

文章编号: 1001-3806(2009)02-0213-04

中值滤波在激光雷达点云数据预处理中的应用

未永飞¹, 杜正春^{1,2*}, 姚振强^{1,2}

(1. 上海交通大学 机械工程与动力学院, 上海 200240; 2. 上海交通大学 机械系统与振动国家重点实验室, 上海 200240)

摘要: 为了研究3维激光雷达测量系统采集到的点云数据如何进行去噪处理, 根据灰度图像中对灰度值进行滤波去噪的概念, 采用改进的2维中值滤波方法对点云数据中的噪声点加以处理。基于激光雷达点云数据数据量大且存在噪声点特点, 重点分析了改进2维中值滤波算法和点云数据信噪分离方法, 并通过实验验证, 得到了速度对比数据和滤波效果图。结果表明, 利用改进后的2维中值滤波方法, 速度明显得到改进, 对激光雷达点云数据的滤波效果良好。

关键词: 图像处理; 中值滤波; 去噪; 点云数据; 激光雷达

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

Application of median filter in point cloud data pre-processing lidar

WEI Yong-fei¹, DU Zheng-chun^{1,2}, YAO Zhen-qiang^{1,2}

(1. School of Mechanical Engineering, Shanghai JiaoTong University, Shanghai 200240, China; 2. State Key Laboratory of Mechanical System and Vibration, Shanghai JiaoTong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Based on the method of filter used to eliminate noise from gray image according to its gray value, median filter was proposed to remove noise from the point cloud data obtained by a 3-D lidar measuring system. A lidar can be used to collect point cloud data from the surface of an object. The quantity of the point cloud data is huge with noise, which is always harmful to surface reconstruction if it is not removed. Based on the character of the point cloud data, an improved algorithm for 2-D median filter and method for segregating noise from point cloud were mainly emphasized. The speed and effect of the process are improved significantly, which demonstrates that median filter can be used to deal with the lidar data.

Key words: image processing; median filter; de-noising; point cloud data; lidar

引言

激光具有单色性、相干性好、方向性强和光速飞行等特点, 且激光扫描过程迅速, 使得激光扫描技术在工程应用上得到很大的发展。利用激光雷达测量物体表面得到表面的3维数据, 数据采集为后续工作的开展奠定基础。激光雷达可应用在线定位系统^[1]、大气探测^[2,3]以及在线测量系统^[4]等, 特别适合于尺度范围大、工况恶劣的场合, 如大型锻件热态工况下的几何参量测量。

3维数据预处理的好坏直接影响到3维重建的可行性和精度, 主要包括“噪声”点的去除和冗余数据的精简。有关扫描线数据的噪声点去除(或称作数据平

滑)问题在近年来研究比较多, 主要包括直观检查法、曲线检查法、弦高差方法^[5]、孤立点统计排异法^[6]、代数法^[7]等。对于扫描线数据中噪声点的去除, 还可以借鉴数字图像去噪声的处理方法^[8], 将数据点视为灰度图, 即将数据点的 z 值作为图像中像素点的灰度值来对待。常用的方法有均值滤波法、中值滤波法、自适应滤波法等。均值滤波法虽简单、常用, 但相同的权重处理造成边缘模糊, 且没有很好地利用被测点间的相关性和位置信息^[9]。中值滤波具有较好的适用性, 但传统的中值滤波算法速度慢, 严重制约了其在点云数据预处理中去噪时的应用。对此, 作者提出了使用一种改进的中值滤波对激光扫描线数据进行去噪处理。

1 激光雷达点云数据特点

本文中处理的数据是由SICK公司的LMS291-S05激光雷达所得, 同时配有伺服电机、减速器和运动控制卡协调工作, 实现从上到下(逐行), 再从右到左(逐列)扫描投影, 获取在设定范围区域内的数据点, 最后得到3维的深度数据, 形象地称作点云数据。图1即为逐行扫描所得点云数据。

基金项目: 国家九七三重点基础研究发展计划资助项目(2006CB705400)

作者简介: 未永飞(1983-), 男, 硕士研究生, 主要从事反求工程方面的研究。

* 通讯联系人。E-mail: zedu@sjtu.edu.cn

收稿日期: 2008-01-14; 收到修改稿日期: 2008-03-07



Fig. 1 Measuring data from scanning line by line

点云数据一般有以下特点^[6]: (1) 数据量庞大。在数据采集中, 所测量得到的点云数据可达到几十万到几百万, 甚至更多。(2) “噪声”点的存在。由于测量采用光学原理, 受测量样件表面的反射特性、传感器的噪声等影响, 测量数据中会存在大量“噪声”点(见图 1), 这些数据的存在对曲面重构是十分有害的, 应将其剔除。(3) 局部数据过密。密集采样得到的点数据量十分庞大, 且很多点分布较为均匀、规则。因此, 应将这些点云数据进行精简。

2 点云数据的滤波

2.1 2 维中值滤波的概念

中值滤波是一种非线性滤波, 是由 TUKEY 在 1971 年提出的, 它主要用于对实值离散信号的滤波, 可以在最小绝对误差条件下, 给出信号的最佳估计。它的思想是用一个窗口 W 在采集的数据点上扫描, 把窗口内的数据值进行排序(升序或降序均可), 把排序后中间数据的值作为窗口输出值。由于中值滤波有较好的滤噪效果和保边性, 在平滑的基础上很大程度地优于均值滤波和弦高差法, 因此一直得到较为广泛的应用。利用改进的 2 维中值滤波, 还可大大提高排序

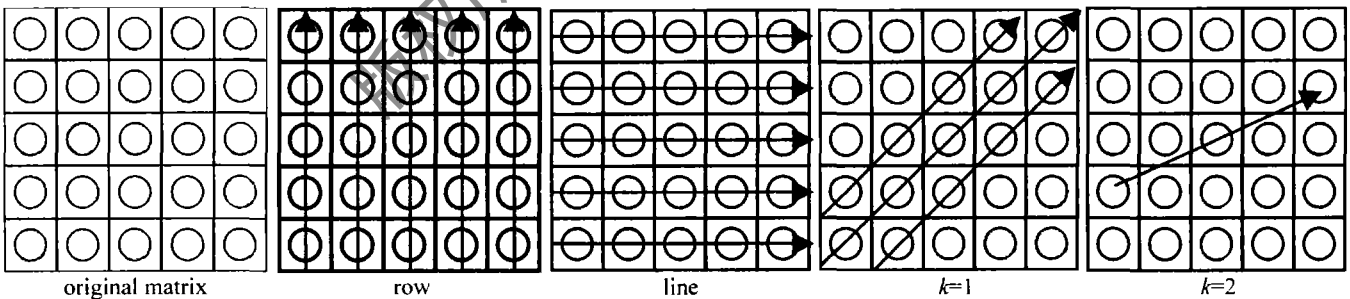


Fig. 2 Center value filter algorithm for 5x5 window

最终得到中值。改进后的算法需要运算的次数是: $5C_5^2 + 5C_4^2 + (2C_4^2 + C_3^2) + C_3^2 = 125$ 次。

2.3 信噪分离

滤波方法常用在灰度图像的去噪和平滑处理中, 利用灰度图像中相邻位置灰度值的相关性进行选择性的滤波。点云数据的相邻点之间也存在很大的相关性, 某一点 z 坐标值与其周围点 z 坐标值一般非常接近, 即使边界部分也是如此。在点云数据中, 如果一个数据点的 z 坐标值远大于或小于其邻域的值, 与其邻域

的速度并缩短算法所消耗的时间。

2.2 改进的 2 维中值滤波

为得到窗口数据的中值, 标准算法是通过使用冒泡排序法对数字排序来实现, 该算法速度比较慢, 对此, 文献[10]中给出一种改进了的 2 维中值滤波算法, 设 W 为一个 $N \times N$ 的窗口, 具体的算法步骤如下所示:

- (1) 初始化 $M = (N - 1)/2$;
- (2) 采用冒泡法对每一列进行排序;
- (3) 采用冒泡法对每一行进行排序;
- (4) for ($k = 1; k \leq M; k++$)
 - { for ($s = k * (M + 1); s \leq k * (M - 1) + N - 1; s++$)
 - { 使得 $A[r - 1, s - k * (r - 1)] < A[r, s - k * r]$ }
 - };
- (5) $A[M, M]$ 就是所要求的中值。

对于一个 $N \times N$ 的窗口数据, 排序的基本单元是两个数比较大小, 排序进行到求出中值的时候就可停止, 即进行到求出第 $(N \times N - 1)/2$ 个最大值时停止。利用传统的冒泡排序算法需要运算的次数是:

$$(N \times N - 1) + (N \times N - 2) + \dots + (N \times N - 1 - \frac{N \times N - 1}{2}) = \frac{3}{8}(N^2 \times N^2 - 1) \quad (1)$$

以大小为 5×5 的滤波窗口为例, 将 $N = 5$ 代入式中, 可知需要计算 234 次。

结合图 2 对快速中值滤波算法进行说明, 首先分别将各列内 5 个数据进行两两排序, 再将各行内 5 个数据进行两两排序, 再将斜对角线上的数据进行排序,

的相关性很小, 可认为该数据点为噪声点。利用相关性, 参考灰度图像中的滤波技术^[11-12], 将点云数据中各点的 z 坐标值当作灰度图像中的灰度值, 对点云扫描线数据进行选择性滤波:

$$z_{ij} \in \begin{cases} N, (|z_{ij} - \text{med}(z_k)| > T) \\ S, (\text{others}) \end{cases} \quad (2)$$

式中, z_{ij} 表示点云中的第 i 行第 j 列点的 z 坐标值, N 和 S 分别表示噪声点与信号点, $\text{med}(z_k)$ 为快速滤波算法所求得中值, T 为设定的一个合理阈值。判断处理的

点云数据点的高度值和中值的差,是否超出阈值:如果高度值和中值的差超过阈值,则认为该点是噪声点,将以中值代替该点值;如果不是(即为 others),则认为该点是信号点,可以将其高度值直接作为滤波后的输出值。其中,阈值参量的选取是判别数据是否为噪声的依据,阈值选取过小将有可能产生误判,造成真实点损失过多;阈值选取过大将有可能产生漏判,不能有效去除部分噪声^[9]。阈值的具体设定可根据实验结果对比确定,或根据图像分割法中的阈值选取算法进行确定^[13]。通过信噪分离就可在尽可能消除噪声的同时,保留点云数据的细节。

Table 1 Experimental result comparison

size of window	3 × 3		5 × 5		7 × 7		9 × 9	
algorithm	original	improved	original	improved	original	improved	original	improved
number of operations	30	21	234	125	900	386	2460	880
time need/ms	0.001	0.001	0.010	0.006	0.035	0.017	0.079	0.039

由表1可知,随着滤波窗口的增加,常规算法所需要的比较次数和计算时间急剧增加,而快速算法所需要的比较次数增加幅度就平缓得多,而且计算时间也比常规算法少很多。

3.2 滤波实验

为了对上述方法进行验证,分别采用了模拟实验

3 实验验证

3.1 改进后的速度比较实验

用 Microsoft Visual Studio .NET 2003 实现了 2 维中值滤波算法,在计算机中对传统的中值滤波法和个改进算法进行了比较。分别对不同的滤波窗口进行运算,表1中详细比较了这种快速算法与常规算法所需要的比较次数和计算所消耗的时间(计算机的配置为:AMD Athlon 64 Processor 2800 + 处理器;1024MB 内存;Microsoft Windows XP Professional 版本操作系统)。

和实际数据处理两种方法。首先设计了一个基于 MATLAB 实验,通过函数构造一个 2 次的曲面模型:

$$z = ax^2 + by^2 + cxy + dx + ey + f \quad (3)$$

式中,取 $a = -5, b = -3, c = 3, d = 1, e = 1, f = 1, x, y$ 范围从 $-3 \sim 3$,每隔 0.2 取一个点,形成一个 31×31 的矩阵。绘制无噪声的 2 次曲面的图像,如图 3a 所示。

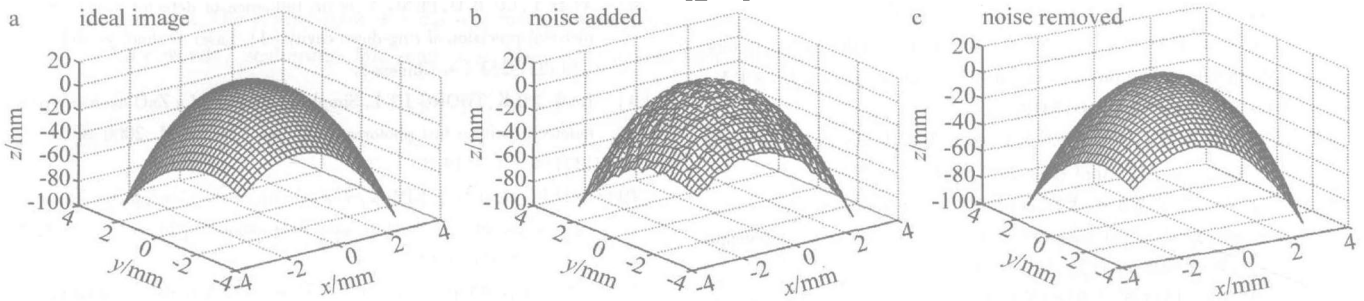


Fig. 3 2-D filtering experiment result

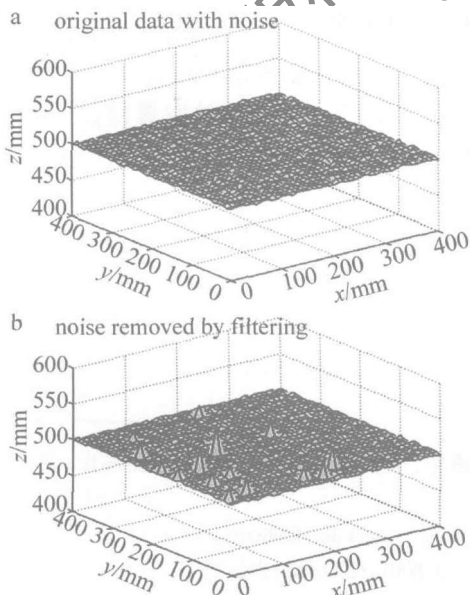


Fig. 4 Effect of the filter function

然后对图像信号加入一个均值为 0、方差为 1 的高斯随机序列,即白噪声序列,如图 3b 所示。对于受到干扰的图像采用改进 2 维中值滤波进行了处理,处理后的效果如图 3c 所示。处理后图像表面变得比较光滑,效果还是比较理想的。

用激光雷达对某物体的一垂直平面进行扫描后得到一组数据,截取其中的一部分用中值滤波法进行处理,处理前和处理后的效果如图 4 所示。通过阈值的控制,测量过程中产生的噪声数据在滤波过程中都被中值所替代,效果明显。

4 结论

对于采集到的点云数据,去除噪声点是预处理中一个至关重要的任务,噪声点去除的好坏直接影响到

曲面重建的质量。本文中重点讨论的是引进灰度图像处理中改进的2维中值滤波算法对点云扫描线数据进行去噪处理。经实验证明,该方法速度明显得到改进,滤波也达到预期的效果。

参 考 文 献

- [1] LÜ Ch F, DU Zh Ch. Chassis positioning system based on the laser radar survey technology [J]. *Laser Technology*, 2007, 31(6): 596-601 (in Chinese).
- [2] ZHONG Zh Q, ZHOU J, SUN D S, *et al.* The research of error analysis and simulation of aerosol detected by MPL [J]. *Laser Technology*, 2006, 30(3): 232-235 (in Chinese).
- [3] SUN Zh B, GUO J J, LIU Zh Sh, *et al.* Visibility measurement over the horizontal path by means of micro-pulsed lidar [J]. *Laser Technology*, 2007, 31(2): 200-202 (in Chinese).
- [4] JIA Y H. Automatic on-line load measurement system for mine truck based on the laser-radar survey technology [J]. *Mining Research and Development*, 2006, 26(2): 62-64 (in Chinese).
- [5] HE Y H, RONG H. Research on the processing of non-contacted three-dimensional scanning measurement data [J]. *Journal of Chongqing Institute of Technology*, 2006, 20(5): 30-35 (in Chinese).
- [6] LIU J Q, GAO J M, LI Y, *et al.* Research on cloud data's pretreatment technology based on reverse engineering [J]. *Modern Manufacturing Engineering*, 2005(7): 73-75 (in Chinese).
- [7] HUANG M C, TAI C C. The pre-processing of data points for curve fitting in reverse engineering [J]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2000, 16(9): 635-642.
- [8] ZHANG M Y, WANG H L, ZHENG J H, *et al.* Application of image noise removing based on improved median filtering [J]. *Ordnance Industry Automation*, 2006, 26(8): 45-47 (in Chinese).
- [9] DONG M X, ZHENG K P. A random filter algorithm for reducing noise error of point cloud data [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2004, 9(2): 245-248 (in Chinese).
- [10] KOLTE P, SMITH R, SU W. A fast median filter using Altivec [C]//*IEEE International Conference on Computer Design (ICCD)*. Austin, TX, USA: IEEE, 1999, 384-391.
- [11] JIANG B, HUANG W. Adaptive threshold median filter for multiple-impulse noise [J]. *Journal of Electronic Science Technology of China*, 2007, 5(1): 70-74.
- [12] XIONG Ch Y, HOU J H, GAO Zh R, *et al.* Fast algorithm of 3-D median filter for medical image despeckling [J]. *Proc SPIE*, 2007, 6789: 1-5.
- [13] YANG H. Research on thresholding methods for image segmentation [J]. *Journal of Liaoning University*, 2006, 33(2): 135-137 (in Chinese).
- [1] (上接第161页)
- [2] EMANETOGLU N W, ZHU J, CHEN Y, *et al.* Surface acoustic wave ultraviolet photodetectors using epitaxial ZnO multilayers grown on *r*-plane sapphire [J]. *A P L*, 2004, 85(17): 3702-3704.
- [3] LU C Y, CHANG S J, CHANG S P, *et al.* Ultraviolet photodetectors with ZnO nanowires prepared on ZnO:Ga/glass templates [J]. *A P L*, 2006, 89(15): 153101/1-153101/3.
- [4] HEO Y W, KANG B S, TIEN L C, *et al.* UV photoresponse of single ZnO nanowires [J]. *Appl Phys*, 2005, A80(3): 497-499.
- [5] LI Q H, GAO T, WANG Y G, *et al.* Adsorption and desorption of oxygen probed from ZnO nanowire films by photocurrent measurements [J]. *A P L*, 2005, 86(12): 123117/1-123117/3.
- [6] GHOSH R, MALLIK B, BASAK D, *et al.* Dependence of photoconductivity on the crystallite orientations and porosity of polycrystalline ZnO films [J]. *Appl Phys*, 2005, A81(6): 1281-1284.
- [7] YADAV H K, SREENIVAS K, GUPTA V, *et al.* Enhanced response from metal/ZnO bilayer ultraviolet photodetector [J]. *A P L*, 2007, 90(12): 172113/1-172113/3.
- [8] YI H Y, LÜ B D, PENG Y, *et al.* Influence of detector's aperture on metrical precision of ring-down cavity [J]. *Laser Technology*, 2004, 28(3): 231-233 (in Chinese).
- [9] LAW J B K, THONG J T L. Simple fabrication of a ZnO nanowire photodetector with a fast photoresponse time [J]. *A P L*, 2006, 88(13): 133114/1-133114/3.
- [10] AHN S E, JI H J, KIM K, *et al.* Origin of the slow photoresponse in an individual sol-gel synthesized ZnO nanowire [J]. *A P L*, 2007, 90(15): 153106/1-153106/3.
- [11] SU Y K, CHANG S J, CHEN C H, *et al.* GaN metal- semiconductor-metal ultraviolet sensors with various contact electrodes [J]. *IEEE Sensors Journal*, 2002, 2(4): 366-371.