

基于点云深度学习的树种分类方法研究

刘炳杰^{1,2}, 黄华国², 田昕^{3*}

(1 山西农业大学林学院, 晋中 030081; 2 北京林业大学林学院, 北京 100081; 3 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091)

摘要: 树种分类是森林资源调查中的必要工作, 掌握准确的树种信息是森林资源经营管理的前提条件。激光雷达 (LiDAR) 作为森林资源调查的新技术手段, 可以快速获取树木的三维结构信息。然而, 使用由激光扫描传感器采集的树木三维点云来对树种进行分类是一个挑战。利用深度学习快速、准确地对单木点云进行树种分类是激光雷达技术在森林资源调查应用中的新发展方向。为了充分探索点云深度学习技术在基于激光雷达数据的树种分类研究中的应用潜力, 掌握适用于点云深度学习树种分类研究的激光雷达数据处理方法, 构建标准化的样本数据处理流程体系和基于深度学习的树种分类方法技术体系。本研究采集了河北怀来、内蒙根河和广西高峰等三个研究区的背包激光雷达 (BLS) 数据, 采集了广西高峰林场的无人机激光雷达数据和无人机正射影像, 并且收集了三组开源的树木点云数据, 开展了一系列使用点云深度学习方法树种分类的研究。研究主要从以下几个方面开展: (1) 提出一种联合非均匀格网与最远点采样的点云降采样策略 (NGFPS), 把 PointNet++ 作为基准点云深度学习方法, 从点云标准化、叶木分离、降采样等角度出发, 探索适用于点云深度学习模型输入的样本数据处理方法; (2) 分析和评估基于多层感知机 (PointNet、PointNet++、PointMLP)、卷积 (PointConv)、图卷积 (DGCNN) 和注意力机制 (PCT) 等模型的树种分类精度; (3) 基于地基激光扫描 (TLS)、机载激光扫描 (ALS)、无人机激光扫描 (UAVLS) 等开源激光雷达数据集, 探索点云深度学习模型针对不同类型激光雷达数据进行树种分类的潜力; (4) 提出一种融合图像 2D 和点云 3D 特征的多模态深度学习树种分类模型框架, 用来联合无人机影像数据和 UAVLS 数据进行树种分类; (5) 梳理并构建基于深度学习特征提取技术的树种分类方法的技术体系, 为森林树种的高效精准分类提供有力的技术支持。主要研究结果如下: (1) 使用点云深度学习方法进行树种分类时, 树高特征并不重要。对于单一季采集的数据, 叶片点云对分类精度的影响很小。研究提出的 NGFPS 策略是一种合适的单木点云降采样方法, 当单木点云的数量在 2048 ~ 5120 之间时, 深度学习网络可以提供更准确的树种分类结果。研究进一步说明, 基于点的端到端的深度学习方法可以用来对单木点云进行树种分类。与低成本、高效率的 BLS 系统相结合, 可以有效提高森林资源调查的效率。(2) 点云深度学习模型从局部和全局的角度刻画了树种分类特征。除 PointNet 之外的其他所有模型的分类精度都超过了 0.90, 其中 PointConv 模型在树种分类中取得了最高的分类精度; 轻量级的 PointMLP-elite 模型仍能取得较高的分类精度; 通过比较不同类型的点云深度学习模型在树种分类实验中的训练过程和最终分类精度, 进一步验证了深度学习技术在树种分类中的优势, 为相关研究和技术发展提供了实验参考。(3) 点云深度学习模型可以满足对 TLS、ALS、UAVLS 等不同传感器的 LiDAR 点云进行树种分类的需求。UAVLS leaf-on/off 的实验结果进一步验证了叶片点云对使用点云深度学习模型完成树种分类任务的精度几乎没有影响。UAVLS 和 BLS 等便携式的激光雷达扫描技术的发展, 对推进激光雷达技术在森林资源清查任务的进一步可扩展起到了重要作用。(4) 多模态深度学习树种分类 (TSCMDL) 框架直接从影像和原始点云中提取特征, 避

免了人工特征筛选，可以容易地获得更高的树种分类精度。多模态学习框架的应用，弥补了传统多源数据分类的研究中需要对 LiDAR 数据进行图像转换的缺点。通过把 UAVLS 和影像数据联合进行树种分类，扩展了用于树种分类的特征信息。TSCMDL 弥补了基于机载平台的 LiDAR 数据因无法刻画完整的树木结构而导致的模型分类性能较弱的缺陷，在将来的研究中有很强的应用与扩展的潜力。