

# 自然场景无人机 SAR 层析成像的几何自动聚焦

Pietro Grassi<sup>1</sup>, Stefano Tebaldini<sup>1</sup>, Naomi Petrushevsky<sup>1</sup>, Marco Manzoni<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Electronics, Information and Bioengineering; 20133 - Politecnico di Milano, Milan, Italy.

**摘要:** SAR 层析成像技术为 SAR 观测地球开辟了全新的道路, 该技术提供了可直接对森林、雪和冰等自然介质的 3D 结构进行成像的可能。截至目前, 层析成像的优势已经在不同应用的背景环境下通过机载数据实验证明, 包括森林高度和地上生物量的估计, 积雪深度、密度和内部分层的检索, 以及内部监测高山冰川和冰原的结构。尽管有许多成功的实验, 星载层析成像尚未出现在自然场景中。其主要是因为 SAR 层析成像的垂直分辨率与可用影像的数量有着内在的联系, 对于单个卫星的情况, 对应于给定区域上的轨道数量。很明显, 星载 TomoSAR 的成功与同时飞行多个传感器的可能性密切相关。近年来, 星载 TomoSAR 方向已初露端倪, 因为电子设备和天线技术的进步, 使 SAR 有效载荷与小型卫星兼容。

此背景下, 米兰理工大学正在积极开展基于射频设备的小型无人机 (UAV) 层析成像实验, 用以开发特定的信号处理算法, 具体而言, 本文中, 在缺乏平台轨迹先验知识的情况下, 介绍了一种新方法来解决 SAR 数据聚焦的问题。尤其是基于无人机的系统, 它通常采用低成本导航装置。

提出的算法是著名的相位梯度算法 (PGA) [1] 的几何演化。PGA 是一种迭代算法, 它试图根据所选 SAR 数据的点的来估计未知相位误差的梯度。该方法需要四个处理步骤来补偿相位误差: 循环移位、选定窗口上的傅里叶变换、相位梯度估计、迭代校正。PGA 方法基于相同的相位校正适用于成像场景中的任何点的内在假设。虽然这个假设对于星载几何可以近似保留, 但对于低空平台肯定是无效的, 因为入射角和斜视角的变化决定了空间变化的相位误差。

在我们的方法中, PGA 中的处理步骤在严格的几何基础上重新解释。循环移位和傅立叶变换被散焦算法取代, 允许测量所选点的相位历史。相位梯度估计被平台轨迹的直接估计所取代。然后根据估计的轨迹通过重新聚焦数据来执行最终图像校正。提出的算法旨在实现 PGA 的准确性和效率, 同时授予 [2]、[3] 中的严格几何方法。

该算法已应用于两个实际案例: 1) 通过在无人机上操作固定发射器和飞行接收器获取双基地 L 波段数据; 2) 在 [4] 中的 ASI 直升机载活动获得的单站 P 波段数据。

结果表明, 所提出的方法可以成功校正存在的轨迹误差, 而在导航数据准确的情况下不会产生进一步的退化。

[1] D.E. Wahl, P.H. Eichel, D.C. Ghiglia, and C.V. Jakowatz. Phase gradient autofocus a robust tool for high resolution sar phase correction. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 30(3):827–835, 1994

[2] Hubert M. J. Cantalloube and Carole E. Nahum. Multiscale local map drift driven multilateration sar autofocus using fast polar format image synthesis. In *8th European Conference on Synthetic Aperture Radar*, pages 1–4, 2010.

[3] Jan Torgrimsson, Patrik Dammert, Hans Hellsten, and Lars M. H. Ulander. Sar processing

without a motion measurement system. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 57(2):1025–1039, 2019.

[4] Stefano Perna et al. The asi integrated sounder-sar system operating in the uhf-vhf bands: First results of the 2018 helicopter-borne morocco desert campaign. *Remote Sensing*, 11(16), 2019.