

机器视觉技术在烟草行业的应用状况

刘朝营¹, 许自成¹, 闫铁军²

(1. 河南农业大学烟草学院, 郑州 450002; 2. 湖北中烟工业有限责任公司, 武汉 430052)

摘要:机器视觉技术是一种基于计算机技术和图像处理技术的新型学科,近年来其研究与应用已扩展到农业领域并在许多方面取得了进展。概述了机器视觉技术在烟草农业(无损测量叶面积、测定鲜烟叶含水量、判定烟叶田间成熟度、烟叶烘烤与分级)和烟草工业(智能剔除烟草异物、片烟规格检测、烟制品包装和烟草工业机器人)中的应用,并讨论了该技术在应用中存在的有关问题。以期为加速我国现代烟草农业进程,提升烟草企业市场竞争力奠定基础。

关键词:机器视觉技术;烟草农业;烟草工业;应用

doi:10.3969/j.issn.1008-0864.2011.04.12

中图分类号:TP391.4,S572

文献标识码:A

文章编号:1008-0864(2011)04-0079-06

Application Status of Machine Vision Technology in Tobacco Industry

LIU Chao-ying¹, XU Zi-cheng¹, YAN Tie-jun²

(1. College of Tobacco Science, He'nan Agricultural University, Zhengzhou 450002;

2. Hubei Zhongyan Tobacco Industry Co. Ltd., Wuhan 430051, China)

Abstract: Machine vision technology is a new discipline based on computer technology and image processing technique. Nowadays, its research and application have expanded to agricultural fields and made progress in many areas. This paper summarized the application of machine vision technology in tobacco agriculture (non-destructive measurement of tobacco leaf area, determination of fresh leaf moisture content, maturity assessment, application in tobacco curing and grading) and tobacco industry (intelligent foreign matter removal, specifications detection of tobacco leaf chips, tobacco products packaging and tobacco industrial robot), and discussed some related problems in the application of this technology. Those were expected to provide basis for accelerating the development of modern tobacco agriculture and advancing the market competition ability of tobacco corporations.

Key words: machine vision technology; tobacco agriculture; tobacco industry; application

机器视觉,即采用机器代替人眼来做测量和判断。美国制造工程协会(society of manufacturing engineers, SME)机器视觉分会和美国机器人工业协会(robot institute of America, RIA)自动化视觉分会关于机器视觉的定义是:“机器视觉是通过光学器件进行非接触感知,自动获取和解释某个真实场景的图像,以获取信息和(或)控制机器或过程”^[1]。机器视觉是一门涉及人工智能、神经生物学、心理物理学、计算机科学、图像处理、模式识别等多个领域的交叉学科^[2],具有快速、

准确、无损的测量特点。

机器视觉技术的发展开始于20世纪60年代的统计模式识别,近年来在农业领域中得到了广泛研究和应用,并取得了巨大的经济与社会效益。中国是烟叶种植和烟草制品的消费大国,机器视觉技术在烟草农业以及烟草工业中的应用日益得到关注,这对于加速烟草的现代化建设是很有意义的。根据前人的研究和实验结论,本文对机器视觉技术在烟草行业中的应用作了概述。

收稿日期:2011-03-20;接受日期:2011-05-30

基金项目:中国烟草总公司科技攻关项目(110200801030;110200801019)资助。

作者简介:刘朝营,硕士研究生,主要从事烟草营养与质量评价。E-mail:ley.371@gmail.com。通讯作者:许自成,教授,博士,主要从事烟草品质生态与质量评价研究。E-mail:zcxu@sohu.com

1 机器视觉技术在烟草农业中的应用

1.1 测量烟叶面积

叶片是烟株进行光合作用和蒸腾作用的主要器官,其发育状况和叶面积大小对作物生长发育、抗逆性及产量形成的影响很大^[3]。烟叶叶面积测量方法较多^[4],如称重法、回归方程法、叶面积仪法等,但这些方法均各有利弊。称重法必须进行离体测量,容易对植株的生长造成影响,不能实现对一株植物进行连续的生长测量;回归方程法对于不同品种、不同生育期回归参数均有差异,所以测定叶面积需按品种、生育期选用不同参数,过程繁琐;而叶面积仪法虽快捷、精度高,但其价格昂贵,不宜在生产中广泛应用,故传统方法不能对叶面积进行实时、无损的测量。

随着机器视觉技术的日益成熟,利用其测量烟株的叶面积可以较好的满足这一要求。徐贵力等^[5]通过将作物叶片伸入光照箱中来进行叶面积无损测量,并与传统叶片面积的测量方法进行了对比,结果表明利用基于机器视觉技术的参考物法测量叶片面积是一种快捷且精度较高的方法,但该方法缺乏灵活操作性。蔡健荣等^[6]在采集烟叶图像过程中,采用了标准白板做样板,通过手动调节摄像机的光圈控制亮度,在每次检测前作标定,换算出补偿系数,并通过软件在采集数据时作补偿,以克服漫反射光源箱内的光照强度和光线不均匀对图像采集的影响,使机器视觉技术在烟叶图像采集应用过程中更加接近实际状态。马文杰等^[7]通过研究在灯箱中采集烟叶图像时不同成像环境因素对图像识别结果的影响,用相对颜色法对由于成像环境因素引起的烟叶图像颜色变异进行实时校正,得出了照明电压、不同品牌数码相机、相机分辨率相同而聚焦距离不同均可使烟叶图像产生颜色变异、出现识别误差的结论,为规范烟叶的数字图像采集环境提供了基础。

1.2 测定鲜烟叶水分含量

水分占鲜烟叶总重量的 70% ~ 90%,是鲜烟叶内含量最多的物质,鲜烟叶含水量是决定烟叶烘烤模式和制定烟叶合理烘烤工艺的重要依据,也是反映烟叶烘烤特性的重要因素。

国内外对于烟叶含水量的研究多集中在烘烤或晾晒后烟叶。调制后烟叶含水量的测定方法很

多,如烟丝水分测量仪和红外水分测定仪等,虽然快捷,但是仪器成本太高,在实践中易受到诸多条件因素的限制。甘露萍等^[8]通过在日光条件下采集鲜烟叶图像,并用 Matlab 软件进行图像分割算法研究,提取了烟叶含水量综合评价指标,然后用三标度 AHP 法(analytic hierarchy process,层次分析法)对指标综合排序。分析结果表明:叶片宽和叶面积以及纹理均值对于烟叶含水量影响的权重高于颜色指标,因此在应用中,可以将这 3 个特征值输入神经网络模型进行含水量检测。在一定照度(2500Lux)的室外自然光条件下对新鲜烟叶进行图像采集,并采用 Matlab 软件进行图像预处理、分割与设计特征提取算法,提取能反映烟叶水分含量的有效特征值,利用特征值样本数据库完成烟叶含水量 Elman 神经网络模型的构建,并由构建的含水量模型去预测样本含水量。结果表明,烟叶含水量与预测值相对误差在 10% 以内,预测精度可达 90.4%。证明采用机器视觉与图像分析技术来预测鲜烟叶含水量的方法是行之有效的^[9]。

1.3 判定烟叶田间成熟度

烟叶采收成熟度是生产优质烟的中心环节,是烤好烟叶的先决条件之一^[10]。判定田间烟叶是否成熟,在很大程度上是依据烟叶的外观特征与色泽而定。而烟叶成熟过程中颜色的变化,实质上就是叶组织内总叶绿素以及类胡萝卜素占总叶绿体色素含量比例变化的外观反映^[11]。运用数字摄影技术提取烟叶成熟期图像,并使用图像分析技术提取烟叶叶绿素颜色特征值,结果表明,利用颜色特征参数 $B/(R+G)$,色度坐标 b 可以得到适合于烟草成熟期叶片叶绿素的颜色特征估算模型,在进行精度检验时相关系数均达到 0.767 以上,说明该模型具有较高的拟合精度和较强的实用性,可以作为测定叶绿素含量的一种方法,用来指示鲜烟叶的叶色,从而判断烟叶成熟度状况^[12]。

1.4 用于烟叶烘烤

目前,烟叶烘烤主要依赖于专家经验等人为主观判定,而不同烘烤人员对于烟叶烘烤的认识与理解有差别,这是造成烟叶烘烤差异的主要原因之一。有效地减少烘烤中的主观差异,提高烟叶烘烤质量、降低烟叶烘烤成本,是今后烟叶烘烤

的研究方向之一。

鲍安红等^[13]通过采集烟叶在烘烤过程中的物理性状信息,并结合专家经验制定了基于机器视觉技术的烟叶烘烤策略,以对烟叶烘烤进行实时调整,烘烤结束后,经专家测试确认,该烘烤工艺烟橘色烟比例为 42%,高于传统的烘烤橘色烟比例,说明该法对提高烟叶烘烤质量具有一定作用。

1.5 在烟叶分级中的发展与应用

传统的烟叶分级过程是由专业分级人员依据烟叶分级标准以及烟叶外观质量特征对烟叶进行分级^[14]。分级对人的感官和经验依赖性大,因而时常不能客观地反映出收购烟叶的真实质量。利用机器视觉技术,提取烟叶外观质量特征,实现烟叶分级指标从定性描述到定量描述的转变,建立烟叶自动等级识别系统,是烟叶分类数据挖掘的一个重要研究方向^[15]。

机器视觉技术在国外发展较早,1988 年美国 Thomas^[16]首先提出将图像处理应用于烟草及其相关产品的检测;津巴布韦大学的 MacCormac^[17]、韩国的 Cho 和 Pake^[18]对于如何利用机器视觉技术提取烟叶表面特征以对其等级进行自动识别进行了初步探索。近年来,国内也开始了应用机器视觉技术进行烟草分级的研究。从 1994 年开始,吴守一教授和方如明教授领导的研究小组对于烟叶外观品质特征的提取、描述与定量检测并基于烟叶外观特征实现烟叶自动分级进行了初步的探索和尝试^[19,20]。

蔡健荣等^[21]利用机器视觉技术开发了烟叶质量分选系统,提取了 180 个烟叶特征参数,并利用人工神经网络对多个地区的烟叶进行学习和分类,其检测准确率均在 80% 以上,半数地区检测准确率在 90% 以上,证明该系统对于烟叶分类具有较高的应用价值。张建平^[22]应用计算机图像处理技术和色度学理论,研究了烟叶外观品质特征如颜色、叶形、叶面等的提取以及外观特征的定量描述与检测方法,为应用机器视觉技术研究烟叶分级提供了依据。张帆等^[23]基于计算机图像处理技术,利用人工神经网络技术和模糊数学的方法对烟叶分级进行了研究,并建立了相关模型,证明了该技术用于烟叶分级的可行性。此外,他们通过研究得出,在生产中运用 RGB 色彩体系提取烟叶颜色外观指标比 CIE1931、HSI、Munsell

色彩体系更易于实现,且应用模糊数学、模式识别、数字图像处理、模糊集等理论与相关技术可以较好的解决烟叶自动分级问题^[24~26]。韩力群等^[27]在探索应用智能模式识别技术对烤烟烟叶进行自动分组与分级等方面做了很多工作,如应用图像处理技术和人工智能方法提出了一种借鉴生物脑信息处理结构的烤烟烟叶智能分级系统,应用该系统进行烟叶分级实验的结果与分级专家分级结果的平均一致率可达 85%。张惠民等^[28]基于烤烟烟叶图像特征,建立了烟叶分级系统模型,并对模型库进行了优化,根据烟叶等级空间满足高斯分布,构造了隶属函数,以此来计算烟叶特征对等级的隶属度,利用系统针对模糊知识库的模糊推理,确定烟叶模式的可信度,并通过试验分析了烤烟烟叶分级系统(flue-cured tobacco grading system, FTGS)的性能和有效性。

2 机器视觉技术在烟草工业中的应用

机器视觉系统可以快速获取大量信息并自动进行数据处理,易于同生产中其他板块信息相集成,在提高生产的柔性和自动化程度方面有很大的优势。在一些不适合人工作业的危险环境或人工视觉难以满足要求的场合,常用机器视觉替代人工视觉;在大批量工业生产过程中,用机器视觉系统检查产品质量有速度快、精度高的优点,可以大大提高生产效率和生产自动化程度。

2.1 智能剔除烟草异物

烟叶的质量和纯度影响香烟的口感和品质^[29]。烟草中的异物不仅影响香烟质量,而且损害企业信誉。目前,在国内烟草行业中,绝大多数烟草厂家在制丝生产线中仅仅采用金属探测仪检测并去除烟叶中的金属物,对麻绳、纸片、小石块、土块、霉变烟叶及漏网的金属物还没有十分有效的检测手段和剔除方法。而国外进口的光学分拣设备存在价格昂贵、售后服务难且不易及时到位等问题。基于机器视觉技术,建立了标准颜色库和典型异物库,通过异物颜色过滤法的应用,使总体异物剔除率达到了 90% 以上^[30]。杨允^[31]在对烟草异物智能分拣系统学习和研究过程中,通过对图像进行分割处理同时引入了图像预处理方法,提高了图像的处理和异物识别能力。经测试,在异物单独测试的情形下,该系统对各种异物,尤

其是尺寸较大的异物具有较高的识别率和剔除率,可达95%以上,在混和烟草的情况下可以达到89.7%,误剔率小于1%,均达到了验收标准。该研究成果已经成功地应用到企业烟草剔除系统上,并取得了良好效果。

2.2 用于打叶后片烟规格检测

打叶后片烟面积的大小直接影响烟丝的质量,在生产过程中需要对其进行准确、快速的检测,以便及时调节工艺参数,提高打叶质量。目前采用的测量方法是对打叶后的片烟进行人工采样、筛选分级、称重,再计算每个面积段片烟所占比例,该方法实时性差,无法及时指导在线生产。魏泽鼎等^[32]通过研究表明,在打叶复烤过程中利用机器视觉技术获取打叶后片烟数字图像,分析处理后可得到片烟的面积规格参数,为打叶工艺参数的调整提供了依据,使打叶机组快速做出调整。与人工称取样统计相比,该方法存在个别卷曲的片烟有时难以铺开、不能完全进入成像区的片烟被当作较小片烟处理等问题,从而造成测量误差,需要采取边界补偿和数据校正等措施加以处理。

2.3 用于烟制品包装

机器视觉检测系统通常采用 CCD (charge coupled device) 照相机摄取检测图像,将其转化为数字信号,通过对图像数字信号进行处理、判断,从而控制现场的设备动作^[33]。在烟制品包装中的应用主要有以下几种:

①小包外观包装质量检测^[34,35]。提取烟包图像并将其转换成数字图像信号,传送给专用的图像处理系统,根据像素分布和亮度、颜色等信息,转变成数字化信号,图像系统对这些信号进行各种运算来抽取目标的特征,然后根据结果来控制剔除阀或报警装置的动作,实现在高速的运转机器上对烟包进行全面质量监控,有效避免错牌、翘边、露白、底边开胶、反包、破损、变形等情况发生。

②条包外观包装质量检测^[34]。条包香烟生产的过程中,主要对条盒包装质量、透明纸包装质量及拉带包装质量进行测量,在卷烟包装机的出口或装封箱机的入口安装智能图像采集系统,通过对条包多个面的在线检测,对每个面的特征点进行阈值灰度分析、特征识别算法,综合分析各个

智能相机的特征识别结果,通知剔除装置剔除不合格条包。

③烟支外形方面的检测^[35]。高速卷烟机生产速度很快,烟支检测系统是香烟包装机中不可缺少的包装质量控制部件,它检测香烟小包中缺支、缺嘴、空头、反支等情况,确保香烟品质。烟支外形的检测应用主要是为了保证烟支盘纸在生产过程中能够准确完好的覆盖烟支表面,钢印位置无偏差,从而保证单支烟的质量。

④防伪码的识别^[34]。喷码技术是指在烟制品的各种包装(小包包装、条装、纸箱)上喷印编号、有效期、批号、徽标、品名等各种信息,在烟制品制造中应用广泛。防伪码的检测主要集中在小包透明外层包装纸的防伪码检测和条包香烟的防伪码检测两方面进行。

⑤封签错位和缺失检测^[34]。软包香烟的顶部封签是作为香烟的相关信息的一个标识,在香烟包装的过程中,应确保封签的位置是对的,并且不能缺失,需要一个检测装置来进行实时监控,保证每一盒香烟的封签质量。而机器视觉技术具有设置简单、图像灰度分析功能强大、灰度识别的范围大的优势,能够实现对不同厂家香烟的封签识别,提高了包装机工作的稳定性。

机器视觉技术应用于烟制品包装可以保证高速、自动化卷烟包装生产的顺利进行。同时,视觉系统的检测数据可以帮助管理部门及时发现设备、材料等方面的潜在问题,有利于提升卷烟企业的总体管理水平^[36]。

2.4 在工业机器人中的应用

烟草业的拆垛、堆垛很多已经采用机器人。机器人通过多种电容、电感、光电等传感器信号来判断物体的存在,从而进行相关的动作,机器人视觉系统的应用避免了很多可能产生的错误检测,提高了机器人的执行能力,为进一步的智能应用提供了更大的可能。

机器人视觉系统在烟草企业中主要应用在卷烟辅材配盘系统,该系统能够实时、精确地完成在卷烟辅材配盘过程中目标盘纸的图像采集、图像处理、图像定位,计算出盘纸在平面上的偏移量,为机器人对盘纸的精确抓取提供视觉引导,可以成功地解决烟草物流企业盘纸配盘由人工配盘向机器人自动化配盘发展过程中的难题^[37]。

3 讨论

机器视觉技术在烟草中的应用具有很多的优势,但由于机器视觉技术本身的性质和要求,该技术的应用中仍有许多技术难题需要解决。

第一、关于图像处理的动态性。目前,大部分研究成果都是静态的,即先从室内或田间采集静态图像,再用计算机对图像进行处理。而实际应用中要求识别的算法能够适应户外动态的条件。虽然一些动态的算法已获得了成功,但分类精度仍不是很高。有研究表明^[38]:利用现代数学的分析方法,如分形理论、小波变换可以在图像处理和识别的软件设计方面提高算法的快速性和有效性。

第二、关于农业环境的多变性。一般地,图像采集要求在具有可控光照、色温以及没有环境因素影响的实验室或温室等理想条件下进行,但在实际应用中农田环境多变、图像背景复杂,光照、风速的不可控性以及设备的机械振动等许多因素都能导致图像质量下降、噪声增加,大大增加了图像预处理的难度,降低了处理结果的准确性和快速性。通过二值化分割、中值滤波等处理可以去除图像中杂质和噪声,以提高图像质量,从而提高分析的准确性^[39,40]。

第三、烟叶质量的波动性。通常,烟叶质量会因年份、地区、品种及等级的不同而产生差异,因此图像识别的算法应该充分考虑到烟叶质量差异的存在,并作出相应的算法转换和调整,这对实现烟叶的自动化检测造成了一定的困难。在实际生产过程中需要扩大样本数量,同时也应该关注烟叶样本的选择标准。

第四、尚缺乏相关的理论支撑。传统的烟叶质量评价方法并不完全适宜于基于机器视觉技术的烟叶质量评价,如传统烟叶分级中油份、成熟度等概念不利于进行定量分析,因此需要选取适宜的评价指标,并对指标进行简化,以建立适宜的质量评价模型。这需要在烟叶内在品质与外观显性之间建立起相关的联系,从而为该技术的应用提供更多的理论支撑,以便为烟叶品质快速而精确地检测创造条件。

目前,机器视觉技术在烟草中应用的研究多集中于农业方面的烟叶分级以及工业方面的烟制

品包装、烟叶除杂等方面,部分研究内容重叠,造成了一定的资源浪费。在今后的研究中应注重研究领域的拓宽,国内外一些基于机器视觉技术的研究在生长状态信息的获取^[41,42]、作物营养诊断^[43]、施肥管理决策等方面已经取得了一定的成果,这对于该技术在烟草中的研究有很好的启示。在研究手段上,应注重与其他技术[如遥感技术(remote sensing, RS)、近红外光谱技术(near infrared, NIR)^[44]]的互补与综合应用,以获得更多的关于内在品质的信息,从而做出更加全面准确的判断。在评价方法上,要与诸如模糊数学^[23,25]、粗糙集^[26]等方法的结合,以弥补机器视觉技术在算法上的不足。

随着机器视觉技术的成熟和发展,并伴随着烟草行业提质降耗工程的全面实施,机器视觉技术必将加快我国现代烟草农业的进程,同时在质量检测、临控和分拣等工业生产过程得到进一步应用,从而节省大量人力、物力,提高生产效率,进而提升烟草企业的市场竞争力。

参 考 文 献

- [1] 雷文华. 机器视觉及其应用(系列讲座)第一讲机器视觉发展概述[J]. 应用光学, 2006, 27(5): 467-470.
- [2] 成芳, 应义斌. 机器视觉技术在农作物种子质量检验中的应用研究进展[J]. 农业工程学报, 2001, 17(6): 175-178.
- [3] 刘明池. 大白菜功能叶片叶面积测量方法[J]. 北京农业科学, 1995, 6: 43.
- [4] 刘贯山. 烟草叶面积不同测定方法的比较研究[J]. 安徽农业科学, 1996, 24(2): 139-141.
- [5] 徐贵力, 毛罕平, 胡永光, 等. 基于计算机视觉技术参考物法测量叶面积[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 154-157.
- [6] 蔡健荣, 方如明, 张世庆, 等. 利用计算机视觉技术的烟叶质量分选系统研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(3): 118-122.
- [7] 马文杰, 贺立源, 刘华波, 等. 成像环境因素对烟叶图像采集结果的影响及校正研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(12): 2615-2620.
- [8] 甘露萍, 谢守勇, 邹大军. 基于计算机视觉的烤烟鲜烟叶含水量无损检测及 MATLAB 实现[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2009, 31(7): 166-170.
- [9] 甘露萍. 基于机器视觉技术的鲜烟叶含水量模型研究[D]. 重庆: 西南大学, 硕士学位论文, 2009.
- [10] 杨树勋. 准确判断烟叶采收成熟度初探[J]. 中国烟草科学, 2003, 24(4): 34-36.
- [11] 韩锦峰, 官长荣, 黄海棠, 等. 烤烟叶片成熟度的研究. I. 烤烟叶片成熟和衰老过程中某些生理生化变化的研究[J]. 中国烟草, 1990, 1: 9-13.
- [12] 徐光辉, 虎晓红, 熊淑萍, 等. 烤烟叶片叶绿素含量与颜色

- 特征的关系[J]. 河南农业大学学报, 2007, 41(6): 600-604.
- [13] 鲍安红, 谢守勇, 陈 种, 等. 基于机器视觉的烟叶无曲线烘烤模式[J]. 农机化研究, 2010, 32(6): 165-167.
- [14] 闫克玉, 赵献章. 烟叶分级[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003, 50-69.
- [15] 张建平. 计算机视觉在烟草行业中的研究及应用展望[J]. 烟草科技, 1998, 2: 22-23.
- [16] Thomas C E. Techniques of image analysis applied to the measurement of tobacco and related products[A]. In: John C. Leffingwell. Chemical and sensory aspects of tobacco flavor: symposium of the 42nd Tobacco Chemists' Research Conference; Papers [C]. Lexington Kentucky; 42nd Tobacco Chemists' Research Conference, 1988.
- [17] MacConnac J K M. On-Line image processing for tobacco grading in Zimbabwe[A]. In: Proceedings of IEEE International Symposium on Industrial Electronics [C]. Budapest; Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1993, 327-331.
- [18] Cho H K, Paek K H. Feasibility of grading dried hurley tobacco leaves using machine vision [J]. J. Korean Soc. Agric. Mach, 1997, 22(1): 30-40.
- [19] 张建平, 吴守一, 方如明. 农产品质量的计算机辅助检验与分级(第 I 报)——烟叶外观品质特征的定量检验[J]. 农业工程学报, 1996, 12(03): 158-162.
- [20] 张建平, 吴守一, 方如明, 等. 农产品质量的计算机辅助检验与分级(第 II 报)——烟叶自动分级模型的建立与训练[J]. 农业工程学报, 1997, 13(04): 179-183.
- [21] 蔡健荣, 方如明, 张世庆, 等. 利用计算机视觉技术的烟叶质量分选系统研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(3): 118-122.
- [22] 张建平. 数字图像处理在农产品质量检测中的应用——烟叶质量的自动分级[D]. 镇江: 江苏理工大学, 博士学位论文, 1994.
- [23] 张 帆, 方如明, 蔡健荣, 等. 基于人工神经网络技术提取烟叶质量特征值[J]. 农业机械学报, 2000, 31(6): 61-64.
- [24] Zhang F, Zhang X. Machine Vision and Image Processing Based Images Inspection[A]. In: Proceedings of the 4th International Conference on Impulsive and Hybrid Dynamical Systems [C]. Canada; Watam Press, 2007, 2218-2221.
- [25] 张 帆, 张新红, 张 彤. 模糊数学在烟叶分级中的应用[J]. 中国烟草学报, 2002, 8(3): 44-48.
- [26] Zhang F, Zhang X. Classification and quality evaluation of tobacco leaves based on image processing and fuzzy comprehensive evaluation[J]. Sensors, 2011, 11: 2369-2384.
- [27] 韩力群, 何 为, 苏维均, 等. 基于拟脑智能系统的烤烟烟叶分级研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7): 137-140.
- [28] 张惠民, 韩力群, 段正刚. 基于图像特征的烟叶分级[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2003, 28(3): 359-362.
- [29] 唐向阳, 张 勇, 关 宏, 等. 烟草异物剔除系统的原理与结构[J]. 机械, 2003, 3: 59-62.
- [30] 张绍堂, 蒋 作, 郑智捷. 机器视觉技术在烟草异物剔除系统中的应用[J]. 云南民族大学学报(自然科学版), 2007, 16(2): 161-164.
- [31] 杨 允. 基于 CCD 图像的异物分拣技术及机器状态监控的研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 硕士学位论文, 2007.
- [32] 魏泽鼎, 王儒慧. 基于 CCD 的片烟规格测量装置的设计应用[J]. 烟草科技, 2008, 12: 19-21.
- [33] Sonka M, Hlavac V, Boyle R. 图像处理、分析与机器视觉[M](第二版). 北京: 人民邮电出版社, 2002.
- [34] 孙 军, 辛海波. 智能相机在香烟包装领域的应用[J]. 企业技术开发, 2010, 29(6): 15-16.
- [35] 李莉萍. 浅谈机器视觉在烟草行业的应用[J]. 城市建设, 2010, 4: 33-34.
- [36] 刘荣辉. 机器视觉系统在 GDX2 包装机组中的应用[J]. 烟草科技, 2005, 11: 10-11.
- [37] 周 鹏. 机器人视觉系统及其在卷烟辅料配盘系统中的应用[D]. 合肥: 合肥工业大学, 硕士学位论文, 2007.
- [38] 张健钦, 屈 平, 邝朴生. 计算机视觉技术在杂草识别中的应用研究进展[J]. 河北大学学报(自然科学版), 2002, 22(4): 410-414.
- [39] 贾爱莲, 张淑娟. 基于 Matlab 的植物叶面积数字摄影图像处理[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2006, 26(1): 80-82.
- [40] 雷 玲, 李文辉, 李慧盈, 等. 一种基于东北草场鼠洞的数字化检测方法[J]. 中国农业科技导报, 2010, 12(2): 93-97.
- [41] 石媛媛, 邓劲松, 陈利芬, 等. 利用计算机视觉和光谱分割技术进行水稻叶片钾胁迫特征提取与诊断研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(1): 214-219.
- [42] 诸叶平, 李世娟, 于向鸿. 玉米数字模拟器研究[J]. 中国农业科技导报, 2007, 9(6): 84-89.
- [43] 孙钦平, 李吉进, 邹国元, 等. 应用数字图像技术对有机肥施用后玉米到营养诊断研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(9): 2447-2450.
- [44] 蒋锦锋, 李 莉, 赵明月. 应用近红外检测技术快速测定烟叶主要化学成分[J]. 中国烟草学报, 2006, 12(2): 8-12.