

GPS 林业定位误差分析与野点剔除方法^{*}

张慧春^{1,2} 郑加强¹ 周宏平¹

(1. 南京林业大学机械电子工程学院, 南京 210037; 2. 昆士兰大学自然资源、农业和兽医系, 昆士兰 4343, 澳大利亚)

【摘要】 针对林业 GPS 定位精度不高和利用差分技术提高定位精度时存在诸多局限性的问题, 研究自主式提高精度方法, 利用 Trimble AgGPS132 进行了单机定位试验, 分析了试验数据的频数分布和野点剔除方法, 对比分析了野点剔除前后的精度和散点分布图, 探讨了野点存在的原因、解决办法和提高动态定位精度的方法, 实际数据表明, 采用莱以特准则剔除野点能够有效地改善数据处理结果, 提高定位精度, 利用加入控制点的方法可很好地校正 GPS 测得的动态定位数据的整体漂移。

关键词: 精确林业 全球定位系统 定位误差 野点剔除 控制点

中图分类号: P228.4; P207 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)05-0143-05

GPS Positioning Error Analysis and Outlier Elimination Method in Forestry

Zhang Huichun^{1,2} Zheng Jiaqiang¹ Zhou Hongping¹

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China

2. Faculty of Natural Resources, Agriculture and Veterinary Science, The University of Queensland, Queensland 4343, Australia)

Abstract

Position accuracy is one of the most important parameters of GPS. Differential GPS (DGPS) can get higher position accuracy significantly, but there are many limitations for its applying ranges, so improving the accuracy by independent positioning method has important significance. Experiments in the non-differential mode by using Trimble AgGPS132 were conducted. First, the frequency distribution of the experimental data was analyzed. A method to eliminate outliers was raised, and GPS precision operating was compared before and after eliminating outliers. Finally, how to eliminate the influence of error was pointed out according to the different conditions. The results showed that adopting the Levin special criteria to eliminate outliers could improve the positioning accuracy effectively, and adding control point could correct the drift data of GPS dynamic positioning.

Key words Precision forestry, GPS, Positioning error, Outlier elimination, Control point

引言

目前 GPS 在林业领域已经应用于森林土壤类型分析、森林病虫害管理、林木育种及生长监测、森林防火、木材收获等方面。定位精度是影响全球定位系统应用的重要因素之一。在林间定位测量中, 多以 GPS 接收机自身的相对定位误差来衡量 GPS 接收机的性能, 即定位点愈集中, 则定位精度愈高,

反之则定位精度愈低^[1]。单机定位设备简单, 使用方便, 但是精度不高是限制它应用的瓶颈, 采用差分技术提高定位精度存在局限性: ①必须有差分信号接收机。②工作区受广域差分网的限制。③非自主式提高精度的方法, 属有发射源, 从战略角度上看不理想^[2]。本文拟进行单机定位试验, 分析试验数据频数分布和野点剔除方法, 进行野点剔除前后精度对比分析, 探索利用加入控制点的方法提高动态定

收稿日期: 2009-01-14 修回日期: 2009-06-08

^{*} 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2008AA100904)、“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD08A1203)、林业公益性行业科研专项经费项目(200904051)和江苏省有害生物入侵预防与控制重点实验室开放课题项目

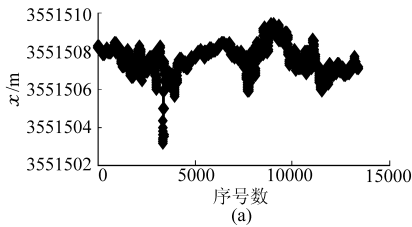
作者简介: 张慧春, 讲师, 昆士兰大学博士后, 主要从事智能植保机械和 3S 集成技术研究, E-mail: njzhanghc@hotmail.com

位精度的方法,以有效改善数据,提高定位精度。

1 GPS 试验装置

在精确林业中,GPS 主要实现对采集的林间信息进行空间定位,实时、快速地提供包括各类传感器(如 CCD 摄像头)和运载平台(如作业车辆、飞机等)目标的空间位置,辅助如植保机械等作业机械完成处方实施。植保机械所采集的大量数据(如林木种植位置、病虫害爆发地、导航指引、路径规划等)依赖于较为精确的位置信息,结合实际需要选择了 Trimble AgGPS132 接收机,它可与多种外接设备(如导航设备、雷达、叶绿素传感器、水分传感器等)方便连接,适合应用于精确林业的植保机械林间作业。

为了将 GPS 融合运用到农药精确施用系统的



智能植保机械上,试验前期将 GPS 天线固定在遥控车上进行模拟,遥控小车在所测点固定或沿所测地块行驶,每秒记录一次数据,随着小车的固定不动或轨迹运动,开发的 GPS 数据采集系统能自行显示、记录遥控车的运动方向、运动速度、所在位置、当前时间等参数。在试验过程中,观察的卫星个数一直大于 4 颗,PDOP(位置精密度)一直小于 4,这可保证较高的定位精度。试验装置包括智能农药喷雾遥控车、GPS 接收机及其天线、计算机等。

2 GPS 静态定位数据频数分布

2008 年 6 月利用 AgGPS 132 在南京林业大学逸夫试验楼楼顶平台进行了 GPS 静态定位试验,单点定位进行了 3 h 43 min,共测 13 370 组数据。GPS 单机定位时 x 、 y 坐标变化过程如图 1 所示。

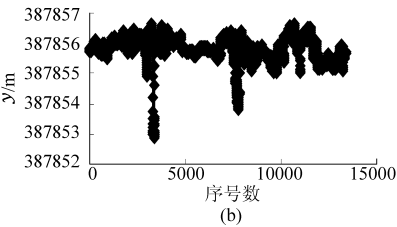
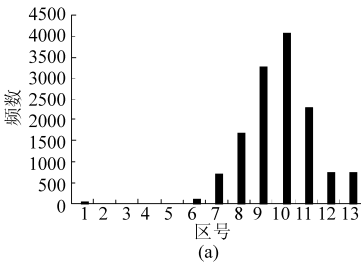


图 1 GPS 定位坐标变化过程

Fig. 1 Coordinate change process in GPS experiments

(a) x 坐标 (b) y 坐标

对试验所测数据序列采用统计方法分析,以 0.5 m 的数据间隔划分观测值,得出坐标频数分布如图 2 所示。从图上直观分析,其分布近似正态分布,因此对于输出值的估计可看成是对总体均值的估计。正态分布具有对称性,一般来说,无论测量结果具有何种分布,只要具有对称性,其随机误差的数学期望就是零,其算术平均值作为被测量的估计值就具有最优性,这是随机误差抵偿性的必然结果。



由大数定律可知,若测量次数无限增加,则算术平均值必然趋近于真值。由此可见,如果能够对某一量进行无限多次测量,就可得到不受随机误差影响的测量值,或其影响甚微,可予忽略。试验表明:当测量 200 次以上时,算术平均值的变化范围并没有减小,误差反而呈现增大的趋势,在这种情况下,再增加测量次数也没有多大意义^[4],所以可以近似地以测量 200 次后所得到的平均值作为这个点的精确坐标值(真值)。

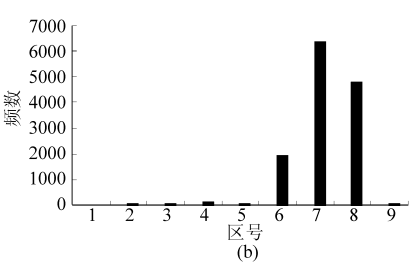


图 2 GPS 定位坐标的频数分布

Fig. 2 Frequency distribution of coordinate

(a) x 坐标 (b) y 坐标

3 野点存在的原因分析和剔除方法

3.1 原因分析

每一台 GPS 接收机都有一个标定的测量精度。

即把 GPS 接收机的天线位置固定后,此时 GPS 接收机所观测到的数据并不是一个固定不变的坐标值,而是一组含有测量误差的坐标数据值。这些坐标数据相互之间是不同的,但都在一定范围内围绕着一

个中心点变化^[5],这个中心点就是测量点的真坐标值,这个变化的范围即是该台 GPS 接收机的测量精度。凡是在这个精度范围之内所观测到的测量数据都是有效数据^[6]。有个别情况所记录的坐标值离坐标中心点的距离远远超出 GPS 接收机的精度范围,即数据集中严重偏离大部分数据所呈现趋势的小部分数据点是不正常的,称之为野值,统计学上称为粗大误差。粗大误差相对于随机误差的数值比较大,会对测量结果产生明显的歪曲,一旦发现含有粗大误差的测量值,应将其从测量结果中删除。由于图 1 分析时记入了所有数据,没有剔除野点,故不能作为判断依据。按 $v_i = r_i - \bar{r}$ 所得 v_i 为 r_i 的残余误差,简称残差,求得随机误差后,便可以依此剔除试验数据中的野点。

产生粗大误差的原因有:①测量人员的主观原因。②客观外界条件的原因^[7]。因为本文试验的数据采集完全是由计算机完成的,所以野点不可能由测量人员主观造成,因归因于客观外界条件,如卫星失锁、遮挡屏蔽、信号干扰等。因此,试验时应选择空旷开阔、树荫遮蔽较少的场地,如天台、操场等地,同时进行卫星可见性预报及观测时段选择,在

PDOP 小于 5,卫星数大于 3 的最佳时段开展 GPS 定位试验。

3.2 剔除方法

由于本试验测量次数较多,所以采用 3σ 准则(莱以特准则)判定野点。对于某一测量序列,若各测得值只含有随机误差,则根据随机误差的正态分布规律,其残余误差落在 $\pm 3\sigma$ 以外的概率约为 0.3%,即在 370 次测量中只有一次残余误差 $|v_i| > 3\sigma$ ^[5]。如果在测量列中,发现有大于 3σ 的残余误差的测得值,即 $|v_i| > 3\sigma (\sigma = S_r)$,则可认为它是野点,应予剔除。

3.3 剔除前后精度对比分析

单机静态定位试验时所得数据值共 13 370 组,采用 3σ 准则剔除野点后有效数据为 12 855 组,数据有效率 96.8%,图 3 是 GPS 定位数据剔除野点前后的散点图,从图中对比看出,对数据进行野点剔除后,GPS 定位数据分布图形有一定的变化,分布形状更趋于闭合,分布趋势更趋于稳定,分布范围更趋于集中。从同一点的多次测量结果散点分布图上可看出,剔除野点前后得到的图形都是团状,但剔除野点前的闭合度远小于剔除野点后。

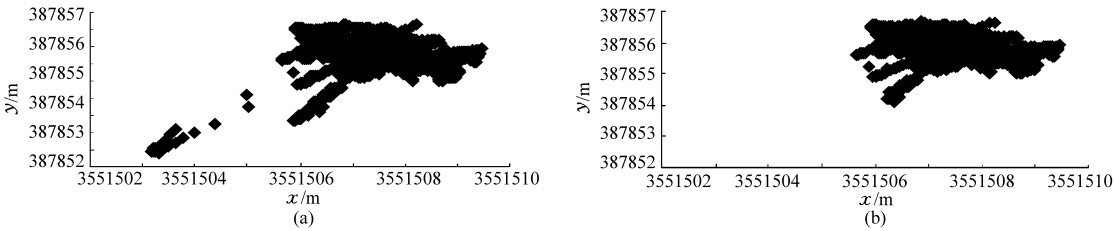


图 3 GPS 定位数据的散点分布图
Fig.3 Scatter distribution
(a) 剔除野点前 (b) 剔除野点后

表 1 是剔除野点前后数据精度统计分析对比,可以看出,剔除野点前 x 坐标变化范围为 6.29 m, y 坐标变化范围为 3.78 m,极差为 5.29 m,剔除野点后, x 坐标变化范围为 3.82 m, y 坐标变化范围为 2.83 m,极差为 2.65 m, x 、 y 坐标和极差变化范围分别降低了 39.3%、25.1% 和 50.0%,相应的标准差在进行野点剔除后也比野点剔除前要小,标准差变化范围降低了 16.3%,可见,剔除野点后定位精度要比剔除野点前定位精度高,误差范围小,但仍有一定的误差,它们的具体数值是未知的。测量误差的大或小,正或负,其取值具有一定的分散性,即不确定性。可以这样认为,测量结果可能的取值范围越大,即其误差值的可能范围越大,表明测量误差对测量结果的影响越大(在概率的意义上),测量结果的可靠性越低。反之,测量结果可能的取值范围越小,表明测量对测量结果的影响越小,即测量结果不确

表 1 剔除野点前、后的数据精度统计分析对比
Tab.1 Accuracy of statistical analysis before and after eliminating outliers

统计特征值	数据精度统计	
	剔除野点前	剔除野点后
$x_{\min}/m$	3 551 503. 18	3 551 505. 65
$x_{\max}/m$	3 551 509. 47	3 551 509. 47
$y_{\min}/m$	387 852. 88	387 853. 83
$y_{\max}/m$	387 856. 66	387 856. 66
$\Delta x/m$	6. 29	3. 82
$\Delta y/m$	3. 78	2. 83
S_x	0. 74	0. 69
S_y	0. 40	0. 35
$r_{\min}/m$	0. 06	0. 01
$r_{\max}/m$	5. 30	2. 66
$\Delta r/m$	5. 29	2. 65
S_r	0. 49	0. 41

定的程度越小,因而测量结果也就越可靠。

从植保机械林间作业的实际情况来看,林间某点的绝对坐标的精确度并不是最重要的,重要的是重复定位精度,也就是说,同一个点在不同时间测得的坐标位置应是相同的或是非常接近的。因此, GPS 定位数据经过剔除野点之后,其精度得到了显著的提高。

4 GPS 动态定位试验和提高动态定位精度的方法

在精确林业生产中,对于林情数据采集调查、变量喷药、施肥、灌溉等区域差异较大、精准度要求较高的生产作业过程,均需要实时动态定位和数据输出,由于 GPS 在精确林业中主要应用于导航指引、路线规划、轨迹重放等方面,因此考虑选择对一个正方形的封闭图形进行动态定位试验和提高动态定位精度的方法研究。

在对正方形的封闭图形的测量中,由于存在着误差,如果仅是直接把所有的测量点用线连接起来,那么作出的图形一般情况下偏差会很大,线性较差,无法保证封闭图形的位置精度,在封闭图形测量中还会出现首尾不相接、数据漂移等情况,造成图形失真。特别是当测量点数较少时,只用拟合是无法保证位置精度的。测量精度不仅与测量次数有关,还与天气情况、参与定位卫星的个数、林业作业时的郁密度、树冠形状(例如在山脉密林中, GPS 卫星信号收到折射或者反射的几率相当大、信号强度较弱)

等有关。为此,除了选择合适的天气时段创造良好的机遇和条件、放慢测量速度、尽量选择开阔的林间以增加测量点数、提高测量精度外,本文探索通过加入控制点(可以是已知点的坐标,或是和这条线段相关的信息)来提高精度,即强行规定图形必须经过控制点,或者规定其必须行经和控制点有某种关系(如距离、相对坐标关系)的点。

对于已经进行拟合的正方形,其形状基本是正确的,但位置精度较差。图 4a 为两次对边长 5 m 的同一个正方形进行测量后经过拟合绘制的结果,可以看出,两个正方形并不重合。这并不是因为测量有问题或是数据失真,图中的误差是 GPS 数据所允许的。从图 4a 可以看出,两个正方形的形状基本上相同,只要在数据中加入两个或两个以上控制点就可以使两个正方形重合。若把正方形左下和右上的两顶点即对角线的两点作为控制点,对该两点分别测量 200 次左右,去除野点后把算术平均值看作是这两点的精确坐标,利用这两个控制点建立控制关系对正方形进行相应的平移,就可提高图形的位置精度。之所以把控制点放置在封闭图形上相隔最远的 2 个点上,是因为封闭图形上最远的两点往往是出现误差最大的地方,因此,封闭图形的控制点要选择 2 个或 2 个以上,且相隔最远的两点,如正方形的对角线两点或是圆的直径两点;而线段则通过端点或线段中任何一点作为控制点即可提高精度。图 4b 为将正方形的对角线上两点加入控制点后对边长 5 m 的正方形进行两次测量拟合的结果。

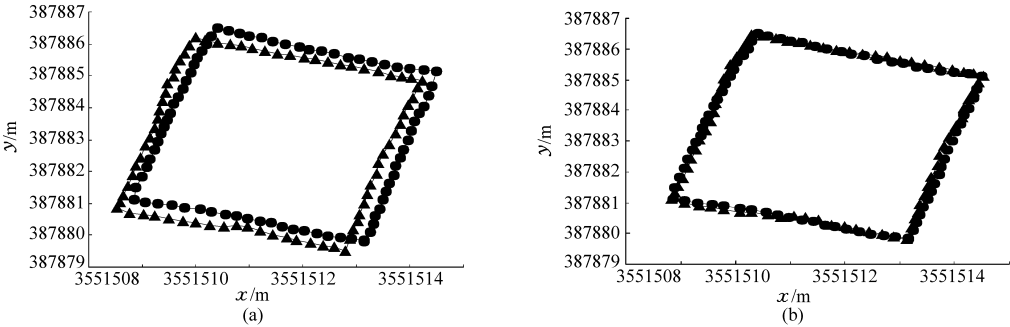


图 4 对正方形进行 2 次测量拟合的结果
Fig. 4 Fitting result of square
(a) 加入控制点前 (b) 加入控制点后

5 结论

(1) GPS 单机定位精度较低,从 3 h 43 min 静态测试的数据来看, x 、 y 坐标变化范围小于 6.29 m,在精确林业生产中,对于林情数据采集调查、变量喷药、施肥、灌溉等区域差异较大、精准度要求较高的生产过程中的定位,不进行数据处理直接采用则定位精度就较低。

(2) GPS 定位数据坐标频数分布近似正态分布,具有对称性,其随机误差的数学期望为零,因此,在测量 200 次后所得到的平均值趋近于真值。

(3) 由于客观外界条件,一般会出现野点,实际数据处理表明采用莱以特准则剔除野点能够有效地改善数据处理结果,纵横坐标和极差变化范围降低 25% 以上,提高了定位精度。

(4) GPS 动态定位对直线、封闭图形等同一区

域多次测量后的重合程度一般都很好,只是由于区域位置进行了整体漂移而大大降低了准确度,用加入控制点的方法可很好地校正 GPS 测得的动态定位数据发生整体漂移的现象。

(5)为了减少野点现象的发生,应选择合适的场所和时间段进行定位,如山脉密林中使用 GPS 时应提前对枝叶进行适当修剪,对于精度要求较高的精确林业的实时应用,可考虑建立差分系统以提高精度。

参 考 文 献

1 Palmer M C. Calculation of distance traveled by fishing vessels using GPS positional data: a theoretical evaluation of the sources of error [J]. Fisheries Research, 2008,89(1):57~64.

2 曹力,黄圣国. GPS 误差的时间序列分析建模研究[J]. 计算机工程与应用,2005,41(35):213~216.
Cao Li, Huang Shengguo. Studying on GPS errors modeling by time series analysis [J]. Computer Engineering and Applications,2005,41(35):213~216. (in Chinese)

3 张慧春,郑加强,周宏平,等. 农药精确施用系统信息流集成关键技术研究[J]. 农业工程学报,2007,23(5):130~136.
Zhang Huichun, Zheng Jiaqiang, Zhou Hongping, et al. Key technologies for integration of information flow for precision pesticide application system [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2007,23(5):130~136. (in Chinese)

4 俞海红,陈素珊,何勇. GPS 定位试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. & Life Sci., 2004,30(6):662~667. (in Chinese)

5 Swain D L, Wark T, Bishop-Hurley G J. Using high fix rate GPS data to determine the relationships between fix rate, prediction errors and patch selection [J]. Ecological Modeling, 2008, 212(3~4):273~279.

6 金国雄,刘大杰,施一民. GPS 卫星定位的应用与数据处理[M]. 上海:同济大学出版社,1994.

7 魏二虎,黄劲松. GPS 测量操作与数据处理[M]. 武汉:武汉大学出版社,2004.

~~~~~

(上接第 85 页)

7 朱锡锋,陆强. 生物质快速热解制备热解油[J]. 科技导报,2007,25(21):69~75.  
Zhu Xifeng, Lu Qiang. Fast pyrolysis of biomass for producing bio-oil[J]. Science & Technology Review,2007,25(21):69~75. (in Chinese)

8 Dynamotive Energy Systems Corporation. Fast pyrolysis of bagasse to produce biooil fuel for power generation[C]//The 2001 Sugar Conference. Trinidad and Tobago, 2001.

9 陆强,朱锡锋,李文志,等. 生物质快速热解产物在线催化提质研究[J]. 科学通报,2009,54(8):1 139~1 146.  
Lu Qiang, Zhu Xifeng, Li Wenzhi, et al. On-line catalytic upgrading of biomass fast pyrolysis products[J]. Chinese Science Bulletin, 2009, 54(8):1 139~1 146. (in Chinese)

10 朱锡锋,陆强,郑冀鲁,等. 生物质热解与生物油的特性研究[J]. 太阳能学报,2006,27(12):1 285~1 289.  
Zhu Xifeng, Lu Qiang, Zheng Jilu, et al. Research on biomass pyrolysis and bio-oil characteristics[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica,2006,27(12):1 285~1 289. (in Chinese)

11 Bridgwater A V, Meier D, Radleinc D. An overview of fast pyrolysis of biomass[J]. Organic Geochemistry,1999,30(12):1 479~1 493.

12 刘荣厚,牛卫生,张大雷. 生物质热化学转换技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005.

13 张琦,常杰,王铁军,等. 固体酸改质生物油的研究[J]. 燃料化学学报, 2006, 34(6):680~684.  
Zhang Qi, Chang Jie, Wang Tiejun, et al. Study on upgrading of bio-oil catalyzed over solid acids[J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology,2006,34(6):680~684. (in Chinese)

14 Abdelkader Chaala, Tuya Ba, Manuel Garcia-perez, et al. Colloidal properties of bio-oils obtained by vacuum pyrolysis of softwood bark: aging and thermal stability[J]. Energy & Fuels,2004,18(5):1 535~1 542.

15 吴汉靓,刘荣厚,邓春健. 木屑快速热裂解生物油特性及其红外光谱分析[J]. 农业工程学报,2009,25(6):219~223.  
Wu Hanjing, Liu Ronghou, Deng Chunjian. Properties and Fourier transform infrared spectrum analysis on bio-oil from fast pyrolysis of poplar sawdust[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(6):219~223. (in Chinese)