

## 基于计算机视觉技术的行道树分割与统计

流动站名称：风景园林学  
工作起始时间：2019年3月-2024.09

汇报人：徐 昇

导 师：王 浩

2024年10月23日



风景园林学院



信息学院·人工智能学院



01



背景&意义

02



目标&内容

03



方法&路线

04



成果&精度

05

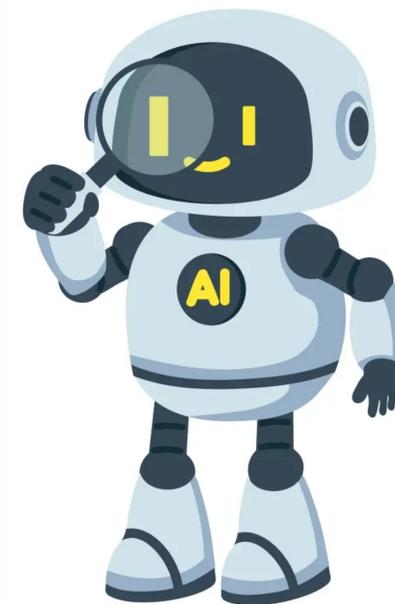


总结&展望

06



致谢



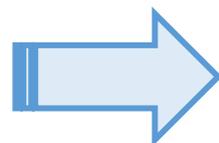
## 森林固碳

在生态城市发展中，落实国家“双碳”战略需科学地、有效地、便捷地为城市生态文明建设提供基础理论和数据支撑。

“十四五”林业草原保护发展  
规划纲要

国家林业和草原局  
国家发展和改革委员会  
2021年7月

国家林业和草原局、国家发展和改革委员会联合印发《“十四五”林业草原保护发展规划纲要》中指出应科学推进大规模国土绿化行动，坚持存量增量并重、数量质量统一，全面推行林长制，实施综合监测，开展成效评估。



城市绿化

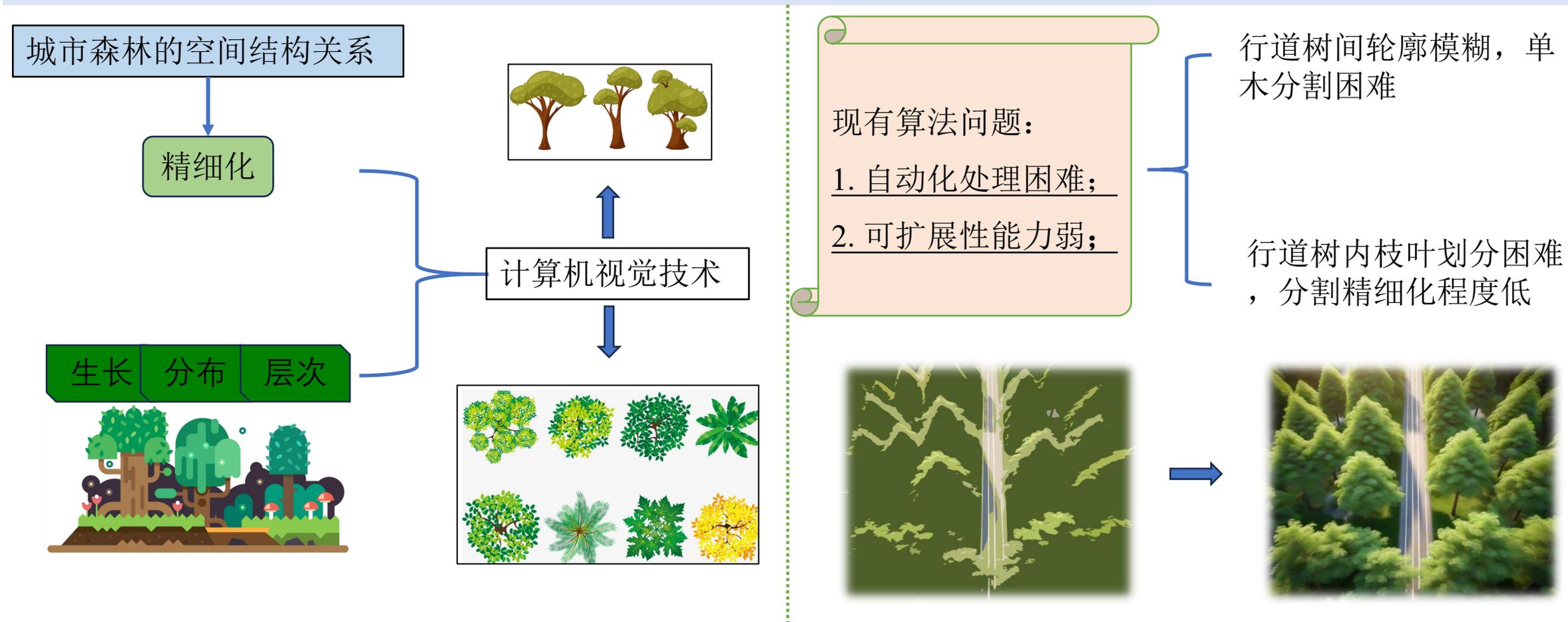
行道树

公园

住宅



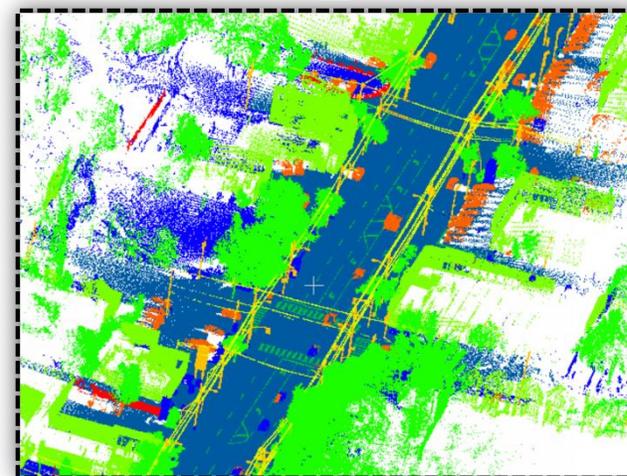
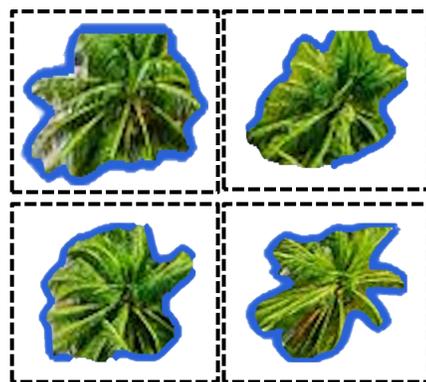
## 趋势与问题



# 研究目标

### 研究目的

### 行道树的分割研究



### 预期结果

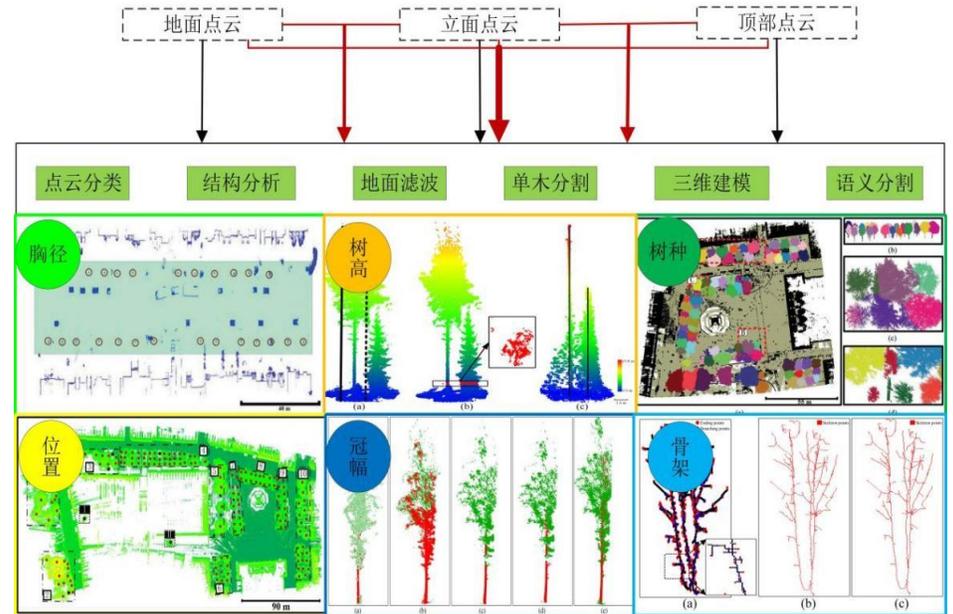
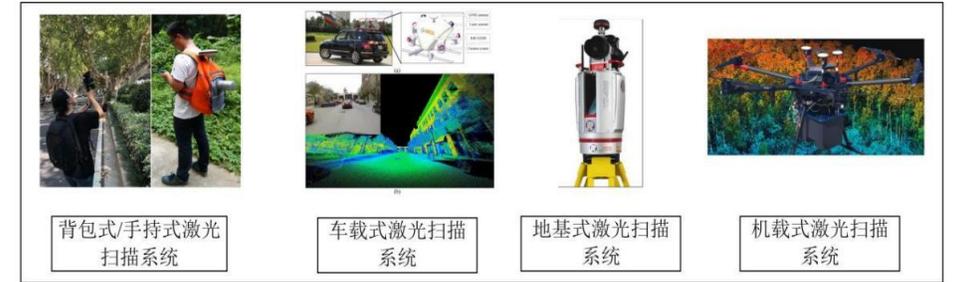
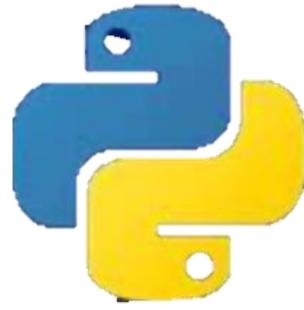
- 单木定位精度>85%
- 单木分割精度>80%
- 枝叶分割精度>80%

# 研究内容

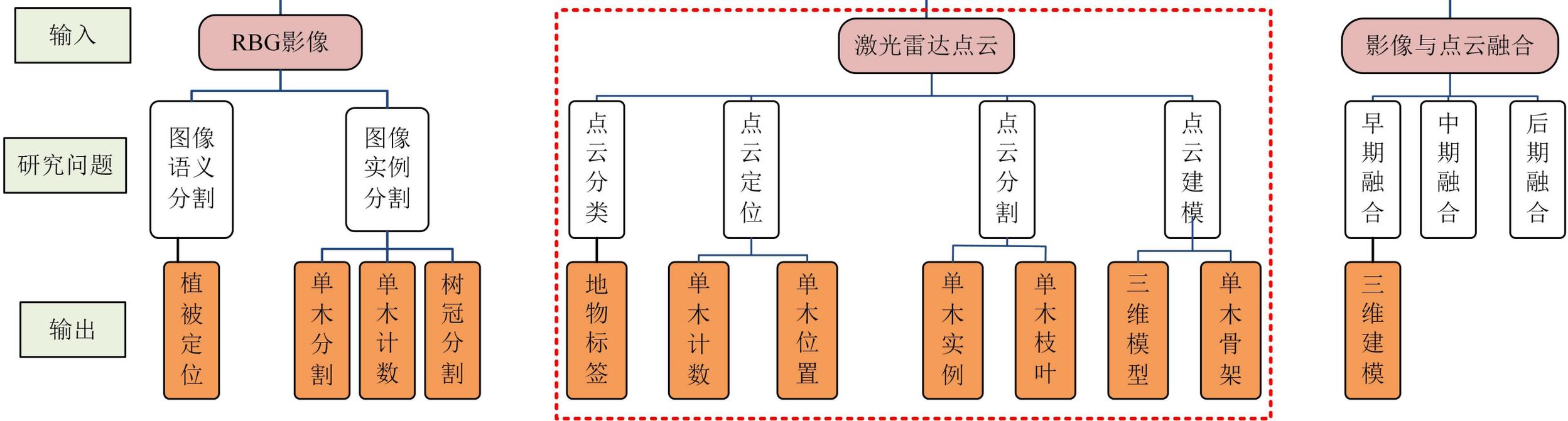
理论

- 三维激光点云的分类研究
- 三维激光点云的行道树定位研究
- 三维激光点云的行道树分割研究
- 三维激光点云的行道树建模研究

应用



# 基于计算机视觉技术的行道树分割与统计



## 三维激光点云的分类研究(IEEE TPAMI, 2021)

✓ 提出一个最优向量场模型，提供局部的视觉分割信息

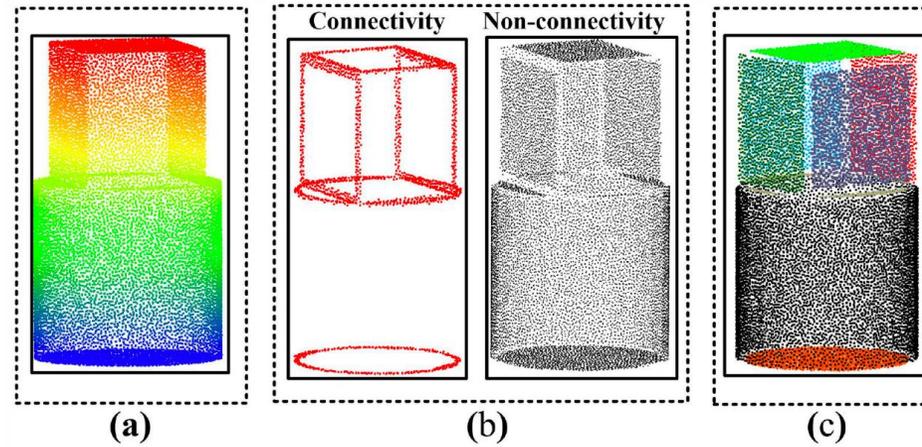
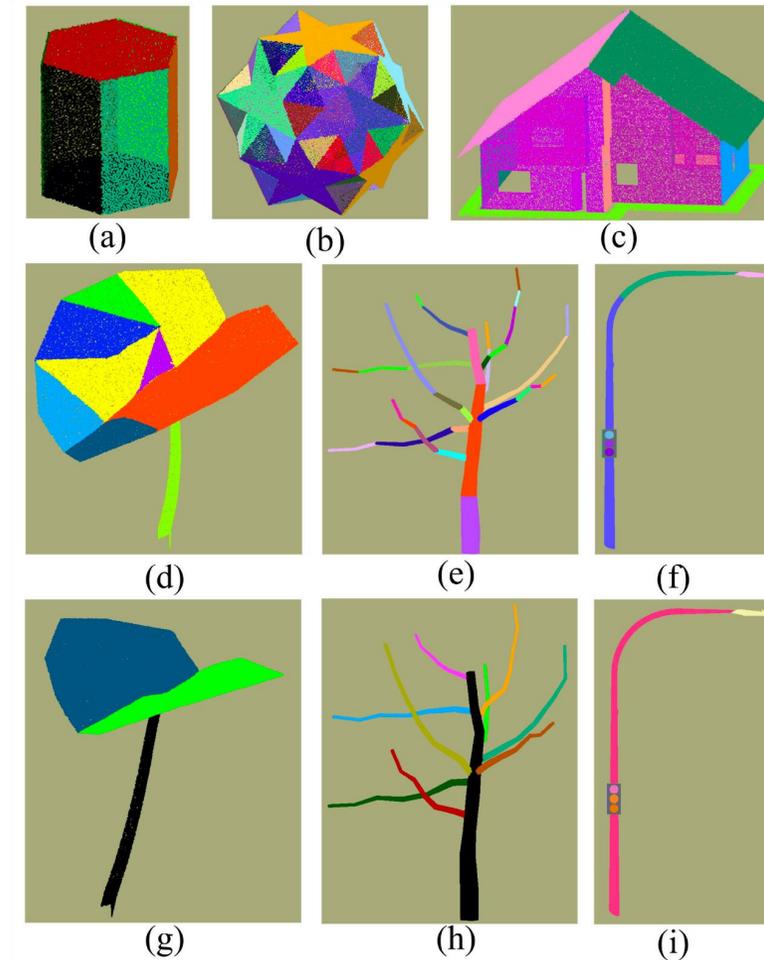


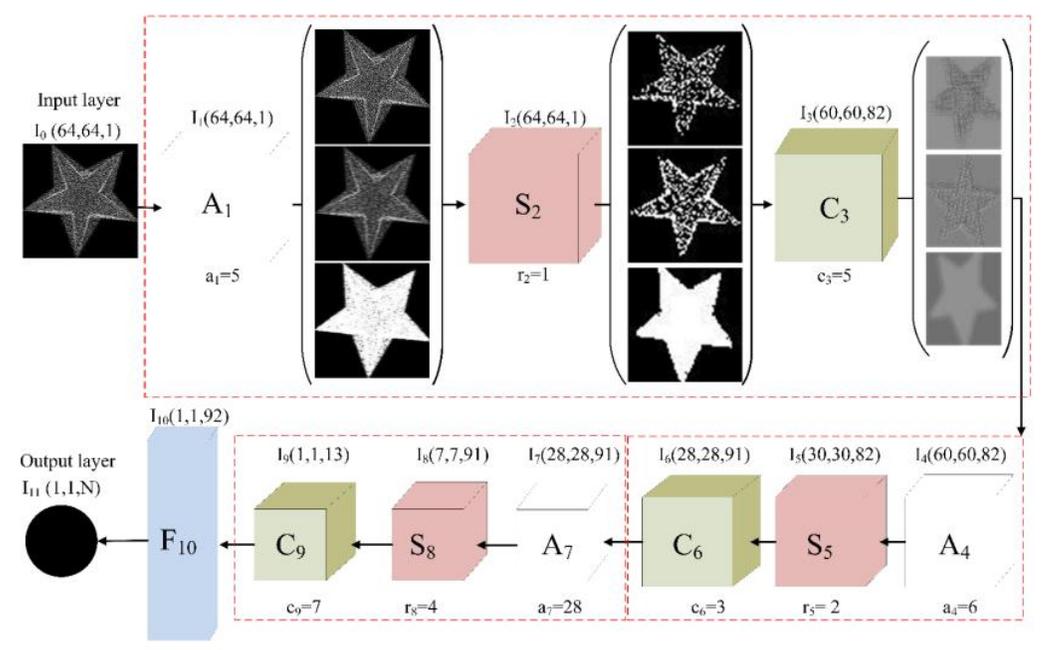
TABLE 4  
Comparison With the Object Segmentation Algorithms

Method	Average	man-made ground	natural ground	high vegetation	low vegetation	buildings	hard scape	scanning artifacts	cars
SnapNet_	0.591	0.820	0.773	0.797	0.229	0.911	0.184	0.373	0.644
SEGCloud	0.613	0.839	0.660	0.860	0.405	0.911	0.309	0.275	0.643
SPGraph	0.732	0.974	0.926	0.879	0.440	0.932	0.310	0.635	0.762
shellnet_v2	0.693	0.963	0.904	0.839	0.410	0.942	0.347	0.439	0.702
RGNet	0.747	0.975	0.930	0.881	0.481	0.946	0.362	0.720	0.680
KP-FCNN	0.746	0.909	0.822	0.842	0.479	<b>0.949</b>	<b>0.400</b>	<b>0.773</b>	0.797
OctreeNet_CRF	0.591	0.907	0.820	0.824	0.393	0.900	0.109	0.312	0.460
GAC	0.708	0.864	0.777	<b>0.885</b>	<b>0.606</b>	0.942	0.373	0.435	0.778
Ours	<b>0.754</b>	<b>0.985</b>	<b>0.965</b>	0.821	0.442	0.905	0.245	N/A	<b>0.914</b>

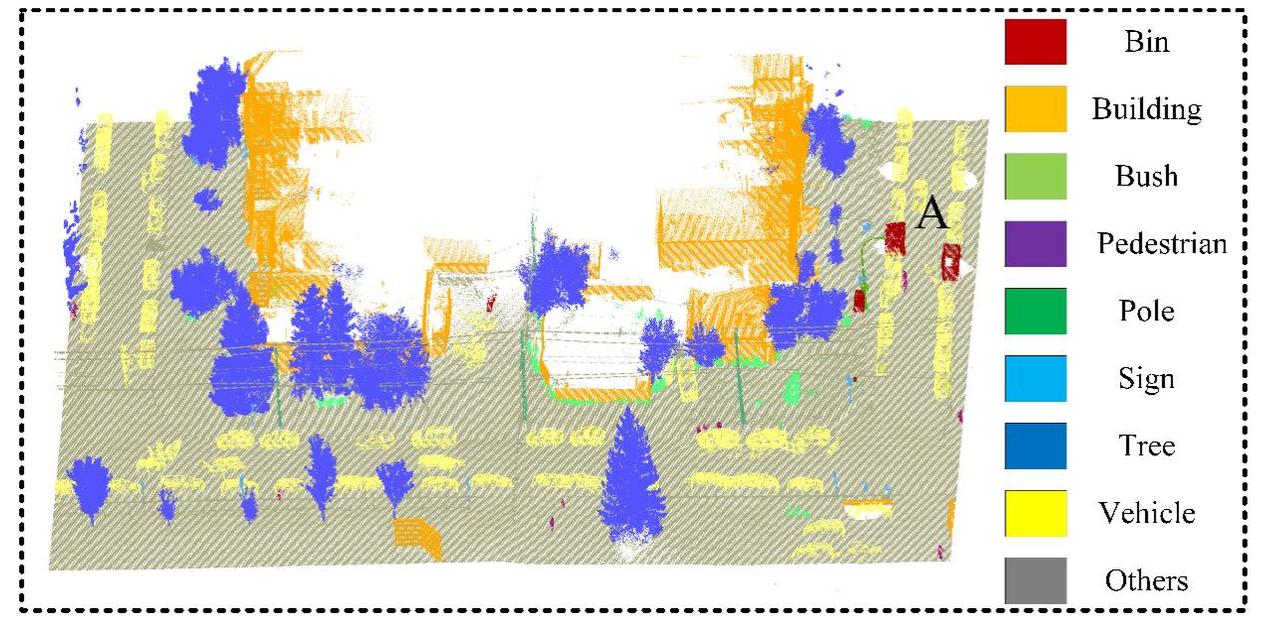


### 三维激光点云的分类研究(IEEE GRSL, 2022)

✓ 提出一个特征增强层，通过一个可学习高斯核，完成特征的增强与提取

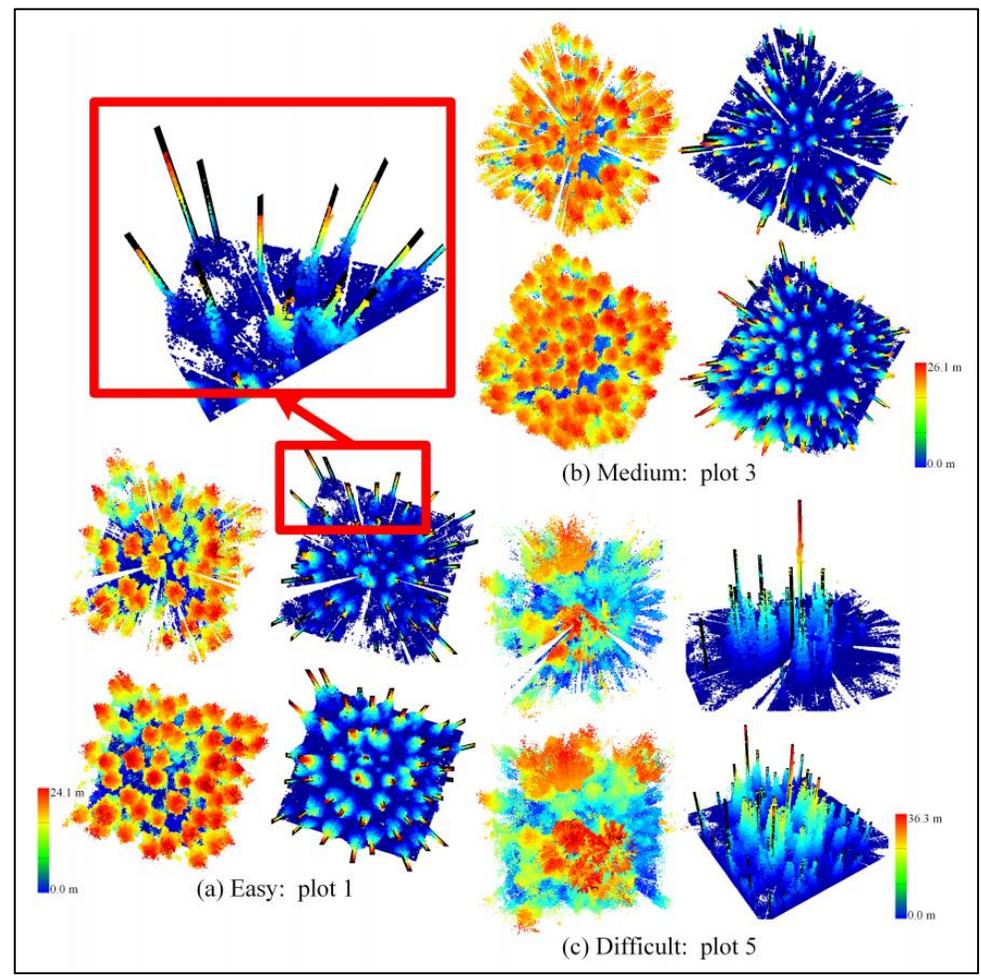
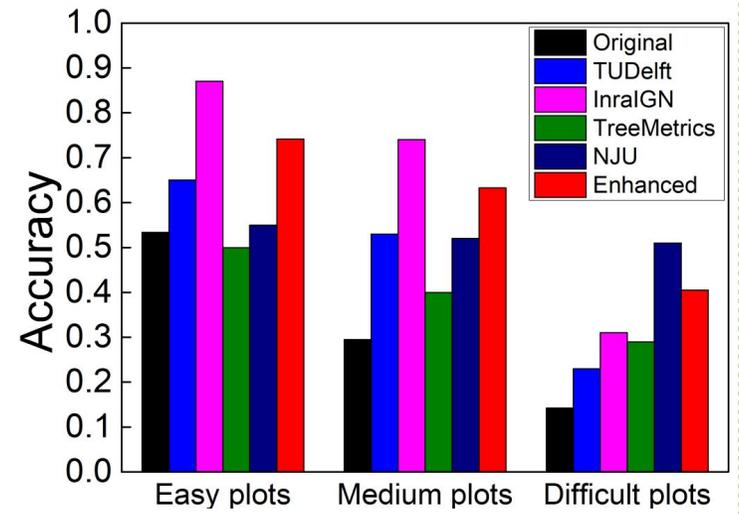
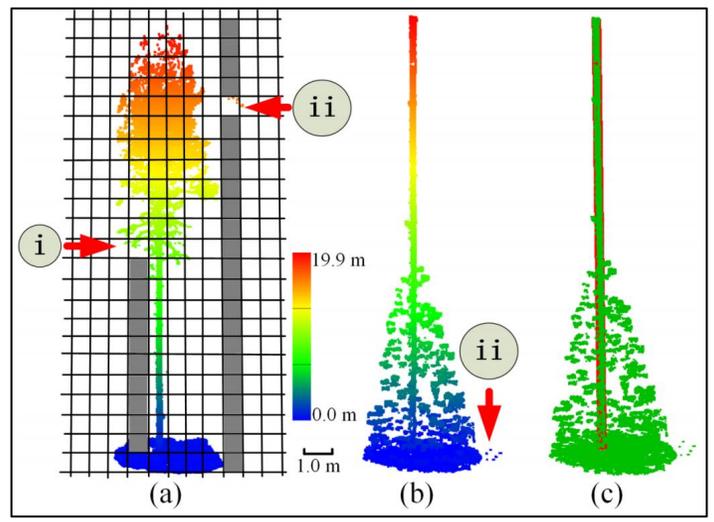


Accuracy	本文算法
ModelNet10	92.52
ModelNet40	89.11

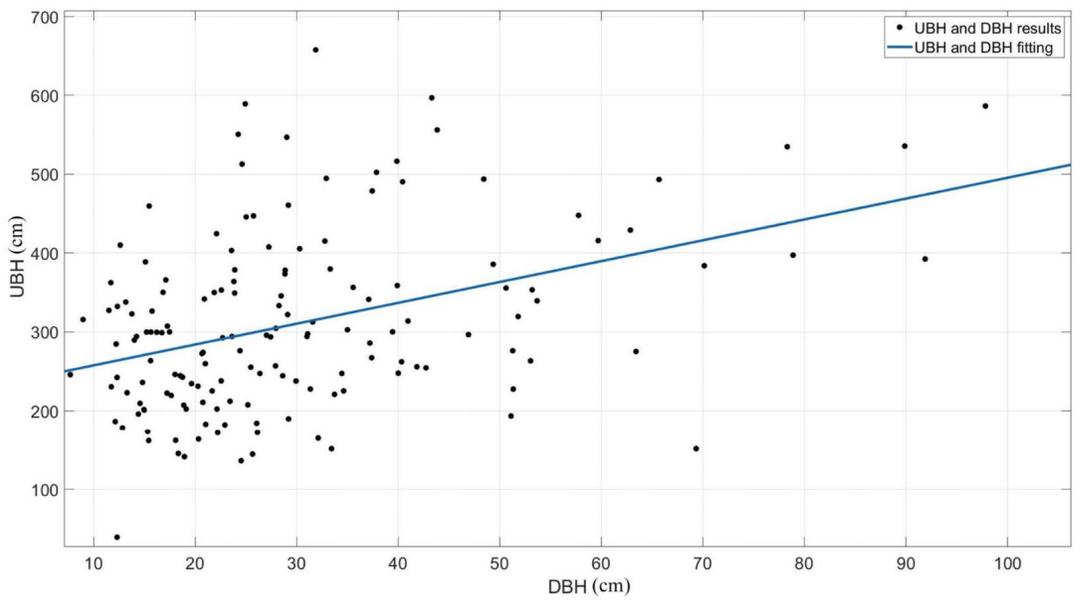
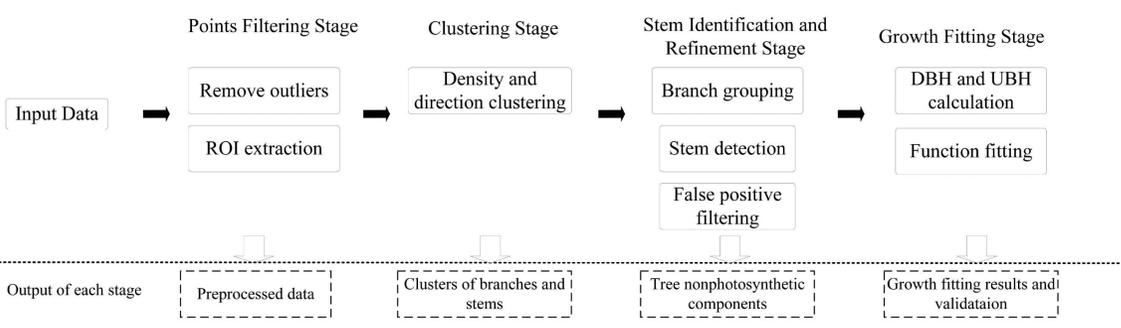


### 三维激光点云的行道树定位研究 (RS, 2021)

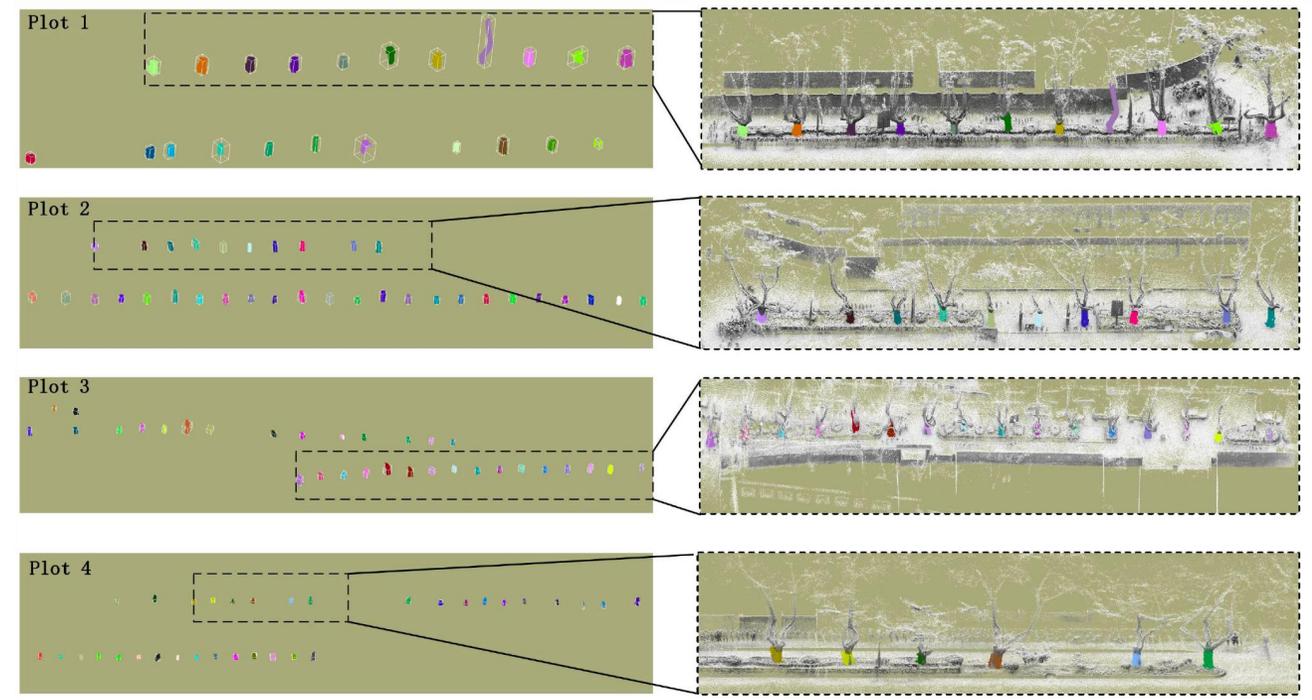
✓ 提出一种基于顶部的单木定位方法，可用于复杂单木场景的点云数据



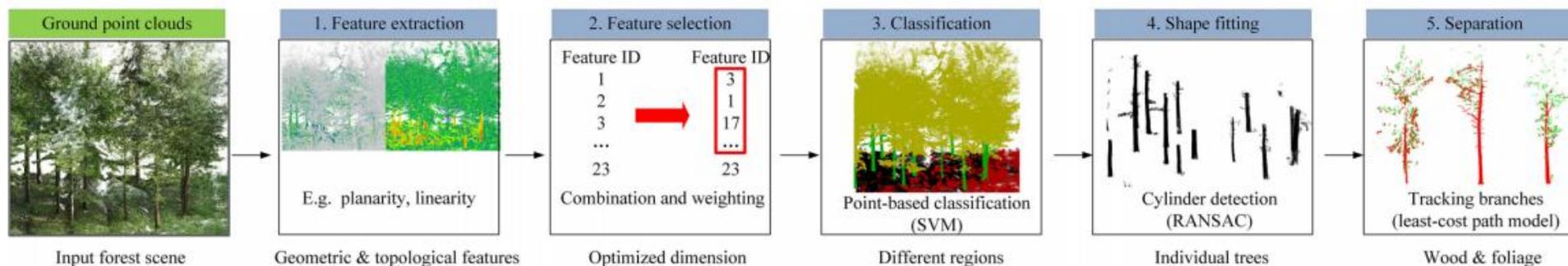
# 三维激光点云的行道树分割研究-单木分割 (IEEE JSTARS, 2021)



✓ 提出一种基于密度的聚类，通过定位树干获得单木分割结果

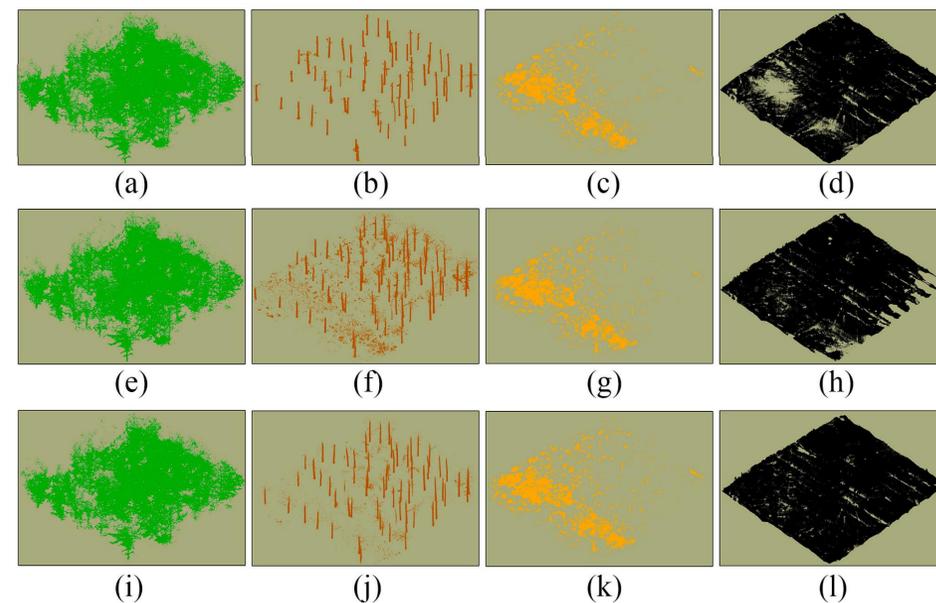


## 三维激光点云的行道树分割研究--枝叶分离 (IEEE JSTARS, 2021)

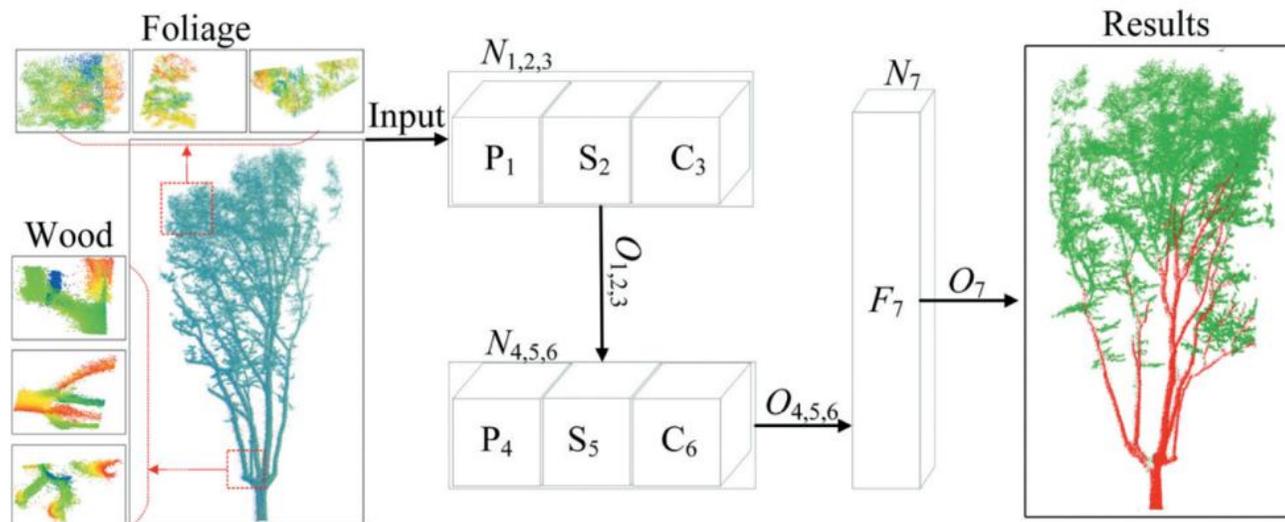


✓ 提出一个基于拓扑特征的点云分类算法

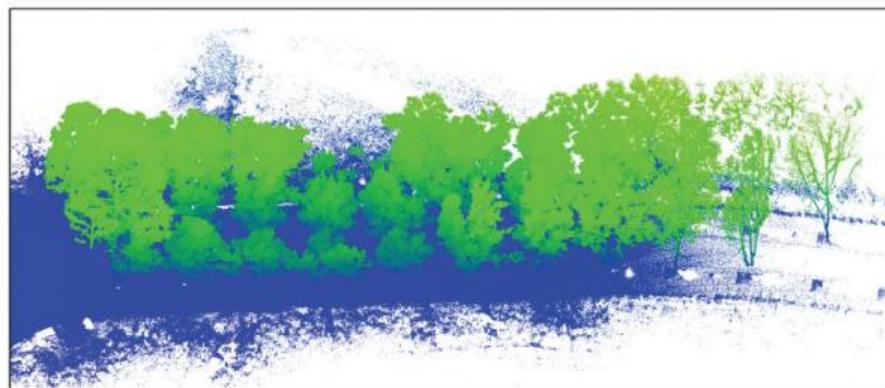
Method	Target	Evaluation	$p$	$r$	$f$
[34]	Wood	Point-based	94.56	66.83	0.78
[35]	Wood	Point-based	81.42	86.67	0.84
[15]	Wood	Point-based	82.18	89.14	0.86
[36]	Wood	Point-based	91.87	84.27	0.88
Ours	Wood	Point-based	91.25	90.34	0.91



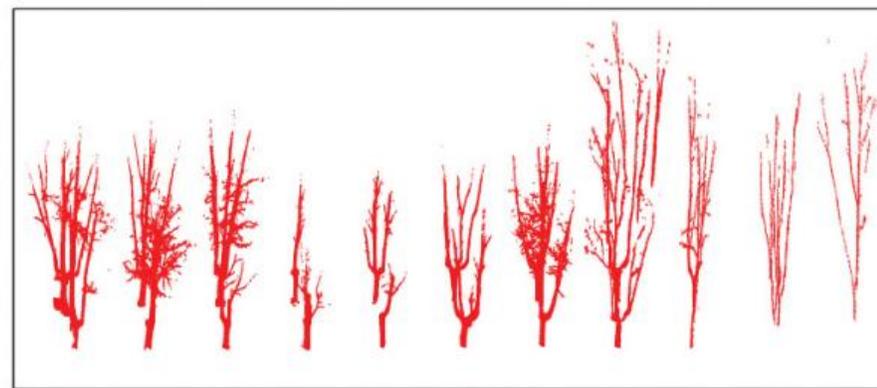
## 三维激光点云的行道树分割研究--枝叶分离(RSL, 2023)



✓ 提出一个投影层捕获旋转树干的几何结构信息，降低3D卷积过程中的计算量



(a)



(b)

Accuracy	ACNN
准确度	90.4%
完整度	91.5%

# 三维激光点云的行道树建模研究--单木骨架提取 (RS, 2021)

✓ 提出一个动态规划路径优化算法，获得全局最优的单木骨架信息

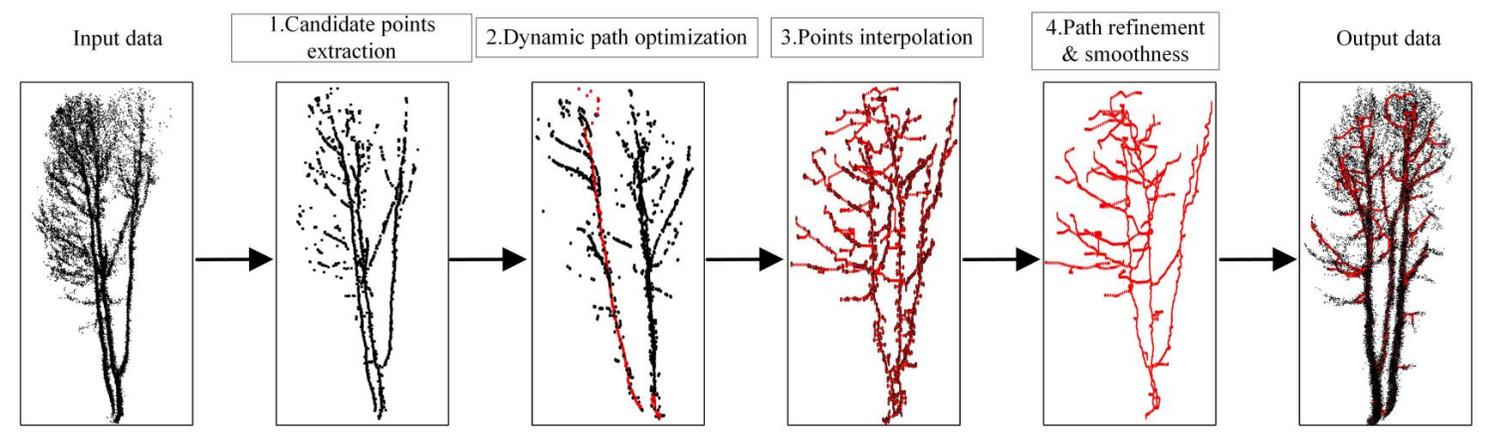
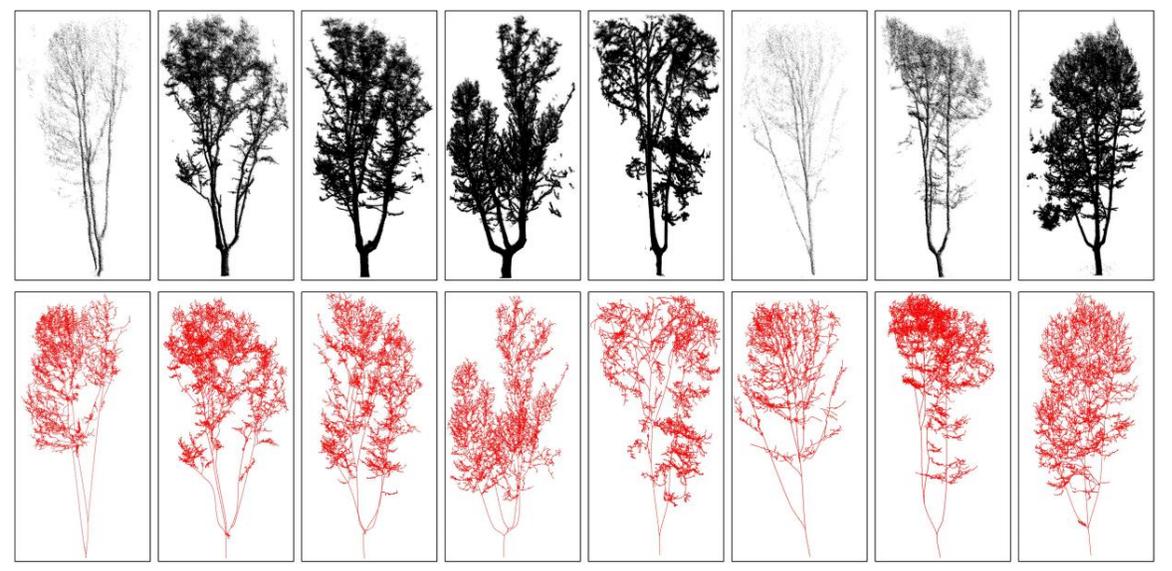


Table 1. Data information of skeleton extraction.

ID	H (m)	S	P	Our_P	AD_P	AD_Ratio	Our_Ratio
a	7.80	1	22,520	1566	25,930	1.151	0.070
b	8.42	1	71,220	1982	79,783	1.120	0.028
c	7.62	1	127,868	1620	133,979	1.048	0.013
d	9.43	2	413,249	2763	37,841	0.092	0.007
e	9.56	2	945,333	2648	35,585	0.038	0.003
f	8.20	2	632,514	1891	28,243	0.045	0.003
g	7.75	2	789,197	2796	34,505	0.044	0.004
h	7.41	2	614,486	2168	35,970	0.059	0.004
i	18.58	3	31,977	6311	27,701	0.866	0.197
j	21.49	3	424,618	10,639	45,431	0.107	0.025
k	21.01	3	1,175,513	8485	34,928	0.030	0.007
l	21.09	3	1,531,635	9122	38,248	0.025	0.006
m	23.15	3	1,528,382	10,722	40,953	0.027	0.007
n	24.68	3	16,407	7381	21,818	1.330	0.450
o	25.42	3	95,923	9609	40,107	0.418	0.100
p	23.61	3	1,316,136	11,414	43,361	0.033	0.009



## 三维激光点云的行道树建模研究--三维建模 (IJIMAI, 2024)

✓ 提出一个路径追踪算法，对各个局部区域进行优化建模

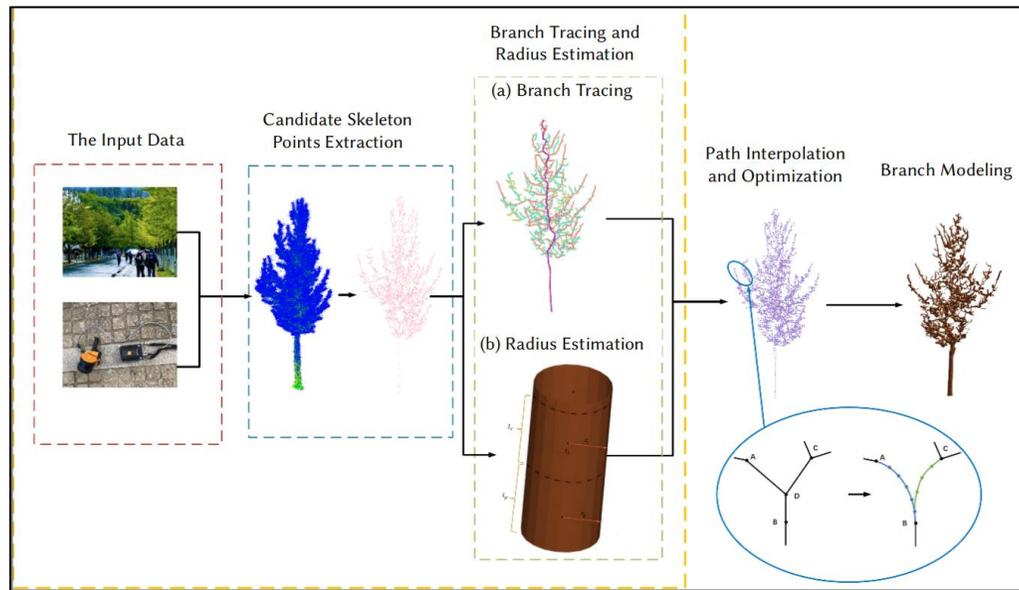
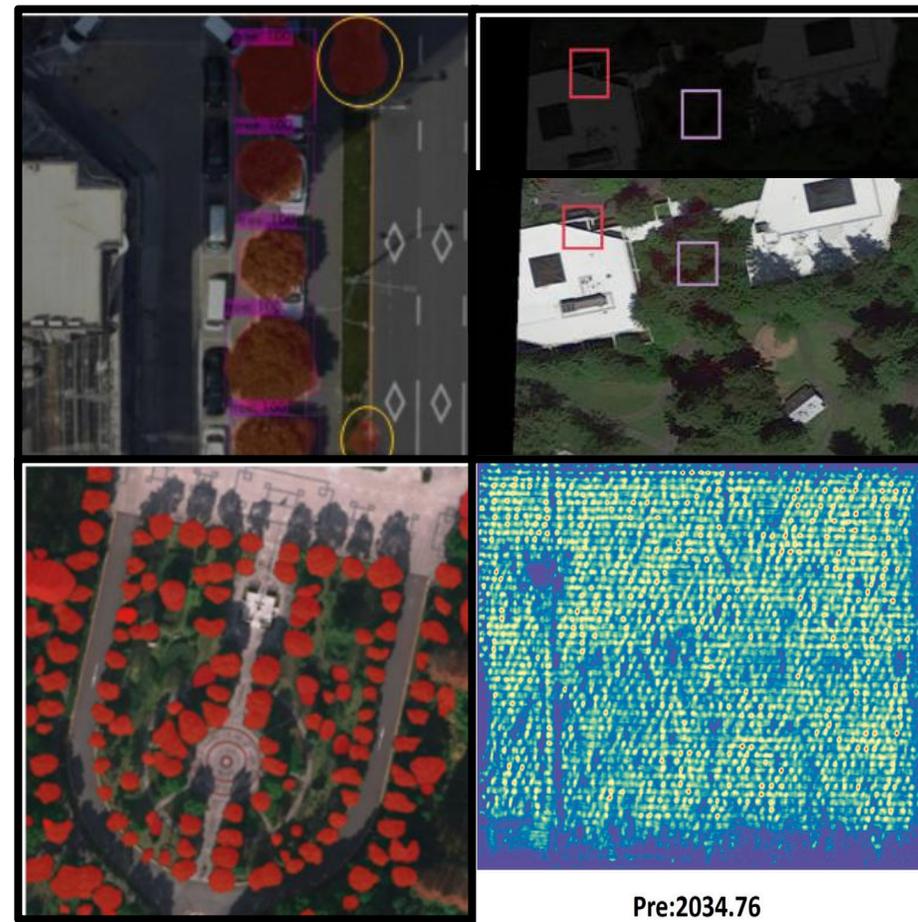
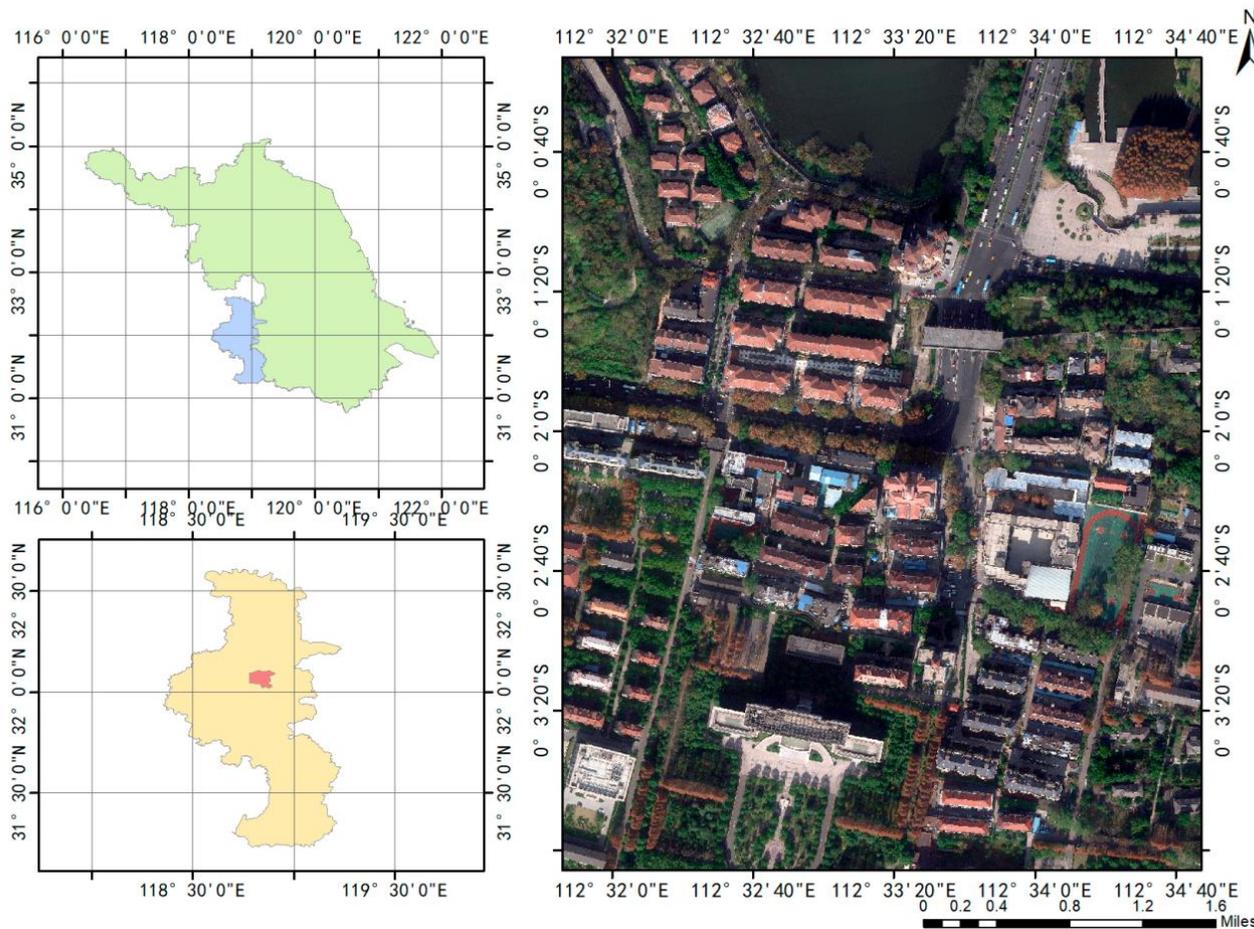


TABLE II. QUANTITATIVE RESULTS FOR GINKGO, PRUNUS AND PLATANUS TREES

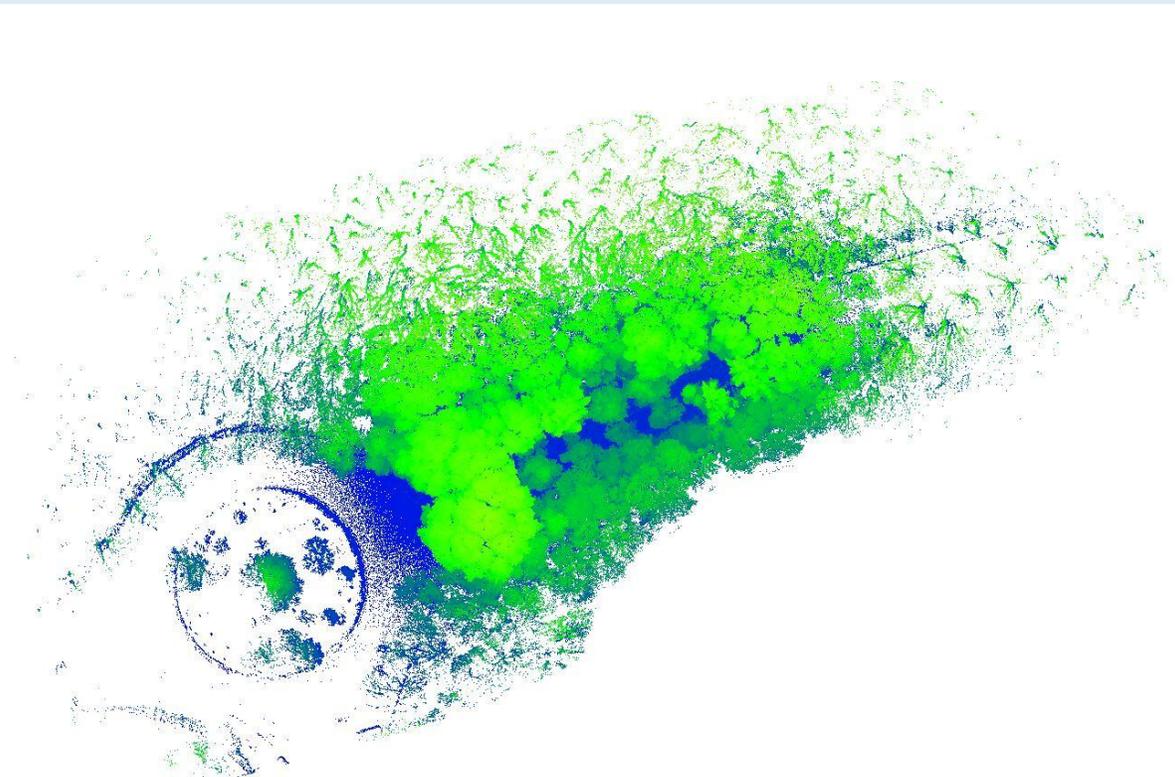
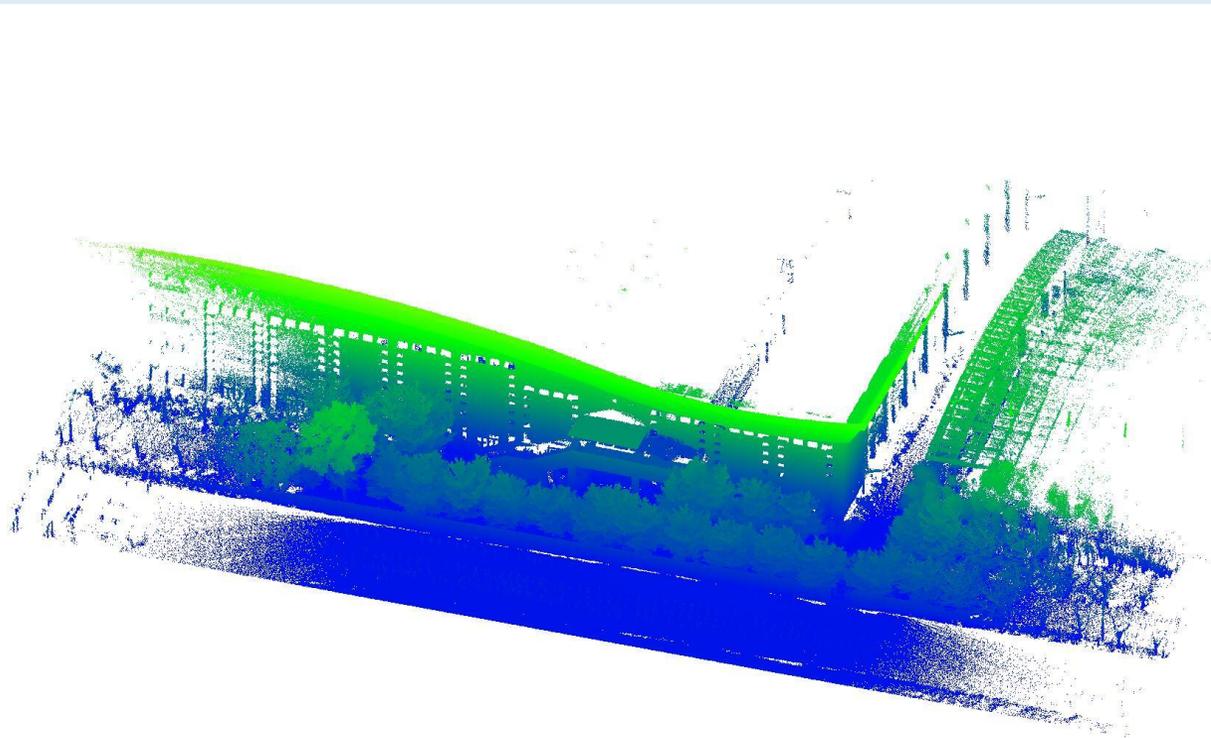
ID	Points	CT Cones Tree	TreeQSM	Ours	Increase
a	945333	97.28%	92.39%	<b>97.69%</b>	+0.41%
b	632514	92.31%	92.06%	<b>99.52%</b>	+7.21%
c	1972532	95.04%	81.19%	<b>97.64%</b>	+2.6%
d	2046869	93.97%	90.77%	<b>99.67%</b>	+5.7%
e	93768	64.02%	39.43%	<b>92.53%</b>	+28.51%
f	95923	92.96%	53.64%	<b>97.92%</b>	+4.96%



## 数据集-无人机遥感影像 (IJIMAI, 2022; TGRS, 2023; Forest, 2024; JAG, 2024;)



# 数据集-激光雷达点云



# 博士后期间相关论文

1. **Xu Sheng**, Wang Ruisheng(\*), Wang Hao and Yang Ruigang. “Plane Segmentation Based on the Optimal-vector-field in LiDAR Point Clouds.” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. vol. 43(11), pp. 3991-4007, 2021, DOI: 10.1109/TPAMI.2020.2994935. (点云分类, 影响因子: 20.08, 引用次数 32)
2. 华周阳, **徐昇**, 刘应安. 基于积面特征和指向特征的点云植被分类算法[J]. 激光与光电子学进展, 2022, 59(18):410-416. (点云分类)
3. Xia Shaobo, Chen Dong, Peethambaran Jiju, Wang Pu, and **Xu Sheng(\*)**. “Point Cloud Inversion: A Novel Approach for the Localization of Trees in Forests from TLS Data.” Remote Sensing. vol. 13(3), pp. 338, 2021, DOI: 10.3390/rs13030338. (单木定位, 影响因子: 4.2, 引用次数 11)
4. **Xu Sheng**, Sun Xinyu, Yun Jiayan and Wang Hao(\*). “A New Clustering-Based Framework to the Stem Estimation and Growth Fitting of Street Trees From Mobile Laser Scanning Data.” IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. vol. 13, pp. 3240-3250, 2020, DOI: 10.1109/JSTARS.2020.3001978. (单木分割, 影响因子: 4.7, 引用次数 27)
5. **Xu Sheng**, Zhou Kai, Sun Yuan and Yun Ting(\*). “Separation of Wood and Foliage for Trees From Ground Point Clouds Using a Novel Least-Cost Path Model.” in IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 14, pp. 6414-6425, 2021, DOI: 10.1109/JSTARS.2021.3090502. (枝叶分离, 影响因子: 4.7, 引用次数 19)
6. Han Wen, Cao Lei, **Sheng Xu(\*)**. A Method of the Coverage Ratio of Street Trees Based on Deep Learning. International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence, 7.5 (2022). DOI: 10.9781/ijimai.2022.07.003. (森林分割, 影响因子: 3.4, 引用次数 8)

# 博士后期间相关项目

1. 三维激光扫描点云的最优向量场构造及其在点云分割中的研究，国家自然科学基金（青年基金），30万，2021.08-2024.12，主持
2. 基于背包式激光扫描及能量最小化模型的行道树分割规划，中国博士后面资助，8万，2019.11-2022.12，主持，已结题
3. 移动激光扫描数据中的树木非光合作用部分的分割研究，江苏省高等学校自然科学研究面上项目，5万，2019-09-2022.12，主持，已结题
4. 基于移动式激光扫描数据及二分图匹配的行道树非光合作用部分聚类研究，江苏省自然科学基金(青年基金项目)，20万，2020.03-2023.03，主持，已结题
5. 基于激光扫描点云数据中向量场的平面分割研究，南京林业大学标志性成果培育建设项目，20万，2020.05-2022.05，主持，已结题

# 结论

针对行道树的精细化分析中面临的挑战，基于计算机视觉技术从点云的分类、定位、分割，以及建模开展研究，研发技术如下：

### 1. 点云分类技术：

- ✓ 基于最优向量场的地物分割；
- ✓ 基于特征增强网络的地物分类；

### 2. 目标检测技术：

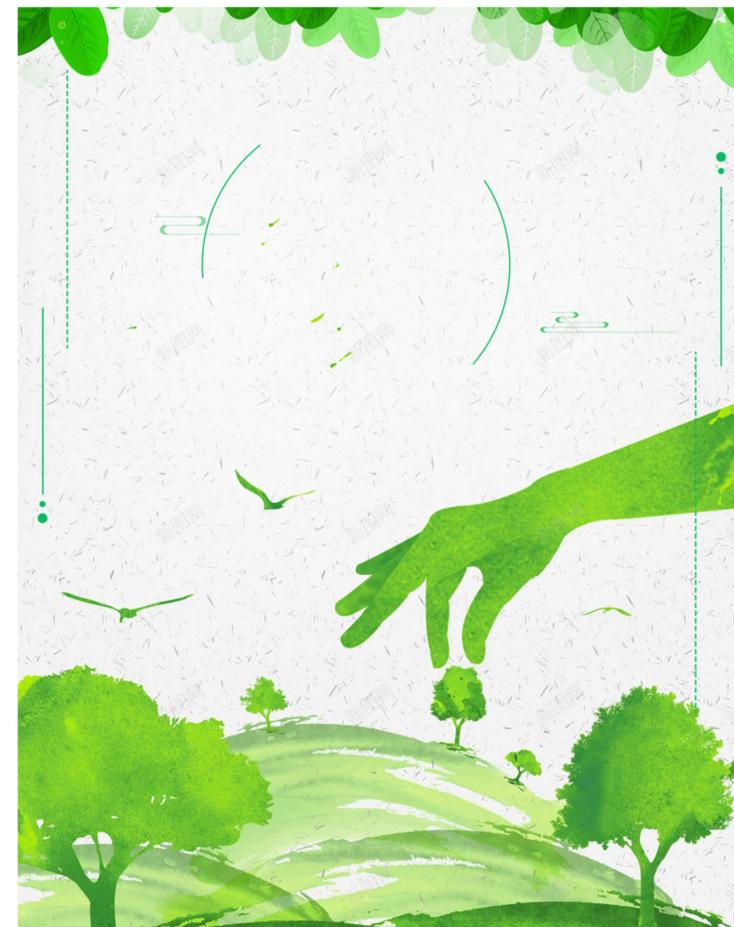
- ✓ 基于顶部的点云信息的单木定位；

### 3. 点云分割技术：

- ✓ 基于密度聚类的单木分割；
- ✓ 基于最小代价路径的枝叶分离；
- ✓ 基于投影技术的单木枝叶分离；

### 4. 点云三维重建

- ✓ 基于动态规划的单木骨架检测；
- ✓ 基于几何截锥体的单木重建；
- ✓ 基于路径追踪的单木三维重建；



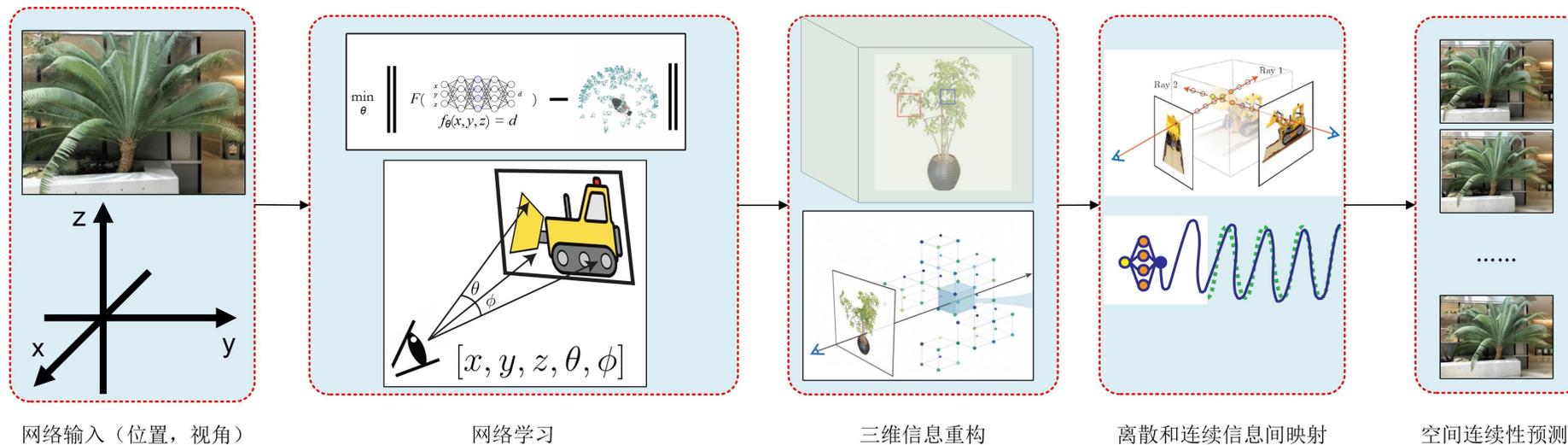
# 下一步工作

表达:

- 二维图像和三维点云特征融合
- 三维行道树进行连续表达与处理

处理:

- 智能化单木生长结构参数计算
- 精细化单木生长表型分析



# 致谢

## 导师

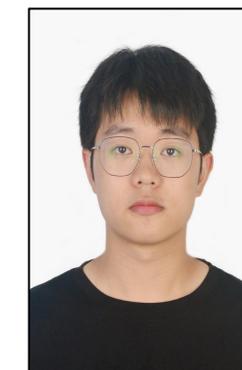


风景园林学院



信息学院·人工智能学院

## 课题组硕士生



1. 王成,蔡春菊,陶康华.城市森林的概念、范围及其研究.世界林业研究,(02):23-27,2004.
2. 李德仁,姚远,邵振峰.智慧城市中的大数据.武汉大学学报(信息科学版),39(06):631-640,2014.
3. Chen, Z., Xu, B., and Gao, B.. Assessing visual green effects of individual urban trees using airborne LiDAR data. Science of the Total Environment, 536:232-244,2015.
4. Pataki, D.. Urban greening needs better data. Nature, 502(7473): 624-624,2013.
5. Seiferling, I., Naik, N., Ratti, C., and Proulx, R.. Green streets—Quantifying and mapping urban trees with street-level imagery and computer vision. Landscape and Urban Planning, 165:93-101, 2017.
6. 杨必胜,陈驰,董震.面向智能化测绘的城市地物三维提取.测绘学报,51(07):1476-1484,2022.
7. 李增元,刘清旺,庞勇.激光雷达森林参数反演研究进展.遥感学报,20(05):1138-1150,2016.
8. 董震,杨必胜.车载激光扫描数据中多类目标的层次化提取方法.测绘学报,44(09):980-987,2015.
9. 杨铭.背包式移动三维激光扫描系统的应.测绘通报,(09):91-95,2018.
10. 刘鲁霞,庞勇,李增元,徐光彩,李丹,郑光.用地基激光雷达提取行道树结构参数—以白皮松为例.遥感学报,18(02):365-377,2014.
11. 李泉,程效军.自定位手持式三维激光扫描仪精度测试与分析.测绘通报,(10):65-68+96,2016.
12. 习晓环,王子家,王成.基于ICESat-2/ATLAS数据的近海岸水深提取.同济大学学报(自然科学版),50(07):940-946, 2022.
13. 郭庆华,刘瑾,陶胜利,薛宝林,李乐,徐光彩,李文楷,吴芳芳,李玉美,陈琳海,庞树鑫.激光雷达在森林生态系统监测模拟中的应用现状与展望.科学通报,59(06):459-478,2014.
14. 张继贤,林祥国,梁欣廉.点云信息提取研究进展和展望.测绘学报,46(10):1460-1469,2017.
15. 杨必胜,董震,魏征,方莉娜,李汉武.从车载激光扫描数据中提取复杂建筑物立面的方法.测绘学报,42(03):411-417,2013.

谢谢！ 敬请指导！

