

高速路高精度倾斜摄影测量及精度评定

周靖鸿¹, 王维², 邓勇¹, 杨学彬¹, 李明¹

¹中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司, 湖南 长沙

²广东省交通规划设计研究院股份有限公司, 广东 广州

Email: 18874091280@163.com

收稿日期: 2020年12月31日; 录用日期: 2021年1月19日; 发布日期: 2021年1月26日

摘要

为满足高精度三维设计的需求, 对高速路设计区交通枢纽进行高精度无人机倾斜摄影测量, 通过专业软件进行数据处理, 获得最终高精度的实景三维模型。利用航飞前布置测设的检查点对模型精度进行总体检查, 检查结果满足高精度要求, 证明了倾斜摄影测量可应用于高精度的三维设计当中。为三维设计及组织施工提供可靠的基础地理信息数据。

关键词

倾斜摄影测量, 三维建模, 实景三维模型, 精度评定

Expressway High Precision Oblique Photogrammetry and Accuracy Evaluation

Jinghong Zhou¹, Wei Wang², Yong Deng¹, Xuebin Yang¹, Ming Li¹

¹Powerchina Zhongnan Engineering Corporation Limited, Changsha Hunan

²Guangdong Communication Planning & Design Institute Co., Ltd., Guangzhou Guangdong

Email: 18874091280@163.com

Received: Dec. 31st, 2020; accepted: Jan. 19th, 2021; published: Jan. 26th, 2021

Abstract

In order to meet the demand of 3d design of expressway, high-precision UVA oblique photogrammetry was carried out on the traffic hub in the design area of expressway, and data processing was carried out by professional software to obtain the final high-precision 3d real scene model. The results of the overall inspection of the model precision are obtained by using the inspection points

文章引用: 周靖鸿, 王维, 邓勇, 杨学彬, 李明. 高速路高精度倾斜摄影测量及精度评定[J]. 测绘科学技术, 2021, 9(1): 7-13. DOI: 10.12677/gst.2021.91002

of the pre-flight test arrangement, which meet the requirements of high precision. It is proved that the oblique photogrammetry can be applied to the high-precision 3d design, providing reliable basic geographic information data for 3d design and construction.

Keywords

Oblique Photogrammetry, 3d Modeling, Live 3d Model, Precision Evaluation

Copyright © 2021 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

随着无人机技术的快速发展,测绘技术得到不断的革命性更新。利用无人机飞行平台的倾斜摄影测量技术是近年来发展迅速、应用广泛、快速高效的实景三维数据获取手段,在三维建模、城市规划、工程测量等领域有着良好的应用前景[1]。与传统人工建模相比,倾斜摄影测量所建三维实景模型具有纹理丰富、真实、视觉效果好、坐标精度高等优势。

激光扫描测量、倾斜摄影测量等新兴测绘地理信息技术是数字三维测绘的关键技术,其产品主要为三维模型,可满足工程建设的数字化、信息化、三维化需求。尤其是倾斜摄影测量技术,是测绘地理信息行业新近发展起来的一项高新技术,其解决了激光扫描建模方式周期长、成本高、纹理失真、模型精度低、模型精细度低等缺点,可以快速建立实景三维模型,以真实反应地理空间,且可通过先进的定位技术,嵌入精确的地理信息和更丰富的影像信息[2] [3] [4],可将客观世界真实、准确地数字化再现,为精细查勘、宣传展示、规划设计、工程数字化建设、检查验收等提供资料,也可进行工程出图(如地形图、专题图)和工程量测(如立面测量、地形图测绘、检测等)等应用拓展[5] [6] [7]。

同时随着技术的发展,越来越多的工程实践者结合工程实际利用新技术手段来推动工程领域的发展[8] [9] [10],使得工程测绘技术在实际生产过程中保证技术要求的同时,数据采集的手段不断多样化、方式不断先进、成果不断丰富,同时一定程度的提高了生产效率,解放了劳动生产力,降低了生产成本,对工程领域的提质增效具有现实意义。

为保证倾斜模型的精度,本文通过对中开高速路设计的新沙枢纽和三江互通工程区的精度进行严格控制,对建好的三维模型,采用预先独立布设的检查点分别检验模型的平面及高程精度,以确保模型为工程建设服务。

2. 倾斜摄影测量原理

倾斜摄影测量就是通过无人机搭载多拼相机获取地面多方位、多视角的影像数据,原理还是基于摄影测量原理,常见的有双拼、三拼、五拼等多种,但目前最常见的还是五拼相机,这样既克服了双拼等其他形式相机摆动致使数据不稳定或飞机平台不稳定等因素,又符合人类前后左右这多方位逻辑性,便于后期内业人员数据处理。所以目前最主流的相机拼接方式是前后左右四个长焦镜头加上下视正镜头共五镜头组成,外形构造如下图1所示。

五镜头相机搭载在无人机平台上,再加上搭载相机的无人机平台与地面站,一起构成了倾斜摄影数据采集系统,如下图2所示。



Figure 1. Five oblique photographic camera
图 1. 五镜头倾斜相机



Figure 2. UAV oblique photography data acquisition system
图 2. 无人机倾斜摄影数据采集系统

3. 工程项目实施

3.1. 项目概况

中开高速设计是从中山至开平段，全长 200 多公里，整个设计路段大部分位于城市郊区，地形地貌较为复杂。本项目计划实验整个路段中的新沙枢纽和三江互通工程区域，倾斜摄影测量范围内的两个交通枢纽区域涉及到了厂房、施工区、高速路、农田、村镇等，地形地貌具有代表性，可较好的反应整个高速路段的现场情况。同时，相对于郊区不规则的地形地貌区域，传统建模方式是不能反应现场的实际情况，也无法为三维设计提供较好的基础数据。相比之下，倾斜摄影测量完全可以克服传统的弊端，且整个高速路区域，视野开阔，航飞情况良好，航飞效率可大幅提高。

3.2. 数据获取及预处理

根据中开高速路新沙枢纽和三江互通工程区域的实际情况，设计外业无人机倾斜数据获取共计 24 个架次；相对行高均为 100 m，航向重叠为 85%、旁向重叠 75%，影像分辨率优于 3 cm，均匀布设 17 个像控点分布整个测区，为检查模型的最终精度，同时布设了 17 个检查点用于检查模型的平面及高程数据的精度，检查点不参与像控点的刺点及空三解算，单独作为精度检查数据。

航线规划过程中，行高设计是根据无人机所搭载五镜头相机的分辨率、像元大小、焦距等内部参数及项目所需要的 3 cm 分辨率精度进行确定，确定依据根据摄影测量学中影像分辨率与航高的数学关系如下：

$$\frac{f}{H} = \frac{u}{R}$$

其中 f 表示镜头焦距, H 表示航高, u 表示相机的像元尺寸, R 表示影像分辨率。从以上公式可以看出, 决定影像分辨率的主要因素就是镜头焦距、像元尺寸和航高, 当相机型号固定时, 镜头焦距和像元尺寸都已确定, 影响分辨率的因素只有航高。航高越高, 影像分辨率的值越大, 影像质量就越差。

飞行确定后, 无人机航线规划最重要的参数为航向及旁向重叠度, 由于 CCC 软件规定了航向及旁向重叠度均不能低于 70%, 根据项目经验重叠度分别设置为 85% 与 75%, 同时由于无人机单架次航飞面积及项目总作业面积可以计算出航飞的架次数量, 这些都可以通过无人机航线规划软件计算得出准确结果。

利用 GPS/IMU 模块获得曝光点的位置及姿态信息作为影像的 POS 数据, 精准的 POS 数据有利于 Context Capture Center (简称 CCC) 软件 4.4 版本辅助空三平差时的计算, 提高模型建模精准度。原始数据进行整理, POS 数据与影像数据一一对应。

3.3. 倾斜摄影测量建模

数据预处理完成后, 通过 Context Capture Center Master 端加载相应的影像数据与 POS 信息, 以进行下一步操作。三维建模生产的主要技术流程可见图 3 所示。

本文中像控点为航空摄影测量影像地面控制点, 用 GPS 接收机连接千寻或者 CORS 基站等测出固定解, 两次求均值获得; 检查点与像控点测量方式完全一致, 仅不参加内业的空三计算和模型重建过程, 专门用于模型建立完成后对模型精度进行检查的点; 空三计算为摄影测量空中三角测量计算, 是立体摄影测量中, 根据少量的野外控制点, 在室内进行控制点加密, 求得加密点的高程和平面位置的测量方法。其主要目的是为缺少野外控制点的地区测图提供绝对定向的控制点。刺点是刺设像控点的简称, 是指在原始影像上找到外业测量的像控点并刺设输入对应测量的坐标值的过程, 是为空三计算提供定位定向的依据与初步数值, 保证模型的整体坐标精度与模型质量。

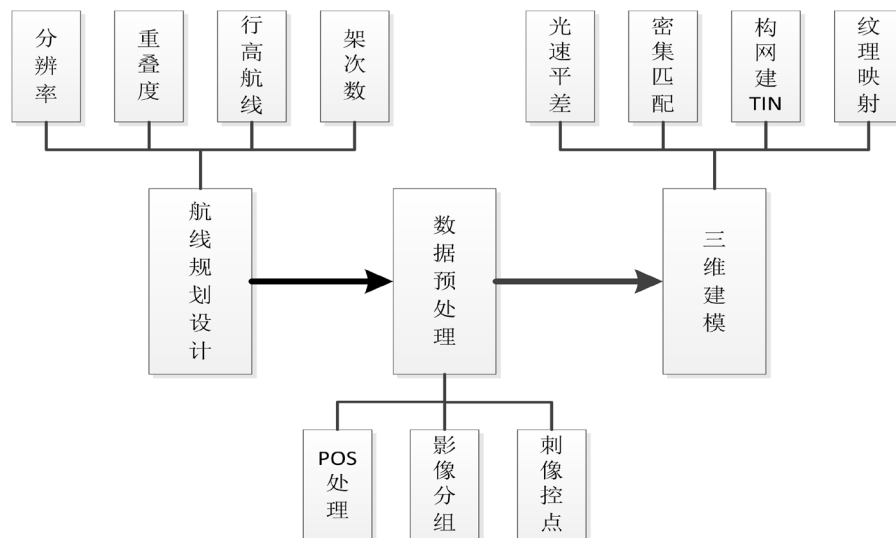


Figure 3. 3d model production flow chart

图 3. 三维模型生产流程图

模型建立效果如下图 4 和图 5 所示:



Figure 4. Overall and locally 3D real scene models of Xinsha Junction area
图 4. 新沙枢纽区整体及局部倾斜三维实景模型



Figure 5. Overall and locally 3D real scene models of Sanjiang Interchange Area
图 5. 三江互通区整体及局部倾斜三维实景模型

4. 模型精度评定

本文通过单独测设 GPS 检查点的方式进行模型精度检查，检查点为现场单独测量的 GPS 点，不用于实景三维模型重建过程中。待模型定位定向重建完成后，通过检查点与从模型上拾取的对应于检查点位置的点位坐标进行对比，就可以检查模型的坐标精度与质量。

本项目在航飞区域内均匀布设了 17 个坐标检查点，可同时检查模型的平面坐标及高程坐标精度，坐

标检查点平均分布在测区范围内，且独立于像控点不进入刺点及空三计算。两块区域坐标检查及高程检查的结果如表 1 及表 2 所示。

Table 1. Accuracy evaluation of regional tilt model of Xinsha Hub
表 1. 新沙枢纽区域倾斜模型精度评定

点号	Dx (m)	Dy (m)	Ds (m)	Dh (m)
J1	-0.019	0.004	0.019	0.062
J2	-0.019	-0.024	0.030	0.036
J3	-0.037	-0.021	0.042	0.024
J4	0.044	-0.021	0.049	-0.014
J5	0.057	0.031	0.065	-0.159
J6	0.011	-0.033	0.035	0.075
J7	0.031	-0.015	0.034	0.089
J8	-0.012	-0.001	0.012	0.135
J9	0.047	0.011	0.048	-0.135
STDEV	0.035	0.020	0.016	0.100

Table 2. Accuracy evaluation of regional tilt model for Sanjiang Interchange Area
表 2. 三江互通区域倾斜模型精度评定

点号	Dx (m)	Dy (m)	Ds (m)	Dh (m)
J1	-0.020	-0.020	0.028	0.135
J2	0.061	-0.019	0.064	0.066
J3	-0.031	0.001	0.031	0.084
J4	0.031	0.019	0.036	0.041
J5	0.050	0.090	0.103	0.124
J6	0.038	-0.023	0.044	0.105
J7	-0.009	-0.009	0.013	0.103
STDEV	0.034	0.081	0.064	0.105

通过坐标检查点可以看到，倾斜模型上量得的 16 个典型坐标点(其中有一个检查点由于人为破坏不计入统计)，其平面位置与实际坐标差基本在厘米数量级，平面位置可以满足 1:500 的地形图测图要求；高程点的检查结果可以看到，高程检查点与实测点的高程差相比坐标的位置相差相对较大，但基本在 10 cm 以内，同时也有几个高程检查点的精度超过了该值，但总体来看高程检查点的精度差别都不大，可以满足大比例尺地形图测图要求。

通过实际结果可以看出：1) 倾斜摄影航线规划中航向及旁向重叠度相比传统航空摄影测量而言较高，这样才能提取更多特征点，使得倾斜摄影测量影像匹配更加精确，三维建模精度更高；2) 无人机 POS 数据必须与影像数据一一对应，这样才能为获得的倾斜影像数据提供一个准确的初始位置，便于空三计算生成高密度、高精度点云数据；3) 倾斜摄影测量像控点必须合理分布、测量准确，这样才能给模型以精准的绝对定位定向，且像控点的分布需要结合实际工程项目需要进行不测；4) CCC 软件封装了高效精准

的计算方法、重建方法，为三维实景建模提供了可靠的计算平台。

5. 结语

通过实际工程项目，对倾斜摄影测量三维实景建模技术进行了精度评定，在测绘技术发展的现在，倾斜摄影测量通过无人机搭载倾斜相机对地面进行三维实景建模，利用传统摄影测量的原理，可获得高精度的三维地面实景模型，定量分析了模型的实际精度，并证明了模型可满足大比例尺地形图测量，相比传统测量而言，解放了人力，提高了效率，降低了成本，可广泛服务于测绘领域。

参考文献

- [1] 孙宏伟. 基于倾斜摄影测量技术的三维数字城市建模[J]. 现代测绘, 2014(1): 18-21.
- [2] 张平, 刘怡, 蒋红兵. 基于倾斜摄影测量技术的“数字资阳”三维建模及精度评定[J]. 测绘, 2014(3): 115-118.
- [3] Gruen, A., Zhang, L. and Wang, X. (2003) 3D City Modeling with TLS (Three Line Scanner) Data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, **34**, 24-27.
- [4] Fruh, C. and Zakhor, A. (2003) Constructing 3D City Models by Merging Aerial and Ground Views. *IEEE Computer Graphics and Applications*, **23**, 52-61. <https://doi.org/10.1109/MCG.2003.1242382>
- [5] 熊俊华, 方源敏, 付亚梁, 等. 机载 LIDAR 数据的建筑物三维重建技术[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(1): 189-192.
- [6] 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(26) 224-225.
- [7] 张春森, 张卫龙, 郭丙轩, 刘健辰, 李明. 倾斜影像的三维纹理快速重建[J]. 测绘学报, 2015(7): 782-790.
- [8] 马旭文, 徐柳华. 基于倾斜摄影三维模型的大比例尺地形图测图软件比较与分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2020, 43(2): 57-59+62.
- [9] 吴飞宇. 倾斜摄影测量在城市规划中的应用探讨[J]. 测绘与空间地理信息, 2019, 42(7): 211-213.
- [10] 韩宇. 基于旋翼无人机倾斜摄影测量的城市三维实景建模研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2019, 42(4): 175-178.