

倾斜摄影测量与三维激光扫描融合技术在测量高层建筑物中的应用研究

姚瑞明¹, 梁诗文², 徐新慧², 黎伟², 冯博^{2*}

(1. 湖北楚鹏测绘科技有限责任公司, 湖北 孝感 432100;

2. 湖北省地质局第六地质大队, 湖北 孝感 432100)

摘要 本研究以倾斜摄影测量技术与三维激光扫描技术为基础, 分别完成两种建筑物实景三维重建, 通过分析两种模型的精度与纹理结构, 明确其适用场景: 无人机倾斜摄影测量在建筑物顶部数据采集及建模中表现优异, 三维激光扫描技术则更适用于房屋主体的精准数据获取与建模。为实现优势互补, 借助软件对两类数据进行融合, 构建融合点云的三维模型。研究表明, 融合后的三维模型在精度控制与纹理结构呈现方面均得到显著改善, 为城区高层建筑物提供了更优的建模方案。

关键词 倾斜摄影测量; 三维激光扫描; 三维点云融合; 融合建模

中图分类号: TU198; P258

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2026.04.042

0 引言

在高层建筑测量与可视化展示领域, 倾斜摄影测量与三维激光扫描技术是当前应用最广泛的三维重建技术, 但二者在三维建模的特定场景下仍存在技术局限, 制约了其在建筑领域的深度推广。为突破单一技术瓶颈, 推动三维重建技术走向成熟, 实现建筑物精细化点云融合三维建模, 本文结合工程实例开展针对性研究。首先, 采用大疆 M3E 无人机搭载智能摆动拍摄模式, 对辽宁工程技术大学博文楼开展倾斜摄影作业, 采集影像数据与 POS 数据, 基于大势智慧重建大师软件完成空三解算后进行三维建模; 其次, 通过欧思徕 R8 三维激光扫描仪对博文楼进行整体扫描, 利用 OminSLAM Modeler 软件完成点云数据处理与建模; 随后, 对比两种单一技术的建模效果, 明确不同技术的适用场景与优劣特征; 最后, 将激光点云文件与无人机空三点云数据进行融合建模, 生成精细化三维模型并开展精度分析, 最终得出相关研究结论。

1 融合建模相关理论方法

1.1 三维点云

点云是现实世界中物体表面三维坐标数字化后的一种表达方式, 主要包括激光扫描点云和影像密集匹配点云两类^[1-3]。其中, 激光扫描点云可以通过机载、

地面、车载、手持等方式获取, 它们均具备回波强度、回波次数等信息, 可以方便地对建筑物、植被、地面等进行准确分类^[4]。影像密集匹配点云是通过倾斜摄影基于影像空间相对关系形成的具有空间准确位置的同名点点云, 最后将密集点云三角网格化和纹理化生成三维网格模型^[5]。

1.2 点云融合

点云融合是指将来自不同数据源、不同视角、不同时间或不同传感器获取的离散三维点云数据, 通过配准、裁剪等处理技术, 整合为一套完整、一致、高精度的三维点云数据集的过程^[6]。

2 工程实例分析

2.1 建筑概况

辽宁工程技术大学博文楼始建于 2010 年, 采用钢筋混凝土框架结构形式, 建筑整体呈左右对称布局, 层数为 9 层, 属于典型的高层建筑。

2.2 基于融合建模技术的技术流程

本文利用倾斜摄影测量技术和三维激光扫描技术, 分别对学校综合楼进行三维重建, 通过对两种方法生成的三维模型进行对比分析, 分析了单一的建模方式在建筑建模中的优势与缺陷, 将两种建模方式的优点结合进行点云的融合建模, 具体流程如图 1 所示。

作者简介: 姚瑞明 (1999-), 男, 硕士研究生, 助理工程师, 研究方向: 摄影测量与遥感。

*通信作者: 冯博 (1987-), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 摄影测量与遥感。E-mail: 117695893@qq.com

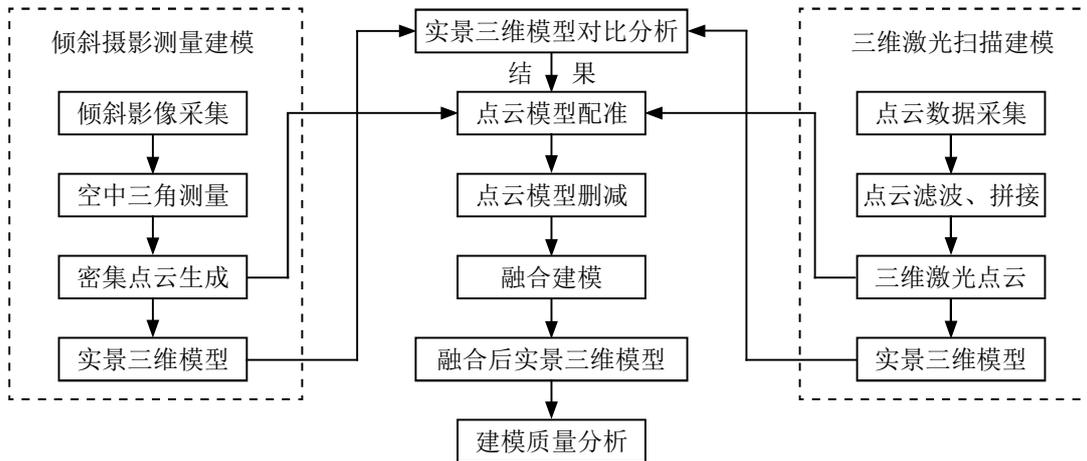


图 1 技术流程

2.3 倾斜摄影测量的建筑建模

2.3.1 建筑倾斜影像采集

对博文楼及周边测区进行实地踏勘，确认博文楼为测区最高建筑，无高层遮挡；周边广场区域开阔平整，无障碍物干扰，满足无人机起降作业条件，为后续航摄工作奠定基础。在博文楼四角布设 4 个像控点，采用地面 L 型油漆标记，以标记外拐角处作为核心控制点^[7]。使用华测 RTK 对所有像控点进行坐标采集，获取高精度三维坐标数据，为后续三维建模的坐标系转换与精度校正提供基础数据支撑。选用大疆 M3E 无人机作为航摄平台，结合测区地形特征设计最优飞行航线，设置航向重叠度 85%、旁向重叠度 80%，确保影像拼接与三维重建的连续性和精度。本次作业单架次完成全测区影像采集，所获航摄影像画质清晰，无阴影遮挡、无明显畸变，满足后续三维建模的数据质量要求。

2.3.2 倾斜影像建模处理

使用大势智慧的重建大师软件进行实景三维模型生产，先对大疆 M3E 获取的航片数据进行一对一整理，确保每张航片数据可以使用，随后将整理后的影像数据导入重建大师中。读取照片位置信息并设置镜头参数，然后设置空三参数后开展第一次空中三角测量。导入图像控制点文件，在每个像控点的 3~5 张清晰且多角度的影像上完成控制点刺点。基于刺点结果进行第二次空三优化，保障建模基础精度。最后通过瓦片分化、范围与几何约束等操作，生成测区三维模型^[8]。

2.4 基于三维激光扫描的建筑建模

2.4.1 建筑三维点云数据获取

前期踏勘与控制点布设在倾斜影像数据时已经完成，使用欧思徕 R8 进行现场扫描，展开背负架并安装完成，按既定规划的路线进行数据采集。首先开机新

建工程，输入工程名称。再进行扫描设置，开启 RTK 定位，模式为户外模式，其他设置选择默认。进行测站相关参数设置，建站完成后，开始后视检查，后视查看误差无误后，开始扫描。

2.4.2 三维点云建模处理

三维点云建模使用 OminSLAM Modeler 软件进行，数据导入与预处理阶段，首先通过导入功能加载 R8 设备采集的 SLAM 点云数据，随后开展数据检查，查看点云完整性、密度分布及是否存在数据缺失或异常值；而后进行预处理操作，采用统计滤波去除离群点，通过体素格网下采样实现数据精简并保留模型特征，同时应用 RTK 数据完成坐标转换与地理配准，赋予点云真实世界坐标；三维模型生成核心环节中，首先采用泊松重建算法将点云转换为三角网格，并自动填充数据空洞以生成连续表面。

2.5 建筑多源点云融合建模

2.5.1 三维模型对比分析结果

本次研究分别采用三维激光扫描与倾斜摄影测量技术构建综合楼三维模型，两种技术的建模效果呈现显著差异。

由于无人机航摄的视角优势，倾斜摄影能够有效覆盖建筑物顶部区域，且在高程一致、无遮挡的场景下建模表现优异，因此综合楼顶部建模结构完整、纹理清晰，充分还原了顶部真实形态。但该技术存在明显的数据采集局限性：一方面，航摄过程中存在部分摄影盲区；另一方面，由于综合楼高度较高，导致建筑物上部与下部的影像分辨率差值过大，最终造成模型下部区域出现结构变形、数据缺失及纹理失真等问题，严重影响了整体建模效果^[9-11]。

在三维激光点云模型方面，建模结果显示建筑物

顶部点云数据存在明显稀疏问题,且出现大面积数据丢失现象,直接影响了综合楼整体模型的完整性与精度。经分析,该问题的核心成因在于数据采集阶段:三维激光扫描仪的架设高度与综合楼顶部存在较大高程差,加之激光束无法穿透建筑物墙面,导致扫描光线难以覆盖顶部区域,最终无法实现顶部数据的全面采集,进而造成模型顶部出现大片数据缺失。倾斜摄影测量模型则呈现出“顶部优、底部弱”的特点^[12-14]。

2.5.2 融合建模

通过二者的对比结果,本次融合建模以倾斜摄影测量生成的密集点云作为主体,添加三维激光扫描仪处理后的稀疏点云进行。融合过程为:使用重建大师软件中无人机倾斜摄影空三工程,在工程中导入欧思徕R8采集处理后的三维点云文件,点云文件与倾斜摄影点云一起空三计算,最后对融合的点云三维重建,最终形成辽宁工程技术大学博文楼的融合点云建模的实景三维模型。通过融合建模技术生产的融合建模模型不仅良好地再现了建筑,而且真实地保存了建筑物的尺寸和建筑细节。

2.5.3 建模质量分析

本文从纹理结构与模型精度两大维度开展三维模型质量评价工作^[15]。多源点云融合建模依托前期倾斜摄影测量与三维激光扫描获取的建模数据,点云配准精度表现良好,建模效果可视化效果突出。但模型几何精度尚未明确验证。为此,选取综合楼台阶宽度、柱间距离及楼体高度3项关键指标作为真值:楼体高度通过全站仪测量两点坐标后,依据Z值差值计算得出;台阶宽度与柱间距离采用皮尺实地测量获取。随后在多源点云融合模型中量测获取对应指标的距离与高度数据,结合实地测量真值,构建实地测量值与融合建模获取值的对比关系(见表1)。

表1 实地测量值与融合建模获取值

计算位置	实地测量值	融合建模获取值	倾斜摄影模型获取值	三维激光扫描建模获取值
台阶宽度	18.7 000	18.7 221	18.8 454	18.7 554
柱间宽度	10.1 000	9.9 745	9.9 488	10.1 378
楼体高度	37.7 455	37.7 783	37.9 336	37.5 864

3 结束语

本文利用倾斜摄影测量技术和三维激光扫描技术,分别对学校综合楼进行三维重建,通过对三维模型的分析,总结了单一的建模方式在建筑建模中的优势与

缺陷。结合两种建模技术优势的融合方案,运用点云融合,将倾斜摄影测量点云模型与三维激光扫描点云模型配准,继而完成精细化的建筑三维模型。通过多源点云融合建模,建筑物的三维模型质量取得了极大的提升。在模型精度上,建筑融合模型位置和几何精度均优于倾斜摄影测量模型和三维激光扫描模型,模型精度是可靠的。在纹理结构上,建筑融合建模模型结构完整,细节无模糊、失真情况,进而得知点云融合建模具有一定的可行性和适用性。

参考文献:

- [1] 梅瑞珠.基于多源数据融合的城市三维模型构建研究[J].智能城市,2025(11):109-112.
- [2] 姜皓然,许章平,相涛.多源数据融合的城市三维实景建模[J].测绘通报,2025(S1):124-127,173.
- [3] 张鹏飞,陈举平,朱焕廉.基于多源数据融合的实景三维建模研究[J].城市勘测,2025(03):173-176.
- [4] 陆士好,符甄,孟映旭.基于多源数据的精细化实景三维模型构建[J].经纬天地,2025(03):65-69.
- [5] 徐郡彬,宋建平,黄小林,等.利用激光与影像融合优化区域古建筑模型的方法[J].科学技术与工程,2025,25(01):37-43.
- [6] 曾录录,张丽.融合倾斜影像和激光点云的宿迁学院建筑物数字化保存[J].科技创新与应用,2022,12(30):37-40.
- [7] 马力,王德盛,张弛,等.倾斜摄影与激光点云融合建模在城中村精细化测绘的探索应用[J].测绘通报,2024(S2):156-159.
- [8] 何跃,张少斐.基于点云融合算法的无人机三维建模测量研究[J].微型电脑应用,2024,40(06):172-175.
- [9] 吴献文,张鹏,曾琳.基于消费级无人机倾斜影像的三维测图技术探讨[J].测绘通报,2019(07):92-95.
- [10] 张宇晖.倾斜摄影测量联合激光扫描仪在城市实景三维建模中的应用研究[J].仪器仪表用户,2025,32(08):62-64.
- [11] 朱旺煌,刘荣,龚循强,等.基于倾斜摄影测量点云的建筑物单体提取[J].科学技术与工程,2024,24(30):12843-12852.
- [12] 展鹏.三维激光扫描技术在建筑立面测绘中的应用研究[D].赣州:江西理工大学,2019.
- [13] 王越,何伟,李华,等.融合空-地LiDAR和倾斜摄影的高层建筑物三维建模[J].地理空间信息,2023,21(06):49-52.
- [14] 杨红军,郭威,孙进冬,等.无人机倾斜摄影辅助三维激光扫描技术在厂房改造中的应用研究[J].城市勘测,2022(01):122-126.
- [15] 刘宝华,王智,宋云记.三维激光点云和无人机倾斜模型的融合应用[J].测绘通报,2021(06):159-165.