

数字化测图中千寻知寸—FindCM 与内置电台模式对比分析

沈威

广东省有色金属地质局九三三队

摘要：在测绘行业中，传统地形图测绘工作，通常由全站仪、RTK组合使用的方式进行。GNSS接收机一般使用两种RTK模式：内置电台1+N、单台网络CORS。千寻位置也提供厘米级CORS定位服务，通过本文验证了便捷性商用的千寻知寸—FindCM（以下简称千寻）在广东肇庆地区实际测绘地形图测绘的可靠性及精度，与传统内置电台进行有效性、实用性、稳定性对比分析，拟为提高测绘工作效益寻找合理有效且经济的途径。

关键词：地形图测绘；CORS定位技术；千寻知寸—FindCM；数据链；精度分析

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.19.120

一、地形图数字化测绘与千寻 CORS 技术

数字化地形图可以用于勘探采矿，城市用地规划，工程建设等项目，在测绘行业中的各中综合评价、预测预报、辅助决策支撑有着巨大优势。测绘产品的质量是行业可持续性发展的根基，数字测图产品质量是测图项目能否完成验收的关键。

根据《全球定位系统（GPS）测量规范》《工程测量规范》《1:500 1:100 1:2000地形图数字化规范》等相关规范^[1]，总结出测量精度要求：1:500比例尺地形图碎步测量时，算上对中误差、球气差、棱镜误差等人为或者仪器固定误差，平面点位误差应满足 $M_x \leq \pm 5.0\text{cm}$ 、 $M_y \leq \pm 5.0\text{cm}$ ，高程按照《城市测量规范》中应满足 $M_h \leq \pm 7.0\text{cm}$ 。

VRS、MAC、FKP技术和CBI技术是目前国际上主流的CORS定位技术，其同时由多个单参考站组成的联合单参考站差分解算的网络RTK技术，结合这些技术衍生了一系列新型定位服务产品。千寻定位整合北斗地基，在云计算和处理算法基础上使其定位精度高达厘米级，数据连接快速传输顺畅稳定，提供全年无休息的高可用1次/秒播发频率播发，且支持以RTCM V3.2 标准格式播发数据的位置数据服务。

为了验证千寻位置的定位精度，2017年武汉测绘学院的黄永帅，史俊波等人在研究RTCMV3.2 MSM 电文格式的基础上，在武汉和重庆两地分别对千寻北斗地基增

强系统所播发的虚拟参考站观测数据进行解码，并进行RTK和RTD差分解算，研究千寻北斗地基增强系统的服务性能及定位精度。其结论一方面表明RTCM V3.2解码程序的正确性；另一方面表明，千寻北斗地基增强系统所提供的定位服务能够达到实时厘米级RTK、亚米级RTD^[2]。对于千寻在地形图测绘中的研究尚未多见，所以对验证千寻在实际测绘地形图中的可靠性及精度，具有一定的探索价值。

二、精度对比分析实验探究方法

论证在测绘地形图应用中使用RTK技术时，内置电台模式、千寻CORS模式在不同时间空间、相对相同环境下的定位精度研究分析。实验的测量基准为任意坐标系；高程基准任意高程基准。椭球参数采用IUG 1975年大会推荐的参数，定位时按我国范围内高程异常值平方和最小为原则求解参数，采用高斯克吕格3°带投影，投影代号为37，中央子午线经纬为111°。

（一）实验探究的方案

实验地点位于广东省有色金属地质局九三三队及周边2公里范围内的端州区北岭社区，主要实验地点为单位办公楼。论证千寻在测绘地形图测绘中的可行性，在相对相同的的环境下，用GNSS接收机的两种不同模式对同一观测点，分别在本地时间9:00、13:00、18:00时段进行30的连续观测，并且在点位空旷和90°/180°两个方向上有信号屏蔽、遮挡的情况进行测量，将其测量结果与真值比较分析精度

本次实验使用的全站仪为SOKKIA CX-101全站仪，精度指标为： $\pm 1.0''$ ， $\pm (2\text{mm}+2\text{ppm})$ 。实验探究中用到的均为支持5星21频的华测视觉X16-GNSS接收机，平面精度为 $\pm (0.8\text{cm}+1\text{ppm})$ ，高程精度为 $\pm (1.5\text{cm}+1\text{ppm})$ 。实验始终固定基准站、移动站对应接收机，排除其他不必要因素干扰^[3]。方案具体细则如下：（1）使用全站仪建立任意坐标系布设点位，获得拟似真值；（2）结合实例作业，GPS定位仪器摆放在点位上，通过手簿来回切换两种模式进行测量，确保同一点位上的仪器姿态相同，减少其他因素影响；（3）在对点位进行校正的时候，整个实验使用相同的

坐标系统配置并且记录校正误差,比较其对测量数据的影响;(4)特定方向有障碍屏蔽、遮挡信号的场景模拟,可利用高于GNSS接收机的墙面作为障碍物,利用90°/180°的墙角进行遮挡。需要注意的是天线不得高出墙顶,点位距离墙的距离在50cm左右,不得超出1.5m,确保有效屏蔽、遮挡特定方向信号。

(二) 实验操作流程

首先将全站仪架设在高点任意位置,整平后进行半个小时的放置以消除温度变化对测量精度的影响。然后自由设站测量,记录下点位布设方案中的点位坐标、高程。其中,布设控制点4个,分别为KDZ-01~KDZ-04,其中控制点点号KZD-2的点位兼观测点位;假设90°/180°两个方向上有信号屏蔽、遮挡情况的点位分别为PB-90/PB-180。最后将数据整理出来作为原始已知数据,在实验探究中用于与观测值对比分析。千寻模式和内置电台实验步骤大致相同,连接好仪器并设置固定坐标系参数后,利用控制点进行七参数矫正。检查校正精度时,一般误差在1厘米内,大于此参考值需要重新校正^[4]。最后对点位进行观测的时候,对PB-90/PB-180分别进行频率为1S、时长5分钟的连续观察;整平对中点位且天线要低于墙顶10厘米,解状态条件设置为固定解。设置好所有参数后点击开始测量,完成PB-90/PB-180的观察后,对控制点KZD-02进行连续30分钟的观测,方法如上。最后导出全部实验测量数据。

三、数据处理精度分析

本次探究实验中在相同的时段中,观测条件(包括仪器、天气等因素)相同的形态下,PDOP值、HRMS值、VRMS值都是衡量不同数据链的观测数据精度和可靠性的重要参考指标。全站仪布设的各点位数据(X, Y, H)表示该观测点位的坐标参考值,X表示北坐标,Y表示东坐标,H表示高程;(X_i+Y_i+H_i)表示不同数据链下的观测该点位观测所得的数据;平面位置和高程位置方向上的中误差分别为:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta X_i^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}{n}};$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta Y_i^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y)^2}{n}};$$

$$\sigma_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta H_i^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - H)^2}{n}};$$

$$\text{点位观测平面中误差为: } \sigma_{HRMS} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2};$$

$$\text{点位观测中误差为: } \sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_h^2}。$$

综合所有的因素考虑,数据将在可靠性和测量精度两方面上去分析:可靠性可以从数据的离散率、数据的差异性及该数据链模式下的有效测量半径;测量精度分析上面可以从点位的平面精度和高程精度两个方面来分析。观测数据处理时使用到MATLAB矩阵实验室,使用到平均偏差和标准差的相关函数来反映数据的变动程度以判断重复测量数据的稳定可靠性,同时利用MATLAB小波分析工具进行编程对多维数据进行处理^[5]。PDOP值、RMSH值、RMSV值的对比可以直接得到差异性,在相同的观测条件下的不同数据链的数据精度详情。最后分析千寻是否在保证精度的前提下,在地形图测绘中相对内置电台模式所具有的优势。实验数据的具体处理流程如下:(1)分类整理原始数据;(2)使用3S方法剔除粗差,拉依达准则(3σ原则)为数值分布在(μ-3σ, μ+3σ)中的概率为0.9974, MATLAB中对应数据处理核心代码abs(date(i)-mean(date))<3*std(date);(3)数据分析:可靠性分析有差异性和离散性,精度分析有平面精度和高程精度;(4)对比两个模式数据得出结论。

(一) 无信号遮挡情况

本实验在中的控制点KZD-02兼监测点,其可以模拟无信号屏蔽、遮挡的情况下的环境,这也是常规测量状态下的仪器环境;HRMS值、VRMS值、PDOP值的对比有效性必须在较长时间的观测下才有说服力,在地形图测绘中排除特殊测区环境造成类似270°的信号屏蔽强度,选择正常的定位条件下分析较为符合实际生产。KZD-02在内置电台模式、千寻模式的测量精度统计中,每个时间阶段分别获取相同测点数据分析对比。在不同时间段的PDOP值反应卫星过境姿态,通过对比分析得出内置电台的PDOP数值稳定于千寻,波动受影响因数较小,但是两个模式的PDOP值都小于3^[6],在较为空旷信号良好的区域能达到好的理想状态,其表明卫星分布的空间几何较好定位精度都较高。

利用MATLAB函数[h, p]=lillietest(date)判断是数据是否正态分布,结合表1平均值偏差值结果分析KZD-02的X/Y/H方向上离散程度,千寻与内置电台的点位分布集中其各自的数据结构都有呈现正态分布的趋势,表明定位数据相对稳定。证明在卫星分布的空间几何较好且定位区域周围无遮挡、定位条件良好的情况

下，两种模式都能提供稳定的定位，定位数值精度都相对良好。

表 1 KZD-02 在下不同模式的精度分析 (m)

点名	属性	北坐标	东坐标	高程
KZD-02	控制点 02	2*569.455	3*185.157	2*3.923
内置电台	平均值	2*569.455	3*185.157	2*3.923
	平均值偏差值	0.002	-0.001	-0.002
	绝对偏差平均值	0.002	0.002	0.005
千寻	平均值	2*569.455	3*185.157	2*3.923
	平均值偏差值	0.028	0.024	0.028
	绝对偏差平均值	0.009	0.009	0.012

对千寻与内置电台模式KZD-02的RMS值分布进行分析得出，在8:00时，在短的时间里面RMS值相对平稳，随着时间的推移会出现不同浮动情况，震荡幅度不大；但是在13:00呈现波浪形无规则浮动，震荡幅度相对8:00时较大，千寻模式尤为明显，两种模式下HRMS（平面）相对VRMS（高程）波动较小。综合RMS值分布内置电台较比千寻模式更为稳定，分别为0.002和0.003；但同一时间空间下RMS值相差不大，证明千寻定位能提供相似内置电台模式精度的定位数据。

(二) 有信号遮挡情况

本实验在中的点位PB-90/PB-180，其可以模拟90°/180°方向上都有信号屏蔽、遮挡的情况的环境。其中点位PB-180在千寻模式下时常出现固定解高程精度超限问题，PDOP值在2.5~4之间；内置电台模式下依然可以稳定获取固定解；随着屏蔽信号的增强，千寻模式下的高程异常变化相对平面异常较大。本次实验有信号遮挡情况只分析点位PB-90在内置电台模式、千寻模式的测量精度；内置电台模式、千寻模式的PDOP均值分别1.3和1.5，综合RMS值分别为0.005和0.007。在有遮挡、定位环境差的情况下，千寻高程精度易超限，小范围测图内置电台模式更易获取固定解，受影响较小。

四、结论

内置电台、千寻模式下定位所得全部数据的HRMS值、VRMS值、PDOP值平均分别为0.003/0.005、0.005/0.006、1.2/1.7；数据差异的具体原因可能由于严重多路径、高程HDOP值和剧烈波动的电离层环境等外部因素严重影响定位精度^[7]。在平面精度分析中，平均值偏差值8:00小于18:00小于13:00，三个时间段的相差较小都在1.0厘米内，可以用三个时间段的额均值替代该模式下的平均值偏差值。内置电台模式在无遮挡的定位中，即KZD-02的点位误差在1.0厘米以内，千寻

的点位误差在3.0厘米内；在PB-90点位的内置电台的点位误差在2.0厘米内，千寻的点位误差在5.0厘米内。在高程精度分析中，比较方式如平面精度分析中的一样，千寻模式在PB-180信号高屏蔽位置的观测中高程时常超限，无法正常获取点位数据，在PB-90的观测中高程均值与真值相差在6厘米内；相对平面精度来说，千寻的观测高程误差过大，小于1:500地形图测绘要求的7厘米的高程精度。

本文通过对千寻模式与内置电台模式下验证1:500地形图测绘的实验，实验结果表明：在部分地区得到当观测条件良好的情况下，千寻可以在遮挡物较少的地区用于地形图测绘工作，如矿区，平原，耕地等，其平面精度和高程精度都能保障；GNSS接收机使用RTK技术测量时使用到电台模式作业范围受限且距离越远差分后残差越大；千寻在大面积测区测绘中有着不受限制，故优点大于使用内置电台。当观测条件较为特殊的情况下，需要测量的物体受到多个角度严重的信号遮挡下，例如密林，房子较多时千寻高程误差增大，若对高程不做严格要求时千寻也可以用于地形图测绘工作；若对高程按规范严格要求，内置电台在测量精度上优于千寻，且不受电信网络信号强弱影响。

参考文献

- [1] 赵文亮. 地形测量学[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2005.
- [2] 黄永帅, 史俊波, 欧阳晨皓, 等. 千寻北斗地基增强网络下的实时观测数据解码及定位性能分析[J]. 测绘通报, 2017(9).
- [3] 胡晓斌. 集全站仪和GPS(RTK)联合在数字测图中的应用[D]. 成都: 电子科技大学, 2012.
- [4] 卓健成, 董振淑, 赵秀清, 等. 原始数据误差对工程测量多级平面控制网精度的影响[J]. 西南交通大学学报, 1985(01): 1-12.
- [5] 刘文龙, 王坚, 赵小平. 利用MATLAB处理测绘数据的优越性分析[J]. 海洋测绘, 2003(04): 4-7.
- [6] 罗小敏, 蔡昌盛, 戴吾蛟, 等. 顾及PDOP的GPS/GLONASS组合单点定位的观测值定权[J]. 导航定位学报, 2013, 1(01): 56-60.
- [7] 黎峻宇, 刘立龙, 蔡成辉, 等. 北斗RTK在地形测绘中的优越性[J]. 地理空间信息, 2014, 12(06): 33-35+2.

作者简介: 沈威(1995-), 男, 籍贯: 广西玉林市, 职称: 助理工程师, 学位: 学士学位, 主要研究方向: 测绘工程, 地理信息工程。