

## Non-Closure Phase of Multi-Look InSAR Triplets: A New Algorithm for the Mitigation of Phase Bias Phenomena

*Francesco Falabella<sup>1,2,3</sup> and Antonio Pepe<sup>1</sup>*

1. Institute for the Electromagnetic Sensing of the Environment (IREA), National Research Council (CNR) of Italy, 80124 Naples, Italy;
2. Institute of Methodologies for Environmental Analysis (IMAA), National Research Council (CNR) of Italy, 85050 Tito, Italy;
3. University of Basilicata, Potenza, 85100, Italy (francesco.falabella@unibas.it).

通过使用多时空干涉合成孔径雷达 (InSAR) 算法[1], [2]来测量地球的地面变形, 如今已经是一种巩固和成熟的做法, 可以在SAR传感器的视线方向上拥有真正的高精确度, 达到几毫米[3], [4]。在不同的多时相InSAR处理器中, 那些基于使用小基线 (SB) 多视点 (ML) 干涉图的算法发挥了重要作用[2], [5], 它较少受到装饰相关噪声的影响[6]。传统的ML干涉图是通过相邻像素的平均化而独立产生的, 这样一来, 信噪比急剧增加, 对分布式散射体的分析成为可能, 或者说在某种程度上, 难度降低。前面的多视图操作涉及到与存在于单视图像素中的各族散射体有关的信息的平均值, 这些信息将贡献给每个多视图像素。最近, 在[7]中观察到InSAR产品 (即地面变形时间序列和平均变形速度图) 中的一些不一致之处, 可能发生在处理时间基线很短的多视角SAR干涉图集时, 与使用时间基线较长的干涉图集相比。这种假信号会导致系统性偏差[7], 如果没有充分的补偿, 可能会导致不可靠的InSAR地面位移产品。在这项工作中, 我们提出了一种估计和纠正一组多视点SB干涉图的技术, 该技术是基于计算和分析专门的 (包裹的) 非封闭相位三要素的集合。所开发的相位估计方法在每一个SAR像素上独立工作, 假设 (未知的) 相位偏差信号可以用二阶扩展来近似, 基本上是一个恒定的相位速度项 $v$ 和一个随时间变化的 (即取决于干涉图的时间基线) 相位速度差项 $\Delta v (\Delta t_i)$ 的总和, 其中 $\Delta t_i$ 是通用 $i$ 个干涉图的时间基线。一旦确定了可以使用短基线ML干涉图形成的整套三联体, 并考虑到三联体非闭合相位的数学特性, 我们可以写出一个超定的线性方程组, 其中已知项是在确定的三联体集合上测量的包裹非闭合相位, 即 $[\Delta \Phi]_{\text{triplets}}$ , 未知项是与时间基线相关的相位速度差项 $\Delta v$ 。例如, 考虑到哨兵1-A/B传感器, 时间基线的原子采样时间为6天; 相应地, 如果我们接受, 例如, 所选SB干涉图的最大允许时间基线的阈值为96天, 我们有16个未知数需要估计。一旦线性系统在最小二乘法意义上得到解决, 不同时间基线上的相位偏差, 即 $[\Delta \Phi]_{\text{bias}}$ , 将通过后向积分步骤迭代检索出来。假设在所考虑的最大时间基线上的相位偏差为零, 即 $[\Delta \Phi]_{\text{bias}}([\text{bias}]_{\text{max\_temp\_bas}})=0$ 作为初始条件。

模拟测试显示了所提方法的有效性。此外, 在不同地貌条件下对Sentinel1-A/B SAR数据集进行的真实实验, 与合成实验一致, 证实了所开发方法的有效性。此外, 我们进行了一些模拟和实验, 以测试所开发的方法扩展到非稳态情况的有效性, 例如, 当相位偏差信号取决于参与SB干涉图生成的SAR图像的特定单一时间采集, 而不仅仅是它们的时间基线。仍然需要进

一步发展，以了解我们可以从这些代表位移估计偏差的估计相位中提取什么有用的信息，但它们可以成为估计其他信号的资源，如土壤湿度。

#### References:

- [1] A. Ferretti, C. Prati, and F. Rocca, «Permanent scatterers in SAR interferometry», *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 39, n. 1, pagg. 8–20, gen. 2001, doi: 10.1109/36.898661.
- [2] P. Berardino, G. Fornaro, R. Lanari, and E. Sansosti, «A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms», *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 40, n. 11, pagg. 2375–2383, 2002.
- [3] A. Ferretti *et al.*, «Submillimeter Accuracy of InSAR Time Series: Experimental Validation», *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 45, n. 5, pagg. 1142–1153, mag. 2007, doi: 10.1109/TGRS.2007.894440.
- [4] F. Casu, M. Manzo, and R. Lanari, «A quantitative assessment of the SBAS algorithm performance for surface deformation retrieval from DInSAR data», *Remote Sens. Environ.*, vol. 102, n. 3, pagg. 195–210, giu. 2006, doi: 10.1016/j.rse.2006.01.023.
- [5] F. Falabella, C. Serio, G. Zeni, and A. Pepe, «On the Use of Weighted Least-Squares Approaches for Differential Interferometric SAR Analyses: The Weighted Adaptive Variable-Length (WAVE) Technique», *Sensors*, vol. 20, n. 4, Art. n. 4, gen. 2020, doi: 10.3390/s20041103.
- [6] H. A. Zebker and J. Villasenor, «Decorrelation in interferometric radar echoes», *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 30, n. 5, pagg. 950–959, set. 1992, doi: 10.1109/36.175330.
- [7] H. Ansari, F. De Zan, and A. Parizzi, «Study of Systematic Bias in Measuring Surface Deformation With SAR Interferometry», *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 59, n. 2, pagg. 1285–1301, feb. 2021, doi: 10.1109/TGRS.2020.3003421.