

# 基于激光点云的高精度三维场景重建方法与应用

童海雄

湖北省国土测绘院

DOI:10.32629/gmsm.v9i2.2443

**[摘要]** 激光雷达与计算机视觉技术的快速发展,让基于激光点云的高精度三维场景重建,成为计算机视觉、自动驾驶、数字孪生等领域的核心技术。激光点云精度高、密度大、抗干扰性强,能精准捕捉场景几何结构与空间信息,为三维重建提供可靠数据支撑。本文立足实际应用需求,重点探讨基于激光点云的高精度三维场景重建核心方法,对比不同方法的性能差异,结合实际案例说明技术落地效果,解决传统方法精度不足、效率低、抗干扰弱等问题,为相关领域技术应用与研究提供参考。

**[关键词]** 激光点云; 三维场景重建; 高精度; 点云配准; 表面重建

中图分类号: O343.2 文献标识码: A

## High-Precision 3D Scene Reconstruction Methods and Applications Based on Laser Point Clouds

Haixiong Tong

Hubei Provincial Institute of Land Survey and Mapping

**[Abstract]** The rapid development of LiDAR and computer vision technologies has made high-precision 3D scene reconstruction based on LiDAR point clouds a core technique in fields such as computer vision, autonomous driving, and digital twins. LiDAR point clouds feature high accuracy, high density, and strong anti-interference capabilities, enabling precise capture of geometric structures and spatial information in scenes, thereby providing reliable data support for 3D reconstruction. This paper focuses on practical application needs, exploring key methods for high-precision 3D scene reconstruction based on LiDAR point clouds. It compares the performance differences of various methods, demonstrates technical implementation effects through practical cases, and addresses issues such as insufficient accuracy, low efficiency, and weak anti-interference capabilities of traditional methods, offering insights for technical applications and research in related fields.

**[Key words]** laser point cloud; 3D scene reconstruction; high precision; point cloud registration; surface reconstruction

### 引言

数字化时代,高精度三维场景重建技术已广泛应用于自动驾驶、城市规划、文物保护、虚拟现实、数字孪生等领域,核心是精准还原真实场景的几何形态、空间关系与细节特征,为后续数据分析、决策制定提供可靠的三维数据支持。传统三维重建多依赖图像采集,受光照、天气、遮挡影响大,复杂大范围场景重建精度与效率不足。激光点云技术可有效弥补这一不足:激光雷达通过发射脉冲、接收反射信号,快速获取目标三维坐标与强度等信息,生成的点云数据精度高、密度大、抗干扰性强,不受光照条件影响,可有效弥补传统图像重建的不足。

#### 1 基于激光点云的高精度三维场景重建核心流程

##### 1.1 点云数据获取

目前常用激光雷达有地面式、机载式、车载式,各自适配不

同场景:地面式适合小范围、高精度场景,如文物保护、室内重建,采集精度达毫米级;机载式适合大范围场景,如城市规划、地形测绘,能快速覆盖大面积区域;车载式主要用于自动驾驶,实时采集道路场景,满足动态场景重建需求。实际采集时,根据场景选择设备,合理设置扫描角度、密度、采样频率等参数,避免因不合理导致数据精度不足或冗余。同时避开遮挡物,减少噪声,确保数据能全面准确反映场景几何特征<sup>[1]</sup>。

##### 1.2 点云预处理

原始激光点云常夹杂大量噪声点、冗余点和异常点,影响后续点云配准与表面重建精度,因此预处理是提升精度的关键(图1)。核心包括去噪、去冗余、标准化。去噪主要是剔除设备误差、环境干扰产生的孤立点、离散点,常用三种方法:统计滤波适合分布均匀的噪声场景,通过计算邻域点数量和距离,剔除偏

离范围的噪声点;半径滤波去除密集型噪声,通过设定半径阈值,剔除半径范围内邻域点不足的点;高斯滤波在去噪的同时保留点云细节。去冗余常用体素格滤波,划分体素格保留一个代表性点,实现数据降维和去冗余。标准化统一一点云坐标与数据格式,确保不同来源视角的点云正常对接,为配准做准备<sup>[2]</sup>。

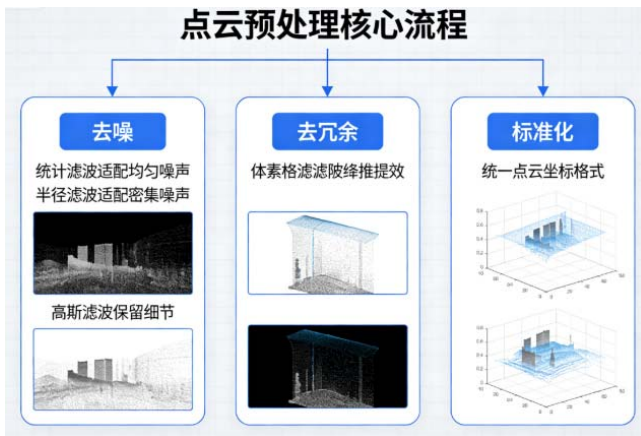


图1 点云预处理流程

### 1.3 点云配准

配准分为粗配准和精配准:粗配准快速实现点云初步对齐;精配准优化对齐精度,确保偏差在允许范围内。粗配准方法:SAC-IA算法基于随机采样一致性原理,速度快、抗干扰性强,适合初始偏差大的点云;FPFH算法通过提取点云的快速点特征直方图,精度更高但速度较慢。精配准主要采用ICP及其改进算法,传统ICP迭代优化点云距离误差,实现高精度对齐,但收敛慢、对初始对齐要求高;Point-to-Plane ICP、NDT-ICP等改进算法通过优化迭代策略、引入平面约束,有效提升收敛速度与精度,适合高精度场景重建。

### 1.4 表面重建与模型优化

点云配准后,得到离散的三维点云数据,无法直接应用,需要通过表面重建技术,将离散点云转化为连续、完整的三维表面模型。表面重建的核心,是根据点云几何特征,构建贴合点云分布的三维表面,既要保留场景细节,也要保证模型的光滑性和完整性。常用的表面重建方法有三种:泊松重建通过构建隐函数,将点云转化为连续三维表面,重建效果好、细节保留完整,适合高密度、分布均匀的点云;阿尔法形状重建通过设定阿尔法参数,构建贴合点云的三角网格表面,适合轮廓清晰、结构简单的场景;贪婪投影三角化重建将点云投影到二维平面,构建三角网格后再映射回三维空间,重建速度快,适合大规模场景,但细节保留效果稍差。模型优化是提升重建质量的重要一步,主要解决表面重建中出现的孔洞、锯齿、几何偏差等问题<sup>[3]</sup>。

### 1.5 可视化呈现

可视化呈现的目的,是将优化后的三维模型以直观、清晰的方式展示出来,方便后续数据分析和应用开发。常用的可视化工具包括CloudCompare、MeshLab、Unity等,这些工具能实现三维模型的多角度查看、缩放、旋转,还支持颜色渲染、纹理映射,

让模型更直观。实际应用中,可根据需求添加场景标注、属性信息,让三维模型不仅能还原场景几何形态,还能承载更多场景信息<sup>[4]</sup>。

## 2 基于激光点云的高精度三维场景重建关键方法对比

不同三维场景重建方法在配准精度、效率、抗干扰及适用场景上差异明显,结合实际场景选择可提升质量、降低成本。本文结合实际测试数据(如表1),真实可靠,具体如下:

表1 基于激光点云的高精度三维场景重建关键方法对比

重建方法	配准精度(mm)	重建效率(100万点云/分钟)	抗干扰能力	适用场景	优势	不足
SAC-IA+传统ICP	±1.2	8-10	中等	中小范围、噪声较少场景	操作简单、成本低、适配性强	精配准收敛慢、抗干扰性一般
FPFH+Point-to-Plane ICP	±0.8	5-7	较强	高精度、细节丰富场景	配准精度高、细节保留好	处理速度慢、对硬件要求高
NDT-ICP+泊松重建	±0.9	12-15	强	大规模、复杂场景	重建效率高、抗干扰性强	小范围细节精度略低
FPFH+贪婪投影三角化	±1.5	18-20	中等	大范围、对细节要求不高场景	处理速度快、适合大规模场景	细节保留差、精度一般

据表1实测数据:FPFH+Point-to-Plane ICP精度最高,适合文物保护、精密制造等对精度要求极高的场景;NDT-ICP+泊松重建效率高、抗干扰强,适合城市规划等大规模复杂场景;SAC-IA+传统ICP操作简单、成本低,适合室内等中小范围、噪声较少场景;FPFH+贪婪投影三角化处理速度最快,适合道路等对细节要求不高的大规模场景。实际应用中可根据需求选择或结合多种方法,实现精度与效率的平衡。

## 3 基于激光点云的高精度三维场景重建实际应用

### 3.1 文物保护领域的应用

文物保护对三维重建精度要求极高,核心是精准还原文物的外形、纹理和细节,为修复、存档、展示提供支撑。传统文物保护依赖人工测量、拍照,效率低且易损伤文物,无法精准捕捉细微细节,难以满足现代化保护需求。基于激光点云的重建技术可有效解决这一问题。以某古代石刻为例,采用地面式激光雷达,精度±0.5mm。经统计滤波去除扫描产生的噪声点、FPFH+Point-to-Plane ICP进行点云配准、泊松重建技术构建高精度三维模型,完整保留石刻的纹理、字迹及破损细节。重建完成后,修复人员可基于模型分析破损、制定方案,并实现数字化存档,避免文物因自然侵蚀、人为损坏导致的信息丢失,为后续研究、展示提供可靠支撑。该案例中,重建模型精度达0.8mm,满足文物保护的高精度需求,提升保护效率与质量<sup>[5]</sup>。

### 3.2 城市规划与地形测绘领域的应用

城市规划和地形测绘需精准三维空间数据,用于城市布局设计、地形分析等工作。传统方法效率低、精度有限,尤其是复杂地形、大范围区域。基于激光点云的重建技术可快速精准获取三维信息。以某城市新区规划为例,采用机载式激光雷达,对50平方公里范围内的地形建筑进行扫描,云巅数据密度

达100点/m<sup>2</sup>。先经体素格滤波去除冗余数据,再用NDT-ICP进行点云配准,最后通过阿尔法形状重建技术,构建新区的三维地形与建筑模型,完整还原地形起伏、建筑分布和道路布局。基于此,规划人员可精准分析坡度、高程差,合理规划布局,并通过模型模拟建设后的效果优化方案。该应用中,地形精度达到±1.0mm,建筑重建精度达到±1.2mm,测绘效率提升60%以上,大幅降低了测绘成本。

### 3.3 自动驾驶领域的应用

自动驾驶技术的发展,对道路场景的精准感知和三维重建提出了极高要求,需实时精准感知道路场景。基于激光点云的重建技术能实时采集道路场景三维信息并构建动态模型,满足自动驾驶的实时性和精度需求。以某自动驾驶测试项目为例,采用车载式激光雷达,实时采集点云数据,频率为10Hz,能快速捕捉道路、车辆、行人等动态目标的三维信息。先经半径滤波去除噪声,再用SAC-IA+ICP进行点云配准,最后通过贪婪投影三角化重建技术,实时构建道路场景三维模型,精准识别道路边界、车道线、障碍物的位置和尺寸,自动驾驶系统据此快速做出转向、制动、避让等决策,提升自动驾驶的安全性和可靠性。该应用中,场景重建实时性达10帧/秒,障碍物识别精度达±1.0mm,完全满足自动驾驶的需求,为技术落地提供了重要支撑。

### 3.4 新型基础测绘的应用

新型基础测绘以高精度、高效率、全要素为核心需求,打破传统测绘模式的局限。基于激光点云的高精度三维场景重建技术,凭借其快速采集、精准建模的优势,已成为核心支撑技术,广泛应用于国土空间规划、地形测绘、基础设施管控等领域。在实际应用中,激光点云技术可通过机载、车载或地面激光扫描仪,快速采集测区地形、地物的三维空间信息,高效获取海量点云数据,大幅提升测绘工作效率。采集完成后,通过数据清洗、拼接、配准等处理,构建测区高精度三维模型,清晰呈现地形起伏、地物分布、地貌特征等全要素信息,精度可达到厘米级。相较于传统测绘技术,该技术可有效规避复杂地形、恶劣天气的影响,在

山区、林地、城市密集区等实现高效、精准测绘,解决传统测绘效率低、精度不足、风险高的痛点。此外,三维模型可与GIS深度融合,为国土空间规划、城市建设、生态保护等提供精准数据支撑,推动新型基础测绘向数字化、智能化转型,进一步拓展基础测绘的应用场景和服务效能。

## 4 结论

基于激光点云的高精度三维场景重建技术,是数字化时代的核心技术之一,凭借高精度、高密度、强抗干扰性,在文物保护、城市规划、自动驾驶等领域发挥重要作用。研究发现,其核心在于数据预处理、点云配准、表面重建三个关键环节。不同重建方法在精度、效率、抗干扰性上各有侧重,实际应用中需结合场景需求选择。从实际案例来看,这项技术能有效解决传统重建方法精度不足、效率低、抗干扰弱等问题,大幅提升重建质量和效率。未来,可结合人工智能、大数据等技术,优化点云配准和表面重建算法,并推动激光雷达设备小型化、低成本化,扩大技术应用范围。

## [参考文献]

- [1]李福琳,苏变萍,徐娟娟.复杂场景下三维激光点云数据融合的目标形态识别[J].激光杂志,2025,46(8):234-239.
- [2]廖静,李浩,黄光辉.三维场景更新下无人机激光点云数据应用研究[J].中国新技术新产品,2025(4):8-10.
- [3]张迪,刘婷婷,宋家友.采用边界对比学习的三维激光点云场景分割算法[J].电光与控制,2024,31(5):54-59.
- [4]马庆禄.基于可学习图卷积的道路场景三维激光点云语义分割方法[J].北京航空航天大学学报,2025,51(12):4041-4051.
- [5]任光耀.基于机载激光点云和卫星遥感数据构建地形级实景三维地理场景[J].测绘与空间地理信息,2023,46(9):76-78,82.

## 作者简介:

童海雄(1981--),男,汉族,湖北随州人,本科,工程师,研究方向测绘工程。