



基于空天地多源数据的三维精细模型建设研究

胡达天

(武汉职业技术学院 建筑工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 随着我国城镇化快速推进, 城市的规划、建设、管理由数字化向智能化、智慧化方向发展, 城市的精细化管理逐步从二维平面空间转变为三维立体空间。倾斜摄影测量技术和三维激光扫描技术作为常见的三维建模技术广泛应用在实景三维建设中。本文充分利用这两种技术的优势, 进行空天地数据采集、处理和建模, 完成多源数据的融合。本文以武汉职业技术学院凌峰楼为例进行数据采集, 研究了多源数据内外业采集与处理方法, 并对三维建模的精度进行了分析和探讨, 验证了技术可行性。

关键词: 倾斜摄影测量; 地面激光扫描仪; 多源数据融合

中图分类号: TU198

文献标志码: A

文章编号: 1671-931X (2024) 05-0115-06

DOI: 10.19899/j.cnki.42-1669/Z.2024.05.018

一、引言

中共中央、国务院印发的《数字中国建设整体布局规划》、自然资源部印发的《关于全面推进实景三维中国建设的通知》等文件中, 明确指出实景三维作为反映人类生产、生活和生态空间的时空信息, 为数字中国提供统一的空间定位框架和分析基础, 是数字政府、数字经济重要的战略性数据资源和生产要素^[1]。

那么如何高精度、高效率、低成本地采集三维空间数据, 开展实景三维模型建设是当前研究的热点之一。基于目前的技术, 实景三维建模数据获取的技术手段包括无人机倾斜摄影测量建模技术、三维激光扫描建模技术等。但各自具备一定的优

缺点:

第一, 倾斜摄影测量技术是在无人机等飞行器上搭载多视角镜头相机, 同时从垂直和倾斜角度不同视角采集地物信息, 解决了传统航测获取地物侧面结构和纹理信息不足的问题。此方法具有效率高、成本低、自动化程度高的优势, 主要应用于大场景实景三维建模。然而, 受制于无人机飞行高度和数据采集角度的影响, 地面部分易受到树木、基础设施等地物遮挡, 导致数据采集纹理信息缺失, 制作的实景三维模型会存在结构缺失、纹理扭曲变形等情况^[2-3]。

第二, 三维激光扫描技术可以实现不接触物体而获取建模对象的三维信息和纹理信息, 其采集数

收稿日期: 2024-04-11

基金项目: 2023年武汉职业技术学院校级科研项目“基于空天地多源数据的城市三维精细模型建设研究——以武汉职业技术学院凌峰楼为例”(项目编号: 2023YK025)。

作者简介: 胡达天(1992—), 男, 湖北武汉人, 武汉职业技术学院建筑工程学院讲师, 研究方向: 城市信息化管理。

据成果精度高,但是其设备昂贵、不易携带、外业数据采集作业效率低下,主要应用于小范围、精细化场景三维建模。其次,由于激光扫描采集的点云数据精度高,会占据大量的硬件存储空间,不利于数据的交换。此外,点云数据内业处理包括去噪、过滤、匹配等繁杂流程,自动化程度低^[4-5]。

因此,为了保证建模的精细程度,又要保证建模的效率,需要融合这两项建模手段的技术优势,开展多源数据融合技术研究,发挥两种技术优势,弥补两者缺陷。本文提出基于空天地数据一体化融合建模方法,通过融合无人机倾斜摄影点云和激光扫描仪点云数据,实现实景三维模型的精细化建模。

二、空天地一体化三维建模方法

(一) 无人机倾斜摄影测量技术

倾斜摄影测量技术是利用无人机飞行平台搭载多视角镜头数码相机,按照事先规划好的航线,从多个方向同步对目标区域采集地面影像,一定程度上弥补了测区内影像质量差、纹理缺失等问题。同时,无人机飞行平台搭载IMU/GNSS系统,可获取相机曝光瞬间的姿态角和坐标数据(POS数据),辅助地面像控点信息,从而可以直接在影像上对地物进行量测。将无人机采集的多视角影像,利用摄影测量软件进行影像匹配、空中三角测量、自动生成数字表面模型(DSM)、纹理映射等步骤处理,可以生产出具有逼真纹理的实景三维模型,并可用于制作数字线划图(DLG)、数字高程模型(DEM)和数字正射影像(DOM)等数据成果^[6],整个倾斜摄影测量处理流程如图1所示。

在实景三维建模技术中,无人机倾斜摄影技术具备灵活性、成本低、应用全面、风险小、效率高等

优势。由于无人机的飞行速度较慢、高度低,在拍摄地形图像方面更加清晰。针对山脉与森林等特殊地质环境进行三维建模时,无人机搭载激光扫描仪,可以穿透植被,精确、高效地完成测区内的地形地貌测量。

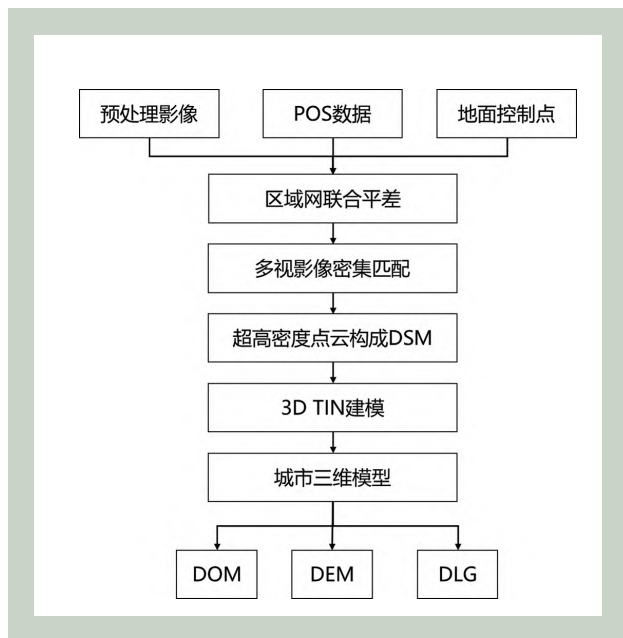


图1 无人机倾斜摄影测量建模技术流程图

(二) 地面三维激光扫描技术

相较于传统的单点测量的方式,地面三维激光扫描技术主要是利用激光测距的原理,对目标实体外表面进行自动的三维空间点坐标扫描与量测,避免了人为误差和时间误差的影响,将获取的这些点数据被称作“点云”^[7]。利用此技术对既有建筑物外部和内部进行多站连续扫描,可以生成建筑物实体的三维激光点云数据,通过点云拼接、点云去噪、点云采样、纹理映射等步骤,较好地应用于复杂建筑三维模型的构建,具体流程如图2所示。

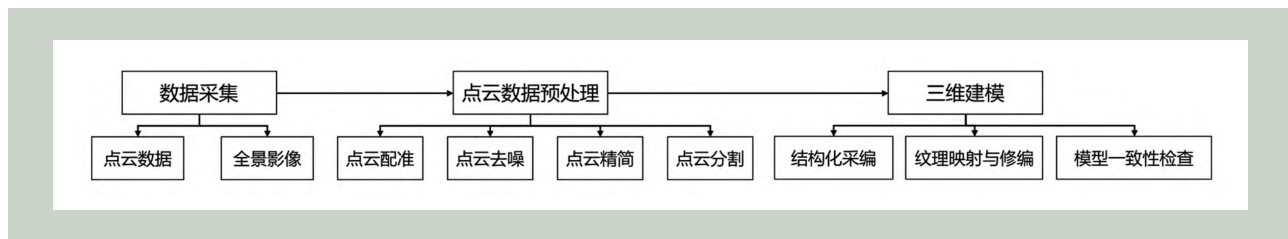


图2 三维激光点云数据建模技术路线

三、测区概况与技术路线

(一) 测区概况

本次实验主要是以武汉职业技术学院关山校

区东区凌峰楼为试验区进行数据采集与建模处理。其中,倾斜摄影测量测区是以整个东区进行数据采集,面积约0.5平方公里,激光点云测区是对凌峰楼

进行多站数据采集。

(二)技术路线

本文按照数据采集、数据处理、数据融合建模和精度评价开展研究,具体流程如图3所示。其中,数据采集包括无人机倾斜影像数据、三维激光扫描数据采集,以及地面控制点数据采集。数据处理主要是对影像数据处理和点云数据处理。其中,影像数据处理包括相对定向、绝对定向和空三处理等步骤,点云数据处理包括点云拼接、点云去噪和点云采样等步骤。数据融合建模是整个研究核心,主要是实现倾斜密集点云与激光点云的匹配及建模。最后是对建立的三维模型进行精度评价。

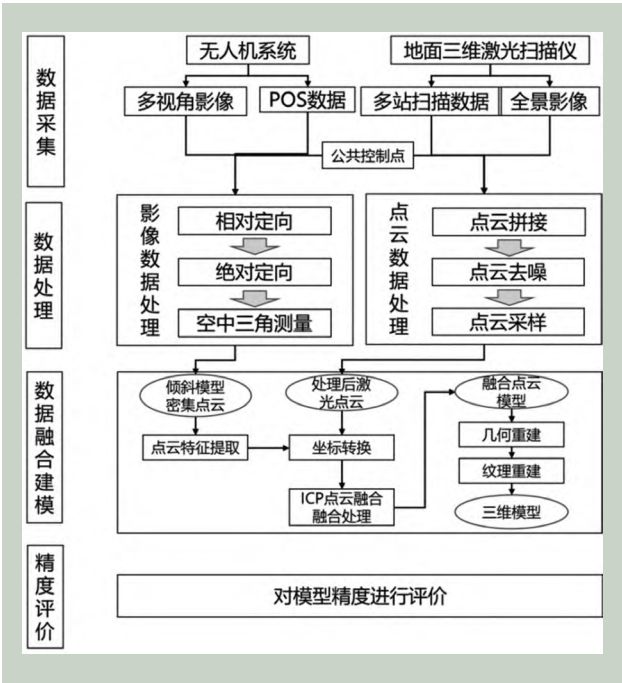


图3 基于空天地多源数据的三维精细模型建设技术路线

四、空天地一体化数据采集

(一)无人机倾斜摄影数据采集

本次采用中海达 IFly D1 PRO 无人机,搭载 Q5 mini 倾斜摄影镜头进行测区的数据采集工作,该相机集成了1个垂直相机和4个倾斜相机,有效像素为1.2亿像素(2400×5),垂直相机镜头焦距为25mm,倾斜相机镜头焦距为35mm。为了满足平面5cm精度要求和保障三维建模效果,影像的地面分辨率应优于1.6cm。针对武汉职业技术学院关山校区东区范围,设计地面分辨率为1.57cm,在保障飞行安全的前提下,设置航高为180m,航向重叠度为75%,旁向重叠度为80%,飞行时间约为50分钟,如

图4所示。



图4 无人机数据采集航线规划图

此外,为保证成果的精度,还进行了外业地面控制点的布设和测量,共计布设了9个地面控制点,均匀分布在学校测区各处,如图5所示。



图5 控制点区位分布图

(二)地面激光点云数据采集

经过实地的踏勘,了解凌峰楼的位置、体量、外立面造型和内部结构和周边环境。凌峰楼建筑后面被山体包围,虽然激光扫描仪可以扫到建筑楼侧面,但是坡度较陡,扫描采集的有效数据内容较少,需要布设测站数较多,密度较大。另外,在凌峰楼正面,均是平坦地势,一测站扫描范围更大采集更多的数据,那么可以架站距离远一点,容易采集到建筑侧面数据,重叠度也满足点云拼接要求。此外,凌峰楼分为A、B、C、D四座,是一个双弧形结构,两栋建筑之间是由连廊连接。为了保证建筑三维建模的精度,在双弧形结构中间,需要布设一条支导线,如图6所示。本次主要使用 FARO 三维地面激光扫描仪进行凌峰楼的室外扫描,共计60站。为保障后续点云拼接精度,在测站之间均匀布设了靶球。

五、多源数据处理与融合建模

(一) 多视角影像处理

多视角影像处理主要是将地面 RTK 测量结果、航拍和 POS 数据进行整理,包括数据格式转换、POS 结算和航拍数量检查等。本次数据采集共计

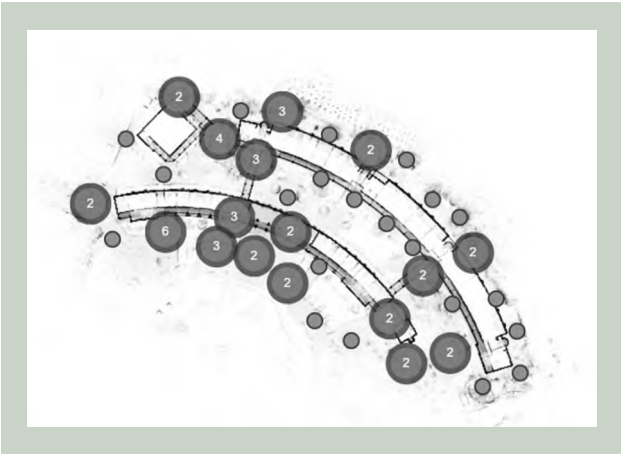


图 6 激光扫描仪扫描方案图

13 条航线, 5 个镜头分别拍摄 514 张, 共计 2570 张影像。经检查影像无误后, 将采集的影像按照镜头分别放入不同的文件夹, 并创建一个 ContextCapture 工程, 导入影像文件, 开始内业影像数据处理工作。

1. 空中三角测量

首先利用 SIFT 算子提取每张影像中的特征点, 并完成影像之间的特征匹配。然后, 将 POS 数据作为每张影像初始的位置和姿态数据, 进行空中三角测量解算, 优化每张相片的外方位元素。本次实验采用了 2 次空中三角测量, 第一次直接导入影像的 POS 数据进行初始空中三角测量, 第二次在第一次的基础上导入控制点进行刺点后, 联合 POS 数据进行空中三角测量平差, 优化空三自由网解算的每张影像的外方位元素, 提高测量的精度。本次测量采用的是 CGCS 2000 3-degree Gauss-Kruger CM 114E 坐标系。第一次空中三角测量结果和第二次空中三角测量结果如表 1 所示, 可以发现通过二次空三解算, 模型精度得到了大幅提升, 见表 1 所示。

表 1 两次空三结果对比

	X 误差(m)	Y 误差(m)	Z 误差(m)	XY 误差(m)	中误差(m)
第一次空三结果	3.01262	3.47098	25.5347	4.59604	25.945
第二次空三结果	0.0258	0.0148	0.0174	0.0297	0.0344

2. 密集点云生成

本文采用 CMVS、PMVS 算法完成对空三后的稀疏点云进行密集匹配, 该算法将基于空三后的内外方位元素作为输入数据, 首先基于 CMVS 算法建立图像集聚簇, 提高计算效率。再利用 PMVS 算法, 经过匹配、扩张和剔除等步骤, 生产三维密集点云。

(二) 激光点云数据处理

因无人机采集数据易受到地面地物地貌遮挡, 导致采集数据不完整或缺失的情况, 利用地面激光扫描仪完成地面数据采集弥补上述缺陷。激光点云数据处理主要是对外业采集的多站点云数据进行拼接、去噪处理, 便于后续与倾斜摄影的点云数据进行融合, 开展三维建模工作。

1. 点云拼接

点云数据拼接是将在各站扫描获得的点云数据经过坐标的旋转、平移等处理后, 合成一个整体点云。受限于激光扫描仪的扫描角度和扫描距离的影响, 综合考虑建筑体量限制, 扫描仪无法一次完成整个建筑物的扫描, 只能扫描到建筑物的部分

区域, 因此, 需要扫描仪需要分多站进行扫描。每次扫描仪扫描的点云坐标均是以扫描仪中心为坐标系原点生成点云, 在内业处理时, 利用扫描中布设的靶球, 完成各站之间扫描的点云经配准, 实现把所有采集的激光点云数据转换到统一的坐标系下, 如图 7、8 所示。配准完成后, 对整体进行平差, 验算匹配整体精度误差为 3.77mm。



图 7 点云拼接后的顶视图效果示意图

2. 点云去噪

在激光点云数据采集过程中,易受到扫描仪、扫描周围环境,以及扫描物体表面材质等方面的影响,生产的点云数据中会产生多错误点、背景点

等噪点数据,这对后续的三维建模增大了难度。因此,需要在点云数据完成拼接后,进行整体的降噪处理。



图8 点云拼接后的按高度显示结果示意图

(三)多源点云数据融合与建模

倾斜摄影测量技术与地面激光扫描技术融合建模的核心是倾斜影像生成的密集点云与激光扫描点云的配准,将激光点云数据转换到倾斜摄影密集点云数据的坐标系中,完成点云数据融合。

1. 点云特征点选取与配准

由于三维激光扫描仪在扫描之前没有布置控制点,拼接后的点云缺少地理空间位置信息,本次

实验采用基于特征方法完成多源点云配准。首先,为了保障匹配的精度及点云配准的效率,采用人工目视的方式,将无人机摄影测量生成的密集点云中抠出武汉职业技术学院东区凌峰楼范围,并利用点云线特征提取算法,完成空三密集点云和地面激光点云线特征提取^[8],如图9所示,然后利用ICP算法,完成倾斜摄影测量点云和激光扫描点云的自动匹配,匹配误差为2cm。



图9 点云线特征提取结果示意图

2. 点云数据融合建模

将空三解算后的密集点云导入 Context Capture 软件中,并将三维激光扫描点云数据导入,待导入

成功后,在软件显示界面中,可以查看融合后的点云效果,提交模型三维重建。

胡达天：基于空地多源数据的三维精细模型建设研究

(四) 成果精度评定

从三维模型生成的效果上来看,倾斜摄影测量生成的模型存在部分结构缺失、纹理扭曲、拉花等情况,大部分集中在建筑物的房檐下或者被树木遮

挡的建筑物区域,主要是受到遮挡导致影像的重叠度不足。倾斜摄影与三维激光扫描仪融合后的模型效果有提升,房檐下模型结构完整、纹理清晰,甚至文字都能看清,如图 10 所示。



(a) 融合前倾斜摄影三维建模结果示意图

(b) 融合后三维建模结果示意图

图 10 倾斜摄影和激光扫描融合前后三维建模结果示意图

六、结语

无人机倾斜摄影因其多角度、大范围等优势成为大场景三维重建的首选方法。三维激光扫描仪因其测量精度高通常用于建筑等精细建模。本文根据无人机倾斜摄影和三维激光扫描仪建模的特点,提出了融合空天地一体化建模方法,充分利用了两者的优点,规避了两者的缺点,实现了基于多源数据的三维模型精细化建模,对数字中国和实景三维建模建设具有重要的参考价值。

参考文献:

- [1] 李娜.基于多源影像数据融合的三维实景重建及应用研究[D].济南:山东建筑大学,2019:1-2.

- [2] 张平.倾斜摄影和激光扫描技术在城市三维建模中的融合应用研究[J].城市勘测,2018(4):99-103.
- [3] 梁晓娜.基于倾斜摄影测量技术的地理实体三维实景模型建立与研究[J].建筑.建材.装饰,2023(1):192-195.
- [4] 卢洁,汪永法,王春,等.基于空地一体多源数据融合构建高精度古建筑模型[J].滁州学院学报,2023(2):1-6.
- [5] 李策.基于ContextCapture倾斜摄影三维建模关键技术研究[D].唐山:华北理工大学,2019:3-4.
- [6] 郑瑜,潘成军.融合倾斜摄影和LiDAR点云测制大比例尺地形图的应用[J].测绘通报,2022(S2):241-244.
- [7] 程昌.融合低空倾斜摄影测量和地面 LiDAR的建筑物精细化三维重建[D].徐州:中国矿业大学,2022:8-27.
- [8] 裴书玉.基于LiDAR点云数据的建筑物特征提取及建模研究[D].贵阳:贵州大学,2018:34-43.

[责任编辑: 陈 竣]

Suggestions for the Development of Vocational Education in Hubei Province from the Perspective of Science and Education Integration

Hu Datian

(Wuhan Polytechnic, School of Architectural Engineering, Wuhan, Hubei, 430074, China)

Abstract: With the rapid advancement of urbanization in China, the planning, construction, and management of cities have shifted from digitalization to intelligence and intelligence. The refined management of cities has put forward higher requirements, transforming from traditional two-dimensional flat space to three-dimensional three-dimensional space. Oblique photogrammetry and 3D laser scanning are widely used as common 3D modeling techniques in real-world 3D construction. This article fully utilizes the advantages of these two technologies to collect, process, and model air and space data, achieving the fusion of multi-source data. This article takes Lingfeng Building of Wuhan Vocational and Technical College as an example for data collection, studies the methods of multi-source data internal and external collection and processing, and analyzes and discusses the accuracy of 3D modeling, verifying the technical feasibility

Key words: Oblique photogrammetry; Ground laser scanner; Multi source data fusion