

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2019.05.014

# 无人机倾斜摄影测量技术在 三维数字城市建模中的应用

付博, 陈姗, 张俊

(东华理工大学长江学院 应用工程系, 江西 抚州 344100)

**摘要:** 以江西省抚州市的某图书馆为实验研究区域, 利用无人机倾斜摄影测量技术按照规划航线获取研究区域航空影像数据, 研究无人机倾斜摄影测量技术获取影像数据的特点、影像数据处理的精度、通过关键技术建立三维模型, 使用 Smart3D Capture 软件进行三维模型构建。实验结果显示, 无人机倾斜摄影技术可以满足三维数字城市建模的需要。

**关键词:** 无人机; 倾斜摄影测量技术; 三维建模; DEM

**中图分类号:** P208

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2019)05-0079-05

**引文格式:** 付博, 陈姗, 张俊. 无人机倾斜摄影测量技术在三维数字城市建模中的应用 [J]. 湖南工业大学学报, 2019, 33(5): 79-83.

## Application of UAV Tilt Photogrammetry in 3D Digital City Modeling

FU Bo, CHEN Shan, ZHANG Jun

(Department of Applied Engineering, Changjiang University of East China  
University of Technology, Fuzhou Jiangxi 344100, China)

**Abstract:** With a library of Fuzhou city in Jiangxi Province as the experimental research area, by using unmanned aerial vehicle (UAV) tilt photogrammetry technology, an acquisition of the aerial image data of the research area according to the planned route thus can be achieved. A research has been conducted on the characteristics of image data acquired by UAV tilt photogrammetry technology and the accuracy of image data processing, with a three-dimensional model built by adopting key technologies, and using Smart3D Capture software. The experimental result shows UAV tilt photogrammetry technology meets the requirements of 3D digital city modeling.

**Keywords:** UAV; oblique photogrammetry; 3D modeling; DEM

## 0 引言

建立具有真实纹理的三维数字城市模型所凸显的市场价值和发展前景逐渐被人们熟知, Smart3D Capture 软件在快速低成本实现精细的三维模型构建、大比例尺数字高程模型 (digital elevation model,

DEM) 的制作以及三维数字模型的可视化展示等方面拥有巨大优势。因此, 本文基于无人机倾斜摄影测量技术的三维数字城市建模方法, 建立实景三维模型, 通过对城市三维建模工作流程和建模精度进行探讨, 为无人机倾斜摄影测量技术在三维数字城市建模中的深入应用提供一定的技术参考。

**收稿日期:** 2018-09-16

**基金项目:** 江西省教育厅科学技术研究基金资助项目 (181522)

**作者简介:** 付博, (1992-), 男, 江西临川人, 东华理工大学长江学院教师, 主要研究方向为控制测量, 无人机测绘, 变形监测, E-mail: 570096517@qq.com

### 1 三维数字城市建模技术方法

#### 1.1 三维数字城市建模技术概述

三维建模技术能够直观展现三维空间的具体信息，在数字城市建模中发挥着重要作用<sup>[1]</sup>。首先，构建物体的三维模型，可以直观、平面、真实、清晰地反映数字城市的具体情况；其次，能够基于二维数据进行重构，将三维视场完美地融入到城市的地理信息建设中；并且，该技术能够有效提高数字城市的数据维护效率，加强用户的体验感，为城市的发展提供便利<sup>[2]</sup>。

#### 1.2 实景三维数字城市模型构建

近年来，随着城市建设的快速发展，许多外观造型复杂及测量精度要求较高的高层建筑物应运而生，建筑物的外形趋向复杂化。如果说简单的建筑物是一个多面体，那么复杂的建筑物就是多个多面体的组合。面对复杂的建筑物，设计者需要建立多个多面体模块组成的建筑物模型，并运用影像密集匹配技术，产生基于真实影像超高密度点云的实景数字表面模型数据<sup>[3]</sup>。图1为实景三维模型建模流程图。

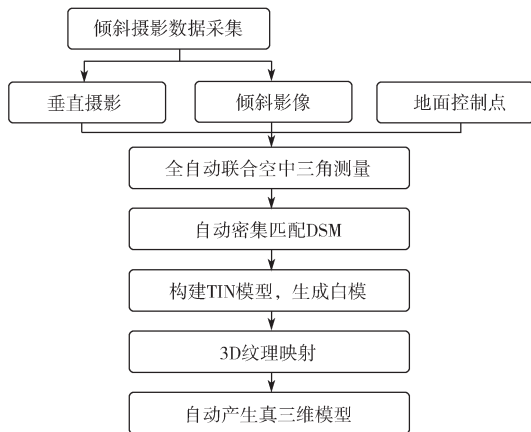


图1 实景三维模型建模流程图

Fig. 1 Real time 3D modeling flow chart

#### 1.3 三维数字模型检测

DEM利用高程信息来说明地面凹凸姿态的集合。该模型一方面可以应用于踏勘设计(主要是平面、断面以及土方量计算)及大面积地物的数据统计中；另一方面，可应用在各种地貌形态的分析中，例如分析地震灾区、洪涝灾区等。具体制作流程如图2所示。

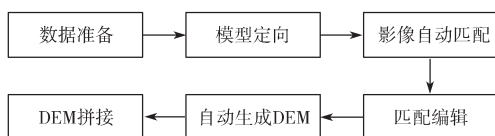


图2 数字高程模型制作流程图

Fig. 2 A flow chart of digital elevation model making

### 2 基于无人机的倾斜摄影测量技术概况

#### 2.1 倾斜摄影测量技术理论及特征

倾斜摄影测量技术(oblique photography technique)主要包括倾斜摄影的数据获取和处理两方面，是摄影测量技术的升级版。该技术在数据采集时通过4个倾角为45°的摄影机和1个垂直摄影机获取影像数据，并与GPS接收机和高精度惯性测量单元(inertial measurement unit, IMU)高度集成，同步记录航速、航高、旁向重叠和航向重叠、坐标等参数<sup>[4]</sup>。在数据处理中，通过系统中集成定位、定姿设备和进行空中三角测量，获得每个图像提供的姿态位置信息<sup>[5]</sup>。此外，倾斜摄影测量技术有4个特点：数据获取简单，受外界环境影响较少；能获得多个视点影像，影像效果真实；数据量小，易于网络发布实现共享应用；影像分辨率高，能够清晰显示建筑物纹理以及地物遮挡现象较少<sup>[6]</sup>。鉴于这些特性，倾斜摄影测量技术通常包括图像预处理、区域网联合平差、多视影像匹配、数字地表模型(digital surface model, DSM)生成、真正射影像纠正、三维建模等关键内容等<sup>[7]</sup>。

#### 2.2 无人机倾斜摄影测量影像采集设计方案

针对传统技术必须从垂直角度拍摄的正射影像的缺陷，无人机倾斜摄影技术突破了传统局限，利用同一飞行平台搭建多台传感器，从5个不同角度采集区域影像，形成符合人眼视觉的真实直观影像效果<sup>[8]</sup>。根据测区的具体情况，确定航摄区域内最高点海拔、最低点海拔和区域平均海拔，以确定满足需要的飞行高度，规划无人机航飞路线，获取相关无人机数据<sup>[9]</sup>。由此可见，无人机的影像数据获取以及航测后的数据处理都有着严格的管理监督和质量控制机制。

#### 2.3 无人机倾斜摄影测量影像采集流程

1) 资料收集和准备。收集所测区域的相关资料，了解研究区域的周边环境和需要注意的事项，为进行航测做好充足的前期工作。

2) 控制点布设、现场摄影。为保障数据的精度，要选择控制点并对其进行测量，在进行航测的同时，应该设计好飞行航线。地面地物是构成城市三维模型的主要信息，也是城市建筑和交通等重要信息。控制点信息可从前期收集的数字地形图或城市规划设计图上获取控制点平面坐标，也可使用专业测量仪器进行重新测定；同时为了记录部分复杂地貌侧面纹理信息，还需用数码相机现场拍照，便于后期查找与比对。

3) 获取影像信息。地面纹理数据信息和地物高

程信息数据可通过航天航空摄影技术获得,如无人机倾斜摄影测量技术。无人机倾斜摄影测量系统<sup>[10]</sup>由飞控系统、地面监控系统、传输系统、地面设备组成。在无人机拍摄前,根据所需要被测地物,设定无人机飞行的航空路线、航摄高度,无人机按照规划的航摄路线拍摄,然后将拍摄的数据信息进行整理,并对影像数据进行质量检查。检查内容包括影像质量、文件格式、影像的重叠度、影像变形及定位定姿系统(position and orientation system, POS)信息与影像对应关系等,若影像符合要求则进一步对获取的航摄影像进行预处理,并将处理后的影像数据成果进行更深入地处理,得到所需成果。

### 3 项目实施

#### 3.1 项目实施内容

基于无人机倾斜摄影测量技术进行城市三维建模是一个复杂的过程,该技术的成熟将推动多领域智能化平台的搭建。本研究以江西省抚州市某图书馆的航空影像数据作为本次研究的对象,对实验区域进行构建三维城市模型,并对无人机倾斜摄影测量技术的特点、摄影野外控制测量方法、三维城市建模关键技术等进行说明和运用<sup>[11]</sup>,重点对三维建模过程中 Smart3D Capture 软件的使用要点及城市三维模型成果精度进行对比分析和探讨。

#### 3.2 实施过程

本次实验采用多旋翼无人机搭载5个镜头倾斜摄影测量模块,航飞高度为100 m,航摄影像分辨率为0.02 m,设置旁向重叠度为40%,航向重叠度为65%。由于续航时间限制,本次实验采用两次连续飞行,第一次飞行规划航测路线6条,第二次飞行规划航测路线8条。图3所示是以坐标系XYZ为参考制作的飞行航线图。

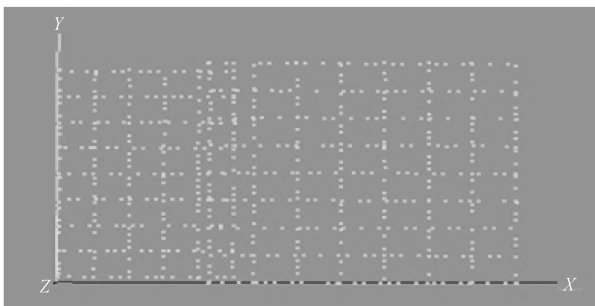


图3 飞行航线

Fig. 3 Flight routes

#### 3.3 三维数字城市建模成果展示

实验共获取航拍照片671张,通过 Smart3D 软件进行相片拼接与处理,得到垂直和倾斜影像数据以

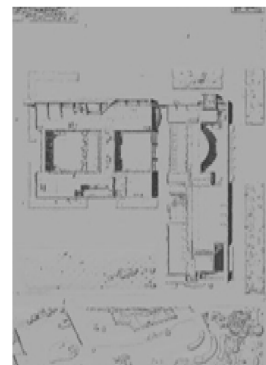
及 POS 数据成果,如图4所示。其中:图4a为研究区域的正射影像;图4b为生成的DEM,其中标注建筑物的不同高度;图4c为利用 Smart3D 软件生成的DSM深度影像。最后,通过 Smart3D 软件生成三维数字模型成果图,如图4d和4e所示。



a) 正射影像



b) DEM 影像



c) DSM 深度影像



d) 模型 1





e) 模型 2

图 4 三维数字模型成果图

Fig. 4 Results of 3D digital model

### 3.4 三维数字模型检测及精度分析

#### 3.4.1 平面精度数据检测

本次研究区域的影像数据图标注了相关测点的

坐标,用不同的颜色标注了测得坐标与实际坐标。图 5 所示是所设控制点的局部截图。

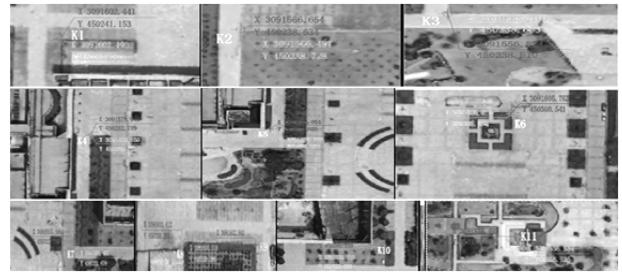


图 5 市图书馆测区控制点位置

Fig. 5 Location of control points in the Municipal Library

影像数据控制点坐标误差分析如表 1 所示。

表 1 控制点坐标误差分析表

Table 1 Coordinate error analysis table of control points

m

编号	正射影像坐标 X	正射影像坐标 Y	测量坐标 X	测量坐标 Y	ΔX	ΔY
K <sub>1</sub>	30 916 602.441	450 241.153	30 916 602.410	450 241.202	0.031	-0.049
K <sub>2</sub>	3 091 566.654	450 238.634	3 091 566.556	450 238.699	0.098	-0.065
K <sub>3</sub>	3 091 556.611	450 238.603	3 091 556.594	450 238.621	0.017	-0.018
K <sub>4</sub>	3 091 578.949	450 282.739	3 091 578.912	450 282.783	0.037	-0.044
K <sub>5</sub>	3 091 558.964	450 280.021	3 091 558.859	450 280.083	0.105	-0.062
K <sub>6</sub>	3 091 606.752	450 308.541	3 091 606.619	450 308.594	0.133	-0.053
K <sub>7</sub>	3 091 555.566	450 322.795	3 091 555.485	450 322.878	0.081	-0.083
K <sub>8</sub>	3 091 603.412	450 350.211	3 091 603.318	450 350.266	0.094	-0.055
K <sub>9</sub>	3 091 602.941	450 369.288	3 091 602.820	450 369.363	0.121	-0.075
K <sub>10</sub>	3 091 559.336	450 365.739	3 091 559.213	450 365.752	0.123	-0.013
K <sub>11</sub>	3 091 536.492	450 358.627	3 091 536.451	450 358.653	0.041	-0.026

其中,平面点位中误差为:

$$M = \sqrt{\frac{\sum(\Delta x^2 + \Delta y^2)}{n-1}} \quad (1)$$

根据式(1)计算的结果,平面中误差 M=0.11 m。该误差在规定平面精度规范要求限差范围内,故航测工程中可以应用 Smart3D Capture 软件系统对航摄影像数据进行处理,此种方法建立的三维模型不仅精度非常高,且模型较为真实。

#### 3.4.2 DEM 数据检测

利用倾斜摄影技术航拍的像片获得研究区域高程点如表 2 所示,高程中误差按式(2)计算:

$$\delta_z = \sqrt{\frac{\Delta_{z1}^2 + \Delta_{z2}^2 + \dots + \Delta_{zn}^2}{n}} \quad (2)$$

式中:δ<sub>z</sub> 为被检验的高程中误差;

n 为检验点的个数;

Δ<sub>zn</sub> 为检验点的高程值与被检验点的高程值之差,也即误差值。

表 2 高程精度分析表

Table 2 Height accuracy analysis table

m

编号	实测检查点的高程	校正后检查点的高程	Δ <sub>zn</sub>
K <sub>1</sub>	40.446	40.445	0.001
K <sub>2</sub>	40.965	40.962	0.003
K <sub>3</sub>	42.699	42.700	-0.001
K <sub>4</sub>	41.467	41.441	0.026
K <sub>5</sub>	43.917	43.906	0.011
K <sub>6</sub>	41.351	40.341	0.010
K <sub>7</sub>	39.977	40.000	-0.001
K <sub>8</sub>	40.057	40.052	0.005
K <sub>9</sub>	39.115	39.102	0.013
K <sub>10</sub>	39.095	39.100	-0.005
K <sub>11</sub>	43.153	43.155	-0.002

根据公式(2)计算出高程中误差 δ<sub>z</sub>=0.042 m。

综上所述,高程中误差为 0.042 m,以 Smart3D Capture 软件进行数据处理是可以达到高程精度规范要求的,因此,在航摄影像上使用 Smart 3D Capture 软件对图像进行拼接,所获得影像及影像数据都是符合实际要求的。



## 4 结语

本研究基于无人机航空摄影测量技术,通过对实验区域影像数据的采集获取,采用Smart3D专业软件,快速实现了该区域的三维实景模型构建,通过对外业采集检查点与模型的对应点三维坐标进行比较,验证了成果模型的绝对精度均可满足相应的规范要求。且获得的三维数字模型还原性高,影像真实,可被应用于的生产和应用中。因此,无人机倾斜摄影测量技术可以满足城市数字三维建模需要。

同时,在实验过程中也延伸出一些思考:无人机自身也有误差,比如成像系统的几何畸变和成像系统的噪声。并且无人机在飞行过程中,也受到地形条件以及天气因素的影响,因此,如何进一步减弱误差影像、提高模型精度值得深入地实验与探讨。同时,在飞行过程中,航拍模式、航拍比例尺与航高对成图质量也有一定的影响,像片的数量是否对模型的精准度有影响,如何最大效率地获取影像数量也是后期需要试验及探讨的关键问题。

本研究仅从建模步骤和模型精度验证方面考虑三维模型的构建,以期为后续相关技术的推进提供一定的参考,并对城市三维建模及三维数据的智能化发展起到积极的促进作用。

### 参考文献:

- [1] 关丽,丁燕杰,张辉,等.面向数字城市建设的三维建模关键技术研究与应用[J].测绘通报,2017(2):90-94.  
GUAN Li, DING Yanjie, ZHANG Hui, et al. Key Technologies Research and Application of 3D Modeling for Digital City Construction[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2017(2): 90-94.
- [2] 李焯.基于倾斜摄影测量技术的三维数字城市建模[J].中国高新区,2018(1):38.  
LI Ye. 3D Digital City Modeling Based on Tilt Photogrammetry[J]. Science & Technology Industry Parks, 2018(1): 38.
- [3] 黄佳彪,熊岳山,何鸿君.基于无人机航拍序列的建筑三维模型重建[J].湖南工业大学学报,2017,31(5):6-10.  
HUANG Jiabiao, XIONG Yueshan, HE Hongjun. Reconstruction of 3D Architectural Model Based on UAV Images[J]. Journal of Hnnan University of Technology, 2017, 31(5): 6-10.
- [4] 曹琳.基于无人机倾斜摄影测量技术的三维建模及其精度分析[D].西安:西安科技大学,2016.  
CAO Lin. Three Dimensional Modeling and Its Precision Analysis Based on UAV Oblique Photogrammetry Technology[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2016.
- [5] 牛鹏涛.基于倾斜摄影测量技术的城市三维建模方法研究[J].价值工程,2014,33(26):224-225.  
NIU Pengtao. On the Urban 3D Modeling Method Based on Oblique Photography Technique[J]. Value Engineering, 2014, 33(26): 224-225.
- [6] 褚杰,盛一楠.无人机倾斜摄影测量技术在城市三维建模及三维数据更新中的应用[J].测绘通报,2017(增刊1):130-135.  
CHU Jie, SHENG Yinan. Application of UAV Tilt Photogrammetry in Urban 3D Modeling and 3D Data Updating[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2017(S1): 130-135.
- [7] 曹晓元.无人机倾斜摄影测量影像处理与三维建模的研究[J].江西建材,2018(1):180,184.  
CAO Xiaoyuan. Research on Image Processing and Three-Dimensional Modeling for Tilt Photogrammetry of UAV[J]. Jiangxi Building Materials, 2018(1): 180, 184.
- [8] 李颀.基于倾斜摄影技术在农村房屋权属调查测量中的应用[J].测绘与空间地理信息,2016,39(6):182-183,186.  
LI Qi. The Application of Oblique Photography Technology in the Rural Housing Surveying[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2016, 39(6): 182-183, 186.
- [9] 杨维,朱文球,张长隆.基于RGB-D相机的无人机快速自主避障[J].湖南工业大学学报,2015,29(6):74-79.  
YANG Wei, ZHU Wenqiu, ZHANG Changlong. A Fast Autonomous Obstacle Avoidance Algorithm Based on RGB-D Camera[J]. Journal of Hnnan University of Technology, 2015, 29(6): 74-79.
- [10] 刘洋.无人机倾斜摄影测量影像处理与三维建模的研究[D].抚州:东华理工大学,2016.  
LIU Yang. Unmanned Aerial Vehicle(UAV) Oblique Photogrammetric Image Processing and 3D Modeling[D]. Fuzhou: East China Institute of Technology, 2016.
- [11] 王静宇.浅谈无人机倾斜摄影测量技术及其应用[J].工程建设与设计,2017(14):200-201.  
WANG Jingyu. Talking About UAV Oblique Photogrammetry Technology and Its Application[J]. Construction & Design for Project, 2017(14): 200-201.

(责任编辑:申剑)