

LIDAR地面点云的简化方法研究

徐景中 万幼川 张圣望

(武汉大学遥感信息工程学院,武汉市珞喻路129号,430079)

摘要 针对LIDAR点云数据量庞大,冗余信息多等不足,提出了一种基于点云局部离散度的LIDAR地面点云简化方法,实现了依比例尺精度要求的LIDAR地面点云的快速简化。

关键词 机载激光雷达;点云;离散度

LIDAR (Light Detection and Ranging)是集激光测距技术、GPS技术以及INS技术于一体的新型传感器,因其具有高效地获取目标三维信息的能力,自一出现便受到了学者的普遍关注。近几年来,LIDAR更是得到了长足的发展,在硬件和集成方面的问题已经基本得到解决,LIDAR技术的应用涉及多种行业,如城市建模和规划、森林储备和覆盖管理等^[1-2]。相对于硬件的发展,LIDAR数据的后处理却相对滞后,特别表现在海量点云的处理效率方面。庞大的LIDAR点云数据,使得现存的算法、现有的软件受到挑战。对此,本文提出了一种基于点云局部离散度的LIDAR地面点云简化方法,该方法能根据制图精度的要求自适应地进行点云的简化。

1 点云简化原则

对于一个实用的点云简化算法,应满足以下原则:压缩率高,即在保证失真较小地情形下,最大限度地压缩点云数量;简化误差在误差限差范围之内,即点云的简化结果能满足应用的精度要求;简化算法简洁,执行效率高;对于任意地形区域都能得到较好的结果,并不具有特殊性;对于地面点云的简化,即要求在规定误差范围内,最大限度地压缩冗余信息点,保留地形特征点。这里涉及点云的两个特征,即特征点特征以及尺度特征。

地形特征点是指对地形在地表的空间分布特征具有控制作用的点。地形特征点的保留是保证地面点云简化质量

的关键步骤。在地面点云中,地形特征点的主要特征有:具有高突变信息量,对局部地形的起伏有较大贡献,而且特征明显,易于提取;具有相对性,即突变信息具有明显的区域特性,随着区域的变大,特征变弱,有时变得难以探测。

尺度特征是与地理信息细节相关的最基本的概念之一。尺度的变化会影响信息被观察、表达、分析和传输的详细程度^[7]。在地图制图中,比例尺是常用的尺度之一,它决定地图要素的取舍,反映不同制图精度。因此,进行LIDAR地面点云简化时,需根据制图比例尺的要求控制冗余点的删减程度,以保证简化后的点云能满足制图精度的需求。

2 基于点云离散度的简化方法

1) 点云的离散度。对于某一地形区域,点云间高程差异的大小表现为地形起伏程度的高低,即如果点云间高程差异较小,则说明该区域比较平坦,可借助平均地平面表征该区域地形;若点云间的高程差异较大,则地形起伏较大,该区域地形难以用区域的平均地平面近似。为了有效地描述点云间高程差异与地形起伏的关系,这里借用离散度的概念进行阐述^[8]。

定义:离散度。对于尺寸为 $m \times n$ 的某块地形区域,设 $Z[i, j]$ 是实际地形表面上某点的高程值, \bar{Z} 为该区域所有点的高程平均值,则局部区域中该点的离散度可定义为:

$$D_i = (Z[i, j] - \bar{Z}) \sqrt{\frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (Z[i, j] - \bar{Z})^2}$$

项目来源:国家“863计划”资助项目(SQ2006AA12Z108506);地理空间信息工程国家测绘局重点实验室经费资助项目(200624)。

LAND CONSOLIDATION ECOLOGICAL ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT BASED ON CORRELATIVE DEGREE ANALYSIS METHOD

ZHU Yangang¹ HU Shiyan^{1,2} ZHANG Qi¹

(1 School of Resource and Environment Science; 2 Key Laboratory of Geographic Information System, Ministry of Education, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

ABSTRACT The principle of the correlative degree analysis method is introduced, and an indicator system of ecological environmental impact assessment is established. An appraisal to the project area with the correlative degree analysis method is carried on.

KEY WORDS land consolidation; ecological environmental impact assessment; indicator system; the correlative degree analysis method

式中, D_i 为点云的离散度, 是一很小的正数, 用于防止平坦区域点云高程值完全相同时, 公式分母为零的情形。

点的离散度反映了该点对该区域的地形起伏贡献程度, 即点的离散度愈大, 说明该点对该区域的地形起伏贡献愈大。因此, 根据点云的离散度可探测点云对地形起伏的影响程度, 在简化过程中可提取那些对地形起伏贡献较大的点予以保留, 从而保持测区的地形起伏特征。

2) 点云预处理。 LIDAR 点云的滤波处理: 一般地, LIDAR 点云中不仅含有裸露地面点, 还包含许多地物点, 如建筑物、植被等。因此, 在进行 LIDAR 地面点云简化处理前, 通常需要先进行 LIDAR 点云的滤波处理, 即滤除点云中的地物点数据, 提取地面点^[9]。点云的规则格网划分: 为了提高海量点云数据的处理效率, 采用一种空间划分策略进行 LIDAR 地面点云的简化处理。首先将 LIDAR 地面点数据按采集顺序读入一结构数组中, 并统计整个测区的地理覆盖范围, 分别计算区域的长度与宽度, 即

$$H = Y_{\max} - Y_{\min}, W = X_{\max} - X_{\min}$$

式中, (X_{\max}, Y_{\max}) 、 (X_{\min}, Y_{\min}) 分别为测区的最大、最小地理坐标值。根据简化比例尺要求以及测区的范围, 确定格网单元尺寸, 进行点云的二维空间划分; 判断每个离散点所在的网格, 并将该点所在数组的索引号加入网格所对应的线性链表中; 用哈希表结构存放各网格中所包含的点云。哈希表通

过网格的索引号进行直接定址。

3) 点云的简化流程: 确定简化后结果点云的应用比例尺, 由此生成高差阈值和地形点最小距离阈值, 控制点云的简化程度。依据上节方法进行点云的二维格网划分; 并将给定格网中的所有点按高程值进行排序。若格网中点的高程最大值与最小值之差大于高差阈值, 则视最大、最小值点为地形特征候选点而加以保留, 并计算区域中其他点的离散度。离散度大于阈值的则保留标记, 否则不作处理。

确定当前网格的索引号, 搜索近邻区域。对于邻域中距离当前格网候选特征点较近而且高差小于阈值的点作删除标记。

按地形点最小距离阈值等距离重采样所有点, 若当前点为地形特征点, 则强制进行保留, 而作删除标记的点不保留, 遍历所有格网, 简化过程结束。

3 试验与讨论

利用 VC++ 实现了上述算法, 并利用 OpenGL 工具进行图形渲染, 试验数据为某山地 LIDAR 点云数据, 分别依据大比例尺 1:500 和 1:2000 的制图要求(采样点的密度和高程精度)进行点云简化, 并得到点云数据集 I 和点云数据集 II。对这些点云按高程值进行灰度渲染得到点云渲染图, 如图 1 所示, 其中, 图 1(a) 为原始点云, 图 1(b) 为 I 对应的点云, 图 1(c) 为 II 对应的点云。

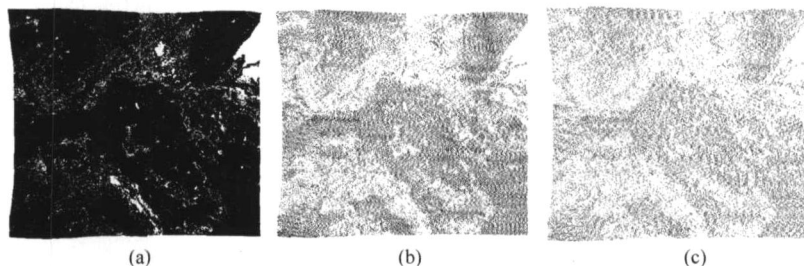


图 1 点云渲染图

为了更直观地对比点云简化前后地形特征的保持程度, 分别将原始点云数据和简化点云数据(I、II)内插成等高线(基本等高距为 2 m), 点云生成的等高线图如图 2 所示, 其中

图 2(a) 为原始点云数据生成的等高线, 图 2(b) 和图 2(c) 分别为简化点云数据 I、II 生成的等高线。从等高线图可以看出, 地形细节有所简化, 但总体特征得到很好的保持, 而且简

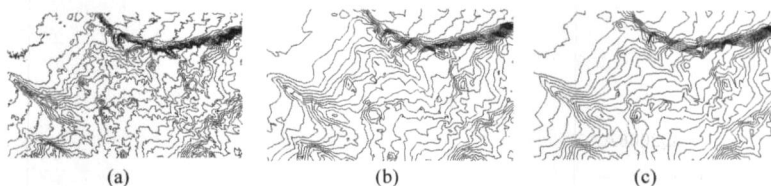


图 2 点云生成的等高线

化后的等高线更加美观, 更符合制图规范要求。

由于简化后的点云数据只是在数量上有所减少, 数值本身并未改变。因此, 关于点云简化前后 DEM 的误差只能通过对比内插点云的方式进行。关于 DEM 的内插方法很多, 不同的内插法在不同的地貌地区 and 不同采点方式下有不同的误差结果^[10], 各种方法对 DEM 精度的具体影响, 限于篇幅, 这里不作详述。本文的内插方法采用的是反距离权重法, 首先均匀地从原始数据中抽取 100 个点, 将其高程值作为真值; 然后利用简化后的结果点云内插出这 100 个点的高程值, 并对比真值; 最后统计点云简化前后的误差指标。内

插点云与原始点云的误差统计如表 1 所示, MAE 为最大绝对误差, ME 为平均误差, MSE 为均方差, SD 为标准差, T 为误差限差。由表 1 可以看出, 点云的简化率越高, 对地表

表 1 内插点云与原始点云的误差统计表

数据集	MAE/m	ME/m	MSE/m	SD/m	T/m
I	0.983	-0.058	0.275	0.278	1.0
II	1.970	-0.071	0.618	0.624	2.0

的描述能力越差, 与真实地形的误差也越大, 但由于简化过程依对应比例尺的要求进行, 两组数据的误差均在对应的限差范围之内。

4 结束语

LIDAR 具有快速、高效地获取地面数据的能力,随着其分辨率的不断提高,LIDAR 点云数量呈指数级增长。数量庞大的点云数据含有太多冗余信息,而且无法直接利用现有算法和现存的软件进行高效处理。因此,根据点云的离散度信息,提出一种依据制图要求的 LIDAR 地面点云的简化方法,并给出具体的简化步骤和算法流程。试验结果表明,该方法能依据制图规范的要求,控制点云的简化程度,最大限度地删除点云中的冗余信息,自适应地保留地形特征信息,简化的结果基本满足制图精度要求。

参考文献

- [1] 张小红. 机载激光扫描测高数据滤波及地物提取[D]. 武汉:武汉大学,2002
- [2] Axelsson P. Processing of Laser Scanner Data Algorithms and Applications[J]. ISPRS International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1999, 54(2): 138-147
- [3] 洪军,丁玉成,曹亮,等. 逆向工程中的测量数据精简技术研究[J]. 西安交通大学学报,2004, 38(7): 661-664
- [4] 张丽艳,周儒荣,蔡炜斌,等. 海量测量数据简化技术研究[J]. 计算机辅助设计与图形学报[J], 2001, 13(11): 1 019-1 023
- [5] 刘春,陆春. 三维激光扫描数据的简化与地形采样[J]. 遥感信息, 2005(2): 6-10
- [6] 罗德安,廖丽琼. 基于四叉树划分的地面激光雷达数据简化[J]. 计算机应用, 2005, 25(2): 420-425
- [7] 李霖,吴凡. 空间数据多尺度表达模型及其可视化[M]. 北京:科学出版社,2005
- [8] 周荫清. 概率随机变量与随机过程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 1989
- [9] Sithole G, Vosselman G. Experimental Comparison of Filter Algorithms for Bare Earth Extraction from Airborne Laser Scanning Point Clouds[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2004, 59(1): 85-101
- [10] 周兴华,姚芝强,赵吉先. DEM 内插方法与精度评定[J]. 测绘科学, 2005, 30(5): 86-88

收稿日期:2007-09-20。

第一作者简介:徐景中,博士研究生,现主要从事 LIDAR 数据的处理及应用研究。

E-mail: jz_xu02@yahoo.com.cn

ON SIMPLIFICATION METHOD FOR LIDAR GROUND POINTS CLOUD

XU Jingzhong WAN Youchuan ZHANG Shengwang

(School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

ABSTRACT A simplification method is proposed for LIDAR ground points based on local scatter characteristics of points. Experimental results show that the method is efficient for points' simplification according to the rule of mapping.

KEY WORDS LIDAR; points cloud; scatter value

苏州武大影像信息工程研究 院有限责任公司成立

武汉大学和苏州市测绘院合资联合组建的苏州武大影像信息工程研究院有限责任公司在苏州国家高新技术产业开发区揭牌成立。该公司依托张祖勋院士领衔研制的具有自主知识产权、国际首创的新一代航空航天摄影测量处理平台——数字摄影测量网格(DPGrid)技术成果和苏州高新区良好的投资环境,将生产和推广该技术产品,实现科研成果的产业化,造福于民。

第三届中国西部国际测绘仪器及 3S 技术展览会即将开幕

2008 第三届中国西部国际测绘仪器及 3S 技术展览会即将于 2008 年 4 月初在四川成都举办。展览会由四川省测绘局组织,中国地理信息系统协会、中国建筑学会工程勘察分会、四川省科学技术协会、四川省测绘学会、四川省勘察设计协会、四川省城市规划协会、香港工程测量师学会主办,西部各省测绘局协办,成都风向标科技展览有限公司承办。将

以专区专展的方式展出,既展示国内外知名品牌的最新产品、最新技术为主,又有技术讲座、学术交流、产品推荐、购销信息发布、经销商会议等。

内蒙古调查明代长城

内蒙古自治区明代长城资源调查项目取得了阶段性成果。总计田野工作 8 个月,行程 1 万公里,发现大量明代石碑、石炮、铭文砖、武器、生产生活用具等长城文物,测量了一大批长城 GPS 座标点,绘制了长城走向以及分布地图,取得了大量的文字记录和影视资料。经调查,全区共有 1000 公里明长城。

首次绘制罗布泊地区地形图

由来自西部 6 省市的测绘人员,使用 GPS 卫星定位等先进的测量技术,完成罗布泊地区及其周边的阿尔金山、库姆塔格沙漠地区的地形图测绘、景观图片采集工作,调绘出 1:5 万地形图 49 幅。使罗布泊这一地区结束没有基本比例测绘地形图的历史。