

估,也可引入建筑轮廓偏差量化分析方法加以描述。

纹理清晰度指数(TCI)采用图像清晰度评价算法(如Laplacian变换、灰度梯度、边缘频率分析等),对模型纹理贴图的锐度、对比度和细节保留程度进行客观打分,以此衡量建模结果的视觉表达质量。

多源数据一致性误差,在存在实测激光点云或BIM模型等参考数据的前提下,可对建模成果进行点云一点云差异分析(Cloud-to-Cloud Distance),或模型—地理实体的空间距离分布统计,用于评估多源建模结果的一致性与融合效果。

通过上述多维指标体系,可对三维模型的几何精度、结构完整性与视觉质量进行全面定量评价,为模型的后续分析应用提供精度保障与依据。

3.2 在实验区进行的区域选择分析

为验证倾斜摄影建模流程在实际城市环境中的精度表现及其影响因素,本次研究选取了某城市核心区0.6 km²范围作为实验区域,区域内包含多层居民住宅、高层商务写字楼、市政道路及部分绿化景观,具备代表性城市空间特征。

该区域具有高差变化明显、建筑密度高、立面遮挡严

重等典型问题,对模型精度控制提出了较高要求。实验中采用了多旋翼无人机搭载五镜头倾斜摄影系统进行数据采集,传感器分辨率为24 MP,单幅图像地面分辨率为3.5 cm,航向重叠度设置为85%,旁向重叠度设置为75%,飞行高度设定为95 m,采用S型航线布设,共执行飞行任务3架次,确保城市缝除区域的多视角覆盖。地面控制点布设共计15个,均匀分布于区域边界、转角、关键建筑附近;另设置了8个独立检查点用于精度验证,全部通过RTK设备进行高精度采集,定位误差控制在±2 cm范围内。

在建模处理过程中,分别采用PIX4D与ContextCapture两种典型商业建模软件进行了作业。通过基于相同控制点与原始影像数据,分别执行影像空三重建、点云生成、网格建模与纹理融合等流程,以对比不同算法路径下模型精度表现的差异性。同时,采用CloudCompare对成果模型与检查点进行几何误差统计,并引入Matlab编写纹理清晰度分析脚本对两组成果进行视觉质量对比。本实验遵循了“同源影像+双建模平台+统一控制点+独立验证点”的原则,确保模型成果之间具备可比性与重复性,从而实现对建模精度影响因素的科学归因分析。

表1 不同建模软件与参数配置下的模型精度对比

建模软件	GSD (cm)	控制点数	RMSE _{xy} (cm)	RMSE _z (cm)	纹理清晰度指数(TCI)
PIX4D	3.5	15	4.2	5.5	82.6
PIX4D	5	10	6.8	8.4	76.3
ContextCapture	3.5	15	3.7	4.9	88.1
ContextCapture	5	10	5.9	7.2	81.4

从表1可以看出,PIX4D与ContextCapture在各项精度指标上均表现出一定差异。具体而言,PIX4D在平面精度方面略优于ContextCapture,其平均误差为4.3 cm,而后者为5.1 cm;但在高程精度上,ContextCapture表现更为突出,平均误差为3.8 cm,优于PIX4D的4.6 cm。这种差异可能与两种软件在空三计算算法及点云生成策略上的不同有关。实验结论不仅可为城市实际建模项目提供技术参数参考,也为软件平台精度选型与建模策略优化提供实践依据。

4 结论

本文围绕无人机倾斜摄影在城市三维建模中的精度问题展开系统研究,构建了包括航拍参数、控制点布设、影像质量与建模算法在内的精度影响分析体系,并通过实测实验验证了不同建模流程下的精度表现。研究发现,在城市复杂环境中,精度控制必须从飞行设计、像控点布设、后期建模

算法等多环节协同优化,才能形成高精度、高还原度的三维建模成果。本次研究的结果对推动城市空间可视化建设与智慧城市空间数据基础设施建设具有一定的参考和指导价值。

参考文献

- [1] 周文琼,李明.无人机高精度倾斜摄影技术在测量中的应用探讨[J].广西水利水电,2025,(03):11-13+17.DOI:10.16014/j.cnki.1003-1510.2025.03.003.
- [2] 王梓瑞,杨阳,张闯,等.无人机三维倾斜摄影测量技术在矿山监管核查中的应用[J].资源信息与工程,2025,40(03):57-60.DOI:10.19534/j.cnki.zyxygc.2025.03.013.
- [3] 侯炳绅,徐俊,张必勇.基于无人机倾斜摄影技术的滑坡变形分析[C]//中国图学会土木工程图学分会,《土木工程信息技术》编辑部.《第12届BIM技术国际交流会——数智建造助力城市高质量发展》论文集.长江岩土工程有限公司,2025:383-386.DOI:10.26914/c.cnkihy.2025.015739.

This paper discusses the application points of GPS-RTK technology in topographic mapping

Jinpeng Wang

Beijing Zhongtu Kailin Survey and Design Co., Ltd., Beijing, 102600, China

Abstract

GPS-RTK technology represents an innovative measurement approach that deeply integrates GPS with data transmission systems. With the continuous advancement of scientific and technological development, its application in topographic mapping has demonstrated increasingly prominent advantages. This technology not only enhances mapping efficiency and ensures accuracy but also elevates automation levels and system integration throughout the entire mapping process. Based on this, this paper provides a detailed analysis of key application aspects of GPS-RTK technology in topographic mapping. By leveraging the technological advantages of GPS-RTK, we aim to continuously improve mapping quality for

Keywords

GPS-RTK technology; topographic mapping; application

探讨 GPS-RTK 技术在地形图测绘中的应用要点

王金朋

北京中土凯林勘测设计有限公司, 中国·北京 102600

摘要

GPS-RTK技术是一种将GPS技术与数传技术深度结合在一起的新型测量技术。在科学技术发展水平不断提高的形势下, GPS-RTK技术在地形图测绘中的应用优势越来越突出, 不仅可以提高地形图测绘效率, 保证地形图测绘精度, 还可以提高整个地形图测绘过程的自动化程度与集成化程度。基于此, 本文重点针对GPS-RTK技术在地形图测绘中的应用要点进行了详细的分析, 希望可以借助GPS-RTK技术的应用优势, 持续提高地形图测绘工作质量, 以供参考。

关键词

GPS-RTK技术; 地形图测绘; 应用

1 引言

GPS 是美国全球卫星定位系统的英文简称, 可以为用户提供精确、有效的定位信息、时间信息和速度信息。以 GPS 为基础的 RTK 测量技术是一种与传统测量技术更加灵活、更加高效、更加精准的测量技术。将其应用到地形图测绘作业中, 具有十分重要的意义。但是, 如何 GPS-RTK 技术应用到地形图测绘作业中, 并将其技术优势充分发挥出来, 依然是一个值得深入探究的问题。

2 GPS-RTK 技术及其应用原理

GPS-RTK 技术是当下极具应用潜力的测量技术, 能够借助 GPS 技术和数传技术的优势, 对目标物的位置信息进行快速而精准的获取。GPS-RTK 系统主要由控制中心、基准站和流动站等三部分构成。接收机安装在基准站与流动站

上。在 GPS-RTK 技术应用过程中, 接收机虽然处于不同的位置, 但是却能够在同一时间收到同一个 GPS 发射的信号^[1]。对这些信号进行处理, 就可以获取到相应的定位信息。首先, 基准站可以将获取到的信息与已知位置信息进行对比分析, 得到差分改正值。利用 GPRS 网络或无线网络, 将这一差分改正值传输到流动站。其次, 流动站在接收到 GPS 观测数值之后, 再利用特定算法获取相关信息, 就可以对差分改正值的精准度进一步提高, 使位置信息的精准度更有保证。只需要花费几秒钟的时间, 就可以完成一次定位测量任务, 且测量效率更高, 测量结果更加准确。图 1 为 RTK 系统组成。

3 GPS-RTK 技术在地形图测绘中的应用优势

在地形图测绘工作中, GPS-RTK 技术的应用优势主要体现在以下三方面。首先, GPS-RTK 技术的应用可以提高地形图测绘工程的直观性与透明性, 消除各种隐性测绘问题。同时, 还可以对地形图测绘效果进行实时动态化展示, 保证地形图测绘效率。所以, 在具体的地形图测绘工作中, 可以让工作人员在第一时间掌握某一点的定位坐标数据, 并

【作者简介】王金朋(1993-), 男, 中国山东德州人, 助理工程师, 从事工程测量研究。

保证后续快速成图。其次，GPS-RTK技术的应用还可以大幅度缩短地形图测绘的作业时间。正常情况下，只要观测条件良好，GPS-RTK技术可以在2--5s之内完成一次定位测量，并对某一点的定位坐标进行准确获取。如此快的定位测量速度，不仅可以在短时间内完成地形图测绘工作，还可以对地形图测绘数据的精准度提供保证^[2]。最后，GPS-RTK技术的应用还可以实现全天24h不间断作业，并保证地形图测绘过程的便捷性与高效性。在应用GPS-RTK技术进行地形图测绘的过程中，只要观测点范围内可以正常接收4颗GPS卫星信号，就可以保证地形图测绘作业的连续性与高效性。而且，与传统的测量技术相比，GPS-RTK技术的自动化水平更高，可以在保证地形图测绘效率的过程中，推动地形图测绘作业的智能化发展。

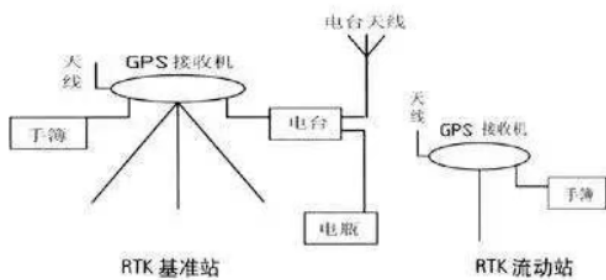


图 1: GPS-RTK 技术的应用原理

4 GPS-RTK 技术在地形图测绘中的应用影响因素

4.1 卫星与电离层条件

在社会经济发展速度不断加快的今天，无论是GPS卫星空间结构，还是卫星信号强度，都表现出了一定的滞后性。目前，卫星系统位置被美国地区认可，但一些中低纬度区域的国家仍然没有被卫星完全覆盖。所以每天会出现2次卫星盲区，且每次持续30min左右。在卫星盲区出现后，卫星几何图形强度相对较低，PTK测量结果的精准性也会大幅度降低^[3]。并且，受到信号强度较差等因素的影响，GPS的应用效果也会大打折扣。电离层的存在也会对GPS-RTK技术的应用产生影响。例如，在白天中午期间，能够共用的卫星数量有限，数据信息的初始化也会受到影响，RTK技术的固定难度也会加大。而这，就会对测量作业的有效性产生影响。

4.2 数据链电台传输距离与时空环境条件

数据链电台在信号传递期间，在高山、高大建筑物等外界环境因素的影响下，会出现外业精度降低、作业半径误差过大等问题。如果PTK技术作业半径超出某距离，测量误差还会进一步增大。所以，在应用GPS-RTK技术的过程中，必须要对具体的作业半径进行重点控制。与此同时，通视环境过差，也会对地形图测绘作业的精准度产生影响。

例如，如果需要在山区、林区等区域进行地形图测绘，那么GPS卫星的信号传递就会受到影响。GPS信号强度减弱，对应卫星空间结构变差，就有可能引出失锁结果，增大信息数据初始化设置难度，进而对地形图测绘作业的正常开展产生影响^[4]。另外，在应用GPS-RTK技术的过程中，还需要对高程异常问题予以重点关注。因为要想将GPS-RTK技术的应用优势充分发挥出来，需要以高程的精确转换为前提。如果某些区域，例如山区、林区等存在高程异常分布图，那么高程转换难度就会增大，高程转换精度就会降低。而这，就会对地形高程的精准测量产生影响。

5 GPS-RTK 技术在地形图测绘中的应用要点

5.1 GPS-RTK 技术在碎部测量中的应用

在地形图测绘工作中，测绘人员通常使用静态测量法进行控制。在碎步测量工作中，GPS-RTK技术的应用频率最高。在传统的地形图测绘工作中，测绘人员会将图根控制点设置在测区，并辅助以全站仪、经纬仪、小平板等测量设备。近几年来，在我国测量技术发展速度的不断加快的形势下，外业测量工作中应用全站仪、电子手簿、地物编码等工具的频率也越来越高。在地形图测绘作业中，为了保证测绘结果的准确性与有效性，会优先选择使用大比例尺测图软件。而在外业电子平板测图过程中，针对地形地貌的测量需要在测站完成^[5]。在这一过程中，测站与碎部点的通视，需要由2个人以上的工作人员共同完成。在拼图阶段，如果测绘精度较差，还需要重新进行一次外业测量。如果使用GPS-RTK技术，只需要安排一个工作人员就可以完成所有的外业测绘任务。而且，在待测碎部点，将地形地貌相关特征编码输入仪器界面后，只需要等待1--2s，就可以获取到相应的点位信息。完成该区所有测绘任务后，就可以利用专业软件进行地形图的生成。

5.2 GPS-RTK 技术水下地形测量中的应用

与陆地地形相比，水下地形更加复杂。且测绘人员难以通过肉眼直接观察。再加上水上地形测绘作业条件比较差，水下地形测绘的误差普遍较大。而应用GPS-RTK技术进行水下地形测量，不仅可以保证水下地形测绘结果的精准性与有效性，还可以为后续各类水上工程的施工建设提供支持。

5.3 GPS-RTK 技术在城市控制测量中的应用

在城市控制测量中，GPS-RTK技术的应用不仅能够最大限度的满足城市建设与城区规划的相关需求，还表现出了控制范围广、测量精度高、测量效果好等优势。在传统的城市控制测量工作中，以在城市控制网中埋设I、II、III级导线为主。但是，I、II、III级导线一旦遭到破坏，不仅会对城市建设与城区规划的正常开展产生影响，还会延缓相关测量进度，降低相关测量质量^[6]。与此同时，单纯使用GPS测量，却会因为点位采集时间过长，而无法完成数据信息的自动化