

陈晨,刘涛,武威,等. 三维传感器 Kinect 在农业领域的应用与发展[J]. 江苏农业科学,2018,46(8):11-14.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.08.003

三维传感器 Kinect 在农业领域的应用与发展

陈晨,刘涛,武威,陈雯,李瑞,周彤,姚照胜,孙成明

(扬州大学江苏省作物遗传生理国家重点实验室培育点/粮食作物现代产业技术协同创新中心,江苏扬州 225009)

摘要:随着信息技术的不断发展,三维传感器也得到了越来越多的应用,其中微软公司推出的 Kinect 传感器受到了各个领域研究人员的关注,使 Kinect 在计算机视觉与控制、医疗、教育、电子商务等领域都有很好的应用。本文介绍 Kinect 设备的组成及其工作原理,并阐述其在农业领域的应用现状,包括在农作物上的监测与记录、农业机器人视觉系统和作物三维形态生长模型的重建等,分析 Kinect 设备的优点与不足。最后,对 Kinect 在农业领域的应用进行展望。通过对 Kinect 的介绍与分析,从而发掘其在农业方面的应用潜力,为三维成像技术在农业领域的进一步发展提供参考。

关键词:三维成像;三维传感器 Kinect;优点评价;存在不足;农业;智能监测;深度相机;农作物;农业机器人

中图分类号: S126 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)08-0011-04

三维是指在二维中加入一个方向向量从而构成的空间系,也就是坐标系的三个轴,即 x 、 y 、 z 轴,其中 x 轴代示左右方向, y 轴代示上下方向, z 轴代示前后方向,从而形成三维视觉效果。三维技术和许多其他新兴技术一样,最初都是来源于军事应用领域,随着信息化和现代化的发展,三维技术在各个领域的应用潜力逐渐显现出来,三维技术本身也经历了从诞生到初步发展期到稳定发展期再到繁荣期的历程^[1]。同时,三维技术在农业上的应用也有很多。侯彩云等使用三维图像处理技术对稻米的外观、营养及蒸煮品质等进行了观察与监测,为食品的定量学提供了理论基础^[2];胡少军等利用计算机图形学对小麦进行虚拟性的可视化研究,模拟小麦叶片在三维空间的生长状况,提出了一种模拟小麦叶片扭曲和卷曲的数学模型,并灵活掌控叶片扭曲和卷曲效果表现小麦叶片在自然情况下的生长状况^[3]。

近年来,由于三维技术取得了较大的进步,从而兴起了一项新兴的摄像技术—深度相机。深度相机在捕获视频的同时,也能同步输出相机到像素点的距离,这种图片称为深度图像^[4]。深度图像是通过对三维传感器所得到的图形或图像进行描绘,得出物体的三维形状并进行图像分析处理,具有自动化水平高、效率高、速率高和造价较低等优点,这些优点是传统扫描设备所不具备的^[5]。

基于深度相机的研究可以划分为 6 类:物体辨识、三维物体重建、机器人导航、加强现实、图像处理和人机交互^[2]。传统的三维激光扫描仪和结构光扫描仪虽然能够精确地获取物体表面的三维信息,但这类设备不易操作、结构复杂且价格昂贵。利用多台彩色摄像机所构成的立体视觉系统虽然可以低

成本地获取三维空间信息,但这类系统算法在很大程度上存在缺陷例如鲁棒性较低、计算复杂度高且较难处理存在遮挡及缺少纹理的情况^[6]。因而,微软公司推出的三维相机 Kinect 引起了越来越多研究者的广泛关注。本文先简述 Kinect 传感器的组成及其原理,以及 Kinect 设备在国内外的研究进展;其次讨论 Kinect 设备的优点与不足;最后对 Kinect 传感器在农业上的应用进行展望,以期对 Kinect 在农业领域的进一步应用提供参考。

1 Kinect 简介

1.1 Kinect 组成

Kinect 是微软在 2010 年正式公布的 XBOX360 体感周边外设,它是基于微软和以色列开发商 PrimeSense 开发的一种能够解释特定手势,并利用红外投影仪、相机和专用芯片来跟踪三维中的物体和个人运动的设备。该设备具有一个 RGB 摄像头、深度传感器和多阵列麦克风,以廉价的成本提供了完整的三维人体运动捕捉^[7]、人脸识别^[8]和语音识别能力^[9]。彩色相机^[10-12]可以在同一时间同时获取彩色图像和深度图像^[13],并且图像颜色格式可以是 RGB 也可以是 YUV^[14]。Kinect 传感器的麦克风阵列由 4 个朝下的内置麦克风组成,使之能够确定声音的方向并对环境噪声进行抑制^[15],而且通过其具有高性价的深度摄像头功能广泛引起了各地研究人员的兴趣,因此 Kinect 被广泛应用在各个领域,尤其活跃于三维重建领域和计算机视觉领域^[6]。

由图 1 可知,在 Kinect 结构中右边是 3D 深度传感器,中间是 RGB 摄像头,左边是红外线发射器 (INFRARED TRANSMITTER)^[16],传感器下面是数组式麦克风 (MULTI-ARRAY MIC),底座和传感器之间有一个电动马达,通过特定程序可以调整 Kinect 的俯仰角度。同时,Kinect 1 秒能够处理 30 帧每帧 640×480 个像素的深度信息,深度探测的最佳范围在 1.2 ~ 3.8 m 之间^[17],但是 Mankoff 等也尝试在误差不超过 1% 的情况下将深度探测距离扩大到 5 m^[18]。

1.2 工作原理

Kinect 在获取空间信息、色彩信息以及获取声音数据方

收稿日期:2016-11-07

基金项目:国家自然科学基金(编号:31671615);江苏省农业三新工程(编号: SXGC[2015]330);扬州市产学研合作专项基金(编号: YZ2016251)。

作者简介:陈晨(1994—),女,江苏南通人,硕士研究生,从事作物生长图像识别研究。E-mail:824158407@qq.com。

通信作者:孙成明,博士,教授,从事作物生长模拟、图像识别与智能监测研究。E-mail:cmsun@yzu.edu.cn。

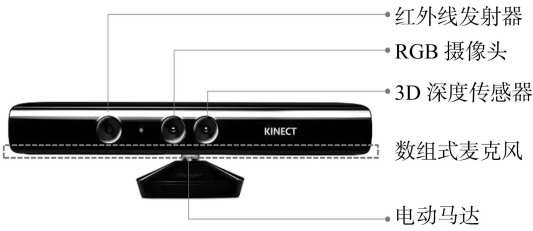


图1 Kinect 结构组成

面展示了十分强大的人机交互方法^[19-20]。Kinect 之所以有这么强大的功能,是因为微软合作方以色列的 PrimeSense 公司的 PS1080 系统级芯片 (SoC), PrimeSense 采用了该公司光编码 (light coding) 这一先进技术。此技术不再须要经过特殊制作的感光芯片,只需要一般的互补金属氧化物半导体 (complementary metal oxide semiconductor, 简称 CMOS) 感光芯片就可获取三维深度信息,这就是 Kinect 成本低的关键^[21]。

目前,深度摄像头成像原理通常分为双向测距 (time of flight, 简称 ToF) 技术和光编码技术 2 类^[22-23]。光编码技术是利用光源照明把所需要测量的空间进行编码,它是结构光技术中的一种,与其他结构光技术不同的只是深度计算方式不同。光编码的光源被称作“激光散斑”,是通过激光光线射到粗糙物体表面或者穿过毛玻璃之后而产生的衍射斑点。这些斑点具有很强的随机性,并且会根据距离的不同而不停地变换图案,也就是说三维空间中的任意 2 处的斑点图案都是不相同的。如果将这样的结构光照射在三维空间中,整个三维空间就会全部被标记,把一个不知名的物体置于这个三维空间,只要看物体上所形成的散斑图案,就能够知晓物体的放置位置,也就是说 Kinect 可以很确切地记录物体的三维位置信息^[24]。

红外相机在获取到编码图案后,还须要经过解码过程将斑点图案信息转变成深度信息。因此,要将整个三维空间的斑点图案全部记录下来,所以要对光源进行 1 次标定,标定的方法是每隔一定距离取 1 个参考平面,把参考平面上的斑点图案以及参与参考平面之间的距离这个数据记录下来^[21]。

随着科技的进一步发展,智能硬件在日常生活中越来越普及。2014 年 7 月, Kinect 2.0 正式发售。与第一代 Kinect 相比,第二代 Kinect 能够更加精准地识别物体的位置信息,具有较高的色彩识别度和分辨率。2 代 Kinect 传感器的技术配置对比情况如表 1 所示。

2 Kinect 在国内外农业领域应用的研究进展

2.1 国外研究进展

利用 Kinect 进行三维重建的研究受到了很大关注,同时也有人将 Kinect 应用在畜牧业、养殖以及农业生产等方面。

2.1.1 土壤颗粒大小 Marinello 等提出并讨论了 Kinect 用于土壤微地形动态特性的实现^[25]。Kinect 的最大用处是对于土壤微地形的三维表征成本有效的解决方案。参考面的测试表明,传感器如何在平均粗糙度下降到 1 mm 的情况下在表面上提供可重复的粗糙度表征。在受到不同耕作方式的土壤上进行现场 (犁耕、耙耕、振动、旋耕) 测试。研究结果表明,不同的粗糙度参数值可能与耕种土壤的不同特性有关,测试还包括耙地的速度不同,3D 特性可以区分这些不同的速度、平均粗糙度与速度之间具有线性相关系数高于 0.9 的关系。

表 1 2 代 Kinect 传感器的技术配置对比

功能	Xbox 360 Kinect 传感器	Kinect 2.0 传感器
视场	水平 57.5°, 垂直 43.5°	水平 70°, 垂直 60°
工作范围	0.8 ~ 4.0 m	0.8 ~ 4.0 m
彩色视频流	640 × 480 16 bit 30fps	1 920 × 1 080 32 bit 30 fps
深度视频流	320 × 240 16 bpp	512 × 424 16 bpp
主动红外视频流	无	512 × 424, 11-bit 动态范围
配准	彩色和深度	彩色、深度和主动红外
音频捕捉	4 阵列麦克风 48 Hz audio	4 阵列麦克风 48 Hz audio
接口	USB 2.0	USB 3.0
延迟	带处理 90 ms	带处理 60 ms
倾斜马达	只能垂直方向	无

2.1.2 三维重建 Izadi 等提出让用户自己手持 Kinect 设备扫描室内三维场景并且实时对室内三维场景进行重建^[26]。该设备的基本思想是将 Kinect 扫描过的每一帧经过迭代最近点 (iterated closest point, 简称 ICP) 结合到一起,同时使用地面动力装置 (ground power unit, 简称 GPU) 进行并行加速从而达到实时的效果^[27]。Chen 等通过利用 Kinect 获取玉米点云从而获得玉米几何结构参数中的叶面积指数和叶角分布,重建了基于深度图像的玉米三维模型^[28]。

2.1.3 畜牧养殖 Kongsro 等构建了一个利用红外深度图像并且基于微软 Kinect 摄像头技术的原型^[29]。该原型可以利用深度图像估测不同大小和品种猪的质量。结果表明,长白猪和杜洛克猪平均质量的估测误差分别是 4.6%、4.9%。图像分析需要一定程度地干预或者图像质量的主观选择,并且在农场环境下应用这个原型须要更加自动化。

2.1.4 作物与植物监测 Papp 将农产品监测与 Kinect 捕获空间信息的特性结合起来,通过结合 Kinect 和压力传感器获取传送带上农产品的空间大小和材质等信息,并将数据传送到计算机上对其进行分类^[30]。Andújar 等利用 Kinect 实现了对杨树生物量的估计,采取的方法是利用 Kinect 相机对杨树进行多角度多方面的信息获取^[31]。Qin 等通过 Kinect 相机获得作物生长过程的彩色图像和深度图像,为不同生长阶段农作物的长势状态分析提供数据依据并进行实时监控^[32]。Azzari 等利用 Kinect 相机获取的深度图像手动测量加利福尼亚草原上生长的 2 种植被的结构,从而为遥感测量和改善生物物理冠层模型提供了更好的信息验证^[33]。

2.2 国内研究进展

在国内,研究人员在各个领域包括农业领域也进行了大量的研究,并且取得了相应的研究成果。

2.2.1 三维重建 陈兴等构建了由 2 台 Kinect 组成的系统对人体进行三维重建,该系统首先采用棋盘格标定法对 2 台 Kinect 进行标定;其次分别使用 2 台 Kinect 对站立在旋转台上的人员进行上、下半身全面数据的扫描并且获得相应的 360°点云;最后利用迭代最近点算法对采集人体三维点云数据以及标定结果进行拼接,从而获得较为完整的人体三维点云模型^[34-35]。Fu 等利用 Kinect 采集和分析温室盆栽番茄的图像,通过使用参数 L-系统图形符号行细化算法和 Hough 变换算法对温室盆栽番茄各部分器官进行三维重建,从而为番茄生长过程的可视化奠定了基础^[36-37]。

2.2.2 农作物监测 江晓庆等尝试将 Kinect 传感器开放运用到室外实时监测农作物长势,并设计了 1 种基于 Kinect 设

备的农作物实时监测系统,从而可以在计算机终端获得作物生长过程的彩色图像和深度图像,因此,该系统能够获得品质较好的三维数据信息,并为农作物生长模型病虫害实时监测、长势状态分析、三维重建等提供数据依据^[17]。肖潇以苤蓝、胡萝卜和马铃薯的变态根茎为对象,利用 Kinect 曲面重建的方法获取它们变态根茎的彩色云点,并且对彩色点云数据进行配准、滤波、曲面重建,从而在曲面模型中提取特征点间的长度参数和变态根茎体积参数,并用统计学方法进行分析验证。结果表明,曲面重建模型可以完整地表现出它们变态根茎的纹理特征、提取特征点间的长度参数和体积构型参数,误差均不超过 10%^[38]。郑立华等利用 Kinect 相机对苹果树进行三维点云配准,首先利用 Kinect 相机提取单株苹果树的点云信息,再进行初始配准,然后利用 ICP 算法对点云进行精确配准,实现苹果树点云在不同角度下的准确拼接^[39]。

2.2.3 畜牧 刘波等利用 Kinect 深度相机获取生猪运动深度图像序列,提取生猪的步频特征,并通过生猪前后肢远近侧端点的水平坐标变化和骨架端点匹配建立生猪运动模型,对于监测生猪异常行为具有重大意义^[40]。

2.2.4 人体识别与控制 张鑫等设计了 1 个可以根据人体的动作实时控制花盆摆放位置的系统,该系统通过使用 Kinect 进行人体动作和姿势辨认,定义了人体不同的动作,并且通过人体的不同动作向智能花盆系统作出相应的指令,智能花盆系统在接收到不同的位置命令后可以进行相应的移动从而构建出不同的图案^[41]。该系统不仅具有观赏性,也可以应用在互动科普教育中。冷晶晶以 Kinect 三维骨架为基础提出了一个关于关节角度变化的序列运动特征模型^[42]。该模型以人体运动过程中的关节运动情况为切入点发现,关节的旋转角度决定了四肢在空间中的位置,而四肢的运动也能反映关节角度的变化。罗元等通过利用 Kinect 设备获取的深度图像信息将手部从背景中分割出来,再通过对 Hu 矩添加 3 个表达式使它包含更多的细节特性,从而识别手势目标,最后通过网络将识别得到的结果转换成控制指令传送给智能轮椅,最终实现运动控制等^[43]。

3 Kinect 的优点与不足

3.1 Kinect 的优点

Kinect 等深度相机为计算机视觉、三维图像处理和三维重建等领域的研究提供了一种新的方法,目前在机器人^[44]、机器视觉^[45-46]、生物医学^[47]、视频监控、汽车工业、增强现实、游戏、人机交互^[48]等领域也得到了广泛关注。

与传统三维扫描设备相比,Kinect 不仅能够实时捕获物体表面彩色与深色信息结构,而且 Kinect 设备小巧、使用便利、价格低廉;与立体视觉方法相比,Kinect 的原理是主动发射近外光,不易受光照变化和物体表面纹理的影响,计算复杂度较低^[6]。

3.2 Kinect 的不足

(1) Kinect 具有获取深度信息噪声大、辨识率低以及获取数据质量低等缺点。由于这个原因,目前通过各种算法得到的扫描重建模型的精度明显没有使用传统三维扫描设备的高,因此无法满足对精度方面要求比较高的应用需求。

(2) Kinect 在捕获物体表面各个方面完整的信息时,有必要对全方位获取的数据进行配准,然而 Kinect 在含噪数据

配准方面^[49],特别是动态的配准方面,仍然是一个难题。

4 展望

目前,Kinect 在农业方面的应用主要集中在对农作物的监测与记录、农业机器人视觉系统和作物三维形态生长模型的重建这 3 个方面。

(1)前人的研究基本上只采用了 1 台 Kinect,然而考虑到 Kinect 的视角和最佳探测范围,1 台 Kinect 已经无法满足需求。因此,可以利用多个 Kinect 多方位多角度地捕获信息,实现高质量的点云配准。

(2)在农作物监测与记录方面,虽然通过所获得的作物生长过程中的彩色图像和深度图像可以获得较为良好的三维数据信息,但是在作物病虫害方面的研究还相对较少,利用 Kinect 实时监测作物病虫害也是研究趋势之一。

(3)在农业机器人视觉系统方面,目前,提高农业自动化水平已经成为我国农业科研领域的研究趋势,而应用于农业领域的各类机器人也受到了极大的关注^[50]。Susanto 等将 Kinect 设备与机器人进行组装获取彩色图像和深度图像,并对这些信息进行特征提取和系统学习,然后输入一个目标物体的名称,使机器人能够从周围的环境中识别出所输入的目标物体^[51],未来将 Kinect 结合机器人技术开发出能够应用于农业领域的机器人^[52]。

(4)在作物三维形态生长模型重建方面,要实现基于作物生长发育规律的真实重建是非常困难的^[53],基于 Kinect 所获取的深度图像信息虽然可以提高重建效率,简化重建步骤,但是三维重建的普遍适用性和自动化程度偏低^[54],未来应加大构建自动化三维重建系统,实现快速重建。

参考文献:

- [1] Taylor J, Beraldin J A, Godin G, et al. NRC 3D imaging technology for museum and heritage applications[J]. Computer Animation and Virtual Worlds, 2003, 14(3): 121 - 138.
- [2] 侯彩云, Oshita S, Seo Y, 等. 3 维图像处理系统在稻米品质检测中的应用研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(3): 92 - 95.
- [3] 胡少军, 何东健, 耿楠, 等. 基于图像处理的小麦叶片形态的三维重建[J]. 农业工程学报, 2007, 23(1): 150 - 154.
- [4] 周瑾. 基于 Kinect 深度相机的三维人体重建技术研究[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2012.
- [5] 周颖. 深度图像的获取及其处理[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2008.
- [6] 童晶. 基于深度相机的三维物体与人体扫描重建[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [7] 吴玮莹, 王豫, 李秦, 等. Kinect 人体运动捕捉误差及其空间分布[J]. 北京生物医学工程, 2014, 33(4): 344 - 348.
- [8] 尹潘龙, 徐光柱, 雷帮军, 等. Kinect 下深度信息获取技术及其在三维目标识别中的应用综述[J]. 集成技术, 2013(6): 94 - 99.
- [9] Mohamed A B H, Val T, Andrieux L, et al. Using a kinect WSN for home monitoring: principle, network and application evaluation[C]// International Conference on Wireless Communications in Unusual and Confined Areas, IEEE, 2012: 1 - 5.
- [10] Fu J J, Miao D, Yu W R, et al. Kinect - Like depth data compression[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2013, 15(6): 1340 - 1352.

- [11] Zhang Z Y. Microsoft kinect sensor and its effect[J]. IEEE Multi Media,2012,19(2):4-10.
- [12] Cruz L, Lucio D, Velho L. Kinect and RGBD Images: Challenges and Applications[C]// Sibgrapi Conference on Graphics, Patterns and Images Tutorials. Brazil:Ouro Preto,2012,36-49.
- [13] 沈跃,徐慧,刘慧,等. 基于 Kinect 传感器的温室植株绿色与深度检测方法[J]. 中国农机化学报,2016,37(8):155-161.
- [14] Islam M R, Rahaman S, Hasan R, et al. A novel approach for constructing emulator for Microsoft Kinect XBOX 360 Sensor in the .NET platform[C]//4th International Conference on Intelligent Systems Modelling and Simulation, IEEE,2013:1-6.
- [15] Han J G, Shao L, Xu D, et al. Enhanced computer vision with microsoft kinect sensor: a review[J]. IEEE Transactions on Cybernetics,2013,43(5):1318-1334.
- [16] Chávez G M, Sarocchi D, Santana E A, et al. Using kinect to analyze pebble to block-sized clasts in sedimentology[J]. Computers and Geosciences,2014,72:18-32.
- [17] 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):195-199,237.
- [18] Mankoff K D, Russo T A. The kinect: a low-cost, high-resolution, short-range 3D camera[J]. Earth Surface Processes and Landforms,2013,38(9):926-936.
- [19] 朱涛,金国栋,芦利斌. Kinect 应用概述及发展前景[J]. 现代计算机:专业版,2013(4):8-11,33.
- [20] 王丹,邵小宁,胡少军,等. 基于 Kinect 的虚拟果树交互式修剪研究[J]. 农机化研究,2016(10):187-192.
- [21] 白正彪. 基于 Kinect 的运动示教系统研究与实现[D]. 天津:天津大学,2012.
- [22] Kolb A, Barth E, Koch R, et al. Time-of-flight cameras in computer graphics[J]. Computer Graphics Forum,2010,29(1):141-159.
- [23] Salvi J, Pages J, Batlle J. Pattern codification strategies in structured light systems[J]. Pattern Recognition,2004,37(4):827-849.
- [24] 石曼银. Kinect 技术与工作原理的研究[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报,2013,29(3):83-86.
- [25] Marinello F, Pezzuolo A, Gasparini F, et al. Application of the kinect sensor for dynamic soil surface characterization[J]. Precision Agriculture,2015,16(6):601-612.
- [26] Izadi S, Newcombe R A, Kim D, et al. Kinect fusion: real-time dynamic 3D surface Reconstruction and interaction[C]// International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques,2011:1175-1184.
- [27] Chen J, Wu X J, Wang M Y, et al. 3D shape modeling using a self-developed hand-held 3D laser scanner and an efficient HT-ICP point cloud registration algorithm[J]. Optics and Laser Technology,2013,45(1):414-423.
- [28] Chen Y M, Zhang W M, Yan K, et al. Extracting corn geometric structural parameters using kinect[C]//Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE,2012:6673-6676.
- [29] Kongsro J. Estimation of pig weight using a microsoft kinect prototype imaging system[J]. Computers and Electronics in Agriculture,2014,109:32-35.
- [30] Papp A. Studies on the detection of concealed objects using the neutron reflection method[J]. Applied Radiation and Isotopes,2013,75(3):26-29.
- [31] Andújar D, Escolà A, Rosell - Polo J R, et al. Using depth cameras for biomass estimation - a multi-angle approach[C]//European Conference on Precision Agriculture,2015,97-102.
- [32] Qin C B, Du Q L, Tian L F, et al. The control system design of automatic weeding robot based on visual navigation[C]//International Conference on Robotics and Biomimetics,2012:956-961.
- [33] Azzari G, Goulden M L, Rusu R B. Rapid characterization of vegetation structure with a microsoft kinect sensor[J]. Sensors,2013,13(2):2384-2398.
- [34] 陈兴,梁洁,杜希瑞,等. 采用两台 Kinect 相机的三维人体数字化[J]. 电脑知识与技术,2016,12(1):192-195.
- [35] 于雅慧,况立群,韩燮,等. 基于 Kinect 相机和改进 ICP 的三维物体重建[J]. 计算机工程与设计,2014(10):3574-3578.
- [36] Fu D C, Xu L H, Li D W, et al. Automatic detection and segmentation of stems of potted tomato plant using kinect[C]//Sixth International Conference on Digital Image Processing,2014.
- [37] 付代昌,徐立鸿,李大威,等. 基于 Kinect 的温室番茄盆栽茎干检测与分割[J]. 现代农业科技,2014(3):336-338,343.
- [38] 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.
- [39] 郑立华,麦春艳,廖威,等. 基于 Kinect 相机的苹果树三维点云配准[J]. 农业机械学报,2016,47(5):9-14.
- [40] 刘波,朱伟兴,杨建军,等. 基于深度图像和生猪骨架端点分析的生猪步频特征提取[J]. 农业工程学报,2014,30(10):131-137.
- [41] 张鑫,徐文胜,刘阶萍,等. 基于 Kinect 的智能花盆体感控制系统研究[J]. 机电工程,2014,31(9):1226-1230.
- [42] 冷晶晶. 基于 Kinect 骨架信息的人体动作识别[J]. 数字技术与应用,2014(9):80-80.
- [43] 罗元,谢彧,张毅. 基于 Kinect 传感器的智能轮椅手势控制系统的设计与实现[J]. 机器人,2012,34(1):110-113,119.
- [44] Fankhauser P, Bloesch M, Rodríguez D, et al. Kinect v2 for mobile robot navigation: evaluation and modeling[C]//International Conference on Advanced Robotics. IEEE,2015:388-394.
- [45] 童伟亮,王广伟. 基于 Kinect 及双目机器视觉原理的物体 3 维建模系统[J]. 中国水运,2015,15(8):121-122,124.
- [46] 董建民,陈伟海,岳昊嵩,等. 基于 Kinect 视觉系统的西红柿自动识别与定位[J]. 中国农机化学报,2014,35(4):169-173.
- [47] Oikonomidis I, Kyriazis N, Argyros A A. Efficient model-based 3D tracking of hand articulations using kinect[C]//Proceedings of the British Machine Vision Conference,2011.
- [48] 吴国斌,李斌,阎骥洲. KINECT 人机交互开发实践[M]. 北京:人民邮电出版社,2013.
- [49] Essmaeel K, Gallo L, Damiani E, et al. Temporal denoising of kinect depth data[C]//Eighth International Conference on Signal Image Technology and Internet Based Systems, IEEE,2012:47-52.
- [50] 张立彬,计时鸣,胥芳,等. 农业机器人的主要应用领域和关键技术[J]. 浙江工业大学学报,2002,30(1):36-41.
- [51] Susanto W, Rohrbach M, Schiele B. 3D object detection with multiple kinects[C]//European Conference on Computer Vision. Heidelberg:Springer,2012:93-102.
- [52] 王滨,陈子啸,傅隆生,等. 基于 Kinect 传感器的猕猴桃果实空间坐标获取方法[J]. 农机化研究,2016,38(5):232-237.
- [53] 吴灵通. 水稻三维形态生长模型构建的初步研究[D]. 杭州:浙江大学,2012.
- [54] 余秀丽,王丹丹,牛磊磊,等. Kinect 在现代农业信息领域中的应用与研究进展[J]. 农机化研究,2015(11):216-221.