

无人机倾斜摄影测量在古建筑三维建模中的精度控制技术优化与模型还原度提升研究

赵宏飞

北京市建平工程勘察有限责任公司，北京市昌平区，102200；

摘要：基于无人机倾斜摄影测量技术，利用三维激光扫描设备，对古建筑进行三维建模，并通过不同技术优化方法进行精度控制。从实验数据来看，以相机标定、纹理映射、精细化处理技术为核心的精度控制技术优化能够显著提升模型的精确度。通过实验结果对比分析发现，采用三维激光扫描技术获得的模型具有较高的还原度，相较于传统摄影测量方式，其具有精度高、数据量少、后期处理方便等优点。研究表明：在采用三维激光扫描技术进行古建筑建模时，精度控制技术优化是必要的，也是可行的，只有提高精度控制技术优化水平才能保证古建筑模型具有较高的还原度。

关键词：无人机倾斜；摄影测量；古建筑三维建模；精度控制技术优化；模型还原度提升

DOI：10.64216/3080-1508.25.10.095

引言

随着社会经济的发展，古建筑受到越来越多的关注，而在古建筑保护工作中，三维建模技术的应用越来越广泛。同时，在文物保护工作中，随着信息技术的不断发展，相关人员也在积极探索新的古建筑保护方法。因此，如何在三维建模技术基础上进行精度控制是一个值得深入研究的问题。无人机倾斜摄影测量技术是近些年发展起来的一种高精度、高效率、自动化程度较高的测绘技术，其具有获取信息丰富、可精确采集纹理信息、拍摄场景简单等优点，在古建筑三维建模中应用较为广泛。本文基于无人机倾斜摄影测量技术，通过对精度控制技术进行优化研究，以提升古建筑三维建模的精确度。

1 无人机倾斜摄影测量在古建筑三维建模中的应用

随着信息技术的发展，三维建模技术也得到了快速地发展。目前，三维建模技术在古建筑保护工作中得到了越来越多的应用，这主要是因为其具有良好的应用价值。与传统的摄影测量方式相比，三维建模技术能够获取古建筑更丰富的信息，通过三维建模技术能够建立古建筑的精确模型。而在古建筑保护工作中，采用三维建模技术进行古建筑保护具有较高的应用价值。与传统摄影测量方式相比，三维激光扫描技术能够获取更加丰富的信息，可对建筑物表面纹理进行采集，同时通过影像拼接可以保证建筑物表面纹理与建筑物真实形态之间的一致性^[1]。

2 精度控制技术优化的必要性

在使用三维激光扫描设备进行古建筑三维建模时，由于受到外界因素影响，如仪器放置位置、仪器视角、高度、地面干扰等因素会对模型精度造成一定影响，进而会影响古建筑模型的精确度。因此，为了保证古建筑三维模型的精确度，在建模过程中就必须进行精度控制优化，并对相应技术进行优化。通过分析三维激光扫描技术在古建筑三维建模中的应用原理可以发现，该技术能够获取大量的点云数据信息，并通过后期处理形成最终的古建筑模型。但是在实际应用过程中，由于受到设备性能、环境因素等因素影响，其在进行精度控制时就需要采取相应的优化方法，以保证模型精确度^[2]。

3 精度控制技术优化

3.1 摄影测量数据处理技术

3.1.1 图像配准技术

图像配准是将不同视角获取的同一图像中的两个或多个点的坐标（如经纬度、角度等）进行相互对应的过程。该过程在许多应用中都需要，比如利用二维影像恢复三维模型、摄影测量数据融合、三维重建等。图像配准技术的应用也十分广泛，尤其是在无人机倾斜摄影测量系统中，利用无人机采集的影像数据，进行多相机之间的坐标变换，可以实现在不同视角下对同一物体进行采集。而在实际的应用中，由于受拍摄角度、天气等因素影响，同一视角下获取的影像往往存在差异，这就需要利用图像配准技术对不同视角下采集到的影像进行相互矫正。在本研究中，在对同一场景的多幅倾斜摄影影像进行拼接时，由于存在一定的误差，利用该方法

将会对最终的拼接精度产生较大影响,因此需要进行图像配准技术的优化处理。在对同一场景的多幅倾斜摄影影像进行拼接时,由于存在一定的误差,所以最终拼接得到的影像存在较大的差异。为了使最终获得的拼接影像能够更加贴近实景,本文采用了基于RANSAC算法和基于随机采样一致性算法(RANSAC)的图像配准方法,从而能够对最终拼接得到的影像进行校正和优化处理,提升最终拼接影像质量,降低其误差^[3]。

3.1.2 点云数据处理技术

点云数据处理技术是三维建模的重要环节,其主要工作包括:(1)对测区内的建筑物点云进行滤波处理,消除建筑物表面的噪声点;(2)对测区内建筑物点云进行边界提取,去除测区内部的边界;(3)对测区内的建筑物点云进行三维空间坐标转换,即通过已有的测站坐标系统,将测站坐标系转换到大地坐标系中,并对建筑物点云进行三维空间坐标转换;(4)将测区内的建筑物点云与相邻测站点云进行拼接,实现点云数据的无缝拼接;(5)对建筑物表面的纹理进行提取与识别,以实现建筑物表面纹理特征信息与数字图像信息之间的对应关系。在建筑物三维建模过程中,需要将建筑物表面的纹理特征信息与数字图像信息进行对应,即将建筑物表面纹理特征信息提取出来,并与数字图像信息之间建立对应关系。在三维建模过程中,基于建筑物点云数据处理技术,可以获取测区内建筑物表面纹理特征信息,从而建立建筑物表面与数字图像之间的对应关系,进而实现对建筑物表面纹理特征的提取和识别。具体来说,在建筑物点云数据处理技术中,可以将测区内建筑物点云数据经过滤波处理后,再对点云进行边界提取、三维空间坐标转换和拼接等步骤,最后实现建筑物表面纹理特征与数字图像信息之间的对应关系^[4]。

3.2 相机标定与校正

相机标定是指利用一系列已知位置坐标的相机,以一定的观测误差,在一定的时间间隔内,求解出相机在不同位置时所具有的内外参数,进而计算出相机畸变参数。当使用激光影像进行三维建模时,利用测量所得的相机外方位元素信息,通过线性模型,可以估计出相机的内方位元素和畸变参数。摄影测量中最常用的方法是直接线性变换法(DLT)。其基本思想是在摄影测量中,将待测点与其邻近点视为同一坐标系中的两个不同坐标系,将两个不同坐标系之间进行平移和旋转变换。为了便于计算和控制测量精度,需要进行相机标定与校正。相机标定的过程是将待标定的两个点A和B,分别设置为 x_0 、 y_0 ,将两组数据转化为直角坐标系下的二维图像,

利用内、外参数法求解出两组图像的外方位元素:相机校正将是校正后的两幅图像重新拼接,以求出原图像中对应的畸变参数,校正后的图像即为校正前的原始图像。而在实际摄影测量中,相机校正过程主要包括两部分:一是相机参数标定,即求出相机内方位元素、畸变参数以及相机外方位元素;二是畸变参数计算,即求出畸变系数。本文使用了两台相机分别进行标定,最后利用两台相机重定位得到的结果进行叠加以求出整个测区的畸变系数。

3.3 误差分析与控制

由于模型重建过程中受到多种因素的影响,如模型扫描速度、模型采集的位置、相机的镜头焦段等,所采集的数据存在一定误差。要尽可能地控制模型重建过程中各个环节产生的误差,通过对无人机倾斜摄影测量系统进行参数优化和相机标定来降低测量过程中产生的误差,在使用无人机倾斜摄影测量系统时,由于外界条件、相机本身、安装精度以及数据采集方式等多方面因素影响,会导致测量结果存在一定误差,为了保证测量结果的精度,必须进行系统参数优化和相机标定。在实际测量中,主要存在以下几个误差来源。(1)飞行参数误差。由于倾斜摄影测量系统采用多机协同作业,各无人机之间的飞行高度、飞行速度等参数不尽相同,使得各无人机获取的影像不能进行有效匹配,从而产生系统误差;(2)影像匹配误差。影像匹配是通过每幅影像进行匹配计算,建立影像之间的对应关系,进而重建出三维模型。在实际工作中,由于拍摄设备、相机参数、镜头焦段等差异,会导致不同的匹配结果出现不同的误差;(3)模型精度误差。在拍摄模型时,由于模型本身具有一定的精度,对相机进行标定可以提高相机的测量精度,但是在模型重建时,由于模型本身的精度不高,所以会产生一定误差。

4 模型还原度提升

4.1 点云数据融合与优化

点云数据融合的目的是对采集的点云数据进行有效的处理,包括对原始点云数据进行优化,以得到最终能够用于重建建筑物三维模型的点云数据。目前,业内主要有3种方法:(1)将倾斜摄影测量获取的点云与激光扫描仪采集的点云进行融合;(2)通过三维激光扫描仪获取点云数据后,利用最小二乘法进行点云数据的预处理;(3)利用三维激光扫描仪获取点云后,采用最小二乘法进行点云数据的融合^[5]。

4.2 纹理映射与贴图处理

由于倾斜摄影测量获取的模型点云数据含有大量的纹理信息,且这些纹理数据在三维建模时无法直接使用,需要经过后期的贴图和映射处理,才能得到较为真实的三维模型。其中贴图是通过专门软件对点云数据进行处理,最终得到贴图后的三维模型。贴图是一种把计算机可识别的点在屏幕上以二维图形的方式来表示三维物体的技术。贴图需要将纹理贴于纹理载体上,然后将载体置于相机镜头前方,进行图像采集与处理。通常情况下,贴图需要将纹理数据设置为 RGB 格式,而本文采用 DEM 格式进行贴图。

4.3 模型精细化处理技术

在倾斜摄影测量建模过程中,往往会出现一些细节纹理缺失或纹理过大等情况,影响模型的精细化。精细化处理是指通过扫描或人工干预的方式对建筑物模型中的局部纹理进行替换或补全,使模型细节更丰富、更逼真。在实际的数据采集中,由于受到无人机飞行高度、飞行速度和倾斜摄影影像分辨率的限制,一般无法采集到建筑物内部较精细的纹理,在模型中出现了大量的缺失纹理。对于古建筑来说,其内部细节部分通常也不大容易进行精细处理。所以,在后期建模过程中要针对建筑物模型的细节部分进行补全和优化处理,以弥补模型中的缺失部分。

5 实验与结果分析

5.1 实验设计

本文采用航飞参数优化和模型精度提升相结合的方法,对无人机倾斜摄影测量系统进行建模实验。本文在某高校内选取了一处古建筑,该古建筑位于一片空旷的广场中,周边植被较少,且建筑物存在一定的高度差。实验用到的无人机型号为 ES-10 无人机,最大飞行高度为 400m,拍摄分辨率为 $300\text{m} \times 300\text{m}$,飞行时间约 1 小时。本文以该古建筑为研究对象,通过航飞参数优化、模型精度提升和数据处理等技术手段进行建模实验。为了更直观地展示出数据处理的效果,本文还采用了无人机航摄照片进行模型精度的对比分析。

5.2 数据采集与处理

在本实验中,模型精度的提升方法主要体现在对模型的纹理贴图和点云数据的优化两个方面。纹理贴图是将相机拍摄到的点云数据进行一定的处理,使其更加清晰地展现三维模型。点云数据的优化是指采用改进后的点云数据处理方法,对模型进行优化,使其更好地反映

三维模型。实验中利用 Cyclone 软件进行数据处理,通过对不同位置点云进行纹理贴图和优化,生成不同纹理贴图方案(如图 5 所示),并利用 Photoshop 软件对纹理贴图方案进行纹理优化,使纹理更加清晰地呈现在三维模型上。经过实验对比分析,本实验中纹理贴图方案的效果最佳。

5.3 结果分析与评价

在倾斜摄影测量软件中,基于两个独立的控制点可以计算出地面点与目标地物点之间的三维坐标,即测区三维坐标。本文主要通过两种方式对点云数据进行处理,分别是直接对两个控制点进行点云数据提取和利用控制点对点云数据进行预处理,以求出高精度的控制点坐标。在此基础上,通过两种方式对模型进行优化处理,其中一种是利用控制点直接计算三维坐标并对模型进行优化;另一种是通过控制点预处理后对点云数据进行预处理。模型优化后的精度评价结果如图 6 所示,可见优化后的模型精度有了明显提高。同时,可以看出优化前后模型在建筑物高度方向的位置上并没有明显变化。

6 结语

本文首先对三维激光扫描技术和传统摄影测量技术进行了简单的介绍,然后分析了三维激光扫描技术的优势和传统摄影测量技术的缺点,接着从精度控制技术优化和模型还原度提升两个方面对三维激光扫描技术进行了研究,最后通过实验验证了上述方法的有效性。实验结果表明,基于无人机倾斜摄影测量技术对古建筑进行三维建模是一种可行的方法,其不仅可以提升建模精度,还能够节省大量时间。

参考文献

- [1] 肖梅萍. 无人机倾斜摄影测量技术在城市实景三维模型重建中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2025, 48(10): 126-128.
- [2] 王懂懂, 刘春. 基于无人机航摄与分阶段空三的古民居实景三维建模方法[J]. 宁德师范学院学报(自然科学版), 2025, 37(03): 292-298+316.
- [3] 陈启彪. 无人机倾斜摄影测量在异形建筑规划验收测量中的应用[J]. 江西测绘, 2025, (03): 16-19.
- [4] 赵琳. 无人机倾斜摄影测量技术在桥梁检测中的应用[J]. 上海公路, 2025, (03): 86-89+249.
- [5] 赵飞燕, 杨文华. 几种土石方测量技术的应用研究与比较分析[J]. 杨凌职业技术学院学报, 2025, 24(03): 6-9.