

# 基于 Kinect 深度信息的人体三维点云去噪方法<sup>\*</sup>

杜棋东

(广州铁路职业技术学院教育技术中心 广州 510430)

**摘 要** 针对复杂场景中三维点云噪声数据影响人体三维重建效率、精度的问题,提出一种基于深度信息的三维点云去噪方法。首先使用 Kinect 三维扫描仪获取场景中人体的三维深度噪声数据,采用多模型数据融合方法进行预处理,然后通过改进的 C 均值算法去除离群点噪声并进行聚类,最后利用深度数据双边滤波方法对高频信息进行处理。通过实验对比验证,论文方法能够有效地除去大尺度噪声和光滑小尺度噪声,并保留数据的完整性。

**关键词** 深度信息; 人体三维点云; Kinect; 去噪

**中图分类号** TP391 **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-9722.2018.11.002

## A Method of Denoising Based on the Kinect Depth Information of Human Body 3D Point Cloud

DU Qidong

(Educational Technology Center of Guangzhou Railway Polytechnic, Guangzhou 510430)

**Abstract** The point cloud data noise affects the body 3d reconstruction efficiency and accuracy in complex scene. To solve the problems, a method of denoising based on the kinect depth information of 3d point cloud is presented. First of all, by using the kinect device scan scene, the 3d noise data of body is obtained. A method of multiple model data fusion is used for data preprocessing, then, by the improved c-means algorithm, this noise is removed and dustered. Finally, by using the depth data of bilateral filtering method, the high frequency information is presented. By comparison with the experimental verification, the method can effectively remove the large scale suitable small noise, noise and light and maintain the integrity of the data.

**Key Words** depth information, human body 3D Point Cloud, Kinect, denoising

**Class Number** TP391

### 1 引言

人体三维重建技术在虚拟现实、人工智能、逆向工程等领域有着重要应用。当前国内外基于激光、结构光的三维数据采集设备系统已较为成熟,重建数据精度高,然而这些设备昂贵,系统操作复杂,不适合一般用户使用,难以大范围应用于实际工作中。Kinect 作为一款廉价的三维数据采集传感器,可以获取场景的影像信息与深度数据<sup>[1-4]</sup>,凭借快速获取人体三维点云数据的优势,常应用于人体三维重建<sup>[5-8]</sup>。但是,由于 Kinect 精度偏低、人体表面光滑程度不同以及环境因素等原因,导致其获

取深度信息噪声数据较大,对人体三维重建效率与重建精度有极大的影响,故对其点云数据去噪处理成为人体三维重建的关键。

Alexa 等<sup>[9]</sup>利用移动最小二乘法对点云数据进行曲面拟合,将点云噪声投影到一个参数曲线模型上,实现高精度移除噪声点,然而该算法对离群点较难处理。Jones 等<sup>[10]</sup>和 Fleishman 等<sup>[11]</sup>在三维网格去噪中应用图像双边滤波方法,二者均能较好地光滑小尺度噪声,但存在过于光滑大尺度噪声的缺点。雷敏等<sup>[12]</sup>针对大量点云数据存在复杂计算的瓶颈问题,提出一种基于包围盒的三维点云密度聚类的方法,减少点云的数据量,提高聚类运行效率,

<sup>\*</sup> 收稿日期:2018年5月14日,修回日期:2018年6月28日

**基金项目:**国家自然科学基金青年科学基金项目(编号:61503143);广东省科技计划项目(编号:2015A030401005);2016年广州铁路职业技术学院校级课题(编号:GTXY1614)资助。

**作者简介:**杜棋东,男,硕士,高级工程师,研究方向:人机交互与智能算法、虚拟现实技术。

保证点云去噪处理高效进行。王丽辉等提出了一种大尺度噪声用模糊C均值聚类算法进行处理,小尺度噪声则用图像双边滤波算法光顺的算法<sup>[13]</sup>,但是对于大量点云聚类计算存在运行效率不高的缺点。因此,本文提出一种基于Kinect传感器的人体三维点云去噪方法,该方法采用帧融合进行预处理,然后通过改进的C均值方法对离群点噪声进行整体聚类分析并去除,最后利用深度数据双边滤波方法对高频信息进行处理。通过实验对比验证,本文方法能够有效地除去大尺度噪声和光顺小尺度噪声,为人体三维重建提供较高精度点云数据。

## 2 三维点云去噪

### 2.1 数据预处理

由于周围环境光以及人体自身光滑程度等因素的影响,Kinect在获取人体点云数据的同时,也获取了部分背景点云数据。根据Kinect传感器特性,颜色Color传感器获取图像分辨率为1920×1080,深度Depth传感器则支持的最大分辨率为512×424。为快速有效地去除背景点云数据,本文采用多模型数据融合方法进行处理。

利用Kinect对人体的不同区域进行扫描,获取独立的分块点云数据。场景区域扫描是一个时间序列的过程,在区域扫描地过程中,要注意摄像头扫描的位置,如果扫描人体重叠区域过多,会导致数据融合计算量越大,降低效率;如果扫描重叠区域较小,则会影响融合结果。因此,本文直接利用摄像头的角度偏转量和平移量来计算扫描的角度<sup>[14]</sup>,再结合深度双阈值的多模型数据融合方法去除人体的背景,达到去除由于周围环境光或自身因素引起的部分噪声的目的,改善点云数据。

### 2.2 离群点噪声去除

Kinect获取的预处理数据仍存在离群点噪声和高频噪声,分布并不均匀。本文通过改进的C均值方法(FCM)去除部分大尺度离群点噪声,如果点云对象 $m_j$ 影响范围内的邻近点云小于规定的临界值,则判定点云对象 $m_j$ 为离群点噪声,可去除;否则将点云对象 $m_j$ 移至聚类中心。FCM的目标函数定义:

$$J_x(\mu, c) = \sum_{j=1}^y \sum_{k=1}^c \mu_{jk}^x d_{jk}^2(m_j, n_k), 1 \leq x \leq \infty \quad (1)$$

其中: $m$ 是一个有 $y$ 个点云的 $d$ 维数据集, $n$ 则是聚类中心, $\mu_{jk}^x$ 是点云对象 $m_j$ 相对于聚类中心 $n_k$ 的隶属度。

为了更容易识别离群点数据,使得聚类更为容易,引入模糊权值因子 $\theta$ 改进c均值方法<sup>[15]</sup>,点云 $m_j$ 与聚类中心 $O_k$ 的欧式距离定义为

$$d_{jk}^2(m_j, O_k) = \left\| (1/\theta_{jk})(m_j - n_k) \right\| \quad (2)$$

其中: $\theta_{jk} = \mu_{jk}/z_j$ ,  $z_j = \sum_{j=1}^y \mu_{jk}$ 。

### 2.3 高频信息去噪

Kinect传感器获得的三维点云后,将其数据信息投影至平面上成像,再应用双边滤波对深度图像进行去噪。双边滤波算法作为图像滤波的常用方法,能够较好地应用于人体三维点云数据去噪。人体三维点云数据双边滤波是将噪声点沿点的法向量移动,不断调整其坐标位置。双边滤波的定义为

$$m' = m_i + \alpha \cdot r \quad (3)$$

其中: $m'_i$ 为滤波后的点云, $m_i$ 为原始数据点云, $\alpha$ 为双边滤波权值因子, $r$ 为点云 $m_i$ 的法向量, $m_i$ 的法向量计算<sup>[16]</sup>通过主成分分析(PCA)方法来获得。双边滤波权值因子对于邻域特征信息较为依赖,而且不能处理尺度较大噪声,为了提高特征保持性与鲁棒性,本文采用改进的双边滤波权值因子<sup>[17]</sup>,其定义为

$$\alpha = \frac{\sum_{m_j \in H(m_i)} W_c(\|m_i - m_j\|) W_s(\|\langle r_i - r_j \rangle - 1\|) \langle m_i - m_j, r_j \rangle}{\sum_{m_j \in H(m_i)} W_c(\|m_i - m_j\|) W_s(\|\langle r_i - r_j \rangle - 1\|)} \quad (4)$$

其中: $H(m_i)$ 是点云 $m_i$ 的邻域点, $W_c$ 是点云 $m_i$ 到其邻域点的光顺滤波权值因子, $W_s$ 是点云 $m_i$ 到其邻域点在 $m_i$ 法向量 $r_i$ 的特征保持权值因子。 $W_c$ 与 $W_s$ 均是标准高斯滤波。

光顺滤波权值因子的定义为

$$W_c(x) = \exp[-x^2/(2\sigma_c^2)] \quad (5)$$

特征保持权值因子的定义为

$$W_s(y) = \exp[-y^2/(2\sigma_s^2)] \quad (6)$$

其中: $\sigma_c$ 为点云 $m_i$ 到其邻域点的距离对 $m_i$ 的影响因子,作为高斯滤波参数,用于控制光顺程度, $\sigma_c$ 的数值越大,代表可选取的邻域点越多,点云数据模型的光滑度就越好; $\sigma_s$ 为点云 $m_i$ 到邻近点的距离在 $r_i$ 的投影对点云 $m_i$ 的影响因子,同样作为高斯滤波参数,用于控制特征保持性, $\sigma_s$ 越大,代表点云 $m_i$ 在 $r_i$ 上移动的距离越长,点云数据模型的特征保持性越好。本文提出的深度双边滤波方法

应用于高频信息去噪方法过程如下:

1) 搜索点云  $m_i$  的邻域, 计算出它的  $k$  个最近邻域点  $H(m_i)$ 。

2) 计算点云  $m_i$  的法向量  $r_i$ , 并调整所有法向量方向一致朝外。

3) 计算光顺滤波权值因子的参数  $x = \|m_i - m_j\|$ ,  $x$  代表点云  $m_i$  到邻域点  $m_j$  的距离。

4) 计算特征保持权值因子的参数  $y = \|r_i - r_j\|$ ,  $y$  代表点云  $m_i$  的法向量与邻域点  $m_j$  的法向量两者的内积。

5) 根据式(5)和式(6)计算  $W_c$  与  $W_s$ 。

6) 根据式(4)计算改进后的双边滤波权值因子  $\alpha$ 。

7) 计算经过滤波后的点云  $m'_i$  的几何信息:  $m' = m_i + \alpha \cdot r$ 。

8) 更新所有点云数据  $m'_i$ , 输出新的三维点云数据模型, 结束程序。

### 3 实验结果与分析

实验环境: 操作系统为 Windows 10 64 位, 处理器为 i7, 主频为 3.1GHz, 内存为 4G, 设备为 Kinect v2.0。

#### 3.1 点云预处理实验分析

通过 Kinect 扫描获取的点云存在噪声, 采用 1.1 节的三维点云预处理方法, 对人体三维点云数据进行去背景和均值化处理。本文一次采集 15 帧点云数据, 图 1 为人体 15 帧点云数据进行基于深度双阈值的多模型融合的结果。由图 1(a)、(b) 两图可知, 融合前场景中人体的一些背景部分和丢失部分在融合后得到去除和一定的恢复。根据实验计算, 中间帧第 7 帧非零有效点云数据融合前和融合后的数据分别是 154313 和 142236, 由图 1 看出, 整个人体的点云数据是增多, 但是融合后点云数据却是减少, 原因主要是融合后去除了人体背景的噪声点。



(a) 融合前的单帧点云 (b) 融合后的单帧点云

图 1 人体三维点云多模型融合

#### 3.2 离群点去噪实验分析

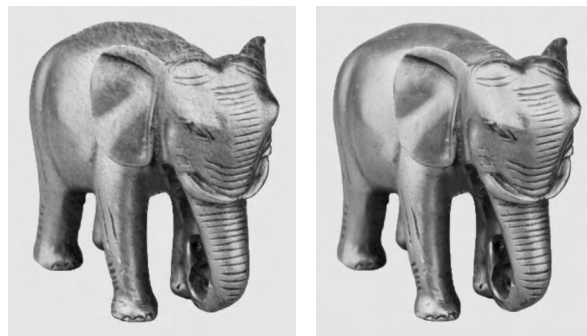
利用改进的 C 均值算法去除离群噪声点, 首先

选取点云辐射对象范围内的邻近点临界值为 15, 然后再选取合适的参数值, 选取不同的  $x$  进行实验, 加权指数因子  $x$  的经验范围为  $[1.0, 5]$ , 结果如表 1 所示。

当  $x$  最大时, 过度去噪; 当  $x$  最小时, 噪声点不能够完全去掉。通过实验图对比分析,  $x=2$  时, 能够获得较好的去噪效果, 如图 2 所示。

表 1 C 均值离群点去噪实验分析

序号	$x$	点云数据	去除离群点数
1	1.0	142336	2053
2	2.0	142336	3110
3	3.0	142336	3838
4	4.0	142336	4140
5	5.0	142336	4821



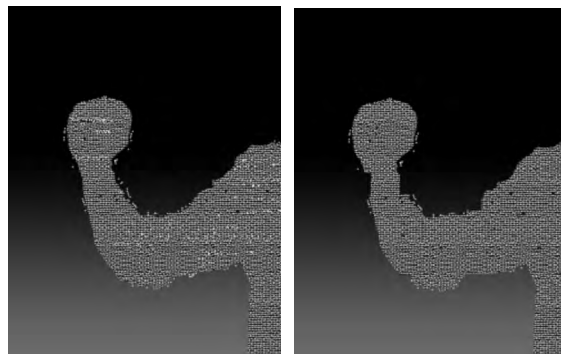
(a) 预处理去噪前 (b) 预处理去噪后

图 2 离群点噪声去除效果

从上图可以看出, 在点云基础上偏移较多的数据点, 也就是离群点噪声点, 可以通过改进的 C 均值算法进行有效去除, 仅留下一些偏移较少的数据点的噪声, 也就是高频信息噪声。

#### 3.3 高频信息去噪实验分析

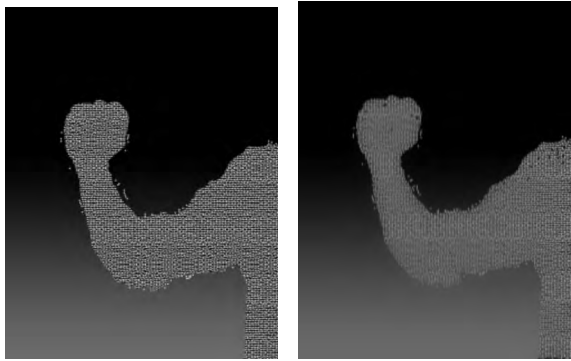
利用双边滤波的方法去除高频信息噪声点, 去噪效果主要受  $\sigma_c$ 、 $\sigma_s$  值的影响, 由于人体深度纹理并不是特别复杂,  $\sigma_s$  值对于平滑去噪效果影响不大; 当  $\sigma_c$  过大时, 会造成过于平滑,  $\sigma_c$  过小时, 高频信息去除不完全, 影响平滑效果。因此, 本文利用不同的参数进行实验, 如图 3 所示。



(a) 处理前

(b)  $\sigma_s=3$   $\sigma_c=0.1$





(c)  $\sigma_s=3 \sigma_c=0.2$  (d)  $\sigma_s=3 \sigma_c=0.3$

图3 去除高频噪声平滑效果

经过双边滤波的人体三维点云去噪效果如图4所示。



(a) 平滑前 (b) 平滑后

图4 人体三维点云去噪效果图

为了更好地验证本文算法的运行效率和有效性,与传统双边滤波算法和进行了比较。实验对象为两个身高不一致的人,A的身高1.55m,B的身高1.75m。通过实验结果可知,本文算法在数据量增大时,除了去除高频信息明显外,还可以保持较高的效率,结果如表2所示。

表2 算法性能比较

算法	人物	平均点云数据	去噪后点晕数量	平均运行时间/s
传统双边滤波算法	A	82336	82086	23.73
	B	102217	101967	29.46
模糊C均值算法	A	82336	81976	22.63
	B	102217	101857	27.15
本文算法	A	82336	81461	19.55
	B	102217	101342	23.51

## 4 结语

本文提出了一种三维点云去噪方法,集合多帧融合、C均值算法和双边滤波等算法优点,能够除去人体大尺度噪声和光滑小尺度噪声。从实验结果可知,本文算法特点:一是具有普适性,能够有效地对离群点噪声和高频噪声的点云数据同步进行处理;二是具有鲁棒性,在除去噪声的过程中,能够维持人体模型的关键特征,防止取模变形。与传统双边滤波算法和模糊C均值算法比较,本文方法能

够保证人体特征的基础上,去除较大范围的噪声,运行时间效率较高。但是,在本算法中实验参数均由人工调节,下一步将根据人体三维点云统计特性自适应地选择参数进行优化。

## 参考文献

[1] Zhang Mandun, Li Zhi, Wu Hongtao. Review of expression animation technique and application[J]. Journal of Hebei University of Technology, 2007, 36(5): 89-94.

[2] Maimone A, Fuchs H. Encumbrance-free telepresence system with real-time 3D capture and display using commodity depth cameras [C]//Proc of IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality. 2011: 137-146.

[3] 阮晓钢,田重阳,李望博. 基于Kinect视觉功能的机器人控制方法[J]. 北京工业大学学报, 2016, 42(4): 487-491.

RUAN Xiaogang, TIAN Chongyang, LI Wangbo. Control Method for Robots Based on the Visual Function of Kinect [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2016, 42(4): 487-491.

[4] 余亚玲,张华,刘桂华,等. 基于不确定度评价的 Kinect深度图预处理[J]. 计算机应用, 2016, 36(2): 541-545, 550.

YU Yaling, ZHANG Hua, LIU Gguihua, et al. Kinect depth map preprocessing based on uncertainty evaluation [J]. Journal of Computer Applications, 2016, 36(2): 541-545, 550.

[5] 禹素萍,郁晓慧,许武军,等. 基于Kinect的三维人体分块点云数据的拼接与模型重建[J]. 2016, 33(1): 219-221, 248.

YU Suping, YU Xiaohui, XU Wujun, et al. Splicing 3d body blocking point cloud data and model rebuilding based on Kinect[J]. Computer Applications and Software, 2016, 33(1): 219-221, 248.

[6] 马旋,薛原,杨若瑜. 基于Kinect的人体实时三维重建及其应用[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2014, 26(10): 1720-1726.

MA Xuan, XUE Yuan, YANG Ruoyu. Kinect-based real-time 3d reconstruction of human and its application [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2014, 26(10): 1720-1726.

[7] 周瑾,潘建江,童晶,等. 使用Kinect快速重建三维人体[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2013, 25(6): 873-879.

ZHOU Jin, PAN Jianjiang, TONG Jing, et al. Fast 3d human body reconstruction from Kinects[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2013, 25(6):

- 873-879.
- [8] Tong J, Zhou J, Liu L, et al. Scanning 3D full human bodies using Kinects[J]. IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics, 2012, 18(4):643-650.
- [9] Alexa M, Behr J, Cohen-Or D, et al. Point set surfaces [C]//Proceedings of IEEE Visualization, San Diego, 2001: 21-28.
- [10] Jones T R, Durand F, Desbrun M. Non-iterative, feature-preserving mesh smoothing [J]. Acm Transactions on Graphics, 2003, 22(3):943-949.
- [11] Fleishman S, Iddo Drori, Cohen-Or D. Bilateral mesh denoising[J]. Acm Transactions on Graphics, 2003, 22(3):950-953.
- [12] 雷敏, 仲思东, 屠礼芬. 一种三维点云聚类算法的研究[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(29):50-53.  
LEI Ming, ZHONG Sidong, TU Lifan. A method of 3d point cloud clustering studing [J]. Science Technology and Engineering, 2014, 14(29):50-53.
- [13] 王丽辉, 袁保宗. 鲁棒的模糊 C 均值和点云双边滤波去噪[J]. 北京交通大学学报, 2008, 32(2):18-21.  
WANG Lihui, YUAN Baozong. Robust fuzzy c-means and bilateral point clouds denoising[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2008, 32(2):18-21.
- [14] 吕维, 胡涛, 朱欣焰. 基于 Kinect 的深度数据融合方法[J]. 计算机应用研究, 2014, 31(1):285-288.  
GUO Wei, HU Tao, ZHU Xinyan. Kinect-based depth image fusion method [J]. Application Research of Computers, 2014, 31(1):285-288.
- [15] Wang Lihui, Yuan Baozong, Tang Xiaofang. Implicit Surface Reconstruction from Noisy 3D Scattered Data [C]//Proceedings of the Eighth International Conference on Signal Processing, 2006:1543-1546.
- [16] GRIMM C, SMART W D. Shape classification and normal estimation for non-uniformly sampled, noisy point data[J]. Computers & Graphics, 2011, 35(4):904-915.
- [17] 袁华, 庞建铨, 莫建文. 基于噪声分类的双边滤波点云去噪算法[J]. 计算机应用, 2015, 35(8):2305-2310.  
YUAN Hua, PANG Jiankeng, MO Jianwen. Denoising algorithm for bilateral filtered point cloud based on noise classification [J]. Journal of Computer Applications, 2015, 35(8):2305-2310.

(上接第 2169 页)

- method improved [J]. Power grid technology, 2005, 29(7):31-35.
- [8] 严华, 吴捷, 马志强, 等. 模糊集理论在电力系统短期负荷预测中的应用[J]. 电力系统自动化, 2000(6):67-71.  
YAN Hua, WU Jie, MA Zhiqiang, et al. The application of fuzzy set theory to short-term load forecasting of power system. Power system automation, 2000(6):67-71.
- [9] 蒋文俊. 集成的图形化建模与分析, 对因果关系的电力负荷预测[C]//高性能智能系统设计与应用第九届国际会议, 2009:1377-1382.  
Mori Hiroyuki, JIANG Wenjun. Integration of graphical modeling with fuzzyclustering for casual relationship of electric load forecasting [C]//Proceedings of the Ninth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, 2009:1377-1382.
- [10] 蒋传文, 权先障, 李承军, 等. 混沌理论在电力负荷预测中的应用[J]. 武汉交通科技大学学报, 1999, 23(6):608-611.  
JIANG Chuanwen, power barrier, LI Chengjun, et al. The application of chaos theory to power load forecasting [J]. Journal of Wuhan University of Communications Science and technology, 1999, 23(6):608-611.
- [11] 杨绍清, 章新华, 赵长安. 一种最大李雅普诺夫指数估计的稳健算法[J]. 物理学报, 2000, 49(4):636-640.  
YANG Shaoqing, ZHANG Hua, ZHAO Changan. A robust algorithm for estimating the maximum Lee Yap Andrianof exponent [J]. Journal of physics, 2000, 49(4):636-640.
- [12] 郑清富, 田聪, 朱建良. 基于引入取舍规则的 Lyapunov 指数法的电力负荷预测[J]. 信息技术, 2006, 30(9):72-74.  
ZHENG Qingfu, TIAN Cong, ZHU Jianliang. Power load forecasting based on the Lyapunov index method introducing the rules of trade-offs [J]. Information technology, 2006, 30(9):72-74.
- [13] 蒋传文. 电力系统负荷预报混沌理论应用[D]. 武汉: 华中理工大学, 2001.  
JIANG Chuanwen. Application of chaos theory in power system load forecasting [D]. Wuhan: Central China University of technology, 2001.
- [14] 赵永龙, 丁晶, 邓育仁. 混沌分析在水文预测中的应用和展望[J]. 水科学进展, 1998, 9(2):181-186.  
ZHAO Yonglong, DING Jing, DENG Yuren. the application and Prospect of chaos analysis in hydrological forecasting [J]. Progress in water science, 1998, 9(2):181-186.
- [15] 牛东晓, 曹树华. 电力负荷预测技术及其应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.  
CAO Shuhua, NIU Dongxiao. Power load forecasting technology and its application [M]. Beijing: China power press, 1998.