

城市实景三维建模中的无人机倾斜摄影测绘运用

文 / 张 铭 青岛平建晟勘察测绘有限公司

摘要: 随着科技的日新月异,无人机技术与倾斜摄影测绘的结合,在城市实景三维建模这一前沿领域中正发挥着重要作用,这一组合不仅代表了测绘技术的革新,更是城市规划与管理手段的一次飞跃。无人机倾斜摄影测绘凭借其独特的采集视角和全方位的数据捕捉能力,为城市三维建模提供了以往难以想象的数据资源。基于此,文章结合无人机倾斜摄影技术的优势,对其在城市实景三维建模中的应用进行深度剖析,希望能够对相关人士有所帮助和启发。

关键词: 城市实景三维建模; 无人机倾斜摄影; 三维点云

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.12.120

引言

基于无人机所搭载的高精度、高性能倾斜相机,测绘团队能够从多个不同角度精准捕捉到城市的每一处细微纹理与立体结构,这些高分辨率影像数据既能够保留城市的真实面貌,又展现了其复杂多维的空间特征。数据在经过图像处理软件和三维建模技术处理后能够转化为栩栩如生、细腻逼真的三维城市模型,并包括建筑高度、道路宽度、绿地分布以及更为复杂的空间关系等地理信息,使得城市建设与规划者能够在决策过程中更加全面地考虑各种因素,从而制定出更加合理、可行的城市规划和管理方案。

一、城市实景三维建模中无人机倾斜摄影技术的优势

(一) 高效率

无人机技术凭借其快速、高效的数据采集能力彻底革新了传统数据获取方式,该技术能够迅速穿梭于复杂环境中并轻松捕捉海量的影像资料,从而大幅缩减了数据采集与处理周期,特别是当无人机搭载倾斜摄影技术时的优势更为明显。倾斜摄影能够从多个截然不同的视角精准捕捉地面物体的细腻纹理与结构特征,这一特性为后续的建模工作奠定了坚实的基础,基于 Context Capture 等自动化建模软件可以实现对影像资料的深度分析与快速处理,进而重建出逼真的实景三维模型。

(二) 高精度

无人机倾斜摄影技术凭借低空作业的优势,能够从正上方及四个倾斜方向拍摄出高清晰度的立体图像数据,该技术通过整合多个角度的采集数据并结合控制点或影像自身的定位与 POS 数据,确保所拍摄影像的每一个像素都能精确对应到一个三维空间坐标上。同时,利用这些影像数据可以对任意点、线、面进行精确测量,达到厘米级的精度标准,并且自动构建出三维地理信息模型,这种高精度性也保证了模型的准确性和可靠性,从而为城市规划、土地测量等领域提供有力的技术支持。

(三) 低成本

相较于传统的三维建模方式,无人机倾斜摄影技术

能够大幅降低建模的整体成本,传统的建模过程通常需要大量的人力、物力投入,且现场勘查和测量工作量巨大,而无人机倾斜摄影技术则凭借其高效的数据采集能力减轻这一负担。此外,自动化建模软件的应用更是将后期处理成本降至新低,这些软件能够精准分析无人机捕捉的影像资料并自动生成三维模型,无需过多的人工干预使得测绘团队可以节省大量人力与时间成本。

(四) 数据源丰富

倾斜摄影技术以其独特的优势能够全方位搜集包括位置、高度、纹理、颜色等在内的多维度信息,为后续的深度数据分析和多样化应用奠定数据基础;这些信息不但是构建高精度三维模型的关键要素,更是为城市规划、土地管理、灾害监测等多个领域提供了宝贵决策。具体而言,在城市规划中,详尽的地物信息可以为设计师更精准地规划城市布局;在土地管理中,准确的地形数据有助于实现土地资源的合理利用;在灾害监测中,实时的地表变化信息则能为防灾减灾提供及时有效的预警;因此,倾斜摄影技术无疑为各领域的发展注入了强大的动力。

二、无人机倾斜摄影技术在城市实景三维建模中的应用

(一) 数据采集

测绘团队在数据收集的初期阶段,采用了轻便且高性能的 DJI Mavic 3E 无人机,该无人机配备了一颗高性能的 4/3 英寸 CMOS 机械快门广角相机,拥有 2000 万像素的高分辨率,并且能在极短时间内,最快仅需 0.7 秒,实现连续的多张照片拍摄,能够确保影像的高分辨率与细节捕捉能力。此外,集成的 RTK 模块能够实现厘米级的精确定位,而长达 45min 的巡航时间则可以满足长时间作业的需求。考虑到本次数据采集与现场勘查的区域特点,即建筑物平均高度为 26m 且存在高达 32m 的周边建筑,测绘团队精心挑选在冬季晴朗正午、大雪过后光线条件极佳的时段来执行拍摄工作。为确保相机拍摄照片的清晰度,测绘人员需要手动将光圈调整为 5.7,快门速度设置为 1/450s,以应对强烈光线条件^[1]。

随后,测绘团队使用 DJI Pilot 2 软件进行航线规划,在软件操作界面中,选用专为倾斜摄影设计的面状航线规划模式,并依据实际需求将飞行高度调整至 46m。为了保障数据采集既全面又高效,特别将倾斜航线的飞行速度上限设为 17m/秒,航向上的影像重叠率设定为 82%,而旁向上的重叠率则确定为 72%,完成所有航线参数的细致设定后,团队妥善保存这些配置并顺利地将它们上传至无人机,随后,无人机严格遵循这些预设的航线,自动高效地展开数据采集作业。航线作业结束后,测绘团队为了提升三维模型的精准度,特意将无人机镜头调整到 45 度倾斜角,并指令其围绕目标区域执行额外的环绕补拍任务。对地面上的低洼区域以及具有特殊纹理的地面物体应采取多角度的补拍措施,以确保所有重要信息都能被全面且准确地记录下来。

(二) 数据处理

1. 影像预处理

由于倾斜摄影技术所采集的数据量极为庞大,特别是当无人机搭载五个镜头进行拍摄时会产生大量的照片数据,为此,必须对这些照片进行区分即确保每张照片都有一个独一无二的编号,避免编号重复导致的混淆。在影像数据的处理过程中,匀光和匀色这两个步骤需要严格按照专业流程进行,其中,匀光处理旨在调整影像的亮度分布使其更加均匀;而匀色处理则侧重于优化影像的色彩表现,通过细致入微的调整来优化航摄影像的整体视觉效果,保证最终所获取的影像资料拥有卓越的成像品质^[2]。

2. 倾斜影像空中三角测量

在经过一系列运算处理流程后,能够获取摄区的空中三角测量成果。该流程的首要步骤为特征点的提取,通过对每张航摄影像进行细致分析标记出具有显著特征的点。紧接着,需要提取同名像对,即在多张影像中找到表示同一地面点的对应影像点。随后进入相对定向阶段,主要是通过解析几何的方法来确定影像之间的相对位置关系,配连接点是将不同影像中的同名点进行精确匹配,以确保它们在实际空间中对应同一物理点。最后,通过区域网平差,利用已知的控制点信息和影像间的几何约束对整个摄影区域的影像进行整体优化,消除误差后得到更为精确的空中三角测量成果^[3]。

3. 三维重建

完成影像配准之后,需要运用立体匹配技术,依据两幅或多幅影像间因视角不同而导致的同一物体位置差异即视差信息来精确重构地面物体的立体三维形态。在三维重建的过程中,存在着多样化的算法,其中,基于多视图几何的三维重建算法通常适用于具有明显纹理和特征点的场景,主要依赖于几何学和摄影测量的原理,

通过对多幅影像的分析和计算来恢复物体的三维形状和结构,从而生成较为精确的三维模型。另外,基于深度学习的三维重建算法是利用深度神经网络强大的特征提取和学习功能从大量的训练数据中自动学习如何从二维影像中恢复三维结构,能够快速且准确地重建出复杂场景的三维模型,特别适用于那些纹理较少或特征不明显的场景。

4. 模型优化

初步生成三维模型后,还需实施模型优化的关键步骤,主要包括将纹理准确映射到模型上、增强模型的细节表现、合理处理阴影效果以及调整光照条件等一系列操作,旨在进一步提升模型的精度与视觉效果,确保其能够满足实际应用的高标准要求。在数据处理的全过程中,每一步骤中采用的处理方法和技術都将对最终三维模型的品质产生直接影响,因此,必须谨慎选择最合适的数据处理手段,以确保无人机倾斜摄影技术能够发挥出高效且精确的效能。

(三) 三维模型构建

1. 空中三角测量

空中三角测量的关键在于利用地面上分布均匀且已知地理坐标的控制点,通过在影像上对这些控制点进行精确识别与标记,从而建立起影像与地理坐标系统之间的精确关联。同时,利用已知地理坐标的控制点和影像中提取的特征点,根据三角测量的基础法则即三角形内角总和固定为 180 度及边长间的比例原则,运用三角函数精确计算出其他未明确的角度值和边长数据。在已经得出的目标地物地理坐标基础上进行必要的修正和优化步骤,包括将计算出的坐标与地理信息系统中已有的标准坐标进行对比,识别并评估其中的误差,随后采取相应的校准手段,以保证最终测量结果的准确性及可靠性^[4]。

2. 密集匹配

空三测量任务结束后需要进入三维建模的关键环境,测绘团队将依靠已匹配的特征点和经过严格校准的相机参数,运用立体匹配算法来精确计算每个像素所对应的深度信息。这一环节的核心在于通过对同一地物在不同影像中的位置差异进行比较,并结合相机的内外参数实现对各个像素所对应的空间深度的精准推算。

随着深度信息的逐步累积逐渐生成整个场景的密集点云,图像或影像中的每一个像素在这片点云中都有一个与之对应的三维点,这些点不仅承载着丰富的空间位置信息,还能够准确反映地物的真实形态。为了将这些点云数据融入更广阔的地理空间框架中,测绘团队要进行点云与地理坐标系的严格配准,通过一系列复杂的坐标转换与误差校正步骤保证每一个点云数据都拥有准确无误的地理坐标信息,进而为后续三维模型构建奠定基础,三维点云如图 1 所示。



图 1 三维点云

3. 构建三角网

构建三角网要基于一组指定的三维点云数据，并结合特定的连接规则将这些点两两相连，从而编织成一张由无数三角形组成的网络。在这个过程中，每一个三角形的构建都需要严格遵循几何学和拓扑学的原则，确保三角形的形状合理、大小均匀适中且彼此之间不产生任何交叉或重叠。为达到这一目的，测绘团队还需要对三维点的坐标进行细微的调整，以便在保障精度的前提下使生成的三角形网格更加平滑、连续，从而更好地反映真实地形或物体的表面特征^[5]。

4. 纹理映射

在计算机图形学领域，纹理映射技术发挥着核心作用，能够将细致绘制的图像或纹理素材准确地覆盖到三维模型的表面，这样做不仅能增强模型的外观细节，还能极大提高模型在视觉上的真实感和立体感，这一过程的实现依赖于将预先定义的纹理坐标精确对应到三维模型表面的每一个点上，确保纹理与模型之间的无缝衔接。在构建完三角网后，测绘团队会得到一个结构清晰但色彩单调的三维模型，即所谓的“白模”，白模虽然能够呈现出物体的基本形态和结构，但在视觉效果上却显得相对单一且缺乏真实感。为赋予模型更加生动、逼真的外观，测绘团队需要将所拍摄到的三角面照片通过纹理映射技术应用与模型表面。这一步骤不仅要求纹理与模型表面的每一个细节完美匹配，还需要通过高精度的图像处理技术，确保纹理在模型上的连续性和一致性，最终生成一个既结构完整又色彩丰富的三维模型。

(四) 三维模型优化

1. 模型精细化

在三维建模的后期处理阶段，对模型的细节进行修整主要涉及对模型纹理的精细调整以及对色彩与透明度的优化，能够有效提升模型的真实感与立体感。特别是针对建筑物这类结构，其构造复杂且细节丰富，对窗户的轮廓、门的样式以及立面的装饰等都需要进行极为细致的处理。此外，在全三维建模环节，例如水面这样的

特殊地物，由于其表面反射与动态变化的特性，往往在空三加密过程中难以准确匹配到连接点，导致生成的三维模型在这些区域出现漏洞或缺陷。面对这类情况，必须对这些模型中存在的缺陷实施精细的修复和完善工作，以确保模型的整体完整性与连续性，满足实际应用中的高精度需求。

2. 数据融合

在无人机倾斜摄影数据的基础上，融合地面激光扫描及卫星遥感等多种数据源的信息，借助数据融合手段可以显著增强三维模型的精确度和全面性；因为该操作是将不同数据源的优势有机结合，互相补充信息，能够减少单一数据源可能带来的局限性和误差。同时，这种多源数据的融合还能极大地丰富三维模型的表现力，使其更加细腻、真实且全面。

3. 错误修正

在任何三维建模的过程中，由于各种因素的影响，都不可避免地会产生一定的误差，为了确保最终模型的准确性和可用性，必须采取一系列有效的措施来修正这些错误。其中，交互式修正主要是依赖于专业人员的经验和判断力，通过仔细观察模型，专业人员可以发现几何形状上的偏差或纹理上的不匹配并手动进行调整；另一方面，算法优化是通过不断改进和优化处理算法来减少计算过程中的累积误差，提高模型的精度。这些修正工作可能涉及几何形状的调整，也可能涉及纹理的修正，通过综合运用交互式修正和算法优化等方法，可以有效地提升三维模型的质量，使其更加符合实际应用的要求。

结语

综上所述，深入探索和研究无人机倾斜摄影测绘在城市实景三维建模中的应用，不仅能够推动智慧城市建设，更有助于提升城市管理的科学性和智能化水平，为城市的可持续发展注入新的活力和动力。展望未来，随着技术的持续飞跃与应用日益广泛，无人机倾斜摄影测绘技术将在构建城市实景三维模型方面展现出更加深远和全面的影响力，为城市的美好未来贡献更多的智慧和力量。

参考文献

[1] 周旺, 王艳. 基于二三维一体化 GIS 技术的土地收储管理系统开发与实现 [J]. 测绘标准化, 2024, 40 (04): 132-138.

[2] 朱善桥, 恽逸琪. 手持三维激光扫描技术在农村房地一体测绘中应用分析 [J]. 城市勘测, 2024, (06): 163-166.

[3] 张巍. 一种基于实景三维与建筑测绘模型的融合方法 [J]. 经纬天地, 2024, (06): 24-27.

[4] 连毅峰. 基于倾斜摄影测量与三维激光扫描的古建筑测绘 [J]. 北京测绘, 2024, 38 (12): 1692-1698.

[5] 陈富强. 无人机倾斜摄影技术在高陡边坡危岩体识别及稳定性评价中的应用 [J]. 测绘通报, 2024, (10): 132-137.