

# GPS 导航定位误差分析及处理

刘国锦, 周 波, 殷奎喜, 时 斌, 朱晓舒

(南京师范大学 分析测试中心, 江苏 南京 210097)

[摘要] 在分析 GPS 绝对定位误差产生原因的基础上, 使用 GPS 模块记录移动台和基站的定位数据, 测量时间从上午 9 点 50 分到 10 点, 连续观测 6 d. 采用对移动站测得的数据求平均值, 利用基站数据进行位置差分校正的方法, 使绝对定位的误差减小, 提高测量精度. 在此基础上, 利用位置差分的方法来修正行车航迹, 纠正行驶路线, 从而获得了可靠性较高并且符合实际情况的航迹图.

[关键词] GPS, 定位精度, 位置差分

[中图分类号] P208 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2008)03-0088-05

## Analysis and Disposal to the Error of GPS Static Absolute Positioning

Liu Guojing, Zhou Bo, Yin Kuixi, Shi Bin, Zhu Xiaoshu

(Analysis and Testing Center, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

**Abstract** This paper analyzes the reasons of the errors of GPS static absolute positioning. This method is using GPS model to record the data of GPS from mobile stations and static stations in six days. In every day the time for location is from 9 50 to 10 am. Then through seeking the average of every group of values of mobile station and using the position difference by the values of static position to amend the value of mobile station, the error of the value is reduced, and thus the value become more precise.

**Key words** GPS, positioning precision, position difference technique

目前 GPS 在军事、测绘、交通、旅游、勘探等领域得到了广泛的应用. 但是在应用的过程中由于各种因素的影响, 不可避免地会产生一些误差, 这些误差影响了 GPS 定位精度.

近年来国内外从各个方面对 GPS 误差进行研究, 取得一些成果. GPS 测量误差主要来源于 GPS 卫星、卫星信号的传播过程和地面接收设备, 按误差性质可分为系统误差和偶然误差. 其中系统误差包括卫星星历误差、卫星钟差、接收机钟差以及大气折射误差, 偶然误差主要包括信号的多路径效应<sup>[1]</sup>. 有的文献从误差来源分析, 将 GPS 误差分为 4 类: 与 GPS 卫星有关的误差, 与 GPS 信号有关的误差, 与观测和接收有关的误差, 其它误差<sup>[2]</sup>. 消除 GPS 定位误差的方法主要有两种: 一是采用差分 GPS 技术, 二是以 GPS 接收机的位置输出为原始数据, 建立误差模型<sup>[3]</sup>. 安德新认为采用多台接收机, 进行载波相位观测可以达到 cm 级的精度<sup>[4]</sup>. 李奇认为对于 GPS 控制网基线测量, 基线长度较短的情况下, GPS 的轨道误差、太阳光的影响及 SA 技术基本对测量精度不产生影响<sup>[5]</sup>. 国内对于 GPS 误差的研究, 主要包括静态绝对定位的研究、实时动态定位研究等. 对于实时动态定位, 观测结果跳跃较大, 稳定性差<sup>[6]</sup>. 对于单点静态定位, 相关研究表明观测时间越长则单点定位精度越高, 而且在不改变测量仪器设备和测量条件的情况下, 通过增加测量次数  $n$ , 可以使得测量精度得到明显提高<sup>[3]</sup>. 高建栋认为利用位置后向差分技术可以明显提高手持 GPS 的定位精度<sup>[7]</sup>.

作者通过对 GPS 接收数据的研究, 利用多次求平均值和位置差分的方法, 明显提高了 GPS 绝对定位的精度. 如何把此方法运用到实际定位测量中, 本文提出了一种新的实现方法. 通过记录行车时的 GPS 数

收稿日期: 2007-04-18

基金项目: 江苏省教育厅基金 (02KJD470004) 资助项目.

通讯联系人: 刘国锦, 高级工程师, 研究方向: 通信工程与测控技术. E-mail: liuguojin@njnu.edu.cn

据,采用位置差分的方法来修正数据.将修正前后的轨迹进行对比,获得了较好的效果,显示了位置差分的方法具有相当高的实用价值.

1 GPS误差原因的分析

GPS定位可以分为绝对定位和差分定位两类,一般都是采用绝对定位的方法,其原理是GPS接收机通过接收GPS卫星发送的电磁波信号,利用一组卫星的伪距、星历和卫星发射时间来实现的,同时还必须获得用户时钟差,要获得GPS接收机的位置,卫星的个数必须是4颗或4颗以上.在这一过程中存在着3组误差:

1.1 与GPS卫星有关的误差

与GPS卫星有关的误差,包括卫星星历误差,卫星时钟误差.在GPS导航定位中,GPS卫星的在轨位置,是作为动态已知点参与导航定位计算的.通常是从GPS卫星导航电文中解译出卫星星历,进而依据后者计算出所需要的动态已知点.很显然,这种动态已知点的误差,已经注入到解算结果中.

卫星的位置随时间变化,卫星时钟偏差指GPS卫星时钟与GPS标准时间的差别.某一卫星在时刻 $t$ 钟差可表示为<sup>[2]</sup>:

$$\delta t = a_0 + a_1(t - t_{0c}) + a_2(t - t_{0c})^2 + \int_{t_{0c}}^t y(t) dt \tag{1}$$

式中,  $t_{0c}$  为参考时元;  $t$  为观测时元;  $a_0$ 、 $a_1$ 、 $a_2$  分别为卫星钟的钟差、钟速和钟速变化率;  $\int_{t_{0c}}^t y(t) dt$  是随机项, 实际应用中去掉这一项<sup>[2]</sup>.

1.2 与GPS传播信号有关的误差

与GPS传播信号有关的误差,包括电离层折射误差,对流层折射误差、多路径效应.电离层误差是指高度在50~1000 km之间的大气层,受太阳辐射的作用,大气中的分子被电离,形成电离气体层.GPS信号在电离层中传输产生延迟,使得结果发生偏差.

对流层折射误差是电磁波信号通过对流层时其传播速度不同于真空光速所引起的.目前采用的对流层折射改正模型有: Hopfield, Saastamainen, Black以及Chao模型.下面仅介绍应用最广泛的Hopfield模型<sup>[2]</sup>:

$$\delta P_{\text{trop}} = \frac{k_d}{\sin(E^2 + 6.25)^{1/2}} + \frac{k_w}{\sin(E^2 + 6.25)^{1/2}}, \tag{2}$$

其中, 
$$\begin{cases} k_d = 155.2 \times 10^{-7} \frac{P_s}{T_s} (h_d - h_s), \\ k_w = 155.2 \times 10^{-7} \frac{4810}{T_s^2} e_s (h_d - h_s), \\ h_d = 40136 + 148.72(T_s - 273.16), \\ h_w = 11000 \end{cases} \tag{3}$$

式中,  $T_s$ 、 $P_s$ 、 $e_s$  分别表示测站的气温、水压和水气压;  $h_d$  为对流层外边缘高度;  $h_s$  和  $E$  表示测站高和仰角;  $h_w$  是对流层湿项偏差改正的协议高度, 即11000m.

在GPS测量中,周围的反射物反射的信号进入接收机天线,和来自卫星的信号产生干涉,使观测值偏离真值产生误差.这种由于多路径的信号传播所引起的干涉时延效应成为多路径效应.

1.3 GPS接收机产生的误差

GPS接收机产生的误差,包括内部噪声、通道延迟、环境电磁噪声引起的误差等<sup>[1]</sup>.因此当用一台GPS接收机固定在某一点进行位置测量时,测量结果中就包含了上述3种误差.假设GPS接收机本身的精度足够高,那么该点的坐标值主要由第一部分和第二部分误差组成.由于GPS卫星离地面的高度在几万m以上,所以在地面上相当大的范围内误差的影响是一样的.因此在已知点附近的GPS观测站利用在已知点测出的GPS误差对观测值进行修正.这种校正技术称为差分定位技术,利用差分技术可以将第一部分误差和第二部分误差消除,其主要取决于基准接收机和已知点之间的距离.

通过多次测量取平均值可以降低由于 GPS 接收机内部噪声和环境电磁干扰引起的误差, 因此第三部分误差可以通过多次测量取平均值的方法来消除.

结合差分定位技术和重复测量求平均值, 就可能提高定位精度. 作者介绍的减小 GPS 定位误差的方法就是基于上述思想.

2 差分定位原理及位置差分定位技术的实现

GPS 绝对定位的误差一般是十几米, 为了得到更高的定位精度, 我们采用了差分 GPS 技术: 将自制的一台 GPS 接收机安置在基准站上进行观测. 根据基准站已知的精密坐标, 计算出基准站到卫星的距离修正值, 并由基准站通过 GSM 网络实时将这一组数据发送出去. 移动台在进行 GPS 观测的同时, 也接收来自基准站发出的修正值, 对其结果进行修正, 从而提高定位精度.

根据差分 GPS 基准站的发送信息的方式可以将差分定位分为 3 类: 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修正参数, 移动台接收并对其测量结果进行改正, 以获得精确的定位结果. 不同的是修正参数的具体内容不一样, 其差分精度也不一样<sup>[2]</sup>.

位置差分是常用的差分方法, 安装在基准站上的 GPS 接收机观测 4 颗卫星后并可进行三维定位, 解算出基准站的坐标. 由于上述误差, 解算出的坐标与基准站的已知坐标是不一样的. 基准站将此修正参数发送出去, 移动台接收后, 便可以对测量值进行修正.

从位置差分的原理我们可以看出只要在同一时间纪录下基站的 GPS 接收机的数据和移动 GPS 的数据, 就可以对移动 GPS 的接收数据进行校正了.

3 观测实验

3.1 数据采集

使用两台 GPS 接收机, 一台放在固定点作为基站, 另一台作为移动站, 每天在同一个时段进行多次平均值测量. 基站设置在南京师范大学 100 号楼前草坪的中间位置, 草坪四周空旷, 易于 GPS 信号的接收, 而且草地能较好地吸收微波信号的能量, 削弱多路径的影响.

实验的时间选择在 4 月 1 日到 4 月 6 日上午 9 点 50 分到 10 点, 天气大都是晴好为主. GPS 设备中采用 SRF-GPS2e 模块, 单片机处理模块的 NEMA 信息, 并将经纬度显示在液晶屏上. 在测量期间确保天线不移动. 每隔 3 s 定位一次, 每次测量 200 个数据.

3.2 数据处理

将基站和移动站的观测记录导入计算机, 将移动站的数据用基站的数据进行差分处理, 保存差分处理后的数据. 由于经纬网坐标不利于数据处理, 我们需要将经纬网坐标转换成平面坐标系. 其中  $X$  坐标对应于纬度,  $Y$  坐标对应于经度.

3.3 提高定位精度

表 1 给出了移动台在同一点多次测量的平均值, 表 2 给出了差分处理前后的定位坐标和误差对比. 根据表 1、表 2 分析, 在这 6 d 的单个时段的测量里,  $X$  坐标的误差为 1.49~6.29 m,  $Y$  坐标的误差为 2.42~6.45 m. 6 d 的平均观测误差  $X$  坐标的误差为 1.94 m,  $Y$  坐标的误差为 2.21 m, 平面上的误差为 2.94 m. 经过差分后  $X$  坐标的误差为 0.81 m,  $Y$  坐标的误差为 0.91 m, 平面上的误差为 1.26 m. 实验结果表明, 使用多次求平均值和差分改正的方法, 可以使定位精度比改正之前有大幅度的提高.

表 1 移动站在同一点多次平均测定值

Table 1 Averagemasured values of mobile station on the same spot						
次数	观测日期	观测时间	多次观测平均值 /m		多次观测误差 /m	
			$X$	$Y$	$\Delta X$	$\Delta Y$
1	4-1	9:50-10	3 557 995.43	950 173.56	1.76	6.45
2	4-2	9:50-10	3 558 002.73	950 168.23	3.02	5.60
3	4-3	9:50-10	3 557 996.82	950 173.38	1.49	2.42
4	4-4	9:50-10	3 557 999.83	950 170.94	6.29	5.75
5	4-5	9:50-10	3 557 998.22	950 169.00	5.59	4.87
6	4-6	9:50-10	3 557 997.13	950 174.51	5.38	2.90

表 2 差分前后的定位坐标和误差对比

Table 2 Orientation coordinate and error comparison before and after the difference technique

次序	差分前重复观测平均值 /m		差分后重复观测平均值 /m	
	X	Y	X1	Y1
1	3 557 995. 43	950 173. 56	3 557 998. 03	950 170. 50
2	3 558 002. 73	950 168. 23	3 558 000. 43	950 169. 44
3	3 557 996. 82	950 173. 38	3 557 997. 97	950 171. 52
4	3 557 999. 83	950 170. 94	3 557 999. 02	950 168. 89
5	3 557 998. 22	950 169. 00	3 557 999. 68	950 170. 85
6	3 557 997. 13	950 174. 51	3 557 998. 80	950 172. 20
坐标平均值	3 557 998. 36	950 171. 60	3 557 998. 98	950 170. 57
坐标误差	1. 94	2. 21	0. 81	0. 96

4 位置差分修正法在 GPS导航航迹图中的应用

位置差分具有改正计算的数学模型简单、数据量少、基准站与流动站观测是同一组卫星的特点, 在方圆百公里范围内, 采用位置差分的方法对车辆的行驶路线进行修正是一个比较好的选择, 位置差分修正法可以广泛运用于城市地图导航、公交、轻轨运营监控系统中. 在军事精确定位、目标打击、大坝的位移测量、救灾等方面也有广泛的应用前景.

目前, GPS导航系统采用的定位方法大都是单点定位, 定位不是十分准确, 存在较大的误差. 我们将位置差分的方法, 应用到监控中心的车辆行驶航迹图的修正, 取得了很好的效果.

使用两台同样的 GPS接收机, 一台固定在已知点, 另一台放在车上, 两台接收机都与笔记本电脑连接, 将接收的数据存放到电脑中. 通过固定点的数据来修正移动点的数据. 然后将修正前的数据和修正后的数据导入 GPS地图中, 对比观察效果, GPS地图采用的是 Google earth. 修正前的行车轨迹如图 1所示, 图中的白线部分为航迹. 从中我们可以看出有部分轨迹已经偏离了路面. 修正之后的行车轨迹如图 2所示, 从中可以看到原来偏离的部分路线被校正过来.



图 1 修正之前的航迹  
Fig.1 Track before modification



图 2 修正之后的航迹  
Fig.2 Track after modification

5 结论

本文通过理论和实验研究得出在 GPS绝对定位时, 采用多次测量求平均值和位置差分计算方法, 可以大幅度地减小定位误差, 提高定位精度, 并且通过修正汽车的行驶航迹验证了位置差分的可行性. 这一研究结果对于提高 GPS绝对定位精度有着重要的现实指导意义.

[参考文献] (References)

- [1] 刘基余. GPS 卫星导航定位原理与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2003  
Liu Jiyu Principle and Method of Satellite Navigation/Positioning System [M]. Beijing: Science Press, 2003. (in Chinese)
- [2] 王文贵, 唐诗华. GPS 卫星定位误差概论 [J]. 测绘与地理空间信息, 2006, 29(5): 39-42  
Wang Wenguan, Tang Shihua. Concept of GPS Surveying Errors [J]. Geomatics and Spatial Information Technology, 2006, 29(5): 39-42. (in Chinese)
- [3] 俞海红, 陈素珊, 何勇. GPS 定位实验及提高定位精度的方法研究 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2004, 30(6): 662-667.  
Yu Haihong, Chen Sushan, He Yong. Study on GPS orientation experiment and method of improving location precision [J]. Journal of Zhejiang University: Agric and Life Sci, 2004, 30(6): 662-667. (in Chinese)
- [4] 安德新, 谢世杰, 高启贵. GPS 精密定位及其误差源 [J]. 地矿测绘, 2000(1): 4-6  
An Dexin, Xie Shijie, Gao Qigui. Precision positioning with GPS and its error source [J]. Surveying and Mapping, 2000(1): 4-6. (in Chinese)
- [5] 李奇. GPS 测量的误差及精度控制 [J]. 甘肃科技, 2006, 22(9): 152-155  
Li Qi. Analysis of GPS measurement and precision control [J]. Gansu technology, 2006, 22(9): 152-155. (in Chinese)
- [6] 程新文, 陈性义. 手持式 GPS 定位精度研究 [J]. 测绘通报, 2004(9): 20-22  
Cheng Xinwen, Chen Xingyi. A study of PDA GPS location precision [J]. Surveying Bulletin, 2004(9): 20-22. (in Chinese)
- [7] 高建东, 雷郁文. 利用后差分技术提高手持 GPS 的精度 [J]. 物探与化探, 2006, 30(5): 446-449.  
Gao Jiandong, Lei Yuwen. The application of the post-operation difference technology to improve the local precision of handheld GPS [J]. GEO Physical and GEO Chemical Exploration, 2006, 30(5): 446-449. (in Chinese)
- [8] 乔立争, 曾元鉴. GPS 定位误差分析及建模 [J]. 海军工程学院学报, 1996(3): 45-51.  
Qiao Lizheng, Zeng Yuanjian. Analysis and modeling of GPS positioning errors [J]. Journal of the Naval Academy of Engineering, 1996(3): 45-51. (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]