

农业自动化领域中计算机视觉技术的应用

何东健, 张海亮, 宁纪锋, 龙满生

(西北农林科技大学信息工程学院)

摘要: 计算机视觉技术的应用已扩展到农业自动化领域。该文介绍了计算机视觉系统的组成, 概述了国内外计算机视觉技术在农业生产自动化中的应用状况, 并对计算机视觉技术应用于农业自动化中存在的问题及发展前景做了概括。

关键词: 计算机视觉技术; 图像处理; 农业自动化

中图分类号: T29; S126

文献标识码: A

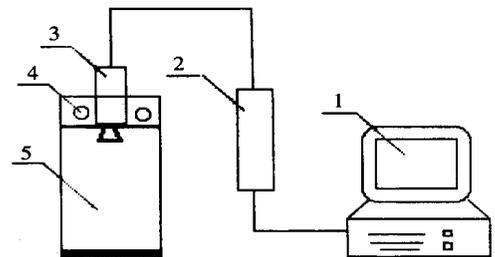
文章编号: 100226819(2002)0220171205

计算机视觉是指用计算机实现人的视觉功能, 对客观世界的三维场景的感知、识别和理解。计算机视觉技术是一个相当新且发展十分迅速的研究领域。近年来, 它的研究与应用已扩展到了工业、农业、军事等诸多领域, 并取得了一定成果。日本、美国等发达国家已在农业计算机视觉方面进行了广泛而深入的研究, 如农业种质资源管理、获取作物生长状态信息、农产品自动化收获、农产品品质鉴定等。为了充分利用国外的最新研究成果, 促进我国在该领域的研究与发展, 本文将对计算机视觉技术及其在农业生产自动化中应用的研究进展做一介绍。

1 计算机视觉技术

计算机视觉(Computer vision)又称机器视觉, 是研究用计算机模拟生物外显或宏观视觉功能的科学和技术。计算机视觉是多学科的交叉和结合, 涉及到数学、光学、计算机和信号处理等诸多学科。计算机视觉技术目前已广泛应用于各个领域如医学辅助诊断、气象、资源调查、灾害监测中的航拍和卫星图像的解释和分析、军事制导等。

一般的计算机视觉系统组成如图 1 所示。CCD 摄像机可以将所要识别、解释的对象以图像的形式记录下来。实质上, CCD 摄像机是一个光电传感器, 将反映对象、背景的光信号以电信号的形式记录下来。插入计算机内部的图像采集卡可以将摄像机采集的电信号转换为数字信号, 将图像数字化, 以便计算机对其进行各种必要的处理。光照系统为图像采集提供合适的照明, 以利于图像的处理和分析。



1. 计算机 2. 图像采集卡 3. CCD 摄像机
4. 光源 5. 光照箱

图 1 计算机视觉系统的组成

Fig 1 Computer vision system

2 计算机视觉技术在农业自动化中的应用

2.1 在种质资源检测中的应用

作物种子作为农业生产的基本要素, 在农业生产中占有极为重要的位置。计算机视觉技术在农业生产中应用后, 一些科研工作者开始研究计算机视觉技术在作物种子领域的应用。实践证明, 运用计算机视觉技术通过提取种子外形形状参数特征来进行各种分类和质量检测是非常有效的。

Zayas 等^[1-3]使用计算机视觉系统从小麦图片中提取出形态学特征参数, 应用这些特征区分小麦的品种及非小麦成分。他们使用了长度、宽度、朝向率和周长等其他形状参数来描述小麦麦粒的外形。

Zayas 等^[4]使用一系列形态学参数从破损的籽粒中提取出完整的籽粒。用 SAS 程序中的统计学判别函数来进行外形判别分析。结果表明, 玉米籽粒的形态学参数能够准确地将完整玉米从破损玉米中分离出来。但采用这些技术只有在时间极少限制或没有限制的情况下才是可行的。K. Liao 等^[5]提出了使用人工神经网络分类器的方法。他们从二值化图像中简化出一维数字信号来描述玉米外形, 通过分析玉米外形来选择形状参数, 并输入到机器学习算法

收稿日期: 2001212209

作者简介: 何东健, 博士, 教授, 博士生导师, 常务副院长 陕西杨凌, 西北农林科技大学信息工程学院, 712100, E-mail: hdj168@nw.suaf.edu.cn

中来训练完整籽粒相对于破损籽粒的形状成员函数。试验表明,对 720 粒完整扁平玉米的分类准确率达 99%,对 720 粒破损玉米的分类准确率达 96%,而对圆形玉米则分别是 91% 和 95%。

2.1.2 在自动化田间作业中的应用

目前,计算机视觉技术在农田作业的应用主要是在播种、施肥、农药喷洒、田间锄草、苗木嫁接和收获等农业机械或农业机器人上的应用。

2.1.2.1 作物行列识别

乌居辙等^[6]为了控制农用机器人在作物行间的行走,研究了一种能根据田间图像确定作物行与机器的相对位置的方法,该方法通过适当的二值化处理将色调和亮度两要素设定为二值化条件,通过二值化图像的压缩和滤波处理除去图像上的细小干扰,并通过从图像中央向左右两边巡查的方法检出边界点。利用两条边界线平行的特点,采用透视变换求得图像上无限远处的点和机器的自身位置及方向,从而控制机器人的行走,试验结果表明其导向精度可以达到实用要求。

为使插秧机器人跟踪苗列行走,需要进行秧苗的识别,渡边兼五等^[7]把一台摄像机安装在机器人的前面中间或把 2 台摄像机安装在机器人的前面两侧,采集图像时在摄像机镜头前面安装了滤光器以突出秧苗,试验结果表明,运用该研究中提出的亮度分割法,不管天气如何,均可利用在自然光下拍摄的图像自动识别出秧苗行列。

2.2.2 田间植保作业

为了从农作物秧苗间将杂草分离出来,以便后期精确喷施农药、化肥和除草,纪寿文、王荣本等^[8]进行了应用计算机视觉图像处理技术识别玉米苗期田间杂草的研究。采用计算机图像处理技术分析了玉米苗期田间杂草的特征量,识别出田间杂草并确定了杂草的位置和生长状况。研究中采用双峰法滤除了土壤背景,根据投影面积、叶长、叶宽识别杂草,并且根据杂草投影面积确定出了杂草密度。试验结果表明,此方法可有效识别出玉米苗期田间细长的单子叶杂草。

王荣本、纪寿文、初秀民等^[9]设计了基于计算机视觉的玉米施肥智能机器系统。该系统以我国北方地区大田玉米田间管理过程中化肥施放为研究对象,通过建立玉米生长过程中不同状态的图像数据库和实时采集的玉米生长状态图像信息,运用计算机专家决策系统,对何时、何地、施放多大剂量化肥做出科学决策,进而通过牵引车辆的自动引导和施放机械的自动控制完成施放作业。

国外, Giles D. K. 和 D. C. Slaughter 等^[10]研制

了一种能对成行作物实施精量喷雾的装置,结构如图 2 所示。该系统由计算机视觉导向系统控制喷头直接位于每行作物的上方,并能根据目标作物的宽度自动调节扇形喷头相对于前进方向的偏转角度,从而保证雾滴分布宽度与目标作物宽度相一致,以实现精密喷洒,减少农药的浪费和对环境的污染。经测定,与传统的喷雾方式相比,该系统可使用药量减少 66%~80%,目标作物上的雾滴沉降效率提高 215~317 倍,周围土壤的沉降量和空中漂移将分别减少 72%~90% 和 60%~93%。

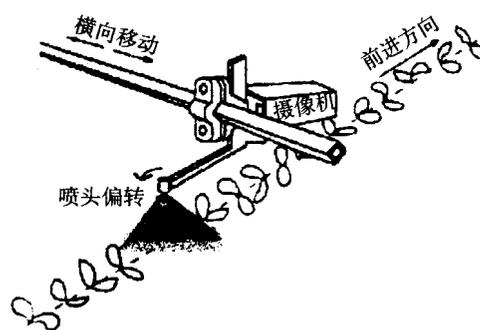


图 2 基于机器视觉的成行精量喷洒装置

Fig 2 Precision band spraying equipment based on machine vision

2.2.3 秧苗嫁接

目前,具有代表性的是日本设计和制造的单片子叶切断型的瓜苗嫁接机器人。该机器人在嫁接秧苗时需要 3 名操作人员辅助工作,其中两人分别挑选瓜苗和按一定的方向为机器人提供砧木和接穗用的秧苗,另一名操作人员把嫁接后的秧苗重新插入种盘中。为了提高瓜果秧苗嫁接机器人的自动化程度,保证嫁接质量,改善劳动条件,我国刘成良、王永红等^[11]研制了一套应用于瓜果秧苗嫁接机器人的视觉系统,该系统能判别秧苗品质和秧苗方向,使得瓜果秧苗嫁接机器人在保证质量情况下实现全自动化嫁接成为可能。

2.2.4 田间收获作业

计算机视觉技术应用于农产品自动化收获始于 20 世纪 80 年代中后期,是近年来最热门的研究课题之一。1996 年 Zhang Shuhai, Takahashi T 等^[12]通过模式识别来实现对苹果的检测、定位,进而可以自动采摘苹果。他们利用一种算法来实现对苹果的认识,对苹果树的原始图像进行滤波和边界提取。通过计算来确定与图形形状相关的苹果轮廓线。

在柑桔收获自动化方面, Slaughter D. C. 等^[13]首先研究利用室外自然光条件下拍摄的图像的颜色和亮度信息对柑桔收获机械手进行导向,建立了一个利用彩色图像中的颜色信息从桔树上识别桔子的

分类模型。该分类器从果园自然环境中识别桔子的正确率为 75%，识别桔子形心的误差率为 6%，速度基本能满足实际工作的需要，但精度较低。

国内周云山、李强等^[14]用计算机视觉技术在采摘器上对蘑菇进行识别。该系统主要由蘑菇传送带、摄像机、采摘机器人、三自由度气动伺服机构、机器人抓取控制系统和计算机等组成。采摘机器人由三自由度的气动伺服机构根据计算机视觉系统提供的信息传送到指定位置。抓取动作由抓取控制系统完成。当机器人到位后，机器人的橡胶吸盘通入压力空气把蘑菇投入盒中。计算机视觉系统为蘑菇采摘器提供分类所需的尺寸、面积信息，并引导机器人准确抵达待采摘蘑菇的中心位置，防止对不准，影响吸盘的密封，造成抓取失败或损伤蘑菇的现象。

2.3 在农产品分级和加工中的应用

2.3.1 农产品的分级

对农产品的品质鉴定及分级主要利用计算机视觉技术进行无损检测，获取农产品表面物理参数对农产品进行质量评估和分级。近 20 年来，对农产品检测的研究主要集中在水果、蔬菜等农副产品。

何东健等^[15]利用计算机视觉技术自动检测果实表面颜色和着色面积，将获取苹果彩色图像的 RGB 转换成 HLS 值，在研究苹果果实颜色特性的基础上，确定了用合适色相值下累计着色面积百分比进行颜色分级的方法。试验结果表明，除一等品外，各等级机器分级与人工分级的一致度均在 86% 以上。同年，何东健等^[16]在分析果实表面颜色色相分布特性的基础上，提出将果实色相分布曲线作为模式处理，用人工神经网络进行果实表面颜色分级的方法。结果表明，人工神经网络分级与人工分级的一致度在 94% 以上。赵静、何东健^[17]等在综合分析果实形状的基础上，提出用 6 个特征参数表示果形，并将参考形状分析法用于果形判别，利用人工神经网络对果形进行识别和分级。结果表明，用提取的特征参数和果形识别技术，计算机视觉与人工分级的平均一致率在 93% 以上。宁纪锋、何东健^[18]等利用图像形态学运算方法实现了对球形果实缺陷和形状的检测，试验中发现如果把优等品和一等品作为一个级别，二等品和等外品作为一个级别，综合分级准确率达 9415%。龙满生、何东健^[19]等针对目前的大多数果实分级系统只具有单一品质检测与分级功能的缺点，充分利用计算机视觉技术和人工神经网络技术，建立了以果实形状、颜色和缺陷为判别依据的苹果外观品质综合分级系统。试验结果表明，该系统能够实现对苹果综合外观品质的正确检测与分级，准确率达 9018%。

Sarkar N. 和 R. R. Wolfe^[20]利用数字图像分析和模式识别技术研究了一种用于新鲜市售西红柿的定向和根据尺寸、形状、颜色和表面缺陷分类的特殊算法，提出利用计算西红柿的 8 邻域链码边界的曲率来描述西红柿的形状。噪声过滤器被用来增强根据阈值进行颜色分级的图像，用灰度梯度曲线确定西红柿的方向及花萼和缺陷的位置，并研制成功了一种具有定向机构和合适的照明装置的计算机视觉市售西红柿品质分级装置。

张书慧、陈晓光^[21]等设计了苹果、桃等品质检测与分级图像处理系统，通过建立图像数据采集与分析系统及相关的农副产品图像数据库，实现对农副产品品质（表面颜色、形状、缺陷）的准确分级。使用该系统，对 100 个富士苹果进行质量分级检测，优等果准确率达到 96%。对其他农副产品也可以通过建立其样本图像数据库，进行多种信息的综合分析判断，实现对不同农产品品质的检测与分级。

质量评价是蚕豆商业化前的一个重要步骤。Y. Chtioui, S. Panigrahi, L. F. Backer 等^[22] (1999 年)提出了用 ROUGH SETS THEORY 作为模式分类工具通过计算机视觉技术来评价蚕豆品质的方法。这一理论提出用两种不同的离散方法来区分合格、破损、过小、异类蚕豆和石头。利用从彩色图像中提取的 35 个特征参数进行分类，分类结果与判别分析统计分类结果相比有较好的一致度。模拟实验表明，该理论的分类方法与离散间隔数有很大关系。

黄星奕、吴守一等^[23]通过对胚芽米的颜色特性和彩色图像的分析，提出以饱和度 S 作为特征参数进行胚芽和胚乳识别的方法，以实现大米留胚率的计算机视觉自动检测。用建立的识别指标和方法进行试验，结果表明，计算机视觉系统识别结果与人工检测吻合率达 88% 以上。

2.3.2 农产品的加工

长期以来，品质自动化检测和反馈控制一直是难以实现农产品加工完全自动化的关键问题。随着计算机视觉技术的发展，人们已经开始探索计算机视觉技术在农产品加工自动化中的应用。为了鲜虾去头加工的自动化，Ling P. P. 等^[24]研究了鲜虾图像的形态学特征和频谱特征，发现根据频谱特征确定下刀位置较有效，在每秒处理 2 只虾的情况下，以频谱特征为依据所确定的下刀位置的标准偏差为 218~416 mm。

Tao Y. 等^[25]研制成功了基于计算机视觉的鸡肉中的骨头碎片及污染物的无损检测设备，并探索出了一种将 X 射线成像技术与激光三维成像技术相结合的方法，该方法可以大大提高系统快速、准确

地检测骨头碎片及污染物的能力。

另外,为了保证食品加工过程中所用容器的质量,计算机视觉技术开始应用于这一领域。铝制饮料罐具有便于储运和销售等优点,但它们容易起皱褶和凹陷,从而影响强度和外观质量。因此,在罐装饮料前,必须把有皱褶和凹陷的罐体检出。1995年,Seida S 等^[26]经过研究发现,计算机视觉技术是检测饮料容器质量的可行技术。

2.4 在设施农业中的应用

互联网最大特点之一,就是能够在最低限度的通讯约束下,高度自由地加以利用。Internet 技术的发展为各个领域学科的进步注入了无限活力。农业领域也不例外。

东京农工大学河野司等^[27]开发了静止图像 WWW 实时获取系统,它由摄像机支持系统和数据库支持系统两个子系统组成。摄像机服务器自动采集图像,数据库服务器则向用户提供已采集的图像。摄像机支持系统使 WWW 用户能够控制摄像机的方向和焦距,并实时获得静止图像;数据库支持系统与摄像机支持系统协调工作,将定期自动获得的田间图像以 WWW 数据库的形式提供给用户,用户可以根据拍摄时间进行检索,参考自动获取的图像。其组成部分如图 3 所示,摄像机系统服务器在计算机上安装有视频采集卡,它可将模拟视频信号转换成数字图像信号。通过计算机串口,用户机可以改变摄像机的方向(旋转、仰角)和镜头变焦,从而获得不同角度和不同大小的图像。该系统可按预先设定的时间、摄像机方向和镜头倍数获取图像,并将获取的图像保存在磁盘上,自动生成图像数据库。存放在数据

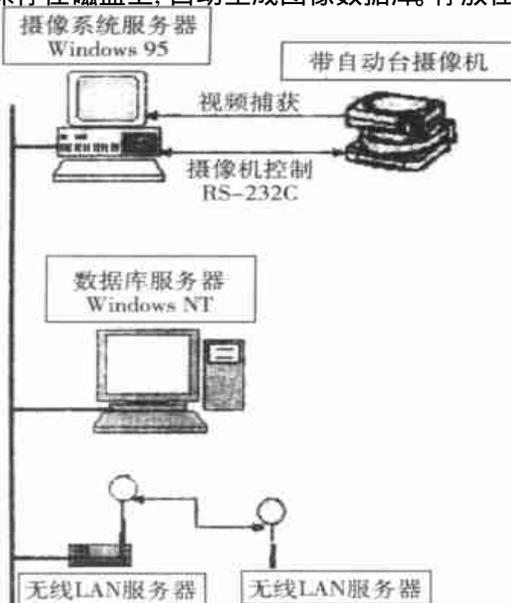


图 3 WWW 田间图像获取系统

Fig 3 Field image acquisition system on WWW

库服务器上的图像,供 WWW 上的用户检索,一般,图像采集期间也可进行检索。试验中将西红柿、水稻放置在摄像机前获取其图像,并通过互联网观察其生长情况,结果表明,从 320×240 大小的图像中,可以详细地观察作物的开花、结果、成熟、腋芽、分蘖、抽穗及病害情况,画面质量能满足作物生育诊断要求。特别是用户还能够根据需要调节摄像机的拍摄方向和镜头变焦。本系统多用于记录作物生长情况和环境变化情况,如果结合气象信息,该系统可作为生长诊断系统的信息库而被广泛应用。

3 结 语

随着超大规模集成电路技术和计算机结构、算法的发展,数字图像处理技术不仅在医学、气象、航空航天等领域广泛应用,而且在农业生产和农业现代化方面也已开始应用。尽管发达国家在此领域已进行了不少研究,仍有许多技术难题还未解决,需进一步深入研究。如:

1) 在农产品自动分级及品质检测中,目前绝大多数研究的对象均是静态的农产品个体,效率较低。如何快速动态地获取农产品图像信息并对其进行必要的分析,还是一个尚未解决的难题。

2) 在计算机视觉技术对农产品的多个品质指标进行检测时,大多采用串行算法,这大大影响了处理速度,急需研究农产品品质自动识别中所需的多种图像处理算法的并行实时处理方法,以提高效率。

3) 在部分实际应用中,仅仅依据灰度图像是无法检测某些参数的,彩色图像、多频图像可能更容易进行特征识别。因此,计算机视觉技术系统图像采集需要配置特殊的光照系统。

4) 由于田间作业环境的复杂性,作物识别的准确性和快速性仍需提高。

5) 计算机视觉技术在设施农业、虚拟农业中的应用在我国尚处于起步阶段,应进一步加强、加快该领域的研究与应用。

[参 考 文 献]

- [1] Zayas I, Lai F S, Pomeranz Y. Discrimination between wheat classes and varieties by image analysis [J]. Cereal Chemistry, 1986, 63(1): 52~ 56
- [2] Zayas I, Pomeranz Y, Lai F S. Discrimination between arthur and arkan wheats by image analysis [J]. Cereal Chemistry, 1985, 62(2): 478~ 480
- [3] Zayas I, Pomeranz Y, Lai F S. Discrimination of wheat and nonwheat components in grain samples by image analysis [J]. Cereal Chemistry, 1989, 66(3): 233~ 237.

- [4] Zayas I, Converse H, Steele J. Discrimination of whole from broken corn kernels with image analysis [J]. Trans of the A S A E, 1990, 33(5): 1642~ 1646
- [5] Liao K, Paulsen M R, Reid J F, et al. Corn kernel breakage classification by machine vision using a neural network classifier [J]. Trans of the A S A E, 1993, 36(6): 1949~ 1953
- [6] 乌居辙, 冈本嗣男, 高见尺晓, 鹿沼隆宏. 画像処理による作物列検出および自己位置同定(第2报)——もう一つの境界线検出法と自己位置同定[J]. 农业机械学会志, 1997, 59(8): 37~ 44
- [7] 渡边兼五, 陈兵旗, 东城清秀, 等. 田植%oE % visualに関する研究(第1报)——画像処理による目标苗の検出[J]. 农业机械学会志, 1997, 59(8): 49~ 55
- [8] 纪寿文, 王荣本, 陈佳娟等. 应用计算机图像处理技术识别玉米苗田间杂草的研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(2): 154~ 156
- [9] 王荣本, 纪寿文, 初秀民等. 基于机器视觉的玉米施肥智能机器系统的设计概述[J]. 农业工程学报, 2001, 17(2): 151~ 153
- [10] Giles D K, Slaughter D C. Precision band spraying with machine vision guidance and adjustable fan nozzles [J]. Trans of the A S A E, 1997, 40(1): 29~ 36
- [11] 刘成良, 王永红, 曹其新等. 秧苗嫁接机器人视觉与识别的研究[J]. 农业工程学报, 2001, 32(4): 38~ 41
- [12] Zhang Shuhai, Takahashi T, et al. Studies on automation of work in orchards (part 1). Detection of apple by pattern recognition [J]. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 1996, 58: 1, 9~ 16
- [13] Slaughter D C, Harrell R C. Discriminating fruit for robotic harvest using color in natural outdoor scenes [J]. Trans of the A S A E, 1989, 32(2): 757~ 763
- [14] 周云山, 李 强等. 计算机视觉在蘑菇采摘机器上的应用[J]. 农业工程学报, 1995, 11(4), 27~ 32
- [15] 何东健, 杨 青, 薛少平等. 果实表面颜色计算机视觉分级技术研究[J]. 农业工程学报, 1998, 14(3): 202~ 205
- [16] 何东健, 杨 青, 薛少平等. 用人工神经网络进行果实颜色分级技术研究[J]. 西北农业大学学报, 1998, 26(6): 109~ 122
- [17] 赵 静, 何东健. 果实形状的计算机识别方法研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(2): 165~ 167
- [18] 宁纪锋, 何东健, 张海亮等. 基于图像形态学的球形果实品质检测研究[J]. 农机化研究, 2001(3): 28~ 29
- [19] 龙满生, 何东健, 宁纪锋. 基于遗传神经网络的苹果综合分级系统[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2001, 29(6): 108~ 111
- [20] Sarkar N, Wolfe R R. Computer vision based system for quality separation of fresh market tomatoes [J]. Trans of the A S A E, 1985b, 28(5): 1714~ 1718
- [21] 张书慧, 陈晓光, 张晓梅等. 苹果、桃等农副产品品质检测与分级图像处理系统的研究[J]. 农业工程学报, 1999, 15(1): 201~ 204
- [22] Chtoui Y, Panigrahi S, Backer L F. Rough sets theory as a pattern classification tool for quality assessment of edible beans [J]. Transactions of the A S A E, 1999, 42(4): 1145~ 1152
- [23] 黄星奕, 吴守一, 方如明等. 计算机视觉技术在大米胚芽识别中的应用[J]. 农业机械学报, 2000, 31(1): 62~ 65
- [24] Ling P P, Searcy S W. Feature extraction for a machine vision based shrimp deheader [J]. Trans of the A S A E, 1991, 34(6): 2631~ 2637
- [25] Tao Y, Wen Z. Item defect detection apparatus and method [J]. United States Patent Pending, 090046, 270, 1998
- [26] Seida S, Franke E. Unique applications of machine vision for container inspection and sorting [A]. Chicago, Illinois: Proceedings of the FPAC IV Conference [C], 1995. 102~ 108
- [27] <http://www.jsai.or.jp/english/GMmain.html>

Application of Computer Vision Technique to Automatic Production in Agriculture

He Dongjian, Zhang Hailiang, Ning Jifeng, Long Mansheng
(College of Information Engineering, North West SciTech University of
Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China)

Abstract: The application and research of computer vision technique have been developed very quickly. It has expanded to the field of automatic manufacture and has gained some achievements. This paper introduces the system of computer vision, reviews the application of computer vision in automatic production of agriculture. Finally, the paper summarizes up the main difficulty and prospect.

Key words: computer vision; image processing; automatic production of agriculture