

测绘地理信息仪器装备发展研究

中国测绘地理信息学会仪器装备专业委员会 编

2015



测绘出版社

测绘地理信息仪器装备发展研究

(2015)

中国测绘地理信息学会仪器装备专业委员会 编

测绘出版社

• 北京 •

© 中国测绘地理信息学会仪器装备专业委员会 2015
所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。



图书在版编目(CIP)数据

测绘地理信息仪器装备发展研究. 2015/中国测绘地理信息学会仪器装备专业委员会编. —北京:测绘出版社, 2015.10

ISBN 978-7-5030-3811-2

I. ①测… II. ①中… III. ①测绘仪器—文集 IV. ①P204-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 236249 号

责任编辑 余易举		执行编辑 侯杨杨		封面设计 李 伟		责任校对 董玉珍		责任印制 喻 迅	
出版发行		测绘出版社			电 话		010—83543956(发行部)		
地 址		北京市西城区三里河路 50 号					010—68531609(门市部)		
邮政编码		100045					010—68531363(编辑部)		
电子信箱		smp@sinomaps.com			网 址		www.chinasmp.com		
印 刷		北京京华虎彩印刷有限公司			经 销		新华书店		
成品规格		210mm×285mm							
印 张		8.5			字 数		239 千字		
版 次		2015 年 10 月第 1 版			印 次		2015 年 10 月第 1 次印刷		
印 数		001—800			定 价		28.00 元		

书 号 ISBN 978-7-5030-3811-2/P · 819
本书如有印装质量问题,请与我社联系调换。

编 委 会

顾 问 刘先林

主 编 齐维君 郭志勇

编 委 (按姓氏笔画排序)

马建平 文汉江 方爱平 付子傲

白正玄 李 松 李英成 李宗春

吴海玲 何平安 陈 新 罗维佳

徐忠阳 郭四清

前 言

测绘地理信息仪器装备已广泛应用于测绘地理信息数据获取、处理和输出等关键技术环节,是测绘地理信息技术发展不可或缺的重要组成部分。中国测绘地理信息学会仪器装备专业委员会坚持从测绘地理信息服务的需求出发,紧跟测绘地理信息技术“自动化、智能化”的发展步伐,着眼于跟踪发达国家在技术研发、技术创新、技术应用等方面的发展动向,提高我国测绘地理信息仪器装备的国际竞争力,研究和分析国内外测绘地理信息技术发展趋势,不断推进我国测绘地理信息仪器装备建设,为我国测绘地理信息转型升级、跨越发展发挥应有的重要作用。

中国测绘地理信息学会仪器装备专业委员会围绕测绘地理信息仪器装备的“产学研用和测试评价”开展学术交流,活跃学术思想,普及科学知识,传播科学思想。本文集的出版涉及测绘地理信息仪器装备理论与研究、测试与评价、技术与应用等方面,力求为广大科研工作者提供一个高质量、高水平和内容广泛的学术交流平台。在此向所有为本文集积极撰稿和出版做出贡献的专家和学者表示衷心的感谢!

中国测绘地理信息学会仪器装备专业委员会

2015 年 10 月

目 录

理论与研究

非量测数码相机的检校 赵 莹(3)

基于 GNSS 记录回放系统的测地型接收机检测新方法研究 蔡 冲,金 挺,刘毛毛(7)

激光扫描仪、跟踪仪点位测量精度计算方法研究 王建波,贾 真,付子傲(11)

基于网络实时动态技术的 GNSS 变形监测系统实现 陈 澍,张 锐,张绪丰(15)

激光跟踪仪动态测量精度分析 潘廷耀,范百兴,杨再华,西 勤,肖华杰(22)

基于辐射特性靶标的数字航空传感器辐射特性研究
..... 于秀娟,袁 枫,徐寿志,吴秀娟,杨 因(26)

采用 ISO 17123-4 进行全站仪测距精度比较与分析 ... 翟清斌,时健康,史东旭,朱海波,李 超(30)

基于光平面铁轨检测模型联合标定方法研究 经 薇,余 峰,李腾飞,曾晓峰,王 吉(35)

测试与评价

基于 LabVIEW 的经纬仪水平度盘误差的数值仿真研究 黄 稣,黄万钧(43)

自动安平水准仪补偿误差的检测方法与研究 罗官德,李亚娟,闵学鹏(46)

无人机机载微型合成孔径雷达成像定标测量技术研究 王军锋,乔 明,邓 豪,徐成华(51)

μ -base 精密测距精度测试与分析 肖华杰,范百兴,邓向瑞,李连福(57)

车载移动测量系统的激光扫描仪测试方法探讨 徐寿志,时健康,朱海波(62)

基于图像处理的水平角检测方法研究 吴秀娟,王三明,赵凯鹏,黄彦党(65)

基于 ARM 芯片的野外数据采集研究 杨 因,于秀娟,袁 枫,吴秀娟,徐寿志(69)

北斗地基增强基准站接收机和天线测试技术探讨 牛 犇,杨景秋,任永超,王 健,陈 澍(73)

基于地面检校场的倾斜航摄仪几何精度评估 袁 枫,于秀娟,徐寿志(78)

基于自然地表测距残差的星载激光测高系统在轨检校
..... 易 洪,李 松,黄 科,史光远,王 虹,杨晋陵(82)

技术与应用

三维激光扫描技术在石化厂区管理中的应用 王 妍,高 伟,王金玉,杜吉祥(89)

使用 μ -base 实施野外基线测量的时机选择和测温技巧探讨 凌 云,蒋理兴,付子傲(93)

摄影测量一体化测图系统流程优化设计 王 琮,李 俊(96)

测绘技术在数字水准仪研发中的应用 王 晶,杨翠云,郑 慧,崔 露(99)

移动终端应用网络地图服务的技术实现 陈国岭,孙成忠,郝振国,杨泽东(104)

65 m 射电望远镜天线摄影测量技术研究 冯其强,李宗春,程志强,王永强(110)

基于 BIM 的国产智能施工放样软件 GeoBIM-Layout 的研究与应用
..... 颜 斌,黄道军,文江涛,樊冬冬,赵庆科,陈 辉,张 燕,王 磊(115)

高精度导航地图的数据模型 陶 璐,宋向勃,罗跃军(118)

编队小卫星星间测距技术综述 王 吉,曾小峰,余 峰(123)

理论与研究

非量测数码相机的检校

赵 莹

中国人民解放军第 1001 工厂, 陕西 西安 710119

摘要:近年来,国内外大型的公司都推出精度更高,功能更全面的量测相机,但由于其价格昂贵、体积大,不能被测绘行业普遍应用,因此用于非量测目的普通数码相机引起业内的关注。由于数码相机是非量测相机,没有准确的方位元素,因此,在进行摄影测量之前首先要对其相机方位元素进行检校。数码相机检校的方法有很多种,其本质都是基于共线方程。本文介绍一种利用直接线性变换(DLT)的检校方法,通过推导误差方程、迭代计算获得高精度的相机参数。

关键词:近景摄影测量;相机检校;方位元素;畸变差

1 引言

随着摄影测量学科的发展及电荷耦合器(CCD)成像技术的不断发展,非量测数码相机已经逐步取代普通的量测相机,在航天、测绘、军事和城市规划等方面发挥着重要的作用。相比于量测相机,非量测数码相机具有价格低廉、易携带、普及面广等优点,但由于它没有框标装置,不能提供准确的内方位元素,透镜组也因没有进行严格地校正而产生较大的畸变差,所以非量测数码相机的检校成为摄影测量学中最基础、最重要的一个分支。相机检校其本质是从二维影像得到三维空间信息,找到像元与被测物体相应点的数学关系,建立数学模型,从而解算出数码相机的内外方位元素。因此,数码相机的检校是摄影测量的前提。

2 数码相机的检校内容及方法

非量测数码误差主要包括机械误差、电子误差和光学误差,其中光学误差是影响成像质量的一项重要误差来源。其主要是由于光学系统在设计、加工及装配过程中引起的像点偏离理想位置的误差。数码相机的检校其实质是对相机内外方位元素的检校。内方位元素主要包括数码相机的主距 f ,像主点在像片几何中心的坐标 (X_0, Y_0) 及光学畸变;而外方位元素包括直线元素 (X_s, Y_s, Z_s) 和朝向元素 (ϕ, ω, κ) ,主要是描述摄影中心和像片在拍摄瞬间相对于场面摄影测量坐标系的位置和空间姿态。而检校的重点是对相机内方位元素的检校。

传统的相机的检校方法有很多种:光学实验室检校法、实验场检校法、自检法等。其中实验场法比较常用。数码相机也可根据这些方法进行检校,通常按检校技术可分为四类:直接线性变换法、空间后方交会法、解析铅垂线法、解析自检法。后方交会和直接线性变换法是比较实用的方案,本文重点介绍直接线性变换法(direct linear transformation, DLT)。

直接线性变换法在计算时无需给出相机的内外方位元素角的初值,是基于共线方程而来的,共线方程的表达式为

$$\left. \begin{aligned} x - x_0 &= -f_x \frac{a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \\ y - y_0 &= -f_y \frac{a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

共线方程会用到三个坐标系:物空间坐标系、像空间坐标系和辅助空间坐标系。公式中 (x, y) 是像点坐标, (X, Y, Z) 是物点坐标, (X_s, Y_s, Z_s) 是摄影中心坐标, (a_i, b_i, c_i) 是像方坐标轴和物方坐标轴之间旋转夹角的余弦。不难看出, x, y 各是一个平面,而两面之间的交线,即为像点、投影点和物点三点的连线。从式(1)可以看出,若右式各参数已知来求解像点坐标很容易,但若将右式的某些参数作为未知数去求解,则整个求解过程会变得很烦琐,求误差方程甚至会用到求偏导,因此本文对式(1)进行变换得式(2),即本文之前所说的直接变换方程

作者简介: 赵莹(1987—),女,助理工程师,主要从事测绘仪器与光学设计研究。
邮箱: 630827447@qq.com。

$$\left. \begin{aligned} x + \frac{l_1 X + l_2 Y + l_3 Z + l_4}{l_9 X + l_{10} Y + l_{11} Z + 1} &= 0 \\ y + \frac{l_5 X + l_6 Y + l_7 Z + l_8}{l_9 X + l_{10} Y + l_{11} Z + 1} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中, $l_1 = \frac{1}{r_3}(a_1 f_x - a_3 x_0)$; $l_2 = \frac{1}{r_3}(b_1 f_x - b_3 x_0)$; $l_3 = \frac{1}{r_3}(c_1 f_x - c_3 x_0)$; $l_4 = -(l_1 X_s + l_2 Y_s + l_3 Z_s)$;
 $l_5 = \frac{1}{r_3}(a_2 f_x - a_3 y_0)$; $l_6 = \frac{1}{r_3}(b_2 f_x - b_3 y_0)$; $l_7 = \frac{1}{r_3}(c_2 f_x - c_3 y_0)$; $l_8 = -(l_5 X_s + l_6 Y_s + l_7 Z_s)$; $l_9 = \frac{a_3}{r_3}$;
 $l_{10} = \frac{a_3}{r_3}$; $l_{11} = \frac{a_3}{r_3}$; $r_3 = -(a_3 X_s + b_3 Y_s + c_3 Z_s)$; $l_i (i=1, 2, \dots, 11)$ 是和内外方位元素相关的 11 个参数。

当不含多余观测值时可以列出 l_i 系数的关系式

$$\left. \begin{aligned} Xl_1 + Yl_2 + Zl_3 + l_4 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + xXl_9 + xYl_{10} + xZl_{11} + x &= 0 \\ 0 + 0 + 0 + 0 + Xl_5 + Yl_6 + Zl_7 + l_8 + yXl_9 + yYl_{10} + yZl_{11} + y &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

11 个未知数, 6 个点 12 个方程, 列 11 个方程可求解 l_i 系数近似值, 根据 l_i 与各个内外方位元素的关系可以求出内方位元素的近似初值。

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= -(l_1 l_9 + l_2 l_{10} + l_3 l_{11}) / (l_9^2 + l_{10}^2 + l_{11}^2) \\ y_0 &= -(l_5 l_9 + l_6 l_{10} + l_7 l_{11}) / (l_9^2 + l_{10}^2 + l_{11}^2) \\ f_x &= \sqrt{-x_0^2 + \frac{l_1^2 + l_2^2 + l_3^2}{l_9^2 + l_{10}^2 + l_{11}^2}} \\ f_y &= \sqrt{-y_0^2 + \frac{l_5^2 + l_6^2 + l_7^2}{l_9^2 + l_{10}^2 + l_{11}^2}} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

外方位元素也可以通过这 11 个参数来计算, 但为了保证计算精度, 我们通常在加入各个误差之后, 列出误差方程, 利用间接平差法进行迭代求解, 得到较为精确的 l_i 和内方位元素进而计算出摄影时的外方位元素及物点的数值。光学径向畸变差的表达式为

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= (x - x_0)(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6 + \dots) \\ \Delta y &= (y - y_0)(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6 + \dots) \\ r^2 &= (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

当有多余观测值时, 加入像点坐标的误差改正数(v_x, v_y)和畸变误差, 畸变误差通常我们只取一次项系数, 则可对式(2)作变形得到下式

$$\left. \begin{aligned} (x + v_x) + \Delta x + \frac{l_1 X + l_2 Y + l_3 Z + l_4}{l_9 X + l_{10} Y + l_{11} Z + 1} &= 0 \\ (y + v_y) + \Delta y + \frac{l_5 X + l_6 Y + l_7 Z + l_8}{l_9 X + l_{10} Y + l_{11} Z + 1} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} (x + v_x) + (x - x_0)k_1 r^2 + \frac{l_1 X + l_2 Y + l_3 Z + l_4}{l_9 X + l_{10} Y + l_{11} Z + 1} &= 0 \\ (y + v_y) + (y - y_0)k_1 r^2 + \frac{l_5 X + l_6 Y + l_7 Z + l_8}{l_9 X + l_{10} Y + l_{11} Z + 1} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

令 $A = L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1$, 列出像点观测值的误差方程

$$\left. \begin{aligned} v_x &= -\frac{1}{A}[Xl_1 + Yl_2 + Zl_3 + l_4 + xXl_9 + xYl_{10} + xZl_{11} + A(x - x_0)r^2 k_1 x] \\ v_y &= -\frac{1}{A}[Xl_5 + Yl_6 + Zl_7 + l_8 + yXl_9 + yYl_{10} + yZl_{11} + A(y - y_0)r^2 k_1 y] \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

间接平差的模型和对应的法方程为

$$\left. \begin{aligned} V &= ML - W \\ L &= (M^T M)^{-1} M^T W \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

根据间接平差的函数模型得到对应关系的表达式为

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{V} &= [v_x \quad v_y]^T \\ \mathbf{M} &= \begin{bmatrix} \frac{X}{A} & \frac{Y}{A} & \frac{Z}{A} & \frac{1}{A} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{xX}{A} & \frac{xY}{A} & \frac{xZ}{A} & (x-x_0)r^2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{X}{A} & \frac{Y}{A} & \frac{Z}{A} & \frac{1}{A} & \frac{yX}{A} & \frac{yY}{A} & \frac{yZ}{A} & (y-y_0)r^2 \end{bmatrix} \\ \mathbf{L} &= [l_1 \quad l_2 \quad l_3 \quad l_4 \quad l_5 \quad l_6 \quad l_7 \quad l_8 \quad l_9 \quad l_{10} \quad l_{11} \quad k_1]^T \\ \mathbf{W} &= \begin{bmatrix} \frac{x}{A} & \frac{y}{A} \end{bmatrix}^T \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

在利用间接平差法进行计算时,需要用到 (x_0, y_0) , (X, Y, Z) 及 l_i 的初值,所以我们可以利用物点坐标和像点坐标得到我们解误差方程的初始值。当观测点足够多时,通过反复迭代,直到迭代结果趋于稳定,即 $\mathbf{V}^T \mathbf{V}$ 最小,得到 l_i 的精确值。这样内外方位元素的求解就可以根据式(4)和式(11)精确地计算出来。

$$\left. \begin{aligned} l_1 X_S + l_2 Y_S + l_3 Z_S &= -l_4 \\ l_5 X_S + l_6 Y_S + l_7 Z_S &= -l_8 \\ l_9 X_S + l_{10} Y_S + l_{11} Z_S &= -1 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$$a_3 = \frac{l_9}{\sqrt{l_9^2 + l_{10}^2 + l_{11}^2}}$$

$$b_3 = \frac{l_{10}}{\sqrt{l_9^2 + l_{10}^2 + l_{11}^2}}$$

$$c_3 = \frac{l_{11}}{\sqrt{l_9^2 + l_{10}^2 + l_{11}^2}}$$

$$b_1 = \frac{r_3(l_2 + l_{10}x_0)}{f_x}$$

$$b_2 = \frac{r_3(l_6 + l_{10}y_0)}{f_x}$$

$$\tan \varphi = -\frac{a_3}{c_3}$$

$$\sin \omega = -b_3$$

$$\tan \kappa = \frac{b_1}{b_2}$$

同一个相机的内方位元素几乎是一样的,在不同的拍摄状态下会有微小的差距,但不影响整体测量,每一个拍摄状态下的外方位元素是一样的,改变空间姿态和旋转角度,对应的外方位元素都会改变。

3 相机的检校及结果

以共线方程为基础的数码相机检校方法有很多种,DLT只是其中一种,并已趋于成熟。到目前为止,国内外已经有多家公司推出了自己的数字相机测量系统,有美国大地公司的V-STARS系统,挪威Metronor公司的Metrono系统及德国、比利时等国家推出的一系列测量系统。其中我们应用美国大地公司的V-STARS系统对Sony的一款相机进行了检校,测量点采用的是玻璃微珠型回光反射材料,将这些测量点布置在一个室内的三维墙面上来进行检校,相机的参数和检校结果如表1、表2所示。

V-STARS系统是一个很强大的软件。在这里,我们只列出了内方位元素的检校结果和畸变差,不仅包括了上面提到的径向畸变也包括偏心畸变,相机的外方位元素角也是可以计算出来的。需要说明的是,相机的主距和焦距不是同一个概念,所以检校结果中的主距23.5 mm不能和我们被测相机焦距24 mm作比较来衡量相机的误差。而检校目的是为了在实际测绘及照片合成时将已知的真实初值加入程

序或计算过程,以消除系统本身的误差,从而得到更接近实际的结果。

表 1 被检校相机参数指标

序号	项目名称	项目指标
1	感光元件	CCD
2	传感器尺寸	23.2 mm×15.4 mm
3	最高分辨率	5 456×3 632
4	像元大小	4.25 μm
5	焦距大小	24 mm
6	变焦类型	定焦

表 2 相机检校结果

项目	初值	调节量	终值
f	23,512 389 27	0.000 067 31	23.512 321 96
X_0	-0.060 878 34	0.000 006 63	-0.060 884 97
Y_0	-0.172 095 73	-0.000 038 85	-0.172 056 88
K_1	2.215 116 38e ⁻⁰⁰⁵	-9.111 530 62e ⁻⁰⁰⁹	2.216 027 53e ⁻⁰⁰⁵
K_2	-4.860 939 03e ⁻⁰⁰⁷	1.213 291 70e ⁻⁰¹¹	-4.861 060 36e ⁻⁰⁰⁷
K_3	1.363 270 77e ⁻⁰¹⁰	-3.826 967 77e ⁻⁰¹⁴	1.363 653 47e ⁻⁰¹⁰
P_1	1.530 814 98e ⁻⁰⁰⁵	9.762 494 00e ⁻⁰⁰⁹	1.529 838 73e ⁻⁰⁰⁵
P_2	-5.918 884 12e ⁻⁰⁰⁵	-4.289 255 85e ⁻⁰⁰⁹	-5.918 455 19e ⁻⁰⁰⁵
AP_1	3.468 362 44e ⁻⁰⁰⁵	1.747 648 86e ⁻⁰⁰⁷	3.450 885 96e ⁻⁰⁰⁵
AP_2	3.827 849 11e ⁻⁰⁰⁵	1.602 909 47e ⁻⁰⁰⁷	3.811 820 02e ⁻⁰⁰⁵

4 结 语

直接线性变换是相机检校的基础,通过直接线性变换可以引申为带有附加条件的变换解法。可以利用直接线性变换解出初值,进而再用其他方法来进行整体处理以提高解算精度和可靠性。需要说明的是,设站点不得与物方空间的坐标原点重合,最好置于被测物体的中心处,即在进行 DLT 解算时要进行重心化。这样就会更好地确保检校结果的稳定性和正确性。

参考文献(略)

基于 GNSS 记录回放系统的测地型接收机检测新方法研究

蔡 冲, 金 挺, 刘毛毛

浙江省计量科学研究院, 浙江 杭州 310018

摘 要:GNSS 接收机日益普及,其中测地型接收机传统检测方法具有诸多局限性。区别于传统 GNSS 信号仿真器产生的仿真信号,GNSS 记录回放系统记录实时的 GNSS 信号并将其连续的 IQ 路数据存入文件,这些储存的信号可以方便地回放到接收机中。该方法引入了失真,并且这种方式是可重复的。基于此系统,针对现行计量校准规范制定实验操作方法,对测量误差分成静态和 RTK 两项分别检测,数据处理并分析,验证方法的可行性,较全面分析新误差来源,用实验数据加以验证。

关键词:GNSS 接收机检测;GNSS 记录回放系统;基线解算

1 引 言

近年来,随着 GNSS 技术的日益成熟及应用领域的普及,以前作为一种昂贵和先进的设备,现在已经走进了基层的应用领域。GNSS 技术其先天的优越性在导航、授时和测量领域,发挥着巨大的优势。而传统的 GNSS 接收机检测有以下局限性:

(1)对实验场地的要求非常高(具体参照《比长基线测量规范》(GB 16789—1997)),标准场地的选址非常困难,维护成本也非常高;

(2)检测过程耗时、人力成本巨大;

(3)无法实现现实环境的复现和重复性。

GNSS 记录回放系统最大意义在于克服传统检测方法的局限性,重现实际环境数据,甚至能创建世界任何地方的静态或动态场景,完成远程测试。其为检测研究机构提供一种高效快捷的检测方法。

2 GNSS 记录回放系统简介

GNSS 记录回放系统(record playback system,RPS)通过一个标准的卫星天线接收信号,记录实时环境的 GNSS 信号,但对接收到的卫星信号不定位解算和处理,而是直接通过 AD 转换技术在一个高带宽的环境下进行了数字化,存储到可插拔的 SD 卡或 USB 的硬盘。记录的信号根据不同的记录回放系统有所不同,如以下我们实验用到的典型仪器:

Spirent GSS6425:任何 3 个信号(GPS—L1、L2、L5,GLONASS—G1、G2、G3)及像 BDS 和 Galileo 等新信号;

LabSat 2:GPS L1、GLONASS L1、Galileo E1、BDS、QZSS 和 SBAS。

3 测地型 GNSS 接收机测量误差

3.1 静态(static)

对于测地型 GNSS 接收机来说,静态解算精度是关键指标之一。传统检测方法为两台或多台接收机在不同的测站上进行静止同步观测,观测时长根据基线的长度而不同,具体要求参照《全球定位系统(GPS)接收机(测地型和导航型)校准规范》(JJF 1118—2004),然后把接收机数据导入随机软件进行结算,最后计算测量误差。

新方法实验流程:将两台或以上分体式测地型 GNSS 接收机和相同数量的记录回放设备一一对应分别置于多个观测墩上,各 GNSS 天线通过功分器一分为二,一路给 GNSS 接收机主机,一路给记录回放设备,同步记录。观测结束后先用 GNSS 接收机接收的数据作静态基线解算;然后再将记录回放设备记录的信号回放给相应的 GNSS 接收机,导出数据再重新做静态基线解算,最后两组数据进行对比。可在多个 GPS 检定网上做实验。

第一作者简介:蔡冲(1981—),男,工程师,主要从事测绘仪器计量研究。

邮箱:56694545@qq.com。

3.1.1 实验数据采集

数据采集过程如下：

RPS:LabSat 2 接收机:Trimble 5700 解算软件:Trimble Business Center 2.81
2015.4.27:仪器架设 GA05:5491 JX01:0327
2015.4.28:仪器架设 GA05:0327 JX01:5491
基线解算结果:浮点解 7578.159
RPS:SPIRENT GSS6425 接收机:NetR5 解算软件:Trimble Business Center 2.81
2014.11.13:仪器架设 GA05:7426 JX01:7403
2015.11.14:仪器架设 GA05:7403 JX01:7426
基线解算结果:固定解 7578.131
其中,GA05 为下沙基地 5 号楼楼顶微网中心点,JX01 为江东大桥基线 1 号点。
基线长度(基线 Distance): GA05-JX01 7 578.138 7 m

3.1.2 解算结果说明

LabSat 2 在本次实验中没有得到固定解,在回放中可用的只有 GPS L1 信号,造成其在本次 7.5 km 的解算中有非常大的局限性。对比 GSS6425,L1、L2 双频解算数据非常可靠。

3.2 实时动态(RTK)

RTK(real-time kinematic)是能够在野外实时得到厘米级定位精度的测量方法,它采用了载波相位动态实时差分方法,是 GPS 应用的重大里程碑。RTK 技术的关键在于使用了 GPS 的载波相位观测量,并利用了参考站和移动站之间观测误差的空间相关性,通过差分的方式除去移动站观测数据中的大部分误差,从而实现高精度(厘米级)的定位。

本次实验 RPS:LabSat 2,RTK-GPS 应用架设,设定基准站,进行所有设备开机 5 分钟启动。差分数据链采用数传电台的模式,流动站采用分体式设备,测量天线和数传接收电台的信号通过两个功分器一分为二,其中的流动站主机接收了来自其中一个功分器的 GPS 卫星信号和来自于另一个功分器的 RTCM 差分信号,而对应的另一路 GPS 卫星信号和 RTCM 差分信号则被 RPS 同步记录和保存(同步时间约为 62ns)。流动站计算出定位的精度可以做内符合精度和外符合精度比对。RPS 将保存的 GPS 信号和 RTCM 差分信号再度同步回放给流动站,流动站可以计算出回放的内外符合定位精度。同时流动站实地定位的精度和回放给其定位的精度也可以做对比验证实验。典型连接如图 1、图 2 所示。

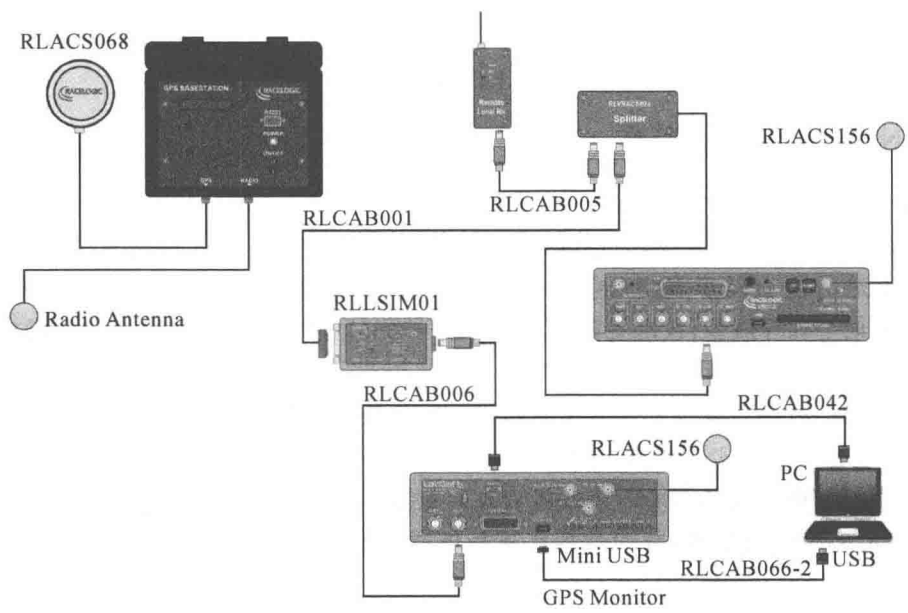


图 1 典型连接一

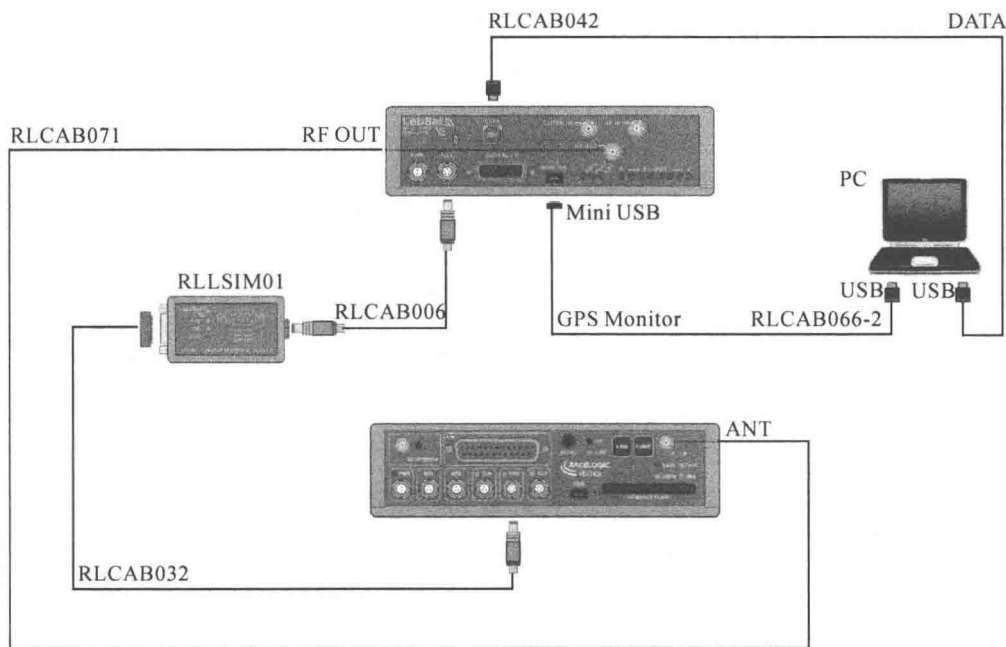


图 2 典型连接二

得到固定解(fix solution)即开始记录测量结果,测试采样率为 1 s,采样 12 万个点。

RTK 实时动态测量内符合精度统计方法:计算每一测点所有测量值的平均值,再将该平均值与每一测量值求差。统计所有差值的分布情况,并对差值在不同区间的概率进行统计,同时依下式分别计算系统 X、Y、H 方向的内符合精度

$$M=\sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n-1}} \tag{1}$$

式中, n 为测量值总数,即全部 RTK 实时动态测量值总数; Δ 为测点测试值与相应测试平均值在 X、Y、H 方向的差值; M 为系统分别在 X、Y、H 方向的内符合精度,反映系统实时定位的稳定性。

RTK 实时动态测量外符合精度统计方法:采用选定的转换参数将本次各测点的 RTK 实时动态测量的平均 WGS-84 坐标转换为城市坐标系坐标,再将转换值与已知值进行比较,即可得出各测点的外符合性分布情况,最后再根据下式计算系统在 X、Y、H 方向的外符合精度

$$\tau=\pm\sqrt{\frac{\theta\theta}{N}} \tag{2}$$

式中, θ 为测试点采用转换参数后的转换值与已知值之差; N 为测试点数; τ 为系统外符合精度,反映系统定位的准确性和与城市坐标系的一致性。

4 误差分析

因为 RPS 记录的是真实的 GNSS 信号,这信号中包括真实环境下的衰减、多路径及干扰等效应,由此我们的检测结果中包含有 GNSS 定位系统中出现的所有误差,按误差来源主要有 GNSS 卫星、信号传播及接收设备等。除去传统方法引入的误差,RPS 引入的误差有:二公分器的插入损耗一般为 3.5dB;回放 RF 与原始信号强度处于 1.5 dB 的范围内。

由信号损耗引起的误差一般可以用内部噪声水平来评估。内部噪声水平(interior noise lever):接收机内部通道间的偏差、载波跟踪环和码跟踪环的跟踪误差及钟差等引起的测距和测相误差的综合反映。本文采用零基线法检验内部噪声水平。连接示例见图 3,再由 RPS 回放到各接收机,导出数据并解算(图 4)。

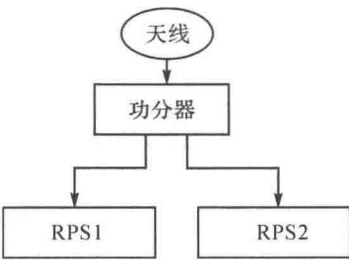


图 3 连接示例

RPS:LabSat 2		接收机:Trimble 5700				解算软件:Trimble Business Center 2.81			
零基线值:0.001 m									
观测	解类型	水平精度 /m	垂直精度 /m	$\Delta X/m$	$\Delta Y/m$	$\Delta Z/m$	椭球距离 /m	高度增量 /m	可用卫星
54911180 ⋮ 03271180 (B1)	固定	0.003	0.005	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	GPS:10 GLONASS:0 Galileo:0 QZSS:0

RPS:Spirent GSS6425		接收机:NetR5				解算软件:Trimble Business Center 2.81			
零基线值:0.003 m									
观测	解类型	水平精度 /m	垂直精度 /m	$\Delta X/m$	$\Delta Y/m$	$\Delta Z/m$	椭球距离 /m	高度增量 /m	可用卫星
GA051 ⋮ GA052 (B1)	固定	0.006	0.010	0.001	-0.001	-0.001	0.000	-0.002	GPS:9 GLONASS:0 Galileo:0 QZSS:0

图 4 导出数据

原始零基线值(非 RPS 回放数据)均为 0.000 m。由此可以看到由信号损耗造成的误差非常小。

5 结 语

由实验数据表明,针对《全球定位系统(GPS)接收机(测地型和导航型)校准规范》,除去天线相位中心这一检测项目,双频及以上 RPS 基本能够代替野外检测方法,该方法具有实际可操作性。RPS 为捕获真实世界的 GNSS 信号并在实验室中重放提供了一个简单、高效的解决方案。全天候、不受电离层影响,不需要星历预报,不存在观测时段不够理想的情况。另外,你可以观察一个接收机对同一环境条件下的重复反应,这部分解决了以往接收机无法做重复性实验这一问题。

有必要综合使用以上静态、动态多种检测方法分析定位精度,文中提及的几种检测方法具有一定参考应用价值,可以结合各种实际情况加以应用。

参考文献(略)