# 层析 SAR 与相位直方图技术在森林遥感中的比较：基于 TomoSense 数据的实验研究

**吴传军 [1, 2], Tebaldini Stefano [1], D'Alessandro Mariotti Mauro [1], 廖明生 [2]**

1 米兰理工大学, 意大利

2 武汉大学, 武汉, 湖北, 中国

合成孔径雷达（Synthetic aperture radar, SAR）遥感以其全天候观测能力、大覆盖范围和高精度在森林遥感中备受青睐[1]-[3]。得益于强穿透力以及不同的极化对不同散射机制的敏感特性[4]-[10]，长波长全极化 SAR 系统在探索照明介质的垂直结构，即森林、冰和雪等尤为突出。TomoSAR（SAR tomography，TomoSAR）技术可以获得三维后向散射功率的垂直分布，并重建照明介质的垂直结构[5], [7]。与常见的 SAR 成像模式不同，借助于一定的 SAR 影像，TomoSAR 可以重新合成垂直于斜距方向的孔径，为重建三维结构提供强有力的技术手段。这也是即将施行的 BIOMASS 地球探测任务中的一项关键技术，用于绘制全球森林高度和地上生物量（AGB），以及林下地形[11]。在这种背景下，欧洲航天局(ESA)组织了 TomoSense 实验，通过同时飞行两架飞机，以单站和双站模式，在德国北莱茵威斯特法伦州艾菲尔国家公园的 Kermeter 站点获取包括 P-、L-和 C-波段的层析和全极化 SAR 测量，为科学界研究温带森林的雷达散射特征提供了前所未有的数据[10],[12]。同时，还获取了同一地区的地面激光扫描（TLS）和机载激光雷达扫描（ALS）产品，为验证算法的准确性提供可靠的参考。

在本文中，我们分析了 TomoSense 数据，提出利用两种不同的方法对森林垂直结构分析的实验研究。第一种方法是使用多基线数据形成森林垂直剖面的层析重建，使用众所周知的 SAR 层析处理方法[5-7]。。第二种方法利用了相位直方图方法，该方法在某些情况下允许使用单基线数据估计森林结构[13]。本文比较了两种方法对森林结构和森林高度的准确估计能力。

## 参考文献

[1] R. F. Hanssen, *Radar interferometry: data interpretation and error analysis*, vol. 2. Springer Science & Business Media, 2001.

[2] M. Liao, T. Balz, F. Rocca, and D. Li, “Paradigm changes in Surface-Motion estimation from SAR: Lessons from 16 years of Sino-European cooperation in the dragon program,” *IEEE*

*Geosci. Remote Sens. Mag.*, vol. 8, no. 1, pp. 8–21, 2020.

[3] F. Rocca *et al.*, "Three-and Four-Dimensional Topographic Measurement and Validation," *Remote Sens.*, vol. 13, no. 15, p. 2861, 2021.

[4] S. R. Cloude, *Polarisation: Applications in Remote Sensing*. Oxford University Press, 2009.

[5] S. Tebaldini and F. Rocca, "Multibaseline polarimetric SAR tomography of a boreal forest at P-and L-bands," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 50, no. 1, pp. 232–246, 2011.

[6] S. Tebaldini, T. Nagler, H. Rott, and A. Heilig, "Imaging the internal structure of an alpine glacier via L-band airborne SAR tomography," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 54, no. 12, pp. 7197–7209, 2016.

[7] S. Tebaldini, "Algebraic Synthesis of Forest Scenarios From Multibaseline PolInSAR Data," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 47, no. 12, pp. 4132–4142, 2009.

[8] N. Labriere *et al.*, "In situ reference datasets from the TropiSAR and AfriSAR campaigns in support of upcoming spaceborne biomass missions," *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 11, no. 10, pp. 3617–3627, 2018.

[9] T. Fatoyinbo *et al.*, "The NASA AfriSAR campaign: Airborne SAR and lidar measurements of tropical forest structure and biomass in support of current and future space missions," *Remote Sens. Environ.*, vol. 264, p. 112533, 2021.

[10] S. Tebaldini *et al.*, "The Tomosense Experiment: Mono-and Bistatic Sar Tomography of Forested Areas At P-, L-, and C-Band," in *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS*, 2021, pp. 7955–7958.

[11] S. Quegan *et al.*, "The European Space Agency BIOMASS mission: Measuring forest above-ground biomass from space," *Remote Sens. Environ.*, vol. 227, pp. 44–60, 2019.

[12] M. M. d'Alessandro and S. Tebaldini, "SAR Correlation Tomography for Vegetation Analysis with ESA TomoSense Data," in *2022 IEEE Radar Conference (RadarConf22)*, 2022, pp. 1–6.

[13] G. H. X. Shiroma and M. Lavalle, "Digital terrain, surface, and canopy height models from InSAR backscatter-height histograms," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 58, no. 6, pp. 3754–3777, 2020.