

# 基于特征选择的双边滤波点云去噪算法

曹爽<sup>1,2,3</sup> 岳建平<sup>1</sup> 马文<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup> 河海大学地球科学与工程学院, 南京 210098)

(<sup>2</sup> 南京信息工程大学遥感学院, 南京 210044)

(<sup>3</sup> 江西省数字国土重点实验室, 抚州 344000)

**摘要:** 为了去除与真实点混合在一起的噪声并更好地保留特征, 将点云噪声分为 3 类, 将其中与真实点混合在一起的数据点称为第 3 类噪声点, 利用改进的双边滤波算法去除该类噪声点. 首先, 利用邻域点判断该点属于特征点还是非特征点; 然后, 根据不同范围的点云来计算特征点和非特征点的双边滤波因子, 实现基于特征选择的双边滤波点云去噪. 利用该算法对手持三维激光扫描仪获得的盒子及工业构件的激光点云数据进行平滑去噪处理. 结果表明, 所提算法在去除噪声的同时可以有效保持被扫描物体的特征, 避免出现因双边滤波不能兼顾邻域点特征而产生的过度光滑现象.

**关键词:** 点云去噪; 双边滤波; 特征选择; 曲率

**中图分类号:** P208 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-0505(2013)S2-0351-04

## Bilateral filtering denoise algorithm for point cloud based on feature selection

Cao Shuang<sup>1,2,3</sup> Yue Jianping<sup>1</sup> Ma Wen<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup> School of Earth Sciences and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

(<sup>2</sup> School of Remote Sensing, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

(<sup>3</sup> Jiangxi Province Key Laboratory for Digital Land, Fuzhou 344000, China)

**Abstract:** In order to remove the noise mixed with the real points and retain characteristics, the noise points are divided into three categories, among which the ones mixed with the real points are called as the third category noise points. By using the improved bilateral filtering algorithm, this kind of points can be removed. First, the points are judged to be feature points or non-feature points according to adjacent points. Then, the bilateral filtering factors of the feature points and non-feature points are calculated according to the point cloud in different scale. Finally, bilateral filtering denoise for point cloud based on feature selection is realized. This algorithm is used to remove the noise in the point cloud data of a box and an industrial component obtained by a handheld three-dimensional laser scanner. The results show that this algorithm can effectively remove noise and reserve the characteristics of scanned objects. It can also prevent the excessive smoothing phenomenon caused by the reason that bilateral filtering does not take the characteristics of adjacent points into account.

**Key words:** point cloud denoise; bilateral filtering; feature selection; curvature

一些工业构件构型复杂, 在扫描过程中容易受到被测对象构型、表面的粗糙度、缺陷、纹理等因素的影响, 因此需要在获取点云数据后的数据预处理

阶段进行点云去噪处理. 其目的是在去除噪声数据、获得曲面更高阶平滑性的同时, 尽可能保持目标物体的几何特征, 防止其产生收缩变形或过光滑.

**收稿日期:** 2013-08-20. **作者简介:** 曹爽(1977—), 女, 博士生, 讲师; 岳建平(联系人), 男, 博士, 教授, 博士生导师, jpyue@163.com.

**基金项目:** 江西省数字国土重点实验室开放基金资助项目(DLLJ201315).

**引文格式:** 曹爽, 岳建平, 马文. 基于特征选择的双边滤波点云去噪算法[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2013, 43(S2): 351-354. [doi:10.3969/j.issn.1001-0505.2013.S2.029]

三维点云数据分为有序点云、部分有序点云以及无序无组织点云数据. 对于不同类型的点云数据有着相对应合适的去噪方法. 对于有序或者部分有序的点云数据, 可以采用的去噪算法包括最小二乘滤波、卡尔曼滤波和平滑滤波等. 针对于无序无结构的散乱点云数据, 许多相关学者也进行了深入研究, 提出了拉普拉斯算子、平均曲率流、移动最小二次曲面等方法<sup>[1-5]</sup>.

实际上, 噪声往往无规律地分布在目标物体周围, 难以用统一数学模型区分. 散乱点云的噪声分 3 类: ① 偏离点云且悬浮在点云上方的稀疏点, 这类点与点云主体关联性小, 基本可认为是错误点; ② 距离大片点云中心较远、小而密集的点云, 即第 2 类噪声点; ③ 与真实点混合在一起的点, 即第 3 类噪声点. 因此, 3 类噪声应该区别对待, 不能用一种方法完全去除.

本文提出了一种基于特征选择的双边滤波去噪算法. 将噪声点分为 3 类, 将点云进行格网化, 通过判断散格里的点云个数来去除第 1 类与第 2 类噪声点, 利用本文算法去除第 3 类噪声点. 针对特征点云和非特征点云, 采用不同范围的点云计算双边滤波因子, 再利用双边滤波点云去噪, 可以防止出现因双边滤波不能兼顾邻域点特征而产生的过度光顺现象. 实验结果表明, 利用本文算法去除噪声的同时可以有效保持被扫描物体的特征.

## 1 散乱点云格网化及 $k$ 邻域搜索

通过三维散乱点云的空间划分确定散乱点云的空间位置, 将点云数据按  $x, y, z$  划分成  $M, N, T$  个部分. 散乱点云空间栅格化, 不但可以求出每个点所在的栅格位置, 也可确定每个栅格中点云的个数.

首先, 读入点云数据, 将三维坐标点存入一个一维数组中, 同时得到其  $x, y, z$  坐标的最小值和最大值, 形成一个与坐标轴平行的长方体包围盒(包围所有的数据点), 并根据数据点的密度将长方体包围盒划分成小立方体栅格.

设空间长方体包围盒的最小坐标为  $x_{\min}, y_{\min}, z_{\min}$ , 长方体包围盒的最大坐标为  $x_{\max}, y_{\max}, z_{\max}$ , 立方体栅格的长度为  $L$ , 则小立方体栅格在  $x, y, z$  三个方向的个数分别为

$$M = \text{int} \left\lceil \frac{1}{L} [(x_{\max} + e) - (x_{\min} - e)] \right\rceil + 1$$

$$N = \text{int} \left\lceil \frac{1}{L} [(y_{\max} + e) - (y_{\min} - e)] \right\rceil + 1$$

$$T = \text{int} \left\lceil \frac{1}{L} [(z_{\max} + e) - (z_{\min} - e)] \right\rceil + 1$$

设某确定点的三维坐标值为  $P_x, P_y, P_z$ , 则其所在小立方体栅格的哈希函数为

$$I = \text{int} \left\lceil \frac{1}{L} (P_x - x_{\min}) \right\rceil$$

$$J = \text{int} \left\lceil \frac{1}{L} (P_y - y_{\min}) \right\rceil$$

$$K = \text{int} \left\lceil \frac{1}{L} (P_z - z_{\min}) \right\rceil$$

式中,  $I, J, K$  分别为该点所在立方体的  $x, y, z$  轴 3 个方向立方体栅格的索引号. 由一个一维存贮指针的数组来记录每一个栅格中所有数据点的序号, 数组中元素个数则为  $M \times N \times T$ .

当前栅格搜索点  $P$  的最近  $k$  邻点按距离增序排列. 如果当前栅格内候选点的  $k$  邻点已找到, 并且距离都小于点  $P$  到栅格 6 个面的最短距离, 则候选点的  $k$  个最近邻域搜索结束; 否则栅格向外扩张一圈, 继续按此规则搜索,  $k$  取 10 ~ 20 为宜.

## 2 第 1, 2 类噪声点的去除

第 1 类噪声点是偏离点云且悬浮在点云上方的稀疏点, 第 2 类噪声点是距离大片点云中心较远、小而密集的点云. 散乱点云网格化后, 首先判断每个小立方体栅格中的数据点点数, 如果数目小于 2, 则删除该栅格中所有数据点. 这样做的目的是找到并且可以删除掉三维空间中悬浮在点云上空的、散乱稀疏的数据点, 即第 1 类噪声点.

栅格中的点云数大于阈值, 则以此栅格为中心利用区域增长思想, 在划分空间栅格的基础上, 顺序查看三维空间中小立方体栅格有无数据点, 如果某个栅格中有数据点, 则以该栅格为中心, 查看其周围栅格中是否有数据点. 继续依次把周围有点栅格作为中心, 查看其周围栅格, 直到查看完所有栅格. 将与该栅格属同一片点云的相邻栅格寻找出来, 通过判断每一片点云中有点栅格的栅格数目, 可知哪一片点云含有的有点栅格的数量最多. 当点云所属片的点云个数不是最多时, 即为第 2 类噪声, 需将其删除掉.

## 3 第 3 类噪声点的去除

3 类噪声中最难处理的是和真实点混合在一起的噪声, 许多学者对这类点云去噪方法进行了深入研究. Fleishman 等<sup>[6-7]</sup> 将图像处理中双边滤波器的思想推广到三维网格模型, 设计了基于双边滤波的各向异性光顺去噪算法, 这种方法简单快速, 但

它不能处理大尺度噪声,且容易产生特征被过度光滑的问题<sup>[8-10]</sup>.针对第3类点云噪声,本文提出了一种基于特征选择的双边滤波点云去噪算法.双边滤波方法定义为 $p' = p - \alpha n$ ,其中 $p$ 为原点云点, $p'$ 为去噪后的点, $n$ 为法矢的方向, $\alpha$ 为双边滤波因子,且

$$\alpha = \frac{\sum_{j=1}^N W_c(\|p - p_j\|) W_s(\|\langle p - p_j, n \rangle\|) \langle p - p_j, n \rangle}{\sum_{j=1}^N W_c(\|p - p_j\|) W_s(\|\langle p - p_j, n \rangle\|)} \quad (1)$$

定义光顺滤波权函数  $W_c(x) = e^{-x^2/(2\sigma_c^2)}$ ,特征保持权重函数  $W_s(x) = e^{-x^2/(2\sigma_s^2)}$ .其中, $\sigma_c, \sigma_s$ 为切平面上的高斯滤波系数,分别反映了计算任一点的双边滤波函数值时切向和法向的影响范围.参数 $\sigma_c$ 为 $p$ 到每个邻域点的距离对该点的影响因子, $\sigma_c$ 越大表明选取的邻域点越多;参数 $\sigma_s$ 为数据点 $p$ 到邻近点的距离向量在该点法向上的投影对数据点 $p$ 的影响因子, $\sigma_s$ 越大则表明平滑时点 $p$ 在法向移动的距离越大.通常情况下, $\sigma_c$ 取为点邻域半径, $\sigma_s$ 取为邻域点的标准偏差.当 $\sigma_c$ 确定后,不同 $\sigma_s$ 的取值对于平滑效果的影响显著.

下面对式(1)进行改进.首先,计算栅格的点云的平均欧氏距离 $\bar{d}$ 和某点云 $k$ 邻域内平均欧氏距离 $\bar{d}_k$ ,得到 $T_i = \bar{d}_k/\bar{d}(i = 1, 2, \dots, M)$ ,其中 $M$ 为栅格中点云个数.设定阈值 $T_0$ ,当 $T > T_0$ 时认为该点是特征点云,否则为非特征点云.当 $T > T_0$ 时,计算双边滤波因子 $\alpha$ 仅采用 $k$ 邻域范围内的点云;当 $T < T_0$ 时则采用整个栅格内的点云.针对特征点云和非特征点云,采用不同范围的点云计算双边滤波因子.利用基于特征选择的双边滤波方法进行点云去噪时,由于考虑到点邻域的特征,可以防止出现双边滤波不能兼顾邻域点特征而产生的过度光滑现象.

点云去噪流程如图1所示.

#### 4 算法实现与实例分析

对一盒子的三维激光点云数据进行去噪处理,原始数据如图2(a)所示.在盒子边缘存在着第3类噪声,利用本文算法进行处理,结果见图2(b).由图可见,盒子边缘处的噪声已经去除,特征也得到保持.对手持三维激光扫描仪获得工业构件激光点云数据进行平滑去噪,三维扫描仪的分辨率为 $0.4\text{ mm} \times 0.5\text{ mm} \times 0.4\text{ mm}$ ,获得约 $15 \times 10^5$ 个点

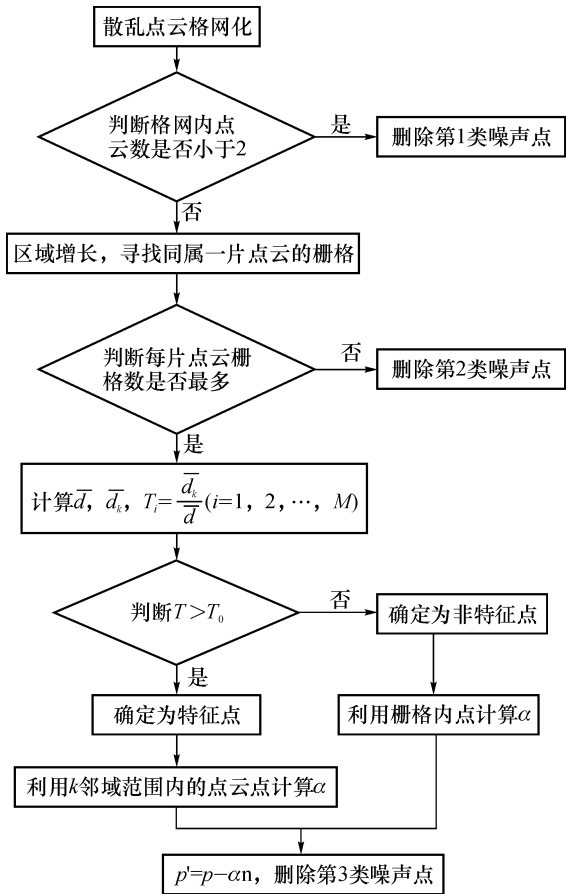


图1 点云去噪算法流程图

的高密度点云数据.图3(a)为含有第2类噪声(右上角圆圈所示)与第3类噪声(箭头所示)的工业构件三维激光点云图.利用本文算法将第2,3类噪声点去除后的结果见图3(b).由图可知,利用本文算法可以实现点云第2,3类噪声点的去除,同时很好保持了构件的特征.

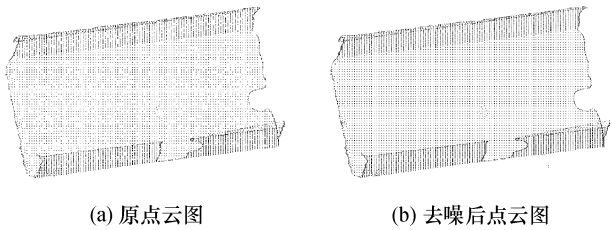


图2 含噪声盒子点云数据

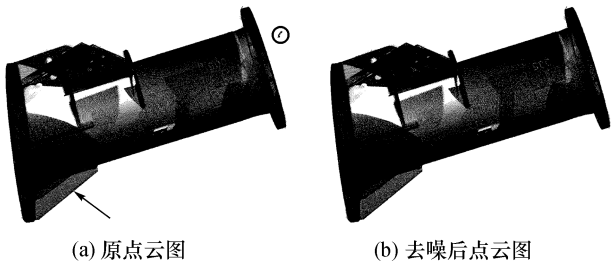


图3 有噪声点的工业构件点云图

## 5 结语

本文提出了一种基于特征选择的双边滤波去噪算法. 该算法主要针对第3类噪声点, 通过邻域点判断该点属于特征点还是非特征点, 采用不同范围的点云计算特征点和非特征点的双边滤波因子, 再进行双边滤波去噪, 完成第3类噪声的去除. 利用该算法进行点云去噪, 可以防止出现因双边滤波不能兼顾邻域点特征而产生的过度光滑现象. 实验结果表明, 利用该算法去除噪声的同时有效地保持了被扫描物体的特征.

## 参考文献 (References)

- [1] 赵灿, 董刚, 程俊廷. 利用噪声特点与曲面拟合的点云去噪及光滑算法研究[J]. 现代制造工程, 2008(6): 90-93.  
Zhao Can, Dong Gang, Cheng Juntong. Research on denoising and smoothing of points cloud based on features of noise and surface fitting[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2008(6): 90-93. (in Chinese)
- [2] 张丽艳, 周儒荣, 蔡炜斌. 海量测量数据简化技术研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2001, 13(11): 1019-1023.  
Zhang Liyan, Zhou Rurong, Cai Weibin. Research on cloud data simplification [J]. Journal of Computer Aided Design and Graphics, 2001, 13(11): 1019-1023. (in Chinese)
- [3] Lange C, Polthier K. Anisotropic smoothing of point sets[J]. Geometric Modelling and Differential Geometry, 2005, 22(7): 680-692.
- [4] Sun X, Rosin L, Martin R, et al. Fast and effective feature-preserving mesh denoising[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2007, 13(5): 925-938.
- [5] 贺美芳, 周来水, 神会存. 散乱点云数据的曲率估算及应用[J]. 南京航空航天大学学报, 2005, 37(4): 515-519.  
He Meifang, Zhou Laishui, Shen Huicun. Curvature estimation of scattered-point cloud data and its application [J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2005, 37(4): 515-519. (in Chinese)
- [6] Fleishman S, Drori I, Cohen-Or D. Bilateral mesh denoising[J]. ACM Transactions on Graphics, 2003, 22(3): 950-953.
- [7] Jones T R, Durand F, Desbrun M. Non-iterative feature-preserving mesh smoothing [J]. ACM Transactions on Graphics, 2003, 22(3): 943-949.
- [8] Piegł L A, Tiller W. Algorithm for finding all  $k$ -nearest neighbors[J]. Computer-Aided Design, 2002, 34(2): 167-172.
- [9] 聂建辉, 胡英, 马孜. 散乱点云离群点的分类识别算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2011, 23(9): 1526-1532.  
Nie Jianhui, Hu Ying, Ma Zi. Outlier detection of scattered point cloud by classification[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2011, 23(9): 1526-1532. (in Chinese)
- [10] Xiao Chunxia, Li Hui, Miao Yongwei. A non-local signal processing approach for filtering point set surface[J]. Journal of Software, 2006, 22(12): 110-119.