

# 一种基于分割的机载 LiDAR 点云数据滤波

胡 举<sup>1,2</sup> 杨 辽<sup>1</sup> 沈金祥<sup>1,2</sup> 吴小波<sup>1,2</sup>

(1 中国科学院新疆生态与地理研究所遥感与 GIS 应用自治区重点实验室,乌鲁木齐市北京南路 818 号,830011)  
(2 中国科学院研究生院,北京市玉泉路甲 19 号,100049)

**摘 要:**针对当前滤波算法在处理地形不连续区域或存在复杂建筑物区域时容易过分“腐蚀”地形并难以去除一些低矮植被的不足,提出了一种基于分割的机载 LiDAR 点云滤波算法。首先,对原始点云基于地表连续性进行分割;然后,在移除点数目较小的粗差点集之后采用对分割点集建立缓冲区的方法,区分地面和非地面点集;在较大地物经过迭代分割基本移除之后,使用约束平面的方法移除高度较小的地表附着物以实现滤波。实验结果表明,与经典滤波算法相比,该算法提高了地面点的分类精度,在滤除地物信息的同时能有效地保留地形特征。

**关键词:**机载 LiDAR;滤波;分割;缓冲区;不连续地形;复杂建筑物

**中图法分类号:**P237.3

目前,机载 LiDAR 点云滤波算法<sup>[1-7]</sup>在处理存在复杂建筑物或地形不连续(如陡坡、空洞等)的区域时,会过多地“腐蚀”地形,降低地面点的分类精度,而且难以在去除大型建筑物的同时兼顾低矮的植被。针对这些问题,本文提出了一种基于分割的机载 LiDAR 点云数据滤波算法。

## 1 基于分割的滤波算法

此算法首先根据地形连续性对点集进行分割,在移除数目较少的粗差点集之后,采用对分割点集建立缓冲区的方法区分地面和非地面点集,通过分割迭代过程基本移除较大的地物点集后,利用约束平面的方法去除地面点集中残留的一些小地物,最终实现滤波。

### 1.1 地形连续性分割

文献[8]将裸露地面定义为由分段连续光滑的曲面片拼接而成的曲面。依据此定义,可以假设地面点高程的变化是一个缓慢的过程,即便是存在有坡度起伏的区域(除陡坡、悬崖等变化过快的区域外);对于建筑物和密集植被而言,其内部高程变化也应该是相对平缓,但是在与地面的交界处,高程存在突变。根据此假设可以将点云数

据划分成为许多高程缓慢变化的分割单元。

本文选择区域增长算法作为分割方法。点的邻域范围设定为点距的 1~2 倍,高差阈值根据区域地形情况而定,首次分割时一般可设定为点距的 2~3 倍,后续的迭代过程中由于较高的地物点集逐步被移除,高差阈值减小。由于粗差点与地面的高度差较大,分割实验证明,此算法对于粗差点并不敏感,在分割后粗差点会划分到单独的点集中且数目极少。因此,后续步骤中通过判定点集中的点数直接移除粗差点,而无须在滤波前删除粗差点。

具体的分割步骤为:设定高差阈值  $H_{\text{Diff}}$ 、初始未分割点子集  $U=P=\{p_1,p_2,\cdots,p_n\}$  以及初始分割单元标记  $\text{Label}=1$ 。选择  $U$  中的最低点  $p_k$  作为种子点,设置点  $p_k$  的分割标号  $\text{Label}_{p_k}=\text{Label}$ ,表示  $p_k$  处于第  $\text{Label}$  个分割单元中;搜索  $p_k$  的邻域点,将高差小于  $H_{\text{Diff}}$  的点判定为新的种子点,将新的种子点的分割标号设置为  $\text{Label}$ ,并将新种子点从  $U$  中剔除;重复上述步骤搜索新种子点的邻域,当没有新的种子点加入时,第  $\text{Label}$  个分割单元确定。对未分配到分割单元中的点集重复进行分割步骤,直至未分割点子集  $U$  为空集。实验分割效果如图 1(a)所示。

1.2 非地面点集判定和移除

分割结束后,点云被分割成为许多单独的点集,由于粗差点和一些植被点与其邻域点的高差较大被分割成为单独的点集,而且点集中包含的点数目极少,因此,可以根据点集中所含点数移除数目较少的粗差点集和一些高度较大的植被点集。

假设非地面点分割单元的高程高于其周围一定范围内点的高程值,则可以通过建立缓冲区域判定地面与非地面点集。具体步骤为:设定缓冲区域的宽度,搜索分割单元的邻域,建立相应的缓冲区。统计缓冲区域内点的数目和高程值,设置参考高程=缓冲区的平均高程,如果分割单元高程的平均值大于参考高程,则判定为非地面点,相反,则判定为地面点。实验中将判定为非地面点集的分割单元移除的效果如图 1(c)所示。

通过一次分割很难完全去除所有的非地面点单元,尤其是存在不同高度和形状建筑物的城区。本文算法将被判定为非地面点单元的点集移除,

并对剩余的点云数据进行迭代,减小高差阈值和增大缓冲区范围,重复上述的分割和移除非地面点单元的步骤。实验验证一般迭代 2~3 次即可达到较好效果,若迭代次数过多则会损失过多的地形。

1.3 小地物去除

在迭代结束后,大的地物基本已经移除,但许多小的地物(例如小灌木等低矮的物体)仍然未能去除。对于这些小的地物,本文采用约束平面的方法,通过对各点的邻域点集拟合平面  $Ax + By + Cz + P = 0$ ,计算该点到拟合平面的距离  $Dist$  以及拟合平面的残差  $Residual$ ,超过一定阈值即被作为小地物点移除。该步骤主要是为了去除通过分割很难被划分为单独点集进行处理的较低地物,对于  $Dist$  和  $Residual$  的阈值一般可设定为略低于区域内地表附着物的高度(50~70 cm)。实验中移除小地物后的最终滤波效果如图 1(d)所示。

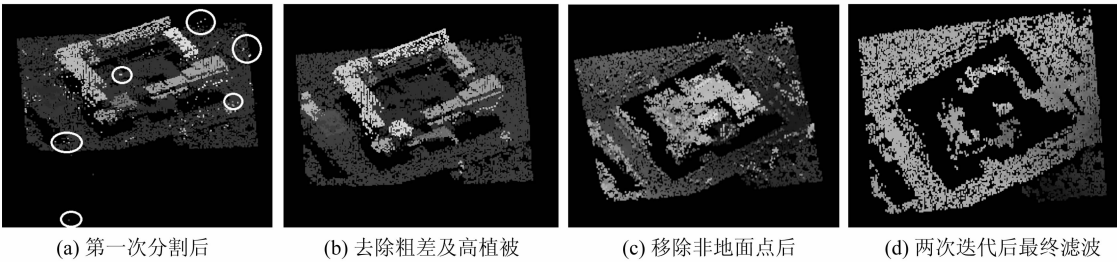


图 1  算法各步骤的效果图(共迭代 2 次)  
Fig. 1  Filtering Effect During the Process of the Algorithm

2 实验与分析

2.1 实验数据

以 ISPRS 在线发布的参考数据作为实验数据,每个实验数据事先都进行了人工分类,每个点都被标记为地面点或非地面点。选取两块城市区域作为实验区,其中,城市区域 1 的面积为 147×

206 m<sup>2</sup>,区域内主要包含不同高度的建筑物和植被等地物;城市区域 2 的面积为 168×105 m<sup>2</sup>,区域存在数据空洞以及复杂建筑物;两块区域的平均点距均为 1.0~1.5 m。

2.2 结果分析

对两个实验区分别进行滤波实验,效果如图 2 所示。

对滤波后的点云数据进行统计,并对比参考

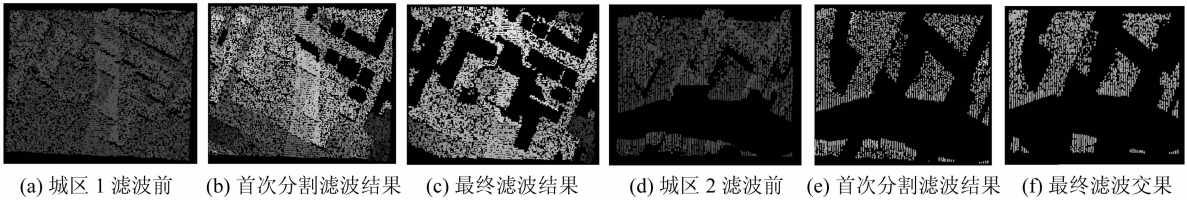


图 2  本文算法滤波效果  
Fig. 2  Filtering with the Proposed Algorithm

数据给出的标准分类结果,得到精度评价结果如表 1 所示。

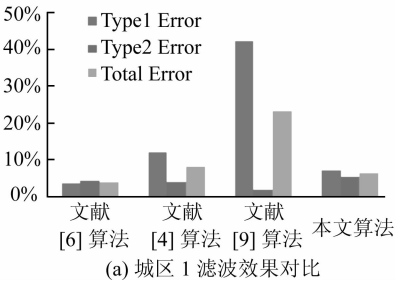
表中, $a$  表示地面点被正确判定的数目; $b$  表示将地面点误判为非地面点的数目; $c$  表示将非

地面点误判为地面点的数目; $d$  表示非地面点正确判定的数目。

表 1 滤波效果精度评价

测区	滤波结果				Type1	Type2	Total
	$a$	$b$	$c$	$d$	Error	Error	Error
城区 1	12 278	940	639	11 228	7.11%	5.38%	6.294%
城区 2	5 196	394	71	5 551	7.04%	1.26%	4.147%

采用 ISPRS 建立的评价体系<sup>[8]</sup>, Type1 Error 表示地面点被误判的比率; Type2 Error 表示地物点被误判的比率; 而 Total Error 则表示整体点云集合被误分的比率, 代表滤波效果整体的好



坏程度。  
2.3 对比分析

选取三角网渐进加密法<sup>[6]</sup>、迭代线性内插法<sup>[4]</sup>和改进的形态学方法<sup>[9]</sup>3 种具有代表性的经典算法与本文算法的滤波结果进行比较(3 种经典滤波算法的精度结果来源于文献<sup>[8]</sup>), 得到结果如图 3 所示。

本文算法滤波效果的 Type2 Error 与其他几种算法相当, 但是 Type1 Error 较其他算法更低, 这说明本文算法在去除地物点的同时, 更好地保留了点云数据中的地面信息。因此, 综合比较本文算法的滤波精度要优于其他几种算法。

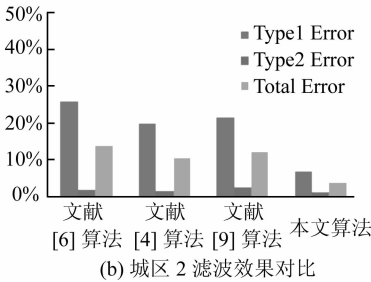


图 3 滤波算法精度比较图  
Fig. 3 Comparison of Accuracy for Different Algorithms

为进一步验证本文算法的实用效果, 选取了一块较大范围的城市区域(见图 4(a))进行对比实验, 实验区域内存在的地物主要包括复杂建筑物和高

矮不一的植被。本文算法通过 3 次迭代后实现区域的滤波效果(见图 4(b)), 并将滤波结果与 Terrascan 软件的滤波效果(见图 4(c))进行了对比。

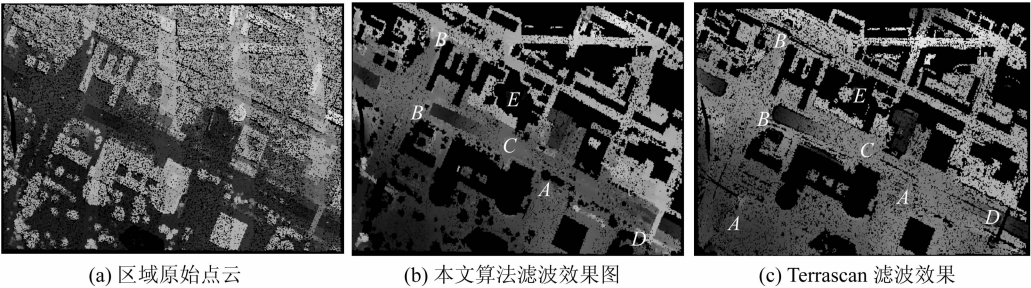


图 4 本文算法迭代 3 次与 Terrascan 滤波效果对比图  
Fig. 4 Comparison of Filtering Effect Between Terrascan and the Proposed Algorithm

比较两种方法的滤波效果图可知, Terrascan 对于植被的滤除效果较差, 见图 4 中 A 标示处, 一些典型的植被都未能移除; 地形起伏处的边缘点也未能较好地保留, 如图中 B 标示处。另外, 综合比较两种方法对于地面点的保留情况, 本文算法的滤波地面更加“紧凑”, 而 Terrascan 的滤波地面则较为稀疏, 如图中 C 所标示处, 这说明本文算法对于地面信息的保留情况较好。当然, 通过比较也发现了本文算法的一些不足之处, 如图中 D 标示处, 本文算法未能检测出桥梁, 这主要是由于分割算法中选取的特征较为单一所致,

未能将桥梁与地面点集划分开。另外, 存在少数一些地面点集被误分为非地面而移除, 如图 4 中 E 标示所示处, 这说明本文算法对地面与非地面分割点集的判定规则仍需加强。

3 结 语

本文针对复杂城市区域和地形不连续区域提出了一种基于分割的机载 LiDAR 滤波算法, 通过在两个较小城市区域进行滤波实验, 并与其他 3 种经典滤波算法进行比较, 证明了本文算法的

滤波精度要优于其他 3 种算法,在滤除地物的同时能够更好地保留地面点信息。为验证本文算法的实用效果,选择一块较大区域与 Terrascan 软件的滤波结果进行了对比实验。分析表明,本文算法对于植被的滤除效果、地形起伏的边缘点以及地面信息的保留等方面要强于 Terrascan。同时,也发现本文算法中仍有一些需要改进的地方,例如挖掘更多的高程特征提高分割效果、加强地面与非地面点集的判定规则等。

参 考 文 献

[1] 蒋晶珏,张祖勋,明英. 复杂城市环境的机载 LiDAR 点云滤波[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007,32(5):402-405

[2] 张小红. 机载激光雷达测量技术理论和方法[M]. 武汉:武汉大学出版社, 2007

[3] Kilian J, Haala N, Englich M. Capture and Evaluation of Airborne Laser Scanner Data[J]. IAPRS, 1996,31(B3):193-203

[4] Pfeifer N, Kostli A, Kraus K. Interpolation and

Filtering of Laser Scanner Data-Implementation and First Results[J]. IAPRS, 1998,32(3/1): 153-159

[5] Vosselman G. Slope Based Filtering of Laser Altimetry Data[J]. IAPRS, 2001,33(B3):935-942

[6] Axelsson P. DEM Generation from Laser Scanner Data Using Adaptive TIN Models [J]. IAPRS, 2001,33(B4): 110-117

[7] Sithole G, Vosselman G. Filtering of Airborne Laser Scanner Data Based on Segmented Point Clouds [J]. IAPRS, 2005,33,(3/W19): 66-71

[8] Sithole G, Vosselman G. Experimental Comparison of Filter Algorithms for Bare-Earth Extraction from Airborne Laser Scanning Point Clouds[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2004, 59: 85-101

[9] Roggero M. Airborne Laser Scanner: Clustering in Raw Data[J]. IAPRS, 2001,34(3W/4): 227-232

第一作者简介:胡举,硕士生,研究方向为遥感图像与激光雷达点云数据处理。  
E-mail:hjuopo917@163.com

Filtering of LiDAR Based on Segmentation

HU Ju<sup>1,2</sup> YANG Liao<sup>1</sup> SHEN Jinxiang<sup>1,2</sup> WU Xiaobo<sup>1,2</sup>

(1 Remote Sensing and GIS Application Laboratory, Xinjiang Ecology and Geography Institute, Chine Academy of Sciences, 818 South Beijing Road, Urumqi 830011, China)

(2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, A19 Yuquan Road, Beijing 100049, China)

**Abstract:** In dealing with the problem that most current filtering algorithms excessively erode the bare earth at discontinuities or place with complex buildings, we present a new filtering algorithm based on segmentation. Firstly the original point cloud is segmented into many segments based on the continuity of terrain surface. Then, the ground point set is differed from non-ground point set using the way of establishing buffer area after gross error points remove by the number of segment. Finally, we get the filtering effect after several iterations. The experimental results show that this algorithm significantly improves the classification accuracy of ground points compared with other classical filters. This algorithm effectively preserves the ground information when filter kinds of object information. In addition comparing with the filtering effect of Terrascan software, the filtering effect of the proposed algorithm is better in removing vegetation and preserving the point in the edge of ground.

**Key words:** LiDAR; filter; segmentation; buffer; discontinuities; complex buildings