

浅析无人机基于倾斜摄影测量对山区城市进行精度分析

魏 兴, 王海波

攀枝花学院土木与建筑工程学院, 四川 攀枝花

收稿日期: 2023年6月10日; 录用日期: 2023年7月1日; 发布日期: 2023年7月12日

摘 要

为了提高对山区城市测量的工作效率, 研究了无人机基于倾斜摄影测量对山区城市进行精度分析, 概述了倾斜摄影测量和RTK测量两种基本方法, 对于数据平差原理进行了相应的公式解析, 并对该项目需要用的设备做了相应概述。解析了无人机倾斜摄影测量的作业流程, 主要包括了测量的外业操作流程和内业数据处理流程, 运用模型提取坐标与实坐标进行数据对比, 得出精度达到厘米级并且满足《低空数字航空摄影规范》(CH/Z 3005-2010), 在山区城市地形图测绘中采用无人机倾斜摄影测量是较好的选择。

关键词

倾斜摄影测量, 精度分析, RTK测量

Brief Analysis of UAV Based on Oblique Photogrammetry to Carry Out Accurate Analysis of Mountain Cities

Xing Wei, Haibo Wang

School of Civil and Architectural Engineering, Panzhihua University, Panzhihua Sichuan

Received: Jun. 10th, 2023; accepted: Jul. 1st, 2023; published: Jul. 12th, 2023

Abstract

In order to improve the efficiency of mountain city surveying, the accuracy analysis of mountain cities based on oblique photogrammetry by UAV is studied, the two basic methods of oblique photogrammetry and RTK measurement are summarized, the corresponding formula analysis of the data adjustment principle is carried out, and the equipment required for the project is relevant

summarized. The operation process of UAV oblique photogrammetry is analyzed, mainly including the field operation process and internal data processing process of surveying, and the model is used to extract coordinates and real coordinates for data comparison, and the accuracy reaches the centimeter-level and meets the "Low Altitude Digital Aerial Photography Specification" (CH/Z 3005-2010), which is a better choice for UAV oblique photogrammetry in mountainous urban topographic map mapping.

Keywords

Oblique Photogrammetry, Accuracy Analysis, RTK Measurement

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着现代科技的快速发展航空摄影技术的不断飞跃进步, 倾斜摄影测量对于现代测绘行业有着巨大的帮助, 解决了一些山区城市地形复杂, 测绘环境艰苦, 植被茂密测绘难度大的问题, 增加了测绘的精度和速度, 减轻了测量的工作量, 提高了工作效率。正如四川省攀枝花市, 就是所谓的山区城市, 常年高温少雨天气干燥, 地形复杂, 植被茂密, 昼夜温差较大, 平均海拔高, 由于这些缘故给测绘工作带来了巨大的困难。如果运用传统测量不仅人员需求量大, 作业进行困难, 工作进展缓慢, 测量精度受到人为、温度、湿度、环境等诸多因素的影响较大, 所以在攀枝花市开展传统测量项目是一件非常困难的事情。但是近些年来随着航空倾斜摄影测量技术的广泛运用, 对于测量山区城市降低了作业难度, 加快了作业进行的速度。但是航空倾斜摄影测量也存在一定的短板, 一些植被太过于茂密的部分地方无法拍摄到也需借助传统测量进行补测, 所以利用航空倾斜摄影为主传统测量为辅进行测量, 这样不仅降低了人为失误造成的误差影响而且减少了人员需求量, 对于类似攀枝花市一样的山区城市利用这种方法测量地形是比较合适的, 运用无人机倾斜摄影测量与传统测量技术相结合进行精度分析具有一定的研究价值。

2. 测量原理

2.1. 倾斜摄影测量

倾斜摄影测量[1] [2]是以空间位置之间的相互关系为基础, 根据摄影测量原理, 在坐标系统中从不同角度对地面物体进行拍摄。在摄影测量中, 被称作图形原点的图像点与世界坐标原点之间的相互关系, 能够实现地理位置的定位与量算、地形绘制等测量工作, 运用搭载了传感器的无人机对需测目标进行高重叠率, 多方位的航向飞行拍照, 使用 RTK 所测实地控制点坐标相结合, 对所拍的影像运用软件进行初始化处理、点云和纹理处理、空中三角测量加密、影像匹配, DSM、正射影像和指数的生成等流程。最后得到质量报告、数字地表模型(DSM)和数字正射影像图(DOM)等成果, 由质量报告可知模型精度是否达标。无人机倾斜摄影测量具有成本低、方便高效、影像分辨率较高等特点大大促进了倾斜摄影测量技术的发展。

2.2. RTK 测量技术

RTK 是实时动态测量技术, 是以载波相位观测为根据的实时差分 GPS 技术, 它是测量技术发展里程

中的一个突破口, 它的组成是由数据链部分、接收机部分流动站部分组成, 在基准站上安装一台接收机为参考站, 对卫星进行连续观测, 并将其观测数据和测站信息, 通过传输设备实时传输个流动站, 流动站在接收到卫星信号时, 然后根据相对定位原理进行实时解算, 得到流动站的三维坐标及精度, 即可进行实地测量。

2.3. 数据平差原理

光束法空中三角测量[3]是以一个摄影光束(即一张像片)作为平差计算基本单元, 是理论较为严格的控制点加密方法, 它以共线条件方程为理论基础, 这一方法的基本做法是在像片上量测出各控制点和加密点的像点坐标后, 进行区域网的概算, 以确定区域中各像片的外方位元素及加密点坐标的近似值。然后根据共线条件按控制点和加密点分别列误差方程式, 进行区域平差计算, 求解出像片的外方位元素和加密点的地面坐标。

光束法空中三角测量的平差计算与单模型的光束法整体求解基本上相同。由光线条件方程, 可对每个像点列出两个关系式:

$$x - x_0 = -f \frac{a_1(X - X_S) + b_1(Y - Y_S) + c_1(Z - Z_S)}{a_3(X - X_S) + b_3(Y - Y_S) + c_3(Z - Z_S)} \quad (1)$$

$$y - y_0 = -f \frac{a_2(X - X_S) + b_2(Y - Y_S) + c_2(Z - Z_S)}{a_3(X - X_S) + b_3(Y - Y_S) + c_3(Z - Z_S)} \quad (2)$$

当像片内方位元素(f, x_0, y_0)为已知时, 上式方程经过线性化后的误差方程可写为:

$$\begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dX_S \\ dY_S \\ dZ_S \\ d\varphi \\ d\omega \\ d\kappa \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -a_{11} & -a_{12} & -a_{13} \\ -a_{21} & -a_{22} & -a_{23} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} l_X \\ l_Y \end{bmatrix} \quad (3)$$

使用矩阵符号表示对某一像点的误差, 使用泰勒级数将其展开后, 并将其线性化后方程为:

$$V = AX + Bt - l \quad (4)$$

上式中:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$B = \begin{bmatrix} -a_{11} & -a_{12} & -a_{13} \\ -a_{21} & -a_{22} & -a_{23} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$X = [dX_S \quad dY_S \quad dZ_S \quad d\varphi \quad d\omega \quad d\kappa] \quad (7)$$

$$t = [dX \quad dY \quad dZ] \quad (8)$$

$$L = [l_X \quad l_Y]^T \quad (9)$$

$$V = [V_X \quad V_Y]^T \quad (10)$$

式(5)(6)中 A 、 B 表示误差方程系数矩阵, 式(7)、式(8) X 、 t 表示未知数矩阵, 式(9) L 表示常数矩阵, 式(4) V 表示观测值改正数。

平差方法主要计算流程包括以下几步:

- 1) 影像外方位元素和地面点的坐标近似值确定。
- 2) 逐步设立误差方程和改化法方程。
- 3) 运用边法化边消元循环分块解求改化法方程式。
- 4) 求解出外方位元素。
- 5) 运用空间前方交会求解出待定点的地面坐标, 对于影像的公共连接点取平均值作为最后结果, 也可消去影像的外方位元素未知数, 建立未知数的改化法方程, 直接求解出点的未知数。

3. 项目概况

3.1. 设备

1) 无人机

大疆精灵 4RTK [4]是一款小型多旋翼高精度航测无人机, 面向低空摄影测量应用, 具备厘米级导航定位系统和高性能的成像系统, 便携易用, 全面提升航测效率, 它集成了全新的 RTK 模板, 不仅拥有更强大的抗磁干扰能力和精度定位能力, 明显提升了图像元数据的绝对精度, 在作业完成后, 用户可直接通过 DJI 云 PPK 解算出高精度的位置信息。定位系统支持连接 D-RTK2 高精度 GNSS 移动站, 并且可以通过 4G 无线网卡或者 WiFi 热点与 NTRIP 相连接。还提供了航点飞行、航带飞行、摄影测量 2D、摄影测量 3D、井字飞行、五向飞行等众多的航线规划飞行方式。

2) 南方全站仪

它是一种精密仪器, 非常广泛的运用与施工建筑行业, 具有丰富的测量程序, 同时具有数据存储功能、参数设置功能。

3) RTK

华测 i70 是华测导航旗下 RTK 产品中的智能 RTK 测量系统, i70 是一款高度集成 OLED 显示屏、收发一体电台、4G 全网通、双电池全能 RTK 接收机。精度及配置见表 1 所示:

Table 1. RTK accuracy index

表 1. RTK 精度指标

	平面精度	高程精度
静态精度	$\pm(2.5 + 0.5 \times 10^{-6} \times D)$ m	$\pm(5 + 0.5 \times 10^{-6} \times D)$ mm
RTK 精度	$\pm(8 + 1 \times 10^{-6} \times D)$ mm	$\pm(15 + 1 \times 10^{-6} \times D)$ mm
码差分精度	$\pm(2.5 + 1 \times 10^{-6} \times D)$ m	$\pm(0.5 + 1 \times 10^{-6} \times D)$ m
单机精度	1.5 m	
差分格式	RTCM3.2、CMR+、RTCM3.X、CMR、RTCM2.3	
输出格式	NMEA0183、PJK 平面坐标、二进制码	
网络	4G 全网通(移动联通电信 2G/3G/4G)	

4) Pix4Dmapper

Pix4Dmapper [5] [6]软件是由瑞士 pix4D 公司研发, 它是一款集全自动、快快速、专业精度为一体的无人机数据和航空影像数据处理软件。它提供了量化的自动空三、区域网平差和地面控制点的精度。

能够自动生成数字地表模型(DSM)、正射影像图(DOM)、具有纹理的点云数据和 3D 模型, 点云文件的导出格式有 LAS、LAZ、PLY、XYZ 等格式, 而三维网格纹理的导出格式有 PLY、FBX、DXF、OBJ 等格式, 相对于其它图像处理软件它具有更强的处理能力。

5) 南方 cass 10.1

南方 cass 10.1 是一款非常专业的 CAD 图形设计软件, 它是在 CAD 上进行了二次开发的, 必须和 CAD 配合才能使用, 功能非常强大, 界面非常简洁明了、操作方便快捷。对于绘制地形图而言非常实用。

3.2. 采集概况

本实验测区为某高校校区, 测区面积为 0.294 km^2 , 测区地理位置位于四川省攀枝花市, 地势起伏较大, 气候干热少雨, 植被茂密, 共采集 229 张影像, 测区内共布设采集 6 个控制点, 航向重叠度为 70%, 旁向重叠度为 50%, 飞行高度为 110 m, 飞行航线设置为井字飞行。

4. 作业流程

4.1. 外业操作流程

首先在待测区域内均匀布设控制点, 使用 RTK 测量出控制点的坐标数据, 然后使用大疆精灵 4 RTK 设置飞行航线, 设置为井字飞行(飞行航线如图 1 所示), 航向重叠度设置为 70, 旁向重叠度设置为 50, 返航高度设置为 115 m (由于限高 120 m), 飞行高度设置为 110 m, 电量 20% 时自动返航, 待无人机飞行作业完成时, 所拍摄影像通过数据线将无人机连接电脑的方式导出, RTK 手薄通过蓝牙传送到手机再传送到电脑, 运用 Pix4Dmapper 软件进行内业处理, 将影像导入到软件中进行影像拼接与计算。待软件将影像处理完成自动生成数字地面模型、正射影像图、三角纹理的 3D 模型和质量报告, 输出以输出以 OBG 格式和 FBX 格式输出, 再运用 cass 10.1 软件上裸眼三维与正射影像二维联动, 测得随机地物的三维坐标, 与之可进行精度分析, 如图 2 所示流程图。

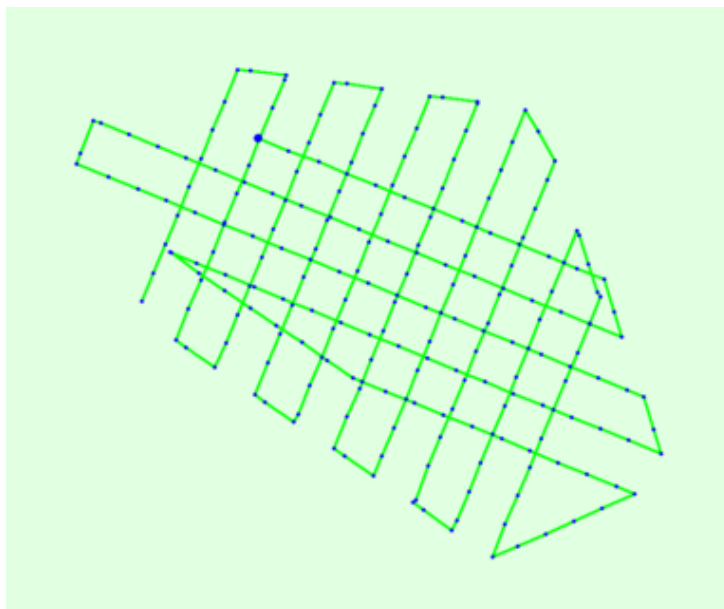


Figure 1. Flight route

图 1. 飞行航线

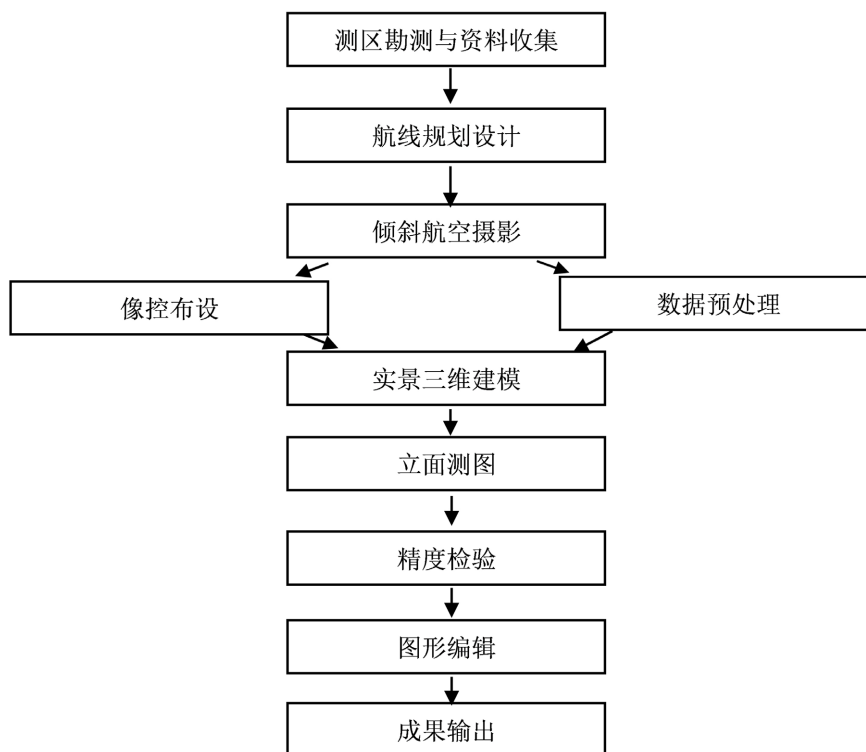


Figure 2. Oblique photogrammetry flow
图 2. 倾斜摄影测量流程

4.2. 内业数据处理流程

本实验利用 Pix4Dmapper 软件对所摄影像进行拼接处理, 首先在软件上新建项目设置保存位置, 再将影像数据导入软件中进行预处理, 基准面坐标系设置为 china2000, 坐标系选择 CGCS2000 CM102E, 进入处理选项模板选择 3Dmaps, 导入所采集控制点, 利用控制点对影像进行刺点, 即可开始对影像处理, 待 Pix4Dmapper 软件自动对影像进行解算生成数字地表模型(DSM)、数字正射影像图(DOM)、三维纹理 3D 模型和质量报告。见表 2 质量报告精度分析表可知精度达到 GJB 2347-1995《无人机通用规范》要求, 建模流程图如图 3 所示:

Table 2. Quality report accuracy analysis table
表 2. 质量报告精度分析表

Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	0.011965	0.011965	0.027141
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000815	0.000815	0.002115

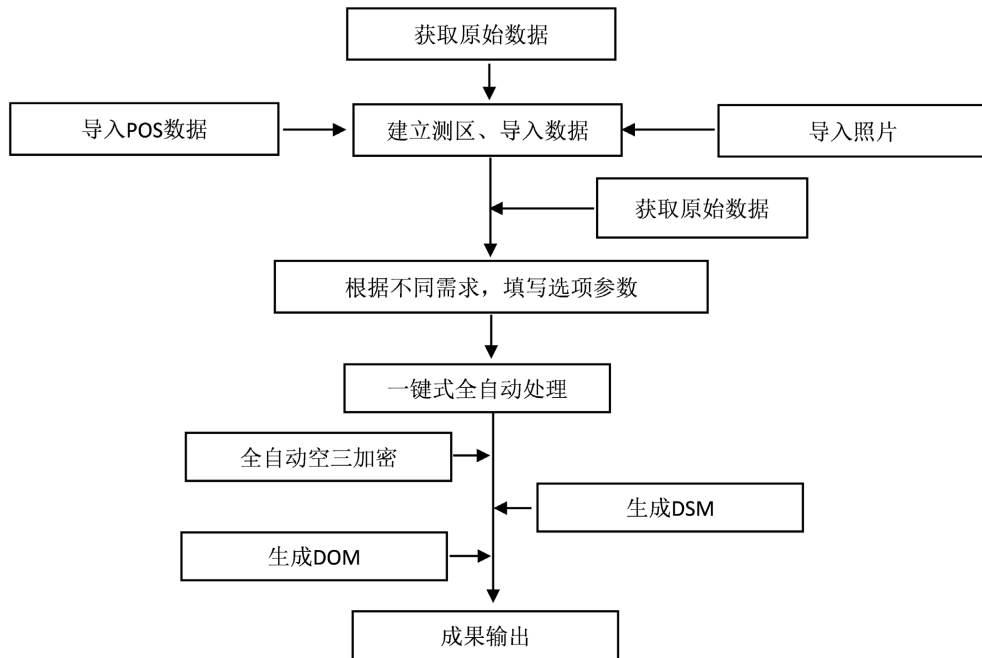


Figure 3. Pix4Dmapper modeling flowchart
图 3. Pix4Dmapper 建模流程图

1) 影像预处理

将模糊不清的影像挑选出来剔除, 整理完成后, 将 POS 数据文件和影像一起导入 Pix4Dmapper 软件中, 使其具有一定顺序, 便于以后刺点工作。

2) 影像匹配

刺点时一定要准确刺到相同的位置, 确保以后建模工作顺利进行, 通过软件解算生成质量报告和 3D 模型, 影像拼接是 Pix4Dmapper 软件自动进行的, 分区块渲染模型, 解算时间受硬件设备影响各不相同, 总共耗时约 6 小时。生成模型如图 4 所示:

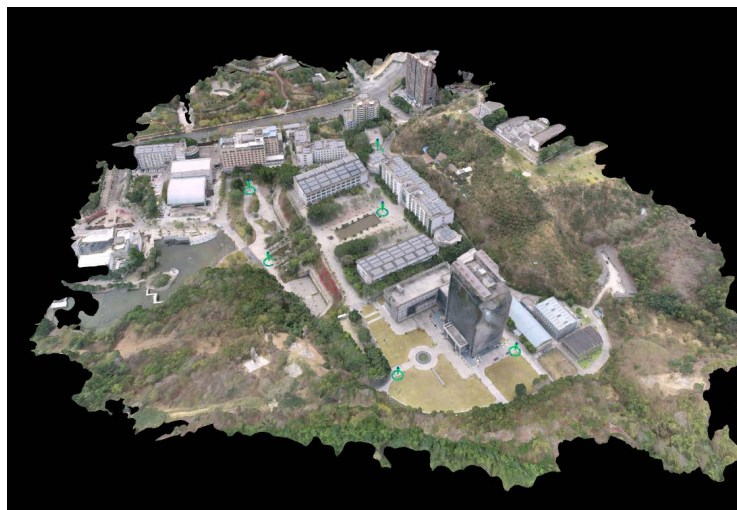


Figure 4. Diagram of the generated 3D model
图 4. 生成的 3D 模型图

5. 数据对比

运用 Pix4Dmapper 软件生成的(DSM)数字地表模型, 导入 cass10.1 中, 利用 cass10.1 提取坐标的功能提取模型中的多个随机坐标与南方全站仪实地测量的坐标进行数据对比分析, 如图 5 可知目前无人机倾斜摄影测量精度已经达到了厘米级, 相较于全站仪差距也相对缩小, 说明目前无人机倾斜摄影测量技术以相对成熟, 可以针对一些山区城市或满足精度要求的项目进行测量。

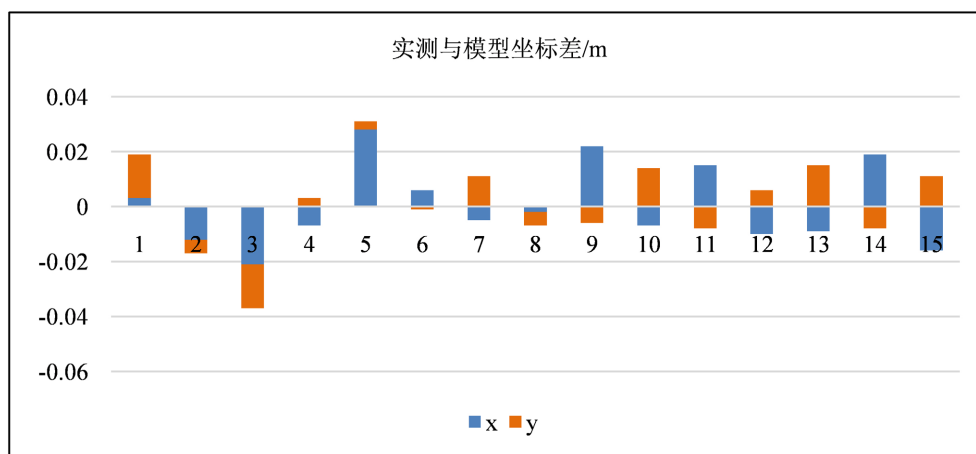


Figure 5. Comparison of digital surface model coordinates and measured coordinates
图 5. 数字地表模型坐标与实测坐标对比

6. 结语

本实验主要研究了对于山区城市中无人机倾斜摄影测量采集影像, 运用软件建模提取出模型的坐标与实测坐标作对比的过程, 由于山区城市地形复杂多样, 工程项目中运用这种方法测量绘制地形图是一种不错的选择。既缩短了测量周期, 又降低了人工成本, 清晰地将大部分地方的地形地物都展示在面前, 仅少部分需人工补测完善地形图, 应用于类似于攀枝花市地形复杂的山区城市, 不仅为外业采集减少了工作量, 也为内业处理降低了难度。所得到的测量精度达到 GJB 2347-1995《无人机通用规范》要求, 得出了无人机倾斜摄影测量精度已达到厘米级, 无人机倾斜摄影测量技术相对成熟, 但在未来的研究工作中, 还需进一步加强对于无人机倾斜摄影测量在有茂密植被下物体的测量方法的研究, 目前这种测量方法运用较为广泛。

参考文献

- [1] 徐亚强. 无人机倾斜摄影测量技术在大比例尺地形图测量中的应用[J]. 化工矿产地质, 2023, 45(1): 66-71.
- [2] 汤昭辉, 万灿. 无人机倾斜摄影测量三维建模及其精度分析[J]. 北京测绘, 2022, 36(11): 1490-1495. <https://doi.org/10.19580/j.cnki.1007-3000.2022.11.010>
- [3] 张可, 王永波, 袁坤, 仇春平. 基于附加参数模型的自检校光束法区域网平差算法运行结果对比[J]. 测绘通报, 2022(2): 67-72. <https://doi.org/10.13474/j.cnki.11-2246.2022.0045>
- [4] 李龙, 赵亮. 大疆无人机专利技术发展分析[J]. 河南科技, 2021, 40(24): 3.
- [5] 卢亚龙. 基于 Pix4D 软件和 EPS 软件生产地形图的方法对比探讨[J]. 科学技术创新, 2021(31): 81-83.
- [6] 李忠强, 王瀚宇, 刘婷婷, 等. 基于 Pix4Dmapper 的无人机数据自动化处理技术探讨[J]. 海洋科学, 2018, 42(1): 39-44.