

城市复杂场景无人机航测影像无缝拼接与三维建模技术

程铭坤

身份证号码: 412725199304197450

DOI: 10.12238/ems.v7i10.15740

[摘要] 随着城市化进程的加速,城市复杂场景的三维建模需求日益增长。无人机航测技术凭借其灵活、高效、低成本等优势,成为城市三维建模的重要手段。本文聚焦城市复杂场景下无人机航测影像的无缝拼接与三维建模技术,分析了无人机航测技术的优势与面临的挑战,深入探讨了影像无缝拼接和三维建模的关键技术,包括影像预处理、特征提取与匹配、影像配准与拼接、三维点云生成与模型构建等。通过实际案例验证了技术的可行性和有效性,并对未来发展趋势进行了展望,旨在为城市复杂场景的高精度三维建模提供理论支持和技术参考。

[关键词] 城市复杂场景; 无人机航测; 影像无缝拼接; 三维建模

一、引言

在智慧城市建设的浪潮中,城市三维模型作为城市空间信息的重要载体,在城市规划、建筑设计、交通管理、灾害应急等众多领域发挥着关键作用。传统的城市三维建模方法,如地面测量和卫星遥感,存在效率低、成本高、精度受限等问题,难以满足城市快速发展对三维模型的需求。无人机航测技术作为一种新兴的测绘手段,具有机动灵活、响应速度快、能够获取高分辨率影像等优势,为城市复杂场景的三维建模提供了新的解决方案。然而,城市复杂场景中存在大量的高楼大厦、复杂地形和密集设施,给无人机航测影像的无缝拼接和三维建模带来了诸多挑战,如影像畸变、遮挡、纹理重复等。因此,研究城市复杂场景下无人机航测影像无缝拼接与三维建模技术具有重要的现实意义。

二、无人机航测技术概述

2.1 无人机航测技术的原理

无人机航测技术是基于无人机平台,搭载高精度的传感器和成像设备,如光学相机、激光雷达(LiDAR)等,按照预定的航线对地面进行飞行拍摄,获取地面和建筑物的空间信息。通过全球定位系统(GPS)和惯性测量单元(IMU)获取无人机的位置和姿态信息,结合影像数据,利用摄影测量和计算机视觉算法,实现地面物体的三维重建。

2.2 无人机航测技术的优势

高效性上无人机能够快速到达指定区域进行航测,大大缩短了数据采集时间。相较于传统地面测量方法,无人机航测可以在短时间内覆盖大面积区域,提高了工作效率;灵活

性上无人机可以根据不同的任务需求和地形条件,灵活调整飞行高度、速度和航线,能够适应各种复杂场景的航测工作;高分辨率方面,现代无人机搭载的高分辨率相机可以获取厘米级甚至更高分辨率的影像数据,为城市三维建模提供了丰富的细节信息;成本方面,与卫星遥感和有人机航测相比,无人机的购置成本和运营成本较低,且不需要复杂的地面基础设施支持,降低了测绘成本。

2.3 无人机航测技术面临的挑战

城市环境中存在大量的障碍物,如建筑物、电力线等,无人机的飞行安全受到威胁。此外,天气条件、电池续航等因素也会影响无人机的飞行安全。城市复杂场景中的地形起伏、建筑物遮挡等因素会导致影像畸变和遮挡,影响数据采集的精度。同时,无人机的定位误差和姿态不稳定也会对数据精度产生一定的影响。数据处理难度大,无人机航测获取的数据量庞大,包括影像数据、定位数据等。如何高效、准确地处理这些数据,实现影像的无缝拼接和三维建模,是当前面临的技术难题。

三、城市复杂场景无人机航测影像无缝拼接技术

3.1 影像预处理

影像预处理是影像无缝拼接的基础环节。由于无人机飞行姿态和相机镜头畸变,获取的影像存在几何变形,需借助相机校正模型和地面控制点进行几何校正,以消除畸变,使影像符合真实几何关系。同时,影像在拍摄与传输时,会受到高斯噪声、椒盐噪声等干扰,采用中值滤波、高斯滤波等去噪方法可有效去除噪声,提高信噪比。此外,不同影像间

可能存在色彩偏差,影响拼接效果,通过色彩平衡处理调整色彩分布,能使所有影像色彩一致。

3.2 特征提取与匹配

此为影像无缝拼接的关键步骤,旨在从不同影像中提取代表性特征点并建立对应关系。在特征提取算法方面,尺度不变特征转换(SIFT)、加速稳健特征(SURF)和旋转不变特征(ORB)等较为常用,其中 SIFT 算法稳定性与鲁棒性佳,能在图像尺度变换、旋转、亮度变化等条件下保持特征点稳定,应用广泛。特征匹配算法中,随机抽样一致算法(RANSAC)是健壮的数据拟合算法,可从含大量离群点的数据中估算最佳数学模型参数,在特征匹配里能有效排除错误匹配对,提升匹配质量。

3.3 影像配准与拼接

影像配准是通过寻找相邻影像特征点并建立对应关系,确定影像间相对位置和姿态;影像拼接则是在配准基础上,将相邻影像按规则拼接成完整大范围影像图。影像配准方法有基于特征点和基于区域两类,前者通过提取影像特征点并计算相似性度量实现配准,后者通过比较影像局部区域灰度值或纹理特征实现配准。影像拼接需考虑重叠区域、色彩一致性、亮度差异等因素,常用渐入渐出融合和多频段融合技术。渐入渐出融合在重叠区域逐渐改变两张影像权重实现平滑过渡;多频段融合将影像分解为不同频率子带分别融合,再重构为完整影像。

四、城市复杂场景无人机航测三维建模技术

4.1 三维点云生成

三维点云作为三维建模的基础数据,其准确性和完整性直接决定了后续模型的精度与质量。在城市复杂场景中,由于存在大量的建筑物、树木、交通设施等,从无人机航测影像中提取地物的几何信息(如坐标、高程等)来构建三维点云模型面临着诸多挑战。运动恢复结构(SfM)算法基于多视图几何原理,通过分析多张影像间的几何约束关系,计算影像中特征点的三维坐标以生成三维点云。该算法的一大优势在于无需预先知晓相机参数与位置信息,具有较高的自动化程度,能够适应城市复杂场景中多变的拍摄环境和条件。然而,SfM 算法生成的点云相对较为稀疏,对于一些细节信息的表达不够充分。多视图立体视觉(MVS)算法在 SfM 算法基础上进行了优化和改进。它进一步利用多张影像的视差信

息,通过复杂的计算和分析,生成更密集的三维点云。MVS 算法可以显著提升三维点云的质量与精度,能够更好地捕捉城市复杂场景中地物的细节特征,如建筑物的边缘、窗户的轮廓等,为后续的三维建模提供更准确、更丰富的数据支持。

4.2 三维模型构建

获取三维点云数据后,需借助计算机图形学与三维建模软件构建模型。首先进行点云处理,这是提高模型质量的关键环节。对生成的三维点云数据开展去噪、滤波、空洞填充等工作至关重要。城市环境中存在各种干扰因素,如空气中的灰尘、飞鸟等,会导致点云数据中混入噪声点与离群点,这些异常数据会影响模型的准确性和平滑度。通过去噪和滤波处理,可以有效去除这些干扰,使点云更平滑均匀。同时,由于无人机航测过程中可能存在遮挡等问题,点云数据中会出现空洞,对空洞进行填充能够保证模型的完整性,避免出现缺失部分。

接着是表面重建,依据处理后的点云数据生成地物表面模型。常用方法有泊松重建和贪婪投影三角化。泊松重建基于隐式函数思想,通过求解泊松方程生成平滑表面模型,适用于处理较为复杂的几何形状,能够生成连续、光滑的表面,但对于一些尖锐边缘的处理可能不够精确。贪婪投影三角化则先将点云投影到二维平面进行三角化处理,再将三角网格映射回三维空间生成表面模型,这种方法在处理局部细节方面具有一定的优势,能够更好地保留地物的特征。最后是纹理映射,将原始影像的纹理信息映射到三维模型表面,能够极大地提升模型的视觉效果,使其更加逼真。通过选择最佳视角的影像纹理,实现纹理自动关联与映射,让三维模型不仅具有准确的几何形状,还能呈现出真实的外观特征,如建筑物的颜色、材质等,为城市规划、建筑设计等领域提供更具实用价值的模型。

五、实际案例分析

5.1 案例背景

选取某大型城市中心区域作为案例,该区域作为城市的核心地带,高楼密集林立,商业活动频繁,人口高度集中且交通流量极大,日常的人流、车流穿梭不息,城市空间布局极为复杂。如此复杂的城市环境,使得传统的城市测量和建模方法面临诸多困难,难以高效、精准地获取城市的三维信息。而城市规划部门在进行城市更新、交通规划、基础设施

建设等工作时,对城市三维建模有着迫切的需求,以便更直观、全面地了解城市现状,为决策提供科学依据。因此,采用无人机航测技术获取该区域高分辨率影像数据,并开展无缝拼接与三维建模工作,具有重要的现实意义。

5.2 数据采集

运用搭载高分辨率相机与 RTK 定位系统的无人机实施航测。飞行高度设定为 300 米,这一高度是在综合考虑影像分辨率、飞行安全以及数据采集效率等因素后确定的。航向重叠率达 80%,旁向重叠率为 70%,较高的重叠率可以保证影像之间有足够重叠区域,为后续的影像拼接和三维建模提供丰富的信息。共规划 20 条航线进行飞行,最终获取约 5000 张影像数据。在飞行过程中,严格按照预设的航线和参数进行操作,同时实时监控无人机的飞行状态和相机的拍摄情况,确保数据采集的完整性和准确性。

5.3 数据处理与建模

在影像预处理阶段,对获取的影像进行几何校正,消除因无人机飞行姿态和相机镜头畸变导致的影像变形;采用去噪方法去除拍摄和传输过程中混入的高斯噪声、椒盐噪声等,提高影像信噪比;进行色彩平衡处理,使不同影像色彩一致。特征提取与匹配时,利用 SIFT 算法提取影像特征点,再借助 RANSAC 算法排除错误匹配对,提升匹配精度。影像配准与拼接方面,基于特征点的配准方法实现影像配准,运用渐入渐出融合方法完成影像拼接,生成无缝影像图。三维点云生成环节,通过 SfM 和 MVS 算法从拼接影像中生成三维点云数据,点云密度约为每平方米 100 个点。三维模型构建过程中,先对三维点云数据进行去噪、滤波和空洞填充处理,再采用泊松重建方法生成表面模型,并进行纹理映射,最终得到高精度城市三维模型。

5.4 结果分析

将生成的城市三维模型与实地测量数据进行对比,结果显示该模型精度较高,平面精度达 ± 0.1 米,高程精度达 ± 0.15 米。此三维模型能真实呈现城市复杂场景中建筑物、道路、地形等地物的形态与位置关系,为城市规划、建筑设计等工作提供了有力支持。例如在城市规划中,规划人员可以通过三维模型直观地看到不同规划方案对城市空间的影响,提前发现潜在的问题并进行优化调整;在建筑设计中,设计

师可以利用三维模型进行建筑外观和内部空间的设计和展示,提高设计效率和质量。

六、结论

在城市复杂场景相关工作中,无人机航测影像无缝拼接与三维建模技术发挥着关键作用。

无人机航测凭借其灵活、高效等优势,能快速获取城市复杂场景的高分辨率影像数据。通过合理规划飞行高度、航向与旁向重叠率等参数,可保障数据采集的完整性与准确性,为后续处理奠定坚实基础。影像无缝拼接是关键环节。先对影像进行几何校正、去噪和色彩平衡等预处理,消除畸变、噪声并统一色彩。接着采用先进算法提取与匹配特征点,排除错误匹配对,提升匹配精度。基于特征点配准影像后,运用渐入渐出等融合方法实现无缝拼接,生成连贯影像图,为三维建模提供准确依据。三维建模方面,利用 SfM 和 MVS 算法从拼接影像生成高密度三维点云,精确呈现地物几何信息。对点云进行去噪、滤波和空洞填充等处理,提高数据质量。采用泊松重建等方法生成表面模型,再通过纹理映射将影像纹理信息赋予模型,使其更加逼真。该技术生成的模型精度较高,能真实反映城市复杂场景中各类地物的形态与位置关系,为城市规划、建筑设计、交通管理等领域提供直观、准确的数据支持,助力城市科学规划与精细化管理,推动城市朝着智能化、现代化方向发展。

[参考文献]

- [1]王超,雷添杰,张保山,基于改进 SIFT 算法的无人机遥感影像快速拼接,《华中师范大学学报(自然科学版)》2023 年
- [2]潘俊,王密,李德仁,基于顾及重叠的面 Voronoi 图的接缝线网络生成方法,《武汉大学学报(信息科学版)》2009 年
- [3]张慧莹,董春来,王继刚,基于 Context Capture 的无人机倾斜摄影三维建模实践与分析,《测绘通报》2019 年
- [4]胡露太,李英冰,张涛,无人机热红外影像快速拼接的改进 SFM 算法研究,《测绘与空间地理信息》,2024 年
- [5]赵文东,刘学仁,朱发浩,倾斜摄影测量在复杂空域及地形条件下高精度三维建模研究,《测绘通报》,2021 年