

文章编号: 0494-0911(2011)07-0015-03

中图分类号: P232

文献标识码: B

基于抗差趋势面的激光扫描地形数据处理

王 勇^{1,2}, 张建军¹, 王海栋^{1,3}

(1. 信息工程大学 测绘学院, 河南 郑州 450052; 2. 92768 部队, 广东 汕头 515074;

3. 海军出版社, 天津 300450)

Data Processing in Topographic Laser Scan Based on Robust Trend Surface

WANG Yong, ZHANG Jianjun, WANG Haidong

摘要: 基于将地面视为连续曲面, 非地面点视为粗差的原则, 将抗差估计原理引入到点云数据处理中。在对试验区点云数据分块的基础上, 利用高崩溃污染率的抗差估计算法建立趋势面模型, 并通过迭代权函数的取值分离非地面点。试验分别针对分块大小和权函数阈值选取问题进行分析, 并将剔除结果与运用 RiSCAN PRO 软件的人工处理结果进行比对, 提出两个评价算法优劣的 α 、 β 准则。

关键词: 地面激光扫描仪; 地形点云数据; 抗差趋势面; 非地面点剔除

一、引言

传统的地形测量需要先对国家级控制网加密, 再以加密网为控制点测量得到地形数据, 这通常需要多人同时作业, 费时费力。随着现代测绘的发展, 出现了许多新的测量技术, 特别是三维激光扫描技术, 被誉为是测绘领域中继 GPS 空间定位技术后的又一项测绘技术革新。该技术具有测量速度快(100~500 000 点/s)、精度高(0.4~20 mm)、范围广(1~6 000 m)^[1]、全天候、不需接触物体、不需合作目标等优点。将其用于地形测量, 能够大大提高工作效率和测量精度。三维激光扫描得到的是点云数据, 需要经过剔除非地面点、配准等数据后处理才能得到所需要地形数据, 继而生成 DEM 或等高线等相关产品。非地面点是指房屋、电线、塔等人工建筑以及树、灌木等自然植被。本文主要讨论非地面点的剔除问题。

对于点云数据非地面点的剔除方法, 国内外已进行了深入研究, 也取得了一定的成果。隋立春运用数学形态学和抗差估计方法^[2]; 奥地利的 Kraus 和 Pfeifer 提到将滤波和插值相结合的方法^[3]; ZHANG Keqi 等提出运用不断增大滤波窗口和高程差异阈等基于改进的形态学方法^[4]; Fabio Crosilla 等试验了同步自回归模型(SAR)和 FS 算法^[5]; 史文中等根据像点空间特征分布, 提出了基于投影密度方法^[6]。这些滤波方法都是针对测量区域数据特点, 采用不同的滤波方法, 并不具有通用性。针对地形点云数据的特点, 本文利用高崩溃污染率的

抗差估计算法建立趋势面模型, 并通过迭代权函数的取值来判断是否是地面点。

二、抗差趋势面剔除非地面点

1. 趋势面简介

按照自然地形地貌的成因, 绝大多数自然地形表面符合一定的自然趋势, 表现为连续的空间渐变模型, 这种连续变化可以用一种平滑的数学表面——趋势面加以描述。对粗差的检测, 可以通过模型误差即实际观测值与趋势面计算值(模型值)之差来判断是否属于异常数据。因此趋势面分析的一个典型应用就是揭示研究区域中不同于总趋势的最大偏离部分。由此可见, 可以采用趋势面分析找出偏离总趋势超过一定阈值的异常数据可疑点^[7]。

常用的趋势面形式是多项式, 可以根据地形的复杂程度采用不同的阶次, 这里采用二次曲面, 模型如下

$$z = a_0x^2 + a_1xy + a_2y^2 + a_3x + a_4y + a_5 \quad (1)$$

式中, (x, y) 为点的平面坐标; z 为高程值; a_0, a_1, \dots, a_5 为模型系数。

条件平差模型为

$$V = A \hat{X} - Z \quad (2)$$

由最小二乘原理, 解出模型参数。根据统计规律, 常用 3 倍中误差作为极限误差, 即模型误差大于极限误差的观测数据被认为是粗差^[7]。

收稿日期: 2010-07-02

作者简介: 王 勇(1984—), 男, 河南郑州人, 硕士生, 研究方向为激光扫描数据处理。

2. 抗差趋势面

趋势面分析方法是将短尺度的、局部的变化看作随机的和非结构的噪声,因此可将局部地形起伏比较明显的非地面点视作异常观测^[8],引入抗差估计原理剔除粗差。为控制非地形点对趋势面的影响,本文采用高崩溃污染率(污染率指非地面点占所有地形点的比率)抗差估计方法。获得趋势面模型的高崩溃污染率抗差解的基本步骤是:①利用强淘汰权函数剔除掉可能的非地形点;②以强淘汰权函数为先验权阵进行后续抗差估计。

强淘汰权函数表达式如下

$$p_i^0 = \begin{cases} p_i & |v_i/\hat{\sigma}_i| \leq c_0 \\ 0 & |v_i/\hat{\sigma}_i| > c_0 \end{cases} \quad (3)$$

式中, p_i^0 为第 i 个高程值的强淘汰权; v_i 为第 i 个高程值与所有高程值中位数之差,即 $v_i = z_i - \text{med}(z_i)$; 均方差抗差因子 $\hat{\sigma}_i = \text{med}(|v_i|)/0.6745$; 常数 c_0 取 $1.0 \sim 1.5$ 。

由抗差估计原理,参数抗差解迭代形式为^[9]

$$\hat{X}^{(k+1)} = (A^T \bar{P}^{(k)} A)^{-1} A^T \bar{P}^{(k)} Z \quad (4)$$

式中, \bar{P} 为等价权,本文采用 IGG III 权函数。当 $\max|x^{(k)} - x^{(k-1)}| < \varepsilon$ 时停止迭代,此时等价权因子 $p_i = 0$ 对应的点即为粗差点。至此,就得到了需要剔除的非地面点。具体流程如图 1 所示。

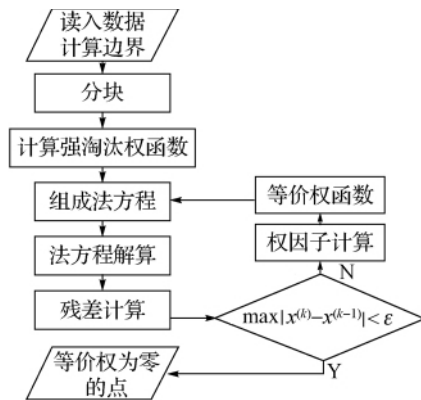


图 1 抗差趋势面剔除非地面点流程图

三、试验分析

本次试验采用奥地利 Riegl 公司生产的 VZ-400 型三维激光扫描仪,仪器参数如表 1 所示。

扫描区域为某山区,山体点云总数为 1 075 333,为便于试验,截取其中一块 110 m × 126 m × 44 m 的山体扫描数据进行试验,点云总数为 78 297,点密度为 5.6 个/m²,如图 2 所示。从图 2 中可以看出,该区域既有独立树,也有成群的树木,比较具有代表性。

左侧成群树木范围直径约为 20 m 树高约为 6 m。

表 1 VZ-400 激光扫描仪部分参数

型号	VZ-400
类型	脉冲
测量距离/m	1~500
FOV(视场角)	360° × 150°
单点测距精度/mm	±5
角度分辨率/(°)	0.005
最大扫描速率/(点/秒)	12 500
激光级别	I

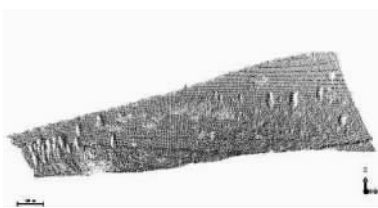


图 2 处理前点云

1. 算法评价标准

为了验证算法的正确性,必须建立评价此算法的标准,提出用两个量来衡量。设 M 为人工法剔除点数, N 为抗差趋势面法剔除点数, n 为抗差趋势面法与人工法剔除公共点数,则

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{n}{M} \\ \beta &= \frac{n}{N} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式中, α 反映算法的有效性; β 反映算法的准确性,这两个值共同反映了算法的可行性。理论上这两个值越大表明算法越接近人工处理效果,但实际应用中很难满足。剔除非地面点总是希望将所有非地面点剔除,即 α 越大越好,而点云数据是海量的,密度完全能够满足测量要求,剔除掉一部分地面点对于测量结果影响较小。因此应优先考虑 α 标准,同时兼顾 β 标准。

先用 Riegl 公司的商业软件 RiSCAN PRO 对试验区数据进行人工处理,删除树木等非地面点,处理效果(如图 3 所示)。删除非地面点 10 792 个,剩余地面点 67 505 个,剔除点数占总数的 13.8% 左右。

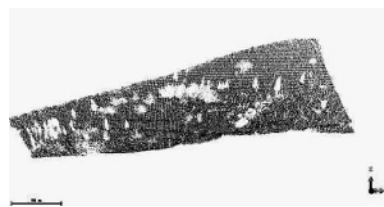


图 3 人工处理后点云

2. 分块方法

在地形复杂地区,一个趋势面无法详细地表达地形特征,必须将整个区域分成若干块分别处理。这样做的缺点是分块的大小存在随意性,本试验对不同大小的分块进行分析对比,剔除结果如表2所示。

表2 不同分块方法剔除结果

分块大小	<i>N</i>	<i>n</i>	$\alpha / (\%)$	$\beta / (\%)$
10 m × 10 m		迭代不收敛		
15 m × 15 m	15 804	8 427	78.1	53.3
20 m × 20 m	15 941	9 362	86.7	58.7
40 m × 40 m	15 132	8 941	82.8	59.1
70 m × 70 m	14 937	8 880	82.3	59.5
100 m × 100 m	15 478	8 613	79.8	55.6
120 m × 140 m	15 053	5 537	51.3	36.8

从表2中可以看出,分块过小,会导致迭代计算不收敛;分块过大, α 明显减小。只有当分块大小与扫描区域内最大非地面物大小比较接近时,剔除效果才较为理想。图4中(a)、(b)分别是20 m × 20 m分块和120 m × 140 m分块(整个扫描区)结果图,(b)是比较极端的情况,可以看出,右上角一大部分地面点被当成非地面点剔除了。

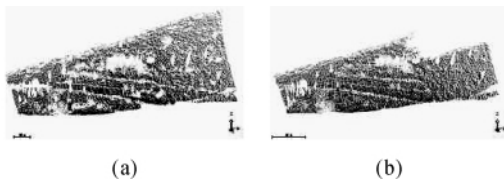


图4 20 m × 20 m 与 120 m × 140 m 分块处理后点云

3. 参数确定

基于抗差趋势面剔除非地面点还有一个关键环节是权函数界值的选取,针对不同地形数据特点,应选取不同值,这在一般抗差估计问题中同样存在。试验中对等价权函数界值 k_0 、 k_1 取值情况分析,结果如表3所示。

表3 不同界值剔除结果

k_0	k_1	<i>M</i>	<i>n</i>	$\alpha / (\%)$	$\beta / (\%)$
1.0	1.5	15 942	9 362	86.7	58.7
1.0	2.0	9 704	6 979	64.7	71.9
1.0	2.5	6 650	5 314	49.2	79.9
1.5	2.0	9 122	6 527	60.5	71.6
1.5	3.0	4 447	3 727	34.5	83.8
2.0	3.0	4 228	3 560	33.0	84.2
2.0	3.5	3 140	2 647	24.5	84.3
2.0	4.0	2 279	1 890	17.5	82.9

从表3可以看出,随着界值的增大, α 急剧减小,即抗差趋势面法剔除点与人工法差异增大。

图5是采用不同的权函数界值剔除地面点的结果,从中可以看出,随着界值增加,更多的非地面点被保留下来,说明剔除效果变得更差。

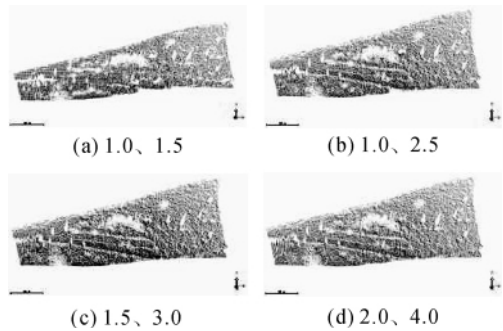


图5 不同权函数界值对剔除结果的影响

四、结束语

非地面点剔除是点云数据预处理的重要步骤,本文针对地形数据特点,将抗差估计原理引入点云数据处理,在对试验区点云数据分块的基础上,利用高崩溃污染率的抗差估计算法建立趋势面模型,并通过迭代权函数的取值来判断是否是地面点。通过某山区实测点云数据处理结果与 RiSCAN PRO 软件人工处理结果对比试验,分析了分块大小及权函数界值对剔除效果的影响,提出了评价算法优劣的 α 、 β 准则,并分析其在实际应用中需要注意的问题。

对于特殊地形,特别是树木较密集的点云数据,应用此方法相当于粗差所占比例过大,处理结果不够理想,需要研究其他算法。

参考文献:

[1] 刘春,陈华云,吴杭彬. 激光三维遥感的数据处理与特征提取[M]. 北京: 科学出版社,2009: 25-29.
 [2] SUI Lichun. Processing of Laser Scanner Data and Automatic Extraction of Structure Lines [J]. IAPRS, 2002, 34(2): 429-435.
 [3] KRAUS K, PFEIFER N. Advanced DTM Generation from LiDAR Data [J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2001, 34(3): 23-30.
 [4] ZHANG Keqi, CHEN S, WHITMAN D, et al. A Progressive Morphological Filter for Removing Nonground Measurements from Airborne LiDAR Data [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(4): 872-882.

(下转第69页)

1. 数据管理子系统功能设计

设计的功能主要包括:实现测绘数据入库管理,实现图形的关联查询及属性查询,实现数据上传到信息中心,实现房产测绘属性数据查询与统计,实现各类数据按条件导出。具体分为数据入库、数据导出、数据浏览、选择查询、统计、档案管理、数据备份和恢复、用户权限管理、系统维护等9方面的功能。

2. 功能实现及主要特点

实现了数据管理子系统的功能,实现对房产测绘成果的有效管理,该子系统具有以下特色。

1) 生产数据一键式入库。实现将一个项目的建筑物信息、户室信息和基本楼盘表一次性入库的功能。

2) 数据浏览实现索引查询和选择查询。既可通过相应行政区划查询宗地图、立面图、层型图和户型图,同时又可根据自定义的查询条件对生产数据进行筛选,并可进行宗地数目和面积、建筑物数目和面积以及户室数目和面积的统计,还可进行筛选统计,能够实现按测绘类别统计面积,套内面积类型统计和建筑面积类型统计,如图4所示。



图4 套内面积分类统计

3) 档案浏览采用树式结构,将一个项目下的5

种测绘类型报告、建筑施工图和报文资料一一列出,通过单击文件名实现浏览。

五、结束语

本文综合利用GIS技术、数据库技术、网络共享技术等先进技术,建立数据共享、生产高效的房产测绘数据管理系统。本系统是CAD与GIS融合的数据生产系统,具有良好的图形化用户界面,用户只需进行简单快捷的操作即可实现房产测绘数据生产、检查和管理需要。目前该系统已在深圳市房产测绘生产部门全面推广应用,其方便高效、实用性强的特点,将全方位改善深圳市房产管理的技术手段和信息基础设施,大幅度提高深圳市房产测绘生产效率和成果管理水平。本系统生产和管理的数据,可通过标准共享接口直接向深圳市规划国土委上传,一方面为今后深圳市房产测绘数据的信息化、公开化创造了必要的条件;另一方面也为房产测绘信息在全国个人住房信息联网共享提供了有益尝试。

参考文献:

[1] 国家质量技术监督局. GB/T 17986—2000 房产测量规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.

[2] 张桥平, 龚健雅, 陈晓东, 等. 基于 AutoCAD 的分层分户图管理系统技术[J]. 测绘信息与工程, 2001(1): 34-37.

[3] 邓小军, 郑晓梅. 共有面积分摊模型的实现方法研究[J]. 测绘信息与工程, 2008, 33(2): 48-49.

[4] 杨平, 裴亚波, 伦小伟. 基于 GIS 技术的房产测绘系统设计及实现[J]. 测绘通报, 2005(5): 56-57.

[5] 武晓忠, 杨志强, 龚云. 基于 AutoCAD 平台的房产测绘系统的设计与实现[J]. 现代测绘, 2006, 29(4): 6-8.

[6] 刘权, 石伟伟. 房产测绘与房产 GIS 一体化集成研究[J]. 测绘通报, 2007(9): 50-53.

[7] 朱静. AutoCAD 在房产测绘系统的应用研究[J]. 勘察与测量, 2010, 24(3): 321-322.

(上接第17页)

[5] CROSILLA F, VISINTINI D, PREARO G. A Robust Method for Filtering Non-ground Measurements from Airborne LiDAR Data [C] // International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Istanbul [s. n.] 2004: 196-201.

[6] 史文中, 李必军, 李清泉. 基于投影点密度的车载激光扫描距离图像分割方法[J]. 测绘学报, 2005,

34(2): 95-100.

[7] 李志林, 朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2005: 117-118.

[8] 张菊清, 刘平芝. 抗差趋势面与正交多面函数结合拟合 DEM 数据[J]. 测绘学报, 2008, 37(4): 526-530.

[9] 杨元喜. 抗差估计理论及其应用[M]. 北京: 八一出版社, 1993: 59-61.