

基于距离限制的机载激光数据滤波方法

徐前祥¹ 廖明生¹ 杨建思^{1,2}

(1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,武汉市珞喻路 129 号,430079)
(2 武汉大学城市设计学院,武汉市东湖南路 8 号,430072)

摘 要:提出了基于距离限制的滤波算法,利用地物在三维空间的距离特性提取地面信息,并对可能影响算法稳健性的侧面信息提出角度判决的概念。试验表明,本文方法在处理复杂城市地形时,能很好地保留地面的细节信息,剔除低矮植被等非地面信息。
关键词:距离限制;点云;滤波;激光雷达
中图法分类号:P237.3; P225.2

机载激光雷达(light detection and ranging, LIDAR)在城市规划与管理、道路设计、水利工程和地形监测与分析中都有着广阔的应用前景。其中,利用 LIDAR 技术获取高精度的数字地面模型(digital terrain model,DTM)在基础测绘生产中已经得到实际应用,如荷兰使用 4 m×4 m 内 1 个激光点的 LIDAR 数据生成全国的 DTM^[1]。LIDAR 数据既包含地面点,又包含非地面点。在生成 DTM 前,必须剔除非地面点,这个处理过程称为滤波^[2],是 LIDAR 数据处理中的一个重要环节^[3]。

滤波算法概括起来可以分为三类:最低点法、拟合法、聚类法。其中,前两类滤波算法仅考虑局部范围内的结构特征,在保留陡峭坡面和变化剧烈地形(如峭壁)处的地面点,剔除低矮植被等对象点时存在一定问题^[4];第三类方法对数据整体滤波能够得到更好、更为可靠的结果^[5]。本文提出了一种基于距离限制的滤波算法。

1 地物空间距离特性

地球表面可看成由自然表面和非地面物体两部分构成,自然表面是光滑的连续表面(大部分情况),非地面物体(如高大植被或人工建筑物等对象)与自然表面存在较大高差,造成地面与对象间的不连续。

如图 1 所示,如果激光数据点间距为 r ,在均匀分布的情况下,地面激光点与其 4 邻域点的距离为 r ;建筑物上表面激光点同地面情况相同,距离也为 r ;因建筑物具有一定高度,其上表面激光点与地面激光点间的距离要大于 r 。也就是说,地面和建筑物上表面可以分别看成是均匀分布的同质区域,同质区域内部点的性质相同,间距小,而异质区域之间的点差异大,不连续。

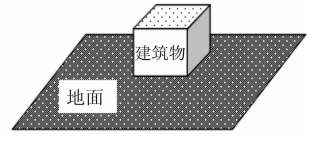


图 1 激光点(地面上的白点,建筑物上的灰点)分布
Fig. 1 Distribution of LIDAR Points

2 距离限制滤波

2.1 算法原理

空间任意相邻两点 $S_1(x_1, y_1, z_1)$ 与 $S_2(x_2, y_2, z_2)$ 的距离 $D(S_1, S_2)$ 可以简单表示为:

$$D(S_1, S_2) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (1)$$

若 S_1 与 S_2 为同质点,即都为地面点或建筑物顶面点(对象点),则 $D(S_1, S_2)$ 较小;若为异质点,即分别为地面点和建筑物顶面点(对象点),则

$D(S_1, S_2)$ 较大。因此,只需确定某一阈值 T ,便可将建筑物顶面点(对象点)与地面点分开。继而根据地面是最大的连续平滑表面,所有地面点聚为一类;而建筑物(对象)是孤立的平滑表面,每一独立建筑物(对象)各成一类,因此,落入地面类的数据点最多,并且与其他类相差极大。这样,统计各个类别的数据点数 $\text{Count}(P_i)$, $\text{Count}(P_i)$ 最大的一类就是地面类,并提取地面点;否则,为非地面点。

Count(P_i) = $\begin{cases} \text{点数最多,地面点} \\ \text{其他,非地面点} \end{cases}$ (2)

2.2 处理流程

在实际应用中,还要考虑地形起伏、地物复杂性、数据点不均匀及地物侧面数据等造成的影响。通过计算,前三种影响因素在阈值 T 选取恰当时便可很好地克服;而对于地物侧面信息,若不有效去除,则可能造成异质区域相互混淆,使算法不稳定,因此必须去除侧面信息。

基于距离限制滤波法的基本思想是:消除侧面信息后,激光数据成为上下分层的同质区域,同质点间距离小于异质点间距离,选取适当的阈值使同质点聚集,异质点相互分离,根据地面是最大的同质区域,提取地面信息。具体步骤为:① 处理原始点云数据,除去侧面信息;② 基于距离限制聚类;③ 统计各个类别的数据点数,找出点数最多的一类;④ 提取地面数据;⑤ 后处理与应用。

3 试 验

3.1 试验区数据

试验区为瑞典首都斯德哥尔摩众岛屿中最古老的部分——斯塔丹岛。老城区多采用石头铺筑,最宽处不过 5~6 m,最窄处不足 1 m。试验数据覆盖整个斯塔丹岛,共计 809 343 个数据点,激光数据点间距约为 0.5 m。

3.2 去除侧面信息

激光雷达主要量测地物顶面信息,然而由于视场角、地形起伏和飞行姿态等多种原因,必然会存在地物侧面信息。而侧面数据表现出的空间特点是水平距离较近、垂直高差相对较大,也就是说,它在空间的立体角 θ 较大,因此,本文提出了角度判别原则,剔除侧面数据。

空间任意点 $O(x_1, y_1, z_1)$ 与其邻域 d 内某一点 $S(x_2, y_2, z_2)$ 的立体角度 θ 如图 2 所示。

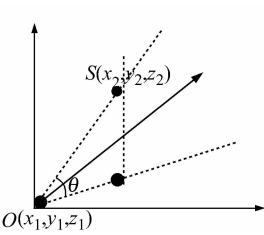


图 2 角度滤波
Fig. 2 Angle Filter

按照式(3)计算出 θ ,当 θ 大于某一阈值时,滤除高程较大的点;否则不予处理。这样,在去除侧面信息的同时,保护了较低的地面点。本文取 $d=0.8, \delta=45^\circ$ 。

$$\theta = \arctan \frac{|z_2 - z_1|}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}$$
 (3)

3.3 滤波及地面信息提取

经 § 3.2 处理后的数据可以看作没有侧面信息,利用距离限制原则(距离小于 1.3)逐步聚类,获取结果如图 3 所示。滤波后,提取的地面数据如图 3(b)所示,与原始数据图 3(a)比较可知,试验区内建筑物、船只和海洋等明显非地面信息被完全滤除;图 3(c)中,矩形区域内的树木和椭圆形区域内的汽车等低矮对象也被剔除(图 3(d));地面信息保留完好,有效地提取了建筑群中的小巷(图 3(b)),并且保留了陡峭坡面(图 3(c)、3(d)中椭圆形区域内的坡面)和变化剧烈地形处的地面点——与相邻地面有很大高差的公路(图 3(e)、3(f))。

3.4 试验结果分析

3.4.1 视觉检验

视觉检验整体滤波效果如图 4(a)、4(b)所示。滤波后,得到的 DTM 比较光滑,图 4(b)明显表示出与周围高差较大的几条主要道路(黑线所示)。由此可以明显看出,滤波后有效地滤除非地面点的同时,地面细节信息保持较好,达到了算法设计时的要求。

3.4.2 统计分析

进一步用滤波前后高程和坡度的变化分析试验结果。从表 1 可以看出,滤波后,地面数据高程/坡度的期望值与中值均远远小于原始数据,说明滤波后数据向低高程、低坡度集中;而标准偏差体现了数据点高程和坡度的聚集程度,滤波后,地面数据的标准偏差更小,说明滤波后数据的集中程度更高。

图 5 为高程与坡度的分布情况,纵坐标为归一化点数,即某一高程/坡度的点数与总点数的比

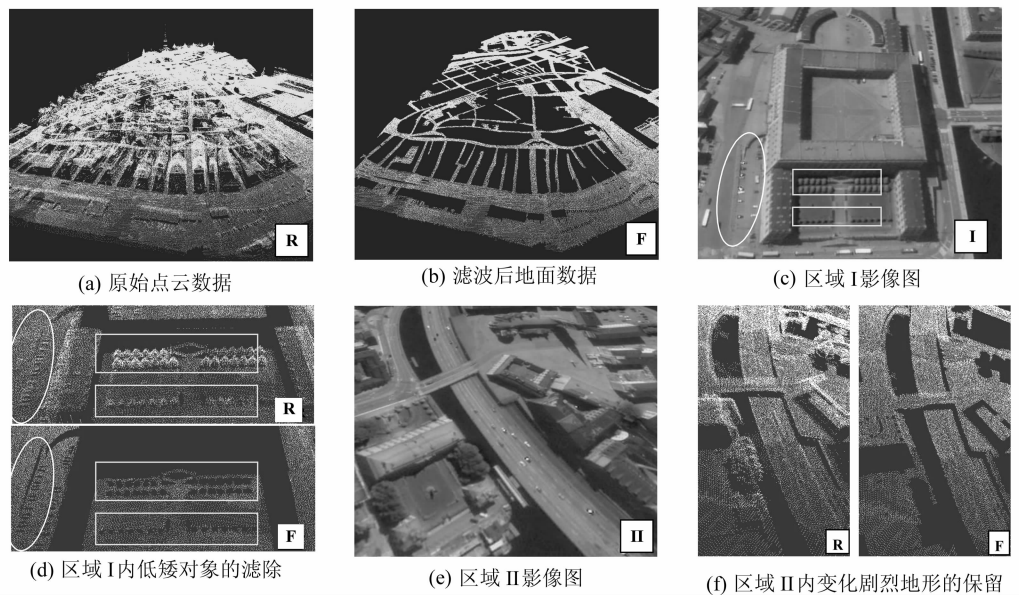


图 3 滤波前后结果比较
Fig. 3 Filtering Result

表 1 分割前后高程和坡度的比较
Tab. 1 Elevation and Slope

数据类型	数据点数	高程/m			坡度/(°)		
		期望值	中值	标准偏差	期望值	中值	标准偏差
原始数据	809 343	13. 68	10. 81	10. 74	52. 548 8	58. 348 6	31. 501 4
分割后的地面数据	329 480	6. 02	4. 42	4. 16	17. 721 4	16. 140 4	12. 485 7

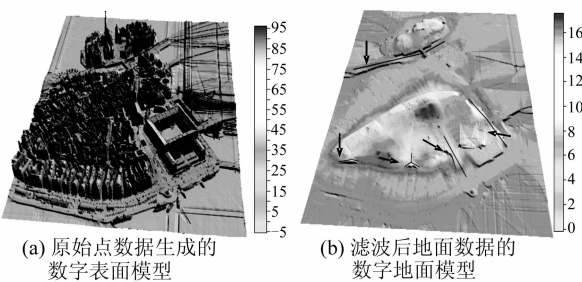


图 4 DSM 与 DTM 对滤波效果的检测
Fig. 4 Comparing Filtering Result Using DSM and DTM

值。从图中可以清楚地看出,在高程/坡度较小时,滤波前后的曲线形状保持较好,说明滤波后对低高程/坡度点保持较好;而在高程/坡度较大时,滤波后几乎没有数据,说明去除了高程/坡度较大的点。因此,滤波后,地势比较平缓,高程相差不大,去除了建筑物等对象点。

4 结 语

本文提出的基于距离限制的滤波方法实质是一种聚类方法,因此对数据整体滤波,得到的效果

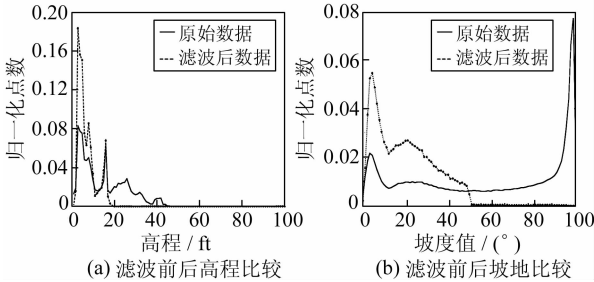


图 5 统计分析
Fig. 5 Statistical Analysis

更好,更为可靠。然而,由于桥梁等地物根据应用领域的不同而定义成地面或非地面,所以本文没有加以讨论;对于建筑物包围的庭院,距离限制滤波算法也不能很好地加以保留,因此,今后还需要进一步研究。

参 考 文 献

[1] Huising E J, Gomes Pereira L M. Errors and Accuracy Estimates of Laser Data Acquired by Various Laser Scanning Systems for Topographic Applications[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,1998,53(5): 245-261

[2] Masaharu H, Ohtsubo K. A Filtering Method of

Airborne Laser Scanner Data for Complex Terrain [C]. IAPRS,Graz,2002

[3] Sithole G. Filtering Strategy;Working Towards Reliability[C]. IAPRS,Graz,2002

[4] Sithole G,Vosselman G. Filtering of Airborne Laser Scanner Data Based on Segmentation Point Clouds [C]. ISPRS WG III/3,III/4,V/3 Workshop Laser Scanning 2005, Enschede,the Netherlands, 2005

[5] 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(1/2) :85-101

第一作者简介:徐前祥,硕士生。主要从事遥感影像分析和 LIDAR 数据处理及应用研究。
E-mail:xuqx1983@163.com

Distance-Limited Filter for Extracting Ground Points

XU Qianxiang¹ LIAO Mingsheng¹ YANG Jiansi^{1,2}

(1 State Key Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)
(2 School of Urban Studies, Wuhan University, 8 South Donghu Road, Wuhan 430072, China)

Abstract: The extraction of points on the bare earth from point cloud acquired by airborne laser scanning is one of the most important steps for the generation of DTM, and the relative processing is called “filtering”. However, most of current filters erode the bare earth in steep sloped landscapes and at discontinuities, and that they retain low vegetation. Therefore, a new filtering method based on distance-limited is proposed for extracting ground points. The angle criterion is used to assure the robustness of the algorithm. The experimental results show that the proposed filtering method could effectively derive the ground points from point cloud in complex urban areas.

Key words: distance-limited; point cloud; filtering; LIDAR

About the first author: XU Qianxiang, postgraduate, majors in remote sensing image analysis and LIDAR data processing.
E-mail: xuqx1983@163.com

第八届自然资源与环境科学空间信息
精度评估国际研讨会征文通知

在国际空间信息精度评估研究协会(International Spatial Accuracy Research Association)的指导下,由武汉大学主办、上海交通大学承办的第八届自然资源与环境科学空间信息精度评估国际研讨会(The 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences)将于2008年6月25日至27日在上海举行。

会议征文主题包括空间精度测量与评估、数据同化与不确定性量化、空间信息的误差分析、空间信息不确定性的地统计学方法、离散目标、连续场及其集成的不确定性模型、标称场和等级场的不确定性模型、尺度模型与尺度转换方法、语义互操作性与不确定性分析、空间数据套合和信息融合、数字地形分析中不确定性描述、生态与环境建模中不确定性描述、社会系统及其与环境系统相互作用中的不确定性描述、景观动态和全球变化的不确定性描述、空间信息与空间分析的模糊性、遥感的真实性检验、不确定性的可视化。