

单体倾斜摄影测量对文物建筑保护修缮数据支持的研究

赵传民

河北省文物与古建筑保护研究院，河北石家庄，050000；

摘要：在历史的长河中，文物建筑作为人类文明的瑰宝，承载着丰富的历史记忆与文化遗产。然而，随着自然侵蚀与人为活动的加剧，这些珍贵的文化遗产正面临着前所未有的保护挑战。探索更加高效、精准的数字化保护手段显得尤为重要。单体倾斜摄影测量技术，作为现代测绘技术的重要分支，以其独特的视角捕捉能力与高精度数据输出，为文物建筑保护修缮工作提供了全新的数据支持。本文就单体倾斜摄影测量对文物建筑保护修缮数据支持的研究展开探讨。

关键词：单体倾斜摄影测量；文物建筑；修缮；数据支持

DOI：10.69979/3029-2727.24.11.027

传统的文物建筑保护修缮方法往往依赖于手工测量与记录，不仅效率低下，且难以全面捕捉建筑的细微变化与复杂结构。单体倾斜摄影测量通过搭载于无人机或地面三脚架的多镜头相机，能够同时从多个角度拍摄文物建筑，获取其全面的立体影像数据。这些数据不仅包含了建筑的正射影像，还涵盖了丰富的侧面纹理信息，为文物建筑的数字化建模与精细分析奠定了坚实基础。通过专业的数据处理软件，研究人员可以对这些影像进行深度解析，提取出建筑的几何尺寸、结构特征、材质信息等关键数据，进而为制定科学的保护修缮方案提供有力依据。

1 单体倾斜摄影测量概述

单体倾斜摄影测量是近年来在国际测绘遥感领域迅速发展起来的一项高新技术，它通过在飞行平台上搭载多台传感器，同时从垂直、倾斜等多个角度采集地面影像数据，进而获取地物准确、完整的位置信息和纹理数据。这一技术极大地提升了三维建模的效率和精度，为多个领域的应用提供了有力支持^[1]。

单体倾斜摄影测量的核心在于其多角度数据采集的能力。在飞行过程中，无人机搭载的倾斜摄影相机能够同时捕捉地面物体的正面、侧面及顶部影像，从而获取到比传统垂直摄影更为丰富和细致的信息。这些信息通过专业的处理软件进行空三加密运算和模型生产，最终生成高精度的三维模型。该技术具有诸多优势。首先，倾斜摄影测量能够显著提高数据采集的效率和模型的精度。通过多角度拍摄，避免了单一视角带来的信息缺失，使得模型更加完整和逼真。其次，该技术还具有高

度的自动化和智能化水平，能够大幅度减少人工干预，提高作业效率。同时，倾斜摄影测量还具有广泛的应用前景，可以应用于城市规划、土地调查、不动产确权、建筑施工、农业林业、智慧城市等多个领域。在单体倾斜摄影测量的实际应用中，无人机作为主要的飞行平台，具有灵活、便捷、高效的特点。然而，无人机的飞行稳定性和相机的性能也是影响测量精度的关键因素。因此，在选择无人机和相机时，需要充分考虑其稳定性和性能，以确保测量结果的准确性和可靠性。此外，单体倾斜摄影测量的数据处理也是一项复杂而重要的工作^[2]。在数据处理过程中，需要利用专业的软件对采集到的影像进行匹配、加密、建模等操作，以生成最终的三维模型。这一环节往往需要消耗大量的时间和资源，因此需要不断优化算法和提高处理效率。

2 单体倾斜摄影测量对文物建筑保护修缮数据支持

2.1 倾斜影像采集和预处理

在倾斜影像采集与预处理这一关键环节，通过精心规划无人机的航拍路线，结合高程信息及目标特性，工作人员采用了五向飞行法这一高效策略，确保从垂直、前倾、后倾、左倾、右倾五个不同角度全面捕捉建筑物的立体信息。这一方法不仅丰富了影像数据的维度，还显著提升了后续三维重建的完整性和准确性。

在影像采集后，面对大量包含复杂地理信息的倾斜影像，工作人员采取了一系列精细化的预处理步骤。首要任务是解决中心投影与正射投影之间的转换难题，通

过精密的数学模型,将倾斜影像中的测距观测值 E 与焦距 D 巧妙融合,同时精确计算外方位元素矩阵参数(如 $1a$ 至 $3c$ 等),以实现地面坐标(XYZ)与点云数据坐标($X'Y'Z'$)之间的精准映射。这一过程不仅确保了数据的空间一致性,还为后续的三维建模奠定了坚实基础。针对倾斜影像中常见的重叠与色差问题,工作人员采取了双管齐下的预处理策略。一方面,通过精确配置无人机的飞行参数与相机像素设置,从源头上减少了因设备差异导致的位移误差,确保了三维模型构建时的高精度^[3]。另一方面,引入了Wallis滤波技术,对高重叠度且存在细微色差的影像进行匀光匀色处理,有效消除了因拍摄角度和光照条件不同而产生的色彩偏差,使得整个倾斜影像数据集在视觉上达到了高度统一,为后续的三维建模工作提供了更加干净、一致的数据源。此外,工作人员还特别注意到了倾斜影像数据中的噪声与冗余信息,通过高级图像处理算法进行去噪与压缩,进一步提升了数据的纯净度与处理效率。这一系列预处理措施不仅增强了倾斜影像数据的质量,也为后续的三维建模与应用分析创造了更加有利的条件。综上所述,通过精细的倾斜影像采集与预处理流程,工作人员成功构建了一套高效、准确的三维建模解决方案,为城市规划、建筑监测、灾害评估等领域提供了强有力的技术支持。

2.2 点云数据采集和预处理

在三维建模与测绘技术的最前沿,三维激光扫描仪作为点云数据采集的核心工具,正引领着一场革命性的变革。该设备集成了激光发射、精确接收、时间同步以及高级数据处理软件等尖端技术,能够无视光照条件的限制,穿透复杂环境,以无与伦比的高效率与精度捕获建筑及周边环境的精细三维信息^[4]。其中,激光脉冲的精确导向,通过方位角 α 与俯仰角 β 的精准控制,确保了每一点数据的空间位置准确无误,为构建高精度三维模型奠定了坚实的基础。然而,面对海量且复杂的点云数据,如何高效、精准地提取有价值信息,成为提升三维模型构建效率与质量的关键。为此,工作人员采用了一套科学严谨的筛选算法,对原始点云数据进行深度处理。该算法首先通过逐层聚类的方式,将点云数据按空间分布特征进行初步划分,有效降低了数据处理的复杂度。随后,根据三维模型的具体需求,设定合理的筛选长度作为标准,对点云数据进行精细筛选,剔除那些对模型构建贡献度低或存在误导性的数据点,仅保留能够

准确反映建筑主体结构及细节的优质点云。在处理过程中,工作人员还特别关注到了数据层的边界问题^[5]。对于跨层或处于边界区域的点云数据,算法能够智能识别并作出相应处理:若数据仍位于当前处理层内,则继续循环执行筛选步骤;若已跨越至其他层,则自动转入相应层级的处理流程,确保每一层数据都能得到妥善处理。此外,针对原始点云数据中广泛存在的噪声干扰,如邻近建筑、植被覆盖、电力设施乃至自然界的飞鸟走兽等,工作人员采用了先进的滤波降噪技术。这一过程不仅限于简单的内外点剔除,而是通过复杂的数学模型与算法,深入分析点云数据的空间分布与特征属性,精准识别并去除噪声点,同时最大限度保留建筑主体的完整性与细节特征。经过这一系列预处理流程,点云数据的质量得到了显著提升,为后续的三维建模工作提供了更加可靠、精准的数据基础。

2.3 倾斜影像数据与点云数据融合

在三维建模的实践中,面对复杂多变的自然与城市环境,单一数据源往往难以全面捕捉建筑物的所有细节。无人机倾斜影像虽能生动展现建筑侧面,却易受环境遮挡影响,导致影像缺失或变形;而三维激光扫描仪,尽管能精确获取三维空间信息,却存在扫描盲区,尤其是檐口以上区域的数据难以捕捉。因此,将倾斜影像数据与激光点云数据有效融合,成为构建高精度三维模型的关键路径。为实现这一目标,工作人员创新性地引入了新特征点配准算法,该算法不仅优化了传统配准流程,更在特征点选取与匹配上实现了重大突破。具体而言,算法首先通过自主机制初步筛选出潜在的同名特征点,并据此计算初步的平移矩阵 $T1$ 与旋转矩阵 $R1$,完成数据的粗拼接。然而,这仅仅是融合过程的起点。接下来,算法采用Kd-Tree邻近点搜索算法,这一高效的数据结构,使得工作人员能够快速定位到每个特征点周围的最近邻点集。通过构建这些点的最小二乘面并计算其法向量,工作人员获得了描述局部几何特性的重要参数。

算法在处理倾斜影像与点云数据时,分别构建了各自的特征点最小二乘面,并计算了它们与天顶方向的夹角。这一步骤的巧妙之处在于,通过比较两个夹角之间的差异,工作人员能够评估特征点匹配的准确性,进而决定是否需要进行进一步优化变换矩阵。当差异值低于预设阈值时,意味着匹配质量较高,此时算法将计算所有参与匹配点的坐标均值,以更新平移矩阵 T 和旋转矩阵 R ,

实现数据的精确拼接。反之,若差异值过大,则算法会自动过滤掉当前的同名特征点,重新计算变换矩阵,并循环此过程,直至所有特征点均满足匹配要求。这一新特征点配准算法的应用,不仅显著提升了倾斜影像与点云数据的融合精度,还极大地增强了三维模型的完整性和准确性。在复杂环境中,即便面临影像破洞、拉花或点云盲区等挑战,该算法也能通过智能筛选与精细匹配,确保数据的无缝对接,为城市规划、建筑设计、灾害评估等领域提供了更加可靠、详尽的三维信息支持。同时,该算法的创新性与实用性,也预示着三维建模技术正向着更加智能化、精细化的方向发展。

2.4 BIM 三维建模

在构建 BIM (建筑信息模型) 三维模型的过程中,工作人员综合运用了无人机倾斜摄影与三维激光扫描技术,实现了从数据采集、预处理到模型构建的全方位优化。首先,面对复杂多变的建筑形态,工作人员精心调控建筑差异视图与剖切深度,以精确捕捉建筑轮廓线。这一步骤不仅考验着技术人员的空间感知能力,更需借助先进的算法支持,通过融合倾斜影像与点云数据,精准提取特征点与特征线,再经由曲线拟合技术,绘制出细腻且准确的建筑轮廓。此过程中,灰色填充与裁剪框调节的巧妙结合,确保了建筑主体结构(如墙柱、房梁、楼梯等)及外墙材料的精准还原,同时严格参照图形比例尺,确保了数据的真实性与一致性。随后,工作人员利用 Revit 这一强大的 BIM 建模软件,将融合后的数据进行深度解析与应用。在 Revit 的平台上,工作人员依据轮廓线与特征点,精确计算出建筑各构件的尺寸参数,并逐一构建出台基、屋顶(含屋脊、面瓦、瑞兽等细节)、屋身(涵盖墙体、梁柱、门窗等元素)等关键部分的模型。这一过程不仅考验着建模师的专业技能,更要求其对于建筑构造有深入的理解与把握。同时,工作人员充分利用 Revit 的模型交错与镜像功能,结合 SketchUp 的灵活性与创意性,将各个独立的构件巧妙地组装成一个完整的 BIM 三维模型。在此过程中,确保不同构件在平面影像中的结构方位准确无误,同时统一点云数据的精度与坐标系,是保障模型精确性的关键所在。为了进一步提升模型的真实感与视觉冲击力,工作人员采用了 Photoshop 进行纹理图片的处理与优化,随后将调整好的纹理图片无缝嵌入到 Revit 模型中。通过细致的曲面纹

理贴图,工作人员为建筑的平面、立面、剖面分别赋予了生动的质感与色彩,使得 BIM 三维模型不仅具备精准的结构信息,更展现出逼真的视觉效果。最终,通过正视图与平行投影的合成技术,工作人员生成了令人叹为观止的 BIM 三维模型效果图,完美展现了建筑的艺术魅力与科技力量。

3 结束语

单体倾斜摄影测量技术的引入为文物建筑保护修缮工作带来了革命性的变革。它不仅极大地提高了数据采集的效率与精度,还使得文物建筑的数字化重建与虚拟展示成为可能。通过深入分析倾斜摄影测量数据,我们能够更加准确地评估文物建筑的保存状况,及时发现潜在的病害与风险,并为其量身定制个性化的保护修缮策略。展望未来,随着技术的不断进步与应用的持续深化,单体倾斜摄影测量将在文物建筑保护领域发挥更加重要的作用,助力我们更好地守护这些珍贵的文化遗产,让历史的记忆得以永续传承。同时,我们也应积极探索更多创新性的数字化保护手段,共同推动文物建筑保护事业的蓬勃发展。

参考文献

- [1] 盛帅,袁野,李研君. 基于倾斜摄影三维密集匹配点云的自动单体化方法研究[J]. 测绘, 2024, 47 (04): 158-161+181.
 - [2] 张治木. 倾斜摄影测量技术在城区实景三维模型建设中的应用探讨[J]. 电脑知识与技术, 2024, 20 (10): 120-123.
 - [3] 李红梅,管恬融,曹伟强,等. 基于倾斜摄影测量的单体建筑三维建模技术初探[J]. 地矿测绘, 2023, 39 (04): 49-53.
 - [4] 姚健,郑鹏程,那嘉明,等. 基于 Cesium 的倾斜摄影数据景区信息平台服务发布[J]. 测绘技术装备, 2023, 25 (04): 165-171.
 - [5] 刘禹麒,陈广亮,蔡岳臻,等. 一种基于倾斜摄影测量点云密度自适应分割的建筑物边界提取方法[J]. 测绘通报, 2022, (09): 52-57.
- 作者简介: 赵传民 (1999), 男, 汉族, 河北安次, 大学本科, 河北省文物与古建筑保护研究院, 助理馆员, 文物数字化.