

天宝 Trimble 5800 单点定位在林业测量中的应用探析

徐文兵^{1,2}, 高飞¹

(1. 合肥工业大学 土木与水利工程学院, 安徽 合肥 230009; 2. 浙江林学院 环境科技学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 检测了全球定位系统(GPS)接收机天宝 Trimble 5800 在复杂地形中的定位精度和在林业测量中应用的可行性。研究表明: 天宝 Trimble 5800 GPS 接收机在不同地形中单点定位时, WGS-84 坐标的内符合精度为 0 ~ 2 m 占 65%, 2 ~ 5 m 占 30%, 最大偏差 < 8 m; 经坐标转换后, 各历元观测平均值的 BJ-54 坐标外符合精度都 < 5 m, 在 0 ~ 5 m 分布均匀, 因此, 在同一作业时间段, 以在已知点上获得观测值与已知值的偏差值作为其他观测点观测值的改正参数, 将有效提高定位精度; 在距离和面积测量中, 以全站仪测量数据为参考值, 天宝 Trimble 5800 单点定位的相对误差分别优于 1/300 和 1%, 比手持 GPS 定位精度高。图 1 表 8 参 8

关键词: 森林经理学; 天宝 Trimble 5800; 单点定位; 林业测量; 内符合精度; 外符合精度

中图分类号: S758 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2010)02-0310-06

Application of single point positioning with Trimble 5800 in forest measurement

XU Wen-bing^{1,2}, GAO Fei¹

(1. School of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, Anhui, China; 2. School of Environment and Technology, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: The positioning precision of the high-performance GPS(global positioning system) receiver-Trimble 5800 and its feasibility measuring in the complex forest terrain was tested. The results show that when Trimble 5800 GPS receiver dose single point positioning in difference terrain, the 65% inner precision of WGS-84 coordinates is 0 - 2 m and 30% of it is 2 - 5 m, its maximum deviation is less than 8 m. The outer precision of the average observations is less than 5 m, and evenly distributes in 0 - 5 m after coordinate transformation. As a result, if it takes the deviation between known coordinate and observations on a known point as the correct parameter of other points' observations measured in the same timerange, this will effectively improve the positioning precision. In the distance and area measurement, the relative error of single point positioning with Trimble 5800 is less than 1/300 and 1% when the datum measured by Total Staions were taken as reference value. so Trimble 5800 receiver' precision is better than the precision of handy GPS. [Ch, 1 fig. 8 tab. 8 ref.]

Key words: forest management; Trimble 5800; single point positioning; forest measurement; inner precision; outer precision

全球定位系统(global positioning system, GPS)在中国林业产业上主要被应用于飞播及防病虫害导航、典型样地定位、荒漠化监测及林火监测等方面^[1]。大地型 GPS 接收机主要作业方式有静态绝对定位和动态相对定位, 精度分别可达到毫米级和厘米级, 但 GPS 测量在林业上的应用主要受到森林特

收稿日期: 2009-06-08; 修回日期: 2009-07-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30700638); 浙江林学院科学研究发展基金资助项目(2006FK29)

作者简介: 徐文兵, 讲师, 从事工程测绘、GPS 测量等研究。E-mail: xuwb97@163.com。通信作者: 高飞, 教授, 从事大地测量学与测量工程等研究。E-mail: gaofei@hfut.edu.cn

殊地形环境的局限,目前在林业上多是利用低精度的手持 GPS^[2]。根据相关实验数据分析^[1,3],手持 GPS 在林业测量中,当面积大于 3.34 hm² 时相对误差小于 4%;距离大于 50 m 时相对误差可小于 4%;一般情况下定位最大误差为 16 m,0~3 m 占 60%,3~5 m 占 25%,5 m 以上占 15%^[2]。这样的精度是由手持 GPS 接收机的性能所决定的,只能满足较粗泛的林业测量。手持 GPS 定位原理是基于单点定位(single point positioning, SPP),也叫绝对定位^[4]。GPS 单点定位由于受到卫星轨道误差、卫星钟差及信号传播误差等诸多因素的影响^[5],精度较低,观测条件良好时可达 5~10 m;其中精密单点定位(precise point positioning, PPP)是利用载波相位观测值以及由 IGS(international GPS service)等组织提供的高精度卫星星历和卫星钟差来定位,可达到分米级甚至厘米级,但除了需考虑参数解算的数学模型,还需考虑各种更复杂的误差改正模型,需事后处理观测数据,处理过程复杂^[6]。通过上述两者的比较,若采用性能良好的 GPS 接收机,利用 SPP 定位方式,在林地测量中,不仅与手持 GPS 操作同样简便,避免 PPP 定位方式繁琐的数据处理,而且能获得高于手持 GPS 测量精度的实时定位信息,发挥 GPS 技术在林业测量中更大的应用空间。但目前相关研究表明 GPS 单机定位精度不够高^[7]。笔者尝试利用天宝 Trimble 5800 GPS 接收机在不同地形、不同时间段进行单点定位试验,探析高性能 GPS 接收机在林业测量中应用的可行性。

1 试验仪器与研究方法

1.1 天宝 Trimble 5800 GPS 接收机

天宝 Trimble 5800 GPS 接收机是由美国天宝 Trimble 公司生产的全集成 GPS 接收机,24 通道 L1, C/A 码, L1/L2 全周载波相位观测量,高精度的 L1/L2 多重相关伪距观测值、未经平滑的伪距测量数据,可获得低噪音、低多路径误差、低时间域改正和高动态响应。天宝 Trimble 5800 采用内置 Trimble Maxwell 4 芯片的超跟踪技术,即使在恶劣的电磁环境中,仍然能用小于 2.5 W 的功率提供对卫星有效的追踪。

天宝 Trimble 5800 GPS 接收机质量为 3.57 kg,内置蓝牙(blueetooth),ACU 控制器操作简便,主要用于差分 GPS 测量,标称精度为:码差分 GPS 定位,水平 $\pm(250 + 1 \times 10^{-6}D)$ mm RMS(root mean square),垂直 $\pm(500 + 1 \times 10^{-6}D)$ mm RMS;实时动态(real time kinematic, RTK),水平 $\pm(10 + 1 \times 10^{-6}D)$ mm RMS,垂直 $\pm(20 + 1 \times 10^{-6}D)$ mm RMS。野外作业劳动强度稍大于手持 GPS,但差分定位精度远优于手持 GPS。

1.2 试验场地选择

GPS 接收机在林业测量中最大的局限就是复杂多变的地形,山体影响卫星图形分布,树冠阻挡或削弱卫星信号强度等。本试验在浙江林学院东湖校区附近选择了 10 个不同地形点,点号(sample number, SN)及地形特征如表 1,其中有 4 个点为已知导线控制点。

1.3 试验过程及数据获取

单点定位:各个点位分 5 个时间段观测,分别为上午、中午、下午;观测时,天宝 Trimble 5800 GPS 接收机利用对中杆对中静置,等锁定足够卫星个数后,采用快速静态模式,历元间隔为 5 min,各个时间段观测 5 个历元,自动存储观测点的 WGS-84 坐标。

参考值观测:在已知导线点的基础上,将其他 6 个观测点与之构建成闭合导线,利用 2"级索佳全站仪 SET 2100 测量导线的转折角和边长,将观测数据录入 Excel 表格。

本试验共获得各个试验点 5 个时间段 25 个历元 25 个 WGS-84 网格坐标以及导线的边长、转折角等数据。

表 1 试验点的地形条件

Table 1 Terrain condition of test point

点号	地形条件	点号	地形条件
2	已知导线点,建筑物附近	44	林地,乔木较密
5	一侧山坡,一侧多层建筑物	46	一侧水域,一侧山体
10	一侧山坡,一侧开阔	40	一侧高层建筑,一侧山体
A	已知导线点,开阔	55	已知导线点,建筑物附近
B	已知导线点,较开阔	70	林地,树木较疏,有建筑物

1.4 数据处理方法

本试验主要从导线计算, WGS-84 坐标内符合精度计算, WGS-84 坐标转换, 天宝 Trimble 5800 单点定位的 BJ-54 坐标外符合精度计算, 天宝 Trimble 5800 单点定位测距和测面积的相对误差计算等方面来处理数据。

根据全站仪导线观测值进行计算, 导线全长闭合差优于 1/7 万, 解算出各导线点在 BJ-54 坐标系中的坐标, 作为计算天宝 Trimble 5800 单点定位外符合精度的参考值。

从试验中获得各点多历元的 WGS-84 坐标来看, 各历元坐标间存在偏差, 可见多种误差源的影响值随历元而变化, 其中卫星轨道误差、星历误差、电离层延迟和对流层延迟等是单点定位中的共性误差, 接收机性能、地形条件和观测时间段等影响因个体而异。试验中, 在一个时间段内连续观测 10 个点, 以保证共性误差相近, 因此, 可通过式(1)计算各历元平均值、式(2)计算各历元观测值的中误差, 即各历元 WGS-84 坐标的内符合精度, 削弱了各试验点上共性误差的差异性, 以更客观地评价地形条件对天宝 Trimble 5800 GPS 接收机单点定位精度的影响。

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_{25}}{25}, \quad \bar{y} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_{25}}{25} \quad (1)$$

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}, \quad [vv] = \sum_{i=1}^n v_i^2, \quad v_i = x_i - \bar{x} \quad (2)$$

式(1)和式(2)中: $x_i, y_i (i = 1, 2, \dots, 25)$ 为观测值; $v_i (i = 1, 2, \dots, 25)$ 为改正值; σ 为中误差。试验点外符合精度才能比较客观地反映天宝 Trimble 5800 单点定位的精度, 在林业测量上, 也需要将测量成果转换到 BJ-54 坐标或西安 80 坐标与其他资料融合。外符合精度是将参考值作为真值来计算观测值的中误差, 如式(3):

$$\theta = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}}, \quad [\Delta\Delta] = \sum_{i=1}^n \Delta_i^2, \quad \Delta_i = x_i - X \quad (3)$$

式(3)中: $x_i (i = 1, 2, \dots, 25)$ 为观测值; $\Delta_i (i = 1, 2, \dots, 25)$ 为真误差; X 为参考值, θ 为中误差。

表 1 中 2, A, B, 55 为 4 个已知导线点, 为 BJ-54 坐标, 利用天宝 Trimble Color TSCe 电子手簿自带软件中“点校正”模块将观测值的 WGS84 坐标转换为 BJ-54 坐标。转换精度如表 2 所示。从表 2 可知, 平面坐标转换精度基本上在毫米级, 高程转换精度分米级, 而林业测量中, 高程需求较低, 一般不予考虑, 因此, 坐标转换精度完全满足要求。

表 2 坐标转换精度

Table 2 Precision of coordinate transformation

点号	水平残差/m	垂直残差/m	点号	水平残差/m	垂直残差/m
2	0.007	0.150	B	0.008	0.161
A	0.011	0.083	55	0.008	0.094

为了更直观反映出试验点在不同时间段、不同历元的观测值、观测值平均值和参考值的分布情况, 本试验选择了 4 个点的相应值导入 Matlab 和 Excel 软件来分析。

在林业测量中, 距离和面积是常用的观测量^[8]。GPS 用于距离和面积测量的精度是相对观测值的精度, 在理论上, 同一时间段单点定位的相对精度与其他定位方式相当, 但由于观测点地形差异、观测的非同步等, 不同距离和面积的测量精度也存在着差异性。笔者将试验点参考值和观测平均值的坐标导入南方数字化成图软件 CASS 5.0, 选择相应点组成不同长度的直线段和不同面积的多边形, 来分析天宝 Trimble 5800 单点定位的距离测量和面积测量的相对精度。

2 试验成果分析

2.1 试验点 WGS-84 网格坐标内符合精度分析

由式(1)和式(2), 计算各个试验点 25 个 WGS-84 网格坐标的中误差, 即内符合精度(σ_x, σ_y), 计算结果如表 3。

从表 3 可知, 天宝 Trimble 5800 GPS 接收机单点定位的 WGS-84 坐标的内符合精度(σ_x, σ_y)比手

持 GPS 高，0 ~ 2 m 占 65%，2 ~ 5 m 占 30%，5 ~ 8 m 以上占 5%。A、B 点位开阔，定位精度分米级；5、10、40、55、70 点附近建筑物对部分卫星信号的完全阻隔，直接影响载波相位观测值个数和卫星分布图形，从而定位精度在米级，最大值达到 7.134 m，而在林地中，树木对卫星信号的阻隔程度小于建筑物，定位精度会有所提高；水域的多路径效应对 46 点影响较小。

2.2 试验点坐标转换精度损失分析

将试验点各历元 WGS-84 坐标转换为 BJ-54 坐标后，由于坐标转换不可避免地存在残差，采用 2.1 同样的分析方法，计算试验点 BJ-54 坐标的内符合精度，如表 4。

通过表 4 与表 3 的比较可知，坐标转换引起点位相对精度损失都在毫米级，这已与坐标转换残差大小、试验区域大小等因素有关，与单点定位的外符合精度没有直接关系。

2.3 天宝 Trimble 5800 单点定位外符合精度分析

笔者将各个试验点 25 个历元 WGS-84 坐标都转换为 BJ-54 坐标，分别与参考值的 BJ-54 坐标求差值(Δx , Δy)，由式(3)计算差值的中误差，即外符合精度，并求最大差值(Δx_{max} , Δy_{max})和最小差值(Δx_{min} , Δy_{min})，从 3 个方面来分析天宝 Trimble 5800 单点定位外符合精度，如表 5。

从表 5 可知，天宝 Trimble 5800 GPS 接收机单点定位的外符合精度都 < 5 m，0 ~ 1 m 占 25%，1 ~ 2 m 占 20%，2 ~ 3 m 占 25%，3 ~ 5 m 占 30%，最大偏差 9.252 m，最小偏差 0.010 m；偏差值较大的试验点地形与建筑物有密切关系。

在 Matlab 和 Excel 软件中，导入 5、40、44、46 号共 4 个点的观测值、平均值、参考值，处理结果如图 1。从图 1 可知，4 幅图的情形类似，每个时间段因观测条件相近，观测值比较集中，只有 40 点有个别观测值漂移较大，应是高层建筑物的影响引起的飞点；有些时间段 5 个历元观测值很集中，因此，选择合适的时间段是必要的；各点位观测平均值与参考值的偏差相近，因此在林业测量中，通过观测已知点求得观测值与参考值偏差，作为同时段待测点观测值的改正参数，将有效提高天宝 Trimble 5800 单点定位精度。本试验中，若以 A 点作为参考点，则其他 6 个观测点的观测平均值外符合精度如表 6。

从表 6 可知，除了个别点特殊地形(山谷、大树底、高层建筑物边，等)，改正后的天宝 Trimble 5800 单点定位坐标外符合精度能达到分米级。

表 3 试验点 WGS-84 坐标的内符合精度

Table 3 Internal precision of WGS-84 coordinate on test point

点号	σ_x/m	σ_y/m	点号	σ_x/m	σ_y/m
2	1.230	1.181	44	2.970	0.512
5	0.744	7.134	46	1.854	0.654
10	1.288	3.976	40	4.195	4.466
A	0.570	0.885	55	3.992	0.726
B	0.858	0.799	70	3.749	0.941

表 4 试验点 BJ-54 坐标的内符合精度

Table 4 Internal precision of BJ-54 coordi nate on test point

点号	σ_x/m	σ_y/m	点号	σ_x/m	σ_y/m
2	1.230	1.181	44	2.970	0.512
5	0.744	7.134	46	1.854	0.654
10	1.287	3.977	40	4.195	4.465
A	0.570	0.885	55	3.941	0.725
B	0.857	0.799	70	3.749	0.941

表 5 天宝 Trimble 5800 单点定位外符合精度

Table 5 External precision of single point positioning with Trimble 5800

点号	$\theta_{\Delta x}/m^2$	$\theta_{\Delta y}/m$	$\Delta x_{max}/m$	$\Delta y_{max}/m$	$\Delta x_{min}/m$	$\Delta y_{min}/m$
2	1.733	0.798	3.770	2.311	0.036	0.080
5	1.150	2.088	2.831	4.672	0.155	0.181
10	1.246	1.466	2.713	3.400	0.117	0.010
A	2.009	0.787	3.136	1.849	0.686	0.333
B	2.063	0.833	3.246	1.368	0.444	0.169
44	3.091	0.713	5.547	1.046	0.157	0.129
46	2.462	0.749	4.276	1.191	0.034	0.395
40	3.161	2.098	6.796	9.252	0.328	0.237
55	4.469	3.567	7.362	4.486	0.978	2.103
70	4.456	3.410	7.742	4.461	2.118	2.034

表 6 改正后的 Trimble 5800 单点定位外符合精度

Table 6 External precision of single point positioning with Trimble 5800 after correction

点号	$\bar{\Delta x}/m$	$\bar{\Delta y}/m$	点号	$\bar{\Delta x}/m$	$\bar{\Delta y}/m$	点号	$\bar{\Delta x}/m$	$\bar{\Delta y}/m$
A	2.009	0.787	44-A	1.082	-0.074	70-A	2.447	2.623
5-A	-0.859	1.301	46-A	0.453	-0.038			
10-A	-0.763	0.679	40-A	1.152	1.311			

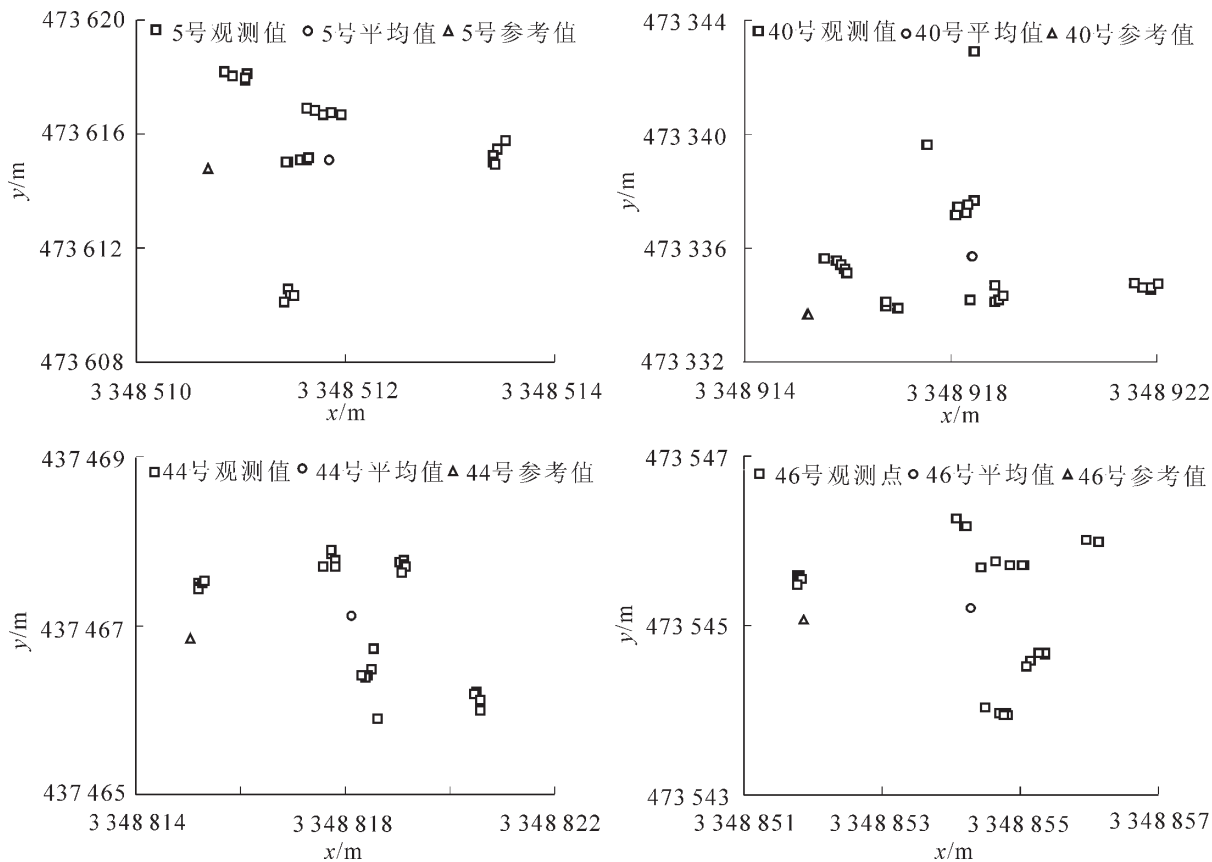


图 1 4 个试验点观测值分布图

Figure 1 Distribution diagram of four points' observation values

2.4 天宝 Trimble 5800 单点定位的距离测量和面积测量精度分析

按式(1)计算各点 25 个历元的 BJ-54 坐标平均值, 导线测量的各点坐标作为参考值, 将各平均值和参考值坐标分别导入南方数字化成图软件 CASS 5.0, 并将相应点组成不同长度的直线段和不同面积的多边形, 利用软件中查询工具, 分别量取各直线段和多边形的长度和面积, 来计算天宝 Trimble 5800 单点定位的距离和面积测量的相对精度, 如表 7 和表 8。

表 7 天宝 Trimble 5800 单点定位的距离测量精度

Table 7 Ranging precision of single point positioning with Trimble 5800

直线边	D_{ref}/m	D_{mea}/m	$\Delta D/m$	$\Delta D/D_{ref}$	直线边	D_{ref}/m	D_{mea}/m	$\Delta D/m$	$\Delta D/D_{ref}$
10-5	141.056	141.082	0.026	1/5 425	10-40	627.595	628.331	0.726	1/864
10-A	255.194	255.977	0.783	1/326	10-70	721.420	721.766	0.346	1/2 085
10-B	414.031	415.021	0.990	1/418	10-55	788.829	789.450	0.621	1/1 270

说明: D_{ref} 为参考距离, D_{mea} 为观测平均值距离, ΔD 为两者差值, $\Delta D/D_{ref}$ 为相对误差。

表 8 天宝 Trimble 5800 单点定位的面积测量精度

Table 8 Area measurement precision of single point positioning with Trimble 5800

多边形	S_{ref}/m^2	S_{mea}/m^2	$\Delta S/m^2$	$(\Delta S/S_{ref})/\%$	多边形	S_{ref}/m^2	S_{mea}/m^2	$\Delta S/m^2$	$(\Delta S/S_{ref})/\%$
10,5,2,10	5 156.832	5 121.350	35.482	0.69	10,2,40,A,10	80 132.845	80 036.318	96.527	0.12
10,2,A,10	19 373.069	19 442.733	69.664	0.36	10,2,46,70,A,10	102 183.142	101 972.469	210.673	0.21
10,2,46,A,10	47 227.357	47 338.885	111.528	0.24	10,2,46,55,70,A,10	117 950.820	117 606.495	344.325	0.29

说明: S_{ref} 为参考面积, S_{mea} 为观测值平均值面积, ΔS 为两者差值, $(\Delta S/S_{ref})$ 为相对误差。

从表 7 可知, 10—5 边因距离短, 同时间段观测的误差相关性较强而相对误差很高, 其他基线边距离相对误差基本上随着距离的增加而减小, 测距相对精度都小于 1/300。

从表 8 可知, 天宝 Trimble 5800 单点定位的面积测量相对误差随着面积的增加而减小, 都小于 1%, 比手持 GPS 测量精度有明显的优势。

3 结论与讨论

当今国内外林业调查和科学研究的总体发展趋势是向精度高、速度快等方向发展, 而普通的手持 GPS 测量精度较低势必影响 GPS 技术在林业测量中的应用。笔者通过试验检测了高性能的 GPS 接收机天宝 Trimble 5800 在复杂地形中的定位精度, 定量地分析了单点定位的内符合精度、距离测量的相对精度、面积测量的相对精度, 能为林业生产或科学研究中更好地利用 GPS 技术提供参考。

天宝 Trimble 5800 GPS 接收机单点定位的 WGS-84 网格坐标的内符合精度为: 0 ~ 2 m 占 65%, 2 ~ 5 m 占 30%, 最大偏差 < 8 m, 若作业区域能避免高大建筑物、山谷等恶劣地形影响, 定位精度会有所提高。

在保证坐标转换精度下, 转换后的坐标和 WGS-84 坐标的内符合精度基本相当, 观测平均值的外符合精度都 < 5 m, 0 ~ 5 m 之间分布均匀, 最大偏差 9.252 m, 最小偏差 0.010 m; 由于同一时间段观测点位漂移值相近, 若在作业时间段内, 将已知点上观测值与已知值的偏差值作为其他观测点观测值的改正参数, 将有效提高定位精度。

天宝 Trimble 5800 单点定位在距离和面积测量中, 相对误差分别优于 1/300 和 1%, 比手持 GPS 有明显优势。另外, 本试验中样点及其地形特征都比较有限, 为了更全面地检测天宝 Trimble 5800 GPS 接收机单点定位精度, 还有待于林业生产中在更复杂的森林地形中去实践。

参考文献:

- [1] 张彦芳, 李文立, 陈智卿, 等. GPS 与罗盘在林业调查设计中的应用比较[J]. 河北林果研究, 2007, **22** (2): 159 - 160, 164.
ZHANG Yanfang, LI Wenli, CHEN Zhiqing, *et al.* Comparison of GPS and compass in the application of forestry [J]. *Hebei J For Orchard Res*, 2007, **22** (2): 159 - 160, 164.
- [2] 徐文兵, 高飞, 杜华强. 几种测量方法在森林资源调查中的应用与精度分析[J]. 浙江林学院学报, 2009, **26** (1): 132 - 136.
XU Wenbing, GAO Fei, DU Huaqiang. Application and precision analysis of several surveying methods in forestry resources survey [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2009, **26** (1): 132 - 136.
- [3] 夏友福. 手持 GPS 测量面积的精度分析[J]. 西南林学院学报, 2006, **26** (3): 59 - 61.
XIA Youfu. Precision analysis on area measurement by handy GPS [J]. *J Southwest For Coll*, 2006, **26** (3): 59 - 61.
- [4] 李征航, 黄劲松. GPS 测量与数据处理[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2005.
- [5] 张星炜, 查勇. GPS 单点定位误差分析[J]. 南京师大学报: 自然科学版, 2006, **29** (3): 122 - 126.
ZHANG Xinwei, ZHA Yong. Analysis to the error of GPS location of single site [J]. *J Nanjing Norm Univ Nat Sci*, 2006, **29** (3): 122 - 126.
- [6] 陈默, 高成发. GPS 精密单点定位静态精度分析[J]. 现代测绘, 2006, **29** (3): 17 - 19.
CHEN Mo, GAO Chengfa. Precision analyze for GPS static precise point positioning [J]. *Modern Surv Mapp*, 2006, **29** (3): 17 - 19.
- [7] 谭伟, 张贤, 王志杰. 森林面积测量精度对比分析[J]. 山地农业生物学报, 2007, **26** (6): 495 - 498.
TAN Wei, ZHANG Xian, WANG Zhijie. A comparative analysis of area surveying precision in different stand [J]. *J Mt Agric Biol*, 2007, **26** (6): 495 - 498.
- [8] 冯仲科, 刘永霞, 王小昆, 等. 林地面积量算方法的比较研究[J]. 北京林业大学学报, 2004, **26** (5): 18 - 21.
FENG Zhongke, LIU Yongxia, WANG Xiaokun, *et al.* Comparison of different survey and calculating methods of forestland area [J]. *J Beijing For Univ*, 2004, **26** (5): 18 - 21.