

题目：面向基础设施形变监测的高效时序 InSAR 分析

摘要：

龙计划 6 期项目第一年，我们的研究主要聚焦于高效时序 InSAR 算法的开发及其在基础设施形变监测中的应用。取得的研究进展主要包括以下方面。

● PSSformer: 基于时空视觉 Transformer 的 SAR 干涉测量永久散射体选取方法

永久散射体(PS)候选目标的选取是经典 PSI 方法的关键步骤，其结果质量直接影响形变测量的最终结果。现有方法未能充分利用 SAR 数据集的相位、幅度、时间和空间维度之间的上下文关系，导致 PS 候选点提取效果欠佳。为此，本文提出一种基于深度学习的 PS 选点新方法，通过融合幅度影像与干涉相位时空上下文特征，构建了时空视觉 Transformer(TS-ViT)架构用于同步处理输入的幅度与相位时间序列；引入相位一致性注意力机制(PCAM)增强模型的感知能力；在模型中嵌入幅度-相位交互(API)模块实现多尺度特征融合。在巴塞罗那地区 TerraSAR-X 数据集上的实验表明，所提方法在城市区域和高层建筑中取得了良好效果。

● 联合极化和时间维度的干涉 SAR 相位优化

现有大多数时序极化干涉 SAR 方法采用在时间维与极化维度分别进行干涉相位优化的处理策略，未能充分利用跨维度关联关系。针对该问题，本文提出一种联合概率密度函数与最大似然估计的多维联合相位优化方法（简称 JPTPO），通过时空-极化维度联合处理实现一步式相位优化。基于仿真与 Radarsat-2 全极化数据的实验表明，与现有主流相位优化方法相比，所提方法在相干性指标上提升显著，验证了其相位质量改善的有效性。

● 时序 InSAR 处理中的相位连接方法综述

InSAR 技术的性能在很大程度上受制于散射体目标随时间变化产生的失相干。相位连接(PL)方法能够从多时相干涉相位分析中恢复出系统性的相位序列，因此已成为解决时序 InSAR 监测低相干区挑战问题的核心技术。本研究系统地回顾总结了 PL 方法提出的动机、采用的基础模型、方法研究进展、性能比较评价以及未来发展趋势。采用模拟和真实的 Sentinel-1 SAR 数据集，对总共 5 种方法包括 PTA, PCA, EMI, StBAS 和 AdpPL，进行了性能比较分析。实验结果表明 AdpPL 方法在累积相位标准差和形变速率测量误差方面具有明显的优势

● 顾及地表变化的渐进式极化序贯相位优化方法

在 SAR 大数据时代，迫切需要开发用于地质灾害近实时监测的动态时间序列 DInSAR 处理程序。然而山区植被覆盖茂密且动态变化显著，去相关性严重，对相位优化处理的精度、效率和动态处理能力要求较高。为了实现动态 DInSAR 时间序列分析的高效高精度相位优化，研究改进前期已提出的序贯极化相位优化估计器（SETP-EMI），顾及 PS/DS 目标的时序变化，并充分利用极化信息权重进行渐进式的序贯相位优化，从而实现了更高质量的干涉相位优化效果。渐进式极化序贯相位优化方法采用序贯递推处理策略，根据地表变化渐进式的对 SAR 影像 DS 与 PS 目标进行相位优化处理，基于等效散射机制约束对极化通道叠加重进行分配，实现精细化的相位优化处理，有效提高了相位优化精度

● 基于自适应相干矩阵分解的时序极化 InSAR 分析

提出了一种基于自适应极化相干矩阵分解的高效极化时序 InSAR 方法（ADCMD-PolMTI），该算法能够实现 PS 与 DS 像元相位的高效自适应极化优化。在美国南加州地区的实验结果表明：相较单极化 VV 方法，ADCMD-PolMTI 显著提升了干涉相位质量，高质量监测点密度提升达 494%；与 GPS 数据对比验证显示，其平均均方根误差（RMSE）低于 VV 方法，形变监测精度更高；较 ESPO 算法对 PS 和 DS 的处理速度分别提升 235 倍和 13 倍。提出方法具备良好的自适应优化能力和计算效率，可以用于大范围地表形变监测。

● 港珠澳大桥 InSAR 形变监测与预测

针对港珠澳大桥（桥—岛—隧）复合结构的复杂形变特征，提出一种 ARIMA-PF（自回归积

分滑动平均-粒子滤波)的形变预测方法。首先,应用 ARIMA 模型对 InSAR 形变监测数据进行初步建模,然后,引入 PF 算法进行动态参数优化,增强模型在非线性条件下的预测能力,提升对复杂形变趋势的捕捉效果。选择珠澳人工岛、香港口岸人工岛(受软土固结、施工扰动影响)以及青州航道桥(跨海桥梁结构)作为典型研究对象,对比了 ARIMA 与 ARIMA-PF 模型的预测性能,结果表明 ARIMA-PF 模型表现出明显优势,预测精度显著提高。