

无人机摄影测量快速建模技术与运用分析

文 / 林青立 广州市城市规划勘测设计研究院有限公司

摘要: 文章说明了无人机摄影测量快速建模技术的主要特点,并以外业数据采集、内业数据处理为切入点,分析了无人机摄影测量快速建模技术的主要流程。在此基础上,以中山市马鞍联围海堤工程的建模为例,针对无人机摄影测量快速建模技术的具体应用以及实践要点进行了探讨,验证了方法的可靠性,所建立起的模型可以为联围海堤工程可视化管理等工作的展开提供有力支持。

关键词: 无人机摄影测量;快速建模;联围海堤工程

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.15.117

引言

无人机摄影测量快速建模技术是一种结合无人机(UAV)、高分辨率影像采集、计算机视觉和三维建模技术的综合应用,能够高效生成高精度地理信息模型,在当前得到广泛应用。为充分发挥出该技术的作用,保证建模结果精准,就要切实把握相应建模技术的应用要点。

一、无人机摄影测量快速建模技术的主要特点

该技术具有数据真实、丰富、完整的特点,该技术得到的空间坐标数据足够真实、准确,可以呈现出现场的真实状况,而且还能够直接导出不同类型的数据,满足各项工作的需求。通过全方位、多角度的无人机摄影测量作业,获得完整、全面的数据,及时发现遗漏部分也能及时补拍,将数据补充完整^[1]。

该技术具有高效率的特点,用先进的设备代替传统的人工作业模式,只需要一位操控人员,就能够完成待测区域的数据采集任务。即使在一些地形复杂的区域,也能够按照既定计划完成飞行和测量的任务。航测完成后,可以自动传输数据和自动建模,快速生成模型,缩短了建模时间。

二、无人机摄影测量快速建模技术的主要流程

(一) 外业数据采集

在建模之前,需要安排专业的技术人员到室外区域现场采集数据,这项工作主要包括四个环节,一是现场勘查,到待测区域进行调查,充分了解现场及周边的环境条件,找出适合起飞的位置,明确测量的整体范围和具体边界,掌握现场的基本情况,需要将这些信息整理成资料,提交给主管部门。二是确定航测计划,确定无人机起飞和降落的具体点位,根据航测需求确定设备的型号,根据待测区域的实际情况合理设计无人机的飞行轨迹、飞行高度等重要数据,同时还要明确本次航测的主要负责人、具体操作人员等^[2]。三是现场测量环节,测量之前要查看天气预报,在风力较小、天气晴朗的日子进行测量,保证图像的清晰度,为建模工作提供准确的参考。四是数据审核环节,航测完成后,会获得待测

区域的数据,工作人员应当仔细审查这些数据,如果存在遗漏的部分,就要及时进行补拍,保证数据的完整性,为后续的建模提供可靠的数据支持。

(二) 内业数据处理

完成前期的外业工作后,需要将采集的数据打包发送给内业人员,进一步处理数据和建设模型。内业工作主要包括六个环节,一是预处理环节,对前期得到的影像画面进行检查,删除那些清晰度不足、存在遮挡、亮度过高或过低的图片。二是数据解算环节,根据具体的点位信息,对影像点的相关数据进行计算,还能得到精准的高程信息,同时得到准确的坐标数据。三是密集点云生成环节,得到影像点的精确数据后,从这些数据中找出特征点,由此构成密集点云。四是建设 TIN 网模型。五是纹理映射与建模,得到清晰的立体模型。六是模型调整,对立体模型进行全方位审查,如果存在异常部位,应当及时调整,同时还要将多余的部分删除,确保模型完整、清晰。

三、无人机摄影测量快速建模技术的应用实例分析

(一) 项目概述

中山市马鞍联围海堤工程位于中山市翠亨新区,堤防全长约 48.52 公里。为更准确、快速地完成对该工程的建模,主要选用了无人机摄影测量快速建模技术。由于该工程周边环境复杂且范围广,因此实地测量与数据采集难度高、安全风险大,更适合使用无人机测量的方法替代传统人工测量。

(二) 前期准备

1. 设备选型

第一,无人机平台。优先选用垂直起降固定翼或多旋翼复合翼无人机(兼顾长续航与大载荷)。由于本次测量高分辨率可搭配五镜头倾斜相机,在本项目中,搭配使用了大疆 M300+P1/P2。第二,传感器配置。引入全色/多光谱相机或激光雷达(LiDAR)。第三,辅助设备。RTK/PPK 高精度定位模块、地面控制点(GCP)标志物。

2. 飞行规划

设计低空航线,高度 50-200 米,确保海堤全线覆盖,

重叠率 $\geq 80\%$ (航向)/ 70% (旁向)。避开强风浪时段(海边作业易受天气影响), 提前规划应急降落点。

3. 相机设置

设置合适的影像参数, 在分辨率方面, 引入不低于2000万像素的全幅相机, 倾斜影像需保证地面分辨率一致。在快门速度方面, 控制在 $\geq 1/1000s$ (避免运动模糊)的水平, 动态场景可使用高速连拍模式。在ISO范围方面, 重点保持 $ISO \leq 1600$ (减少噪点), 光线不足时优先调整光圈而非 $ISO^{[3]}$ 。

(三) 数据采集

1. 外业执行

按预设航线飞行, 同步记录POS数据(位置、姿态、时间)。布设地面控制点(GCP), 均匀分布在海堤周围稳定区域, 使用差分GPS测量坐标, 提升模型精度至厘米级。

2. 地面控制点(GCP)布设

第一, 保证地面控制点的布设均匀分布, 沿海堤每隔50-100米布设1个GCP, 拐角、复杂结构处加密; 保

证地面控制点的布设稳定性, 选择混凝土基座、岩石等稳定区域, 避免植被或沙土区域; 保证地面控制点的布设标识清晰, 采用高对比度靶标(如红白棋盘格), 尺寸 $\geq 0.5m \times 0.5m$ 。第二, 坐标测量。实施差分GPS测量, 使用RTK设备(如华测i80)测量GCP坐标, 平面精度 $\leq 3cm$, 高程精度 $\leq 5cm$ 。安排冗余校验, 每个GCP至少独立测量3次, 剔除异常值。

3. 影像质量检查

第一, 外业检查项。覆盖率检查, 影像覆盖海堤全线, 无漏拍区域(可通过无人机自检软件预判); 清晰度检查, 放大至100%时, 关键特征(如裂缝、护坡纹理)清晰可辨; 色差一致性检查, 相邻影像色调均匀, 避免过曝或欠曝。

第二, 内业预处理。实施畸变校正, 利用相机标定参数消除镜头畸变; 落实影像拼接预览, 通过Context Capture或Pix4D生成低精度模型, 检查是否存在盲区或模糊区域。

第三, 结合实际的外业数据采集情况, 及时、有效处理遭遇的问题。如表1所示。

表1 无人机数据采集常见问题与处理

问题	原因	解决方案
影像模糊或拖影	快门速度不足或飞行速度过快	提升快门速度至 $1/2000s$, 降低飞行速度
点云空洞	遮挡导致立体像对缺失	补飞环绕航线或结合LiDAR数据补全
模型纹理扭曲	影像畸变或控制点误差	使用PTGui或Pix4D进行畸变校正
GCP匹配率低	地面标靶布设不规范	重新布设标靶(确保颜色对比明显且无遮挡)

4. 采集结果

结合无人机采集, 获取到所需要的照片信息以及坐标数据^[4]。为确保后续数据处理工作的展开更加顺利, 将采集到的照片信息以及坐标数据转变为.txt格式, 并将其导入到PS软件内。

(四) 数据处理

1. 空三加密与影像匹配

第一, 初始空三解算。POS数据校正, 利用RTK/PPK数据修正影像的外方位元素(位置、姿态), 确保初始空三精度。同名点匹配, 通过多视影像匹配算法(如SIFT、SURF)提取特征点, 构建光束法平差模型。控制点刺点, 将地面控制点(GCP)坐标精准刺入影像, 优化空三精度(平面误差 $\leq 3cm$, 高程误差 $\leq 5cm$)。

第二, 区域网平差。使用ContextCapture、Pix4D或Agisoft Metashape进行光束法区域网平差, 消除系统误差。若存在区域网断裂, 需补飞或补拍影像, 确保模型整体连续性。

2. 点云生成与优化

第一, 密集点云构建。多视影像匹配, 通过多角度影像生成高密度三维点云(密度 ≥ 100 点/ m^2), 提取海堤护坡、消浪块体等结构特征。分类与滤波, 分离地面点与非地面点(植被、水体等), 使用布料模拟(Cloth

Simulation)或渐进加密算法。滤除噪声点(如海浪反光、飞鸟干扰)。

第二, LiDAR数据融合。由于本项目中采用了倾斜相机+LiDAR组合方案, 所以还要在数据处理中, 将激光雷达点云与摄影测量点云融合, 提升地表穿透能力(尤其适用于植被覆盖区)。对齐两种数据源的坐标系, 误差控制在 $\pm 2cm$ 以内。

3. 三维模型重建

第一, 参数化建模。结构化构件生成, 利用ContextCapture的“参数化建模”功能, 自动构建标准化海堤构件(如混凝土护坡、排水孔)。人工干预优化, 对复杂结构(如堤顶道路伸缩缝、消浪块体堆砌)进行手动修模, 确保几何精度。

第二, 纹理映射。多视角影像优选, 选择分辨率最高、无遮挡的影像作为纹理贴图来源。UV展开与映射, 避免纹理拉伸或错位, 确保模型表面真实感(分辨率 $\geq 5cm/pixel$)。

(五) 模型优化编辑

第一, 初始模型导入与检查。格式转换, 将建模软件输出的原始模型导入专业编辑工具。实施完整性验证, 检查是否存在面片缺失(遮挡导致); 分析模型是否存在重叠面、非流形边或法线反向问题。

第二,几何修复与拓扑优化。在噪声与冗余清理中,实施离群点过滤,使用统计滤波算法删除孤立点或噪点;合并共面或邻近面片,减少冗余几何。展开非流形几何修正,分离重叠面;删除悬挂边(海堤与水面交界处的无效边)。

第三,网格简化与细节保留。在自动简化中,使用边折叠算法降低面数(目标压缩至原模型的30%-50%),同时保留关键特征(如海堤轮廓)。设置边界保护(禁用简化算法对海堤边缘的修改)。安检手动加密处理,对关键部位局部加密网格(分辨率提升至0.1-0.5mm)。使用雕刻工具模拟磨损痕迹。

第四,曲面重建与重拓扑。落实曲面细分,对低分辨率区域进行细分,提升细节表现力。在Blender中使用“Quad Remesh”生成均匀四边形网格,优化模型拓扑结构^[5]。

第五,法线校正与UV映射。在法线调整中,修复因影像匹配错误导致的法线反向(全局法线翻转);平滑法线,针对钢板的接缝处,避免反光不连续。实施UV展开,对需贴图的模型(如海堤结构纹理)进行智能UV拆分,避免拉伸变形。使用LSCM解算器优化UV布局。

完成模型编辑后,即可输出建模结果,如图1-图4所示。对于此时所得到的模型结果而言,其可以直接导入到vrp等虚拟仿真系统内,以备后续使用。



图1 工程模型结果图1



图2 工程模型结果图2

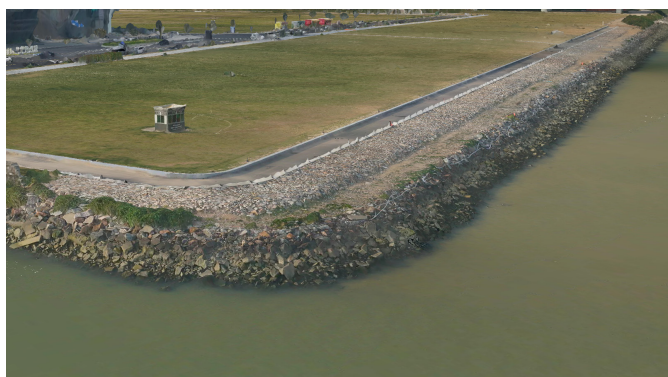


图3 工程模型结果图3



图4 工程模型结果图4

结语

综上所述,无人机摄影测量快速建模技术在联围海堤工程建模中的应用,能够提升建模任务的展开效率,所搭建起的三维模型具有完整、准确的空间位置数据,可以实现对BIM或IS数据源的扩充,为工程运营管理工作优化展开提供有力支持。

参考文献

- [1] 杨博雄,黄鑫,周波,等.面向实景三维建模的倾斜影像像控点目标快速检索与高效刺点研究[J].数字技术与应用,2021,39(05):46-48.
- [2] 殷文卿,李怡彬,赵长明,等.基于无人机贴近摄影测量技术的传统文化建筑精细三维建模研究[J].工程技术研究,2024,9(14):203-206.
- [3] 杨进,邓凡宇,刘俊麟,等.无人机倾斜摄影测量路基测量技术研究[A]2024年智能工程与经济建设学术会议论文集(工程管理与经济建设专题)[C].江西省工程师联合会,江西省工程师联合会,2024:6.
- [4] 毛正君,于海泳,梁伟,等.基于无人机倾斜摄影测量三维建模的区域黄土滑坡识别及特征分析[J].中国地质,2024,51(02):561-576.
- [5] 杨大关,杨俊静,王煜成,等.基于无人机的健康街区三维快速建模技术研究[J].绿色建筑,2023,15(05):33-35+68.