

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2020.01.018

城区倾斜摄影测量数据质量提升方法

马威威¹, 何原荣^{1,2}, 何婷婷³, 冷鹏¹

- (1. 厦门理工学院 计算机与信息工程学院, 福建 厦门 361024;
2. 生态环境及其信息图谱福建省高等学校重点实验室(莆田学院), 福建 莆田 351100;
3. 福建省土木工程建筑行业协会, 福建 厦门 361022)

摘要: 采用多旋翼五镜头无人机获取倾斜数据, 并利用 ContextCapture 软件对城区实景三维模型进行自动化重建。对重建的初始三维模型产生的质量问题进行剖析, 采用影像质量提升、二次补充处理、模型几何修复方法进行模型修复, 消除测区模型模糊、空洞、拉花、精度低等问题, 有效提高了倾斜摄影测量数据质量。

关键词: 无人机; 倾斜摄影; 三维模型; 模型质量

中图分类号: P258

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2020)01-0097-06

Quality improvement method of oblique photogrammetry data in urban areas

MA Weiwei¹, HE Yuanrong^{1,2}, HE Tingting³, LENG Peng¹

- (1. School of Computer and Information Engineering, Xiamen University of Technology, Xiamen 361024, China;
2. Key Laboratory of Ecological Environment and Information Atlas in Colleges and Universities of Fujian Province (Putian University), Putian 351100, China;
3. Civil Engineering and Architectural Association of Fujian Province, Xiamen 361022, China)

Abstract: The multi-rotor five-lens UAV was used to obtain oblique photography data, and then the Context-Capture software was used to reconstruct the real-life 3D model of urban areas automatically. The quality problems of the reconstructed initial 3D model were analyzed. Image quality improvement, secondary supplementary processing and model geometric restoration methods were adopted to repair the model, eliminating such problems as fuzziness, voids, drawing and low accuracy of the model in the measurement area, and effectively improving the quality of oblique photogrammetry data.

Keywords: unmanned aerial vehicle (UAV); oblique photogrammetry; 3D model; model quality

引言

倾斜摄影测量技术通过倾斜、垂直等多角度进行影像数据的采集, 弥补了传统航摄技术的不足, 在军事侦察、文物保护、施工建筑、考古等领域得到了广泛的应用^[1]。美国的 Trimble 公司、Pictometry 公司通过多台同时从不同的角度对同一目标地物进行观测, 很好地突出了地形地物的纹

理特征及立体结构, 弥补了过去只能从垂直角度观测的不足^[2]。Pictometry 公司研发的 EFS/POL 系统, 以色列 Ofek 研发的 Multivision 和 Idan 公司研发的权利器系统, 可以反映出多角度实时观测的目标, 并且有更好图像倾斜入射角度^[3]。

倾斜摄影测量技术在中国的研究起步相对较晚, 继 2010 年第一台中国产的 swdc-5 倾斜摄影相机问世之后, 又有多款倾斜摄影相机被陆续生

收稿日期: 2019-08-31

基金项目: 福建省高等学校重点实验室(莆田学院)开放基金项目(ST19004)

第一作者简介: 马威威(1993-), 男, 福建福鼎人, 硕士研究生, 研究方向: 三维地理信息系统。

通信作者: 何原荣(1977-), 男, 福建龙海人, 教授, 博士, 研究方向: 三维地理信息系统。

产出来。广州红鹏公司 2013 年研发出了一款用于旋翼无人机的倾斜相机 APSS 100,促进了倾斜摄影测量技术的快速发展^[4]。倾斜摄影测量技术的出现,极大程度地提高了中国数字城市的三维重建中“城市高分辨率航空影像数据库”建设的质量和速度,降低了成本^[5]。用户可以在同一地区获取广阔的视角观察不同的影像信息,对影像进行直观量测^[6]。目前中国并没有明确倾斜摄影测量的国家技术标准,如何拍摄出高真实感、高质量的地形地物纹理是倾斜摄影研究的重点^[7-8]。

本研究采用天魁-2 多旋翼五镜头无人机进行数据采集,利用倾斜摄影测量技术进行三维建模,对重建后的城区倾斜三维模型进行质量检查及畸变原因分析。针对模型问题,提出影像质量提升、二次补充处理、模型几何修复方法,最后得到高精度的三维模型。

1 倾斜摄影测量技术及设备

1.1 系统介绍

为了保证获取地形地物的表面纹理,在获取影像数据时相机需要倾斜一定角度。目前五镜头相机是国内比较主流的倾斜摄影系统,搭载 5 台传感器,同时从 1 个垂直、4 个倾斜等 5 个不同角度的方式获取影像数据,而无需转动云台,加快获取数据的效率。近年来市场上也出现了两相机、四相机等多种倾斜摄影系统。

倾斜摄影测量技术是多台传感器搭载在同一飞行平台上,同时从垂直、倾斜等不同角度进行影像采集,获取完整的地形地物表面信息,倾斜角度拍摄的照片叫做斜片,垂直角度拍摄的照片叫做正片,无人机在拍摄时同时精确记录当时的航高、航向、经纬度、航速、俯仰角等地理信息。数据采集完成后将照片添加到 ContextCapture (原 Smart3D) 中,通过空中三角测量加密,重建三维模型。

1.2 数据后处理系统介绍

倾斜摄影测量技术以高精度、高清晰、大范围的方式综合感知复杂场景,弥补传统人工建模仿真的不足,为测绘领域的实际效果和水平精度提供保证,为提升效率带来革命性的改变。目前比较有代表性的技术有 ContextCapture、街景工厂、PhotoScan、Pix4DMapper 等。

采用 ContextCapture 软件进行倾斜数据的处理,生成 OSGB、OBJ、3MX 等格式的三维模型,其技术流程如图 1 所示。

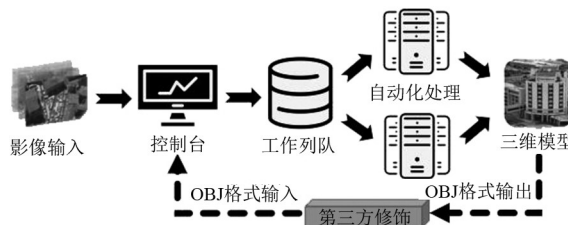


图 1 技术流程图

Fig.1 Technical flowchart

1.3 设备介绍

使用天魁-2 多旋翼五镜头无人机进行数据采集,五相机同时曝光,一次采集 5 张影像,有下视影像,便于空中三角测量和正摄图生成。天魁-2 多旋翼五镜头无人机系统适用于较大载重载荷设备(如三维激光雷达)挂载飞行,在智能飞行驾驶仪控制下自主起飞、空中巡航、起飞点自主降落,操作人员在便携式地面站上实时监控飞机的飞行状态,完成不同载荷对应的飞行任务。天魁-2 多旋翼五镜头无人机相机参数如表 1 所示。

表 1 天魁-2 多旋翼五镜头无人机相机参数

Tab.1 Parameters of multi-rotor five-lens UAV camera Tiankui-2

相机参数	数值
像素/pix	2.0×10^7 万
镜头直径/mm	20
像元大小/ μm	4.25
焦距/mm	20
传感器大小/ $\text{mm} \times \text{mm}$	23.2×15.4

2 模型重建及质量提升

倾斜摄影测量技术基于无人机或大飞机搭载航摄仪通过多角度拍摄来获取影像,再将影像经过相机检校、pos 数据解算、影像预处理、空中三角测量、外业像控、三角格网模型构建以及映射纹理等处理过程,实现城市实景三维模型的自动构建。其中高精度三维模型成果制作技术路线如图

2 所示。

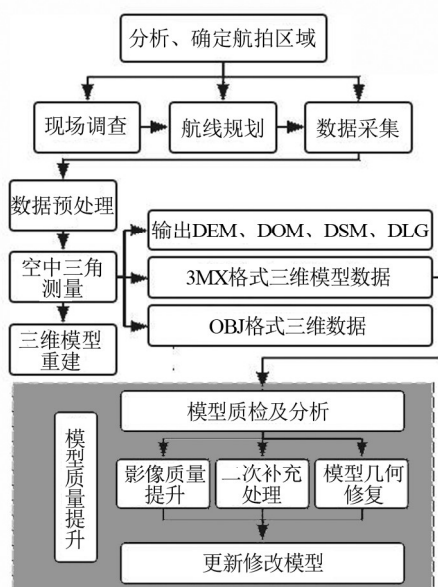


图 2 技术路线图

Fig.2 Technology roadmap

2.1 数据预处理

数据采集主要包括:规划区域影像采集、像控点采集、pos 数据采集。通过确定航拍区域,规划无人机飞行方向、飞行范围、飞行高度、飞行速度、航线航向、重叠度和旁向重叠度等要素。在设置规划完整的航线后,无人机无需手动操作,可根据航线位置智能飞行,并触发相机自主进行影像数据拍摄采集。同时像控点的布设也是倾斜摄影测量里很重要的一个环节,像控点布设的好坏会直接影响三维模型成果的精度,因此外业布设像控点时要注意像控点目标的选择,一般选择房屋脚做控制点。pos 数据包括相片日期和时间、经度、纬度、飞行高度、飞行姿态、航向等信息,pos 数据在飞机航拍时实时记录,可在拍摄结束后连接无人机导出。

数据采集完成后,将 5 个镜头的照片分别放在 5 个不同的文件夹,再对其分别重命名。避免照片重复,有利于后期刺像控点和连接点时寻找照片,同时把 pos 数据命名为对应照片名。

2.2 数据处理

2.2.1 集群运算

随着倾斜摄影测量技术的广泛运用,内业处理的数据量越来越大,集群式倾斜摄影数据处理会比单机式处理快得多,集群可以加快内业建模

效率,更加精准高效。

集群运算是同一局域网中的所有电脑分配任务进行并行运算,首先将一台配置比较高的电脑作为“主脑”,在“主脑”上将照片和 pos 数据进行文件共享,然后在 ContextCapture Settings 中设置任务序列目录为“主脑”共享的文件夹路径。将局域网中的所有电脑进行设置后,重启后即可开始 Smart3D 集群运算。

2.2.2 数据导入

由于使用集群运算,首先需要将新建工程的工程目录选择为“主脑”共享的文件路径。再通过影像目录添加影像,添加所有的照片数据,相对地吧 pos 数据添加到 ContextCapture Master,选择 WGS-84 坐标作为绝对坐标。同时因为没有做像控点计算出来的空中三角测量会发生一定程度的变形,加入像控点能够很好地校正。在两个飞行架次之间添加连接点也有助于电脑能够更好的识别两个架次之间的同名点。最后提交空中三角测量,利用含有 pos 数据的两个架次的照片进行空中三角测量,可以算出每张照片的三维位置,该过程由软件自动进行。

空中三角测量运算后,可以查看数据处理的结果,同时在三维视图目录中可以查看空中三角测量的成果,通过航点可以查看相对应照片的信息,没有问题后即可直接进行三维模型重建。

2.3 三维模型重建

三角测量结束后就能新建重建项目进行三维模型重建,根据需求对空间框架进行选择,坐标系选择 WGS-84/ UTM ZONE 50N,再根据电脑的配置对瓦片的大小进行相应的设置。瓦片越大,对电脑内存的需求就越大。常用的格式有 3MX、OSGB、OBJ 等,本研究采用了 3MX 格式,通常第一次输出 3MX 格式后,后续若要输出其他格式,只要在同一空三下输出时间就会变得很快。纹理压缩可以根据需求进行不同的选择,本研究强调高精度,所以选择 100% 的 JPEG 质量。质量越高数据量就越大,因此电脑处理的时间也会更长。

选择好 WGS-84/ UTM ZONE 50N 坐标系,并且确定输出路径便可以进行三维模型重建。三维模型重建时电脑会通过 ContextCapture 软件进行全自动化的图像处理运算,集群运算速度比单机运算快很多,同时 ContextCapture 在运算时软件界面会显示总进度条,可以在“更多细节”中查看

各瓦块的处理进度。三维模型重建成功后,在 A-cute3D Viewer 中查看模型,以某学院模型为例,如图 3 所示。



图 3 某学院的三维模型

Fig.3 3D model of an university

2.4 三维模型质检及分析

在实际生产应用中,由于地形、设备、大气环境、软件算法等多种因素影响,最后的三维模型成果会出现畸变和错误,给实际工程应用造成阻碍。现以案例的三维模型成果进行畸变及原因分析^[9-10]。

2.4.1 存在问题

通过对三维模型质检,主要存在以下问题:

(1)整体边缘不整齐,出现了锯齿状,整体色彩灰暗。

(2)玻璃建筑物出现破洞,如图 4(a)所示。

(3)模型整体模糊不清,如图 4(b)所示。

(4)模型存在破洞,整体表面玻璃模糊,如图 4(c)所示。

(5)模型底部存在大量破碎瓦片,如图 4(d)所示。

2.4.2 原因分析

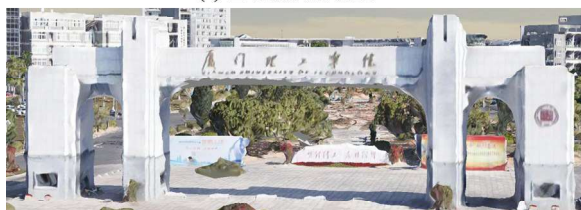
(1)受天气或时段影响,造成影像光照不足或过曝等,引起模型纹理不均匀、昏暗、破洞等问题。

(2)受测区地形影响,造成影像分辨率不足,引起模型边缘平滑等问题。

(3)受航摄飞行姿态颠簸或建筑物高度影响,造成影像重叠度不足、几何畸变,引起模型畸变等问题。



(a) 出现破洞的模型



(b) 模糊的模型



(c) 存在破洞且表面玻璃模糊的模型



(d) 存在破碎瓦片的模型

图 4 三维模型质量检查

Fig.4 Quality inspection of 3D model

(4)受航摄盲区影响,造成区域性影像缺失,引起模型空洞、畸变等问题。

(5)空中三角测量阶段,因影像及 pos 数据质量问题,出现匹配错误及点位不足等情况,引起模型空洞、畸变等问题。

2.5 三维模型质量提升方法

2.5.1 影像质量提升

原始影像数据的质量提升对三维自动建模意义重大,主要通过改善相机平台、相机参数设定、影像预处理过程,提升最终模型质量,减少模型灰

暗、拉花、空洞等问题。

对影像进行预处理软件有:Adobe Lightroom、Adobe Photoshop、Dynamic-Photo HDR、Color Efex Pro 等,其主要是能够批量的对原始影像的色彩空间类型、基础映射方式、亮度对比度、降噪模式、边缘锐化程度等进行修改。其中对影像进行匀光匀色处理能够改善不同航带的衔接计算问题,同时减少计算机修正运算,提升计算效率。

2.5.2 二次补充处理

三维模型产生的空洞、扭曲、粘连、纹理缺失等问题,主要是由于影像分辨率不足、视线遮挡、建筑物密集、丢失纹理等原因造成的,此类大部分问题能够通过测区补拍得到解决。利用小型旋翼无人机或手持相机对测区进行补拍,将补拍数据添加到原工程目录下和原数据再次进行空中三角测量,选择合适参数,模型重建完成后即可进行下一步修饰。对于重点建模测区可以将补拍的数据单独建模,再利用 Geomagic 软件对最终模型进行替换。

2.5.3 模型几何修复

通过基础数据的提升,三维模型还存在一定的空洞、扭曲等问题,则需选择相关模型修复软件对模型进行修正。利用 OSketch、SVSModeler、3DMax、Geomagic Studio、RealityPaint、Meshmixer 等相关软件功能对模型进行空洞修补、凸包整平、细部整饰、模型替换、水面修复等工作,能够有效对模型进行修复。

利用上述提出的各种基于无人机倾斜摄影测量成果的城市三维模型质量提升方法,对上文构建的三维模型进行质量提升验证。模型检查后,针对不同的问题使用不同方法进行修复。例如:将原始影像进行匀光匀色,使得整体图像色彩更加丰满美观(见图 5);利用补拍数据单独建模,并使用 Geomagic 软件将新模型与旧模型进行位置矫正,完成精修替换(见图 6);将玻璃破碎的瓦片通过 Geomagic 软件删除破碎块,再利用“搭桥工具”将破洞分为很多个小的破洞,再挨个“填充”,完成玻璃破洞修复(见图 7)。通过实例验证,使用上述模型质量提升方法能够显著提高三维模型质量。



图 5 修复效果图

Fig.5 Repair effect diagram



图 6 模型替换

Fig.6 Model replacement



图 7 圆盘楼修复前后对比

Fig.7 Pre-and post-repair comparison of the disk building

3 总结

以某学院作为案例,对重建后的城区倾斜三维模型进行质量检查及畸变原因分析。针对模型问题,提出影像质量提升、二次补充处理、模型几何修复方法。并以上文重建的城区三维模型为研究对象,利用提出的模型质量提升方法对其验证,结果表明模型中的明显缺陷及不足得到改善,显著提高了模型质量,为其能够应用在更高要求的场合提供一定的借鉴。

参考文献:

- [1] SMITH M. A photogrammetric system for archaeological mapping using oblique non-metric photography[J]. The Photogram-

metric Record, 2006, 13(73): 95–105.

- [2] WEINBERGER P. Better, stronger, faster: how oblique aerial imagery is changing the face of transportation planning[C]// 10th National Conference on Transportation Planning for Small and Medium-Sized Communities. Nashville Tennessee: [s.n.] 2006.
- [3] 宋碧波. 倾斜航空实景影像系统构建关键技术研究[D]. 焦作: 河南理工大学, 2012.
- [4] 李镇洲, 张学之. 基于倾斜摄影测量技术快速建立城市 3 维模型研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2012, 35(4): 117–119.
- [5] 李德仁, 刘立坤, 邵振峰. 集成倾斜航空摄影测量和地面移动测量技术的城市环境监测[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2015, 40(4): 427–435, 443.
- [6] 邓非, 张祖勋, 张剑清. 基于序列影像的城市三维建模[J]. 计算机工程, 2007, 33(8): 208–209, 212.
- [7] 康志忠. 数字城市中街道景观主体三维可视化的快速实现研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2004.
- [8] 叶思奇. 基于倾斜摄影的多目标纹理最优化研究[D]. 桂林: 桂林理工大学, 2017.
- [9] 陈志华, 张俊贤, 张克铭, 等. 云南高速公路无人机倾斜摄影测量实景三维模型建立方法改进及精度提高[J]. 测绘通报, 2019(S1): 275–279.
- [10] 连蓉, 丁忆, 罗鼎, 等. 倾斜摄影与近景摄影相结合的山地城市实景三维精细化重建与单体化研究[J]. 测绘通报, 2017(11): 128–132.

(责任编辑: 方素华)

(上接第 91 页)

- [9] POLJAK S, TUZA Z. Bipartite subgraphs of triangle-free graphs[J]. SIAM Journal on Discrete Mathematics, 1994, 7(2): 307–313.
- [10] SHEARER J. A note on bipartite subgraphs of triangle-free graphs[J]. Random Structures & Algorithms, 1992, 3(2): 223–226.
- [11] ALON N, KRIVELEVICH M, SUDAKOV B. Maxcut in H-free graphs[J]. Combinatorics, Probability and Computing, 2005, 14(5/6): 629–647.
- [12] ZENG Q, HOU J. Bipartite subgraphs of H-free graphs[J]. Bulletin of the Australian Mathematical Society, 2017, 96: 1–13.
- [13] ZENG Q, HOU J. Maximum cuts of graphs with forbidden cycles[J]. Ars Mathematica Contemporanea, 2018, 15(1): 147–160.
- [14] LOCKE S. Maximum k-colorable subgraphs[J]. Journal of Graph Theory, 1982, 6(2): 123–132.
- [15] ERDÖS P, GYÁRFÁS A, KOHAYAKAWA Y. The size of the largest bipartite subgraphs[J]. Discrete Mathematics, 1997, 177(1/2/3): 267–271.
- [16] ALON N, KRIVELEVICH M, SUDAKOV B. Turán numbers of bipartite graphs and related Ramseytype questions[J]. Combinatorics, Probability and Computing, 2003, 12(5/6): 477–494.
- [17] BONDY A, SIMONOVITS M. Cycles of even length in graphs[J]. Journal of Combinatorial Theory: Series B, 1974, 16(2): 97–105.

(责任编辑: 陈 雯)