

# Способ повышения эффективности развертывания фазы путем фильтрации остаточного фазового изображения

А.В. Сосновский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Уральский 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  $\hat{I}_d(z)$  :

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

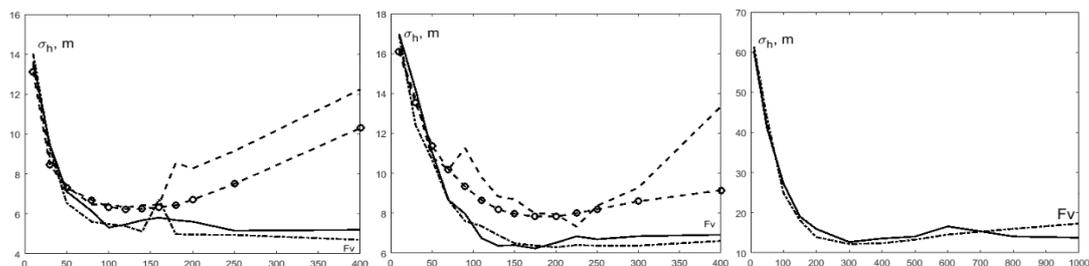
и её фильтровая обработка [3] в следующей последовательности:

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

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.