

制。正射影像中树冠常形成大面积连续色块，掩盖地表界限，导致权属边界无法精准识别，尤其在集体林场或农林交界区域界限模糊。控制点难以布设于林下空旷位置，GNSS 信号衰减明显，影响坐标精度。建设用地则受施工状态、地物扰动与人工构造影响，建筑阴影与高反差区域会造成影像扭曲，增加图像处理与识别难度。提升此类区域识别精度需借助倾斜摄影获取立体信息，增强树冠下地形结构解析力，或结合地面激光扫描进行数据补偿。同时应加强事后人工校核与边界修正机制，确保测绘成果在复杂地貌条件下的真实性与可用性。

6 提升无人机航测精度与成果可靠性的策略路径

6.1 优化作业参数设置与流程标准化

无人机航测的精度直接受飞行高度、影像重叠率、相机参数及控制点布设密度等因素影响。在地籍测绘中，飞行高度控制在 80 米至 120 米范围内，可实现 0.05 米至 0.1 米的地面分辨率，有效支撑界线判读需求。正射影像的横向与纵向重叠度应分别达到 80% 与 70%，以确保影像拼接的连续性与图像拟合精度。相机焦距设定在 24 毫米至 35 毫米区间可实现合理视场控制，减少边缘畸变。GCP 布设应达到每平方公里 6 至 8 个，且需均匀分布在图像覆盖区域。采用 POS 联动记录航迹与姿态信息可增强数据处理精度。标准化流程应覆盖任务规划、飞控执行、影像质检、数据建库等环节，形成作业模板并执行技术归档制度，确保成果可复制、可追溯、可复核，图 1 为提高无人机航测精度的优化处理流程。

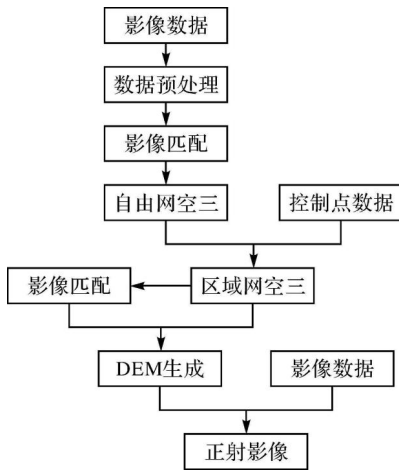


图 1 提高无人机航测精度的优化处理流程

6.2 引入多源数据融合提升精度稳定性

单一影像数据在地形起伏大或植被覆盖密集区存在局部误差累积问题，引入 LiDAR、INS、DEM 等多源数据进行集成处理可显著提升精度稳定性。在某山区样区测绘中，

融合 LiDAR 点云后生成的数字高程模型误差控制在 ± 0.15 米内，较单一航拍成果提升精度达 37%。倾斜摄影与正射影像的联合建模可增强建筑物立面识别能力，提高边界提取完整度。INS 系统与 RTK-GNSS 联动采集的位姿数据精度可控制在 5 厘米以内，有效解决图像匹配误差。在数据处理阶段应用 SfM 算法与多视图几何优化技术，可降低误差传播率，确保最终图件边界与实地界限一致率超过 92%，提高土地确权成果在法律层面的认定效力。

6.3 加强监管与技术规范保障数据权属效力

为保障无人机航测数据在土地确权中的权威性，需从监管机制与技术标准双重入手推动制度化建设。各级自然资源管理部门应建立数据审核机制与成果备案制度，对航测成果精度控制在 1:1000 图件级别，边界误差不得超过 ± 0.3 米，图根点相对误差不得超过 0.2 米。标准文件应明确包括 GNSS-RTK 布控要求、GCP 测量精度、正射影像色彩一致性处理流程等内容，并引用国家地理信息公共服务平台提供的坐标基准与数据接口。监管平台应集成 QC 工具与成果抽检程序，通过定期复测与第三方审核机制实现成果交付验收。技术队伍需具备 UAV 航测操作证与测绘中级以上职称，确保操控与数据处理人员专业能力达标，形成制度、标准与人员三位一体的质量保障体系，提升确权结果的司法支持力与政策执行力。

7 结语

无人机航测技术作为现代测绘的重要组成部分，在土地确权工作中发挥出显著优势。其高效的数据采集能力与灵活的作业方式，显著提升了地籍调查的作业效率与成果精度。针对不同地形地貌条件，通过优化作业参数、引入多源数据融合、严格执行技术规范，可以有效提升数据成果的权威性与可用性。在确权实践中，无人机航测不仅提高了测图的精度控制水平，还推动了地籍管理的信息化、科学化进程。未来应持续推动相关技术标准体系建设与作业流程规范化，拓展技术应用边界，确保航测成果具备稳定的法律支撑与社会认可，为我国土地确权全覆盖与乡村治理现代化目标提供可靠支撑。

参考文献

- [1] 林焱君,马灿达,苏秋群.基于无人机航测技术的土地确权工作的优缺点浅析[J].南方农机,2024,55(05):4-8+35.
- [2] 李名哲.面向农村土地确权的无人机航测系统分析及应用流程研究[J].科技资讯,2021,19(03):15-18.
- [3] 赵政文.无人机航测在农村土地确权中的应用[J].价值工程,2020,39(36):179-180.
- [4] 邢晓娟.无人机航测在土地确权发证中的应用研究[J].山西农经,2019,(19):115+117.

Urban real scene 3D reconstruction method and application of multi-source data fusion

Xiangwen Chen

Yunnan Remote Sensing Center, Kunming, Yunnan, 650000, China

Abstract

Urban real-scene 3D reconstruction is a critical technology for constructing digital twin cities and supporting refined urban governance. With the extensive acquisition of spatial data, including multi-source remote sensing images, LiDAR point clouds, and oblique photography, traditional single-source modeling methods can no longer adequately represent the complex urban structures. By integrating geometric, texture, and semantic information from various data types, multi-source data fusion enables high-precision modeling and three-dimensional representation of urban features, offering significant advantages in model completeness, accuracy, and update efficiency. This paper systematically explores the acquisition, preprocessing, fusion modeling, and typical application paths of multi-source data, proposing reconstruction strategies suitable for various urban scenarios. It also examines the practical effectiveness of these methods in urban planning, management, and emergency response, providing technical support for the development of dynamic and visualized urban spatial information systems.

Keywords

3d reconstruction; multi-source data fusion; remote sensing image; oblique photography; digital twin

多源数据融合的城市实景三维重建方法与应用

陈香稳

云南省遥感中心, 中国·云南昆明 650000

摘要

城市实景三维重建是构建数字孪生城市、支撑精细化城市治理的重要基础技术。随着多源遥感影像、激光雷达点云、倾斜摄影等空间数据的大量获取,传统单一数据源建模方式已难以满足城市复杂结构的表达需求。多源数据融合通过联合不同数据类型的几何、纹理与语义信息,实现对城市地物的高精度建模与立体表达,在模型完整性、精度与更新效率方面表现出显著优势。本文围绕多源数据的获取、预处理、融合建模及典型应用路径展开系统研究,提出适用于多种城市场景的重建技术策略,探讨其在城市规划、管理与应急中的实际效能,为构建动态可视化的城市空间信息系统提供技术支撑。

关键词

三维重建; 多源数据融合; 遥感影像; 倾斜摄影; 数字孪生

1 引言

城市空间结构日益复杂,传统以单源数据为基础的三维建模方式在空间表达的精度、完整性和实时性方面存在显著局限。当前,以遥感、激光雷达、倾斜摄影等多源空间数据为基础的融合建模逐渐成为城市三维重建研究的主流方向。多源数据不仅在分辨率、视角、覆盖范围等方面各具优势,而且其异构性为数据互补与协同建模提供了理论基础与技术驱动。在此背景下,推动多源数据在三维重建过程中的深度融合与高效建模,已成为实现城市虚实融合表达、构建数字孪生系统的核心环节。本文系统梳理当前多源数据融合

的关键技术路径,探索其在不同城市空间场景中的建模策略及实际应用价值,旨在为城市信息建模与空间智能分析提供可行性支撑。

2 多源数据在城市实景三维重建中的技术特征与融合需求

城市实景三维重建以高精度表达城市空间形态为目标,其技术路径依赖于多类型数据在空间尺度、信息密度和获取方式上的协同作用。遥感影像具有广域覆盖优势,倾斜摄影提供多视角细节表达,激光雷达点云具备高密度空间结构获取能力,地面测量数据则在局部精度控制中起到基础支撑作用。不同数据源在获取时间、空间分辨率、纹理质量和几何精度方面存在显著差异,形成了强互补特征。城市中建筑密集、高差显著、遮挡复杂等条件对数据完整性和模型连续性提出更高要求,多源数据融合成为提升建模质量的关键路

【作者简介】陈香稳(1975-),男,中国云南宣威人,本科,高级工程师,从事实景三维数据制作与应用、国土调查、新型基础测绘等研究。

径。融合技术需实现空间基准统一、纹理信息对齐与语义关联构建,才能支撑面向不同应用需求的模型复用。在面向数字孪生与智能城市发展的背景下,对数据融合的动态适应性、实时性与精度保障能力提出更高要求,促使相关技术持续向高效算法、高精对接和智能协同方向演进。

3 多源数据采集与预处理关键技术分析

3.1 遥感影像、倾斜摄影与激光雷达数据获取方式对比

遥感影像依托高空或卫星平台获取,具有大范围覆盖与周期重复能力,分辨率常在 0.5 至 1 米,适用于宏观城市结构表达。倾斜摄影采用多镜头系统从不同视角获取地物立面与屋顶纹理,结合无人机航测技术,覆盖精度达到 0.1 米以内。激光雷达通过主动发射激光脉冲获取空间点云数据,具备穿透植被、快速建模和高密度特性,点云密度达每平方米 300 点,适应建筑群与复杂地形获取需求。三者空间解析度、获取周期、数据结构与处理方式方面各有差异,融合使用可有效提升城市三维模型的精度与完整性。

3.2 多源异构数据配准与时空一致性处理方法

多源数据在空间坐标体系、时间获取节点与分辨率标准上存在不一致问题,配准与一致性处理成为三维建模的关键环节。通过共控制点提取与特征匹配算法可实现不同数据间的空间配准,误差控制在 0.15 米以内。点云与影像间通过光强特征与结构边缘匹配提升配准精度,配准后的影像与点云可统一投影到统一坐标系统。时间一致性处理依赖元数据时间戳比对与变化检测算法识别新增与缺失要素,更新时间窗控制在 30 天内。配准后的数据通过空间叠加构建融合基准图层,为后续三维重建提供统一语义基础与空间参考支撑。

3.3 数据噪声抑制与精度提升的图像处理策略

数据在采集过程中受平台震动、光照干扰与设备误差影响,常产生孤立点、遮挡缺口与灰度畸变等噪声,需在预处理阶段进行有效抑制。图像类数据通过直方图均衡、边缘锐化与色彩校正等方法增强影像质量,提升特征提取清晰度。点云类数据采用统计滤波与区域增长算法消除飞点与伪影,空间连续性提升约 12%。影像与点云融合处理中采用双向光投影与密度补全技术,优化纹理映射边界误差控制在 0.05 米。多源数据在噪声剔除后构建统一分辨率的融合网格,为三维建模提供高质量原始图元与轮廓依据。

4 多源数据融合算法及三维建模方法研究

4.1 基于规则驱动与学习驱动的融合建模算法框架

多源数据融合建模主要采用规则驱动与学习驱动两类技术路径。规则驱动方法依赖几何特征、视角关系与点密度规则实现数据配准与整合,适用于结构相对规整区域,误差控制精度在 0.15 米以内。学习驱动方法则依托深度神经网络模型提取多尺度空间特征,融合过程不依赖人工制定规

则,适应性强,在复杂遮挡与多重视角数据中表现出更高鲁棒性。基于卷积神经网络的点云图像融合模型在高密度建筑区域内实现模型完整率提升至 96%,较传统方法提高近 12%。集成 Transformer 架构的跨模态融合模型在多源影像重建中将边缘识别误差率降至 3.1%,建模时间缩短 22%。融合算法框架中,配准模块采用多级金字塔对齐机制实现图像与点云的多尺度空间对应,参数训练样本数量达到 5000 组以上。该类框架具备自动学习能力与可扩展性,可广泛适应城市场景中多源数据的快速融合与三维建模任务。

4.2 点云、影像与地理语义信息融合的几何建模技术

几何建模过程中点云数据提供结构支撑,影像数据用于细节补充,地理语义信息则作为结构约束与识别依据。点云密度保持在每平方米 200 至 300 点时,轮廓重建误差可控制在 0.1 米以内。融合模型通过特征空间映射将影像灰度值、纹理方向与点云坐标匹配,采用几何一致性约束修正偏差,实现边界清晰度提升 15%。语义信息引入后,通过矢量地籍、建筑用途与高程分区进行对象分类建模,模型自动化分类准确率达到 93%。三维矢量提取中,融合地形高差数据可有效分离屋顶、道路与绿地等元素,使对象间重叠误差控制在 0.2 米以下。在区域块面生成中,引入图结构优化算法,最大限度减少面缝数量与交错区域,面完整度达到 98%。通过融合高程与倾斜摄影数据,对高度差异控制能力提升 20%,有效支持城市高层与低层混合区的几何重建精度稳定性。

4.3 纹理映射与语义标签赋能的细节增强模型构建

在多源数据融合模型中,纹理映射直接决定视觉真实感与模型识别效果。图像纹理源自倾斜摄影与地面照片数据,分辨率保持在 0.2 米以内时,可将立面细节还原度提升至 92%。映射过程中采用面向对象的 UV 坐标自动展开算法,映射误差控制在 0.05 米范围内。通过高动态范围图像融合技术提升光照一致性,实现亮度偏差低于 3%。语义标签嵌入基于空间位置、形态特征及用途识别,分类标签数量超过 120 类,自动识别精度保持在 94% 以上。建筑表面标签如窗户、门洞、屋脊等加入模型后,对立面纹理结构提升效果明显,图像边缘清晰度提高 18%。标签与纹理联合建模支持在模型基础上叠加智能分析,如人流模拟、灾害影响预测等功能。细节增强模型还引入多分辨率层次结构,适配不同级别渲染与查询需求,提升模型加载效率与交互性能,在城市管理系统中实现响应时间缩短 40%,图 1 为多源数据融合的城市三维实景建模。

5 城市实景三维模型的应用场景与系统集成模式

5.1 数字孪生城市构建中的三维模型集成逻辑

数字孪生城市的核心在于构建映射城市物理空间的虚拟系统,三维模型作为基础载体,其集成逻辑需兼顾几何精