

张书彦, 张文毅, 余山山, 等. 图像处理技术在信息农业中的应用现状及发展趋势[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(22): 9-13.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.22.003

图像处理技术在信息农业中的应用现状及发展趋势

张书彦, 张文毅, 余山山, 付宇超

(农业部南京农业机械化研究所, 江苏南京 210014)

摘要: 图像是人类感知世界的视觉基础, 是人类获取、传递和表达信息的重要手段。图像处理是通过计算机对获取的图像信息分析加工, 从而达到满足人的视觉或应用需求的行为。随着我国计算机科学的发展, 图像处理技术在信息农业中得到广泛应用, 它的发展对于农业信息化的提高具有重要意义。论述了目前图像处理技术在农业领域的研究进展及应用现状, 分析了应用中存在的技术难题, 对图像处理在农业中的研究进一步展望并提出了今后的发展趋势。

关键词: 图像处理; 信息采集; 研究现状; 发展趋势

中图分类号: S126; TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)22-0009-05

图像处理(image processing)是通过计算机对图像进行去除噪声、增强、复原、分割、提取特征等处理的方法和技术。20 世纪 20 年代, 采用数字压缩技术通过从伦敦到纽约的海底电缆传输了第一幅数字照片, 这标志着数字图像处理技术的开端。20 世纪 60 年代, 数字图像处理技术作为一门学科正式形成^[1]。图像处理技术能够帮助人们更加客观准确地认识世界, 具有再现性好、处理精度高、适用面宽、灵活性高、便于传输等优点, 已经被广泛应用到各个领域。图像处理技术在农业领域起步较晚, 近年来随着计算机多媒体技术的提高,

在农作物长势监测、病虫害草诊断、农作物自动收获、种子质量检测、农作物的缺素识别、农产品质量分级检测等方面有着广泛的应用。

1 图像处理技术在国内外信息农业中的应用现状

1.1 农作物长势监测

在农作物的整个生长过程中, 其长势是后期进行作物生产管理的关键因素。对农作物长势进行动态监测能够准确及时地了解空气温湿度、农作物的土壤肥力、作物生长信息以及植物的营养状况等, 便于后期对水、肥等及时进行管理, 保证农作物正常生长, 达到提高粮食产量的目的。

农业遥感技术起源于西方发达国家, 主要用于农作物大面积长势监测。农情遥感监测技术的研究最早始于美国。1974 年, 美国启动“LACIE”计划, 正式拉开了农情遥感监测发展的序幕^[2-3]。此后, 全球各地的 AGRISTARS、MARS、GLAM 等一系列计划进一步发展了各种农情遥感监测技术。

收稿日期: 2017-05-26

基金项目: 江苏省自然科学基金(编号: BK2011108); 公益性行业(农业)科研专项经费项目(编号: 201203059-3)。

作者简介: 张书彦(1993—), 女, 河南驻马店人, 硕士研究生, 主要从事农业机械化工程研究。E-mail: 1429162460@qq.com。

通信作者: 余山山, 硕士, 副研究员, 主要从事农业机械智能化与信息化技术研究。E-mail: yushanshan1109@sohu.com。

[33] 王荣, 贺锋, 肖蕾, 等. 不同级配基质方式下垂直流人工湿地净化效果及渗透性能研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(5): 969-975.

[34] 张毓媛, 曹晨亮, 任丽君, 等. 不同基质组合及水力停留时间下垂直流人工湿地的除污效果[J]. 生态环境学报, 2016, 25(2): 292-299.

[35] 熊元武, 王中玉, 何晨凤, 等. 城郭河曹庄煤矿塌陷坑人工湿地工程设计[J]. 中国给水排水, 2016, 32(8): 63-67.

[36] Leto C, Tuttolomondo T, la Bella S A, et al. Effects of plant species in a horizontal subsurface flow constructed wetland - phytoremediation of treated urban wastewater with *Cyperus alternifolius* L. and *Typha latifolia* L. in the West of Sicily (Italy) [J]. Ecological Engineering, 2013, 61(A): 282-291.

[37] Carballeira T, Ruiz I, Soto M. Effect of plants and surface loading rate on the treatment efficiency of shallow subsurface constructed wetlands[J]. Ecological Engineering, 2016, 90: 203-214.

[38] Armstrong J, Armstrong W. Rice: sulfide-induced barriers to root radial oxygen loss, Fe^{2+} and water uptake, and lateral root emergence [J]. Annals of Botany, 2005, 96(4): 625-638.

[39] 熊家晴, 杜晨, 郑于聪, 等. 植物和基质级配对水平流人工湿地处理污染河水的的影响[J]. 工业水处理, 2015, 08(8): 22-25.

[40] Cao W P, Wang Y M, Sun L, et al. Removal of nitrogenous compounds from polluted river water by floating constructed wetlands using rice straw and ceramicsite as substrates under low temperature conditions[J]. Ecological Engineering, 2016, 88: 77-81.

[41] Pedescoll A, Corzo A, Alvarez E, et al. The effect of primary treatment and flow regime on clogging development in horizontal subsurface flow constructed wetlands: an experimental evaluation [J]. Water Research, 2011, 45(12): 3579-3589.

[42] Menon R, Jackson C R, Holland M M. The influence of vegetation on microbial enzyme activity and bacterial community structure in freshwater constructed wetland sediments [J]. Wetlands, 2013, 33(2): 365-378.

[43] Shackle V, Freeman C, Reynolds B. Exogenous enzyme supplements to promote treatment efficiency in constructed wetlands [J]. The Science of the Total Environment, 2006, 361(1/2/3): 18-24.

[44] 张怡昕, 严清, 甘秀梅, 等. 模拟人工湿地中基质酶对 PhACs 的动态响应[J]. 环境工程学报, 2016, 10(6): 3330-3338.

1988 年,欧盟启动了 MARS 项目,开展农情遥感监测技术研究和系统建设^[4-5]。2003 年,俄罗斯农业部建设了全国农业监测系统,该系统主要获取耕地利用制图、作物轮作模式、耕地面积及作物生长状况等信息,它的运行依靠遥农业气象观测数据、地方农业委员会上报数据以及遥感数据^[6]。

中国早在 1979 年就开始关注农作物遥感估产的意义^[7]。1998 年,中国科学院初步建立了国家级农情监测系统^[8]。2000 年,吴炳方利用每旬的 AVHRR 最大 NDVI 图像与上年

同期对比实现了全国范围的农作物遥感长势监测^[8]。2011 年,刘峰等研发遥感数据与作物生长模型同化的作物长势监测系统。通过各种算法、模型和数据的有机结合,实现了基于极快速模拟退火算法的遥感数据与 CERES - Wheat 作物生长模型的同化原型系统构建。试验结果表明,同化 LAI 与实测结果能够较好地拟合,为遥感技术与作物模型的基础研究和应用提供了一个平台。来自农业部遥感应用中心的数据,图 1 为 2015 年 3 月上旬全国冬小麦主产区长势遥感监测图^[9]。

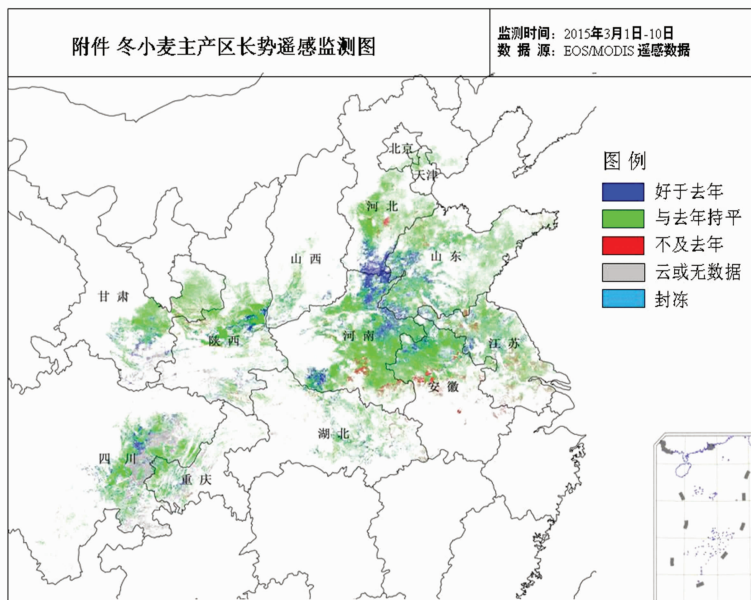


图1 2015 年 3 月上旬全国冬小麦主产区长势遥感监测

1.2 农田病虫害诊断

及时而准确地诊断出农田病虫害发生情况是作物高产稳产的关键环节。目测手查法是传统农业中最常用的检测病虫害的方法,该方法需要较繁琐的人工统计运算,费时费力,对从业人员的专业知识要求高,有些病害的早期症状十分相似,很难用目测区别,因此该方法不能满足病虫害监测及采取相应措施的实时性要求。基于图像处理的现代高科技检测技术与农业的有机结合为农业发展带来了新的动力,使得作物病虫害监测的实时性和准确性得到极大提升。图 2 所示为某单位研究人员用植物病虫害检测仪的检测结果。



图2 植物病虫害诊断

Chesmore 等研发了 1 种基于病害图像自动定位孢子实现黑麦草腥黑穗病菌孢子和小麦印度腥黑穗病孢子分类的系

统,能够通过病虫害图像测量其周长、表面积、最大(小)半径、圆形度和突起数及突起的大小等相关参数^[10]。El - Helly 等研发了 1 种可以自动检测叶片病斑的综合图像处理系统,该系统利用人工神经网络作为图像处理系统的分类器,能够准确快速地识别病害的类型,试验结果表明,该系统识别准确率高,对黄瓜白粉病、霜霉病等检测效果较好^[11]。

王树文等综合运用了人工神经网络技术和图像处理技术实现了黄瓜叶部病虫害检测,试验结果表明,识别精度可以达到 95.31%^[12]。彭占武等研发了 1 种基于图像处理和模糊识别技术的黄瓜霜霉病自动识别系统,原图像作预处理后能够准确地分离出病斑来,试验结果表明,该方法对于黄瓜霜霉病的识别效果较好,对黄瓜霜霉病叶片图像的平均识别准确率为 95.28%^[13]。

1.3 农作物缺素识别

农作物生长发育期所必需的营养元素有 16 种,主要包括碳、氢、氧、氮、磷、钾等。其中碳、氢、氧主要从空气和水中获取,其他营养元素则从土壤和肥料中吸收。作物缺乏营养元素会对生长造成很大的影响,比如,小麦缺少水分时叶片枯黄、植株矮小甚至会出现不长穗的情况,会导致严重减产。当作物植株缺氮时就会表现出生长缓慢、瘦弱、明显矮小、叶色发黄,严重缺氮时叶片变褐甚至死亡。微量元素在植物体中的含量虽少,但它对植物的生长发育起着不可替代的作用,它是植株体内酶或者辅助酶的组成部分,是植物生长发育所不可替代的。图 3 所示为南京土壤研究所对水稻氮素含量进行

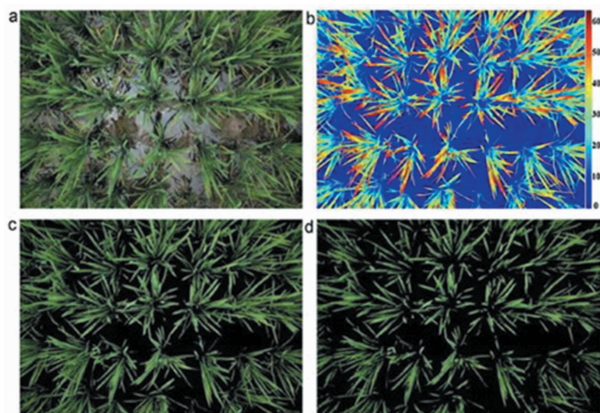


图3 农作物缺素检测

监测处理后得到的图像。

国际上微肥在农林牧业中的应用起源于 20 世纪六七十年代。进入 21 世纪以后,微肥在农业增产中的作用显著提高,因此受到了世界各国的普遍重视^[14]。Gautam 等利用人工神经网络技术构建输入量特征模型,研发出基于图像处理的空间域多光谱图像提取纹理特征系统;试验表明,该系统实用性较强,预测准确率高,对玉米的硝酸盐含量的预测效果较理想^[15]。

张彦娥等研发基于计算机视觉的温室作物营养状态诊断方法,在 RGB 和 HIS 模型下分析各分量与叶片含氮率、含磷率和含水率之间的相关特性,试验结果表明,绿色分量 G 和色度 H 与氮含量之间存在较好的线性相关关系^[16]。杨雪等综合利用图像处理和模式识别技术提出了 1 种植物缺素种类识别方法,将脉冲耦合神经网络用于植物叶片病斑分割中,与传统最大类间方差法对比,分割效果较好。最后,通过遗传算法对支持向量机参数进行优化提升了分类准确率,优化效果明显^[17]。

1.4 农作物自动收获

传统农业中主要以人工收获为主,效率低下,近年来,随着我国农业机械化水平的提高,各种农田收获机械应运而生。目前又出现了基于机器视觉的收获机、农业采摘机器人等高端智能化农业收获机械,使得我国农作物自动收获又上了一个新的台阶。图 4 所示为番茄采摘机器人在采摘番茄。



图4 番茄采摘机器人

国外对农业收获机械的研究起步较早,技术也相对成熟。Benson 等通过将摄像头安装在农用车上采集玉米地图像,将原图像滤波、分割、边缘化处理后,提取出农作物边缘信息,实

现玉米收获机自动导航,试验结果表明,检测效果比较理想^[18]。日本农业机械研究所 Hayashi 等研制了 1 台三目定位的可夜间工作的草莓采摘机器人,采用双目视觉系统定位果实空间坐标,第三目近距离获取茎秆位置信息,末端机械爪由机械手臂控制升降,可实现果实抓、摘、放等功能,试验表明,该机器人识别成功率和采摘成功率较好,每采摘 1 个果实平均耗时 11.5 s^[19]。

吕继东等研制了 1 种基于机器视觉的能够自动完成苹果果实采摘等作业任务的智能机械收获系统,提出了基于树形结构的平滑方向优先路径规划算法,实现了苹果采摘机器人在 C 空间的局部避障路径规划,试验表明,该方法能够顺利避开障碍物到达目标位置^[20]。徐建等研究玉米收获机器人路径识别算法,对玉米收获机器人行走垄行图像进行采集,试验结果表明,能快速、准确、实时地检测出玉米行走路径,便于精确收获^[21]。

1.5 农产品贮藏加工

农产品产地加工与储藏是农业生产链条中的关键环节,是保障农产品品质及丰产丰收的重要途径。随着我国农业产业信息化的快速发展,农产品贮藏与加工技术在农业生产中扮演着越来越重要的角色,人们已经开始探索基于图像处理的农产品贮藏加工技术。图 5 所示为利用机器视觉对农产品加工质量进行检测。



图5 基于机器视觉的农产品加工质量检测

Ling 等通过分析鲜虾图像的形态学特征和频谱特征确定切割加工的最佳位置,试验结果表明,如果每秒切割 2 只鲜虾,根据频谱特征确定的下刀位置的标准偏差在 2.8 ~ 4.6 mm 之间^[22]。MaConnell 等研究了利用机器视觉技术检测颜色来控制烘焙或烤制食品的质量,烘烤效果令人满意^[23]。

刘艳丽设计了 1 种基于图像处理的小麦粉精度自动检测装置,试验结果表明,该装置能够快速准确地检测出小麦粉精度^[24]。周林妹提出了 1 种可应用到农产品加工中的数字图像边缘检测算法^[25],为相关研究提供了理论基础。

1.6 种子质量检测

种子质量的好坏直接决定了作物的产量和质量,优质的种子是作物高产、稳产的首要前提。社会各界及广大农民越来越重视种子的质量,种子质量检验是保证种子质量的有效方法。种子检验是一项实践性较强的工作。图 6 所示为数字图像处理技术对水稻种子质量进行检测。

Hoffmaster 等研发了 1 种主要是针对大豆种子活力进行

评价的系统,当大豆幼苗生长到 33 d 时采集图像,处理后分析得出大豆种子活力及其活力指数,结果表明,该系统数据精确、可靠性较高,对大豆种子活力指数的测试效果理想^[26]。

李振等设计了 1 种基于机器视觉的蔬菜种子活力指数检测系统,试验结果表明,该系统与人工测量计算的种子活力指数相比准确度高达 92% 以上^[27]。孙宏佳等设计了 1 种基于机器视觉的花生种子自动识别的系统,该系统利用 LabVIEW 平台并结合图像特征提取算法得到,试验结果表明,本研究的花生种子自动识别系统能够快速、高效、准确地提取花生种子的特征数据,为批量精选花生种子提供依据^[28]。

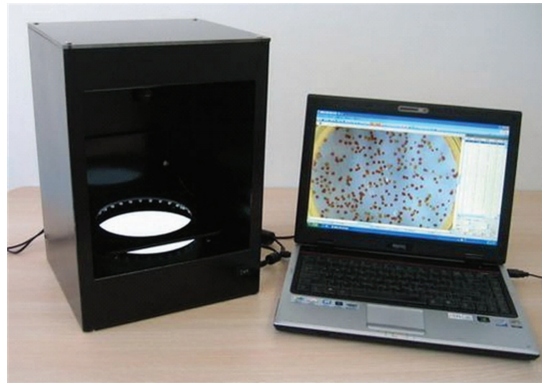


图6 水稻种子质量在线检测系统

1.7 农产品质量及分级检测

农产品分级检测是产品商品化的关键,直接关系到后期的经济效益。目前,用计算机图像处理技术对农产品品质检测与分级上的应用较多,主要包括对粮食、水果、蔬菜等的品质进行检测与分级。图 7 为基于机器视觉的水果分级检测机。

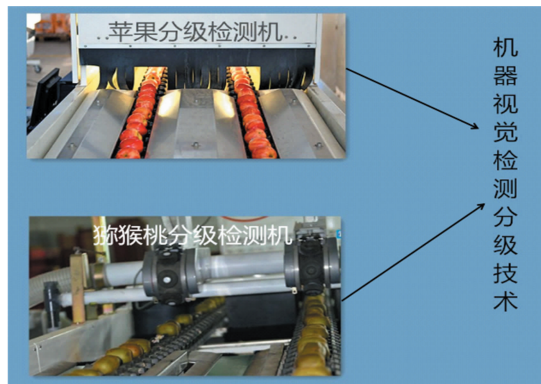


图7 基于机器视觉的水果分级检测机

美国成功研制的 Merling 高速高频计算机视觉水果分级系统已广泛应用于苹果、橘子、番茄等水果及其他农产品的分级中,其生产率约为 40 t/h。Thomas 等曾研究了 X 射线胶片成像技术应用于检测芒果内部的虫害,以分选好芒果和有虫害芒果^[29]。

王江枫等分析芒果质量与投影图像关系,确定图像算法,通过计算机视觉技术进行芒果果面坏损检测,试验表明,此方法对果面坏损分级准确率达 80%^[30]。陶凯提出了 1 种不同颜色光源下苹果分级的计算机视觉方法,研究结果表明,不同颜色光源对特征提取、特征选择和模式识别过程都有着显著的影响,选用合适的颜色光源与特征能够显著提高分级精度

和分级效果^[31]。

2 图像处理技术研究难题

图像处理技术在各领域得到了广泛应用^[32-33]。在农业方面相应地出现了一些新的方法和理论,并应用到生产实际中。由于农产品种类繁多、田间作业环境复杂等因素,目前图像处理在农业应用中仍存在诸多技术问题尚待解决。

2.1 快速精确地获取动态图像信息

在农产品质量分级检测、作物生长信息获取等一些农业研究方面,绝大多数研究的对象均是静态的农产品个体。但是,动态信息图像的采集技术也是衡量农业信息发展水平的一个重要指标。目前动态信息检测存在实时性差、信息延迟等问题,如何快速而精确地获取动态图像信息,仍是一个需要解决的难题。

2.2 研究实时并行处理算法

当利用计算机视觉技术对农产品的多个品质指标进行检测时,多数采用串行算法,影响了处理速度,因此,研究出能够实时并行处理的图像处理算法,能够大大提高效率。

2.3 提取多频图像特征

如何提取多频图像特征,以便检测依据灰度图像无法识别的某些参数的彩色图像也是今后的一个重要研究领域。

2.4 简化压缩与编码

图像压缩与编码技术是信息技术中最活跃的研究领域之一。图像编码压缩技术可减少描述图像的数据量,节省图像传输处理时间和减少所占用的存储器容量,但是现有的图像编码处理算法不完善,效率不高,因此探索高效图像编码处理算法将会是一项重要任务。

3 图像处理技术发展趋势

图像是人类获取和交换信息的主要来源,其应用领域必然涉及到人类生活的方方面面。随着科学技术的发展,图像处理技术的应用领域也将不断壮大,因此其技术水平也将会更深入、更完善地发展。其发展趋势主要体现在以下几个方面。

(1) 高速化、高分辨率、立体化、多媒体、智能化和标准化。未来数据图像技术更加强调向高清晰度、高速传输、实时处理、多维成像、智能化等方向发展。不仅计算机的速度要提高,而且 A/D 和 D/A 的转换也要实现实时化;要提高分辨率主要是得提高图形刷新存取速度;力争使计算机能够识别和理解能够按照人的认识和思维工作;建立图像处理技术的国际标准。

(2) 软硬件系统协同发展。硬件和软件是一个完整的计算机系统互相依存的两大部分。图像处理技术的应用需要一个具有良好硬件配置的计算机作为平台,而硬件系统的提高也是为了满足软件系统的需求。在许多情况下,计算机的某些功能既可以由硬件实现,也可以由软件来实现。因此,未来图像处理技术功能更加完善的前提是计算机系统软硬件协同发展,共同提高。

(3) 图形和图像朝着多维成像方向发展。三维成像技术目前已广泛应用于各个领域,比如计算机领域、医学领域等,未来图形和图像朝着多维成像方向发展。

(4)新理论和新算法的研究。图像处理科学经过多年的发展引入了许多新的理论,并提出了很多新的算法。理论走在实践的前面,已经是现代科学发展的标志。未来数字图像处理技术的实际运用要取得更多的发展,必然离不开理论和研究方法的创新。

(5)朝着虚拟现实发展。虚拟现实技术是一种可以创建和体验虚拟世界的计算机仿真系统。这项技术的发展是在计算机硬件技术的提高方面提出的,人们应用机器人身上的摄像机能够真实的感受到所在的环境,进而操纵机器人的行为。虚拟农业将农业科学与信息技术相结合,开辟了农业信息技术研究和应用的新领域,为农业技术人员提供更加方便快捷的用户体验,将会是今后农业信息发展的重要领域。

4 结束语

图像处理技术是一门多学科交叉融合的学科,它涉及到计算机、数学、人工智能等领域,它具有重要的理论意义和实际应用价值。现阶段,我国的图像处理技术在科技的推动下,取得了很大进步,再加上硬件技术的发展,使得数字图像处理技术的应用将会更加广泛。图像处理技术的发展关系到人们生活的方方面面,它对我们的影响程度是不可估量的。相信图像处理技术在今后会为我们带来更多新的惊喜。

参考文献:

- [1]陈汗青,万艳玲,王国刚. 数字图像处理技术研究进展[J]. 工业控制计算机,2013,26(1):72-74.
- [2]Macdonald R B. The LACIE symposium[C]//Lyndon B. Johnson Space Center, National Aeronautics and Space Administration. Houston:NASA,1979.
- [3]Hallum C R. Experiment design overview[C]//Proceedings of The Large Area Crop Inventory Experiment (LACIE) Symposium. Houston,Texas:NASA/JSC,1978.
- [4]ECJRC. The monitoring agricultural resources[EB/OL]. [2010-02-03]. <http://mars.jrc.ec.europa.eu>.
- [5]ECJR. MARS uniabouts[EB/OL]. [2010-02-05]. <http://mars.jrc.it/mars/About-us>.
- [6]GEO. Developing a strategy for global agricultural monitoring in the frame work of Group on Earth Observations (GEO) workshop report[R]. 2007.
- [7]袁超. 中国农地制度创新[J]. 农业经济问题,2000,21(11):45-47.
- [8]吴炳方. 全国农情监测与估产的运行化遥感方法[J]. 地理学报,2000,55(1):25-35.
- [9]刘峰,李存军,董莹莹,等. 基于遥感数据与作物生长模型同化的作物长势监测[J]. 农业工程学报,2011,27(10):101-106.
- [10]Chesmore D, Bernard T, Inman A J, et al. Image analysis for the identification of the quarantine pest *Tilletia indica* [J]. Eppo Bulletin,2003,33(3):495-499.
- [11]El-Helly M, El-Belagy S, Rafea A. Image analysis based interface for diagnostic expert systems [C]. Proceedings of the Winter International Symposium on Information and Communication Technologies. Trinity College Dublin,2004:1-6.
- [12]王树文,张长利. 基于图像处理技术的黄瓜叶片病害识别诊断系统研究[J]. 东北农业大学学报,2012,43(5):69-73.
- [13]彭占武,司秀丽,王雪,等. 基于图像处理和模糊聚类方法的黄瓜霜霉病识别研究[J]. 中国农机化学报,2013,34(2):212-216.
- [14]宁惠刚. 基于单片机的作物营养诊断专家系统研究[D]. 晋中:山西农业大学,2005.
- [15]Gautam R, Panigrahi S. Image processing techniques and neural network models for predicting plant nitrate using aerial images[J]. Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks,2003,2:1031-1036.
- [16]张彦娥,李民赞,张喜杰,等. 基于计算机视觉技术的温室黄瓜叶片营养信息检测[J]. 农业工程学报,2005,21(8):102-105.
- [17]杨雪. 基于数字图像处理的植株缺素种类识别技术研究[D]. 天津:天津理工大学,2015.
- [18]Benson E R, Reid J F, Zhang Q. Machine vision - based guidance system for agricultural grain harvesters using cut - edge detection [J]. Biosystems Engineering,2003,86(4):389-398.
- [19]Hayashi S. Evaluation of a strawberry harvesting robot in a field test [J]. Biosystems Engineering,2010,105(2):160-171.
- [20]吕继东. 苹果采摘机器人视觉测量与避障控制研究[D]. 镇江:江苏大学,2012.
- [21]徐建,杨福增,苏乐乐,等. 玉米智能收获机器人的路径识别方法[J]. 农机化研究,2010,32(2):9-12.
- [22]Ling R P, Searcy S W. Feature extraction for a machine - vision - based shrimp deheader [J]. Trans of the ASAE,1991,34(6):2631-2636.
- [23]MacConnell R K, Blau H H. Color classification of non - uniform baked and roasted foods[M]. Chicago,Illinois:Proceeding Soft the FPAC IV Comerence,1995:40-46.
- [24]刘艳丽. 基于图像处理的小麦精度自动检测[D]. 郑州:河南工业大学,2010.
- [25]周林妹. 数字图像边缘检测算法及其在农产品加工中的应用[J]. 食品与机械,2009,25(3):139-142.
- [26]Hoffmaster A L, Fujimura K, McDonald M B, et al. An automated system for vigor testing three - day - old soybean seedlings [J]. Seed Science and Technology,2003,31(3):701-713.
- [27]李振,廖同庆,冯青春,等. 基于图像处理技术的黄瓜种子活力指数检测系统设计[J]. 种子,2015,34(6):111-115.
- [28]孙宏伟,房国志. 基于机器视觉的花生种子自动识别的系统设计[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学,2014.
- [29]Thomas P, Kannan A, Degwekar V H, et al. Non - destructive detection of seed weevil infested mango fruits by X - ray imaging [J]. Postharvest Biology and Technology,1995,5(1/2):161-165.
- [30]王江枫,罗锡文. 计算机视觉技术在芒果重量及果面坏损检测中的应用[J]. 农业工程学报,1998,14(4):186-189.
- [31]陶凯. 不同颜色光源下苹果分级的计算机视觉方法[D]. 洛阳:河南科技大学,2012.
- [32]刘仲鹏,李文华. 基于图像处理和特征优选的玉米品质识别[J]. 江苏农业科学,2015,43(3):382-385.
- [33]李治宇,周岭,石长青,等. 基于图像处理-HSI颜色空间的木醋液对牛粪堆肥过程H分量模型探究[J]. 江苏农业科学,2016,44(1):399-403.