

利用后差分技术提高手持 GPS 的定位精度

高建东,雷郁文

(中国冶金地质勘查工程总局 山东正元资源勘查研究院,山东 济南 250014)

摘要:从手持 GPS 定位仪的二进制输出记录中提取出厘米级的高分辨率位置数据,并使用多次平均值测量、位置后差分校正的方法,使轻便、价廉的手持 GPS 定位仪平面定位误差从数米降低到 1 m 左右,达到亚米级精度。

关键词:手持 GPS;定位精度;后差分技术

中图分类号:P228.4:P631

文献标识码:A

文章编号:1000-8918(2006)05-0446-04

随着 GPS 技术的发展,轻便、价廉的 GPS 手持机已经大量地用于地质、物化探野外工作之中。在测量控制点稀少的西部地区,手持 GPS 定位仪更是野外地质工作者的必备工具。但是,使用 GPS 手持机普通定位方法得出的位置精度一般较低,同一点位在不同日期的定位坐标往往可相差数米至十余米,不能满足许多地质、物化探工作及地质工程点的定位精度要求。笔者通过对 Garmin GPS 72 型手持定位仪的剖析研究,从 GPS 的二进制输出记录中提取出厘米级的高分辨率位置数据,使用简单而有效的位置后差分校正方法,明显地提高了手持 GPS 定位仪的定位精度。初步试验得到的平面位置和高程中误差分别为 0.93 m 和 1.98 m。

1 手持 GPS 的定位误差分析及对策

GPS 定位是通过接收 GPS 卫星发射的电磁波信号,利用一组卫星的伪距、星历、卫星发射时间等观测量来实现的,同时还需要知道用户钟差。要获得地面点的三维坐标,必须对 4 颗卫星进行测量。在有一定定位过程中,存在着三部分误差^[1]。第一部分是公共误差,例如卫星钟误差、星历误差、电离层传播误差、对流层传播误差等;第二部分是不能由用户测量或由校正模型完全剔除的电磁波传播延迟误差;第三部分是各用户接收机电路及周围环境引起的误差,例如内部噪声、通道延迟、环境电磁噪声、多径效应等。

若在一个已知坐标点上固定一台 GPS 接收机进行位置测量,显然,GPS 接收机的测量值与已知点坐标的差值就包括了上述 3 部分误差。如果 GPS 接收机本身的精度足够高,则可以近似地认为已知

点的坐标差值主要由第一、第二部分误差组成。由于 GPS 卫星距地面高达 2 万 km 以上,第一、第二部分误差影响在地面相当大的范围内基本是相同的,因此,在该已知点附近的 GPS 观测站可以利用在已知点测出的 GPS 误差对观测值进行改正。这种误差校正技术称为差分 GPS 定位技术。利用差分 GPS 定位技术可以将卫星钟误差和星历误差消除,并将电离层延迟和对流层延迟误差部分消除。即:第一部分误差可以利用差分技术消除;第二部分误差的大部分也可以利用差分技术消除,其主要取决于基准接收机和用户接收机的距离。

对同一个测量点重复多次测量取平均值可以降低由 GPS 接收机内部噪声和环境电磁噪声引起的误差,即第三部分误差可以使用多次定位取平均值的方法部分消除。现在的手持 GPS 接收机定位刷新速度可达 1 c/s,许多型号的手持 GPS 接收机还具有位置求平均功能,可快速、方便地测量出某段时间内的平均定位位置。实验结果表明,对于 GPS 72 型手持定位仪,在无 SA 政策的影响下,第一、第二部分定位误差与第三部分定位误差的量值基本相当,都在数米的范围之内。

综合使用差分 GPS 定位技术和重复多次测量技术,就有可能使定位精度大大提高。笔者介绍的手持 GPS 的精确定位方法即采用了上述思路。

2 差分 GPS 定位技术及位置差分原理

GPS 差分技术是利用 2 个互相关联的 GPS 观测值之差,消除观测误差的公共项,提高 GPS 测绘成果精度的一种有效技术。它使用一台 GPS 基准站接收机和数台移动站接收机,利用实时或事后处

理技术,使移动站测量消去公共的误差源——电离层和对流层效应及卫星钟误差和星历误差。根据差分 GPS 基准站发送的信息方式可将差分 GPS 定位分为 3 类,即位置差分、伪距差分和相位差分。这 3 类差分方式的工作原理是相同的,即都是由基准站发送改正数,由用户站接收并对其测量结果进行改正,以获得精确的定位结果。所不同的是,发送改正数的具体内容不一样,其差分定位精度也不同。由于大部分 GPS 手持机内部处理程序是固化在机内芯片中,进行伪距差分和相位差分比较困难,我们采用了简单的位置差分方法。经验证明,在基准站与移动站观测同一组卫星的条件下(一般以移动站与基准站间距离在 50 km 以内为宜),可以采用简单的位置差分方法。相距不太远时(< 20 km),差分效果尤其明显,残差一般不超过 10^{-4} [2]。

安装在基准站上的 GPS 接收机观测 4 颗卫星后便可进行三维定位,解算出基准站的坐标。由于存在着轨道误差、时钟误差、SA 影响、大气影响、多径效应以及其他误差,解算出的坐标与基准站的已知坐标是不相等的。当移动站与基准站的距离不太大时(一般以小于 50 km 为标准),可以近似地认为移动站的第一、第二部分定位误差与基准站的第一、第二部分定位误差相同,移动站利用基准站的误差改正数对其解算的坐标进行改正,就可以使得定位精度大幅提高。

因为第一、第二部分定位误差都是随时间而不断变化的变量,为了能实时获得差分改正数据,需要配置一套从基站到移动站的实时无线传输系统。差分基站实时发送改正数,移动站接收后对测量结果进行修正,以获得精确的定位结果,此种方式称为实时差分。对于没有实时无线传输系统的普通手持 GPS 定位仪,可以采用在野外记录测量数据,利用事后处理技术获得高精度的位置数据(后差分),即移动站使用多次定位取平均值的方法记录下各定位点的位置坐标和定位时刻,在野外观测完之后,从基站取得相应时段的误差改正值,在事后对各定位点坐标进行误差改正。

3 差分 GPS 手持机的选择

由于手持机进行事后差分改正需要进行多次重复观测且需要记录定位点的定位时刻,因此选择 GPS 手持机的主要要求如下。

(1) 基站用 GPS 手持机,能够自动存储位置记录和时间记录,拥有较大的数据存储空间,可以存储足够长的记录时段,此记录时段必须能覆盖所有移

动站的记录时间。

(2) 移动站用 GPS 手持机,能够对定位点作多次重复观测,并自动求取平均值,能够存储位置记录的平均值和时间记录,拥有一定的数据存储空间,至少可以存储当日的的所有定位点位置数据和时间记录。

虽然几乎所有的 GPS 手持机都能在屏幕上显示出定位时刻,但可能是出于节约存储器空间的考虑,大多数 GPS 手持机并不把定位时刻记录到存储器中。目前已知可同时记录定位时刻和定位位置的 GPS 手持机有:

美国 GARMIN 公司生产的 GPS 7 系列——GPS72、GPS74、GPS76 型。其中以 GPS 72 型最为实用,它可以在航迹和航点记录中同时记录定位时刻和位置坐标;可对航点进行多次重复观测,自动平均,可以存储 3 000 个带时间的航点记录,可以用于基站或移动站观测。

美国 GARMIN 公司生产的“奇遇”型——性能不如 GPS7,它仅在航点记录中可以同时记录定位时刻和位置坐标,仅可以用于移动站观测。

4 GPS 手持机位置差分的实现

理论上,只要记录下同一时间的固定站 GPS 接收机的位置飘移记录和移动站观测记录,就可以对移动站观测记录进行校正(位置差分)。但是,由于手持 GPS 接收机仅提供到米级分辨率的位置坐标(或经纬度)输出,若直接使用手持 GPS 接收机正常输出的米级分辨率数据进行差分校正,效果很差。校正后的位置坐标仍然只有数米的精度。

通过对 GPS 72 手持接收机的深入研究分析,在手持 GPS 接收机输出的二进制数据结构中发现了取整输出之前的位置坐标,其经纬度的分辨率保留至 0.3 ms,相当于毫米级。该高分辨率坐标数据的发现,为手持 GPS 接收机后差分校正的实现奠定了基础。试验结果表明,对从二进制数据结构中提取出的厘米级分辨率数据进行差分处理,可以使手持 GPS 接收机的后差分校正精度达到亚米级。GPS 72 型手持 GPS 输出的二进制数据结构见表 1、2。

根据上述思路,笔者开发出了 Garmin 手持 GPS 接收机后差分改正软件。当拥有基准站的观测记录时,软件可输出经后差分改正后的亚米级高精度数据(分辨率可达到毫米级);没有基准站的观测记录时,软件也可提取并输出隐藏在 GPS 接收机内的高分辨率数据,该高分辨率数据由于未执行小数截断操作,精度可比常规输出数据高 0.1 ~ 0.5 m。

表1 GPS 72 手持机输出航点数据结构

名称	长度字节	说明
数据结构长度	4	整型数,为整个数据结构长度-1
点名	不定	ASCII码,以W开头表示航点
分隔符	3	0
时间标志	4	时间标志 0 为无时间记录 1 × 20 为有时间记录
纬度	4	Garmin 经纬度数据格式,准至 0.3 ms
经度	4	Garmin 经纬度数据格式,准至 0.3 ms
高程标志	1	0 为无高程 1 为有高程
高程	8	双精度浮点数
注释	不定	以 ASCII 码记录日期、时间
分隔符	5	

表2 GPS 72 手持机输出航迹点数据结构

名称	长度字节	说明
纬度	4	Garmin 经纬度格式数据,准至 0.3 ms
经度	4	Garmin 经纬度格式数据,准至 0.3 ms
高程标志	1	0 为无高程 1 为有高程
高程	8	双精度浮点格式数据
时间标志	1	时间标志 0 为无时间 1 为有时间记录
日期、时间	4	时间格式数据,准至 1 s
分隔符	9	

5 GPS 手持机位置差分的使用和注意事项

(1)在所有的 GPS 移动站开始观测之前,位于基站的 GPS 接收机必须已经处于定时自动观测状态,定时间隔视接收机的数据存储空间和要求的校正精度而定,一般可以在 2 ~ 20 s 内取值。基准站必须选择在视野开阔、上空无遮盖、远离平静水面、光滑墙面等强反射面,附近无较强电磁干扰的稳定

位置,最好将基准站架设在国家等级控制点上,否则只能做相对校正。在整个观测期间,基准站 GPS 接收机的位置不得移动。在所有的 GPS 移动站结束观测之后,基站 GPS 接收机方可结束观测。

(2)在移动站使用的 GPS 接收机使用航点平均值方式记录定位点的位置及时间,平均值记录的观测时间可视卫星接收环境而定,在接收环境好的地区 1 min 以内就可以,而较差的地区,可能需要数分时间,一般以接收机屏幕显示的误差小于 5 m 为宜。

(3)使用随 GPS 接收机配置的 MapSource 数据传输软件,将基站和各移动站的观测记录导入计算机。

(4)使用笔者开发的 GPS 72 系列手持机后差分处理专用软件,从 GPS 的电子文档记录中提取厘米级分辨率的位置数据和秒级时间记录,将各移动站的观测数据用基站数据进行后差分处理,输出经后差分改正后的 WGS 84 坐标系亚米级高精度定位数据。

(5)使用坐标转换软件,将 WGS 84 坐标系的定位数据转换到北京 54 或西安 80 坐标系中。

6 野外观测实验

使用 GPS 72 接收机 2 台,其中一台放置在固定点作为基站,另一台作为移动站。对同一点位在 7 个不同的时段内先后 6 d 进行多次平均值观测。每

表3 移动站在同一点位、不同日期的多次平均测定记录

序号	观测日期	观测时间	单个时段多次重复观测平均值			单个时段多次重复观测中误差			
			x	y	z	x	y	平面	z
1	2-09	12 56 :12 ~ 13 07 :02	4053363.05	501776.58	31.35	1.45	1.30	1.95	5.52
2	2-10	12 18 31 ~ 12 29 :43	4053359.35	501777.37	33.07	0.88	0.62	1.08	1.67
3	2-11	14 27 :42 ~ 14 37 :07	4053362.10	501775.68	29.88	1.23	0.76	1.45	2.21
4	2-12	16 52 01 ~ 17 05 31	4053361.36	501778.10	27.33	1.56	1.23	1.99	2.99
5	2-13	12 26 28 ~ 12 37 :43	4053359.62	501776.45	26.91	1.58	1.09	1.92	2.76
6	2-13	18 20 :12 ~ 18 33 37	4053360.20	501776.43	26.81	1.39	1.27	1.88	4.35
7	2-14	10 50 07 ~ 11 06 27	4053363.48	501777.65	25.14	1.19	1.24	1.72	3.75

表4 差分改正前后的定位坐标及精度对比

序号	差分前多次重复观测平均值			差分后多次重复观测平均值		
	x	y	z	x	y	z
1	4053363.05	501776.58	31.35	4053363.05	501776.58	31.35
2	4053359.35	501777.37	33.07	4053361.83	501777.23	35.47
3	4053362.10	501775.68	29.88	4053362.54	501777.37	30.78
4	4053361.36	501778.10	27.33	4053362.50	501776.93	33.94
5	4053359.62	501776.45	26.91	4053361.00	501777.82	34.18
6	4053360.20	501776.43	26.81	4053363.53	501776.03	35.58
7	4053363.48	501777.65	25.14	4053362.51	501776.79	36.31
坐标总平均值	4053361.31	501776.89	28.64	4053362.42	501776.97	33.94
坐标中误差	1.53	0.78	2.64	0.76	0.54	1.98
平面中误差	1.76			0.93		

个时段观测时长 10 ~ 15 min ,重复观测间隔 5 s。单个时段观测值的平面位置中误差为 1.08 ~ 1.99 m ,高程中误差为 1.67 ~ 5.22 m。7 个时段观测平均值的平面位置中误差为 1.76 m ,高程中误差为 2.64 m。经差分改正后平面位置中误差为 0.93 m ,高程中误差为 1.98 m。

实验结果表明 ,使用位置差分改正方法 ,可以使差分改正之后的定位精度比差分改正之前提高 1 倍左右 ,达到亚米级的定位精度。实测及差分改正后的数据处理如表 3、表 4 所示。

7 结论

使用轻便、价廉的 GPS 72 型手持机 ,采用航点自动平均功能观测和高分辨率位置后差分改正 ,可以使平面定位精度约提高 1 个数量级 ,从 10 m 左右达到亚米级。

参考文献 :

- [1] 何怡 ,李扬继. 浅析差分 GPS 的算法及数据格式[J]. 电讯技术 2004 44(3) :111.
- [2] 郑立平 ,白彦钊. GPS 测量的误差分析[J]. 科技资讯 ,2005 (22) :19.

THE APPLICATION OF THE POST-OPERATION DIFFERENCE TECHNIQUE TO IMPROVE THE LOCATING PRECISION OF THE HAND-HELD GPS

GAO Jian-dong ,LEI Yu-wen

(Shandong Zhengyuan Academy of Resources Exploration , China Bureau of Metallurgy and Geological Exploration , Jinan 250014 , China)

Abstract : The high-resolution position data in the centimeter grade are extracted from the binary output records of the hand-held GPS position indicator , and the multiple average measurement and post-operation position difference correction method are used so as to decrease the planar locating error of the portable and cheap hand-held GPS position indicator from several meters to 1 m or so. Thus the precision of the sub-meter grade can be attained.

Key words hand-held GPS ; positioning precision ; post-operation difference technique

作者简介 :高建东 (1958 -) ,男 ,教授级高工。毕业于中国地质大学(武汉) ,获硕士学位 ,中冶勘山东正元资源勘查研究院副总工程师 ,现从事物探、测绘管理工作和物测应用软件开发研究 ,发表论文 5 篇。

征 订 启 事

尊敬的读者 :

2007 年期刊征订工作将于 2006 年 10 月开始 ,欢迎您订阅《物探与化探》杂志。本刊为双月刊 ,全年共 6 期。请您及时到当地邮局办理订阅事宜 ,注意不要错过征订时间。《物探与化探》杂志的邮发代号为 : 2 - 334 ;订价 :12.00 元/期 ,全年订价 72.00 元/套。