

无人机航测在土木施工场地测量中的精度表现分析

杨凯

成都艺术职业大学

DOI:10.12238/btr.v8i3.4687

[摘要] 于土木施工场地测量中应用无人机航测技术,大幅提高了地形建模、边坡监测以及桩点放样等工作的作业效率和空间数据采集能力。本文针对其在复杂施工环境里精度表现予以聚焦,以典型任务实测数据为依据,分析其误差范围与影响因素,明确像控点布设密度、飞行参数设置及地物属性对SfM建模精度的作用机制。通过布控策略及数据处理流程优化,可以完成厘米级精度的定位跟高程提取,具有良好的工程应用契合性。提出将AI处理与多源测绘相融合的未来发展轨迹,进而强化其测绘稳定性与施工集成水平。

[关键词] 无人机航测; 测量精度; SfM 建模

中图分类号: V279+.2 **文献标识码:** A

Accuracy Performance Analysis of Drone Aerial Surveying in Civil Construction Site Surveying

Kai Yang

Chengdu Vocational University of Arts

[Abstract] The application of drone aerial surveying technology in civil construction site surveying has greatly improved the operational efficiency and spatial data collection capability of terrain modeling, slope monitoring, and pile point layout. This article focuses on its accuracy performance in complex construction environments, using typical task measurement data as the basis to analyze its error range and influencing factors, and clarify the mechanism of the effect of image control point layout density, flight parameter settings, and land cover attributes on SfM modeling accuracy. By optimizing the deployment strategy and data processing flow, centimeter level precision positioning and elevation extraction can be achieved, which has good compatibility with engineering applications. Propose a future development trajectory that integrates AI processing with multi-source surveying, thereby enhancing its surveying stability and construction integration level.

[Key words] drone aerial survey; Measurement accuracy; SfM modeling

引言

无人机航测是传统航空摄影测量手段的有力补充,具有机动灵活、高效快速、精细准确、作业成本低、适用范围广、生产周期短等特点,在小区域和飞行困难地区高分辨率影像快速获取方面具有明显优势。随着无人机与数码相机技术的发展,基于无人机平台的数字航摄技术已显示出其独特的优势,无人机与航空摄影测量相结合使得“无人机数字低空遥感”成为航空遥感领域的一个崭新发展方向。无人机航拍可广泛应用于国家重大工程建设、灾害应急与处理、国土监察、资源开发、新农村和小城镇建设等方面,尤其在基础测绘、土地资源调查监测、土地利用动态监测、数字城市建设和应急救援测绘数据获取等方面具有广阔前景。

在土木施工测量阶段,传统测绘方式效率低、干扰大、周期

长,难以满足高频高精度测量需求。无人机航测因具备快速部署、自动飞行及获取高分辨率三维数据的能力,正成为重要技术手段。现有研究多聚焦于其应用场景,较少深入探讨其精度表现与误差控制路径。测量精度作为工程测绘核心指标,直接影响施工放样、成本控制与安全评估。系统分析其精度特征,对推动测绘技术升级与智能施工管理具有重要价值。

1 无人机航测的系统构成与工作流程

1.1 飞行平台与载荷系统的功能匹配性

土木施工场地的测量环境表现出空间狭小、构筑物众多且动态扰动频繁的特点,要求航测平台有较强抗扰能力与灵活的机动能力。多旋翼无人机鉴于自身低空悬停及精细控制的特性,更契合地形复杂多变、测区边界不规则的场景。搭载的航摄影器应具备较高的影像分辨能力与曝光自动调节能力,保证于光

照频繁更迭的工地现场依旧可获得清晰影像^[1]。采用RTK模块的无人机系统可实现厘米级位置的精确掌控,为后续的图像建模工作奠定基础精度支撑。航摄仪器焦距能否稳定以及镜头畸变控制得如何,直接影响建模中点云重建的空间一致性,属于精度控制的关键要素之一^[2]。

1.2 任务规划与影像获取流程的精度导向优化

要在不影响施工正常进度的前提下,高效完成施工场地航测任务,为此要针对航线做精密的规划。飞行高度一般控制在50至100米区间,以实现2至5厘米的地面分辨率,把前向、旁向重叠度分别控制在80%、70%以上,来提升模型密度。在高边坡或临时构筑物成群的区域,可采用局部低空补拍与倾斜摄影联合的方式,以弥补垂直视角获取量不足造成的遮挡误差^[3]。航飞进程里实时开展GNSS信号强度与图像连贯性监控,能及时察觉航迹偏移与影像缺失状况,在源头上遏制模型结构误差。多架次作业时需对时间系统与姿态控制基准保持一致,杜绝数据拼接误差干扰整体成果的精度^[4]。

1.3 SfM建模流程中的误差传播机制与控制策略

基于SfM(Structure-from-Motion)算法构建的建模流程,有特征匹配、稀疏点云生成、稠密重建、正射纠正等环节,每个阶段的误差累积均有影响最终测量成果可靠性的风险^[5]。特征提取算法的鲁棒性左右着影像配准的精度,清晰的图像与鲜明的纹理对比度是提升匹配精度的重要依仗。像控点布设的密度以及空间分布方式,直接左右着模型的绝对定位能力,应优先对地形高差突变区域与施工关键节点区域进行覆盖,且要结合GNSS-RTK测量所得结果修正位置。进入到后处理阶段,凭借误差残差分析和模型自检流程识别配准出现的偏差与点云异常,实现对误差的可控与可调。图像分辨率、遮挡程度、光照均匀性与姿态变化范围是模型精度的敏感因子,于全流程中需持续关注^[6]。

2 典型测量精度表现分析

2.1 地形建模任务中的空间定位精度表现

场地平整以及土方计算的基础数据靠地形测绘获取,以某线性工程作示例,采用多旋翼无人机在80米高度开展航空测量,图像的地面分辨率为2.7厘米,布设12个像控点,经由SfM重建完成DSM生成,与RTK实测的结果做对比,就水平而言,RMSE为3.2厘米,垂直维度上RMSE为5.6厘米,点云密度约为250点/平方米。裸露地表上,模型的表现十分稳定,在碎石、植被及阴影覆盖区域误差偏大,最大误差可达±12厘米之多,误差的来源有纹理不连续以及图像模糊,该精度可满足中等比例尺地形图与土方估算的相关要求,但对于高精度放样控制来说适用性差,要提高复杂区域的建模精度,可采取增加像控点、调优图像重叠度及人工校正的方法^[7]。

2.2 边坡动态监测中的高程变化探测能力

施工场地里,边坡乃形变最活跃之区域,其稳定性左右着施工安全,就某基建边坡来举个例子,划分三个阶段实施航测,维持航线参数恒定,图像的重叠率为85%,采用统一坐标系统与固

定像控点,对三期DSM进行差异分析,与水准测量数据开展比对,其平均高程误差为±4.2厘米,坡面变化呈现出92.5%的一致性,误差主要集中于遮挡、植被以及反光区域,SfM模型可对坡面变形进行有效跟踪,适合开展滑移监测与形变的分析工作,通过选择适宜航测时段并结合倾斜摄影或激光雷达的方式,能进一步增进精度以及建模的完整性^[8]。

2.3 桩点放样辅助中的模型定位精度评估

桩点放样对空间坐标的精准度要求不低,举道路基础桩点这个例子,采用SfM模型提取坐标后同RTK数据进行比对,在初始稀疏布控状态下误差为±9.4厘米,点云稀疏以及图像姿态改变,导致区域误差扩大,把像控点加密成每100平方米1个控制点,然后经优化安排后,模型稳定性显著增强,误差减小到了±3.5厘米,满足放样预定位及总控划分的需求,该途径可增进放样工作效率,减少对RTK操作的依赖,实现高精度差分与BIM系统的联动整合,可实现误差的可视化呈现与闭环调控,增进无人机在施工测量当中的实用性及精度保障能力^[9]。

3 影响测量精度的关键因素分析

3.1 像控点布设的密度与分布

像控点充当SfM建模里的几何参照,其密度和分布的样式对模型精度起关键作用。处在土木施工相关场地,地形错综、结构形式不一,当控制点布设不均匀,又未覆盖关键高差区与边缘范围时,极易引发模型局部畸变或空间移位。布设方案需兼顾均匀布局与重点部位覆盖,让控制点在水平及垂直方向均拥有约束能力,尤其是在边坡、基坑与构筑物密集地段应适度加密,进而提升模型整体的刚强度^[10]。

3.2 飞行参数与图像获取质量

飞行高度、重叠度和相机稳定性影响图像空间分辨率与匹配精度。过高的飞行高度会降低分辨率,对特征提取产生干扰;飞得过低的话,也许会受到现场扬尘、遮挡的不利影响,导致图像清晰度下降,引起图像清晰度降低。若重叠度缺乏,建模冗余度就会降低,易造成匹配不成功与局部塌陷的结果。若环境光呈现出较大差异,特征匹配精度也会被图像色差、阴影干扰所波及,应恰当挑选作业时间段,维持影像质量稳定水平。

3.3 地物属性与现场环境干扰

施工场地的地物类型复杂难辨,常见的反光、重复纹理与动态遮挡,是点云误差的主要根源。诸如混凝土板面、钢构件的材质反射强烈,使得特征点提取工作受阻;绿化带及松散堆料的纹理模糊不清,易造成高程误差出现起伏变动。现场作业频次颇高,地物变化态势迅猛,倘若在单个作业周期内无法完成数据采集,将引发影像连贯出现问题、模型闭合存在缺陷。部分区域仍旧出现结构遮挡及高度的突然变化,应采用倾斜摄影或地面控制点作补偿,促进模型完整性及测量的精准度。

4 精度优化策略与未来发展路径

4.1 构建高效控制点自动布设系统

传统情形下像控点布设靠人工达成,因施工现场通行条件方面的限制,面临布点时间漫长、空间分布不均衡等难题,直接

对模型几何精度、空间基准一致性造成干扰。就施工场地布点困难的情形而言,可引入依托视觉识别和GNSS导航融合的自动布控系统,由无人车或飞行器带着目标标识实施多点布设,借助现场数字化布图平台实现实时控制及误差反馈。系统部署完毕,可明显提升控制点布设的效率,提升布点分布的合宜性,降低因点位不稳定引发的误差扩散。能与SfM重建流程实现无缝衔接的智能化布控手段,利于实现航测流程的系统性控制与精度闭环。

4.2 强化图像处理算法的误差自适应能力

SfM建模时误差的累积,主要是因为图像质量参差不齐以及特征提取的鲁棒性欠佳。经由引入基于深度学习的图像清晰度判别跟纹理信息增强模块,在图像开始输入阶段就剔除模糊影像并增强边缘对比,提高特征匹配稳定性水平。进入稀疏点云生成的阶段,可采用区域误差阈值识别机制,开展对模型几何误差集中区的实时监测,依靠算法引导实施补拍或局部重建,减小配准异常的影响范畴。针对多时相测量的边坡监测以及地形变化识别事项,能采用跨时期图像序列深度融合途径,增强模型变化的空间一致性,提升高程变化的探测水平。

4.3 推进多源融合测绘体系建设

仅依赖影像的SfM模型于遮挡区域、低纹理区域以及光照复杂区域,依旧有精度降低的趋向。借助倾斜摄影技术采集多视角数据,可以增进复杂结构及垂直面建模的完整性。激光雷达技术有穿透植被与抵御反光干扰的本事,在边坡植被区及堆料场有着较强的补充效能。打造融合SfM点云与激光点云的多源数据处理格局,基于点云密度的分析、表面一致性的评估以及权重配准方式,实现精度更高的数据协同。配套开发可跟BIM模型联动起来的施工测绘管理平台,使测绘成果快速与施工调度及变更控制系统相连,为土木工程的信息化管理、施工智能化提供数据支撑与精度后盾。

5 结论

土木施工场地测量时采用无人机航测,已体现出明显的效率优势与精度潜力,特别是在诸如地形建模、边坡动态监测与桩点放样之类的任务里,具备良好的数据采集及三维重构实力。像控点布设、飞行参数设置、图像质量和地物复杂度等诸多因素共同影响测量精度,对于裸露、纹理清晰之地,模型精度表现颇

佳;在遮挡情况恶劣或光照条件不均的区域,误差易出现波动。鉴于施工现场体现出的复杂性,借助搭建智能布控系统、优化图像处理算法并采用多源数据融合途径,能切实提升测量成果的空间一致性及应用的精准度。作为测绘方式技术革新的无人机航测,其在施工场地的适配性及精度体现,正拉动工程测量从传统作业往智能化、系统化转型,往后将在土木工程数字化建设中发挥更关键的作用。

[参考文献]

- [1]陆双飞,张文照.无人机航测技术在生态清淤工程中的实践应用[J].华北自然资源,2025,(02):104-107.
- [2]郎强,代强,何雄.无人机复杂地形工程测量精度提升策略研究[J].四川水利,2025,46(02):102-106.
- [3]蔡绍孟,陈春华,刘建波,等.无人机航测技术在东郊椰林马尾藻资源调查的应用[J].海洋湖沼通报(中英文),2025,47(02):127-134.
- [4]魏涛,韩磊.无人机航测技术在复杂地形测绘中的精度分析[J].北斗与空间信息应用技术,2025,(02):87-89+106.
- [5]冯玉全,卢自来,刘超群.无人机航测产品在水运工程测量中的新应用[J].水运工程,2025,(04):204-210.
- [6]咎飞翔.无人机航测在公路道路施工中的应用[J].智能建筑与智慧城市,2025,(03):164-166.
- [7]房衍志,杨修志,高世昌,等.基于无人机航测与改进深度卷积网络的尾矿库库容监测方法研究与应用[J].现代矿业,2025,41(02):186-189.
- [8]张志河,王靠省,刘立正,等.无人机航测技术在施工便道优化设计中的应用[J].工程技术研究,2025,10(04):201-203.
- [9]张森.无人机航测的矿山地形测绘技术应用研究[J].中国金属通报,2025,(02):157-159.
- [10]雷汀苾.无人机航测技术在金属矿山测绘中的应用策略研究[J].中国金属通报,2025,(02):139-141.

作者简介:

杨凯(1996—),男,汉族,四川乐山人,硕士,助教,研究方向:可持续土木与结构工程。