

一种探管式储粮害虫图像采集设备设计与实现

成思扬, 周慧玲

(北京邮电大学人工智能学院, 北京 100089)

摘要: 原粮在存储过程中, 对粮堆内的害虫监测我国大部分粮库目前仍主要依赖人工筛查, 不仅检测工作量大, 而且准确性和实时性不能得到保证。针对这个问题, 本文设计了一种基于探管式诱捕器的害虫图像自动采集设备。该设备以 STM32F407 为核心处理模块, 通过红外光电触发控制摄像头模组进行图像采集, 为后续的害虫定位和分类识别提供基础图像信息。另外, 设备内设计了清理结构, 可将收集器内的害虫或杂质清理干净。通过实验测试, 该设备具有良好的诱捕效果和自动监测能力, 为满足粮仓害虫实时监测的应用需求做了很好的研究探索。

关键词: 检测技术与自动化装置; 储粮害虫检测; 探管式诱捕器; 图像采集;

中图分类号: TP29

Design of Image Acquisition Device Based on Probe Trap for Stored Grain Pests

chengsiyang, zhouhuiling

(School of artificial intelligence, Beijing University of Posts and telecommunications, Beijing 100089)

Abstract: In the process of grain storage in China, checking the pests in the stored grain mainly relies on manual inspection, which is not only a heavy workload, but also cannot guarantee the accuracy and real-time. In order to solve this problem, a design of an automatic pest image acquisition device based on probe trap was given in this paper. The device takes the single computer STM32F407 as the process module. STM32F407 controls the camera module through the infrared photoelectric trigger to get the images, which are the base for the pest location and classification identification. In addition, a cleaning structure is designed in the device in order to clean the pests or grain impurity onto the collector. The experimental for testing the design validity showed that the device has reached the goal and has made good research and exploration to meet the application requirements of the real-time monitoring of the pests in the stored grain bulk.

Key words: detection technology and automation device; stored grain pest detection; probe trap; image acquisition;

0 引言

我国是粮食生产和消费大国, 原粮作为一种战略储备, 不仅储藏量大且储存时间长, 因此对保质减损提出了更高的要求。在储粮损失中, 害虫是造成损失的主要原因之一。为减少因虫害造成的粮食损失, 需要及时准确地了解粮堆内害虫发生发展的情况, 以便及时采取有效的防治措施^[1]。

目前我国大部分粮库主要通过扦样筛检法检测粮堆内害虫的发生, 采用按区分层定点

作者简介: 成思扬 (1994-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 控制科学与工程. E-mail:

18658141815@163.com

通信联系人: 周慧玲, 女, 教授, 主要研究方向: 图像识别与智能检测. E-mail: huiling@bupt.edu.cn

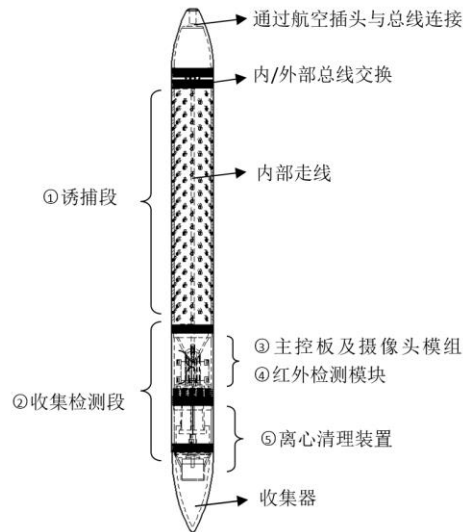


图 1 设备结构示意图

70 诱捕段是利用昆虫的趋孔特性设计的诱捕管，它能吸引甲壳类昆虫爬入管内，完成对储粮害虫的诱捕^[16]。已有研究人员将诱集管同扦样器检测法进行了对比，发现用诱捕管比扦样器能更早更准确地监测害虫种群的数量变化，对于反映储粮害虫发生的空间分布情况两者结果基本一致^[17]。

75 害虫进入诱捕段后会最终掉落到收集检测段的平面上，等待主控和摄像头拍摄图片。为了提高害虫检测的实时性和准确性，需要解决好如下的检测和控制：实时监测到有害虫掉落，随后立即启动摄像头模组拍摄，通过离心清理使害虫进入收集器中，因此本文设计了如图 2 的结构。为了实时监测是否有害虫掉落，采用了红外光电二极管进行不间断检测，检测模块的结构图如图中⑤所示，通过可约束害虫掉落轨迹的漏斗状收集器②，使害虫进入红外对管的检测区域。害虫遮挡红外光产生变化的电信号，该信号触发单片机③的外部中断，开启实时图像采集，同时点亮发光二极管进行补光，完成拍摄后通过离心清理模块⑥及时清理害虫，防止害虫爬出影响监测结果的准确性。

80

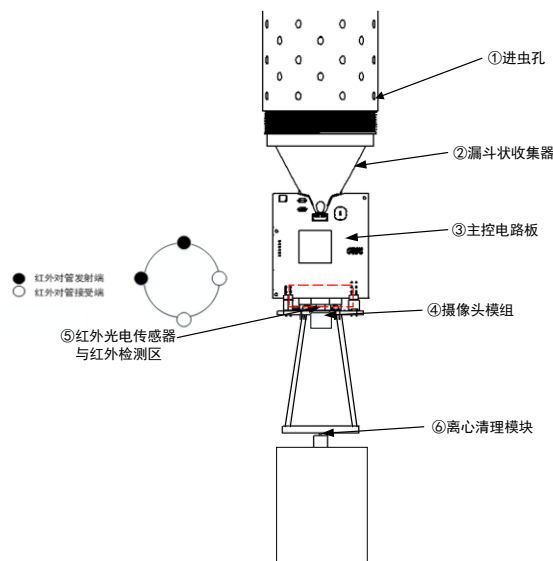


图 2 检测模块结构示意图

85 主电路板及摄像头模组位于漏斗状收集器 ϕ 的下方，其下方是收集模块和离心清理模块，摄像头模组如图 3 所示。结构设计时充分考虑了走线及连线方便性、清理模块装配的便捷性。

90 摄像头模组使用的是 OV (Omni Vision) 公司生产的一颗 1/4 寸的 CMOS 图像传感器，焦距为 2mm，光圈 (F.NO) 为 2.5，视场角为 170°，畸变小于 -88%。为了便于采用 485 总线传输图像数据，选取的输出图像尺寸为 300×300 像素，为防止图像边缘畸变对识别造成影响，视场范围 (FOV) 不小于 75mm×75mm，用于识别的是拍摄的图像中间 30mm×30mm 的区域。

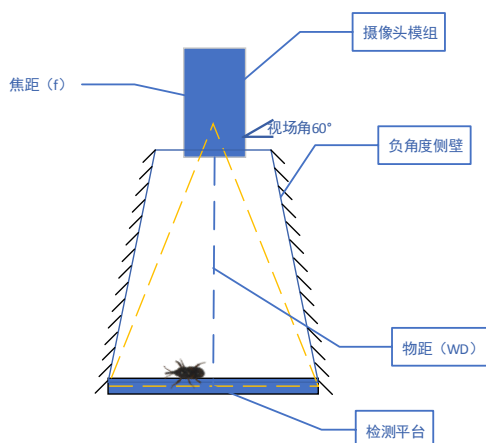


图 3 摄像头参数示意图

经公式 (1)、(2) 计算，可以得出物距的大小，进而设计最佳的摄像头位置结构。

95
$$FOV(H \text{ or } V) = WD \times CCD(H \text{ or } V)/f \quad (1)$$

其中，FOV 是相机实际拍摄的视场范围，H、V 分别代表高度和宽度尺寸，单位 mm；CCD 为传感器的尺寸（本文选用的 CCD 传感器 H 为 2.4mm，V 为 3.2mm）；WD 为物距，单位 mm；f 为焦距，单位 mm。

100
$$WD = f * CCD \text{ 传感器尺寸} / FOV(H \text{ or } V) \quad (2)$$

根据公式 (2)，当 FOV 取 75mm，CCD 取 2.4mm，f 取 2mm 时，计算可得物距 WD 为 62.5mm。这是主控板和摄像头模组距离收集平台底面上方的位置。该位置获取到的图像物体轮廓清晰，视野大小合适，拍摄到的储粮害虫样本平均大小在 15×12 像素至 46×38 像素之间，获取的图像如图 4 所示，图像为 300×300 像素图片。

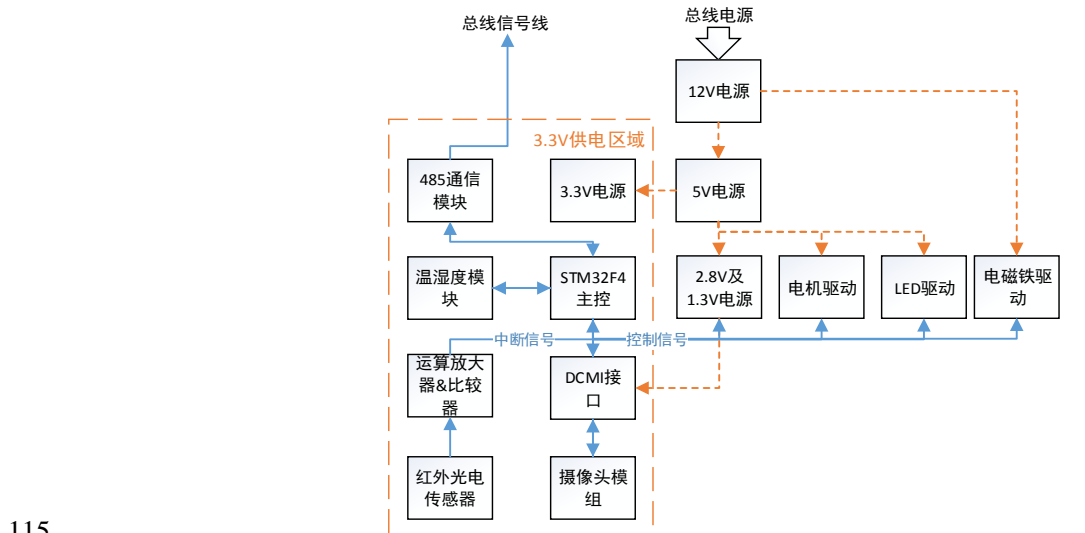


图 4 摄像头图像（左图为谷蠹，右图为扁谷盗）

1.2 硬件设计

设备的硬件电路组成图如图 5 所示。其中，主控芯片选用的是 100 引脚封装的

110 STM32F407 芯片，摄像头与主控芯片接口为 DCMI，运算放大器及比较器选用 RS6334XP 芯片，LED、直流电磁铁和直流电机采用 NMOS 管驱动控制，设备供电为 12V，5V 和 3.3V 两级稳压芯片分别为 SY8303 和 XC6210，设备采用 MAX3485 芯片通过总线方式传输数据。因为害虫的发生与粮堆温度、相对湿度环境因子密切相关，采用传感器 STH20 进行温湿度数据采集，使得每个探管可以同时获得害虫数量和种类、温湿度三维数据。由于设备结构的限制，本研究将硬件系统分为两部分：主控电路板和红外电路板，红外电路板集成红外光电传感器和 LED 模块，其余功能在主控电路板上。



115 图 5 硬件系统电路组成图（虚线为电源流向，实线为信号线、控制线流向）

1.2.1 主控电路板

120 设备的主控单片机 STM32F407 具有一个同步并行数字摄像头（DCMI）接口，能够接收摄像头模块发出的高速数据流。摄像头使用的是 OV（Omni Vision）公司生产的一颗 1/4 寸的 CMOS 图像传感器。主控电路板上还集成了串口转 485 模块，温湿度传感器模块，LED 驱动电路，电源管理模块，直流电机和电磁铁的驱动电路，红外光电传感器信号放大电路，比较器触发电路等。

(1) 电源模块设计

125 12V 电源通过总线输入给设备电路板，经过肖特基二极管后进入稳压模块 SY8303，该模块是一个开关稳压电源，根据公式（3）将电压降至 4.7V~5.2V。

$$R_2 = \frac{0.6V}{V_{OUT} - 0.6V} R_1 \quad (3)$$

当 R_1 、 R_2 阻值分别选 100K 和 13.7K 时，计算可得 V_{OUT} 为 5V。其中 R_1 、 R_2 及芯片电路图如图 6 所示。

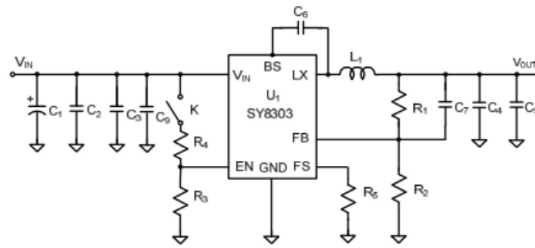


图 6 稳压芯片电路图

130

5V 电压再经过线性电源稳压模块 XC6210 输出 3.3V 电源供给单片机及运放模块、摄像头模组、红外传感模组、温湿度传感器、485 通信模块使用。12V 电压先降压为 5V 再稳压为 3.3V，组成两级稳压电路，既能使整流后的纹波电压大大降低，并且相比于直接降压为 3.3V，具有更高的能量转换效率，5V 电压也能够为直流电机、LED 和摄像头电源模组（2.8V 和 1.3V）提供电压源。

135

(2) 数字摄像头接口设计

该接口是一个同步并行接口，可接收高速（54MB/s）数据流。该接口包含 14 条数据线和一条像素时钟线。这些数据被放到 32 位数据寄存器(DCMI_DR)中，然后通过 DMA 进行传输。数据流可由可选的 HSYNC（水平同步）信号和 VSYNC（垂直同步）信号硬件同步，或者通过数据流中嵌入的同步码同步。本文采用 8 位数据线，将 DCMI 接口引脚复用到单片机相应的 I/O 口。为了使摄像头能够稳定工作，电路中额外设计了一个 24MHz 的外部有源晶振作为摄像头的时钟源，由 2.8V 稳压电路提供摄像头传感器驱动电源，1.3V 稳压电路提供摄像头模组 MCU 电源。

140

(3) 红外光电传感器触发电路设计

红外光电传感器输出的电信号由 D_IN1、D_IN2 输出，经过滤波和信号放大电路（图 7）后接到单片机 12 位模数转换器(ADC)通道。本文设计选用的运放芯片 RS6334 具有 4 路运放，其中两路作为运算放大器放大红外光电信号，另外两路作为比较器，与单片机数模转换器(DAC)输出的动态阈值电压(DA_OUT)作比较，当红外光电信号的电压值大于阈值电压时比较器输出信号触发单片机外部中断。

145

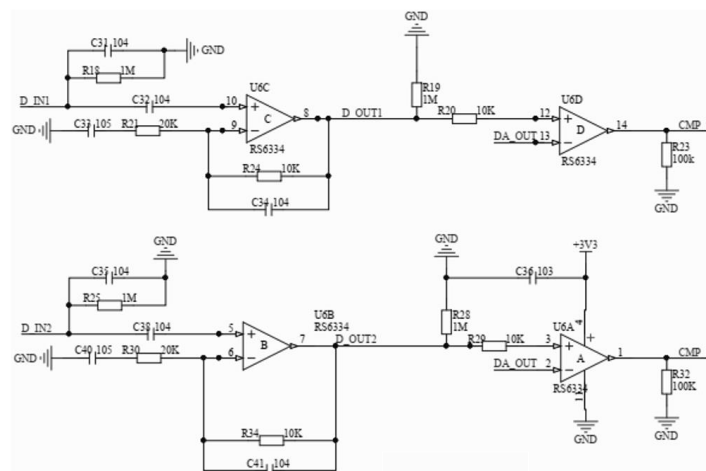
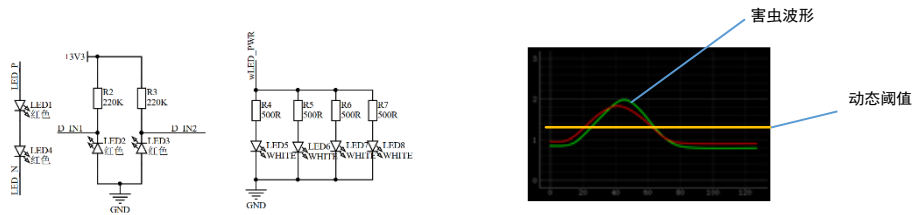


图 7 运放、比较器电路原理图

150

1.2.2 红外电路板

155 红外电路板原理图如图 8 (a) 所示, 为保证传感器稳定可靠的采集信号, 并且使两路发光二极管产生的光强接近, 采用了 PAM2804 LED 驱动。当有害虫下落时, 单片机 ADC 能够获取运算放大器输出的电压变化波形, 如图 8 (b) 所示。当红外光电传感器经运放后的输出电压高于单片机 DAC 输出的动态阈值时, 比较器输出高电平触发单片机外部中断, 告知单片机有物体掉落, 进而启动摄像头拍摄图片。在红外电路板的背面还有 4 个发光二极管, 当摄像头启动时打开, 进行补光。



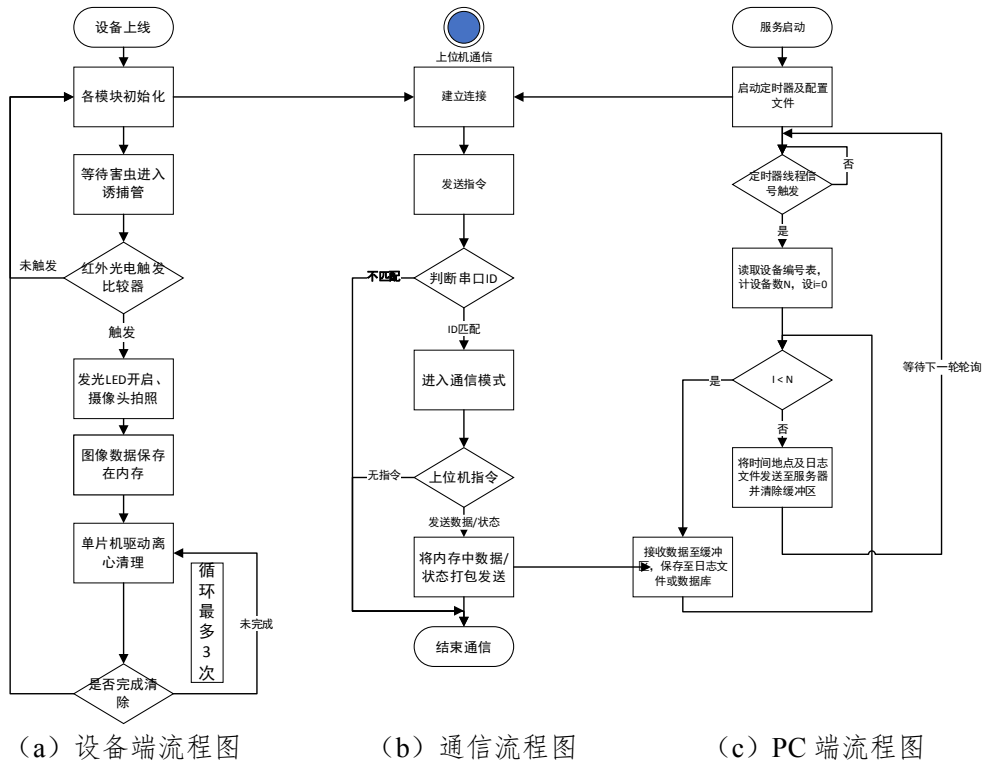
160 (a) 红外电路板原理图 (b) 电压变化波形

图 8 红外光电传感器

1.3 软件设计

设备监测并采集图像数据后, 将数据打包通过 485 总线传输给数传终端, 数传终端接收数据后再通过网络传输协议将数据打包发送至服务器 (PC 机端) 进行识别及统计分析。

165 由于图像数据通过 485 总线转串口传输至数传终端时, 为防止因为数据量过大导致传输时间过长、数据干扰、数据丢包等问题, 本研究将采集到的 300×300 像素的 RGB565 格式图片, 压缩成 JPEG 格式图片。使原本 300×300×2 字节的图片, 约 175KB 的原始数据压缩为 3~7KB 大小, 压缩率为 2%~4%。数据通过 485 总线传输, 为防止总线过长对数据传输造成干扰, 将波特率设置为 9600, 传输一张图片的数据约为 3~4 秒。除此之外, 为提高传输稳定性, 数据传输加入了 CRC 循环冗余校验, 数传终端接收数据后进行校验, 保证数据的一致性。为测试设备的性能, 采用 QT 开发了 PC 端测试软件, 它能够定时轮询访问总线上的设备, 获取单位时间内设备是否有物体掉落, 如有则接收图像数据保存为 protocol buffers 格式至本地, 等待轮询结束后发送至服务器端。软件的流程图如图 9 所示。



175

(a) 设备端流程图

(b) 通信流程图

(c) PC 端流程图

图 9 软件流程图

2 系统调试及实验结果

向设备内投掷一定数量的害虫以模拟粮堆中害虫进入设备的情景，当设备检测到害虫或物体掉落时触发中断，MCU 控制摄像头模组进行图像获取，再将获取到的图片保存，接收到上位机的指令时将数据通过 485 总线上传，上位机将数据解析后显示结果，如图 10 所示。

180



图 10 实验结果显示

本研究使用动态阈值方法判定害虫掉落，当单片机 DAC 模拟输出阈值电压设置为 100 单位时，约 80mV，判定灵敏度最高但是容易误触发；当阈值设置为 200 单位时，对于体积较大的害虫能够有效判定，但是体积较小的害虫容易出现漏检的情况。为测试系统功能稳定性及可行性，选体积较大的蛀蚀性害虫谷蠹（2mm~3.2mm）和体积较小的粉食性害虫扁谷盗（1.2mm~2mm）各 20 头，以及杂质（1mm~3mm）20 个，在 100、150、200 单位

185

阈值下进行测试, 测试结果见表 1。

190

表 1 不同阈值对实验的影响

阈值电压/单位	准确率 (Accuracy)	精确率 (Precision)	召回率 (Recall)	获取图像数量	清理后剩余 物体数量
100	0.783	0.776	0.95	51	0
150	0.85	0.86	0.925	45	0
200	0.817	0.872	0.85	42	0

195

实验的分类结果(判断掉落是否为害虫)使用准确率、精确率和召回率进行评估。其中准确率反映的是判断对的样本数量; 精确率是判断为害虫的样本中真正为害虫的样本占比; 召回率是真实为害虫的样本中判断对的样本占比。因为获取的图片还会进行进一步分类和计数, 因此这里优先参考召回率的标准, 但是 150 单位与 100 单位召回率相差不大, 但是精确率相差很大, 说明在杂质较多的环境下更容易误判, 因此选取 150 单位具有较好的实验效果。而在所有实验中离心清理结果都能够有效地将害虫或杂质清理, 防止害虫的重复检测, 满足了设备应用的基本设计要求。

3 结论

200

本研究提出了一种用于粮堆内部的储粮害虫图像采集设备, 该设备通过探管式诱捕结构诱捕害虫, 红外光电传感器检测掉落的物体, 摄像头模组获取图像, 上位机处理数据显示结果。并且针对粮库的应用场景优化了设备结构, 使其具备诱捕粮堆中的储粮害虫并采集害虫图像信息的功能。对图像采集过程中遇到的问题进行了分析总结, 并提出了解决方案, 包括如何获取清晰、大小合适的图像, 如何提高图像传输效率, 降低数据传输错误风险, 图像获取后如何清理等。整个系统的工作流程验证了该装置具有在线监测粮堆害虫的实际应用价值, 为探管式储粮害虫图像检测设备提供现实指导意义。

205

[参考文献] (References)

210

- [1] 高华, 祝玉华, 甄彤. 仓储害虫检测技术的研究现状及展望[J]. 粮油食品科技, 2016, 24(2): 93-96.
- [2] 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(5): 41-43.
- [3] 赵奇, 田本志. 国外应用人工合成信息素防治仓储物害虫的研究[J]. 中国粮油学报, 1999(2): 52-55.
- [4] White N D G, Loschiavo S R. Effects of Insect Density Trap Depth and Attractants on the Capture of *Tribolium castaneum* Coleoptera Tenebrionidae and *Cryptolestes ferrugineus* Coleoptera Cucujidae in Stored Wheat[J]. Journal of Economic Entomology, 1986, 79(4): 1111-1117.
- [5] 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): 123-128.
- [6] Subramanyam B, Hagstrum D W. Alternatives to Pesticides in Stored-Product IPM[M]. Springer US: ,2000.
- [7] Km S B, Nachiket K, Debandya M, et al. Techniques for insect detection in stored food grains: An overview[J]. Food Control, 2018, 94: 167-176.
- [8] 邱道尹, 张红涛, 陈铁军, 等. 基于机器视觉的储粮害虫智能检测系统软件设计[J]. 农业机械学报, 2003, 34(2): 83-85.
- [9] 苏庭奕. 基于图像处理的储粮害虫检测及识别方法研究[D]. 河南工业大学, 2015.
- [10] 王爱新, 李春友, 张喆. 基于计算机视觉的农业图像害虫定位检测算法[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(7): 361-364.
- [11] 郑州鑫胜电子科技有限公司. 粮仓害虫检测装置[P]. 中国 200420075415.7, 20060607.
- [12] 北京良安科技有限公司. 全自动储粮害虫诱捕检测系统[P]. 中国 201720468613.7, 20171219.
- [13] Yufeng Shen, Huiling Zhou, Jiangtao Li, Fuji Jian, Digvir S Jayas. Detection of stored-grain insects using deep

225

learning[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2018, (145): 319-325.

[14] 王威松, 周慧玲, 秦戈, 成思扬, 汪中明, 崔淼. 一种探管式储粮害虫诱捕在线监测装置的设计研究[J]. 中国粮油学报, 2020, 35 (09) : 139-144+149.

230

[15] 姚涓, 傅剑萍. 储粮害虫数量传感机理与技术体系[J]. 粮食储藏, 2002, (05) : 3-8.

[16] 白旭光. 储藏物害虫与防治[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

[17] 熊鹤鸣, 庞和诚, 田智军, 等. 陷阱测虫器与扦样器对高大平房仓储粮害虫调查结果的比较[J]. 粮油仓储科技通讯, 2003 (6) : 43-44.