

基于智能手机影像的林区林木三维重建与树种分类

朱雨涵

东北林业大学 计算机与控制工程学院 黑龙江 150000

【摘要】：针对森林资源调查中碳汇计量与生态研究对树种精准分类的迫切需求，本研究提出一种基于智能手机影像的低成本、高效率林木三维重建与单木分割方法，以实现精准树种分类。传统树种分类多依赖激光雷达等专业设备或人工目视识别，存在设备成本高、操作复杂、效率低及主观性强的局限。本研究通过规划林区采集路径，由智能手机平稳采集视频序列，经抽帧与运动重建生成林木初始点云；针对点云噪声冗余、密度不均及地面点干扰问题，设计系统化预处理流程，集成改进的降采样、噪声去除、点云补全与地面点滤除算法，结合点云聚类优化，最终实现复杂林分环境下单木点云精准自动分割，进而完成高效精准的树种分类。

【关键词】：手机影像；林木三维重建；点云聚类；树种分类

DOI:10.12417/2705-0998.26.02.077

1 研究背景

森林是陆地生态系统核心与“双碳”目标关键载体，林木三维点云获取、单木分割及树种类型的精准获取，是碳汇计量、生态保护修复与经营管理的基础，亦是林业资源调查与生态研究的迫切需求^[1]。传统林木三维信息获取依赖激光雷达等专业高精度设备，存在购置成本高、操作复杂、对人员专业素养要求高的问题，难以在基层大规模普及，无法适配林区大范围、高频次监测需求。移动智能终端技术发展推动智能手机成为林区影像采集重要载体，其高分辨率成像、惯性导航功能及低成本、易操作、便携的优势，为低成本林木三维点云获取提供新路径^[2]。但手机影像应用于林木三维重建仍面临一定挑战：林区复杂光照与植被遮挡易影响影像质量，导致生成的林木点云存在噪声冗余、密度不均及地面点干扰，且复杂林分中林木株间交错、冠层重叠，给单木分割与树种分类带来实际难度，现有点云处理方法的适配性有待提升^[3]。因此，探索基于智能手机影像的低成本林木点云获取、单木分割及树种分类技术，攻克相关适配难题，成为林业遥感与森林资源监测领域的重要研究方向。

2 材料与方法

构建面向林区场景的低成本技术框架，以智能手机采集的连续视频序列为数据基础，先经关键帧提取、运动恢复结构（SfM）及多视图立体（MVS）技术^[4]完成三维初始点云重建，再通过系统化点云预解决点云噪声、密度不均及地面点干扰问题，后续结合元学习自适应密度聚类单木分割与深度学习树种分类方法，形成完整技术体系。该框架无需依赖高价专业设备，为林区林木点云获取、单木分割及树种分类提供了低成本实用方案。

2.1 数据收集

智能手机影像生成树木初始点云的流程如图 1 所示：利用手机收集树木视频，规划拍摄路径以覆盖树木双侧全相，采集

时保持手机平稳；采用 DVDVideoSoft Free Studio 软件抽帧，抽帧率 ≥ 3 帧/秒且单木多视角图片 ≥ 30 张；抽帧图像导入 Agisoft Metashape Professional 软件，经 SfM 技术生成稀疏点云，再通过 MVS 技术完成深度计算与密集匹配，最终生成稠密初始点云。



图 1 树木初始点云生成

2.2 林木点云协同预处理

构建林木点云协同预处理体系：聚焦手机影像点云特性，以降采样、去噪、地面点分割为衔接串行流程，实现模块互补增效；采用局部几何自适应降采样，动态调分辨率，精简数据并留存林木关键特征；借动态核密度估计引导的迭代双边滤波，融多维度权重，平衡去噪与点云几何结构保全；结合多尺度法向量一致性聚类、DBSCAN 及备选 RANSAC，精准分离地面点，适配复杂林地地形，突破传统阈值法局限，输出高质量点云数据。

2.3 单木分割

单木分割阶段提出元学习自适应密度聚类算法：借助元学习模块自动分析林分点云样本规模、密度及 K 近邻距离等核心特征，智能预测 DBSCAN 最优参数；融合多密度层级感知机制，通过 KMeans 聚类识别密度层级并自适应调整邻域半径，完成差异化邻域搜索；同步构建图注意力扩散模块，基于邻域半径建立带注意力权重的点云拓扑图，强化同一树冠离散点云的拓扑连接，提升对密度不均林分点云的适配性，实现单木实例自动化聚类分割。数据处理流程如图 2 所示。

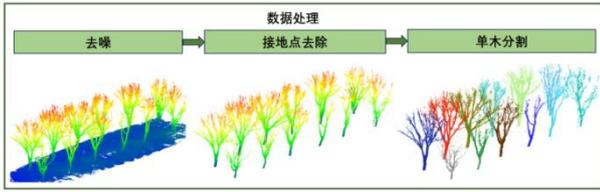


图2 数据处理流程图

技术流程包含影像采集至树种分类的完整环节，核心创新为预处理与单木分割耦合协同，改善手机点云质量，引入元学习与自适应机制降低经验依赖，为基层林业提供低成本高效自动化支撑。

3 树种分类实验

3.1 实验过程

3.1.1 Trees9 数据集制作

Trees9 数据集制作采用智能手机结合 SfM 技术，低成本完成多地块树林视频录制与点云重建。为保障效果，为 9 种树木规划专属地块，最终留存 941 棵有效点云数据，按 7:1:2 划分训练、验证、测试集，具体组成见表 1。

表 1 Trees9 数据集具体组成

标签	树种	训练集	验证集	测试集	总
0	红枫	120	17	29	166
1	白桦	35	5	10	50
2	水曲柳	37	5	10	52
3	红松	52	7	13	72
4	黑杨	38	5	10	53
5	毛白杨	79	11	22	112
6	山杏	115	16	31	162
7	蒙古栎	70	10	19	99
8	紫椴	125	18	32	175
总		671	94	176	941

3.1.2 Point Transform 分类模型

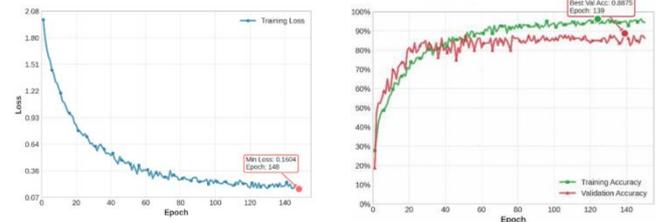
树种分类选用 Point Transform^[5]模型，实验基于 NVIDIA GeForce RTX 4090 平台运行，采用 Python 3.8 与 CUDA 11.8 环境，具体实验参数设置见表 2。模型总体性能通过总体准确率 (OA)、平均准确率 (mAcc)、宏精确率 (macro-precision)、宏召回率 (macro-recall) 及宏观 F1-score (macro-F1) 综合评估。

表 2 Point Transform 分类模型中的参数设置

Hyperparameter	Value
Batch Size	16
Number of Points	1024
Number of Categories	9
Epochs	10
Optimizer	Adam
Learning Rate	0.0001
Learning Rate Scheduler	StepLR
Weight Decay	0.0001

3.2 实验结果分析

树种分类总体准确率 92.05%、平均类别准确率 90.79%，宏精确率 92.40%、宏召回率 90.79%、宏观 F1-score 91.39%。模型训练过程中的损失与准确率变化如图 3 所示。其中，子图 (a) 为训练损失曲线，显示损失值从初始约 2.08 持续下降，迭代收敛至最小值 0.1604，反映模型在训练集上的拟合效果随迭代次数增加持续优化，收敛趋势稳定；子图 (b) 为训练与验证准确率曲线，训练准确率随迭代逐步上升并趋近于 95%，验证准确率迭代达到峰值 88.75%，后续虽有小幅波动但整体保持稳定，表明模型具备良好的泛化能力。



(a) 训练损失图像

(b) 训练与验证准确率

图 3 模型训练损失与准确率变化图

树种分类实验的混淆矩阵如图 4 所示，直观呈现了 Point Transform 模型对红枫、白桦、水曲柳、红松、黑杨、毛白杨、山杏、蒙古栎、紫椴共 9 类树种的分类性能。模型整体分类效果优异，其中山杏、紫椴、毛白杨、蒙古栎的识别精度尤为突出，混淆矩阵中对应类别的对角线数值显著高于非对角线数值，这一特征表明这些树种的点云特征具有较强独特性，模型可对其实现高效精准区分。对于白桦、水曲柳、红松、黑杨等样本量相对较少的树种，分类精度虽略有降低，但未出现严重跨类别混淆现象，体现了模型在样本量不均衡场景下的鲁棒性。从整体来看，混淆矩阵以对角线元素为主导，表明 Point

Transform 模型能够有效提取林木点云的深层特征，为不同树种的精准甄别提供了可靠支撑。

4 结语

本研究针对基于手机影像重建点云的林木精准识别与分类这一林业监测核心需求，构建了包含影像采集、三维重建、点云协同预处理、单木分割及树种分类的完整技术体系。通过协同预处理流程，显著提升了手机重建点云数据的结构化程度与质量；提出的元学习自适应密度聚类算法，实现了复杂林分场景下的高精度单木分割；基于 Point Transform 模型，最终实现了 9 类树种的高精度分类。该技术体系降低了传统林业监测对专业设备与人工经验的依赖，为基层林业提供了低成本、自动化的树种分类技术方案，也为智慧林业的落地应用提供了可行的技术参考与实践思路。未来研究可进一步优化算法的跨场景泛化性能，融合多源数据提升模型鲁棒性，助力该技术在林业资源监测与管理中更广泛地应用。

红枫	25	0	0	2	0	1	0	1	0
白桦	2	7	0	1	0	0	0	0	0
水曲柳	0	0	10	0	0	0	0	0	0
红松	1	0	0	12	0	0	0	0	0
黑杨	1	0	0	0	9	0	0	0	0
毛白杨	0	1	0	0	0	21	0	0	0
山杏	0	0	0	0	0	0	30	0	1
蒙古栎	0	0	0	0	0	0	0	17	2
紫椴	0	0	0	0	0	0	1	0	31
	红枫	白桦	水曲柳	红松	黑杨	毛白杨	山杏	蒙古栎	紫椴

图 4 树种分类实验混淆矩阵

参考文献:

- [1] XU Y,QIU Q.Challenges and Prospects of Forest Biological Resource Transformation under the Dual-Carbon Policy Framework[J].Journal of Bioresources and Bioproducts,2026:100231.
- [2] LIAN Y,FENG Z,HUAI Y,et al.Terrestrial Videogrammetry for Deriving Key Forest Inventory Data:A Case Study in Plantation[J].Remote Sensing,2021,13(16):3138.
- [3] LI J,WANG J,CHEN J,et al.Towards robust point cloud recognition with sample-adaptive auto-augmentation[J].IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2025.
- [4] LIU C,GU M,HUANG H,et al.Hyperspectral images 3D reconstruction based on structure-from-motion and multi-view stereo[J].Optics and Lasers in Engineering,2026,199:109578.
- [5] ENGEL N,BELAGIANNIS V,DIETMAYER K.Point transformer[J].IEEE access,2021,9:134826-40.