

Способ повышения эффективности развертывания фазы путем фильтрации остаточного фазового изображения

А.В. Сосновский¹

¹Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, Мира 19, Екатеринбург, Россия, 620002

Аннотация

В работе рассматривается модификация ранее предложенного алгоритма развертывания фазы при обработке данных радиолокационной космической съемки методом встречного вихревого фазового поля и оценке его точности по данным РЛС ALOS PALSAR. Модификация предполагает выделение низкочастотной составляющей фазового поля, получение изображения остаточного поля и последующую итерационную фильтровую обработку последнего. Проведен экспериментальный анализ эффективности предложенного способа при обработке данных радиолокатора в сравнении со стандартными алгоритмами.

Ключевые слова

Радиолокаторы с синтезированной апертурой, интерферометрическая съемка, развертывание фазы

1. Введение

Основной задачей интерферометрической обработки радиолокационных данных дистанционного зондирования Земли является получение интерферограммы абсолютной фазы, вид которой определяется (с точностью до флуктуаций и атмосферных искажений) рельефом подстилающей поверхности [1]. Развёртывание фазы является наиболее сложным этапом получения абсолютной фазы, и его правильное выполнение оказывает наибольшее влияние на точность восстановленной абсолютной фазы и, следовательно, на результирующую цифровую модель рельефа (ЦМР) или карту смещений рельефа. Ранее предложенный [2] алгоритм развертывания методом встречного вихревого фазового поля позволяет получить гладкое решение задачи за почти линейное вычислительное время. Целью настоящей работы является модификация данного алгоритма для повышения точности развернутой абсолютной фазы.

2. Модификация алгоритма развертывания фазы и оценка точности результата

Для повышения точности развертывания фазы по алгоритму обратного вихревого поля предлагается предварительно производить выделение низкочастотной составляющей абсолютной фазы применения исходного алгоритма к многократно уменьшенной (в $K=2..10$ раз) интерферограмме, что символически можно записать следующей последовательностью:

$$\dot{I}(z)|_{M \times N} \rightarrow I^*(z)|_{\left(\frac{M}{K}\right) \times \left(\frac{N}{K}\right)} \rightarrow UW\{I^*(z)\} \rightarrow U_0(z)|_{M \times N}, \quad (1)$$

где $\dot{I}(z)$ – исходная интерферограмма, записанная в комплексной форме, $I^*(z)$ – та же интерферограмма, уменьшенные в K раз, $z = m + jn$, где m, n – координаты её элементов (пикселей), M, N – её размеры; $U_0(z)$ – восстановленная интерферограмма низкочастотной составляющей абсолютной фазы, $UW\{\cdot\}$ – символическая запись операции развертывания по методу встречного вихревого поля. Интерферограмма $U_0(z)$ будет содержать в себе

информацию о крупных формах рельефа и его структурах, а для дальнейшего описания малых форм выполняется дальнейшее выделение остаточная фазовой картины $\hat{I}_d(z)$:

$$\hat{I}_d(z) = \frac{\hat{I}(z)}{\exp(j \cdot U(z))} \quad (2)$$

и её фильтровая обработка [3] в следующей последовательности:

$$\hat{w}(z) = F_V\{\hat{I}_d(z)\}, \quad \hat{s}(z) = \frac{\hat{I}_d(z)}{\hat{w}(z)}, \quad (3)$$

где $\hat{w}(z)$ – сглаженная интерферограмма остаточной фазы, $F_V\{\cdot\}$ – символическая запись низкочастотной гауссовой фильтрации с частотой среза V ; $\hat{s}(z)$ – новая остаточная фаза для сглаженной интерферограммы. Итоговая интерферограмма абсолютной фазы получается сложением отдельных компонент:

$$\hat{U}(z) = U_0(z) + \arg\{\hat{s}(z)\} + \arg\{\hat{w}(z)\}. \quad (4)$$

Экспериментальное исследование точности модифицированного алгоритма проводилось на трех сценах ALOS PALSAR по ранее разработанной методике обратного преобразования эталонных данных [4]. Выполнялось две итерации выделения низкочастотной составляющей (1) и три – для фильтровой обработки остаточной фазы (2)-(4). Результаты представлены на рис. 1 в виде зависимостей среднеквадратических отклонений высот от частоты среза предшествующего развертыванию фильтра подавления фазового шума. Исследовалось 4 алгоритма развертывания (включая предложенный).

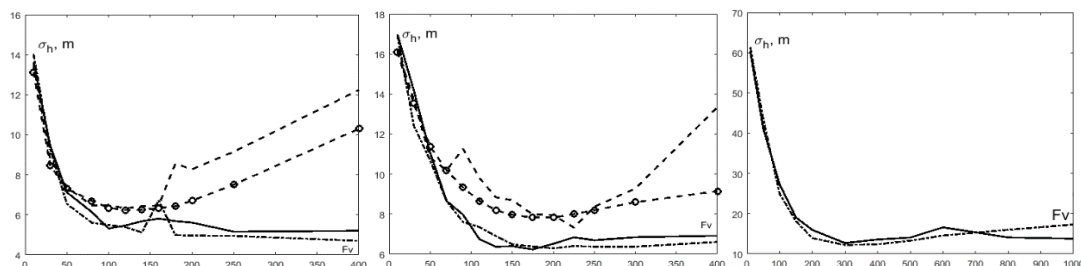


Рисунок 1: Зависимость с.к.о. абсолютной фазы после развертывания: предложенным алгоритмом (сплошная линия), алгоритмом наименьших квадратов (пунктирная без маркеров), алгоритмом функций Грина (пунктирная с маркером), алгоритмом минимальной стоимости потока – MCF (пунктирная короткая): а) сцена 1, б) сцена 2, в) сцена 3

3. Заключение

Получено, что по точности алгоритм сопоставим с методом минимальной стоимости потока (наиболее широко используемый в настоящее время), а в отдельных ситуациях его превосходит; при этом вычислительная сложность предложенного метода ниже и прямо пропорциональна произведению количества элементов интерферограммы и количества точек разрыва фазы.

4. Благодарности

Работа поддержана грантом РФФИ № 19-29-09022\19.

5. Литература

- [1] Hanssen, R.F. Radar interferometry. Data interpretation and error analysis / R.F. Hanssen. – Dordrecht: Kluwer academic publishers, 2001. – 308 p.
- [2] Sosnovsky, A.V. An InSAR phase unwrapping algorithm with the phase discontinuity compensation / A.V. Sosnovsky, V.G. Kobernichenko // CEUR Workshop Proceedings. – 2017. – Vol. 2005. – P. 127-136.

- [3] Andriyanov, N.A. Analysis of the efficiency of satellite image sequences filtering / N.A. Andriyanov, K.K. Vasiliev, V.E. Dement'ev // IOP Publishing: IV Int. Conf. on Information Technology and Nanotechnology (ITNT). – 2018. – Vol. 1. – P. 012036.
- [4] Sosnovsky, A.V. A Method of Phase Unwrapping Algorithms Efficiency Analysis for InSAR Data Processing / A.V. Sosnovsky, V.G. Kobernichenko // VI Int. conf. on information technology and nanotechnology (ITNT). IEEE Publishing. – 2020. – Vol. 1. – P. 9253311.