

空地联合建模方法在河道景观提升工程中的应用

孙瑶 曹梦成

【深圳市水务规划设计院股份有限公司】

摘要:

无人机倾斜摄影测量技术具有效率高、成本低、机动灵活等特点,但存在一定的局限性,由于无人机飞行高度及相机摄影角度为定值,所建模型容易出现空洞和缺失的问题,这对无人机倾斜三维模型的广泛应用造成一定影响。本文采用空地联合建模方法对某河道景观提升工程区域进行精细化建模,较好的解决了倾斜三维模型关键部位出现空洞和缺失的问题,得到具有高精度和高精细度的实景三维模型,为河道区域的精细化建模提供技术方案。

关键词:

无人机倾斜摄影测量; 倾斜三维模型; 河道景观提升; 空地联合; 精细化建模

无人机倾斜摄影测量技术充分的结合了无人机在航测领域的低成本、低空域、所获影像分辨率高、机动灵活的特点和倾斜摄影测量技术在三维建模方面方便、廉价和高效的突出优势,为三维建模提供便捷高效的道路。近年来,无人机倾斜摄影测量发展迅速,已经广泛的应用于工程建设、智慧城市、安保消防等领域。目前以五镜头的倾斜相机已经成为主流,国内众多厂商都纷纷推出了高集成度的五镜头产品,极大的推动了无人机倾斜摄影测量在国内的发展。

对于景观提升工程,项目建设区域内的建构筑物对工程方案设计具有决定性的影响,在工程设计阶段获取精准的建构筑物的空间位置和外部轮廓信息显得尤为重要。在河道景观设计中,常见对方案设计存在影响的建构筑物有跨河桥梁和河边高压线塔等,在利用无人机倾斜摄影测量技术对跨河桥梁和高压线塔进行模型重建时,受无人机飞行高度及相机拍摄角度的限制,容易出现以下两点问题:

(1) 河边高压线塔由于结构复杂而且塔架的连接钢条纤细光滑,模型重建较为困难,容易出现模型缺失;

(2) 跨河桥梁底部属于无人机低空摄影的盲区,通常会出现模型漏洞、纹理拉花、模型扭曲等现象。

本文探究了空地联合建模方法,通过无人机低空倾斜摄影与超低空补拍的联合拍摄的方式,获取

目标地物详尽的结构与纹理信息,基于实景三维建模软件 Context Capture 与修模软件 DP-model,实现项目区域精细化建模,而后分析模型精度。

1 基本原理和技术路线

于无人机航摄倾斜影像三维建模的关键技术包括影像预处理、多视影像匹配,区域网联合平差,密集点云匹配,三维点云构网,纹理重建等步骤。

影像预处理包括剔除有云雾遮挡和像移过大的影像,以及对影像进行重命名和匀光匀色处理。

多视影像匹配为模型重建程序中的核心环节,常用的影像匹配方法大多为基于特征的影像匹配方法,如 SIFT 和 ASIFT 特征匹配, SIFT 算子对影像间的平移、旋转,影像间的尺度相异和影像间的亮度变化具有很好的适应性, ASIFT 算子则对于视角不同、存在仿射变形的倾斜影像具有良好的匹配效果⁰。

基于影像的间的连接点,通过区域网平差后得到精准的影像外方位元素,再进行密集匹配,常见的密集匹配的算法有:带共线条件约束的多片最小二乘影像匹配、基于多基元多影像匹配、基于物方面元的多视立体(Patch-based Multi-view Stereo, PMVS)等多种算法,其中 PMVS 算法重建的效果相对较好,该算法为现阶段三维重建中使用频率较高的密集匹配算法⁰。在密集匹配生成的点云的基础上进行构网,经过平滑和简化等处理,即生

成物体表面的三维几何模型又称 3D TIN 模型。对影像进行筛选、优化处理后,将纹理映射到白膜上,生成高精度真三维模型。最后通过修模软件将模型进行融合,实现精细化建模。

具体技术路线如图 1 所示:

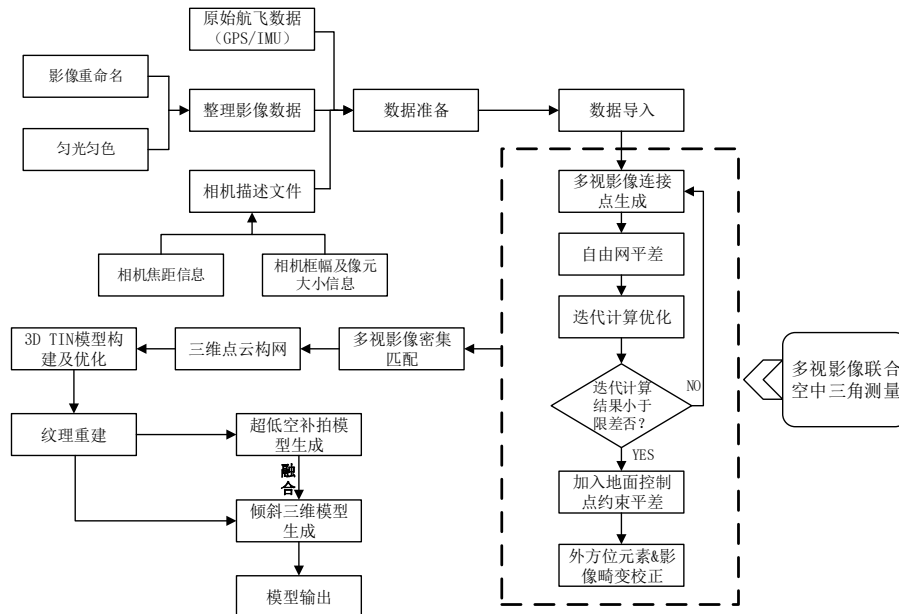


图 1 技术路线

2 项目区域分析与数据采集

2.1 工程背景及概况

屯梓河碧道工程位于深圳市龙岗区坪地街道,地处与惠州市交界处。本次工程范围共计 2.2km²,项目区域内共计有 15 座高压线塔,两座跨河桥,其中一座为深圳外环高速跨河桥,另一座为盐龙大道跨河桥。本工程为我单位打造的精品工程,要求提供高精度及高精细度的三维模型成果数据,为景观方案设计提供基础地形资料。



图 2 测区范围

2.2 无人机选型

2.2.1 低空倾斜摄影无人机

国内无人机市场上无人机种类繁多,运用较为广泛的有:多旋翼、固定翼和垂直起降固定翼。对于不同的应用场景需选取相应的机型,在河道景观提升工程项目中,对模型精度和精细度要求高,则要求影像分辨率大,相机的曝光点高度需要足够低。当无人机飞行高度降到一定高度时,为保障飞行安全,飞行速度不可过快。另,规范中规定:在曝光瞬间造成的像点位移一般不应大于 0.5 个像素,最大不应大于 1 个像素。目前市面上主流的五镜头相机下视相机的焦距为 25mm,像元大小为 3.91 μm,当飞机的飞行高度为 140m 时,地面影像分辨率为 2.2cm,由像点位移计算公式:

$$\delta = \frac{v \times t}{R} \quad (1)$$

式中, δ 表示像点位移,单位为个像素; v 为航摄飞机飞行速度,单位为 m/s; t 为相机曝光时间,单位为 s; R 为地面分辨率 (GSD),单位为 m。

当相机曝光时间为 1/1000S 时,飞行速度的上限为 11m/s;

当相机曝光时间为 1/1500S 时,飞行速度上限为 16.1 m/s。

非量测型的普通数码相机曝光时间相对固定,要控制影像像移符合规范要求,只能降低无人机的飞行速度。

由上可知,项目对飞行平台的需求为:飞行速度慢、飞行高度低、安全性高。多旋翼无人机对飞行速度无要求,可空中悬停,而飞行高度可根据需求实时调整,且飞行安全性相对较高,其在小区域河道景观提升工程的航测任务中,相对于固定翼无人机具有无可比拟的优势。

综上,此项目选择多旋翼无人机作为运载平台。

2.2.2 超低空摄影无人机

作为低空倾斜摄影的补充,需具备:稳定、灵活、操纵性强,具有定位定姿功能。本次采用大疆精灵 4RTK 执行补拍任务。

2.3 外业数据获取

2.3.1 低空倾斜摄影

根据项目需求,重建整个项目范围内的实景三维模型。采用飞马 D2000 型四旋翼无人机执行倾斜摄影任务,采用变高飞行的作业模式,获取测区范围内的无人机倾斜影像。倾斜摄影任务设置的航向重叠度为 80%,旁向重叠度为 75%。相对航高设置为 140m,影像地面分辨率为 2.2cm,测区下游部分采用井字形飞行。共获取影像 3.8 万张。在测区中均匀布设了 11 个像控点,像控点间距约为 1km,采用网络 RTK 施测。



图 3 无人机倾斜摄影航线

2.3.2 超低空补拍

补拍采用手动遥控无人机的方式。对测区内 5 座高压线塔进行上下和环绕飞行补拍,由于高压线

塔有高压线东西方向穿过,无人机先于塔顶上方环绕飞行拍摄,环绕飞行采用渐近降高式不断靠近高压线塔,镜头与水平的夹角保持约为 45 度,拍照时保持高压线塔始终位于照片的中间位置。再采用无人机于高压线塔南侧和北侧各以距离高压线塔约 15m 处上下移动飞行的方式拍摄,上下飞行时镜头与水平的夹角调整为 30 度左右,同时保证电塔的东和北两个侧面及西和南两个侧面都有足够的纹理和结构信息记录在影像中,相机曝光位置如图 4 所示。

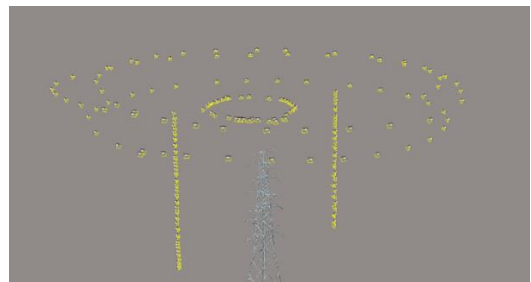


图 4 高压线塔超低空补拍相机曝光位置

对于 2 座跨河桥体的补拍,无人机沿桥体左右两侧分别以仰视、平视、斜俯视以及正俯视 4 个视角对桥体进行拍摄。斜俯视拍摄时镜头与水平面的夹角保持约为 45 度,仰视拍摄时保持镜头与水平面的夹角约为 30 度,平视和仰视拍摄时,保持无人机与桥体的距离 15m 左右,斜俯视和正俯视拍摄时使无人机与桥体的距离保持在 40m 左右。通过不同视角的拍摄,充分获取桥梁的各个部位的纹理及结构信息,相机曝光位置如图 5 所示。

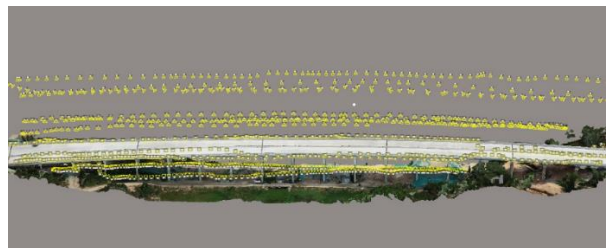


图 5 跨河桥梁超低空补拍相机曝光位置

通过人工控制无人机的飞行方向与飞行速度,使得两张相邻影像具有一定重叠度,航向和旁向都保持在 60-80%之间。补拍影像共计 4944 张,并在补拍的每座桥梁和高压线塔周边均匀布设 4 个像控标靶作为像控点,采用网络 RTK 施测像控点坐标。

3 影像后处理

目前主流的建模软件有美国 Bentley 旗下的 Context Capture 软件,俄罗斯 Agisoft LLC 公司

的 PhotoScan 软件,近两年,国内也有大疆智图、上海瞰景公司的 Smart 3D 等建模软件。本项目采用 Context Capture 软件,该软件以高度集成化的特点,给操作人员带来极大便利。

3.1 空中三角测量

空中三角测量目的为还原相机在每次曝光时所得影像间的姿态关系,首先通过影像的匹配算法得出影像间一定数量的连接点,再关联影像之间的连接点,构建自由网,最后利用区域网平差的方法通过迭代计算出解算出每张影像的精确外方位元素,为后续建模流程提供精确的参数。

无人机倾斜摄影时,飞机按预定的航线飞行,相机曝光位置规律性强,影像间重叠度变动幅度小,一般情况下倾斜影像在 Context Capture 中可顺利完成空三测量。

而超低空补拍是由人工操控无人机的方式完成,无人机姿态变化较大,导致相机曝光位置较为杂乱,规律性较差,且影像间重叠度变化较大,加剧了影像间匹配的难度,补拍影像在 Context Capture 中难以完成空中三角测量,容易出现错位、分层,如图 6 所示。在通用的建模处理软件中 PhotoScan 的空三功能要强于 Context Capture,此处我们采用 PhotoScan 进行空三,得到补拍影像精准的外方位元素,如图 7 所示。

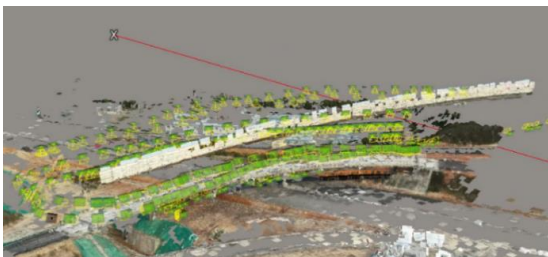


图 6 空三成果错位分层

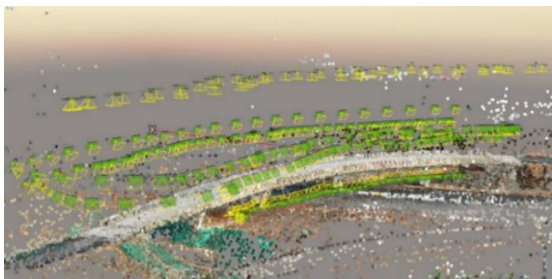


图 7 空三成果计算成功

3.2 空地联合三维模型重建

经空三计算后,分别对倾斜影像和补拍影像进

行建模,同时生成 OSGB 及 OBJ 格式的模型文件,以便于后期模型修饰和模型间的融合。

单采用倾斜影像生产的模型成果,由于飞机飞行高度高,相机摄影角度固定的原因,造成倾斜影像中高压线塔的纹理及结构信息不够充足,导致高压线塔模型塔顶缺失,如图 9 所示;倾斜影像存在摄影盲区则致使桥梁模型底部出现空洞、变形,如图 10 所示。



图 8 无人机倾斜三维模型成果



图 9 高压线塔模型塔顶部分缺失



图 10 跨河桥梁模型底部空洞

将超低空补拍影像的空三成果从 PhotoScan 中导出,再导入 Context Capture 中进行建模,需注意在采用 Context Capture 软件对超低空补拍影像建模过程中,要将补拍所建模型的坐标原点设置为与倾斜三维模型坐标原点一致,便于后期在 DP-Modeler 中对倾斜三维模型上的相应部位进行替换,使得补拍模型与倾斜三维模型无缝贴合,实现空地联合建模。得到的模型如图 11 所示:



图 11 空地联合建模成果

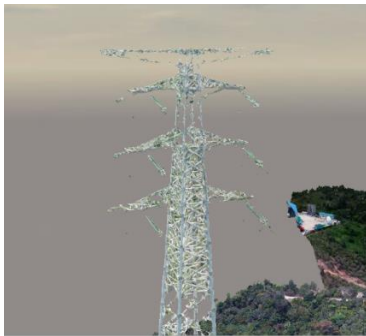


图 12 高压线塔模型



图 13 跨河桥梁模型

由图 12 可看出，采用超低空补拍的影像含有高压线塔丰富的纹理和结构信息，所得高压线塔模型较为完整，图 13 可看出，空地联合建模很好的解决了跨河桥梁模型空洞、纹理拉花的问题。最终生成模型中的桥梁底部和高压线塔的外部轮廓及空间位置信息得到很好的展现，为该工程的景观方案设计提供了精准的基础数据。

3.2 模型精度分析

在本项目实施中采用 RTK 施测了项目区域内的部分地物点坐标，并与模型中提取相应位置的坐标进行对比，对比结果如表 1 所示，模型的平面位置中误差为 0.06m，高程中误差为 0.07m，模型整体优于 1:500 测图精度，满足景观方案设计所需的精度要求。

表 1 模型精度对比表（单位：m）

点号	类型	RTK 实测坐标			模型量取坐标			差值		
		x	y	h	x	y	h	Δx	Δy	Δh
1	路角	45534.14	141871.02	36.68	45534.06	141871.05	36.61	-0.09	0.02	-0.07
2	井盖	45593.55	141917.19	34.83	45593.52	141917.10	34.89	-0.03	-0.09	0.06
3	路角	45689.42	141764.70	36.61	45689.40	141764.67	36.67	-0.02	-0.03	0.06
4	加固坎角	45917.08	141681.84	35.08	45917.13	141681.90	35.13	0.05	0.06	0.05
5	坎角点	45902.10	141684.73	33.61	45902.14	141684.75	33.65	0.04	0.02	0.04
6	路角	47857.25	141461.01	41.74	47857.27	141460.98	41.82	0.02	-0.03	0.08
7	路角	47831.40	141504.95	41.69	47831.42	141504.89	41.76	0.02	-0.06	0.07
8	路角	47832.00	141473.13	41.73	47831.99	141473.10	41.77	-0.01	-0.03	0.04
9	井盖	45771.86	141732.95	32.62	45771.86	141732.87	32.69	0.00	-0.08	0.07
10	楼梯角	45795.25	141750.90	36.48	45795.29	141750.86	36.56	0.04	-0.04	0.08
11	楼梯角	45745.48	141770.16	36.41	45745.53	141770.12	36.44	0.05	-0.04	0.03
12	加固坎角	45565.64	141887.10	31.75	45565.56	141887.09	31.86	-0.08	-0.01	0.11
13	井盖	45548.96	141862.54	36.33	45548.96	141862.61	36.42	0.00	0.07	0.09

14	井盖	47941.17	141407.53	42.72	47941.17	141407.56	42.77	0.00	0.03	0.05
15	路角	47935.82	141425.32	42.39	47935.74	141425.34	42.43	-0.08	0.02	0.04
中误差								0.04	0.05	0.07

4 结语

本文从实际出发,探讨了多旋翼无人机在小区大比例尺航摄中的优势,分析了空地联合建模方法在项目中的实际运用,有效的解决了由于无人机飞行高度高和相机存在摄影盲区所导致的模型空洞、拉花和缺失的问题,生成的三维模型很好的展现了测区的全貌,地物细节得到了较好的表达,为碧道工程的景观方案设计提供了真实可靠的模型数据,也为河道区域的精细化建模提供了重要参考。

参考文献:

- [1]张春森,张卫龙,郭丙轩,等. 倾斜影像的三维纹理快速重建[J]. 测绘学报, 2015, 44(07):782-790.
- [2]田野,向宇,高峰,等. 利用 Pictometry 倾斜摄影技术进行全自动快速三维实景城市生产——以常州市三维实景城市生产为例[J]. 测绘通报, 2013, (02):59-62+66.
- [3]周晓敏,孟晓林,张雪萍,等. 倾斜摄影测量的城市真三维模型构建方法[J]. 测绘科学, 2016, 41(09):159-163.
- [4]肖雄武,郭丙轩,李德仁,等. 一种具有仿射不变性的倾斜影像快速匹配方法[J]. 测绘学报, 2015, 44(04):414-421.
- [5]李煜东. 无人机倾斜摄影技术在大型水利桥闸除险加固工程中的应用[J]. 水利规划与设计, 2019(11):133-136.
- [6]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.
- [7]卞敏,徐亮,骆元鹏,等. 空地一体精细化三维模型构建方法[J]. 测绘通报, 2019(07):83-86.
- [8]王双亭,程锬锬,刘晓龙. 一种基于多视倾斜影像的 PMVS 改进算法[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2015, 34(01):59-63.
- [9]杨荣帮. 无人机倾斜摄影测量在城市更新中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2021, 44(07):217-220.
- [10]倪标,王铮尧. 一种倾斜影像密集匹配算法的设计与实

现[J]. 地理空间信息, 2020, 18(07):66-69+7.

[11]刘尚蔚,李闯,魏群. 面向水利工程的空地一体三维重建方法研究[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2020, 41(06):73-77+84.