

Research on Key Technologies for Constructing 3D Models in Oblique Photogrammetry Indoor Work

Ying Li

Taiyuan Branch of Guangzhou Southern Surveying and Mapping Technology Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030001, China

Abstract

Oblique photogrammetry technology is the core technical support for constructing high-precision real-scene 3D models. This research takes the "Real Scene 3D Construction of G City" project in g Province as the practical carrier and adopts a distributed parallel computing technology architecture to conduct intensive processing of oblique photography image data covering a total area of approximately 50km² of g City. The research results show that the optimized indoor processing flow, under the premise of strictly ensuring that all accuracy indicators of the model meet the standards, has achieved an overall computational efficiency improvement of about 40%. The final generated city-level real-scene 3D model has a planar mean error better than 0.05m and an elevation mean error better than 0.08m. The integrity of the model entity exceeds 99.5%, and the texture information is clear and coherent, with uniform and consistent color reproduction, meeting the application requirements of a 1:500 scale. This research provides an engineering practice reference plan that is replicable and scalable.

Keywords

Oblique photogrammetry; Real-scene 3D; Aerial triangulation

倾斜摄影测量内业三维模型构建关键技术研究

李颖

广州南方测绘科技股份有限公司太原分公司, 中国·山西太原 030001

摘要

倾斜摄影测量技术是构建高精度实景三维模型的核心技术支持。本研究以G省“g市实景三维建设”项目为实践载体,采用分布式并行计算技术架构,对覆盖g市总面积约50km²的倾斜摄影影像数据进行集约化处理。研究表明,优化后的内业处理流程,在严格保障模型各项精度指标达标的前提下,实现整体计算效率提升幅度达40%左右;最终生成的城市级实景三维模型,平面中误差优于0.05 m,高程中误差优于0.08 m,模型实体完整性超过99.5%,且纹理信息清晰连贯、色彩还原均匀一致,满足了1:500比例尺的应用需求。此次研究提供了具备可复制性与可推广性的工程实践参考方案。

关键词

倾斜摄影测量; 实景三维; 空中三角测量

1 引言

倾斜摄影测量技术凭借可同步采集地物顶面与侧立面高分辨率影像、高效生成具备真实纹理特征三维模型的技术优势,已发展为实景三维数据生产领域的主流技术手段。然而在处理大规模、高复杂度城市场景时,仍普遍存在空中三角测量收敛难度大、三维模型拉花畸变、纹理拼接错位等技术瓶颈^[1]。基于此,本文以“g市实景三维建设”项目为工程实例,系统阐释内业处理环节中关键技术难题的攻克路径、实验数据支撑及最终应用成效,以期同类型工程实践提供参考依据。

2 项目概况与数据基础

2.1 测区概况与技术要求

本项目测区范围覆盖g市中心城区及重点功能片区,总面积约50 km²。该测区地理空间环境复杂多样,涵盖高密度高层建筑集聚区、工业厂房集群、城中村片区、水域及丘陵绿地等多元地貌单元,建筑物风格类型丰富,玻璃幕墙、金属屋面等特殊外立面结构分布广泛。项目对产出的实景三维模型设定明确精度指标,即相对检查点而言,平面中误差 ≤ 0.05 m,高程中误差 ≤ 0.10 m。模型质量需满足以下技术要求:地物要素完整无缺失,无大面积几何变形及拓扑空洞现象;建筑物立面结构轮廓清晰可辨;纹理信息真实还原地物原貌,无明显色彩偏差与拼接缝隙;整体模型需具备支撑1:500比例尺地形图要素提取及三维空间分析的应用能力。

【作者简介】李颖(1994—),女,中国山西太原人,本科,注册测绘师,从事摄影测量与遥感研究。

2.2 数据获取与预处理

外业数据采集工作于2024年3月至5月期间实施，累计规划并执行飞行作业80余架次。外业作业平台选用国产垂直起降固定翼无人机CW-15与多旋翼无人机M300RTK，两类机型均搭载五镜头倾斜摄影相机，分别承担大范围区域的快速影像覆盖与重点建筑集聚区的精细化数据采集任务。飞行作业参数严格把控：航向重叠度不小于80%，旁向重叠度不小于70%，平均地面采样距离控制在2.5cm。研究团队于整个测区范围内均匀布设256个地面像控点，采用全球导航卫星系统(GNSS)网络实时动态测量(RTK)技术完成像控点的高精度坐标采集。所有地面像控点均布设“L”形或十字形靶标，以保障其在倾斜摄影影像中具备良好的辨识度，倾斜摄影数据获取主要参数如表1所示。原始倾斜摄影影像在正式进入内业处理流程之前，均依据相机检定参数文件完成系统性的畸变差校正操作；同时针对不同飞行架次、不同作业时段所引发的影像色彩偏差问题，实施了前置性色彩均衡化预处理，旨在降低后续纹理映射与拼接环节中色彩偏差现象的发生概率。

表1 倾斜摄影数据获取主要参数统计表

参数项	规格/数值	备注
测区总面积	50km ²	g市核心区域
主要飞行平台	垂直起降固定翼CW-15、多旋翼M300RTK	—
倾斜相机型号	赛尔PSDK102S、飞马D-OP300	五镜头配置
总飞行架次	80架次	—
获取有效影像总数	约62万张	—
设计平均GSD	2.5厘米	—
航向重叠度	80%	—
旁向重叠度	70%	—
像控点数量	256个	均匀分布，采用GNSS网络RTK测量
POS数据精度	平面<0.03m, 高程<0.05m	事后差分

3 空中三角测量关键技术优化

空中三角测量作为内业处理流程的首个核心工序，其核心目标在于解算获取数十万量级影像数据的高精度外方位元素，从而为后续全流程内业处理环节构建统一且高精度的几何基准。

3.1 分布式并行空三计算

针对总量逾60万张的海量倾斜摄影影像数据，研究引入Context Capture Master软件的分布式计算功能模块，将全域测区科学划分为28个逻辑计算分块，确保各分块内纳入的影像数据量分布均衡。空中三角测量计算流程采取分块并行策略，先于各逻辑分块内独立开展影像特征点的提取与匹配运算，再由主控节点统筹执行全域范围的全局联合平差

解算^[2]。该分布式处理策略的应用，将原本需耗费数周时间的计算任务，大幅压缩至5个工作日内高效完成。

3.2 连接点匹配策略与粗差剔除

在复杂城市场景下，大量重复纹理特征与地物遮挡要素易导致自动匹配过程产生大量粗差点，严重制约空中三角测量的稳健性与解算精度。为改善这一问题，本研究采取多尺度特征分层匹配策略、高精度POS数据辅助匹配机制、粗差点迭代式精准剔除方案进行优化。通过构建影像金字塔并采用自上而下的逐级迭代匹配方案，先于低分辨率影像层级提取并筛选可靠同名点对，将其作为先验约束信息引导高分辨率层级的特征匹配，有效提升纹理匮乏区域的匹配成功率。引入高精度定位姿态数据提供的初始空间位置与姿态参数，通过约束同名点搜索域的空间范围，显著提升特征匹配效率，同时降低误匹配现象的发生概率。在光束法区域网平差计算阶段，设定严于软件默认值的重投影误差阈值，通过多轮迭代平差运算实现粗差点的精准剔除。每一轮平差计算完成后，自动剔除重投影误差超限的连接点，随即开展下一轮平差运算，循环往复直至平差结果趋于收敛稳定。

3.3 精度分析与控制

将全域布设的256个地面像控点全数纳入绝对定向与区域网平差解算流程。区域网平差解算工作完成后，空中三角测量处理系统输出的成果报告表明，影像匹配连接点总量逾800万个，全域重投影误差的中误差数值达0.68像素，空中三角测量精度验证统计如表2所示。研究团队通过随机抽样方式选取35个未参与平差计算的独立检查点，平面与高程中误差分别为0.032m与0.046m，满足项目精度要求。

表2 空中三角测量精度验证统计表

精度类别	中误差(RMSE)	最大误差	备注
连接点重投影误差	0.68像素	2.1像素	基于所有连接点计算
检查点平面误差	0.032米	0.078米	基于35个外业检查点
检查点高程误差	0.046米	0.112米	基于35个外业检查点

4 密集匹配与三维几何重建关键技术

4.1 多视影像密集匹配

依托高精度空中三角测量解算成果，研究团队开展密集匹配运算，进而生成高密度三维点云数据。针对城市场景内建筑边缘轮廓、植被覆盖区域等密集匹配技术难点，采取算法参数精细化调校、分块并行化匹配运算优化策略进行优化。

4.2 点云分类与三维白模重建

经密集匹配生成的原始高密度点云数据涵盖建筑物、地面、植被、机动交通工具等多类地物要素，需对其实施地物要素分类与表面重建操作，以构建拓扑连续的三维几何模型，通过点云自动化分类、类型地物联合三角网构建进行实施，不同地物密集匹配与重建效果统计如表3所示。借鉴激光雷达点云处理技术思路的算法模型，融合点云的红-绿-

蓝色信息、法向量特征及局部点云密度等多维参数，开展点云数据的自动化分类作业，实现地面、建筑物、植被等核心地物类别的精准划分。多针对地面类点云数据，采用不规则三角网建模方法实现地形表面的精准表达，针对建筑物类

点云数据，选用泊松表面重建算法或区域生长算法，生成具备封闭性与水密性特征的建筑物三角网模型。在建模过程中，通过预设最大三角形边长阈值、角度阈值等关键控制参数，可有效抑制三维模型表面的噪声干扰与拓扑空洞现象。

表 3 不同地物密集匹配与重建效果统计

地物类型	平均点云密度 (点/平方米)	自动分类准确率	重建模型主要问题与处理	处理后的完整性
高层建筑 (玻璃幕墙)	850	92%	玻璃区域点云缺失导致墙面空洞	通过对称性修补与立面拟合, 完整性 >99%
低矮密集城中村	1200	88%	遮挡严重, 建筑边界模糊	结合二维矢量数据辅助边界提取, 完整性 >98%
大型规则工业厂房	780	95%	屋顶结构简单, 模型质量高	自动化重建, 完整性 >99.5%
自然植被	1500+	90%	点云呈簇状, 无需构建连续表面	以精细化点云或体块化模型表达

5 纹理映射与模型优化关键技术

5.1 多视角纹理自动选择与拼接

纹理映射是向三维几何白模赋予真实影像色彩信息的核心工序，其处理质量直接决定实景三维模型的视觉表现力，通过最优纹理面片遴选、全域色彩一致性均衡、纹理接缝智能优化策略进行优化。

5.2 模型修饰与轻量化

为提升三维模型的工程应用价值与网络发布适配性能，此次研究通过模型精细化人工修饰、多细节层次模型构建、纹理压缩与金字塔瓦片化处理措施进行优化^[1]。针对点云数据缺失引发的局部模型拓扑空洞、几何畸变，以及纹理信息中包含的移动地物等干扰要素，借助专业三维建模编辑工具开展人工修复与要素清理工作，保障模型的完整性与纯净性。为适配不同尺度可视化场景的应用需求，构建分级LOD模型体系，自动生成从高精度至概略级的多级模型层级。在模型简化运算阶段，引入几何特征边保持算法，通过保留建筑物的关键轮廓特征，确保各LOD层级下模型的几何形态辨识度不受影响。对超大尺寸纹理贴图实施金字塔瓦片化重构，并采用高性能图形处理器友好型压缩格式进行编码处理。在保障模型视觉呈现效果的前提下，实现模型数据体量缩减约70%，显著提升模型的网络传输效率与实时渲染性能。

5.3 模型精度与质量检查

本项目采用内业分析与外业实测相结合的技术路线，对最终生成的实景三维模型开展全维度质量核验工作，具体检测内容包括绝对精度量化检测、模型完整性协同核查、纹理质量专项检测，实景三维模型最终成果质量检测统计表如表4所示。此次研究构建的实景三维模型已作为核心空间基底数据，成功接入g市智慧城市时空信息平台，并在城市规划与设计领域、不动产确权登记辅助领域、城市管理与社会治理领域、公共安全与应急管理领域均开展了典型化示范应用。

会治理领域、公共安全与应急管理领域均开展了典型化示范应用。

表 4 实景三维模型最终成果质量检测统计表

检测项目	设计指标	检测结果	结论
平面中误差	≤0.05m	0.041m	合格
高程中误差	≤0.10m	0.073m	合格
模型完整性	≥98.0%	99.6%	合格
纹理接缝显着性	无明显接缝	接缝隐蔽, 色彩过渡自然	合格
建筑立面完整性	主要建筑无大面空洞	完整性达 99.2%	合格

6 结语

本研究以“g市实景三维建设”大型工程实践项目为研究载体，对倾斜摄影测量内业三维模型构建全流程关键技术展开系统性研究与工程实践。通过搭建高性能分布式并行计算架构、优化空中三角测量匹配与区域网平差策略、对密集匹配与几何模型重建环节实施精细化处理、以及推行全域优化的纹理映射方案，有效攻克大规模城市场景三维建模面临的效率瓶颈、精度控制及视觉效果优化等核心技术难题。此次研究所凝练的技术路径、核心问题解决方案及质量管控体系，为国内其他城市同类实景三维建设项目提供了经工程验证的、具备可操作性的实践范式，对推动我国实景三维城市建设的规模化发展具有积极的借鉴价值与指导意义。

参考文献

[1] 曾捷. 无人机倾斜摄影测量技术在房产测绘中的应用——以住宅项目为例[J]. 居舍, 2025, (35): 30-33.
 [2] 邹华宇. 基于倾斜摄影测量的农村宅基地三维建模与权属界定研究[J]. 农村科学实验, 2025, (23): 66-68.
 [3] 周志平. 倾斜摄影测量技术在建筑三维建模中的应用与优化[J]. 四川水泥, 2025, (11): 34-36.