

6-6-2020

Point Cloud Segmentation Method of Maize Ear

Weiliang Wen

1. Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture/ Beijing Key Lab of Digital Plant, Beijing 100097, China;;2. College of Computer Science, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;;

Xinyu Guo

1. Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture/ Beijing Key Lab of Digital Plant, Beijing 100097, China;;

Yang Tao

3. College of Information and Electrical Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, china;;

Deda Zhao

1. Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture/ Beijing Key Lab of Digital Plant, Beijing 100097, China;;

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Point Cloud Segmentation Method of Maize Ear

Abstract

Abstract: Three-dimensional (3D) segmentation of maize ear is the fundamental research of 3D ear phenotype. A method of 3D segmentation for maize ear was proposed in this paper. Firstly, 3D point cloud of maize ear was acquired by using SmartScan 3D scanner. Then the point cloud was simplified by point cloud resampling to improve the efficiency of subsequent algorithm. *And a contraction transformation was employed to increase the distance of neighboring grains in Euclidean space by estimating the normal of each point through k-neighbor algorithm. Finally, the point cloud of maize ear was segmented by Euclidean clustering.* Results showed that the segmentation rate of grains could achieve more than 90%. Our method could provide technology support for the research of 3D ear phenotype analysis.

Keywords

maize, point cloud segmentation, ear analysis, Euclidean clustering

Authors

Weiliang Wen, Xinyu Guo, Yang Tao, Deda Zhao, Miao Teng, Hongyu Zhu, and Chengyu Dong

Recommended Citation

Wen Weiliang, Guo Xinyu, Yang Tao, Zhao Deda, Miao Teng, Zhu Hongyu, Dong Chengyu. Point Cloud Segmentation Method of Maize Ear[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(12): 3030-3035.

玉米果穗点云分割方法研究

温维亮^{1,2}, 郭新宇¹, 杨涛³, 赵德达¹, 苗腾^{3*}, 朱宏宇⁴, 董成玉⁴(1. 北京农业信息技术研究中心/数字植物北京重点实验室, 北京 100097; 2. 北京工业大学计算机学院, 北京 100124;
3. 沈阳农业大学信息与电气工程学院, 沈阳 110866; 4. 辽宁东亚种业有限公司, 沈阳 110164)

摘要: 玉米果穗的三维点云分割是玉米果穗三维表型特征计算与分析的基础。提出一种玉米果穗三维点云分割方法, 采用 SmartScan 三维扫描仪获取玉米果穗三维点云数据; 对点云进行重采样以实现点云简化; 在此基础上, 通过计算果穗点云中各点的法向量, 对果穗点云进行收缩变换以增大籽粒点间的欧式距离, 通过欧式聚类的方法实现果穗点云的分割。结果表明, 果穗点云籽粒分割率可达到 90% 以上。方法为基于三维点云数据的玉米果穗表型性状研究提供了技术支持。

关键词: 玉米; 点云分割; 考种; 欧式聚类

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2017)12-3030-06

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201712013

Point Cloud Segmentation Method of Maize Ear

Wen Weiliang^{1,2}, Guo Xinyu¹, Yang Tao³, Zhao Deda¹, Miao Teng^{3*}, Zhu Hongyu⁴, Dong Chengyu⁴

(1. Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture/ Beijing Key Lab of Digital Plant, Beijing 100097, China; 2. College of Computer Science, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China; 3. College of Information and Electrical Engineering, Shenyang Agricultural University, ShenYang 110866, china; 4. Liaoning Dongya Seed Co. Ltd, ShenYang 110164, China)

Abstract: Three-dimensional (3D) segmentation of maize ear is the fundamental research of 3D ear phenotype. A method of 3D segmentation for maize ear was proposed in this paper. Firstly, 3D point cloud of maize ear was acquired by using SmartScan 3D scanner. Then the point cloud was simplified by point cloud resampling to improve the efficiency of subsequent algorithm. And a contraction transformation was employed to increase the distance of neighboring grains in Euclidean space by estimating the normal of each point through k-neighbor algorithm. Finally, the point cloud of maize ear was segmented by Euclidean clustering. Results showed that the segmentation rate of grains could achieve more than 90%. Our method could provide technology support for the research of 3D ear phenotype analysis.

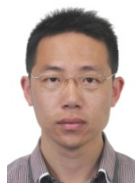
Keywords: maize; point cloud segmentation; ear analysis; Euclidean clustering

引言

玉米是世界上重要的粮食作物, 也是我国三大主要粮食作物之一, 在我国农业生产中占重要地位,

玉米育种在我国种业科研、生产等领域发挥重要的作用。玉米种业的核心问题之一是考种, 即玉米果穗表型信息的快速获取、计算与分析, 由于玉米考种指标的多样性和复杂性, 传统的考种方法大多依赖于手工操作, 占用大量人力资源, 工作效率低下, 成为制约玉米种业发展的重要问题之一。

随着现代信息技术的快速发展, 利用信息化技术手段解决传统农业研究中对于人力的依赖, 对于推动农业生产具有重要意义。国内外研究者针对玉



收稿日期: 2015-09-10 修回日期: 2016-01-05;
基金项目: 国家 863 计划(2013AA102404), 北京市科技计划(D151100004215004), 辽宁省科学技术计划(201404236-3);
作者简介: 温维亮(1983-), 男, 辽宁本溪, 博士生, 助理研究员, 研究方向为数字植物应用研究。

<http://www.china-simulation.com>

• 3030 •

玉米果穗考种问题提出了多种解决方案。玉米果穗考种方法以基于机器视觉的方法为主, 包括穗行数自动检测方法^[1]、基于全景图拼接的考种方法^[2]、基于投影修正模型的穗行数、行粒数估算方法^[3]、映射玉米不可测量表型的图像分析方法^[4]、适合户外环境下测量玉米果穗考种特征的图像标定方法^[5]等, 研究人员集成相关方法开发了玉米果穗考种系统^[6-9], 为实现高精度、高效率的玉米考种作业提供实用工具和技术参考。

基于机器视觉的玉米果穗考种方法具有成本低、效率高、易于形成考种装置的特点, 但考种精度有待提高。随着三维扫描技术的快速发展, 利用三维点云的玉米精准考种已成为可能。与机器视觉技术相比, 三维扫描技术可获得玉米果穗更为全面的表型信息, 在三维空间内获得玉米果穗表面点的三维坐标并进行可视化输出和三维测量, 将为计算机考察果穗形态带来极大的便利^[10]。利用三维点云数据实现玉米果穗考种的核心问题是果穗的点云分割^[11]问题, 即将玉米果穗点云分割成为单个籽粒点云的集合, 但目前尚未见玉米果穗点云分割相关研究。本文针对玉米果穗三维考种的需求, 通过三维扫描仪获取玉米果穗三维点云数据, 将果穗表面点云进行收缩变换, 在此基础上采用欧式聚类方法实现玉米果穗点云的分割, 以期为基于三维扫描技术的玉米果穗高精度考种提供技术支撑。

1 玉米果穗点云分割方法

玉米果穗点云分割方法包含以下流程: (1)利

用 SmartScan 三维扫描仪进行玉米果穗的三维点云数据获取; (2)果穗点云重采样以实现点云简化; (3)计算点云中各点的法向量, 实现点云的收缩变换; (4)基于欧氏聚类方法对果穗点云进行分割。

1.1 果穗点云数据获取

采用德国 Breuckmann 公司的 SmartScan-C5 与 S125 镜头进行扫描, 扫描范围为 120×80mm, 扫描精度可达 3 μ m。然而, 对于玉米果穗而言, 由于籽粒之间的缝隙较深, 扫描仪无法从各角度获取籽粒间缝隙深处的点云数据, 只能获得籽粒表面、果穗顶部及尾部的点云数据。受扫描仪扫描范围的限制, 同时为了获取完整的表面信息, 1 个玉米果穗需扫描 20 站左右, 每完成 1 站扫描将当前数据与之前点云数据进行拼接使之成为 1 个新的整体, 直到果穗中所有包含籽粒的部分都被扫描完成。在扫描过程中, 由于肉眼难以分辨各扫描部分连接处的特征, 因此, 在扫描前用彩色笔将部分籽粒进行标记, 以便于点云之间的拼接。果穗的扫描、拼接与可视化均采用该扫描仪的配套软件 OPTOCAT 完成, 同时将拼接完成后的点云, 对直径小于一定阈值的孔洞进行修补, 在实际修补时, 这个孔洞的直径阈值非常小, 以避免将籽粒间的缝隙填充上。由于 SmartScan 属于高精度三维扫描仪, 单果穗扫描后的点云包含点的数量较多, 一般为 300 万~700 万个点, 修补后的可视化结果如图 1, 其中红色部分为颜色标记便于拼接时寻找各点云间的公共区域。

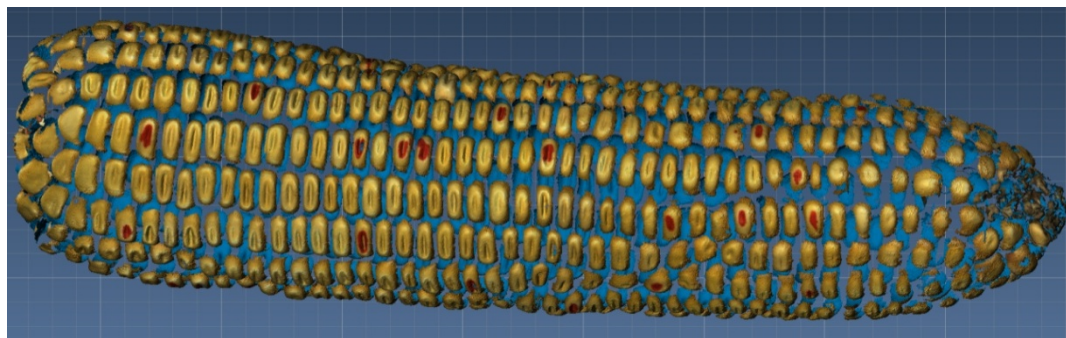


图 1 玉米果穗点云可视化

Fig.1 Point cloud visualization of maize ear

<http://www.china-simulation.com>

• 3031 •

1.2 点云重采样

由于采用高精度三维扫描仪所获取玉米果穗会产生大量三维点数据,而过多的数据点会导致后续方法效率降低,因此,需对点云数据进行简化。采用空间体素化网格方法实现点云的下采样简化,即在减少点数量的同时保持点云的形状特征,该方法在提高配准、曲面重建、形状识别等算法速度中非常实用。通过为果穗点云数据创建 1 个三维体素栅格,然后在每个体素内,用体素中所有点的重心来近似显示体素中其他点,这样该体素内所有点就用 1 个重心点最终表示,对于所有体素处理后得到过滤后的点云。设置体素尺度参数为 d_{leaf} ,即每个三维体素栅格的长宽高都为 d_{leaf} ,简化后点云点的数量为原始点云点数量的 8%~10%,这样在后续计算过程中会大幅降低计算量,以提高方法的效率。

1.3 点云收缩变换

针对上述果穗扫描点云中各籽粒点三维空间上的相对聚合性质,拟采用欧式聚类的方法对点云进行分割,但各籽粒间仍具有一定的空间连续性,直接采用欧氏聚类进行分割效果不佳。由于玉米籽粒表面在三维空间上与半球具有相似的拓扑结构,可采用空间变换使得单籽粒表面的点云向籽粒中心点收缩,称为收缩变换,以增大籽粒间点的欧氏距离,提高欧式聚类点云分割的准确性。

果穗点云收缩变换的输入为经重采样后的点云,通过局部表面拟合方法^[12-13]计算输入点云中各点的法向量。对于点云中的每个点 p , 获取与其最相近的 k 个相邻点,然后为这些点计算一个最小二乘意义上的局部平面 P , 表示为

$$P(n, d) = \arg \min_{(n, d)} \sum_{i=1}^k (n \cdot p_i - d)^2 \quad (1)$$

式中: n 为平面 P 的法向量; d 为 P 到坐标原点的距离。同时,法向量 n 需要满足 $\|n\|_2 = 1$ 。这个问题的求解可采用主成份分析方法(PCA),即转化为对式(2)中半正定的协方差矩阵 Q 进行特征值分解,对应于 Q 最小特征值的特征向量即作为 P

的法向量。

$$Q = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (p_i - \bar{p})(p_i - \bar{p})^T \quad (2)$$

对点云中所有点沿其各自的法向方向移动一定的距离 $dist$, 如公式(3), 式中, Q 为原始点云集合, Q' 为收缩变换后的点云集合, n_i 为第 i 个点的法向量。

$$\begin{aligned} \Phi(Q) = Q': \varphi(q_i) &= q_i + n_i \cdot dist \\ q_i &\in Q, i = 1, 2, \dots, N \\ \varphi(q_i) &\in Q', i = 1, 2, \dots, N \end{aligned} \quad (3)$$

变换后,果穗点云中各籽粒间的距离增大($d < D$),使得进一步基于欧式聚类的分割效果更为显著。如图 2 所示。

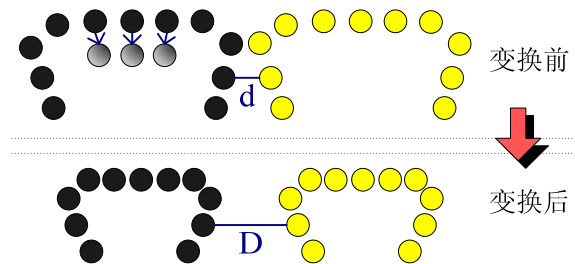


图 2 收缩变换示意图

Fig.2 Diagram of contraction transformation

1.4 基于欧式聚类的点云分割

在收缩变换的基础上,利用变换后籽粒间的缝隙特征,基于欧式聚类^[14]的方法实现点云分割。欧式聚类的方法即通过判断点云中各点的欧氏距离实现聚类:(1)方法的输入是收缩变换后的果穗点云;(2)为了实现点云中临近点的快速计算,首先对输入点云进行空间分割,并以树形结构存储;(3)设置 1 个合适的聚类搜索半径 d_t ,其中 $d_t > d_{leaf}$,若点云中任意两个点的距离大于搜索半径 d_t ,则这两个点被分到不同的点集中,如果搜索半径 d_t 取 1 个非常小的值,那么 1 个实际的对象就会被分割为多个聚类;如果将值设置得太高,那么多个对象就会被分割为 1 个聚类,所以需要进行测试找出最适合的搜索半径 d_t ;(4)用两个参数来限制找到的聚类:用 N_{min} 来限制一个聚类最少需要的点数目,

用 N_{\max} 来限制最多需要的点数目, 即通过搜索半径 d_i 判断得到的所有聚类点集中, 只保留点集个数在 $[N_{\min}, N_{\max}]$ 范围内点的聚类; 同时, 通过 N_{\min} 的设置, 实现了删除包含少量点云聚类的去噪效果。图 3 为果穗点云分割的可视化结果, 以不同颜色的差异表示临近聚类的分割, 分割后的点云包含 T 个聚类, 记所有聚类的集合为 $C = \{c_i, i = 1, 2, \dots, T\}$ 。记 q_i 为点云聚类 c_i 中包含点的数量, 则有 $N_{\min} \leq q_i \leq N_{\max}$ 。

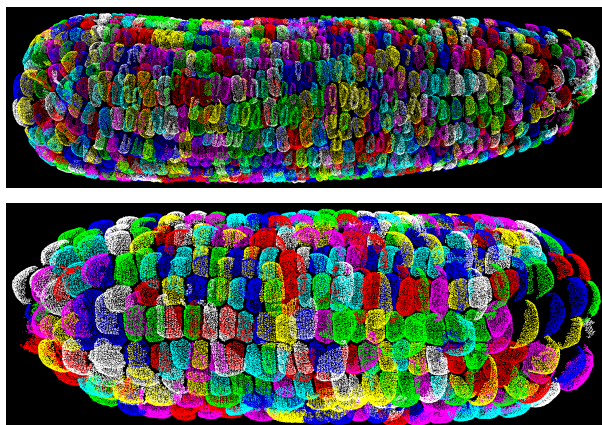


图 3 果穗点云分割可视化结果

Fig.3 Visualization of maize ear point cloud segmentation

2 分割结果

利用本文方法分割后的点云可分类为三类: (1) 仅包含单个籽粒的聚类; (2) 包含多个籽粒的聚类 (如图 4); (3) 包含单籽粒的局部、果穗顶或果穗底部部分的点云。由于果穗中行与行之间的距离相对各行上籽粒间的距离更大, 因此, 相对于各行上的籽粒, 行与行之间的分割结果较好; 各行上的籽粒多被分为单个籽粒, 但仍包含多个籽粒为 1 个聚类的情况。

理想情况下的分割结果是各聚类仅包含 1 个籽粒, 这样便可直接计算果穗籽粒数等主要考种参数, 但由于玉米果穗形态的差异, 直接得到单籽粒的分割结果难以实现。由于除果穗顶、果穗底部及极少量单籽粒局部的聚类外, 各聚类均为包含独立籽粒或多个籽粒的点云聚类 (如图 4), 因此, 为了评价果穗点云的分割效果, 引入了分割率的概念来

评价单籽粒分割程度:

$$\text{分割率} = \frac{\text{分割后的聚类数量}}{\text{果穗籽粒数}}$$

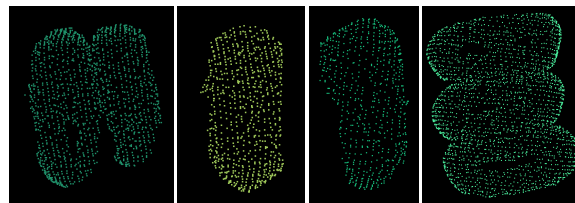


图 4 点云分割后包含多个及单个籽粒的聚类

Fig.4 Clustering of multiple and single grains after point cloud segmentation

选定 3 个玉米果穗, 分别以 A、B、C 标记, 果穗体积逐渐减小, 其中 A 与 C 果穗各行内相邻籽粒间的缝隙较小, 籽粒较为平整 (如图 5a); B 果穗各行内籽粒间的缝隙相对较大 (如图 5b), 各果穗采用人工数粒的方式得到果穗的籽粒数量。利用本文方法对各果穗进行三维点云数据获取与分割, 并计算分割率, 结果如表 1, 籽粒分割率均可达到 90% 以上。由计算结果可知, 方法所计算出的籽粒分割率与目标果穗籽粒的平整度有关, 籽粒形态越接近球面, 所计算的表面法向特征更为明显, 易于采用本方法进行点云的分割。由于玉米果穗上籽粒特征不明显, 直接对点云采用聚类方法^[14]或常规散乱点云的分割方法^[15]只能将行间缝隙较大处分割开, 难以实现行上籽粒的分割, 如图 6 所示。



(a) 籽粒较为平整果穗



(b) 籽粒间缝隙较大果穗

图 5 果穗籽粒平整度差异图

Fig.5 Flatness difference diagram of maize ear

表 1 玉米果穗扫描与点云分割结果

Tab. 1 Results of maize ear scanning and point cloud segmentation

序号	果穗点 数量	简化后点 云数量	分割后 聚类数	实测籽 粒数	分割率 /%
A	7298124	640015	737	782	94.2
B	6220533	500406	628	648	96.9
C	3964382	338564	317	331	95.8

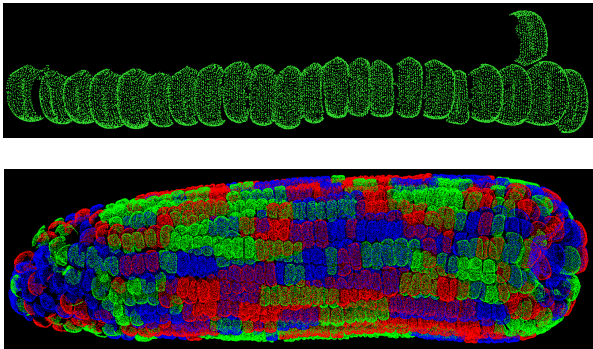


图 6 直接采用距离聚类方法分割率较低

Fig.6 Low segmentation rate using distance clustering

3 结论

针对玉米果穗表型信息快速获取、计算与分析的实际需求,结合高精度三维数据获取手段,提出了 1 种玉米果穗三维点云分割方法。方法通过点云重采样以简化点云进而提高分割效率,通过收缩变换和欧式聚类,对玉米果穗三维点云实现籽粒级分割,分割率可达 90% 以上,为利用三维扫描技术实现玉米考表型信息的计算与分析提供了技术支持。与基于机器视觉的方法相比,基于三维点云的玉米果穗表型计算分析在实现玉米考种的同时,可保留 1:1 的高真实感玉米果穗三维模型,为玉米果穗的种质资源保存、基于三维数据的果穗形态参数测量,如穗行数、果穗体积、表面积的计算等提供了可能。玉米果穗点云分割方法的分割结果主要受扫描仪精度、目标果穗形态特征和分割参数三个因素的影响。方法得到的分割点云聚类尚无法直接准确计算果穗的籽粒数,然而,由于玉米品种果穗形态的相似性,方法可针对指定品种果穗上籽粒表面积及分布等特征参数,结合机器学习相关方法实现玉米考种主要参数的快速计算。

参考文献:

- [1] 李静, 申庆超, 宋俊乔, 等. 基于机器视觉的玉米穗行数自动检测算法设计[J]. 电子产品世界, 2014(6): 29-32.
Li Jing, Shen Qingchao, Song Junqiao, et al. An algorithm design of corn rows automatic detection based on machine vision[J]. World of Electronic Products, 2014, (6): 29-32.
- [2] 王传宇, 郭新宇, 吴升, 等. 采用全景技术的机器视觉测量玉米果穗考种指标[J]. 农业工程学报, 2013,29(24):155-162.
Wang Chuanyu, Guo Xinyu, Wu Sheng, et al. Investigate maize ear traits using machine vision with panoramicphotograyphy[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(24): 155-162.
- [3] 周金辉, 马钦, 朱德海, 等. 基于机器视觉的玉米果穗产量组分性状测量方法[J]. 农业工程学报, 2015, 31(3): 221-227.
Zhou Jinhui, Ma Qin, Zhu Dehai, et al. Measurement method for yield component traits of maize based on machine vision[J]. Transaction os the CSAE, 2015, 31(3): 221-227.
- [4] Shyu Chi-Ren, Green Jason M., Lun Daniel Rk., et al. Image analysis for mapping immeasurable phenotypes in maize[J]. IEEE Signal Processing Magazine(S1053-5888), 2007, 24(3): 115-118.
- [5] 段熊春, 周金辉, 王思嘉. 面向玉米果穗考种测量的图像标定方法[J]. 农机化研究, 2014 (1): 76-79.
Duan Xiongchun, Zhou Jinhui, Wang Sijia. Image calibration method for the ear of corn measurement system[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014 (1): 76-79.
- [6] 曹婧华, 冉彦中, 郭金城. 玉米考种系统的设计与实现[J]. 长春师范学院学报, 2011, 30(4): 38-41.
Cao Jinghua, Ran Yanzhong, Guo JinCheng. The design and realization of corn test system[J]. Journal of Changchun Normal University, 2011, 30(4): 38-41.
- [7] 肖伯祥, 王传宇, 郭新宇, 等. 玉米考种自动化流水线机构设计与仿真[J]. 系统仿真学报, 2015, 27(4): 913-919.
Xiao Boxiang, Wang Chuanyu, Guo Xinyu, et al. Automatic pipelining mechanism design for maize ear analysis[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(4): 913-919.
- [8] Pioneer Hi-Bred International Inc. Method and System for Digital Image Analysis of Maize[P].United States: US2008/009433, 2009-02-19.

(下转第 3041 页)