

测绘信息网www.othermap.com网友测绘人提供

基于秩亏自由网平差理论的手持 GPS 面积量测

周科亮, 张学培, 冯仲科, 官凤英

(北京林业大学资源与环境学院 3S 中心 北京 100083)

[摘要] 通过原理对手持式 GPS 接收机测量的坐标值进行平差,旨在提高手持式 GPS 测量地块面积的精度;又因为手持式 GPS 廉价、便携且测量迅速,本文的研究有助于手持式 GPS 在林业方面的推广以及增加其在林业测量方面的实用性。实验证明,用秩亏自由网平差法求算面积的精度,有效地考虑了各点的误差,虽然计算过程很复杂,但是本文作者利用 Visual Basic 编制的程序可以很快完成面积计算、精度评定等工作;虽然手持式 GPS 有一定的定位误差,但是通过皮尺测距有效地控制了其误差,提高了观测精度,因而是实时测量,可广泛应用于林分面积量测及地类变化监测。

[关键词] 秩亏自由网平差;手持式 GPS;面积量测

[中国分类号] P204

[文献标识码] A

[文章编号] 1007-300X(2003)02-0030-04

林业资源调查与监测中面积测量在森林资源和生态环境综合监测及评价中是十分重要的内容^[1]。林区小面积测量比较多,如火烧迹地、采伐林地、染病林地等,这类小面积由于受环境的影响,在图像上测定面积的精度很低,这类图形用求积仪测量往往只有 1/10 左右的精度,比如采用以 C/A 码配合伪距平滑的 RTD GPS 定位法测定面积,当其定位精度为 $\pm 1\text{m}$ 时,其量测超小地块面积的精度(依解析法)也是 1/10 左右^[2]。显然,只有借助实地量测提高精度才能满足森林资源调查和管理的需要。

GPS 在林业中有许多的应用,如测林区地形图及林区道路等^[3]。手持式 GPS 接收机在实际工作中的单点定位精度为 $\pm(5\sim 15\text{m})$ 。根据北京林业大学冯仲科、付晓等研究结果,手持式 GPS 观测固定点的坐标时标准差基本上都在 10m 以内变动,而且所测定的数据还是较为稳定的^[4],可以适用于一般的林业工作,如测量林区中各种迹地的面积等等。比起古老的测量定位法,GPS 测量的优势是不可比拟的,它测量点的三维坐标十分迅速且操作简单,观测点之间不需通视而且可以全天候工作^[5],故 GPS 是现代林业测绘技术系统中不可缺少的工

具之一^[6]。更重要的是手持式 GPS 廉价、便携,其使用的 C/A 码适合于林区中使用^[7],虽然它单点定位精度不是太高,但是通过秩亏自由网平差,使得用手持式 GPS 测量的粗差数据计算出来的面积值有较高的精度。

1 手持式 GPS 的设置

本次实验所用的仪器为麦哲伦-315(Magellan-315)型手持式 GPS 接收机和 Garmin 手持式接收机。以 Magellan-315 为例,设置为 BJ-54 坐标系的步骤为:在手持机的面板控制键上按 MENU 键,在主机屏幕上弹出的菜单上选择 SETUP,ENTER(回车)选定 MAP DATUM,回车选 PRIMARY,再回车选 USER,此时回车就会出现设置 DELTA A (Δa , 椭球长半径)和 DELTA F (Δf)的界面,将 Δa 设为 -108, Δf 设为 0.00480798。

2 秩亏自由网平差理论应用及软件实现

对图 1 所示需要测量的林中空地,利用手持式 GPS 对其边缘特征点进行量测并实时记录点的坐标,用皮尺量测相邻两点间的距离。把点的坐标用传输线输入计算机,把距离值手工输入计算机形成文件以待调用。然后对这些已知值进行秩亏自由

* [收稿日期] 2003-03-28

[作者简介] 周科亮(1976-)男,硕士,专业方向为 3S 技术在林业中的应用研究。

网平差,计算出每一点的近视真值和该地块的面积。

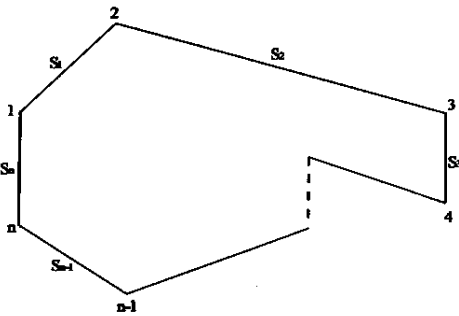


图 1 面积测量示意图

其计算的具体数学过程如下:

$$V = \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E & 0 \\ 0 & E \\ a & b \end{pmatrix} \delta X + \begin{pmatrix} 0 \\ L_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 \end{pmatrix} \delta X + \begin{pmatrix} 0 \\ L_0 \end{pmatrix} = A \delta X + L \quad (4)$$

其中 $V = (\delta x_1 \delta x_2 \dots \delta x_n \delta y_1 \delta y_2 \dots \delta y_n \delta S_{12} \delta S_{23} \dots \delta S_{n-1n})^T$ $L_0 = (l_{12} l_{23} \dots l_{n1})^T$

$A_1 = \begin{pmatrix} E & 0 \\ 0 & E \end{pmatrix}$; $A_2 = (a \ b)$; $\delta X = (\delta x_1 \delta x_2 \dots \delta x_n \delta y_1 \delta y_2 \dots \delta y_n)^T$ 其中 E 为 n 阶单位矩阵

当控制网没有足够的起始数据参与计算并且以待定点坐标为参数时是秩亏自由网^[8],产生秩亏的原因就是控制网中没有起算数据。故式(4)中的误差方程系数阵 A 不是列满秩。设 d 为其秩亏数 (d ≠ 0), d 就是网中必要的起始数据个数。图 1 中的面积量测示意图属于测边网,必要的起始数据为一个点的坐标和一个方位角,所以 d = 3。因全部

$$S^T \delta X = 0 \text{ 其中 } S^T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & \dots & 0 & 1 \\ -Y_1^0 & X_1^0 & -Y_2^0 & X_2^0 & \dots & -Y_n^0 & -Y_n^0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\text{式(5)与式(7)线性无关,则有 } N S = A^T P A S = 0 \quad (8)$$

此外式(8)中的 3 个方程也要线性无关,故必须有 $R(S) = 3$ 。联合解算(4)和(7)式,由 $2K^T(S^T \delta x) = \min$ 可得 $(A^T P A + S S^T) \delta x = A^T P L$ (9)

其解为 $\delta x = (A^T P A + S S^T)^{-1} A^T P L = Q' A^T P L$ 具体展开就是

$$\begin{pmatrix} \delta x' \\ \delta y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_x + a^T P_2 a + S_1^T S_1 & a^T P_2 b + S_1^T S_2 \\ b^T P_2 a + S_2^T S_1 & P_y + b^T P_2 b + S_2^T S_2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} a^T P_2 L \\ b^T P_2 L \end{pmatrix} = Q' \begin{pmatrix} a^T P_2 L \\ b^T P_2 L \end{pmatrix}$$

这就是 GPS 手持机所测坐标的误差矩阵,其中

$$Q' = (A^T P A + S S^T)^{-1} \quad (10)$$

$$\delta x \text{ 的协因数为 } Q = Q' A^T P A Q' \quad (11)$$

设每一点的观测值为 (x_i, y_i) 其坐标的观测误差为 $\delta x_i, \delta y_i (i, j = 1, 2, \dots, n)$ 其中 n 为所有观测点数,对于 n 个边长观测值有 $S_{ij}^2 = (x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2$ 其中 $j > i, i = 1, 2, \dots, n$,且当 $j > n$ 时 $j = 1$ (1)

对(1)式求偏导有 $S_{ij} dS_{ij} = (x_j - x_i) dx_j - (x_j - x_i) dx_i + (y_j - y_i) dy_j - (y_j - y_i) dy_i$ (2)

令误差值为 $l_{ij}, a_{ij} = (x_j - x_i) / S_{ij}, b_{ij} = (y_j - y_i) / S_{ij}$ 则 $dS_{ij} = (dx_j - dx_i) a_{ij} + (dy_j - dy_i) b_{ij} + l_{ij}$ (3)

每一点的点位误差 $\delta p^2 = \delta x^2 + \delta y^2$,令 $\delta x = \delta y = \delta_0$ 则 $\delta p^2 = 2\delta_0^2$,边长误差为 $\delta S_{ij} = S_{ij} / 500$,则权对角矩阵 $P_{3n \times 3n}$ 中 $P_{ij} = \delta_0^2 / \delta S_{ij}^2, P_X(y) = \delta_0^2 / \delta x^2 (y)^2 = 1$ 把(3)式与 δx 和 δy 合写为:

待定坐标参数个数为 $2n$ (n 个点的 x, y 坐标),必要观测数为 t,则有 $R(A) = t < 2n$,按最小二乘原理,由(4)式可组组成法方程:

$$A^T P A \delta X = A^T P L \quad (5)$$

由于 $R(A^T P A) = R(N) = R(A) = t < 2n$,则法方程系数阵 N 为奇异阵, N^{-1} 不存在,故式(5)不具有唯一解,这是因为参数 δX 必须在一定的坐标基准下才能唯一确定。坐标基准个数就是秩亏数 $d = 3$,设有 3 个坐标基准条件,也就是所选的 $2n$ 个参数之间存在的 3 个约束条件,其形式为^[9]:

由(10)可得

$$Q(A^T P A + S S^T) = I, \text{ 有 } Q' A^T P A = I - Q' S S^T \quad (12)$$

将(12)代入(11)得到 $Q = Q' - Q' S S^T Q'$ 单位权中误

$$\text{差 } \delta_0 = \sqrt{\frac{V^T PV}{3}}$$

GPS 所测坐标求出的面积为 :Area = $\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (y_{i=1} - y_{i-1})x_i$ 按台劳级数展开 ,并表达为线性式 :

$$d\text{Area} = (f_x \quad f_y) \begin{pmatrix} \delta_x \\ \delta_y \end{pmatrix} = F_{\text{Area}} \delta X \quad (13)$$

式(13)即为 GPS 所测面积的误差 ,其中

$$\delta x = (\delta x_1 \delta x_2 \dots \delta x_n)^T \quad \delta y = (\delta y_1 \delta y_2 \dots \delta y_n)^T$$

$$f_x = (\partial \text{Area} / \partial x_1 \quad \partial \text{Area} / \partial x_2 \quad \partial \text{Area} / \partial x_3 \dots \partial \text{Area} / \partial x_n)^T$$

$$f_y = (\partial \text{Area} / \partial y_1 \quad \partial \text{Area} / \partial y_2 \quad \partial \text{Area} / \partial y_3 \dots \partial \text{Area} / \partial y_n)^T$$

也就是有 $f_{x_i} = \partial \text{Area} / \partial X_i$; $f_{y_i} = \partial \text{Area} / \partial Y_i$,进而有 GPS 所测面积精度为 :

$$\frac{\sigma_{\text{Area}}}{\text{Area}} = \frac{1}{(\text{Area} / \sigma_{\text{Area}})} = \frac{1}{K}$$

式中 $\sigma_{\text{Area}}^2 = \sigma_0^2 Q_{\text{AreaArea}}$;

$$Q_{\text{AreaArea}} = F_{\text{Area}}^T Q_{xx} F_{\text{Area}} = \begin{pmatrix} f_x^T \\ f_y^T \end{pmatrix} Q_{xx} (f_x f_y) ;$$

$$\sigma_0^2 = V^T PV / (n + 3)$$

本文中实验场地选择在林业大学主楼前面的草坪周围 ,绕其一圈有 A ,B ,C ,D ,E ,F 六个点。坐标真值是用全站仪测量出的 ;其它实验数据是用 Garmin 手持机和麦哲伦 - 315 手持机测量的 ,通过作者编制的秩亏自由网平差软件的计算 ,其实验数据运行结果如表 1。

表 1 实验数据及运行结果一览表(坐标单位 :m ,面积单位 :m²)
注 :为了简略起见 ,表中 X 坐标删减了 4429000 ,Y 坐标删减了 443000

	真值	麦哲伦 - 315 手持机			Garmin 手持机			
		一	二	三	四	五	六	
X _A	827	820	827	816	861	836	856	
Y _A	446	453	446	437	525	502	524	
X _B	768	774	774	773	797	806	804	
Y _B	447	458	458	449	516	499	519	
X _C	760	761	761	757	771	785	792	
Y _C	516	517	517	518	560	551	582	
X _D	771	771	771	777	799	789	803	
Y _D	590	581	581	573	661	621	652	
X _E	819	819	819	819	837	837	844	
Y _E	585	583	583	555	666	648	653	
X _F	823	822	822	820	845	846	852	
Y _F	514	519	519	495	600	591	593	
粗面积	8205.5	6816.5	7198	6474	9071	6870.5	7033.5	
点位误差与面积	5	1/1107	1/43	1/47	1/39	1/62	1/22	1/58
	面积	8035.5	8326	8305	8214	8750	8352	8127.5
	10	\	1/43	1/47	1/39	1/64	1/22	1/58
	面积	\	8326	8305.5	8214	8750	8352	8127.5
	15	\	1/43	1/47	1/39	1/64	1/22	1/58
	面积	\	8326	8305.5	8214	8750	8352	8127.5
	20	\	1/43	1/47	1/39	1/64	1/22	1/58
面积	\	8326	8305.5	8214	8750	8352	8127.5	

注 :其中六条边长(m)分别为 :AB=58.85 ,BC=69.38 ,CD=74.72 ,DE=47.86 ,EF=70.35 ,FA=68.52

3 实验结果分析及结论

表 1 中的第 5 组面积值跳跃比较大的原因是在该点测量的时间不够长^[10]。与面积真值相比较 ,各组数据有的偏大有的偏小 ,而且偏差都很大 ,这正如前文所述 ,但是每组平差后的面积与面积真

值相比却不是很大。可见 ,利用手持式 GPS 加皮尺量边长 ,配合秩亏自由网平差计算出的面积精度显著提高了。其结果分析如表 2 所示。从而得出如下结论 :

a. 手持式 GPS 配合皮尺量边长可以有效地提

精度探讨[J]. 经济航测, 2001(4):15-17

- (3) 李立旭. 既有铁路航测数字化测图的特点及质量控制[J]. 北京测绘, 2001(1):32-34

An Application of Helava Photogrammetric Station in Existed Railway Photogrammetry

WANG Yan-hua ZHAO Jun-xia

(The professional Institute of Railway, Beijing 100020, China)

Abstract: The paper introduces some operating experience of using the full digital photogrammetric system SOCET SET to do aerial triangulation, produce DEM, orthoimages and 3D visual scenes.

Keywords: aerial triangulation orthoimages; 3D visual scenes

(上接第 32 页)

高不规则超小图斑面积的测量精度,作业简单,速度快,可行性高;用秩亏自由网平差法求算面积的精度,有效地考虑了各点的误差,虽然计算复杂,但借助于编制的软件的计算,一个六边形可在 1 秒内完成秩亏自由网平差、面积计算、精度评定等工作,因而是实时测量,可广泛应用于林分面积量测及地类变化监测中。

表 2 手持式 GPS 观测的多组面积值及其分析

真值	没有剔除第 5 组值			剔除第 5 组值		
	均值	均方差	相对误差	均值	均方差	相对误差
8205.5	8345.8	214.7	1/58	8264.9	92.7	1/138
8205.5	8345.8	214.7	1/58	8265.0	92.8	1/137
8205.5	8345.8	214.7	1/58	8265.0	92.8	1/137
8205.5	8345.8	214.7	1/58	8265.0	92.8	1/137

b. 皮尺量边长在一定程度上虽然增加了外业工作量,但却有效地控制了手持式 GPS 的定位误差,提高了观测精度。由于皮尺量距属于多余观测,因而不必用手持式 GPS 对同一面积测量二次,这在一定程度上减少了外业工作量。

参考文献

- [1] 许兰霞,冯仲科.“3S”技术用于森林与生态环境综合监测及评价中存在的问题及进一步完善的途径[J]. 世界林业研究, 2000, 13(2):14-19
- [2] 冯仲科. 超小图斑面积的 RTD GPS 量测[J]. 林业资源管理, 2001(5):70-73
- [3] 杜盛珍,陈士银. 全球定位系统(GPS)在林业上应用的介绍[J]. 广东林业科技, 1998(1):47-50
- [4] 冯仲科,肖兴军. 手持式 GPS 接收机的稳定性检验[J]. 山东测绘信息, 2002(3):22-27
- [5] 冯仲科,余新晓.“3S”技术及其应用[M]. 北京:中国林业出版社, 1999
- [6] 冯仲科. 现代林业测绘技术系统研究[J]. 北京测绘, 1999(2):28-30
- [7] 冯仲科. GPS 在森林资源环境中的应用研究[D]. 北京:北京林业大学, 2000
- [8] 陶本藻. 自由网平差与变形分析[M]. 北京:测绘出版社, 1982
- [9] 武测测量平差教研室. 测量平差基础[M]. 北京:北京测绘出版社, 1996
- [10] 叶巧云. GPS 测量技术研究[J]. 森林工程, 2000(5):11-13

征文通知

中国测绘学会工程测量分会与全国城市测量 GPS 应用研究中心联合主办的“空间定位技术与应用学术研讨交流会”拟定于 2003 年 10 月下旬在广东省深圳市召开。征文按 A4 标准纸打印,每页 35 行,每行 39 字,一式两份,并报软盘或光盘,用 Word2000 格式(拟参加优秀论文评选的论文一式 4 份)。网上投稿请在邮件题名中注明“工测分会征文”。欢迎大家踊跃投稿。

通讯地址:北京市海淀区羊坊店路 15 号,中国测绘学会工程测量分会 邮编:100038

联系人 工测分会职务

电话

E-mail

王荔 主任助理

010-63955085

bjch@chinajournal.net.cn

刘京谊 秘书

010-63954589

liu_jing_yi@peoplemail.com.cn