

Kinect 获取植物三维点云数据的去噪方法

何东健¹ 邵小宁¹ 王丹¹ 胡少军²

(1. 西北农林科技大学机械与工程学院, 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学信息工程学院, 杨凌 712100)

摘要:为解决 Kinect 获取的玉米三维点云数据噪声影响三维重建精度的问题,根据 Kinect 所获取的点云数据特点,采用多帧数据融合的方法获取更完整的三维点云数据并对点云数据进行初步平滑;通过对 Kinect 所获数据噪声进行分析,提出了一种基于密度分析和深度数据双边滤波的方法,分别对离群点噪声和内部高频噪声进行处理。以 Kinect 获取的玉米及茄子的三维点云数据进行去噪实验,所用去噪时间仅为传统双边滤波去噪时间的 2.71% 和 1.78%,并且能够达到很好的去噪效果。结果表明,所提方法能够方便、快捷地去除不同尺度的噪声,同时保留边缘数据的完整性,获得良好的植物三维点云数据。

关键词: 植物三维点云; Kinect; 去噪; 双边滤波

中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2016)01-0331-06

Denoising Method of 3-D Point Cloud Data of Plants Obtained by Kinect

He Dongjian¹ Shao Xiaoning¹ Wang Dan¹ Hu Shaojun²

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2. College of Information Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to solve the difficult acquisition of plants' 3-D point cloud data, the Kinect was adopted to collect the 3-D point cloud data of corn. Compared with the usual 3-D scanning equipment, Kinect can rapidly and efficiently acquire the data with lower cost. But the accuracy of data acquired by Kinect is low. It is valuable to denoise the data. According to the characteristics of the point cloud data acquired by Kinect, the data were pre-processed and smoothed. In this paper, a multi frame data fusion method was used to obtain more complete plant 3-D point cloud data, and it played a role in smoothing. A denoising algorithm based on density analysis and depth data bilateral filtering methods were proposed to process the outlier noise and internal high-frequency noise. In the experiment of corn and eggplant internal high-frequency noise denoising, compared with the traditional bilateral filtering, the denoising time of the algorithm in this paper was only 2.71% and 1.78% of traditional bilateral filtering and the noise was well removed by adjusting the parameters. The experimental results show that the proposed method can easily and quickly remove the noise of different scales, while preserving the integrity of edge data. Consequently, the good 3-D point cloud data of the plant could be obtained.

Key words: plants point cloud acquisition; Kinect; point cloud denoising; bilateral filtering

引言

植物表型组学正在向智能化、可视化、数字化的方向发展。植物三维建模是植物数字化研究中的重

要组成部分,对植物进行计算机建模,一方面可以通过模拟环境变化对植物模型的影响,探索植物的生长发育规律,指导农业生产;另一方面,植物模型可以用于构建虚拟农场,为农业机械自动化生产提供

条件。

目前国内外对植物三维重建常见的方法有,采用高精度激光扫描仪获取植物点云数据进行重建^[1-2]和使用单幅或多幅图像进行重建^[3-4]。这些方法共同的问题是所需设备价格昂贵、数据处理复杂或缺少针对植物整体建模的方法等。Kinect 作为一款廉价的体感设备,能够获取场景的深度信息,将其应用于植物三维重建,可以快速高效地获取植物表面三维点云数据。已有学者研究将 Kinect 用于人体^[5-7]、场景^[8-9]等具有连续面结构物体的重建,针对植物的三维重建也刚起步^[10-12]。由于植物三维结构复杂,无连续完整的面结构,且 Kinect 精度偏低,所获深度数据噪声偏大,影响重建效果,故对其点云数据进行去噪至关重要。Alexa 等^[13]通过建立局部参考平面,利用移动最小二乘算子逼近点云曲面,把噪声点投影到逼近曲面上来达到降噪的目的,但该方法存在对离群点数据敏感、过度光滑等缺点。Fleishman 等^[14]和 Jones 等^[15]将图像双边滤波的思想引入到三维网格模型,提出了基于双边滤波的各向异性光顺去噪算法,但对离群点的去噪效果不佳。王丽辉等^[16]提出一种将模糊 C 均值聚类算法与双边滤波方法结合的三维点云去噪算法,对大尺度噪声和小尺度噪声进行分步处理。

针对上述问题,本文根据 Kinect 获取数据的特点,研究植物三维点云去噪方法。拟在多帧数据融合获取更加完整数据的基础上,针对不同尺度噪声,以一种基于密度分析和深度数据双边滤波的方法,对离群点噪声与内部高频噪声进行分步去除,以高效、快速去除不同尺度的噪声,为植物三维重建提供高精度点云数据。

1 三维点云获取及预处理

考虑到 Kinect 采用光编码(Light Coding)技术获取深度数据^[17-18],获取场景的深度信息以 640 像素×480 像素分辨率、30 帧/s 成像而易于获取植物三维点云数据的优势,本文采用 Kinect 获取作物三维点云数据。

1.1 植物点云数据获取

以 10 株株高 90 cm 左右的盆栽玉米植株为研究对象,编号为 1~10 号,在白天将盆栽玉米植株放置在室内,用 Kinect for Windows 1.0 采集数据。为保证数据的精度及完整性,先经过预备试验,设备与玉米植株相距 1 000 mm 左右,每株采集 10 帧三维坐标数据,并存储为 .txt 文档,用于后续处理。

1.2 点云预处理

Kinect 获取的点云数据存在部分背景数据,且

在每帧数据中占有较大的比重,不利于后续的数据处理。故本文采用简单高效的直通滤波法^[19]去除背景环境数据。通过对初始数据进行显示预览,确定植株三维空间包围盒,分别设置点云 x 、 y 、 z 坐标取值范围,将被判定为背景的点云数据坐标置为 $(0,0,0)$ 。

由于植物叶片角度及表面对光线的反射程度不同,有些部位在深度图像中时隐时现,以致单帧数据往往不能获取完整的数据。为解决该问题,本文用多帧数据融合方法对数据进行改善,既可补全数据,也可对数据进行初步平滑,起到去除部分噪声的作用。但该方法会在两叶片前后边缘间产生部分离群点噪声,该噪声将通过后续的去噪方法有效去除。

2 三维点云数据分步去噪方法

经预处理的点云数据中仍存在预处理及系统自身产生的离群点和内部高频噪声。这些噪声的分布位置不同,1 次去噪难以完全去除噪声。而常用基于局部点云特征的方法,如采样点处法向量^[20]或曲率变化率^[21-22]等运算复杂,当点云数据量较大时,效率较低。故本文研究并提出基于密度分析和 2 次双边滤波相结合的去噪方法。即用密度分析的方法判别离群点噪声并去除,将深度数据转换成灰度图像,经过 2 次双边滤波后再还原成深度数据。

2.1 离群点噪声去除

Kinect 获取的点云数据分布并不均匀,每个点到其邻域内其他点的平均距离近似服从高斯分布,其形状由全局的邻域平均距离均值 μ 和标准差 σ 决定。预处理后的点云数据存在着部分离群点,其邻域点数量较少,邻域平均距离 x 较大。本文通过计算每个点到其邻近点的平均距离,若平均距离在标准范围(由均值 μ 和标准差 σ 确定)之外,该点被定义为离群点。

邻域平均距离的概率密度函数为

$$f(x_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x_i - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (i = 1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

式中 x_i ——任意点的邻域平均距离

μ ——邻域平均距离均值

σ ——标准差

将每个点的临近点数设为 K , 标准差倍数设为 n , 当一个点的邻域平均距离超出全局平均距离 $n\sigma$ 以上时,则该点被标记为离群点并移除。 K 值越大, n 值越小,可判定为离群点的噪声越少。 K 与 n 通过试验确定,防止去噪不完整或去噪过度。

2.2 内部高频噪声去除

双边滤波是一种非线性滤波方法,在滤波过程中同时利用空域信息和灰度相似性信息对图像进行去噪,既能有效地去除图像中的高频噪声又可以有效地保留边缘特征^[23]。故本文将图像双边滤波应用于三维点云内部高频噪声的去除。

双边滤波函数为

$$g(p) = \frac{\sum_{k \in N(p)} f(p)w(p,k)}{\sum_{k \in N(p)} w(p,k)} \quad (2)$$

式中 p ——中心像素点

$N(p)$ —— p 的邻域像素集合

k —— p 的邻域像素点

$w(p,k)$ ——双边滤波器的权值函数

$f(p)$ —— p 处理前的灰度

$g(p)$ —— p 处理后的灰度

双边滤波器的权值函数 $w(p,k)$ 为空间邻近度权值函数 $w_d(p,k)$ 与灰度相关性权值函数 $w_r(p,k)$ 的乘积,即

$$w(p,k) = w_d(p,k)w_r(p,k) \quad (3)$$

$$\text{其中 } w_d(p,k) = \exp\left(-\frac{\|p-k\|^2}{2\sigma_d^2}\right) \quad (4)$$

$$w_r(p,k) = \exp\left(-\frac{|f(p)-f(k)|^2}{2\sigma_r^2}\right) \quad (5)$$

式中 $\|p-k\|$ ——像素点 p 和 k 的欧氏距离

σ_d ——空域滤波权值函数的标准差

$|f(p)-f(k)|$ ——像素点 p 与 k 的灰度差

σ_r ——灰度相关性权值函数的标准差

Kinect 获取的三维点云数据在深度 z 方向上无重叠,故将三维数据投影到 xy 平面上,以分辨率 640 像素 \times 480 像素进行成像,其各个像素点的灰度可根据深度设定。因点云噪声主要分布在深度方向上,故本文引入新的参数灰度转化梯度 D ,将点云深度数据转化为灰度图像,应用双边滤波对深度图像进行去噪。深度数据转换为灰度图像函数为

$$g_d = \begin{cases} 0 & (f_d = 0) \\ 50 + 200\text{mod}(f_d, D) & \left(\text{mod}\left(\text{int}\frac{f_d}{D}, 2\right) = 0, f_d \neq 0\right) \\ 250 - 200\text{mod}(f_d, D) & \left(\text{mod}\left(\text{int}\frac{f_d}{D}, 2\right) \neq 0\right) \end{cases} \quad (6)$$

式中 g_d ——深度数据 f_d 对应的灰度

通过式(6)将深度数据转为 640 像素 \times 480 像素的灰度图像,背景部分灰度为 0,非背景部分灰度变化区间为 50 ~ 250。调整参数 D ,可以改变灰度

图像的灰度变化梯度。

灰度图像经掩膜大小为 $2N+1$ 的双边滤波器滤波后再次还原为深度数据,数据还原采取逆向计算。滤波后的灰度变化只有 50 ~ 250,将灰度图像还原为深度数据计算式为

$$h_d = \begin{cases} 0 & (\bar{g}_d = 0) \\ \frac{(\bar{g}_d - 50)D}{200} + n_d D & (\text{mod}(n_d, 2) = 0, \bar{g}_d \neq 0) \\ \frac{(250 - \bar{g}_d)D}{200} + n_d D & (\text{mod}(n_d, 2) \neq 0) \end{cases} \quad (7)$$

式中 \bar{g}_d —— g_d 经 1 次双边滤波后灰度

h_d ——还原后的深度数据

n_d ——使误差 $|f_d(p) - h_d(p)|$ 最小的灰度梯度序号

具体方法如下:

(1) 灰度图像 g_d 经 1 次双边滤波后为 \bar{g}_d 。

(2) 计算 f_d 中非零部分的最大值 $f_{d\max}$ 和最小值 $f_{d\min}$, 并由此得出灰度梯度序号 n_d 的最大值 $n_{d\max}$ 和最小值 $n_{d\min}$ 。

(3) 遍历所有的 n_d , 查找使得 $|f_d(p) - h_d(p)|$ 最小的 n_d 代入式(7)进行数据还原。

由于灰度 50、250 处于极值部位,滤波后,灰度在 50 与 250 附近出现断层,为解决还原时出现深度数据断层的问题,在第 1 次滤波后,将灰度 50、250 所对应深度 $\pm \frac{D}{5}$ 的数据替换为滤波前的数据,并将 h_d 再次转换为灰度数据,针对 1 次滤波灰度在 50、250 附近的像素进行第 2 次滤波。灰度转换计算式为

$$g_d = \begin{cases} 0 & (\bar{g}_d = 0) \\ 50 + 200\text{mod}\left(f_d + \frac{D}{2}, D\right) & \left(\text{mod}\left(\text{int}\frac{f_d}{D} + \frac{D}{2}, 2\right) = 0, \bar{g}_d \neq 0\right) \\ 250 - 200\text{mod}\left(f_d + \frac{D}{2}, D\right) & \left(\text{mod}\left(\text{int}\frac{f_d}{D} + \frac{D}{2}, 2\right) \neq 0\right) \end{cases} \quad (8)$$

式(8)将灰度梯度进行了 $\frac{D}{2}$ 的平移,滤波方法同

第 1 次滤波,仅在数据还原时有所不同,为了避免第 1 次滤波中极值深度数据造成断层现象,本次滤波将极值附近的深度数据替换为第 1 次滤波后的数值。

3 试验结果与分析

3.1 点云预处理结果与分析

采用1.3节中的预处理方法,对 Kinect 获取的玉米植株三维点云数据进行去背景和均值化处理。通过对初始数据进行显示预览,确定植株三维空间包围盒,设定 x 、 y 、 z 坐标分割阈值分别为 $x \in [-380, 460]$ 、 $y \in [-530, 500]$ 、 $z \in [800, 1360]$ 。图1为对1号玉米10帧点云数据进行均值融合后的结果。由图1可以看出,融合前叶片部位某些缺损在融合后得到填补。经统计,第1帧非零点云数据为42306,融合后非零点云数据量增加到47391。

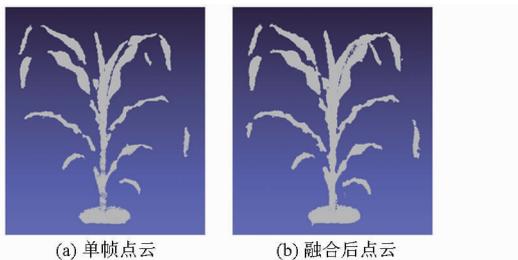


图1 玉米三维点云多帧数据融合

Fig.1 Multi-frame data fusion of corn 3-D point cloud

3.2 离群点去噪结果与分析

用基于密度分析的方法去除离群噪声点,不同的参数去噪效果不同。为选取合适的参数值,选取不同的 K 、 n 进行试验,结果如表1所示。当 K 较大、 n 较小时,过度去噪; K 较小、 n 较大时,噪声不能完全去除。通过对去噪效果进行对比观察,当 $K=20$ 、 $n=2$ 时能够获得较好的去噪效果,如图2所示。

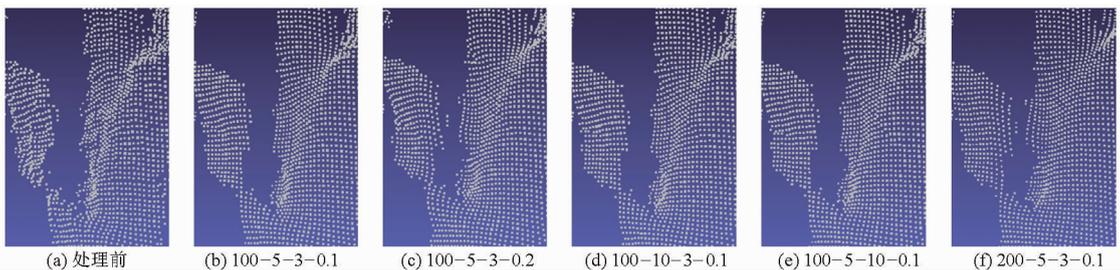


图3 不同 D 、 N 、 σ_d 、 σ_r 值对应的局部平滑效果

Fig.3 Local smoothing effect of different D 、 N 、 σ_d 、 σ_r

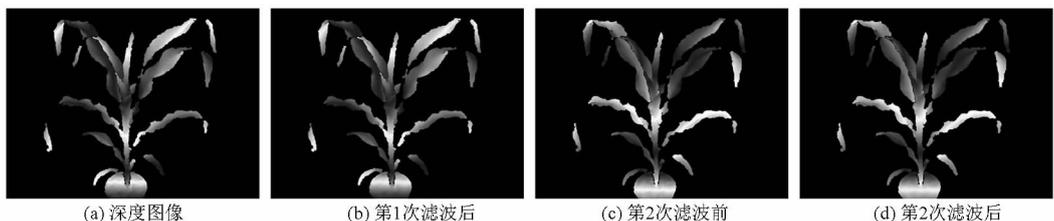


图4 深度图像二次双边滤波效果图

Fig.4 Result of depth image with two times bilateral filtering

表1 不同参数的去噪效果

Tab.1 Denoising effect of different parameter values

试验编号	K	n	点云数	去除离群点数
1	20	1	47 391	3 485
2	20	2	47 391	1 127
3	50	1	47 391	4 122
4	50	2	47 391	1 313

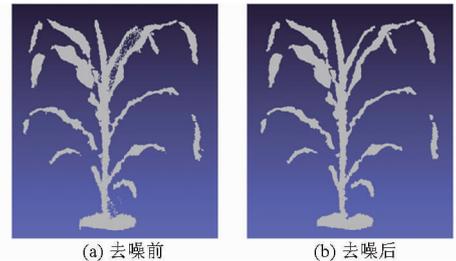


图2 离群点去除效果

Fig.2 Effect after outlier removed

3.3 内部高频噪声去噪结果与分析

用双边滤波去除内部高频噪声时, D 过大时,邻域内灰度变化不明显,易产生过平滑现象; D 过小,邻域内灰度变化剧烈,灰度连续性差,易将稀疏点云面片撕裂。玉米深度图像纹理简单, N 与 σ_d 的大小对平滑去噪效果影响不大,且当 N 增大时,去噪所用时间也会显著增加;而 σ_r 过大时,会在2叶片交叠处造成过平滑的现象; σ_r 过小时,叶片内部噪声不能完全去除,影响平滑效果。为探明合适的参数值,本文对不同 D 、 N 、 σ_d 和 σ_r 进行了对比试验,结果如图3所示。结果表明, N 与 σ_d 的调整对去噪效果影响不大;当 D 与 σ_r 较大时,在两叶片相邻处过度平滑;当参数 $D=100$ 、 $N=5$ 、 $\sigma_d=3$ 、 $\sigma_r=0.1$ 时,效果良好。深度图像2次双边滤波效果如图4所

示,从图 4 可以看出,经 2 次滤波后深度图像灰度更加平滑。点云去噪三维效果如图 5 所示,叶片点云由离散变得平滑有序。

由于本文算法不需要进行曲面拟合、估算法向等复杂计算,在效率上要优于使用双边滤波算法(BLT)直接对三维点云进行去噪,且当点云数量大量增加时,并不会对本文算法的效率有大的影响。

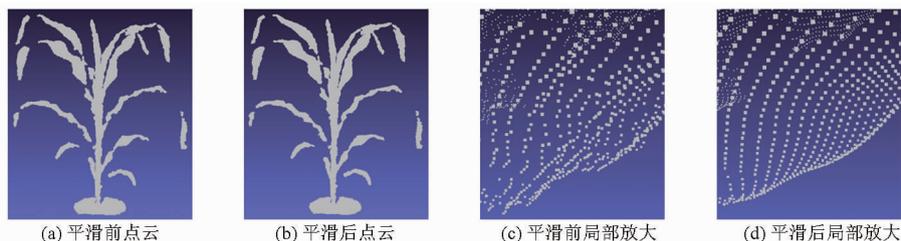


图 5 点云去噪效果图

Fig. 5 Denoising effect of point cloud

间,仅为 BLT 算法的 2.71% 和 1.78%,且对不同植物具有普适性。

表 2 两种算法试验数据对比

Tab. 2 Test data comparison of two algorithms

算法	点云模型	平均点云数量	最大误差/mm	平均误差/mm	平均运行时间/s
BLT	玉米(不含 0 点)	45 726	15.27	1.45	21.980
	茄子(不含 0 点)	71 781	17.39	1.14	33.260
本文算法	玉米(包含 0 点)	307 200	13.14	1.22	0.596
	茄子(包含 0 点)	307 200	15.86	0.98	0.592

4 结论

(1)对 Kinect 获取的玉米三维点云数据,用多帧数据融合方法既可补全残缺数据,也可起到去除部分噪声的作用。

(2)为有效去除离群点噪声和内部高频噪声,本文提出的基于密度分析和深度数据双边滤波的方法,可在保留边缘数据完整性的同时去除不同尺度的噪声,且玉米、茄子内部高频噪声的去噪时间仅为 BLT 算法的 2.71% 和 1.78%。

参 考 文 献

- 孙智慧,陆声链,郭新宇,等. 基于点云数据的植物叶片曲面重构方法[J]. 农业工程学报, 2012, 28(3):184-190. Sun Zhihui, Lu Shenglian, Guo Xinyu, et al. Surfaces reconstruction of plant leaves based on point cloud data[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(3):184-190. (in Chinese)
- 方慧,胡令潮,何任涛,等. 植物三维信息采集方法研究[J]. 农业工程学报, 2012, 28(3):142-147. Fang Hui, Hu Lingchao, He Rentao, et al. Research on plant 3-D information acquisition method[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(3):142-147. (in Chinese)
- 杨亮,郭新宇,陆声链,等. 基于多幅图像的黄瓜叶片形态三维重建[J]. 农业工程学报, 2009, 25(2):141-144. Yang Liang, Guo Xinyu, Lu Shenglian, et al. 3D morphological reconstruction of cucumber leaf based on multiple images[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(2):141-144. (in Chinese)
- Mundermann L, Macmurchy P, Pivovarov J, et al. Modeling lobed leaves[C]//Proceedings of Computer Graphics International, 2003:60-65.
- 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. (in Chinese)
- 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.
- 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. (in Chinese)
- 陈晓明,蒋乐天,应忍冬. 基于 Kinect 深度信息的实时三维重建和滤波算法研究[J]. 计算机应用研究, 2013(4):1216-1218. Chen Xiaoming, Jiang Letian, Ying Rendong. Research of 3D reconstruction and filtering algorithm based on depth information of

- Kinect[J]. *Application Research of Computers*, 2013(4):1216-1218. (in Chinese)
- 9 张翠红. 基于 Kinect 深度相机的室内三维场景重构[D]. 大连:大连理工大学, 2013.
Zhang Cuihong. 3D indoor Scene reconstruction with Kinect depth camera[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2013. (in Chinese)
- 10 Chen Y, Zhang W, Yan K, et al. Extracting corn geometric structural parameters using Kinect[C]// *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2012:6673-6676.
- 11 肖潇. 基于 Kinect 植物变态根茎曲面重建[D]. 昆明:昆明理工大学, 2013.
Xiao Xiao. Surface reconstruction of plant tuber based on Kinect[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2013. (in Chinese)
- 12 Li D, Xu L, Tan C, et al. Digitization and visualization of greenhouse tomato plants in indoor environments[J]. *Sensors*, 2015, 15(2):4019-4051.
- 13 Alexa M, Behr J, Cohen-Or D, et al. Point set surfaces[C]// *Proceedings of IEEE Visualization*, 2001:21-28.
- 14 Fleishman S, Iddo Drori, Cohen-Or D. Bilateral mesh denoising[J]. *Acm Transactions on Graphics*, 2003, 22(3):950-953.
- 15 Jones T R, Durand F, Desbrun M. Non-iterative, feature-preserving mesh smoothing[J]. *Acm Transactions on Graphics*, 2003, 22(3):943-949.
- 16 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. (in Chinese)
- 17 Garcia J, Zalevsky Z. Range mapping using speckle decorrelation: US,7433024B2[P]. 2008-10-07.
- 18 江晓庆,肖德琴,张波,等. 基于 Kinect 的农作物长势深度图像实时获取算法[J]. *广东农业科学*, 2012, 39(23):195-199.
Jiang Xiaqing, Xiao Deqin, Zhang Bo, et al. Real-time obtaining algorithm for the range image of crop growth based on Kinect [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2012, 39(23):195-199. (in Chinese)
- 19 韦羽棉,尚赵伟. 基于 Kinect 的旋转刚体三维重建方法[J]. *计算机与现代化*, 2014(5):89-93.
Wei Yumian, Shang Zhaowei. 3D reconstruction method of rotational rigid object based on Kinect [J]. *Computer and Modernization*, 2014(5):89-93. (in Chinese)
- 20 苏志勋,栗志扬,王小超. 基于法向修正及中值滤波的点云平滑[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2010,22(11):1892-1898.
Su Zhixun, Li Zhiyang, Wang Xiaochao. Denoising of point-sampled model based on normal mollification and median filtering [J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2010,22(11):1892-1898. (in Chinese)
- 21 葛宝臻,项晨,田庆国,等. 基于曲率特征混合分类的高密度点云去噪方法[J]. *纳米技术与精密工程*, 2012,10(1):64-67.
Ge Baozhen, Xiang Chen, Tian Qingguo, et al. Denoising approach of high density point clouds based on mixed classification of curvature features[J]. *Nanotechnology and Precision Engineering*, 2012,10(1):64-67. (in Chinese)
- 22 万剑华,黄荣刚,周行,等. 基于曲率统计的 LiDAR 点云二次滤波方法[J]. *中国石油大学学报:自然科学版*, 2013, 37(1):56-60.
Wan Jianhua, Huang Ronggang, Zhou Xing, et al. A secondary filter method of LiDAR point cloud based on curvature statistics [J]. *Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science*, 2013, 37(1):56-60. (in Chinese)
- 23 Tomasi C, Manduchi R. Bilateral filtering for gray and color images[C]// *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Computer Vision*, 1998:839-846.
- 24 刘刚,司永胜,冯娟. 农林作物三维重建方法研究进展[J]. *农业机械学报*, 2014,45(6):38-46,19.
Liu Gang, Si Yongsheng, Feng Juan. 3D reconstruction of agriculture and forestry crops[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014,45(6):38-46,19. (in Chinese)
- 25 王传宇,郭新宇,吴升,等. 基于计算机视觉的玉米果穗三维重建方法[J]. *农业机械学报*, 2014,45(6):38-46,19.
Wang Chuanyu, Guo Xinyu, Wu Sheng, et al. Three dimensional reconstruction of maize ear based on computer vision [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014,45(6):38-46,19. (in Chinese)