

## Dragon 5 ID. 59332

项目主题: Geophysical and atmospheric retrieval from SAR data stacks over natural scenarios

该项目主旨包括应用和开发处理算法，以解决基于星载 SAR 数据应用有关的两个特定子课题。子课题 1 涉及自然介质的内部结构，它对应“龙计划”课题 "Solid Earth - Subsurface target detection"。子课题 2 涉及联合估计水汽与形变地图，它对应 "龙计划 "课题 "Solid Earth - Monitoring of surface deformation of large landslides"。由于硬件稳定性和轨道控制的改善，上述课题在当前和未来的星载 SAR 对地观测任务中具备重要意义，这些任务将允许越来越系统地使用多种数据。事实上，拟议的项目旨在支持使用以下多通道数据：即将施行的 P 波段 BIOMASS 卫星任务；未来的 L 波段卫星任务，如 SAOCOM 卫星、即将施行的来自中国的双站 L 波段 Lutan-1 卫星，以及 Tandem-L 和 Rose-L 卫星；C 波段 Sentinel 卫星任务。

截至目前，主要的结果总结如下 4 个方面的贡献：

1) 比较了两种使用机载合成孔径雷达 (SAR) 数据估算森林高度和垂直结构的技术，即 SAR 层析成像 (TomoSAR) 和相位直方图 (PH) 技术。 TomoSAR 使用多幅 SAR 图像，可以对植被层的三维 (3D) 电磁结构进行直接成像，从中可以提取森林高度和林下地形等生物物理参数。PH 技术根据干涉相位值将 SAR 干涉图中的每个像素分配给特定的高度层，允许通过累加落在给定空间窗口内的像素振幅值来局部估计森林散射的垂直剖面。

结果表明，PH 技术只能粗略地近似 SAR 层析成像产生的垂直结构，但它可用于产生可观精度的森林高度估计。特别是，观察到 TomoSAR 和 PH 技术在 NW 飞行数据中分别产生 2.63 m 和 4.72 m 的平均均方根误差 (RMSE)，在 SE 飞行数据中分别产生 1.86 m 和 5.26 m。观察到的结果根据一个简单的物理模型进行解释，以预测两种情况下的相位变化，其中森林散射由每个分辨率单元中存在的主要散射体或由多个基本散射体决定，从而得出结论：PH 技术最适用于较高频段的高分辨率或超高分辨率数据。总的来说，本文的分析从理论上和实验上证明，PH 技术在应用于几米分辨率的低频数据时无法达到与多基线层析成像相同的性能。然而，即使在这些条件下，我们也注意到 PH 技术允许基于单一偏振的单一干涉图来检索森林高度。这使得 PH 技术在星载任务的背景下非常值得关注。

2) 来自每个站点的原始数据被处理以提取 GNSS 派生的 APS。然后，在 GNSS 站的空间位置上提取 SAR 派生的 APS。这样的测量是真实 APS 和轨道误差的总和。我们使用 GNSS 派生的 APS 作为地面实况，将它们从 SAR 派生的估计中删除，从而产生一组纯轨道误差的测量值。通过反演，得到两个表征轨道误差的参数。这种反演的好处是双重的。首先，这两个估计参数可用于评估轨迹质量。其次，这两个参数可用于计算 APS 地图整个网格上的前向模型（而不是像以前那样仅在 GNSS 站组上计算），从而形成校准后的相位屏。

该程序使用包含 30 多张 Sentinel-1 图像的数据集和瑞典的 GNSS 站网络进行了测试。该算法表现出优异的性能。验证过程在校准过程前后将一组独立的 GNSS 站与 SAR 派生的 APS 进行比较。使用单独的 NWPM 进行第二次验证，再次表现出卓越的性能。

3) 提出了一种利用陆地场景的干涉影像对估计 NESZ 的替代方法。该方法基于相干性和噪声之间的关系。使用数据堆栈生成一组具有短时间基线的干涉图。每个干涉图都包含一个相干模型，并且对所有测量值进行平均以提高稳健性。通过重复每个入射角，可以表征新卫星的 NESZ

剖面。使用一组 Sentinel-1A (S1A) 和 Sentinel-1B (S1B) 图像验证和测试该程序。首先, 根据等式 (1) 单独获得 S1B 的噪声水平。然后, 使用 S1A 数据堆栈, 通过上述过程估计 S1B 的 NESZ。两个结果之间的比较证实, 只需一种可用产品, 就可以在陆地上表征一颗新卫星的噪声水平。

4) InSAR 已被广泛认为是滑坡调查的有效工具。但其测量精度在很大程度上受限于高山峡谷地区复杂的大气延迟畸变, 导致滑坡探测和监测性能不佳。特别是, 传统的经验相位高程模型或基于外部数据的方法无法准确反映广域空间大气的异质性。本文中, 我们提出了一种多时相移动窗口线性模型 (MMLM) 来校正广域滑坡调查中的对流层延迟。这是一个基于高程-相位关系的线性回归模型, 用于在滑动局部窗口内对多时相进行建模。它减轻了局部湍流相位、局部滑坡变形和相位解缠误差对参数估计的影响, 为广域滑坡识别和变形监测提供精确的异质 InSAR 大气校正。两河口水电站库区升、降轨 Sentinel-1 数据的实验结果表明, 所提出的 MMLM 模型优于现存 APS 校正方法, 包括 ERA5、GACOS、时空滤波和传统线性模型。