

粮虫图像识别检测技术研究现状与展望

程尚坤, 张德贤, 张苗 (河南工业大学信息科学与工程学院/粮食信息处理和控制教育部重点实验室, 河南郑州 450001)

摘要 为促进图像识别检测技术在我国粮情测控领域的应用研究, 从预处理、特征提取、识别分类和种群密度估计 4 个方面, 概述和分析了计算机图像识别检测技术在粮虫自动识别中的发展现状, 提出今后应从图像自动采集装置的研制、粮虫图像的有效特征获取、高适应分类器的设计、粮虫种群密度的估计、多种检测技术的融合等方面开展深入研究, 为科学规范粮虫防治工作提供更好的决策支撑。

关键词 粮情测控; 图像识别; 害虫检测; 种群密度; 粮虫防治

中图分类号 S126 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)19-272-03

Current Research Situations and Prospects of Stored-grain Pests Based on Image Recognition Inspection Technology

CHENG Shang-kun, ZHANG De-xian, ZHANG Miao (School of Information Science and Engineering, Henan University of Technology/Grain Information Processing and Control, Key Laboratory of Ministry of Education, Zhengzhou, Henan 450001)

Abstract In order to promote the application and research of image recognition inspection technology in grain monitoring of China, current development situations were firstly summarized for computer image recognition and detection technology applied in automatic identification of stored-grain pests from pre-treatment, feature extraction, classification, and population density estimation. Besides, recommendations were put forward for in-depth study, including developing automatic image acquisition device, obtaining effective characteristics of images of stored-grain pests, designing highly adaptive classifiers, estimating population density of stored-grain pests, and integrating multiple detection techniques, and etc., so as to provide better support for decision of scientific and standard stored-grain pest control.

Key words Grain monitoring, Image recognition, Pest detection, Population density, Stored-grain pest control

粮食作为重要的生活物资, 在经济快速发展的今天对社会稳定起着举足轻重的作用。储粮害虫(简称粮虫)的危害带来粮食减产和品质下降, 是储粮行业亟待解决的问题之一^[1-2]。为有效防治这种危害, 定期对粮虫进行检测至关重要, 粮虫检测技术也引起各国研究者的重视。当前国内外检测粮虫的方法除了传统的扦样法, 还有新型的声测法、食物引诱法、气味分析法、近红外法和图像识别法等^[3]。其中图像识别法因具有高识别率、操作简易、成本低廉等方面的优势, 是近年来粮虫防治领域的研究热点和主要技术手段^[4-8]。笔者简要概括和评述了粮虫图像识别检测技术预处理、特征提取、识别分类和种群密度估计 4 个过程的研究发展现状, 为今后开发精准高效的粮虫检测系统提供新的思路。

1 粮虫图像识别检测技术的研究现状

1.1 预处理 预处理是粮虫图像识别检测技术的首要环节。通过图像预处理, 一方面可以解决因采集装置、环境、人为因素等引起的图像质量差的问题; 另一方面可以解决因种类多、体形小和形态结构复杂而带来的准确率低的问题。如张成花^[9]利用自适应邻域平均法进行图像去噪, 去噪同时还保持了边缘信息, 滤波后的图像效果很好。在保持原图像边缘及轮廓的同时, 将目标内小间断连接起来, 张红涛^[10]运用灰度数学形态学方法做图像平滑处理, 平滑过后的视图效果较好。为解决图像采集过程中受到震动、光照不均、传感器灵敏度而导致图像某种程度的失真问题, 图像增强必不可少^[11]。刘纯利等^[12]、牟怿等^[13]提出了一种基于奇异值分解与同态滤波的图像增强算法, 在避免繁琐数学变换的基础

上, 自适应调整高斯噪声方差, 以提高奇异值矩阵方式促进目标图像的增强。周龙等^[14-15]将小波变换和数学形态学方法应用于粮虫预处理, 利用局部极大值检测提取图像的边缘信息, 得出清晰的特征图像。在机器视觉的粮虫图像边缘检测中, 针对模糊增强技术计算时涉及矩阵求逆运算复杂、噪声增加等特点, 周龙^[16]提出了快速模糊边缘检测方法, 效果较好。在视频图像序列模式下, 廉飞宇等^[17]、付麦霞等^[18]面对运动目标检测和分割问题, 提出了用色彩块和 HVS 色彩差值相结合的运动目标检测算法来提取粮虫的静态图像。为解决部分粮虫种类的高相似度而导致低识别率问题, 胡玉霞等^[19]提出了一种多分辨率的图像分析预处理方法, 并通过试验证明该方法具有一定的可行性。

1.2 特征提取 特征提取是粮虫图像识别检测技术的关键, 因此获取图像有效特征的方法成为了研究重点^[20-21]。粮虫图像的特征不是越多越好, 大量的特征固然有益于识别精度的提高, 但若提取特征太多, 不仅增加了算法的计算量和复杂度, 而且特征之间的高相关性会造成更多的混淆与不确定性, 反而会降低精度^[22]。行之有效的方法是通过简化表征或压缩图像特征的方式提取有效特征以提高粮虫的识别精度。如邱道尹等^[23]利用计算机数字图像处理技术, 张红涛等^[24]运用蚁群优化算法, 均从大谷盗、谷蠹、绿豆象等害虫多维形态学特征中选出最优的特征子空间。面对高维图像的处理, 廉飞宇等^[25]提出一种小波变换压缩方法, 将图像高频部分与图像的轮廓、边缘相对应, 能很好的压缩和表征粮虫图像的特征。张红涛等^[26]提出一种基于核 Fisher 判别分析的粮虫特征压缩方法, 用以解决粮虫种类数目多、类别之间高相似度的问题, 通过非线性变换将 Fisher 判别分析后的原始特征数据进行映射, 然后在高维空间进行特征分类提取, 试验表明该法提高了类别之间的辨识度。粮虫图像的特征多种多样, 张红梅等^[27]、甄彤等^[28]、范艳峰等^[29]对比人

基金项目 国家高技术研究发展计划“863”计划课题(2012AA10608)。
作者简介 程尚坤(1988-), 男, 河南淮阳人, 硕士研究生, 研究方向: 图像处理、模式识别、人工智能等。
收稿日期 2016-05-27

工形态分类法,分别从数理统计、纹理和几何形态 3 个层面自动提取静态粮虫图像的特征,此法为粮虫自动检测识别提供了稳定的特征参数值,有效提高了识别率。纹理是昆虫进行分类的重要依据,Zhao 等^[30]、黄世国等^[31]提出利用 Gabor 滤波器提取昆虫图像纹理特征的方案,为粮虫分类打下良好的基础。为更大程度地提高识别准确度和粮虫种类数量,张红涛等^[32]通过自动判别粮虫头部和尾部,利用基于兴趣点的区间对偶点分析方法来提取特征,试验表明这种普适有效的局部形态特征提取方案可以解决仓储害虫识别分类中的多种类高精度难题。

1.3 识别分类 识别分类是图像识别检测技术的核心环节,面对小样本、多参数和高相似度特征的粮虫分类问题,良好的分类器设计是粮虫自动检测系统的成败关键。为此,张红涛等^[33]提出基于支持向量机(SVM)的储粮害虫图像识别分类,依靠网格搜索法,在 SVM 交叉验证训练模型识别率为判别基准下对参数进行优化,通过对仓储中的 9 类害虫进行识别分类,达到 93% 以上的识别率。SVM 以其出色的学习能力、良好的泛化性能已成为机器学习领域研究热点,应用于粮虫图像识别分类器设计,具有良好的分类性和鲁棒性^[18,24-25]。甄彤等^[34]采用三帧差分法进行谷物害虫图像提取,提出一种基于多类 SVM 分类器方法对粮虫进行快速鉴定和分类,利用 SVM 结构风险最小化原则,选择锯齿谷等 3 种谷物进行实验,取得了较好的效果。张红涛等^[32]提出一种有效的仓储害虫局部特征提取方法,将模拟退火算法(SAA)应用到 SVM 分类上,对谷蠹、米象等 15 类常见害虫进行检测,达到 94.8% 的识别率。在数据不精确、不完备的情况下,廉飞宇等^[17]提出了一种粗糙集方法的储粮害虫识别算法,即使训练样本没有进行特征提取,仍可得到较高的识别率,并随着新数据输入,系统正判率不断得到提高。邱道尹等^[23]提出将遗传(GA)算法和 BP 神经网络算法相结合方法完成粗精度、给定精度的学习然后用来训练神经网络,通过第 3 代储粮害虫取样装置对玉米象等 4 种害虫进行取样分类,做到全部正确识别。卢军等^[35]利用计算机视觉检测技术以及自组织特征映射神经网络技术,对粮仓 4 类常见害虫进行无损检测,识别率为 91.7%。沈国峰等^[36]同样使用 BP 神经网络实现粮虫分类,在分类的过程中利用贝叶斯正则化优化算法对学习过程加以改进,实验表明该算法收敛速度快、识别精度高、泛化能力优,在实际应用中有一定的可行性。

1.4 种群密度估计 种群密度的估计是粮虫防治的决策依据,同时又以粮虫的识别分类为前提,准确的识别才能有效的密度估计,最终进行科学的防治,把虫害数量控制在经济损失水平之下^[37]。我国《粮油储藏技术规范》规定,粮虫种群密度是根据粮虫活虫的数量进行划分的,因此只需对活虫进行计算和分类^[38-39]。传统的粮虫种群密度的估计使用样方法,储粮活虫的人工检验法耗时,效率又低,而且会出现人眼误判而将活虫、死虫混淆的现象。当前大多数识别方法,只能单一地对粮虫进行分类计数,无法辨别其死活,即使多

数活虫展现到处活动的状态,可依然有较小部分害虫受到惊吓而表现出“假死”现象,因此仅仅依靠捕获粮虫的爬行状态是不能克服假死问题的^[40]。当前的粮虫识别方法通常直接处理未筛分过的粮食样本,或者以人工方式筛分活死虫后再进行识别,2 种方式均不能有效区分活、死虫,将很大程度影响粮虫检测的效果^[33]。然而张红涛等^[41]开发出一种基于可见光-近红外的储粮活虫自动检测系统,能快速地对危害严重的 9 类仓储活虫进行自动筛分和除尘,筛分率达 96.06%,该系统为储粮活虫的自动检测奠定了基础。

2 研究展望

2.1 图像自动采集装置的研制 图像采集装置是影响系统检测效率的首要因素,由于粮虫生长特性差异外部粮虫和内部粮虫的检测应有不同的设计。外部粮虫的识别,从提高识别率和缩减图像预处理工作量方面考虑,只需将粮虫与杂质传输至摄像头下方,因此应设计粮虫、杂质与粮食自动分离的图像采集传输装置。从方便粮虫检测考虑,内部粮虫的识别应设计成自动传输单层粮食的图像采集传输装置。

2.2 粮虫图像的有效特征获取 图像的有效特征提取是图像识别检测技术的重点,因此深化特征获取技术成为了必然。具体可从以下两方面进行研究:①粮虫的多特征获取。目前仓储中的粮虫有 200 多种,大多为棕褐色,个体形态之间差别很小,有些粮虫之间的差别微乎其微,大大增加了自动识别的难度。因此必须进行粮虫的多特征提取,形态学、颜色、纹理以及无量纲等一切可供识别分类的特征均可提取。②粮虫有效特征的提取。从分类器设计的角度分析,训练过程样本数与粮虫图像特征数呈指数关系增长,庞大的特征量不仅会增加粮虫识别的计算量,还会降低粮虫的识别精度。因此通过简化表征或压缩粮虫图像特征进行有效特征提取是很有必要的。

2.3 高适应分类器的设计 分类器设计是图像识别检测技术的核心环节,也是研究的重中之重。具体可从 3 个方面进行研究:①良好的适应性。分类器的设计不仅仅要满足常见的小样本、非线性、高维数的情况,还需适应大样本、非线性、高维数等情况。②适度复杂性的算法。复杂的算法易出现“过学习”现象,结果会降低粮虫的识别率,所以算法复杂性要适度。③自学习功能的分类器。带有自学习功能的分类器,不仅在训练的过程中有修正功能,在测试的过程中还能主动学习,并随着新数据的输入,系统的正判率不断提高,以适应不断变化的粮虫特征。

2.4 粮虫种群密度的估计 种群密度的估计是粮虫危害评估的科学依据,也是害虫防治得以有效实施的前提和保证。具体可从 3 个方面进行研究:①复杂条件下粮虫的识别。采集的图像信息在某些情况下会受到草籽、残缺粮粒、光照不均等内外多种因素的影响,需建立复杂干扰源下粮虫图像识别检测体系,研究相应的识别方法。②多状态粮虫的识别。粮虫从幼虫到成虫再到死虫,以及成长过程中出现的假死状态,每种状态会呈现出许多相同、相似或者不同的特征,因此针对不同状态下的粮虫的识别要分别建立相应的处理方案,

进行多技术信息融合。③估计精度和计算量。通过有效特征的获取和高适应分类器提高种群密度的精度估计,降低计算量,达到既能对简单虫数进行统计,又能消除粮虫间粘连、姿态各异、颗粒遮挡等不利因素的影响,能识别更多相似度比较高的害虫,进而实现准确高效的粮虫种群密度估计^[39]。

2.5 多种检测技术的融合 由实际应用中的使用情况来看,单一的技术很难满足仓储粮虫的识别检测,多种检测技术的融合才是粮虫检测的趋势。可以将可见光、X 射线、近红外、光谱探测等多种传感信息技术融合,用以解决单个技术难以完成的功能。如利用近红外法和软 X 射线法对粮粒内部害虫检测的特有优势,可以实现虫卵或小幼虫的检测。将声音检测法和图像识别法相融合,利用害虫吃食声定位,能准确检测出粮虫的位置、种类和密度。

3 结论

前期的研究学者取得大量显著的成果,为当前图像识别技术的研究打下良好的基础,但是现有的图像识别技术依然有些许的不足之处有待改进。该研究在总结和吸收国内外粮虫图像识别检测技术研究成果基础之上,围绕图像自动采集装置的研制、粮虫图像的有效特征获取、高适应分类器的设计、粮虫种群密度的估计和多种检测技术的融合等方面做出分析与展望,希望能为粮虫的综合防治提供可靠的决策支撑,开发出更可靠、更精确、更高效、更廉价的粮虫自动检测系统。

参考文献

- [1] 胡丽华,郭敏,张景虎,等. 储粮害虫检测新技术及应用现状[J]. 农业工程学报,2007,23(11):286-290.
- [2] 程小丽,武传欣,刘俊明,等. 储粮害虫防治的研究进展[J]. 粮食加工,2011,36(5):70-73.
- [3] 徐昉,白旭光,邱道尹,等. 国内外储粮害虫检测方法[J]. 粮油仓储科技通讯,2001,2001(5):41-43.
- [4] KEAGEY P M, SCHATZKI T F. Machine recognition of weevil damage in wheat radiographs[J]. Cereal chemistry,1993,70(6):696-700.
- [5] ZAYAS I Y, FLINN PAUL W. Detection of insects in bulk wheat samples with machine vision[J]. Transactions of the ASAE,1998,41(3):883-888.
- [6] 徐昉,邱道尹,白旭光,等. 利用图像处理技术检测粮仓害虫的研究[J]. 郑州工程学院学报,2001,22(1):78-81.
- [7] 黄凌霄. 基于图像处理的储粮害虫检测方法研究[D]. 武汉:武汉工业学院,2007:1-64.
- [8] SINGH C B, JAYAS D S, PALIWAL J, et al. Detection of insect-damaged wheat kernels using near-infrared hyperspectral imaging[J]. Journal of stored products research,2009,45(3):151-158.
- [9] 张成花. 基于图像识别的储粮害虫分类的研究[D]. 郑州:郑州大学,2002:1-59.
- [10] 张红涛. 储粮害虫图像识别中的特征抽取研究[D]. 郑州:郑州大学,2002:1-60.
- [11] 张卫芳. 基于图像处理的储粮害虫检测方法研究[D]. 西安:陕西师范大学,2010:1-57.
- [12] 刘纯利,牟怿,周龙. 基于奇异值分解的粮虫图像增强[J]. 华中科技大学学报,2010,38(7):119-121.

- [13] 牟怿,周龙. 基于奇异值分解与同态滤波的粮虫图像增强[J]. 中国粮油学报,2011,26(2):108-110.
- [14] 周龙,牟怿. 二维小波变换在粮虫图像处理中的应用[J]. 华中科技大学学报,2007,35(8):24-26.
- [15] 周龙,黄凌霄,牟怿,等. 数学形态学方法在储粮害虫图像预处理中的应用[J]. 华中科技大学学报,2008,36(2):85-87.
- [16] 周龙. 基于机器视觉的储粮害虫图像模糊检测方法研究[J]. 计算机应用与软件,2005,22(8):24-25.
- [17] 廉飞宇,邢超,范伊红,等. 基于机器视觉的储粮害虫检测与识别[J]. 河南农业大学学报,2007,28(3):43-46.
- [18] 付麦霞,廉飞宇,张元. 基于视频和 SVM 的储粮害虫检测与识别[J]. 计算机与数字工程,2008,36(11):111-115.
- [19] 胡玉霞,张红涛,毛罕平,等. 基于多分辨率分析的储粮害虫图像预处理研究[J]. 农机化研究,2012,2012(8):160-163.
- [20] ZHANG H M, WANG J. Detection of age and insect damage incurred by wheat, with an electronic nose[J]. Journal of stored products research,2007,43(4):489-495.
- [21] 郭敏,张丽娜. 基于声信号的储粮害虫检测方法的研究与发展[J]. 中国粮油学报,2011,26(12):123-127.
- [22] 安琼,杨邦杰,郭琳. 面向对象的多光谱图像特征遗传选优方法[J]. 农业工程学报,2008,24(4):181-184.
- [23] 邱道尹,张成花,张红涛,等. 神经网络在储粮害虫识别中的应用[J]. 农业工程学报,2003,19(1):142-144.
- [24] 张红涛,毛罕平,邱道尹. 储粮害虫图像识别中的特征提取[J]. 农业工程学报,2009,25(2):126-130.
- [25] 廉飞宇,张元. 基于小波变换压缩和支持向量机组的储粮害虫图像识别[J]. 河南工业大学学报,2006,27(1):21-28.
- [26] 张红涛,毛罕平,韩绿化. 基于核 Fisher 判别分析的粮虫特征压缩方法[J]. 江苏大学学报,2012,33(1):16-20.
- [27] 张红梅,范艳峰,田耕. 基于数字图像处理技术的储粮害虫分类识别研究[J]. 河南工业大学学报,2005,26(1):19-22.
- [28] 甄彤,范艳峰,周炳强,等. 谷物害虫图像识别中特征值提取技术的研究[J]. 微电子学与计算机,2005,21(12):111-115.
- [29] 范艳峰,甄彤. 谷物害虫检测与分类识别技术的研究与应用[J]. 计算机工程,2005,31(12):187-189.
- [30] ZHAO J, CHENG X P. Field pest identification by an improved Gabor texture segmentation scheme[J]. New Zeal and journal of agricultural research,2007,50(5):719-723.
- [31] 黄世国,周明全,耿国华. 一种角度无关的 Gabor-SVM 昆虫识别[J]. 小型微型计算机系统,2010,31(1):143-146.
- [32] 张红涛,李芳,胡玉霞,等. 仓储害虫局部形态学特征提取方法研究[J]. 河南工业科学,2014,43(2):84-87.
- [33] 张红涛,胡玉霞,毛罕平. 基于 SVM 的储粮害虫图像识别分类[J]. 农机化研究,2008,2008(8):36-38.
- [34] 甄彤,范艳峰. 基于支持向量机的储粮害虫分类识别技术研究[J]. 计算机工程,2006,32(9):167-169.
- [35] 卢军,王贤锋,赵立飞. 自组织特征映射网络在储粮害虫分类中的应用[J]. 农机化研究,2009,2009(4):184-185.
- [36] 沈国峰,程筱胜,戴宁,等. 基于贝叶斯正则化 BP 网络的粮虫分类识别研究[J]. 安徽农业科学,2012,40(34):16914-16917.
- [37] NEETHIRAJAN S, KARUNAKARAN C, JAYAS D S, et al. Detection techniques for stored-product insects in grain[J]. Food control,2007,18(2):157-162.
- [38] 国家粮食局. 粮油储藏技术规范:LS/T 1211—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [39] 王贵财,张德贤,李保利,等. 粮虫视觉检测技术的现状与展望[J]. 中国粮油学报,2014,29(4):124-127.
- [40] 毛罕平,张红涛. 储粮害虫图像识别的研究进展及展望[J]. 农业机械学报,2008,39(4):175-179.
- [41] 张红涛,胡玉霞,毛罕平,等. 基于计算机视觉的储粮害虫检测系统硬件设计[J]. 农业机械学报,2012,43(4):193-196.