

一种改进的激光点云数据精简算法

樊彦国, 杨洪旭, 任启飞
(中国石油大学(华东), 山东 青岛 266580)

摘要:随着三维激光扫描仪获取的点云数据量越来越大,激光点云数据精简已成为测绘领域中的一个新的研究热点。在对点云数据分层技术研究的基础上,将二维平面曲线精简算法—Douglas-Peucker 算法拓展到三维空间并进行改进,使得算法在处理前不需要已知点云间的邻接关系,可以对三维散乱点云数据进行直接处理。借助于 Matlab 平台编程实现点云数据精简,并利用程序构建精简后的点云数据的网格模型。通过与原始点云的网格模型进行对比分析,实验表明此改进算法的精简效果比较理想。

关键词:点云;数据精简;点云分层;Douglas-Peucker;Matlab 软件

中图分类号:P232 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2016.06.025

Improved reduction algorithm for laser point cloud data

FAN Yan-guo, YANG Hong-xu, REN Qi-fei
(China University of Petroleum(East of China), Qingdao 266555, China)

Abstract: With the increase of point cloud data gained by three dimensional laser scanner, the reduction of laser point cloud data has been a research hotspot in the field of Geomatics Engineering in recent years. Based on layer technology research of point cloud data, an improved algorithm by expanding two-dimensional plane curve algorithm - Douglas-Peucker algorithm into three-dimensional space is proposed, which do not need to get the adjacency relation of known point cloud data before dealing with the data, thus it can deal with three-dimensional scattered point cloud data directly. A grid model by means of the Matlab platform was built to realize the reduction of the point cloud data. Compared with the grid model of the original ones, the effect of the new algorithm is better.

Key words: point cloud; data reduction; point cloud layer; Douglas-Peucker; Matlab

1 引言

随着三维激光扫描技术的不断发展,仪器设备的空间数据获取能力越来越强,得到的目标物体表面的点云数据量也越来越大。海量的点云数据包含了目标表面更多的空间与属性信息,同时也含有大量的冗余点。这些冗余点给后续的处理操作带来很大的不便,也消耗大量的计算机资源与时间,而且过于密集的数据点也会影响目标表面重构的光滑性。因此,三维激光点云数据精简问题是测绘领域中的

一个重要研究内容。

近年来,国内外的许多专家学者对三维激光点云数据精简问题进行研究并取得了一定的研究成果。目前较为流行的精简方法有以下几种:包围盒法^[1]、均匀网格法^[2]、最小距离法、角度偏差法^[3]、三角网格法^[4]、非均匀网格法^[5]以及曲率采样法^[6]等。基于对以上方法的研究,国内学者又提出了一些改进的算法,如文献[7]将点云数据的局部和全局的特征相融合,不但可以保留点云局部细节特征,

作者简介:樊彦国,教授,博士,硕士生导师,主要从事摄影测量及遥感,三维激光扫描等方面的研究工作。E-mail: yanghongxu4652@163.com

收稿日期:2015-09-26; **修订日期:**2015-11-05

又兼顾了点云的全局形状特征;文献[8]将二维平面上传统的曲线压缩算法 Douglas-Peucker (DP) 算法加以改进,得到了较为理想的三维点云数据精简效果;文献[9]对角度-弦高联合精简方法进行了改进,改善了该算法在曲率小的地方保留的点过少的缺点。但是以上这些精简方法在将三维点云降为二维点云时大都忽视点云数据分层结果对数据精简效果的影响。因此本文提出了一种基于点云数据分层研究的改进的三维散乱点云 DP 精简算法。

2 算法原理

因为三维激光扫描仪获取的点云数据含有一定的噪声点,对数据的后续处理会产生一定的影响,所以在进行点云精简前要先对数据点进行必要的去噪处理。本文所提出的改进算法只需要已知点云数据的空间位置信息 (X, Y, Z) , 不需要法线及其他附属信息。本文改进算法包括三个步骤:点云数据分层、各层中点云排序以及 DP 算法点云精简。

2.1 点云数据分层

对三维散乱点云数据进行精简,本文改进算法首先将三维点云数据进行分层处理,而分层中存在两个关键的问题:一个是最优分层方向的选择,另一个是层高的确定。

对于最优分层方向的选择有以下几个标准:堆积高度最小、支撑接触面积最小、基面积最大或平均表面粗糙度最小^[10]。通常采用扫描时的 Z 轴正方向或者是通过人机交互的方式让用户自己选择分层的方向。但是,这两种方式都有一定的主观性和偶然性,而沿哪个方向对点云数据进行分层处理,将关系到点云数据精简的效率和精度,所以选择合理的分层位向就显得十分重要。本文改进算法为了克服上述不足,采用分别从 X, Y, Z 三个方向将点云数据分别进行分层处理,然后将三个方向上压缩得到的点云数据通过取交集的方式来达到近似最佳的压缩效果。

设点云 $P_i(X_i, Y_i, Z_i)$ ($i = 0, 1, n-1, n$ 为点的总数), 坐标范围为 $(X_{\min}, Y_{\min}, Z_{\min}) \sim (X_{\max}, Y_{\max}, Z_{\max})$ 。分别按坐标系 X, Y, Z 三个方向和一定的高度 dz 对数据分层(以 Z 轴为例), 则任意一点 $P_i(X_i, Y_i, Z_i)$ 在 Z 轴分层的层序号为:

$$Cz(i) = (Z_i - Z_{\min}) / dz \quad (1)$$

式中, dz 表示层的高度; $Cz(i)$ 表示 P_i 点以 Z 轴为分层方向的层序号。

对于层高 dz 的确定,依据相邻两切层得到切层面积变化率的绝对值,此值大于给定阈值(通常取点云的采样间隔)时则改变切层间厚度,得到更适

合的变化率 σ , 以使 σ 小于给定的阈值。则表面误差变化率的公式可表示为:

$$\sigma = \left| \frac{S_a - S_b}{S_b} \right| \quad (2)$$

式中, S_a 与 S_b 为相邻的上下两层的面积。

先设置初始层高,然后根据式(2)计算层间的表面误差变化率 σ , 并与 ε 作比较,若 $\sigma \leq \varepsilon$ 则将对应的 dz 做为该层的高度。否则将该层中间插入一层,重复上述过程计算切层面积变化率,直到 $\sigma \leq \varepsilon$ 或者层中点个数小于一定数值(根据点云数据的质量与精简要求确定)为止。

2.2 三维散乱数据排序

由于激光扫描仪获得的点云数据是散乱无序的,而 DP 算法要求输入的点云数据必须是有序的,所以在对点云数据使用 DP 算法进行精简之前要对各层中的点云进行排序处理。本文改进算法中对于点云排序的主要思想是:先在该层点云中任意选取一个起始点 P_1 , 然后找到与其最近的数据点作为排序的第二个点 P_2 , 之后再逐次找出与当前点 P_n 距离最小的点 P_{n+1} , 但是点 P_{n+1} 是否被选取还要确定此点是否满足式(3)的条件。如果条件满足则以此点作为当前点,继续寻找下一个点,直到本层内点云全部已排序为止;如果此点不满足式(3)条件,则选择距离第二小的点继续进行判断,直到选出满足条件的点为止,并以满足条件的点作为当前点继续寻找下一个点。

$$\|\overrightarrow{P_n P_{n+1}}\| < \|\overrightarrow{P_{n-1} P_{n+1}}\| \quad (3)$$

式中, $\|\cdot\|$ 为向量的模。

使用上面的式(3)可以控制每次选取的下一个数据点都是在当前点云数据的前进方向上。原理如图1所示。

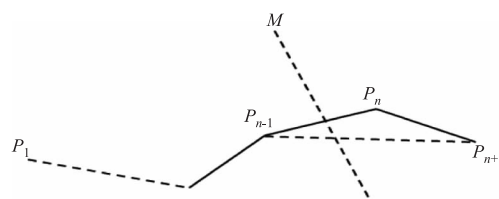


图1 排序原理图

Fig. 1 The principle diagram of the point cloud sort

2.3 Douglas-Peucker 精简算法

DP 算法的基本思想是在二维空间内由坐标点顺次连接形成的折线段(或曲线)上任意选择其中两点分别作为始点和终点,然后计算折线段上的其他点到始点与终点连线的垂直距离,再找到其中的最大距离 $d_{\max}$ 并与自定义阈值 Th 进行比较。若 $d_{\max}$

$< Th$, 则折线段上除始点和终点以外其他点全部舍去; 若 $d_{\max} > Th$, 则记录 $d_{\max}$ 对应的坐标点, 并以该点为界把折线段分为两部分, 再分别对这两部分重复使用上述方法, 直到始点和终点之间所用点云都被记录或者舍去为止^[8]。自定义阈值 Th 的大小由精简比确定, Th 越大则精简比越大, Th 越小则精简比越小。

如图2所示, 因为点云数据分层较薄, 空间曲线在 Z 轴方向上变化不大, 所以图2只取俯视方向, 给定距离阈值 Th , 先确定曲线的两个端点 P_1 和 P_n , 然后使用 DP 算法进行精简, 最后可得到满足阈值 Th 的精简后的全部保留点 $P_1, \dots, P_n$ 。

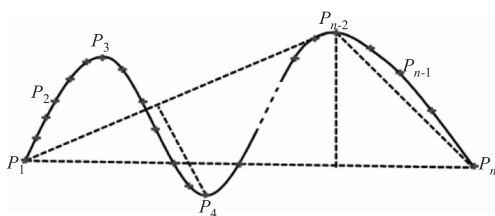


图2 DP算法示意图

Fig. 2 The schematic of DP algorithm

3 实验结果与对比分析

本文基于 Matlab2013 软件编程实现上述算法, 使用由徕卡 Nove MS50 全站式激光扫描仪实测的中国石油大学(华东)标志性雕塑——创造太阳的点云数据(共 80090 个点)对改进算法进行实验验证, 得到距离阈值取为 0.1 mm 时的精简结果。在精简结果的基础上用 Matlab 软件编程构建网格模型, 并与传统的包围盒算法、角度偏差法这两种经典的点云数据精简算法得到的结果进行对比分析, 证明改进的方法精简结果比较理想。实验具体流程如下:

1) 在点云数据分层过程中, 由于利用公式精确计算切层的面积会导致计算量非常大, 而且算法中并不需要非常精确的切层面积, 所以为了降低算法的时间复杂度, 本文采用切层点云凸包的面积来代替切层面积。

图3所示为本实验点云数据以 Z 轴正方向为分层方向, 第128层扫描线上的点云数据凸包示意图, 从图3中可以看出凸包线的面积与点云所围成的面积相差不大。图4所示为此点云数据分层结果(部分), σ 的阈值为 5%, 80090 个点共分 227 层。

2) 如图5所示为点云数据以 Z 轴正方向为分层方向, 第115层点云以上文方法排序结果, 图中“ Δ ”为排序前点云中的数据点, 排序后的点云数据以短线连接。

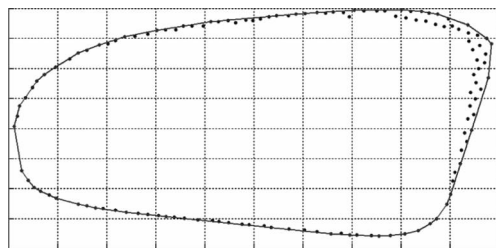


图3 点云数据凸包示意图

Fig. 3 The convex hull of point cloud data

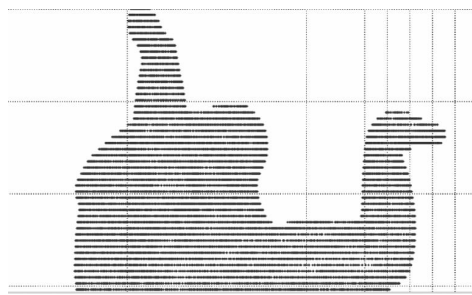


图4 点云数据分层结果(局部)

Fig. 4 Hierarchical results of point cloud data(local)

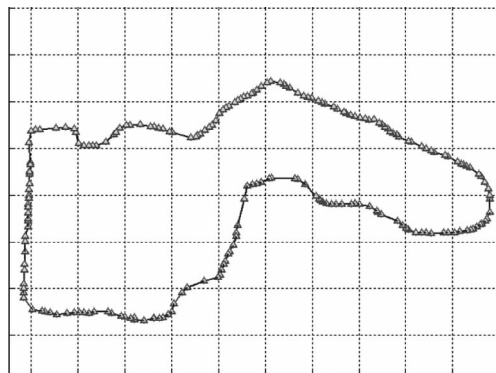
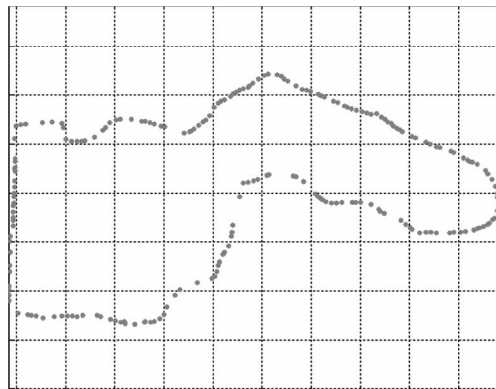


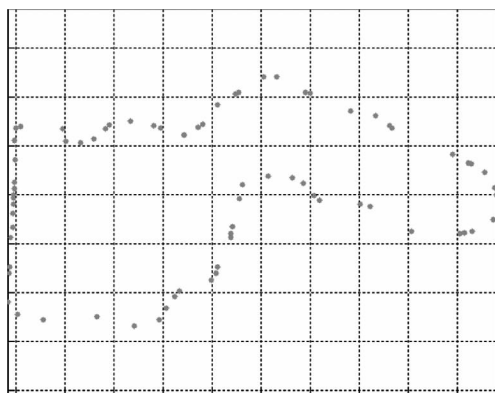
图5 点云数据排序结果图

Fig. 5 The ranking results of point cloud data

3) 如图6所示为点云数据以 Z 轴正方向为分层方向, 第115层扫描线点云以 DP 算法进行精简结果前后对比。从图6中可以看出 DP 算法在数据精简过程中不但精简效率高, 而且可以较好地保留点云数据的特征点。



(a) 精简前点云数据



(b) 精简后点云数据

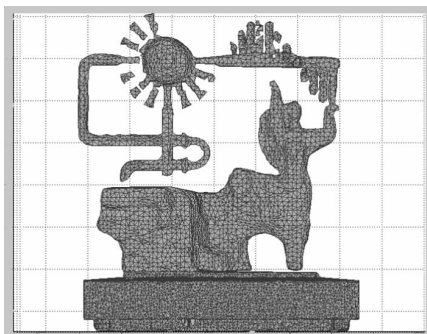
图6 DP算法精简前后对比

Fig. 6 Comparison of DP algorithm before and after compression

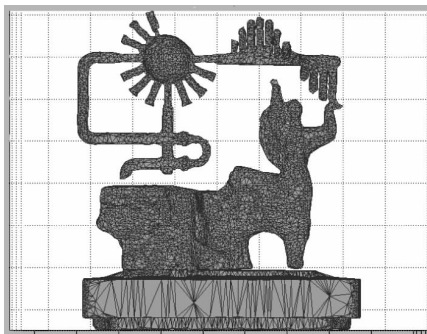
4)如图7所示为创造太阳雕塑点云数据精简结果。(a)为点云原始数据构建网格模型的效果图,(b)为包围盒算法精简的效果图,(c)为角度偏差法精简的效果图,(d)为本文提出的改进的DP算法精简的效果图。表1为三种方法精简后点云数量与精简比的对照表。



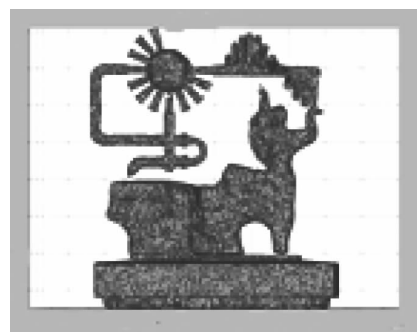
(a) 原始点云



(b) 包围盒算法



(c) 角度偏差法



(d) 改进算法

图7 创造太阳雕塑精简结果对比图

Fig. 7 The comparison of compression results

表1 创造太阳雕塑精简结果精简比对照表

Tab. 1 Comparison table of point cloud data compression

	点云数量	精简比
原始点云	80090	100%
包围盒法	26796	33.46%
角度偏差法	26546	33.14%
改进算法	26674	33.31%

从图7及表1中可以看出在精简比相似的情况下,包围盒算法处理的点云数据三角化后上部“管道”处有明显“破损”的地方;角度偏差法处理的点云数据在下方较为“平缓”的地方删除了过多的数据点,使点云三角化后模型不够平滑、均匀;本文提出的改进算法与传统的包围盒算法、角度偏差算法相比,在精简比相似的情况下能够保留了更多的特征点,使得构建的网格模型更加均匀、特征更加突出,而且点云数据精简后点的个数为26674,精简比为33.31%,精简比率比较高。说明本文改进算法对三维激光点云数据进行精简是可行的。

4 结 语

在研究常用点云数据精简算法的基础上提出了基于数据分层研究的改进的DP算法。实验表明,本文所提出的算法能够达到较好的精简效果,既能较大程度地压缩点云数据,又能较好地保留目标物体的细节信息。本文算法有以下三个优点:①原理简单,不需要除点云坐标以外其他信息,容易编程实现;②对于一些结构复杂、形状不规则、不易确定分层方向的物体的扫描数据,采用从三个坐标轴方向分别分层进行精简,然后取三个方向压缩结果的交集,以保证压缩的准确性;③采用计算相邻切层面积变化率的绝对值与阈值相比较的方法来确定分层高度,使得精简效果更加理想。

参考文献:

- [1] Weir D J, Milroy M J, Bradley C, et al. Reverse engineering physical models employing wrap-around B-spline surfaces and quadrics [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture, 1996, 210(22): 147 - 157.
- [2] R R Martin, I A Stroud, A D Marshal. Data reduction for reverse engineering [R]. RECCAD, 1996: 63 - 69.
- [3] FANG Yuanmin, XIA Yonghua, CHEN Jie, et al. Study on point cloud data simplification of goaf based on improved angular deviation method [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2012, (2): 106 - 110. (in Chinese)
方源敏, 夏永华, 陈杰, 等. 基于改进的角度偏差法的采空区点云数据精简 [J]. 地球科学与环境学报, 2012, (2): 106 - 110.
- [4] Chen Y H, Ng C T, Wang Y Z. Data reduction in integrated reverse engineering and rapid prototyping [J]. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 1999, 12(2): 97 - 103.
- [5] SUN W, Bradley C, ZHANG Y F, et al. Cloud data modeling employing a unified non redundant triangular mesh [J]. Computer Aided Design, 2001, 33(2): 183 - 193.
- [6] Du X, Zhuo Y. A point cloud data reduction method based on curvature. Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design, 2009. CAID & CD 2009. IEEE 10th International Conference on [C]. IEEE, 2009: 914 - 918.
- [7] FU Wei, WU Lushen, Chen Huawei. Study on local and global point cloud data simplification algorithm [J]. Laser & Infrared, 2015, 45(8): 1004 - 1008. (in Chinese)
付玮, 吴禄慎, 陈华伟. 基于局部和全局采样点云数据简化算法研究 [J]. 激光与红外, 2015, 45(8): 1004 - 1008.
- [8] HU Hanping, XIONG Lianhuan, LI dehua. Compressing method for 3D data of human head surface [J]. HuaZhong Univ. of Sci. & Tech, 1999, (5): 20 - 21. (in Chinese)
胡汉平, 熊联欢, 李德华. 人头三维表面数据的一种压缩方法 [J]. 华中理工大学学报, 1999, (5): 20 - 21.
- [9] LI Xin, WANG Xiyang. Algorithm of reduction for 3D laser scanning data based on scanning line [J]. Journal of Machine Design, 2010, (4): 17 - 20. (in Chinese)
李新, 王细洋. 基于扫描线的三维激光扫描数据精简算法 [J]. 机械设计, 2010, (4): 17 - 20.
- [10] JIN Xin. Adaptive slicing to point cloud data from free-form surface for RPM based on bar [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2007. (in Chinese)
金鑫. RPM 中自由曲面点云数据的自适应分层相关技术研究 [D]. 镇江: 江苏大学, 2007.