

ID.59257: 服务于森林可持续经营的基于卫星数据融合的森林参数与毁林制图

中国 PI: 张晓丽教授, 北京林业大学林学院

欧洲 PI: Langning Huo, 瑞典农业科学大学森林资源管理系

中国研究员: 张凝, 王月婷, 李霓雯, 柴国奇, 雷令婷, 陈龙, 贾翔, 姚宗琦

欧洲研究员: Henrik Persson, Eva Lindberg, Ivan Huuva, Johan Fransson

森林在地球生态系统中起着至关重要的作用, 并对环境产生强烈的影响。在全球气候变化的威胁下, 遥感技术为更好地了解森林生态系统、早期发现森林虫害以及快速和持续监测森林灾害提供了信息。本项目涉及生态系统专题, 并涵盖子专题森林质量参数的协同估计和森林和草原灾害监测。目的是研究和探索多源遥感技术, 特别是卫星影像、无人机 LiDAR 和高光谱影像数据融合技术在森林参数提取、森林灾害监测及其归因方面的应用。研究内容主要包括树种分类、森林参数估计和森林干扰检测。

1. 已开展的工作:

(1) 卫星影像数据:

通过 ESA 和中国科技部申请并获取了卫星影像, 包括 RADARSAT-2 (2020 和 2021)、WorldView-3 (2021 年 7 月)、Sentinel-1/2 (2018-2022) 和 Gaofeng-1/2/6 (2020-2022) 等。这些数据覆盖中国的高峰、威海、抚顺、六安、旺业甸、根河和普洱以及瑞典的雷宁斯托普多个研究区。

(2) 野外调查数据:

针对不同研究内容, 开展了高峰、抚顺、六安、根河、普洱和雷宁斯托普的野外调查工作。具体如下:

- 2021、2023 年, 更新了高峰、根河研究区样地的森林信息, 获得了胸径 (>5cm)、树高、枝下高和样地坐标等数据。
- 2021 年, 采集了抚顺、六安研究区松材线虫受害森林不同阶段的受害木和健康树木的光谱信息。
- 2023 年, 采集了普洱研究区的森林树种类型、森林变化及扰动信息。记录了思茅松小蠹虫病虫害的发生状态与地理分布信息。

- 2019、2021 年更新了雷宁斯托普研究区样地的森林信息。2021 年和 2023 年进行了云杉小蠹虫染病的对照实验，并记录了染病林木的症状信息。

(3) 技术进展:

- 树种分类: 基于机载高光谱数据提出了 4 个深度学习树种分类模型: 改进的原型网络 IPrNet、原型网络结合注意力机制的 CBAM-P-Net、结合数据增强策略的 Proto-MaxUp+CBAM-P-Net 和引入对比监督学习的 SCL-P-Net 模型; 评估并筛选出了用于单木树种识别的低成本、高效无人机光学影像获取方案, 并开发了融合无人机 LiDAR 和 RGB 影像的 ACE R-CNN 单木树种识别实例分割算法, 在高峰研究区证明了这些模型的良好性能。发展了基于多时相 Sentinel-2 数据的树种分类方法, 在雷宁斯托普验证了性能。

- 森林参数提取: 利用树冠信息缺失的地面近距离观测数据, 提出了考虑树间竞争因素的树冠参数提取方法; 利用无人机倾斜摄影数据, 提出了基于冠层属性的均值漂移单木树冠分割方法, 并开发了融合多维特征的单木 AGB 估算模型; 创新了融合机载高光谱和 LiDAR 数据的三级分层特征筛选方法, 构建不同树种的区域 AGB 估计模型, 在高峰研究区具有良好表现。提出结合 ZY-3 立体影像和 DEM 的高空间分辨率树高提取方法, 并开发了树高结合 Sentinel-2 数据的森林 AGB 估算模型, 在旺业甸研究区获得了准确的森林 AGB 分布图。在瑞典南部实验区, 使用时间序列 TanDEM-X 相位高度数据提出了一种疏伐和清砍相位高度定量方法以用于检测森林造林。此外, 研究了利用 TanDEM-X 图像的干涉测量 (InSAR) 来估计森林的变化 (高度、生物量和生物量变化), 并绘制了瑞典北方森林中较小的森林高度变化 (增加)。

- 森林干扰检测: 针对松材线虫 (*Bursaphelenchus xylophilus*), 分析了威海和抚顺研究区赤松和红松在不同感病阶段的光谱特征和生理参数变化, 通过光谱降维得到了可用于感病检测的敏感波段并构建了检测模型, 为识别松材线虫病感染阶段提供有效方法; 构建了基于时间序列 Landsat 影像的针叶林信息提取指数: NDFI, 协助于开展松材线虫病害遥感监测。对于欧洲云杉小蠹虫 (*Ips typographus* [L.]) 虫害, 提出了基于多光谱无人机数据的早期识别方法, 对比了 Sentinel-2 影像及 WorldView-3 SWIR 影像对早期感病症状的敏感程度, 还比较了基于机器学习和植被指数的方法对欧洲云杉小蠹虫侵袭的早期检测, 发现基于机器学习的方法

有过度拟合的问题，对未训练过的地区可转移性低。此外，在气象条件复杂和空间异质性明显根河研究区，提出了融入光谱指数和季节特征的 CCDC 扰动检测算法，稳健绘制了近 30 年的森林扰动图。

(4) 合作研究

- 2022-2023 年，联合培养 1 名博士研究生。
- 合作在《*Ecological Indicators*》发表 1 篇学术论文，1 篇联合研究论文在《*IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*》审查，2 篇会议论文在 IGARSS 2022 发表，1 篇联合会议论文被 IGARSS 2023 接受。

2. 下一步计划：

(1) 研究内容：

- 树种分类方面：利用获取的 WorldView-3、Sentinel-2 和 GF-2 影像，进一步探索单木-林分尺度树种分类深度学习模型。
- 森林参数提取部分：探索结合卫星影像和 LiDAR 数据的树冠提取方法，并进一步结合 Sentinel-1 SAR 数据开展多尺度区域生物量动态监测。
- 森林干扰检测方面：研究基于无人机多光谱、高光谱数据的松材线虫、云杉小蠹虫害早期识别方法。利用改进的 CCDC 算法进一步探索中国的森林扰动时空分布格局，研究不同扰动因素的特征和植被恢复机制。

(2) 合作计划：

- 共同研究中欧地球观测合作项目“森林监测技术及示范应用”。
- 合作研究和发表论文 2~3 篇。
- 联合举办融合多模态遥感数据的森林参数与毁林制图国际暑期学校 1 次。