

三维激光点云在无人机倾斜模型中应用

齐发

太原市国土空间规划测绘院（太原市城市雕塑研究院），山西 太原 030000

DOI:10.61369/ETQM.2025090033

摘 要： 在无人机技术快速发展过程中，在无人机倾斜模型中三维激光点云的应用越来越广泛。现如今，传统的二维遥感技术已经无法满足高精度测量复杂建筑物以及地形的要求。基于此，本文将研究三维激光点云在无人机倾斜模型的应用，在实际研究中首先介绍了三维激光点云和无人机倾斜模型的基本概念与技术原理，之后分析了在无人机倾斜模型中应用三维激光点云的优势与必要性，最后探讨了三维激光点云在无人机倾斜模型中的应用。

关 键 词： 倾斜模型；三维激光点云；无人机倾斜摄影测量

Application of 3D Laser Point Cloud in UAV Oblique Model

Qi Fa

Taiyuan National Land Spatial Planning and Surveying Institute (Taiyuan City Sculpture Research Institute),
Taiyuan, Shanxi 030000

Abstract： With the rapid development of drone technology, the application of 3D laser point clouds in drone oblique models is becoming increasingly widespread. Nowadays, traditional two-dimensional remote sensing technology can no longer meet the requirements of high-precision measurement of complex buildings and terrain. Based on this, this article will investigate the application of 3D laser point clouds in drone oblique models. In practical research, it first introduces the basic concepts and technical principles of 3D laser point clouds and drone oblique models, and then analyzes the advantages and necessity of applying 3D laser point clouds in drone oblique models. Finally, it explores the application of 3D laser point clouds in drone oblique models.

Keywords： oblique model; 3D laser point cloud; drone oblique photogrammetry

前言

现如今，无人机遥感技术已经被广泛应用于城市规划、地形测绘等方面。但是传统的无人机摄影测量中主要使用二维图像，在很多情况下无法准确反映地物的实际信息。与此同时，三维激光点云技术凭借自身密度高、精度高的优势在地形测绘中展示出巨大潜力。在无人机倾斜模型中应用三维激光点云能够发挥出丰富地物信息、提升测量精度的作用，对其应用情况展开研究非常有必要。

一、基本概念和技术原理

（一）三维激光点云

三维激光点云简单理解就是在激光扫描技术支持下获取的具备属性信息与三维坐标的点数据集。在获取三维激光点云数据时主要需要使用激光扫描仪，该设备主要是由扫描系统、激光测距等组成。在激光测距仪使用过程中会发射和回收激光束，借助两者之间的时间差可确定激光测距仪与地物之间的距离，从而明确空间点的三维坐标^[1]。在采集激光点云数据时，其发射的激光会在地物表面多个点产生反射现象，进而形成海量散乱点，以空间分布进行划分这些点会形成点云。在使用合理方法处理与分析这

些点云数据后，可以呈现出地物的结构、形状等信息。三维激光点云数据不但可以为相关人员建立三维模型提供依据，还能够与遥感数据、二维影像数据等进行融合应用，借此保证三维激光点云数据的作用充分发挥。

（二）无人机倾斜模型

无人机倾斜模型就是以无人机倾斜摄影影像为依据构建三维模型的一种技术。在制作无人机倾斜模型时需要利用专业软件，具体需要按照如图1所示步骤操作。



图1 无人机倾斜模型构建流程

(1) 像控点布设: 首先需要合理选择模型中使用的高程系统与坐标系, 之后完成像控点布置, 像控点数量应与测量区域实际情况相符。

(2) 三维数据采集: 使用无人机倾斜摄影从多个角度拍摄测量区域影像, 若是飞机上只配备了一个镜头, 可以选用五航带法完成无人机飞行, 倘若镜头可同时覆盖五个方向, 则可将航带减少到一个^[2]。

(3) 影像处理：首先需要规范落实影像处理措施，具体包含图像配准、去畸变、色彩还原等，以此保证图像达到更高的质量。

(4) 刺点及计算空三: 在实施计算工作前需要保证高程系统和坐标系足够明确。之后以各个像控点的三维坐标为依据, 确定各个图像中像控点位置的值, 也就是刺点工作。当完成刺点工作后, 利用软件完成空三计算, 同时以计算结果为依据将精度较低的影像排除。

(5) 拼接模型: 在软件中设置需要的成图质量以及拟合范围, 之后利用最小二乘原理在程序中拼接出三维倾斜模型。

二、无人机倾斜模型中应用三维激光点云的优势与必要性

（一）提高数据处理与分析效率

在开展测绘工作时,很多时候借助单一数据无法满足测绘精度等方面的要求,在此过程中就需要在无人机倾斜模型中应用三维激光点云。需要注意的是,无人机影像数据与激光点云数据在表达方式和数据结构方面存在差异,若是均单独进行分析与处理工作,有一定几率会出现处理效率低、数据冗余等问题。在无人机倾斜模型中应用三维激光点云,可以在统一的数据结构中整合两者的关键信息,从而降低数据处理难度^[3]。而且,整合后的数据能够促使相关数据信息变得更加丰富,帮助相关人员更精准、全面地了解测绘目标实际情况。

（二）提升空间数据完整性与精度

在无人机倾斜模型中应用三维激光点云, 两者的数据会深度融合, 达到相辅相成的效果, 从而促使空间数据达到更高的完整性与精度。激光点云数据能够较为精确地呈地物的空间位置和几何形状, 而无人机影像数据中颜色与纹理方面的信息非常丰富。在将三维激光点云应用到无人机倾斜模型中后, 激光点云数据可为模型提供精确的三维坐标, 会在一定程度上提升模型的精度。

（三）扩大应用领域和提升应用效果

在无人机倾斜模型中应用三维激光点云中能将更为精确、全面的信息提供到各个领域。相关人员在开展应急救援、城市规划、环境监测等工作时,借助融入三维激光点云数据的无人机倾斜模型,可更为清晰地了解植被分布、地形地貌、建筑物等方面的实际情况,进而制定出科学合理的决策。除此之外,相关模型还可作为开展防灾减灾、城市设计、基础设施建设等工作的重要依据^[4]。

三、三维激光点云在无人机倾斜模型中的应用

本文将以某建筑数据采集项目为例研究三维激光点云在无人机倾斜模型中的具体应用, 具体操作步骤包括地面三维激光扫描测量、无人机倾斜摄影测量、模型构建与精度分析。

(一) 地面三维激光扫描测量

在实际开展采集相关数据的工作前, 相关人员需要亲自前往现场了解该建筑实际情况, 之后以自身了解的情况为依据设计合理的架站方案, 在此过程中各个测站测量范围应有一定重叠, 在正常情况下两个相邻的测站应该保持超过30%的重叠度, 同时重叠区域应满足空间特征轮廓显著的要求, 从而确保后期获取的数据能够组成一个整体, 出于保证点云密度和数据精度的目的, 相邻两个测站间应保持低于30m的间距。在充分考虑以上情况后, 相关人员确定了如图2所示的架站方案。在进行作业的过程中, 应选择无障碍物和人员遮挡的区域作为具体的布设地点, 为后续内业处理工作提供方便。

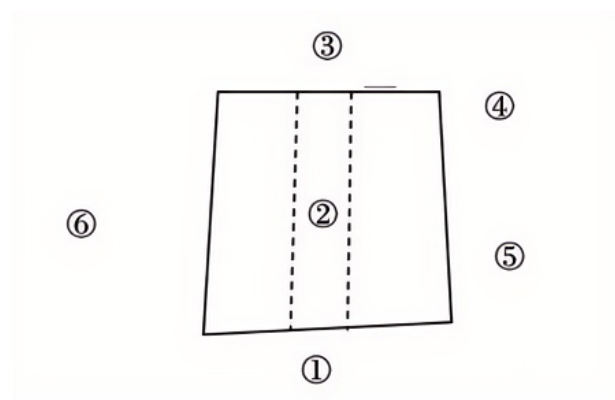


图2 三维激光扫描架站方案

当完成外业数据采集工作后, 内业首先需要整合所有测站的点云数据, 并使用合理的拼接方法完成拼接, 主要可以使用以下三种拼接方法: 第一种是以空间视图为基础完成拼接, 此种方法在使用过程中需要保证两个测站点云之间公共区域充足, 而且该公共区域空间轮廓特征要非常明显, 在实际实行拼接操作时需要旋转与平移两个测站点云的平面俯视图, 直至两者公共区域重叠, 之后再对齐俯视图; 第二种是使用空间特征点或标靶, 在实际操作中针对两个相邻的测站, 借助公共空间特征点同步扫描和布设测站之间标靶的方式匹配和拼接两个测站的点云; 第三种是利用视觉追踪技术, 现如今市场中的扫描仪很多都配备了具有该技术的自动拼接扫描仪, 这种扫描仪在 IMU 和视觉追踪相机的支持下能够完成两个测站相对位置的确定^[9]。在开展相关作业时, 视觉追踪相机不仅能够识别和提取高清影像的空间特征, 还能够利用先进的模型, 在考虑机身运动状态的情况下明确空间环境, 连续追踪相应的特征点, 最终完成自动拼接相邻测站点云的工作。为了进一步缩短该工作所需时间, 在实际开展该项目时相关人员使用了此种三维激光扫描仪采集数据, 提升了点云拼接自动化水平。

当将所有三维激光点云拼接成一个整体后,出于提升点云数据质量的目的需要采取抽稀、去噪等操作,其中去噪简单理解就

是剔除点云中没有利用价值的部分，具体包含离散点、人、障碍物等，主要是使用建立围栅的方式剔除。在实际操作中，相关人员还可使用适宜的滤波算法删除离散点，也就是提取离散点空间形态特征，如点群之间的距离、点群中点的数量等。

在附近环境和测量区域地形的影响下，在地面三维激光扫描测量中并未得到建筑顶部的三维数据。

（二）无人机倾斜摄影测量

要想得到测量区域大场景三维模型，并收集建筑顶部数据，相关人员决定使用配备五镜头的无人机开展倾斜摄影测量，同时在无人机上还搭载了多个传感器，可从多个维度、多个角度收集地面影像，在将相关影像传输到软件中后，能够得到与该建筑物实际情况相符的三维空间模型^[6]。相关人员在充分考虑现场实际情况的基础上规划了无人机倾斜摄影测量的线路，确定了如表1所示的飞行技术参数。

表1 倾斜摄影测量主要技术参数

项目	参数
倾斜相机焦距	35mm
地面分辨率	2.3cm
下视相机焦距	20mm
倾斜相机角度	45°
航向重叠度	80%
飞行高度	100m
旁向重叠度	70%

内业在处理相关数据时主要使用 ContextCapture，在将相关无人机倾斜摄影测量数据导入该软件中后，其能自动完成三维建模工作。但是在落实工作前，相关人员要对影像信息、相机参数信息等进行有效整理，之后导入相关数据并设置空三参数并执行空三。在开展自由网空三解算工作的过程中，相关人员需要维持1/2 ~ 1个像素内的像方误差，并对三维视图中的特征点和 POS 进行检查；在进行控制点空三解算时，各个相机在刺点时需要刺的影像数量为3 ~ 5张，在此阶段，要想使精度达到更高水平，影响将高清晰度影像作为重要的刺点对象^[7]。

四、模型构建和精度分析

（一）模型构建

在完成以上两种方法模型构建工作后可以发现，两种方法所构建的模型存在不同的优点，其中三维激光扫描测量能够获取与建筑物实际情况高度相符的彩色三维点云，但是其数据采集无法有效覆盖建筑顶部；而无人机倾斜摄影测量虽然可以获取建筑顶部实际情况并构建大场景三维模型，但是在建筑较低处会出现变

参考文献

形的问题。在此种情况下，为了使该建筑物三维展示效果变得更加理想，相关人员决定将三维激光点云数据应用到无人机倾斜模型中，在此过程中无人机倾斜模型主要是保留建筑物顶部部分，所以需要先落实裁切倾斜模型的工作，分离出建筑物顶部部分，之后在倾斜模型中应用建筑物较低处的三维激光点云，在空间层面将这两种数据匹配在一起，在转换过程中主要是以两种数据中公共的空间特征点为依据，在实际操作中主要选取建筑顶部四个角点作为公共点，使用最小二乘法三维点云融入倾斜模型的空间转换参数。

在将三维激光点云应用到无人机倾斜模型中后，需要仔细处理接边部分，当发现部分区域有交叉重叠的情况时需要以接边形状为依据开展裁切工作，修补有空洞和数据无法有效连接的区域。

（二）精度分析

在进行精度分析时，相关人员采用了以下方法：首先，通过对比三维激光点云数据与无人机倾斜模型融合后的模型精度，以及单独使用无人机倾斜摄影测量得到的模型精度，来评估三维激光点云在无人机倾斜模型中的应用效果。精度分析主要包括位置精度和模型精度两个方面。经过分析，相关人员得到以下精度数据：融合后的模型在位置精度方面，平均误差为1.82cm，最大误差为3.45cm，最小误差为0.76cm。在20个检查点中，有90%的检查点误差在2cm 以内，所有检查点的误差均控制在4cm 以内。相较于单独使用无人机倾斜摄影测量得到的模型，位置精度提高了约25%。在模型精度方面，融合后的模型在建筑物边缘和细节表现上更为精确。通过对比分析，我们发现建筑物立面结构的模型精度平均提高了15%，尤其是在建筑物的角落和细部结构上，精度提升更为显著。由此可知，将三维激光点云应用到无人机倾斜模型中，可以大幅度提升模型精度。

五、结束语

本文主要研究了三维激光点云在无人机倾斜模型中的应用问题，研究发现无人机倾斜模型中应用三维激光点云在提高数据处理与分析效率、提升空间数据完整度与精度、扩大应用领域和提升应用效果等方面具有明显优势。在实际开展应用工作时，相关人员可遵循地面三维激光扫描测量、无人机倾斜摄影测量、模型构建与精度分析的流程进行应用，可以使无人机倾斜模型达到更高精度，有效支持地形测绘、城市规划等方面的工作。

[1] 彭仪普, 李剑, 邹魁, 等. 地面激光扫描点云与无人机影像点云融合应用 [J]. 铁道科学与工程学报, 2024, 21(7): 2804-2814.

[2] 史晟恺, 刘哲, 申建华. 基于无人机倾斜模型和激光点云的湿地公园高精度模型建立 [J]. 测绘通报, 2024(S02): 217-220.

[3] 纪海源, 何远梅, 张伟佳, 等. 基于无人机倾斜摄影测量点云数据的城市三维重建技术研究 [J]. 自动化与仪器仪表, 2024(9): 330-333.

[4] 颜学铮, 郭招娣, 黄栋良, 等. 基于无人机倾斜摄影与激光扫描的露天矿山三维模型构建与应用研究 [J]. 科技资讯, 2024, 22(16): 180-183.

[5] 林伟泽. 三维倾斜模型与点云数据在农村房地一体确权中的应用 [J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46(10): 210-213.

[6] 马力, 王德盛, 张弛, 等. 倾斜摄影与激光点云融合建模在城中村精细化测绘的探索应用 [J]. 测绘通报, 2024(S02): 156-159.

[7] 张书航, 李旺民, 庞尹宁, 等. 基于无人机倾斜摄影和激光扫描的离岸海岛高精度实景三维重建 [J]. 测绘通报, 2024(3): 25-30.