



CORS基站在低空无人机PPK技术处理中的应用研究

周烽松, 楚彬, 曾翔强

CORS station application research in low-altitude UAV PPK technology processing

ZHOU Fengsong, CHU Bin, and ZENG Xiangqiang

引用本文:

周烽松, 楚彬, 曾翔强. CORS基站在低空无人机PPK技术处理中的应用研究[J]. *全球定位系统*, 2022, 47(1): 93–97. DOI: [10.12265/j.gnss.2021091701](https://doi.org/10.12265/j.gnss.2021091701)

ZHOU Fengsong, CHU Bin, ZENG Xiangqiang. CORS station application research in low-altitude UAV PPK technology processing[J]. *Gnss World of China*, 2022, 47(1): 93–97. DOI: [10.12265/j.gnss.2021091701](https://doi.org/10.12265/j.gnss.2021091701)

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12265/j.gnss.2021091701>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[基于GPS / BDS组合系统实现航测无人机动态定位](#)

Aerial UAV kinematic positioning using combined GPS / BDS system
全球定位系统. 2019, 44(3): 105–110

[基于无人机影像的建筑物实景三维建模方法](#)

3D modeling method for real scene of buildings based on UAV image
全球定位系统. 2019, 44(5): 100–105

[基于三次样条插值实现无人机高动态运动轨迹插值](#)

3D-coordinate interpolation for UAV high dynamic positioning based on cubic spline interpolation
全球定位系统. 2020, 45(1): 37–42

[无人机软连接吊舱的伪卫星定位算法研究](#)

Dynamic Positioning for Flexible Pods of UAV Based on Pseudolites
全球定位系统. 2018, 43(4): 1–7

[无人机GNSS诱骗与反诱骗技术论述](#)

Spoofing and anti-spoofing technology of UAV in GNSS
全球定位系统. 2020, 45(3): 37–40

[无人机机载相机曝光时刻摄影中心三维坐标高精度插值算法研究](#)

Research on high precision interpolation algorithms for 3D coordinates of projection center of UAV at exposure time
全球定位系统. 2019, 44(6): 75–80



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.12265/j.gnss.2021091701

CORS 基站在低空无人机 PPK 技术处理中的应用研究

周烽松, 楚彬, 曾翔强

(湖南省测绘科技研究所, 长沙 410007)

摘要: 传统无人机应用动态后处理 (PPK) 技术时需要临时架设地面基站, 增加外业工作负担. 以大疆精灵 4 实时动态定位 (RTK) 无人机为研究对象, 利用不同距离连续运行参考站 (CORS) 基站、地面基站的数据参与无人机 PPK 技术, 并与无人机 RTK 处理成果进行对比分析. 结果表明: CORS 基站相关成果受距离影响明显, 离实验区域近时, 其精度略低于实验区架设基站和无人机 RTK 模式获取的成果, 可以满足 1:1 000 比例尺测图要求. 该成果对降低外业工作强度和减少外业工作流程有着一定的意义.

关键词: 无人机; 动态后处理 (PPK); 连续运行参考站 (CORS); 实时动态定位 (RTK)

中图分类号: P228.4

文献标志码: A

文章编号: 1008-9268(2022)01-0093-05

0 引言

随着低空消费型无人机飞控和全球卫星导航系统 (GNSS) 模块集成技术的飞速发展, 有效地解决了传统测量技术难以高效、全面获取地形数据的困难, 形成了对传统航空摄影的有效补充. 并以其快捷方便、价格低廉、机动灵活及功能多样等优势在工程建设、应急响应、应急处理、国土监测、资源开发、新基建等方面已成为获取地形成果数据的重要手段, 提供基准的数据支持^[1-5].

现有低空无人机 POS 位置数据是通过 GNSS 模块进行实时动态定位 (RTK) 测量获取, 而 RTK 技术易受地物遮挡、作业距离等因素影响造成 RTK 失锁, 进而导致 POS 位置数据精度较差, 生成的地形影像数据畸变差较大. 因此众多学者使用动态后处理 (PPK) 技术来保证 POS 数据精度和成果精度. 文献 [6-7] 在研究应用中使用 PPK 校正减少了现场地面控制的时间; 文献 [8] 在作业区架设基站利用 PPK 技术, 完成无人机 POS 数据解算, 实现了林业摄影测量中的免像控应用; 文献 [9] 在作业区架设基站结合 PPK 技术获取高精度 POS 数据辅助空三测量,

完成了 1:500 比例尺的免像控测图工作; 文献 [10] 为进一步降低工作负担, 提出利用单基站连续运行参考站 (CORS) 数据完成无人机倾斜摄影测量 POS 数据的 PPK 技术处理, 分析构建三维实景模型精度.

但是, 上述研究中未详细考虑 CORS 基站与作业区域之间距离变化对 PPK 数据处理的精度影响. 针对该问题, 本文研究探讨了不同距离情况下 CORS 单基站数据对无人机 PPK 数据解算和成果数据的影响, 并与无人机 RTK 模式下获取的数据及实测数据进行对比分析.

1 原理与实验方法

1.1 实验原理

研究采用的低空无人机为大疆精灵 4 RTK 无人机, 其 POS 系统集成 GNSS 定位技术、惯性导航系统 (INS) 和云台于一体, 可直接获得航摄相片的空间位置和姿态角引入到摄影测量区域网平差模型, 解算出影像的角元素和线元素. 但由于该无人机搭载 GNSS 模块, 易受工作区域地形、建筑等因素影响无人机与遥控器的通信, 进而降低 RTK 固定率, 甚至变成单点解, 降低最终数据的解算精度. 而 PPK 技术是以基站

收稿日期: 2021-09-17

资助项目: 湖南省科技创新平台与人才计划 (2018TP2040); 湖南省自然资源科技计划项目 (2020-01, 2020-02); 湖南省国土测绘项目 (HNGTCH-2021-08); 长沙市自然科学基金资助项目 (kq2014161)

通信作者: 楚彬 E-mail: chubin@whu.edu.cn

数据为参照,能利用后处理动态差分方法修正低空无人机位置数据,获取无人机摄影瞬间的摄影中心的线元素.因此可以利用 CORS 基站数据参与无人机在单点解模式下 PPK 的计算工作,提升 POS 数据精度,进而提升线元素精度,其工作原理如图 1 所示.

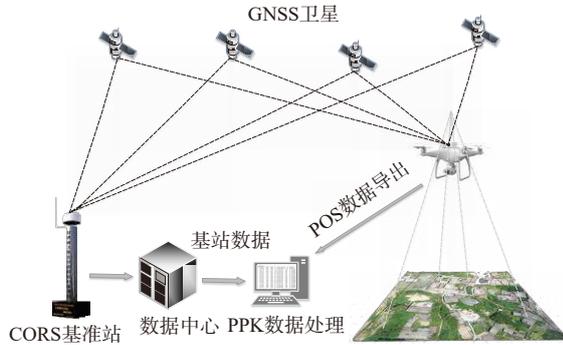


图 1 CORS 基站参与无人机 PPK 技术示意图

在利用 PPK 技术获取高精度 POS 数据后,即可使用 POS 辅助光束法区域网平差完成无人机影像空三处理,影像角元素、线元素和 POS 数据的函数关系如下.

$$\begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{GNSS}} - \left(\mathbf{R} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{\text{GNSS}} + \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix} \times (t - t_0) \right). \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix} = \lambda \mathbf{R}^T \left(\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix} \right). \quad (2)$$

式中: (X_S, Y_S, Z_S) 为实际曝光时刻投影中心坐标; \mathbf{R} 为 3 个角元素构成的正交变换矩阵; $(x, y, -f)$ 为像点在像空间坐标系下的坐标值; $(X, Y, Z)_{\text{GNSS}}$ 为 t 时刻的摄站位置; (X, Y, Z) 为像点在像辅助坐标系下的坐标; $(x, y, z)_{\text{GNSS}}$ 为天线相位中心坐标; (a_x, a_y, a_z) 和 (b_x, b_y, b_z) 分布为线性偏移系统误差改正中固定参数与随时间变化参数^[7].

1.2 实验流程

在实验中,将首先使用精灵 4 RTK 无人机对同一实验区域完成 RTK 模式和 GPS 模式的两次影像数据采集工作,并实地测量检核点.同时为分析 CORS 基站与工作区域距离对 PPK 计算的影响,本研究在实验中选取了距实验区域 20 km、10 km 的 CORS 基站卫星采集数据和在实验区域内架设与 CORS 基站同型号的地面基站进行卫星数据采集,并分别参与无人机 GPS 模式下的 PPK 解算.然后将上述三种 PPK 解算结果更新于无人机 GPS 模式获取 POS 数据中,进行 DOM 与 DSM 的数据生成.最后与 RTK 模式下生成的 DOM、DSM 及实测检核点的位置坐标进行对比分析.具体技术路线如图 2 所示.

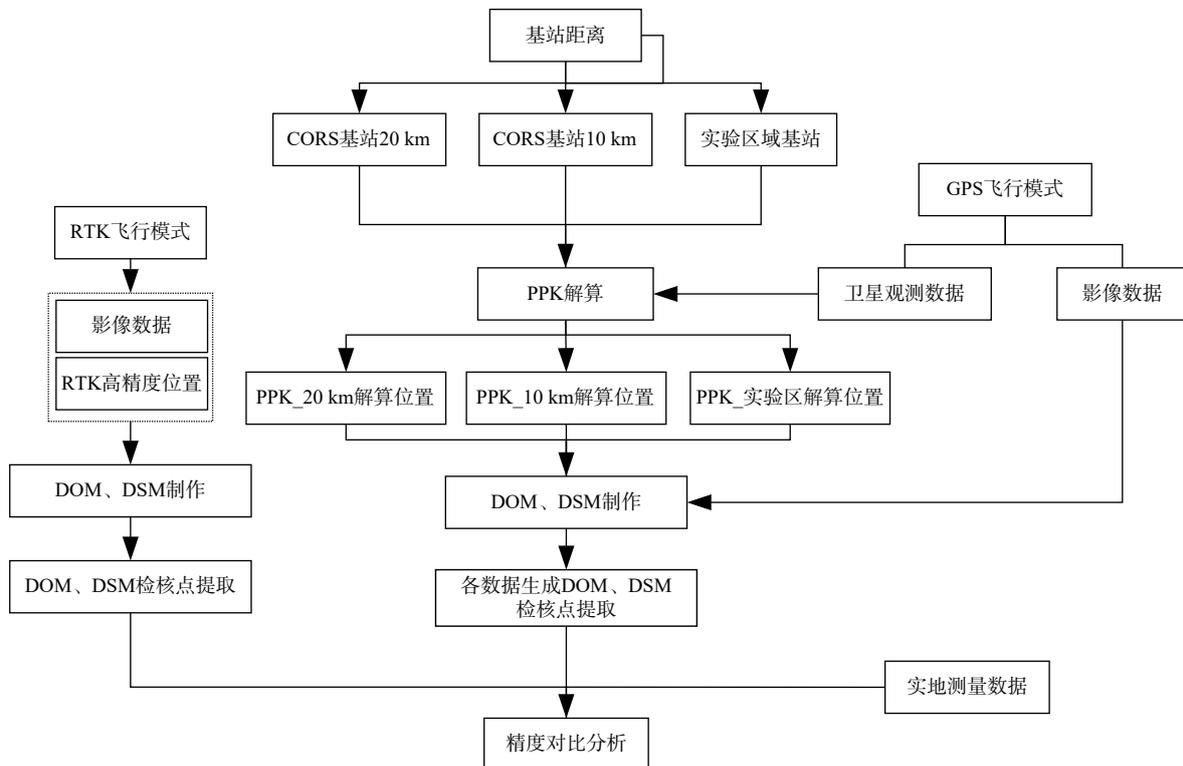


图 2 技术路线图

2 实验研究

2.1 数据获取

本次实验区域位于湖南某丘陵地区,实验设备采用大疆精灵 4 RTK 多旋翼无人机.无人机设置飞行高度为 150 m、地面分辨率 4.1 cm、航向重叠度 80%、旁向重叠度 70%,在 RTK 模式与 GPS 模式下

分别获得 529、528 张照片.并在实验区域按均匀分布的原则布设 18 个检核点^[11-12],检核点采用 CORS 与全站仪结合的方法进行测量,并完成了 2 000 国家大地坐标系 (CGCS2000) 高斯投影 3°坐标转换.实验区域与检核点分布如图 3 所示.



图 3 实验区检核点及实验区基站位置图

2.2 数据处理

将利用中海达无人机 PPK 后处理软件对实验数据进行处理,对基站数据和无人机卫星观测数据进行联合计算;并将利用大疆智图完成各类 POS 数据读取、影像畸变修正、影像密集匹配、DSM 和 DOM 生成,由此共生成了四类数据.数据 A 为 RTK 模式的影像及位置数据利用大疆智图制作 DSM、DOM;数据 B、C、D 分为 GPS 模式获取的数据联合距实验区域 20 km、10 km 的 CORS 站基准数据及实验区基站数据生成的 DSM、DOM.并行检查点对四类数据进行精度检查,四类数据的真误差计算结果如图 4 和表 1 所示.

由表 1 及图 4 可知,数据 A 与数据 D 的差值范围较为接近,并且各方向差值小于 0.1 m 的点数量也较多;数据 B 的表现较差,尤其是在高程方向上;数据 C 的结果介于数据 A 与数据 B 之间.该统计结果表明 CORS 基站距离在一定程度上能够影响数据成果质量.

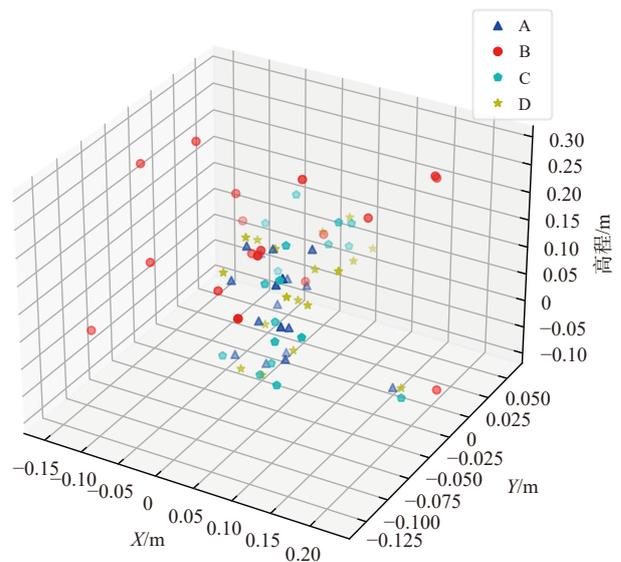


图 4 各数据误差图

表 1 4 种数据的检查点点位坐标误差统计

数据	X			Y			高程		
	Min	Max	<0.1	Min	Max	<0.1	Min	Max	<0.1
A	-0.031	0.159	17	-0.054	0.001	18	-0.087	0.131	13
B	-0.152	0.222	12	-0.131	0.037	17	-0.056	0.292	5
C	-0.049	0.185	16	-0.072	0.040	18	-0.075	0.152	13
D	-0.037	0.166	17	-0.057	0.041	18	-0.091	0.144	14

注: Min、Max是各类数据X、Y、高程方向与真值差值的最小、最大值; <0.1是各类数据X、Y、高程方向与真值差值的绝对值小于0.1 m的个数。

3 分析与讨论

为进一步讨论四类数据在 DOM、DSM 的精度, 本研究对四类数据的检查点在 X、Y 和高程方向进行了中误差对比和误差分布比较, 结果如表 2、图 5~6 所示。

表 2 四类数据的检查点中误差对比

数据	m_x	m_y	m_{xy}	$m_{\text{高程}}$
A	0.051	0.033	0.061	0.080
B	0.108	0.056	0.122	0.187
C	0.065	0.042	0.078	0.091
D	0.056	0.031	0.064	0.082

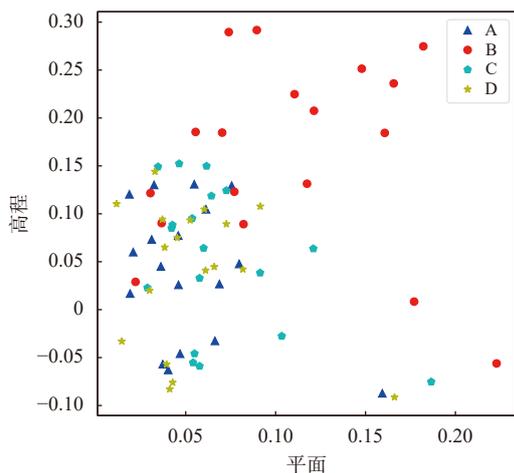


图 5 各数据平面与高程方向误差图

由图 5 和图 6 对比分析可知, 数据 A、C、D 各点之间分布较为集中, 数据 B 则分布在外围, 并且数据 B 的偏差范围要大于数据 A、C、D; 数据偏差范围较小的为数据 A 和 D, 但数据 A 在 X 方向上优于数据 D, 但数据 D 在 Y 方向上优于数据 A。由此说明, PPK 技术在无人机数据处理上可以达到与 RTK 技术相当

的精度水平, 但在一定程度上受基站距离的影响。

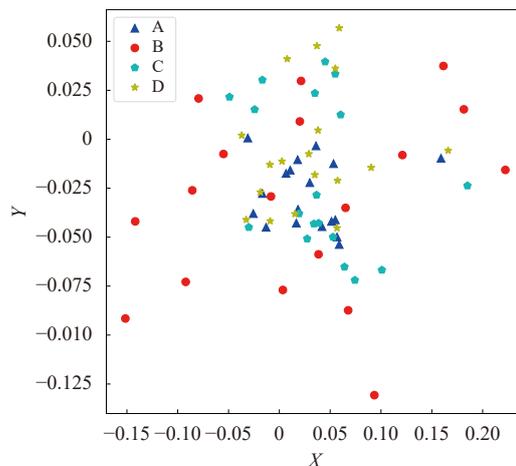


图 6 各数据 X 与 Y 方向误差图

进一步由表 2 可知, 数据 A 与数据 D 在平面与高程方向上中误差相差不大, 数据 C 与数据 A、D 中误差较接近; 数据 B 检验结果与其余三类数据存在较大差距, 尤其在高程方向差异更大。四类数据的整体精度为 $A > D > C > B$, 并且数据 A、C、D 的平面与高程中误差都小于 10 cm, 说明其成果都能满足 1:1 000 比例尺的测绘成果制作, 而数据 B 则不能满足标准要求。由此可以说明融合 CORS 观测数据的 PPK 技术可以提高无人机在 GPS 模式下 POS 数据的精度, 并制作出符合相关规范的产品。但其表现受距离因素影响明显, 当 CORS 基站距工作区域较近为 10 km 时, 其相关成果精度能接近 RTK 模式和实验区域基站的处理结果; 当 CORS 基站距工作区域较远为 20 km 时, 其产品成果精度下降较快, 尤其在高程方向表现明显。

4 结束语

本文针对 CORS 基站与作业区域之间距离变化对 PPK 数据处理的精度影响, 结合 CORS 基站数据、地面基站数据、无人机数据和地面检核数据进行验证分析。结果表明: CORS 基站处理成果在丘陵地区受距离影响明显, CORS 基站距离工作区域在 10 km 时, 其误差略低于工作区架设基站和无人机 RTK 模式获取的成果, 可以满足 1:1 000 比例尺测图要求; 当 CORS 基站距离工作区域 20 km 时, 其解算精度降低, 平面与高程误差均大于 0.1 m, 使得成果不能支持大比例尺测图工作。因此, 在适当距离内可以利用 CORS 基站取代实地架设基站完成 PPK 技术处理, 辅助无人机获取高精度 POS 数据, 进而完成高精度产品制作, 并进一步降低外业工作强度和人员负担。

参考文献

- [1] 张松浩. 基于 PPK 技术的无人机测绘精度分析研究[D]. 唐山: 华北理工大学, 2020.
- [2] 刘国燕, 喻国荣. 多星座 CORS 基站接收机设计及数据质量实时评价[J]. 测绘工程, 2020, 29(1): 41-46.
- [3] 艾力, 杨冰玉. 大疆精灵 4 RTK 航测数据在地形图测绘中的应用[J]. 国土资源导刊, 2020, 17(3): 62-65.
- [4] 仝红菊, 江峻毅, 胡守超. 无人机 PPK 技术在电力工程中的应用[J]. 测绘通报, 2018(A1): 108-111, 116.
- [5] 王晓东, 岳军红, 陈兴芳. 倾斜摄影技术的单体塔式建筑物三维重建方法[J]. 全球定位系统, 2021, 46(2): 86-92.
- [6] 潘成军. 无人机倾斜摄影在道路工程中的应用与分析[J]. 测绘工程, 2018, 27(12): 64-69, 74.
- [7] 任高升, 李明峰, 陈宁宁, 等. 无人机 PPK 技术支持下的河道测量与精度分析[J]. 测绘通报, 2021(3): 100-104.
- [8] 李亚东, 曹明兰, 李长青, 等. PPK 技术在无人机森林航空摄影测量中的应用[J]. 中南林业科技大学学报, 2021, 41(7): 20-25.
- [9] 唐磊, 张振军, 杨松, 等. 基于 PPK 技术的消费级无人机航测像控点布设方法优化[J]. 水利水电快报, 2020, 41(7): 22-25.
- [10] 李玉斌. 单基站 CORS 增强无人机倾斜摄影测量精度与可用性研究[D]. 济南: 山东建筑大学, 2020.
- [11] 库新勃, 邓岩, 高晓, 等. 无人机机载相机曝光时刻摄影中心三维坐标高精度插值算法研究[J]. 全球定位系统, 2019, 44(6): 75-80.
- [12] 成李博, 李佳, 段平, 等. 顾及控制点均匀性的无人机实景三维建模精度分析[J]. 全球定位系统, 2021, 46(1): 20-27.

作者简介

周烽松 (1992—), 男, 硕士, 研究方向为数据处理.

楚彬 (1990—), 男, 博士, 研究方向为卫星大地测量技术.

曾翔强 (1992—), 男, 硕士, 研究方向为卫星大地测量技术.

CORS station application research in low-altitude UAV PPK technology processing

ZHOU Fengsong, CHU Bin, ZENG Xiangqiang

(Hunan Institute of Geomatics Sciences and Technology, Changsha 410007, China)

Abstract: The application of postprocessed kinematic (PPK) technology in traditional unmanned aerial vehicle (UAV) requires temporary erection of ground base stations, which increases the workload of the field. The DJI Phantom 4 real time kinematic (RTK) UAV is used as the research object, the data of continuously operating reference stations (CORS) and ground base stations at different distances are used to participate in UAV PPK technology, and the processing results will be compared with UAV RTK. The results show that the relative results of CORS station are significantly affected by distance. When close to the experimental area, the accuracy of CORS base station is slightly lower than the results of base station and RTK erection in the experimental area, and can meet the requirements of 1:1 000 scale mapping. This result is of certain significance to reduce the field work intensity and the field work flow.

Keywords: unmanned aerial vehicle; postprocessed kinematic (PPK); continuously operating reference stations (CORS); real time kinematic (RTK)