

# 无人机倾斜摄影对复杂建筑物的三维建模研究

曹笑笑<sup>1</sup> 李东辉<sup>1</sup> 马亚飞<sup>1</sup> 杨霜<sup>2</sup>

1 自然资源部第一地形测量队 2 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局测绘大队

DOI:10.12238/gmsm.v7i5.1819

**[摘要]** 本文利用大疆经纬M300-RTK无人机搭载赛尔PSDK102S五镜头进行外业倾斜摄影测量,采用不同的数据处理和建模软件,对复杂建筑物进行三维建模,研究一种基于无人机搭载多镜头的倾斜摄影测量复杂建筑物三维建模的流程和方法。对研究对象进行无人机倾斜摄影测量数据采集和处理,以及后期高精度建模。为全国正在开展的数字城市建设提供技术研究方法。

**[关键词]** 无人机摄影测量; 三维建模; 大疆经纬M300-RTK无人机

中图分类号: V279+.2 文献标识码: A

## Research on three-dimensional modeling of complex buildings using unmanned aerial vehicle oblique photography

Xiaoxiao Cao<sup>1</sup> Donghui Li<sup>1</sup> Yafei Ma<sup>1</sup> Shuang Yang<sup>2</sup>

1 The First Topographic Survey Team of the Ministry of Natural Resources

2 Surveying and Mapping Brigade of Geological and Mineral Exploration and Development Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region

**[Abstract]** This article uses the DJI M300-RTK drone equipped with the Sail PSDK102S five lens for field oblique photogrammetry. Different data processing and modeling software are used to conduct three-dimensional modeling of complex buildings. The process and method of three-dimensional modeling of complex buildings based on drone equipped with multiple lenses for oblique photogrammetry are studied. Collect and process unmanned aerial vehicle oblique photogrammetric data for the research object, as well as high-precision modeling in the later stage. Provide technical research methods for the ongoing construction of digital cities nationwide.

**[Key words]** drone photogrammetry; 3D modeling; DJI M300-RTK Unmanned Aerial Vehicle

### 引言

我国目前已进入低空飞行器蓬勃发展阶段,无人机倾斜摄影测量技术得到广泛应用,利用倾斜摄影技术可以快速、高精度的进行三维模型的建立,其大范围、高精度建立的三维模型可真实反映建筑物和构筑物的三维坐标、外观属性、色彩纹理等。以无人机为倾斜摄影测量平台,可以低成本、高效的实施影像数据的采集,结合GNSS-RTK技术,在免像控的条件下,实现全自动化三维建模。以高精度三维模型为基础,按工程需要,可大范围输出DSM(数字地面模型)、DOM(数字正射影像)、DEM(数字高程模型)等应用成果。传统的航空摄影只能借助飞行平台,从垂直角度获取被测地物的影像,而倾斜摄影可以借助飞行平台,搭载多摄影镜头(一般5个镜头),能有效实现同一时间,从垂直、侧视等不同的视角完成对空间信息影像的采集,打破了以往传统航空摄影中需要采用立体相对加人工采集的作业方式来呈现立体效果的局限性。

### 1 倾斜摄影测量技术原理

倾斜摄影测量技术的基本原理是依托飞行平台,通过搭载多视角航摄仪等视频记录设备,实现从垂直方向、四个可调节倾斜方向,共五个不同视角来同步采集影像,在采集影像时,同时记录航摄位置、航飞速度、摄影中心坐标、飞行器姿态、飞行高度等参数,采集到较为精准的建筑物顶面及一定侧俯视角的高分辨率纹理及细节。通过更多视角倾斜摄影,彻底解决了以往的航空摄影测量只有垂直视角的单一采集方式对空间及建筑物实施观察带来的问题。在对较大范围内建筑物和构筑物进行三维建模时,相对于立体测图,利用倾斜摄影测量技术的图像采集设备所获取的图像范围更广,数据信息更全面,具有明显优势,实现更多、更广、更全面的视角去采集记录建筑物垂直及侧视的图像影片。

### 2 无人机倾斜摄影测量的关键技术

由于无人机获取的原始影像会产生几何变形,不同设站获

取的同一位置影像色彩不均匀,而且像片内定向、外定向以及像片的连接存在误差,因此需要对原始像片进行处理,这些处理方法和步骤,通常被认为是无人机倾斜摄影测量的关键方法和技术,包括:

### 2.1 多视影像预处理

在影像建模前,需要对采集的像片进行预处理,其中预处理的过程包括:POS数据预处理和像片预处理。

### 2.2 多视影像区域网联合平差

区域联合平差是空中三角测量中最关键的一步,同时也是最重要的方法,其精度决定着最终三维模型的整体精度。它的基本原理是借助地面少量的控制点,或者依据实时GNSS-RTK、像点坐标等加密出像片上任意一点坐标的过程。当前常用的区域网联合平差方法有三种,分别是独立模型法、航带法、光束法,其核心差别是采用不同的数学模型。独立模型法用建立好的单模型来作为基本的平差单元,按照三维空间相似变换来列误差方程;航带法以航带模型为基本的平差单元,按照非线性改正的公式来列误差方程;光束法则利用每个像片组成的光束来作为基本的平差单元,按照共线条件来列误差方程,分析对比三种常用方法,光束法区域平差技术实现过程最复杂,但同时具备测量精度最高的明显优势,故此,光束法更适合多视影像区域网联合平差测量。光束法平差示意图见图1,具体解算过程如下:

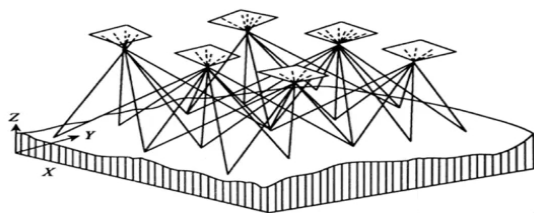


图1 光束法平差示意图

基本公式:

$$\begin{aligned} x &= -f \frac{a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \\ y &= -f \frac{a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \end{aligned}$$

对于左片上的像点,可列出左片的误差方程式:

$$\begin{aligned} v_x &= a_{11}dX_s + a_{12}dY_s + a_{13}dZ_s + a_{14}d\phi + a_{15}d\omega + a_{16}d\kappa - a_{11}dX - a_{12}dY - a_{13}dZ - l_x \\ v_y &= a_{21}dX_s + a_{22}dY_s + a_{23}dZ_s + a_{24}d\phi + a_{25}d\omega + a_{26}d\kappa - a_{21}dX - a_{22}dY - a_{23}dZ - l_y \end{aligned}$$

对于右片上的像点,可列出右片的误差方程式:

$$\begin{aligned} v'_x &= a'_{11}dX'_s + a'_{12}dY'_s + a'_{13}dZ'_s + a'_{14}d\phi' + a'_{15}d\omega' + a'_{16}d\kappa' - a'_{11}dX - a'_{12}dY - a'_{13}dZ - l'_x \\ v'_y &= a'_{21}dX'_s + a'_{22}dY'_s + a'_{23}dZ'_s + a'_{24}d\phi' + a'_{25}d\omega' + a'_{26}d\kappa' - a'_{21}dX - a'_{22}dY - a'_{23}dZ - l'_y \end{aligned}$$

对于控制点而言:

$$dX = dY = dZ = 0$$

对于待求点而言,式中除了12个外方位元素外,还有三个待定点坐标改正数。

将上式写成矩阵形式为:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & 0 & B_1 \\ 0 & A_2 & B_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ X \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix}$$

用矩阵形式表示的总的误差方程式为:

$$V = \begin{bmatrix} A & B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t \\ X \end{bmatrix} - L$$

法方程式为:

$$\begin{bmatrix} A^T A & A^T B \\ B^T A & B^T B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t \\ X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A^T L \\ B^T L \end{bmatrix}$$

用新的符号表示为:

$$\begin{bmatrix} N_{11} & N_{12} \\ N_{21} & N_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t \\ X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} N \\ N \end{bmatrix}$$

### 2.3 多视影像自动匹配

在倾斜摄影测量中,精准实现多视角影像自动匹配是关键一环,也是测量过程中的核心技术。它是借助图像视觉匹配技术,在相邻重叠像片上自动或半自动提取同名点的过程。多视角影像自动匹配的特点是可以实现自动获取不同相片上的同名点坐标。多视影像自动匹配的常规算法有基于变化域的影像匹配、基于灰度的影像匹配和基于特征的影像匹配。

## 3 大疆经纬M300-RTK无人机倾斜摄影测量采集和处理方法

### 3.1 前期准备

测量员在项目实施前,需要先对航飞测区及其周边区域进行详细踏勘,主要了解被测区域的地形和地貌,最高建筑物,禁飞区和限飞区,被测区域的交通情况,控制点布设位置,以及测区的植被覆盖情况。对于敏感区域,如机场、军事区域、人群密集区域等地方,在航测前需要向当地民航空管部门申请空域。

根据项目的要求和实地踏勘情况,选择满足测量要求的无人机平台类型和摄影相机。无人机平台在实施项目之前,需要专业人员对飞行器和镜头进行检验,并做好相关记录。

### 3.2 数据采集

无人机倾斜摄影三维建模数据采集包括:像控点布设及测量(如果无人机RTK模式下,可采用免像控模式进行测量),像控点布设的需满足三维建模精度的要求,一般采用测区明显的房角、公路标线等地物,如果在农田较多区域,可采用明显红色地板革裁切成宽度为10cm,长度1米的矩形,在实地拼接成T字形或十字形,用GNSS-RTK测量其内角或外角的坐标,航线设计一般情况下由飞行高度和区域建筑物情况,结合重叠度设计航行,目前无人机飞行系统只需要在控制面板中输入测量区域,同时输入飞行相关参数,系统通过计算,自动实施航线设计,并开展飞行采集作业并完成图像影片采集,按照航线设计、实施作业、采集图像、数据整理、检查等步骤完成采集,这些环节的准确实施,对于外业工作的成果至关重要,数据的精准决定着数据采集成果的质量。

### 3.3 数据处理

外业航空摄影获取满足要求的影像数据后,需要对获取的数据进行检查,进行格式转换,导入专业内业处理软件进行数据处理工作,具体内容包括几个方面。

#### 3.3.1 数据检查

数据检查的主要目的是对外业获取的海量影像数据进行质量评定,主要检查内容为飞行器的飞行质量,相机获取像片的影像质量,比如:摄区范围内是否有漏测部分,获取的影像数据的参数指标是否正确,影像的色彩和清晰度是否满足要求,影像的变形是否超过规范要求的变形值。如果数据的检查内容和影像质量,不满足项目实施要求和技术规定及规范要求时,需要进行补飞或重飞。

#### 3.3.2 空三加密

根据3.2论述,通过无人机倾斜摄影测量技术,完成内业数据处理时,在联合平差的环节一般倾向于光束法区域网联合平差的方法。联合平差是对采用两种不同观测手段得到的数据,进行平差,将控制点坐标数据和像片的POS姿态数据作为外方位元素的初始值进行联合平差。

#### 3.3.3 实景三维模型建立

在空三加密和影像质量满足要求后,可借助专用的建模软件,进行三维模型生产,同时根据生产要求,在三维模型上制作以下产品:DOM、DEM、DLG等专用数据。

## 4 项目实施

本项目区域为某城市人工湖周边,主要建模建筑物为阅湖楼,该区域沿湖中心位置,一侧为禁飞区、另一侧为限飞区,因此结合项目实验要求,根据建筑物建模精度和区域确定飞行范围,合理规划无人机摄影测量飞行航线,确保航向重叠和旁向重叠满足设计要求。在航线布设方面,根据测区实际情况,按照直线走向,沿着测区边界线的平行布设首末航线,设置侧视镜头角度,确保可以采集到该测区的有效图像影片。根据测试飞行采集的样本数据,对于倾斜摄影相机的拍摄角度,同时合理评估限飞区、特殊构筑物等因素,明确航线覆盖超出测区边界线50m以上,以确保边缘物体立体成像完成。经过测试分析,拟布设航线10条,航向重叠度、旁向重叠度均为80%,飞行高度为150m,地面分辨率(GSD)为1.5厘米,航向间距20m(航向重叠度80%),旁向间距20m(航向重叠度80%),测区有效面积约0.25平方公里,加上外扩飞行的范围,所得实际面积约为0.38平方公里,累计飞行1个架次,单架次飞行时间约为35分钟,一共获取摄影测量影像像片约2341张影像。

数据采集完成后,对数据的相关质量进行检查,包括飞行器的飞行质量,相机获取像片的影像质量,本次获取影像地物轮廓清晰,色彩均匀,影像质量符合项目实施要求。

在此基础上,实施空三加密自动建模;首先在Smart3D软件中新建项目工程,添加倾斜摄影五个镜头的影像数据、相对应的POS点数据,再经过特征点提取、相对定向、匹配连接点、区域网平差,生成摄区内的空中三角测量成果。根据空三成果,提取特征点,生成密集点云数据以及三角网构建、纹理映射等,得到

三维模型,见图2。但在建筑物楼体西侧,像片重叠度不够且有阴影区域,造成楼体出现拉花、变形等问题,针对这些问题可采用降低航高、二次采集建筑物周边影像、替换变形区域、替换整体建筑物等措施进行修补。如果变形和拉花区域不大的情况下,可在地面采用高像素相机,获取漏洞区域高清影像,重新对变形区域进行贴图处理。

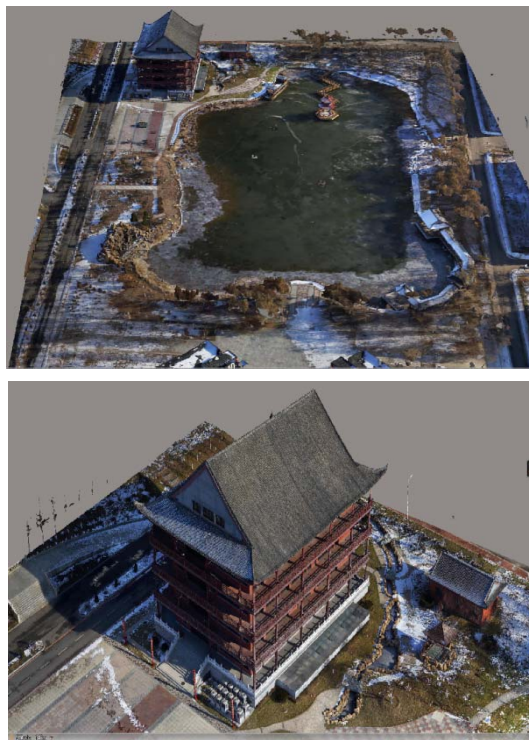


图2 实景三维倾斜模型

## 5 结语

采用大疆经纬M300-RTK无人机搭载赛尔PSDK102S倾斜摄影五镜头对研究对象区域进行建筑物快速建模,可以实现自动化航线规划、飞行作业,同时借助无人机厘米级精度的RTK定位模块,实现免像控空三加密,精度满足复杂建筑物建模精度要求,同时借助Smart3D软件能够快速进行三维建模。本文论述探讨了基于大疆经纬M300-RTK无人机搭载赛尔PSDK102S倾斜摄影五镜头进行复杂建筑物快速建模的基本原理、作业流程和项目实施过程,并对此次三维建模成果进行数字化展示,希望通过本项目的实施,为后期开展数字化城市建设提供技术借鉴。

### [参考文献]

- [1]郑晓亮.无人机倾斜摄影技术在三维城市建模中的应用[J].智能建筑与智慧城市,2023(11):22-24.
- [2]于丽丽.基于无人机倾斜摄影测量技术的城市三维实景建模研究[J].测绘与空间地理信息,2021,44(5):86-88.
- [3]李琦.无人机倾斜摄影技术在哈尔滨市重点区域建模中的应用[J].测绘与空间地理信息,2021,044(021):242-244.
- [4]叶思远.旋翼无人机倾斜摄影测量技术在三维实景建模中的应用[J].测绘与空间地理信息,2021,44(1):222-224.