

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.04.036

基于计算机视觉的储粮活虫检测系统硬件设计*

张红涛¹ 胡玉霞² 毛罕平³ 韩绿化³ 乌慧玲³

(1. 华北水利水电学院电力学院, 郑州 450011; 2. 郑州大学电气工程学院, 郑州 450001;

3. 江苏大学现代农业装备与技术省部共建教育部重点实验室, 镇江 212013)

【摘要】 设计了基于可见光-近红外计算机视觉的储粮活虫检测系统,该系统主要由粮虫自动分离子系统、粮虫传输子系统、光照箱、图像采集子系统4部分组成。粮虫自动分离子系统可从粮食样本中快速、有效地分离出粮虫,并进行自动除尘;粮虫传输子系统可准确接收筛下物,并输送采集盒到图像视觉采集部分的正下方以供图像采集;光照箱可为采集盒中的筛下物提供均匀的可见光-近红外波段的漫反射光;图像采集子系统可同时采集筛下物的近红外图像和可见光图像。系统对危害严重的9类储粮活虫的筛分率达到96.06%。实验验证了该系统的可行性。

关键词: 储粮活虫 计算机视觉 近红外 硬件 检测

中图分类号: S24; TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)04-0193-04

Hardware Design of Detection System for Stored-grain Live Insects Based on Computer Vision

Zhang Hongtao¹ Hu Yuxia² Mao Hanping³ Han Lühua³ Wu Huiling³

(1. Institute of Electric Power, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450011, China

2. School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China 3. Key Laboratory of Modern Agricultural

Equipment and Technology, Ministry of Education & Jiangsu Province, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract

The detection system for stored-grain live insects was developed based on visible-near infrared computer vision. The system included an automatic sieving subsystem of insects, an automatic transporting subsystem of insects, an illumination box and an image acquisition subsystem. The insects could be rapidly and efficiently separated from the grain sample, and removed dust automatically in the automatic sieving subsystem of insects. The automatic transporting subsystem of insects could accurately receive the sieve material, and transport the collection box to the image vision acquisition part for image acquisition. The even illumination chamber could provide even visible and near-infrared diffuse light for the sieve material in the collection box. The image acquisition subsystem could simultaneously acquire the visual image and the near infrared image of the sieve material. The sieving accuracy of the detection system was 96.06% for the nine species of the most destructive live insects. The experiment showed that the system was practical and feasible.

Key words Stored-grain live insects, Computer vision, Near infrared, Hardware, Detection

引言

近年来灾难性气候频发,全球粮食安全形势日

益严峻,搞好粮食储藏尤为重要。只有准确的检测,才能做到有目的的防治,把害虫种群控制在经济损失水平以下^[1]。

收稿日期:2011-08-11 修回日期:2011-08-29

* 国家自然科学基金资助项目(31101085、30871449)、河南省教育厅自然科学研究计划资助项目(2011B210028)、河南省高等学校青年骨干教师计划资助项目(2011GGJS-094)和华北水利水电学院高层次人才科研启动项目(201118)

作者简介:张红涛,副教授,博士,主要从事图像识别、计算机视觉研究,E-mail: zht1977@ncwu.edu.cn

通讯作者:毛罕平,教授,博士生导师,主要从事系统检测研究,E-mail: maohp@ujs.edu.cn

我国《粮油储藏技术规范》中明确指出只需对活虫进行计数和分类,且应精确计数^[2]。粮虫死亡后,人眼通过其体表颜色无法准确地与活虫进行区分。传统的人工判断粮虫是否死亡的方法非常耗时,且效率很低。目前储粮活虫的新兴检测方法有声测法、电子鼻法、计算机视觉法等^[3-4]。声测法是根据活虫活动声的强弱、频域范围等对活虫进行判断,该法受传感器噪声及环境噪音的影响比较大;电子鼻法是利用气体传感器阵列来判断粮食是否受到活虫的侵染,对粮食样本的密闭性要求较高;计算机视觉法是运用计算机视觉、模式识别等技术自动识别粮虫,该法可实现活虫的可视化检测,是粮虫检测很有潜力的发展方向^[5-6]。

当前的计算机视觉系统还不能自动区分出活虫和死虫,基本上都是针对未过筛的粮食样本直接进行处理,没有自动筛分环节,或者由人工直接筛分出粮虫,而后进行分析和识别,影响了粮虫检测的效率及检测的效果^[7]。为此,设计具有电动筛分除尘功能的储粮活虫自动检测系统是非常必要的。

1 硬件系统总体方案

检测系统的硬件由粮虫自动分离系统、粮虫传输子系统、光照箱、图像采集子系统组成,如图1所示。系统的工作过程如下:粮食样本送入进料器后,通过计算机给控制器发出控制指令以启动筛分电动机,筛分电动机通过曲柄连杆带动筛子的振动;当筛下物落下时经过除尘机构,除尘风机将筛下物中的粉尘吹到粉尘收集袋中,除尘后的筛下物落入除尘机构下方的采集盒中;传输电动机驱动传送带,并带动采集盒移动,当控制器通过光电传感器检测到采集盒到位后,发信号给计算机,计算机控制近红外相机和可见光相机进行图像采集;图像采集完毕后,传送带继续前进。系统软件对采集的可见光图像和近红外图像进行分析,使近红外图像向可见光图像配准;判别出近红外图像中的每个活虫,定位出活虫在可见光图像中的坐标信息;运用计算机视觉、模式识别等方法确定出储粮活虫的种类信息。当采集盒运行到最右端的极限位置时执行扣翻动作,筛下物自动落入其正下方的收集盒中。当控制器通过光电传感器检测到采集盒到位后,传输电动机停转以等待下一个循环的检测。

2 粮虫自动分离系统

粮虫自动分离系统的功能是从粮食样本中快速、有效地分离出粮虫,并自动去除筛下物中的粉尘、碎屑等微小杂质。

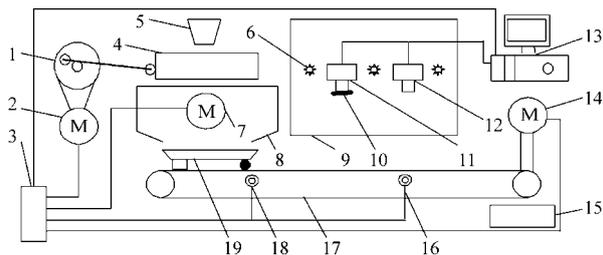


图1 储粮活虫检测系统硬件组成示意图

Fig. 1 Hardware structure of detection system for stored-grain live insects

1. 曲柄连杆 2. 筛分电动机 3. 控制器 4. 筛子 5. 进料器
6. 光源 7. 除尘风机 8. 除尘箱 9. 箱体 10. 滤光片 11. 近红外相机 12. 可见光相机 13. 计算机 14. 传输电动机
15. 收集盒 16. 光电传感器1 17. 传送带 18. 光电传感器2 19. 采集盒

筛分电动机通过单根V型胶带来驱动主动轴(图1),主动轴另一端联接曲柄盘,连杆长度为240 mm,一端铰接在曲柄盘上,另一端铰接在筛架上,筛子固定在筛架上,下吊式筛架铰接在机架上,从而形成直线往复振动筛分机构。

筛子的筛孔为标准圆孔,按正三角形布孔,孔径为 $\phi 2.5$ mm。曲柄盘中央开有T型槽,可以插进六角头螺栓。螺栓外套T型轴套,轴套外端为轴端挡圈,通过螺母紧固螺栓,从而形成旋转轴。螺栓可在曲柄盘T型槽内移动,最大偏心行程为50 mm。由于吊杆和连杆长度远大于曲柄半径,因此可近似认为筛子的运动是振幅为曲柄半径2倍的直线往复运动。

除尘机构如图2所示,安装在筛子的正下方,包含粉尘收集袋、除尘箱和除尘风机,其中除尘风机和粉尘收集袋位于除尘箱两侧。当粮食样本倒入进料器后,由筛分电动机驱动曲柄连杆机构进行筛分,并利用除尘机构清理筛下物中的粉尘碎屑。粉尘收集袋为尼龙袋,透气性比较好,但不透过粉尘等杂质。粮虫质量为毫克级,故除尘风机的气流不需过大,否则会把粮虫吹跑,难以收集。这里选用的除尘风机为MGA8012HS-A20型,后端吸入空气,前端排出漩涡气流,气流均匀有力,出风口尺寸为 $40\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 。

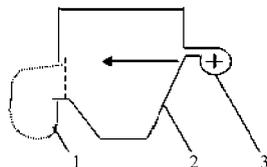


图2 除尘机构结构示意图

Fig. 2 Structure of dust removing mechanism

1. 粉尘收集袋 2. 除尘箱 3. 除尘风机

3 粮虫传输子系统

粮虫传输子系统功能是准确接收筛下物、输送采集盒到图像视觉采集部分的正下方供图像采集,并自动清理采集盒中的筛下物。控制器以 AT89S51 为主控芯片。控制器通过 2 个光电传感器的状态判断采集盒到达的具体位置,控制筛分电动机、除尘电动机、传输电动机的启停,并通过串口与计算机通信,提供开始图像采集的信号。当计算机接收到开始图像采集的信号后,控制近红外相机和可见光相机进行图像采集。

链传动无弹性滑动和打滑现象,可在速度较低情况下工作,因此采用双链条链传动传输机构,通过传输电动机带动运转。采集盒底面长边为 60 mm,且长边与双链条运动的方向一致,其前端铰接在双链条上,后端为自由端,可灵活转动。

4 光照箱

光照箱由光源和箱体组成,其功能是为采集盒中的筛下物提供均匀的可见光-近红外波段的漫反射光。基本要求为:光源的光谱分布要覆盖可见光-近红外区间;2 个相机视区内的光照要均匀;采集盒内壁的颜色尽量与粮虫本身的颜色形成较大的反差;保证 2 个相机获取的图像均比较清晰。

光照箱采用 4 个欧司朗 12 V、30 W 卤素灯作为图像采集视觉系统的光源,其分布如图 3 所示。其中,2 个卤素灯位于采集盒的垂直中轴线上,且与采集盒的移动方向一致,另外 2 个卤素灯位于采集盒的水平中轴线上,且与采集盒的移动方向垂直。

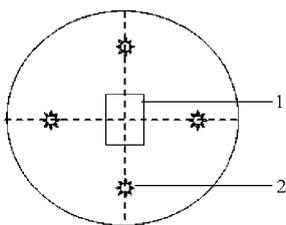


图3 光照箱中光源分布图

Fig. 3 Light source distribution in illumination box

1. 采集盒 2. 光源

鞘翅目粮虫大多为棕褐色或黑色,活虫在近红外图像中的灰度比较小,为了使图像中活虫和背景有较大的对比度,选择采集盒内壁颜色为白色。调整可见光相机和近红外相机镜头的焦距、光圈等,使所获取的筛下物的可见光和近红外图像边界同时清晰为佳。

5 图像采集子系统

图像采集子系统的主要功能是采集筛下物的近

红外图像和可见光图像。可见光相机(DH-SV2000FM型,大恒集团有限公司)和近红外相机(XS-1.7-320XC117B型,XenICs,比利时)分别通过IEEE-1394a采集卡和USB与计算机相连,并将拍摄的图像传输给计算机。近红外相机采用镓砷传感器,波长范围为900~1700nm,每帧图像大小为320×256像素,功率小于4W。可见光相机为CCD传感器,每帧图像大小为1628×1236像素。2个相机镜头(M3Z1228C-MP型,Computar,日本)的光圈、聚焦和变焦均可手动调节,规格为(2/3)”,C接口。近红外相机镜头需安装滤光片,其中心波长为1417nm,半带宽10nm,透过率大于85%。

由于近红外图像分辨率低,主要用于储粮活虫和死虫的区分。根据先前的研究,有效区分储粮活虫和死虫的最优光谱波长为1417nm^[8]。具有较高分辨率的可见光图像,主要用于多类别粮虫的识别分类。这是由于粮虫的种类比较多,且其体长和体宽都为毫米级,如谷蠹成虫体长2~3mm,体宽0.6~1mm,要实现其准确分类,需要利用小目标粮虫的局部特征信息。

采集盒中的部分活虫到处爬行,部分“假死”不动,且活虫相对于死虫而言,在最优波长下的近红外图像中的灰度比较小,因此近红外相机和可见光相机必须同步采集图像,才能实现活虫的准确定位。为了避免识别分类图像的变形,将可见光相机置于采集盒的正上方。近红外相机倾斜放置,且尽量靠近可见光相机,以减小成像时图像的变形,并增大粮虫近红外图像的有效采集范围,其主轴方向与水平方向的夹角为70°。

计算机(DELL Inspiron 530s型,美国)的配置为CPU Intel E2200,独立256MB显卡,2GB内存,500GB硬盘。该系统选用Visual C++ 6.0作为软件开发语言。

6 结果与讨论

每个粮食样本(1kg)的筛分除尘时间设为90s,筛分下来的活虫数与样本中的活虫总数之比为筛分率。以筛分率作为粮虫筛分的评价指标,以筛下物中粉尘含量作为除尘效果的评价指标。选用赤拟谷盗、米象、谷蠹、锯谷盗、锈赤扁谷盗5种粮虫进行分离除尘实验,并通过全因子实验和正交分析实验求取最佳振动筛分参数。结果表明,筛分除尘的最佳参数组合:筛子振幅A为3.5mm,曲柄盘转速 n_1 为600r/min,振动方向角 ε 为30°,风机转速 n_2 为2500r/min^[9]。

利用小麦粮仓中常见的米象、谷蠹等9类粮虫

进行筛分除尘实验的效果检验。针对每类粮虫,共取200头活虫和100头死亡后第5天的死虫(根据前期研究结果,对于粮食中危害严重的米象、大谷盗等15类粮虫,利用计算机视觉技术能够把死亡5d之后的死虫与活虫进行有效地区分^[8]),把随机选取的活虫和死虫、灰尘、矿物质等混入小麦样本中进行自动分离实验。检测系统筛分下来的活虫和死虫的总头数分别为1729和889,即其筛分率分别为96.06%和98.78%。在筛分过程中,某些活虫可能会紧抓筛子而导致不易分离,因此其筛分率要低于死虫。对于储粮活虫的识别系统而言,重要的是活虫的筛分率,且筛分率越高越好。通过调整粮虫自动分离系统的参数并增加筛分时间可提高筛分率,但将影响整个检测系统的效率。实验结果表明,筛分时间取90s比较适宜。

根据上述筛分除尘的参数设置,利用镇江市面粉厂的50个小麦样本进行实际筛分除尘的效果检测。结果表明,50个样本中共有9头活虫,且全部为米象,大部分样本中没有活虫,9头活虫全部被筛分下来。可见,系统选用上述参数是比较合适的。

随机选择几种粮虫(含死虫)混入含有杂质的1kg小麦样本中进行筛分除尘及图像采集,采集的1个粮食样本筛下物的近红外图像和可见光图像如图4所示。图中靠近图像边界的4个深色圆点为特征标记点,其余的目标均为粮虫。图像中自左到右的粮虫名称依次为锯谷盗、赤拟谷盗、米象,其中锯谷盗为死虫,赤拟谷盗和米象为活虫。

由图4可见,获取的采集盒底面的近红外图像的灰度分布比较均匀,但是采集盒除底面之外的内壁的灰度分布不均匀。为了防止粮虫爬出相机的视区,采集盒设计为倒梯形,故采集盒内壁倾斜面的灰度比较低,再加上近红外光谱分布的不均匀,因此其内壁的灰度分布不均匀。由图4可见,拍摄的粮虫

可见光图像和采集盒底面的近红外图像比较清晰,基本上能够满足后续图像处理和分析的要求。

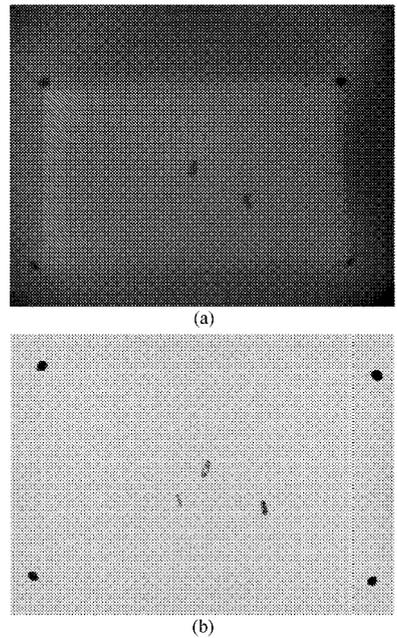


图4 实验现场采集的筛下物样本图像

Fig.4 Sample images captured on experiment scene

(a) 近红外图像 (b) 可见光图像

对大谷盗、黑毛皮蠹等6类粮虫,其体形基本上比麦粒还要大,故无法从孔径为 $\phi 2.5\text{ mm}$ 的筛子中漏下,只能用孔径更大的筛子对其进行自动分离,因此目前需手动放入采集盒中进行图像采集。

7 结束语

设计的可见光-近红外计算机视觉的粮虫自动检测系统,实现了活虫的自动筛分除尘及图像采集。每个粮食样本的筛分时间为90s,对9类储粮活虫的筛分率达到96.06%。要使检测系统同时实现对15类粮虫的自动筛分,只需对现有的粮虫分离系统进行改进,即增加一个筛孔比小麦大的专用振动筛,以自动分离体形较大的6类粮虫。

参 考 文 献

- 1 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.
- 2 LS/T 1211—2008 粮油储藏技术规范[S]. 2008.
- 3 耿森林,尚志远. 储粮害虫声检测技术研究进展与展望[J]. 农业工程学报,2006,22(4):204~207. Geng Senlin, Shang Zhiyuan. Research progress and prospects of stored grain insect sound detection technology[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2006,22(4):204~207. (in Chinese)
- 4 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.
- 5 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. Mao Hanping, Zhang Hongtao. Research progress and prospect for image recognition of stored-grain pests[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2008,39(4):175~179. (in Chinese)

- Agri. Sci., 2008, 36 (18): 7 931 ~ 7 932. (in Chinese)
- 3 Erdal Bekiroglu, Nihat Daldal. Remote control of an ultrasonic motor by using a GSM mobile phone [J]. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2005, 120(2): 536 ~ 542.
 - 4 方桃, 郑文刚. 基于GIS技术的远程灌溉用水管理控制系统[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(增刊2): 54 ~ 57.
Fang Tao, Zheng Wen'gang. Remote irrigative water use management control system based on GIS technology [J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(Supp. 2): 54 ~ 57. (in Chinese)
 - 5 刘诗笈, 周晓国. 单片机控制手机短信报警系统[J]. *闽江学院学报: 自然科学版*, 2006, 27(5): 78 ~ 80.
Liu Shijian, Zhou Xiaoguo. Microcontroller alarm system based on SMS [J]. *Journal of Minjiang University: Science and Technology*, 2006, 27(5): 78 ~ 80. (in Chinese)
 - 6 王秀玲, 吴武臣. 基于DTMF的智能电话控制器设计[J]. *现代电子技术*, 2007(20): 189 ~ 191.
Wang Xiuling, Wu Wuchen. Design of intelligent telephone control device based on DTMF [J]. *Modern Electronics Technique*, 2007(20): 189 ~ 191. (in Chinese)
 - 7 张晓辉, 赵百通. 播种机自动补播监控系统的研究[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(7): 119 ~ 122.
Zhang Xiaohui, Zhao Baitong. Automatic reseeding monitoring system of seed drill [J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(7): 119 ~ 122. (in Chinese)
 - 8 兰林俊, 黄继海, 陈胜军. 基于GPRS的远程家庭防盗监控系统设计[J]. *计算机安全*, 2008(3): 65 ~ 68.
Lan Linjun, Huang Jihai, Chen Shengjun. Design for long-distance household guard against theft monitoring system based on GPRS [J]. *Computer Security*, 2008(3): 65 ~ 68. (in Chinese)
 - 9 Sonali Bagchi, Sanjit K Mitra. Efficient robust DTMF decoding using the subband NDFT [J]. *Signal Processing*, 1997, 56(3): 255 ~ 267
 - 10 刘士光, 刘建民, 马继伟, 等. 基于拓扑结构的农业设施远程测控系统设计[J]. *农业机械学报*, 2006, 37(1): 101 ~ 103, 117.
Liu Shiguang, Liu Jianmin, Ma Jiwei, et al. Design of long-distance measuring-controlling system based on topological structure for agricultural facilities [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2006, 37(1): 101 ~ 103, 117. (in Chinese)
 - 11 Yang Shuanghua, Dai Chengwei, Roger P Knott. Remote maintenance of control system performance over the internet [J]. *Control Engineering Practice*, 2007, 15(5): 533 ~ 544.
 - 12 Subramanian V, Burks T V, Dixon W E, et al. Sensor fusion using fuzzy logic enhanced Kalman filter for autonomous vehicle guidance in citrus groves [J]. *Transactions of the ASABE*, 2009, 52(5): 1 411 ~ 1 422.
 - 13 于海业, 马成林, 王振华, 等. 远程控制技术在温室环境控制中的应用现状分析[J]. *农业机械学报*, 2003, 34(6): 160 ~ 163.
Yu Haiye, Ma Chenglin, Wang Zhenhua, et al. Present status and analysis of remote control of greenhouse environment via internet [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2003, 34(6): 160 ~ 163. (in Chinese)
 - 14 陈海生, 洪添胜, 吴伟斌, 等. 温室温湿度的远程监控系统[J]. *农机化研究*, 2005(4): 124 ~ 127.
Chen Haisheng, Hong Tiansheng, Wu Weibin, et al. Remote monitor system for temperature moisture in greenhouse [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2005(4): 124 ~ 127. (in Chinese)
 - 15 陈建恩, 王立人, 苗香雯. 温室数据采集系统远程通信接口设计研究[J]. *农业工程学报*, 2003, 19(4): 259 ~ 263.
Chen Jian'en, Wang Liren, Miao Xiangwen. Research and development of remote communication interface for greenhouse data acquisition system [J]. *Transactions of the CSAE*, 2003, 19(4): 259 ~ 263. (in Chinese)

(上接第 196 页)

- 6 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.
- 7 Zhang H T, Mao H P. Image recognition and classification of the stored-grain pests based on support vector machine [C] // *Proceedings of Information Technology and Environmental System Sciences*, 2008: 1 217 ~ 1 221.
- 8 张红涛. 基于可见光-近红外双目计算机视觉的鞘翅目储粮害虫检测研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2010.
- 9 韩绿化, 毛罕平, 张红涛. 鞘翅目储粮害虫振动筛分试验研究[J]. *农机化研究*, 2010, 32(10): 122 ~ 125.
Han Lühua, Mao Hanping, Zhang Hongtao. Research for the vibrating sieves property of the *Coleoptera* stored-grain pests [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2010, 32(10): 122 ~ 125. (in Chinese)