

基于无人机摄影测量技术的三维建模研究*

——东江森林公园高精度三维建模研究及应用

黎新宇¹ 莫基琳²

(1. 广东省东江林场, 广东 河源 517465; 2. 广州地理研究所, 广东 广州 510070)

摘要 为提高森林景观三维模拟的真实性和实用性, 为林区精细化巡查、景观规划和森林经营管理提供可靠依据, 以广东省东江森林公园为例, 基于无人机低空倾斜摄影测量高精度、高分辨率、灵活性强和不受复杂地形影响等特点, 将无人机低空摄影测量系统应用到森林资源精准调查。文章阐述了垂直起降固定翼无人机的运用和 DEM、DOM 及三维真实空间场景的制作方法, 实现对 45 km² 大范围公园的三维真实场景重建。实践结果表明: (1) 同常规的遥感调查方法相比, 该方法不仅能够获取更高分辨率和更高精度的林区调查基础数据, 而且还提高了其时效性及可靠性; (2) 构建的森林公园三维真实空间场景突破了传统的二维解译技术, 提高了森林公园环境解译的精确度及准确度。

关键词 固定翼无人机; 三维模型; 东江林场

中图分类号: P237 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2018) 06-0103-05

Three-Dimensional Modeling Research Based on UAV Photogrammetry Technology——High-precision 3D Modeling Research and Application of Dongjiang Forest Park

LI Xinyu¹ MO Jilin²

(1. Guangdong Dongjiang Forest Field, Heyuan, Guangdong 517465, China; 2. Guangzhou Institute of Geography, Guangzhou, Guangdong 510070, China)

Abstract This paper not only aims to improve the authenticity and practicability of the three-dimensional simulation of forest landscape, but also provides a reliable basis for the detailed inspection, landscape planning and forest management of forest. The paper takes the application in the Dongjiang forest park as an example. It uses unmanned aerial vehicle based low-altitude photographic system. The system can obtain high-precision, high-resolution and high-altitude remote sensing images and has the advantage of flexibility and freedom from complex topography. This paper applies the system to the forest resources fine survey. The paper describes the application of vertical take-off and landing fixed-wing UAV and the method of DEM, DOM and three-dimensional real space scene. It realizes the reconstruction of the 45 km² large-scale park's three-dimensional real scenet. The practice results show that: (1) compared with the conventional remote sensing investigation method, this method not only obtains higher-resolution and higher precision basic data for forest area survey, but also improves its efficacy and reliability; (2) three-dimensional real space scene of the forest park breaks through the traditional two-dimensional interpretation method, improves the precision and accuracy of the forest park.

Key words fixed wing UAV; 3d model; Dongjiang forest field

* 基金项目: 广东省科学院实施创新驱动发展能力建设专项 (2017GDASCX-0101, 2017GDASCX-0601); 广东省引进创新创业团队项目 (2016ZT06D336); 广东省重大科技专项 (2017B010117008); 广州市科技计划项目 (201604016047, 201806010106); 广州市水务科技项目 (SW-2018-001)

第一作者: 黎新宇 (1972—), 男, 高级工程师, 主要从事森林生态, 林业资源保护相关工作, E-mail: 601035608@qq.com。

随着科技的不断发展,三维建模已被广泛应用于各个行业^[1-3],包括测绘测量、地理信息系统、教学展示、城市规划、建筑建设、游戏制作、智慧城市、智慧景区、古文物数字化存档保护等。

传统的手工建模有着与地形图匹配程度高、位置精度高、建筑物与地表分界清晰的优势,但传统的遥感影像数据主要来源于垂直或倾角很小的卫星影像或航空影像,这些影像数据大部分只有地物的顶部信息,缺少地物的侧面信息,不利于三维真实场景的建立,并且这些影像上地物熔体产生变形及遮挡压盖问题,不利于后期的数据处理。其生成的模型是静态的模型,并由于费时费力,难以应用于大范围尺度的三维建模中。

倾斜摄影建模技术可以真实地反映出地物的侧面详细轮廓及纹理信息,为三维实体模型的构建提供了数据基础。利用倾斜航空摄影测量技术,可以快速地构建出三维实体模型,简化了地物纹理采集和处理方法^[4]。由于其模型感官真实性强,外业采集效率高,建模自动化程度高,与传统的手工建模相比更省时省力,故得到更广泛地应用。

无人机三维实景模型具有高精度、高分辨率、高清晰度的特点:(1)成本低,空域限制小,能完成很多载人飞机或者人工摄影无法执行的拍摄任务^[5]。(2)无人机飞行高度较低,搭载高分辨率相机能获取高分辨率的影像,能得到高精度的三维城市模型。(3)与正射影像相比,倾斜摄影从多个角度展示地物,可以更清晰地反映地物的真实信息。在无人机影像数据收集方式中,多旋翼无人机拥有飞行速度慢,飞行距离较短,环绕建筑拍摄难度高的特点;而固定翼无人机续航时间长,飞行速度快,飞行高度高,可实现全自动飞行、一键起降。

为了对森林资源进行精细调查,本文以广东省东江森林公园为例,采用垂直起降固定翼无人机获取高分辨率航空影像数据,通过空中三角测量方法完成三维模型的构建。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

广东省东江林场场部在河源市古竹镇,是省林业厅直属的正处级事业单位。林场前身是“国营东江林场”,建立于1963年。目前主要从事森林资源培育、保护,以及森林资源的合理利用。

林场经营总面积为7 839.9 hm²,林业用地面积为7 695.9 hm²,其中,生态公益林4 618.9 hm²,商品林面积3 077 hm²^[6]。

广东省东江森林公园位于广东省东江林场桂林工区内,座落于河源市江东新区东部的东江河畔中游,总面积1 962.5 hm²。地理位置为114° 40' 27" ~114° 46' 24" E, 23° 33' 58" ~23° 39' 21" N。东江森林公园具有丰富的自然、人文景观及可供开发的项目,吸引了社会各界人士前来开发旅游及休闲度假。

1.2 试验设备

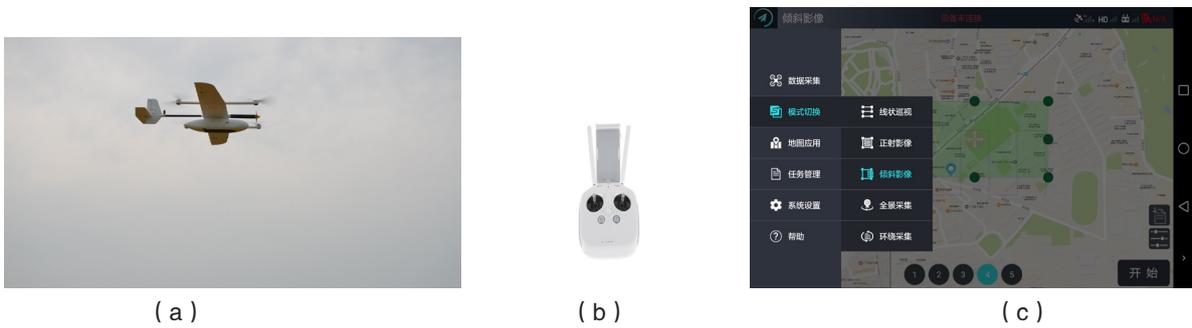
无人机低空摄影测量系统主要包括3部分:空中部分、地面部分以及数据处理部分^[7]。空中部分包括无人机、遥感传感器系统、无人机控制系统,地面部分包括无人机地面控制系统、数据展示系统,数据处理部分包括数据预处理和相应成果制作,其中,主要部分为空中部分和地面部分。本文所采用的无人机是中国成都纵横大鹏无人机科技有限公司生产的电动垂直起降固定翼无人机——CW-10 大鹏,所采用的控制系统是易飞智能控制终端,系统内置多种飞行模式,并提前进行航线规划(图1)。

无人机低空摄影测量系统搭载了高分辨率相机,可以获取地物的低空多角度高分辨率影像,便于后期三维模型的构建。该系统具有自动化、机动性强、影像精度高的特点,可以迅速采集多角度、高分辨率的遥感影像。与传统的影像采集方式相比,垂直起降固定翼摄影测量系统拥有智能化、高效率以及低成本的优势。

1.3 三维模型构建方法

1.3.1 森林公园数据采集 目前国内搭载在无人机上的航拍仪器基本上都是由一个正射的角度以及多个倾斜角度集成起来,通过这种方式可以大幅提高作业效率^[8]。2017年12月,对东江森林公园开展无人机航拍工作。所采用的无人机参数如表1所示。利用易飞智能控制终端进行航线规划,按照低空数字航空摄影规范^[9]的要求进行航线的规划设计,航向重叠度和旁向重叠度设置为70%和80%,海拔为400 m。通过无人机搭载高分辨率相机,获得了高分辨率的低空遥感影像,其影像分辨率达到了6 cm。

由于航拍面积约为40 km²,范围较广,并且森林覆盖率大,要求航拍获取的遥感影像航向重



注：(a) CW-10 大鹏电动垂直起降固定翼无人机；(b) 无人机遥控器；(c) 易飞智能控制终端
 (a) CW-10 Dapeng electric vertical takeoff and landing fixed-wing UAV (b) The remote control of UAV (c) Yifei intelligent control terminal

图 1 无人机低空摄影测量系统

Figure 1 Unmanned aerial vehicle based low-altitude photographic system

叠度为 70%，旁向重叠度为 80%，所以无人机作业的工作量大。并且由于无人机飞行时间需控制在 1 h，使用无人机低空摄影测量系统无法在一个架次完成航拍工作，需要分多个架次进行作业。无人机作业的航迹图如图 2 所示。

1.3.2 数据预处理 对无人机摄影测量系统获得的影像数据进行观察对比发现，影像之间可能存在色彩和亮度的差别。造成这一现象的原因可能是天气或相机本身的问题，所以要对获得的影像数据进行匀色处理，以确保后期处理成果具有良

好的纹理、亮度和色相等特征。

通过无人机摄影测量系统获得的影像数据存在一些异常值，在构建三维模型前需要对所获得的数据进行预处理，剔除异常值，并建立数据库。
 1.3.3 模型构建 为了将无序的影像数据在空间中相互对齐且构建与真实状态相近的空间模型，需要对影像数据进行空三加密处理^[10]。软件会大量地计算提取影像的特征点，并对得到的特征点进行多视角匹配同名点，然后反向解算出影像的空间位置和姿态角度，从而确定影像间的关系。

表 1 CW-10 大鹏电动垂直起降固定翼无人机主要参数

Table 1 Main parameters of CW-10 Dapeng electric vertical takeoff and landing fixed-wing UAV

项目 Project	参数 Parameter	项目 Project	参数 Parameter
飞行总重 /kg Total weight	12	任务载荷 /kg Max payload	1~2
巡航速度 / (m · s ⁻¹) Cruising speed	20	最大飞行速度 / (m · s ⁻¹) Max flying speed	30
续航时间 /h Battery life	1.5	抗风能力 / 级 Wind loading rating	5

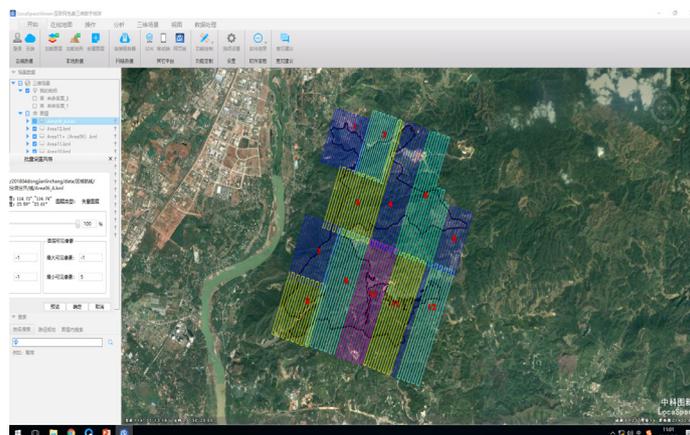


图 2 东江森林公园航迹

Figure 2 Track map of Dongjiang forest park

空三加密完成后,可以在软件可视化地显示其计算成果,得到影像所覆盖的范围方位角、飞行情况、解算出空三点的位位置密度等信息。空三加密成果如图3所示。

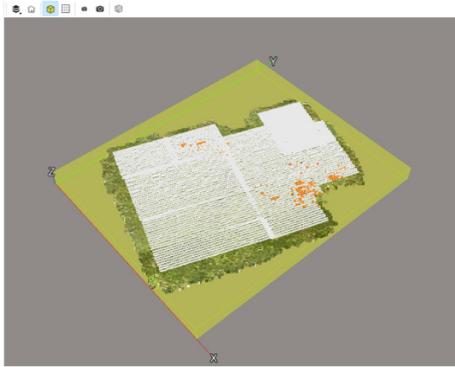


图3 空三加密成果

Figure 3 The result of aerial triangulation

空三加密完成后,需要开始加入像控点。在空三加密之后加入像控点,则需再进行一次空三加密;若像控点在空三加密前就加入到软件中,就无需再一次进行空三加密。像控点加密主要有3个作用:(1)有利于提高空三加密过程中影像匹配的速度和精度;(2)对空中三角测量成果进行控制加密;(3)对建模成果起坐标转换的作用。像控点加入后成果图如图4所示。

软件在进行模型构建前,会基于计算机的性能,将建模项目分割成若干个瓦片进行单独的重建。模型构建分为密集点云生成、Tin模型构建及纹理自动映射3个步骤。软件根据空中三角测量的运算结果,通过多视影像密集匹配获得高密度的数字点云。由于密集点云数据量大,需要将数据分块进行模型构建。对分块后的数据进行不同层次细节度下的 TIN 模型构建,然后根据三角网

所构成曲面的曲率变化对 TIN 模型数据进行简化。将 TIN 模型和从航片里选取的最合适的纹理影像进行贴合,最后输出纹理逼真的实景三维模型。

2 结果与分析

2.1 模型精度分析

为了对生成的东江森林公园实景三维模型的精度进行评价,通过软件自动生成的精度报告中了解到:空间三角测量加密结果最大水平误差为 0.881 3 m,中误差为 0.793 6 m;最大垂直误差为 1.050 9 m,中误差为 0.340 4。这些误差符合《数字航空摄影测量空中三角测量规范》的要求^[1]。此次精度评价表明,无人机低空摄影测量系统可以满足林场精细调查研究的精度要求。

2.2 模型成果与应用

从东江森林公园实景三维模型中可以看出(图5):东江森公园的实景三维模型几何特征完成,在拉伸到分辨率相符的高度查看模型时,没有出现明显变形、拉花等,地物几何信息得到完整表达;模型纹理与地物贴合,没有色彩不一致、明暗度不一致、纹理不清晰等。现场复核表明:东江森林公园实景三维模型与现场相符。

通过东江森林公园实景三维模型可以看出:东江森林公园林木资源丰富,林木生长、分布密集;并且公园毗邻东江河道,林区地域内水系也十分丰富,主要分布在林区的东部和南部,形成大小各异的湖泊,丰富林区景色。

通过无人机摄影测量系统获得的实景三维模型可以从宏观展示公园信息,与人工局部调查相比,能从一个人工无法获得的角度展示林区的整

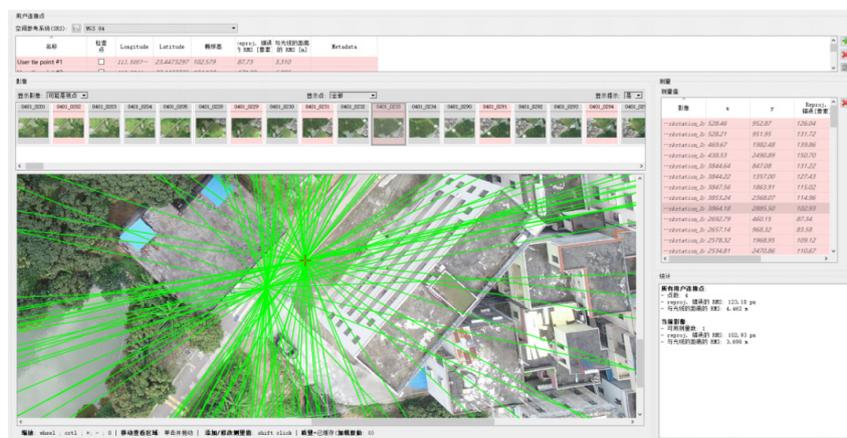


图4 像控点加入后成果

Figure 4 The result image after adding control point



图5 东江森林公园实景三维模型

Figure 5 3D model of the real scene of Dongjiang forest park

体信息。若将实景三维模型与人工调查相结合，更有利于管理人员对森林公园进行规划管理。并且通过实景三维模型，可以了解到公园中存在的合理或不美观的自然资源分布，为管理人员对其进行重新规划提供有力帮助。

3 结论与讨论

通过倾斜摄影测量建模技术可以快速地构建出飞行区域的高精度三维实景模型，360°无死角地展示林区的真实场景。不仅可以获取林区的详细正面信息，还可以获取林区侧面详细的轮廓信息和纹理信息，可以清晰地看出公园林木的类型分布、区域范围、所处的地形地貌，可以准确地辨识出公园的形态特征。同时，也对公园环境的监测、分析具有重要意义。

(1) 由于公园范围广，森林对地物的覆盖率高，这对调查人员数据的采集带来极大的不便，也增加了三维模型构建的难度。使用无人机低空摄影测量系统不仅减轻调查人员的工作负担，而且获取的高分辨率遥感影像更有利于高精度三维模型的构建。

(2) 无人机低空摄影测量系统获取的高精度、高分辨率的DEM和DOM，不仅降低了调查人员的劳动强度和作业难度，提高了林区调查的工作效率，而且还提高了林区调查基础数据的时效性及可靠性。

(3) 构建的公园三维真实场景，突破了传统的二维解译技术，提高了公园环境解译的精度及准确度，为以后研究林场环境动态演变提供了数

据支持，极大程度地降低了区域性多期数据获取的难度和成本。

参考文献

- [1] 张晖, 刘超, 李妍, 等. 基于CityEngine的建筑物三维建模技术研究[J]. 测绘通报, 2014(11): 108-112.
- [2] 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(S1): 130-135.
- [3] 何原荣, 郑渊茂, 潘火平, 等. 基于点云数据的复杂建筑体真三维建模与应用[J]. 遥感技术与应用, 2016, 31(6): 1091-1099.
- [4] 李安福, 曾政祥, 吴晓明. 浅析国内倾斜摄影技术的发展[J]. 测绘与空间地理信息, 2014, 37(9): 57-59;62.
- [5] 曲林, 冯洋, 支玲美, 等. 基于无人机倾斜摄影数据的实景三维建模研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2015, 38(3): 38-39;43.
- [6] 陈耀辉. 广东省东江林场森林资源状况与森林质量精准提升技术探讨[J]. 林业勘查设计, 2017(1): 31-33.
- [7] 王帅永, 唐川, 何敬, 等. 无人机在强震区地质灾害精细调查中的应用研究[J]. 工程地质学报, 2016, 24(4): 713-719.
- [8] 戴竹红, 李柳兴, 邹发东. 基于Smart3D的实景三维建模与应用[J]. 广西城镇建设, 2015(4): 113-115.
- [9] 国家测绘局. CH/Z3005-2010 低空数字航空摄影规范[M]. 北京: 测绘出版社, 2010.
- [10] 范攀峰, 李露露. 基于Smart3D的低空无人机倾斜摄影实景三维建模研究[J]. 测绘通报, 2017(S2): 77-81.
- [11] 余忠迪, 李辉, 巴芳, 等. 基于消费者级无人机的城市三维建模[J]. 国土资源遥感, 2018(2): 67-72.