

## GPS 手机的差分定位系统研究

李传华<sup>①</sup>, 孙礼军<sup>①</sup>, 陆林涛<sup>②</sup>

(①西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070; ②61512 部队, 北京 100088)

**【摘要】**提高 GPS 手机的定位精度具有很广阔的应用前景, 本文研究 GPS 手机的实时定位差分系统的设计和实现方法。该系统采用基准站广播位置差分、移动站实时处理的差分 GPS 方案, 其主要优点是定位精度高、改正速度快、设备简单、操作方便; 分析了位置差分 GPS 的定位误差, 给出了测量结果。理论分析和测试结果都表明, 该系统的差分定位精度比手机 GPS 直接定位相对提高 31m 左右, 定位误差达 4m 左右, 能够满足相关领域测量精度要求。

**【关键词】**GPS 手机; 差分定位; 位置差分; 误差分析

**【中图分类号】**P228

**【文献标识码】**A

**【文章编号】**1009-2307(2012) 03-50-03

## 1 引言

目前, 全球定位系统(GPS)在测绘、交通、勘探、旅游、农业、监测等领域得到了广泛的应用<sup>[1-4]</sup>。GPS 手机日益普及, GPS 定位不再是一项高深的科技, 利用普通 GPS 手机代替昂贵的 GPS 专业设备进行一些对精度要求不太高的应用, 如地质调查、林业调查、旅游、考古、导航等, 将会有着广阔的前景。本文通过对 GPS 星历数据的分析, 利用位置差分方法, 通过 GSM 网络广播改正值, 研究开发基于 GPS 手机的差分定位系统。

## 2 差分定位原理与技术实现

GPS 绝对定位的误差一般在 20m 左右, 为了得到更高的定位精度, 一般采用差分 GPS 技术(DGPS)<sup>[5]</sup>, DGPS 方式按基准站信息发送方式可分为 3 种方式: ①伪距差分; ②载波相位差分; ③位置差分。第①种方式, 基准站广播伪距修正量, 用户处理数据。在不同时间, 基准站的可见星数目不同, 要发送的伪距及其变化率修正量的数目不同, 这样传送一帧修正量的时间也不同。这种差分信号格式复杂, 帧长度比较长而且不恒定<sup>[6]</sup>。第②种差分方式, 基准站广播观测载波相位及测站坐标信息, 用户需要处理大量的数据, 对用户端设备要求高。第③种差分方式, 基准站广播位置改正量, 用户处理数据。这种方式差分数据格式简单, 帧长度短而且恒定, 差分改正快。

将 GPS 手机放在基准站上初始化, 得到多次观测结果的平均值。根据基准站已知的精密坐标, 计算出基准站三维坐标改正值, 通过 GSM 网络实时将改正值发送给移动站(GPS 手机), 移动站接收并对测量结果进行改正, 以获得精确的定位结果, 系统技术流程图如图 1。

## 3 误差分析

## 3.1 GPS 定位误差

单点定位时, GPS 直接定位误差为

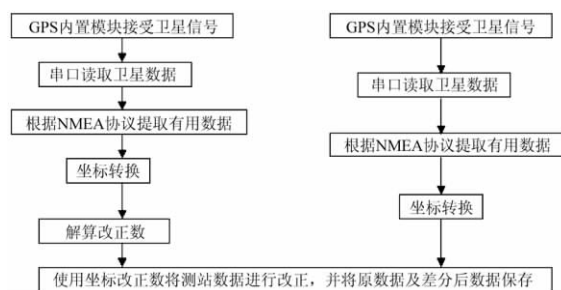


图1 系统流程图

$$\Delta B = G^{-1} [A \Delta S - \Delta P] \quad (1)$$

式中:  $\Delta S$  为卫星状态误差阵, 它包括卫星钟误差、星历误差和选择可用性(SA)误差,  $\Delta P$  为伪距误差, 它包括电离层效应和对流层效应引起的测距误差, 接收机噪声和通道引起的测距误差以及多径效应, 矩阵  $G$  和  $A$  表示用户和卫星之间的几何关系, 根据误差传播定律中的微小误差准则,  $G$  和  $A$  中的误差可以忽略<sup>[7]</sup>。

## 3.2 位置差分 GPS 误差

实时差分 GPS 把基准站 GPS 手机的位置参数测量值  $B_r$  与基准站位置参数实际值  $B_{r0}$  相减, 得到位置差分改正值  $\Delta B_r = B_r - B_{r0}$ 。基准站广播该改正值, 差分用户把 GPS 手机收到的位置参数  $B_d$  与  $\Delta B_r$  相减, 得到差分后的移动站位置参数  $B_{dc} = B_d - \Delta B_r$ 。设  $B_{d0}$  为用户位置参数真值, 则差分误差为:

$$\Delta B_{dc} = B_{dc} - B_{d0} = B_d - \Delta B_r - B_{d0} = \Delta B_d - \Delta U_r \quad (2)$$

式中:  $\Delta B_d = B_d - B_{d0}$  为用户无差分改正时的位置误差。

把(1)式代入(2)式可得:

$$\Delta B_{dc} = G_d^{-1} [A_d \Delta S_d - \Delta P_d] - G_r^{-1} [A_r \Delta S_r - \Delta P_r] = G_d^{-1} A_d \Delta S_d - G_d^{-1} \Delta P_d - G_r^{-1} A_r \Delta S_r + G_r^{-1} \Delta P_r \quad (3)$$

当移动站和基准站选用相同的卫星时,  $\Delta S_d = \Delta S_r = \Delta S$ 。因移动站和基准站的距离同与卫星的距离相比可以忽略不计, 故  $G_d \approx G_r \approx G$ ,  $A_d \approx A_r \approx A$ , (3) 式的第 1、3 项抵消, 即

$$\Delta B_d = G^{-1} (\Delta P_r - \Delta P_d) \quad (4)$$

(4) 式中  $\Delta P_r$ 、 $\Delta P_d$  分别为基准站和移动站的伪距测量误差, 它们包括电离层效应、对流层效应、接收机噪声、接收机通道以及多径效应引起的测距误差。当移动站与基准站在地面相距不大于 500km, 卫星与两者连线的夹角不大于  $1.5^\circ$ , 此时电离层效应、对流层效应引起的用户和基准站伪距测量误差相近, GPS 和 DGPS 的定位精度估计见表 1<sup>[8]</sup>。



作者简介: 李传华(1979-), 男, 湖北监利人, 硕士, 讲师, 从事 GPS 测量应用研究。

E-mail: lch\_nwnu@126.com

收稿日期: 2010-12-31

基金项目: 国家自然科学基金(40961026); 西北师范大学青年教师科研基金(NWNU-LKQN-08-45)

表1 GPS 和 DGPS 的定位精度估算表 (单位: m)

定位误差	GPS	DGPS(180KM)
卫星星历误差	2.8	0.1
卫星钟误差	3.1	0
电离层/对流层延迟误差	9.1/1.8	2.2/0.6
接收机噪声误差	3.1	3.1
接收机通道误差	0.61	0.61
多路径效应	3.05	3.05
UERE( rms)	30	3.97
水平位置误差( HDOP=1.5)	45	7.5
垂直位置误差( VDOP=2.5)	75	12

表2 差分 GPS 数据分析 (单位: m)

测站	已知坐标	测量坐标	$D_X$ 与 $D_Y$	差分后坐标	精度
基准站 D0	X 3997121.061	3997168.348	-47.287		
	Y 18385863.409	18385830.176	33.232		
D1	X 3997012.423	3997060.818	-48.395	3997013.531	-1.108
	Y 18386413.889	18386381.874	32.015	18386415.106	-1.217
D2	X 3997159.050	3997202.836	-43.786	3997155.549	3.501
	Y 18385757.572	18385720.840	36.732	18385754.072	3.50
D3	X 3997246.540	3997289.211	-42.671	3997241.924	4.616
	Y 18385313.204	18385275.469	37.735	18385308.701	4.503
D4	X 3997207.266	3997250.678	-43.412	3997203.390	3.875
	Y 18385464.943	18385426.0723	39.871	18385459.304	5.639

## 4 观测实验

### 4.1 数据采集

使用4台GPS手机,一台放在已知点作为基准站,其他3台作为移动站,基准站在已知点上初始化,观测3min,取观测值平均值。基准站设在西北师范大学东体育场东侧,四周空旷,无高大建筑物,易于GPS信号接收符合GPS选点规范。根据卫星星历预报软件,实验时间选在4月25日17:00~17:50,天气晴朗,可见卫星7颗,GPS手机为中恒D5,模式为NMEA,数据格式为\$GPRMC。

### 4.2 数据处理

利用VS2005平台,在GPS手机上开发实现了串口获取卫星数据,对星历数据读取和解析,坐标系统转换,差分数据改正等功能模块。GPS手机实时解算出位置差分数据,利用GSM网络发送给移动站<sup>[9,10]</sup>,移动站根据差分数据和接收到的GPS数据,计算差分后的数据,系统界面见图2、图3。



图2 坐标转换



图3 差分处理

## 5 精度评价

在实验过程中使用校园控制点D0作为基准站,其他移动站分别安置在D1、D2、D3、D4已知控制点上,以便于精度的验证,测试数据见表2。实验结果表明,位置差分之前的误差为35m左右,差分后误差减小到4m左右,精度相对提高31m,对于GPS手机而言,精度有了大幅度的提高。

## 6 结束语

由误差分析和实验结果得出,采用位置差分系统,GPS手机可以取得4m左右精度的定位结果。该实时差分定位系统具有以下特点:差分数据格式简单,改正速度快,定位精度大幅提高。使用普通GPS手机即可达到这种定位精度,再无需其他设备投入,操作简单,可以取代昂贵的专业GPS

设备,该系统可以用于地质调查、林业调查、旅游、考古、导航等领域。

通过深入实验,为了进一步提高位置差分精度,获得更加稳定可靠的测量数据,可以采用以下几种方式:

1) 使用GPS手机进行多次观测。将多次观测的数据进行统计,测量完成后将数据求取平均值,使用平均值进行差分计算,可大幅度提高定位精度,本文采用此方法。

2) 将差分系统安装于多台GPS手机中,各GPS手机均匀分布在实验区已知站点上计算差分值,将多个差分值平差,得到更准确的差分数据,差分精度会大幅提高。

3) 建立多个基站,基站接受卫星数据,并计算出各自的差分信号。移动站GPS手机接收每个基站的差分数据,根据距离加权进行平差,实时计算差分数据,这种差分数据更加稳定可靠。

4) 移动站和基准站距离增大,差分定位误差也增加,当两者距离小于20km时,位置差分的定位精度会更高。

## 参考文献

- [1] 刘根友,薛怀平,郝晓光,等.三峡库区秭归GPS滑坡监测网数据分析[J].大地测量与地球动力学,2009,29(3):70-73.
- [2] 何丹,常原飞,张迎,等.基于PDA的林业有害生物调查系统设计与实现[J].测绘科学,2009,34(2).
- [3] 柯福阳,王庆,余学祥,等.单历元GPS变形监测快速解算关键问题的研究[J].测绘通报,2008,3(3).
- [4] 庄立娟,秦安臣,赵志江,等.运用GPS对王家寨民俗村资源调查及其精度分析[J].安徽农业科学,2008,36(16):6918-6920.
- [5] 刘国锦,周波,殷奎喜,等.GPS导航定位误差分析及处理[J].南京师范大学学报(工程技术版),2008,8(3):88-91.
- [6] 王永生.实时位置差分GPS的设计与实现[J].西北工业大学学报,1994,12(3):354-359.
- [7] 徐绍铨,张华海,杨志强.GPS测量原理及应用[M].武汉:武汉大学出版社,2008,67-72.
- [8] 庄卫东,王海波,等.DGPS数据分析及定位精度研究[J].黑龙江八一农垦大学学报,2004,16(4).
- [9] 刘成勇,许昌如.基于NMEA2000协议的GPS数据传输与处理研究[J].武汉理工大学航运学院,2009,19(4):34-37.
- [10] 李鲁群,李明禄.面向Java手机GPS数据采集与无线网络传输系统的研究[J].武汉大学学报·信息科学版,2004,29(8):718-731.

(下转第28页)

### 3 仿真试验结果

本试验采用计算机仿真的方法得到交会拍摄的弹丸的双线阵影像, 设定测量参数如表 1 所示。

表 1 测量参数

像机频率 $f_c$	像元尺寸 $\delta$	焦距 $f$	像机到双像器距离 $d$
140k 线/s	10 $\mu$ m	35mm	4.5m

弹丸模型在 3D MAX 软件中生成, 弹长  $L = 1\text{m}$ , 弹径  $R = 0.15\text{m}$ , 通过编程读取 3DS 数据, 仿真得到弹丸模型的线阵影像, 如图 1 所示。表 2 中分别将弹丸速度和方位参数理论值、初始估计值和最优解进行了比较, 可以看出本文的方法通过利用弹丸圆柱部分成像信息, 具有较高的测量精度。

表 2 速度和方位参数测量结果比较

弹丸模型参数	初始位置 (m)	速度 (m/s)	姿态
理论值	(-0.5500, -1.000 4.000)	(700.0 0 0)	(0.9605, -0.1947 0.1987)
初始估计值	(-0.5406, -1.121 3.847)	(697.2, -12.53 20.85)	(0.9514, -0.1885 0.2235)
最优解	(-0.5487, -1.084 4.052)	(696.6, -1.031 5.265)	(0.9643, -0.1982 0.2029)

设定弹丸轴线矢量和速度矢量的理论值转速  $\kappa = 9000\text{rad/s}$ , 从图 4b 所示的仿真图中得到弹丸线阵影像上标记线曲线条带在轴线方向上像素覆盖数  $K_1 = 25$   $K_2 = 25$ ,  $\kappa = \frac{\pi}{2} \frac{2f_c}{K_1 + K_2} = 8796.46\text{rad/s}$ 。通过比较转速的测量结果和理论结果可以看出, 本文提出的标记线设计方法虽然简单, 但依然具有很高的精度。

### 4 结束语

利用狭缝摄影技术测量弹丸运动参数是现代靶场中常用

的方法, 开发以线阵像机替代传统的胶片式相机的数字狭缝摄影技术目前是该领域研究的一个重要方向。本文给出了一种利用线阵像机立体交会测量弹丸的设计, 提出了一种基于圆柱数学模型的精确估计弹丸速度、攻角的优化模型, 避免由于线阵像机扫描速度不足而难以实现弹道同步测量的难题。本文还提出了一种测量弹丸转速的标记线, 在操作和计算过程上较传统方法更简洁。利用线阵像机的弹丸运动参数测量方法为现代靶场武器测试的数字化、自动化提供了科学参考。

### 参考文献

- [1] Introduction to Naval Weapons Engineering. <http://www.fas.org/man/dod-401/navy/docs/es310/ballstic/Ballstic.htm>.
- [2] D M Abrahams. Using synchro-ballistic cameras to determine the velocity and spin rate of high-velocity projectiles [R]. Sandia Report SAND84-8018, 1985.
- [3] PHughett. Projectile velocity and spin rate by image processing of synchro-ballistic photography [C]//Proceedings of Ultrahigh-and High-Speed Photography, Videography, Photonics, and Velocimetry. San Diego, CA, USA, 1990. 237-248.
- [4] S R Verma, R N Mukherjee, M Balakrishnan. Measurement of Spin of Projectile [J]. Def Sci J, 1989, 39(1): 73-77.
- [5] 张三喜, 薛以辉, 卢宇. 狭缝摄影胶片图像运动参量测量和处理 [J]. 光子学报, 1999, 28(12).
- [6] 李金珂, 陈良益. 基于线阵 CCD 的弹道同步式狭缝摄影系统 [J]. 激光与红外, 2009, 39(3).
- [7] 高昕, 王颖, 黄惠明. 利用线阵 CCD 像机交汇测量弹丸攻角 [J]. 光学技术, 2002, 28(4): 376-379.
- [8] W D Song et al. Software Design for Measurement of Bullet Attitude Based on Linear CCD [C]//Proceedings of the Eighth International Conference on Electronic Measurement and Instruments. Xi'an, China, 2007: 521-524.

### Measuring motion parameters of projectile using line scan camera

**Abstract:** The streak photography is mainly used for measuring the projectile's velocity, angle of attack, and spin rate in modern Test Range. In recent years, attempts were made to substitute the traditional film camera with the line scan camera. To solve the problem, an equivalent ortho-intersection photography using a single line scan camera and a mirror was developed in this paper. Due to the shape characteristic of the projectile, an optimization model of motion parameters using cylinder model was established. Optimization algorithm was used to converge toward optimal solutions of the position, attitude and the velocity, and the angle of attack was then computed; a mark method was adapted to measure the spin rate simply and accurately. Experiment validated the precision of the method with simulated data.

**Key words:** motion parameters; line scan camera; optimization; projectile

ZHAO Zhu-xin, HUI Bing-wei, ZHANG Xing, WEN Gong-jian (ATR Key Laboratory, School of Electronic Science and Engineering, Univ. of National Defense Technology, Changsha 410073, China)

(上接第 51 页)

### Differential positioning system base on GPS phone

**Abstract:** Due to its popularity, GPS phone is used to replace expensive professional GPS receiver in some fields on less accuracy, which has become a trend. Improving GPS positioning accuracy of mobile phone has a wide application prospects. This paper studied on the real-time differential positioning system based on GPS phone, which uses position difference algorithm that base station broadcasts DGPS corrections and roving station real-time performs. It has some advantages, such as the higher positioning accuracy, the faster correction speed, the equipment is simple and easy to use. This paper analyzed the position error of DGPS and calculated the measured results. The test result indicated that the DGPS positioning accuracy improved 31 meters than absolute positioning based on GPS phone, positioning error of 4 meters, which could meet the accuracy requirement in some fields.

**Key words:** GPS mobile; DGPS; position difference; error analysis

LI Chuan-hua<sup>①</sup>, SUN Li-jun<sup>①</sup>, LU Lin-tao<sup>②</sup> (①College of Geographic and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China; ②Troops 61512, Beijing 100088, China)