизон-

тальном направлении порядка 0,3 радиана на образце.

Использование модифицированной оценки (рис. 1b) характеризуется хорошей чувствительностью к типу поверхности. Однако оценка имеет больший уклон при низких значениях, чем  $\hat{\gamma}_0$ , и, таким образом, требует увеличения значения выборки в направлении к  $\hat{\gamma}_0$  (рис. 1a, 1b).

Даны предложения по модификации методики оценки пространственной когерентности пар интерферометрических радиолокационных изображений.

При этом осуществляем вычисление корреляции среди пар комплексных соседних элементов, которые умножаются друг на друга.

Показано, что модификация алгоритма дает возможности для решения задачи оценки деградации при дифференциальном фазовом тренде, которая всегда имеет место в радиолокационных системах бокового рассеяния.

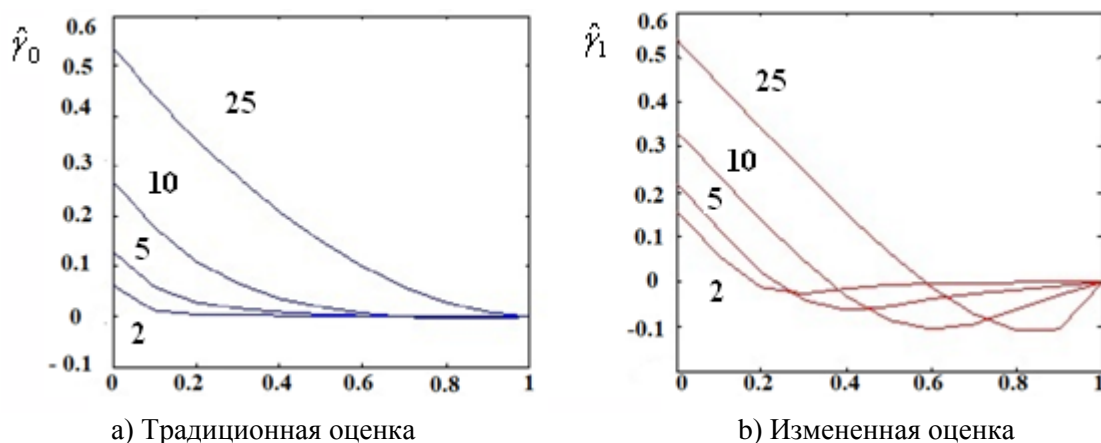


Рисунок 1. Оценки согласованности смещений для различных размеров выборки ( $n=2, 5, 10, 25$ ).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Gaber A. Near-Surface Imaging of a Buried Foundation in the Western Desert, Egypt, Using Space-borne and Ground Penetrating Radar / A. Gaber, M. Koch, M. Gereish, S. Motoyuki, F. El-Baz // J. Archaeol. Sci. – 2013. – V. 40, 1946-1955.

2. Jenson S. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographical information system analysis / S. Jenson, J. Dominique // Photogramm. Eng. Remote Sens. – 1988. – V. 54. – 1593-1600.

3. Преображенский А. П. Алгоритмы прогнозирования радиолокационных характеристик объектов при восстановлении радиолокационных изображений / А. П. Преображенский, О. Н. Чопоров // Системы управления и информационные технологии. – 2004. – Т. 17. – № 5. – С. 85-87.

4. Преображенский А. П. Методика прогнозирования радиолокационных харак-

теристик объектов в диапазоне длин волн с использованием результатов измерения характеристик рассеяния на дискретных частотах / А. П. Преображенский, О. Н. Чопоров // Системы управления и информационные технологии. – 2004. – Т. 14. – № 2. – С. 98-101.

5. Преображенский А. П. Построение радиолокационных изображений объектов / А. П. Преображенский, Ю. П. Хухрянский // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2005. – Т. 1. – № 8. – С. 20-23.

6. Touzi R. Coherence Estimation for SAR Imagery / R. Touzi, A. Lopez, J. Bruniquel, P. W. Vachon // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. – 1999. – V. 37. – pp. 135-149.

7. Чутченко Ю. Е. Исследование возможности улучшения качества изображения / Ю. Е. Чутченко, А. П. Преображенский // Территория науки. – 2007. – № 3. – С. 364-369.

### ABOUT THE STUDY THE RADAR IMAGES OF THE EARTH SURFACE

© 2018 S. M. Logvinenko, V. N. Kostrova, N. A. Korosteleva

Voronezh Institute of High Technologies (Voronezh, Russia)

Voronezh state technical University (Voronezh, Russia)

Open Joint-Stock Company «Voronezh Plant of Semiconductor Devices-Assembly» (Voronezh, Russia)

*The problem of coherence evaluation is its dependence on the phase slope caused by the relief (topographic phase). In this article, in the study of radar images of the earth's surface, a method of suppression of the influence of the topographic phase is proposed.*

*Key words: radar image, phase, interferometry.*