

分 类 号 _____
学校代码 10487

学号 M201572491
密级 _____

华中科技大学
硕士学位论文

烟草虫情图像采集与监测系统研究

学位申请人：孙 艸

学 科 专 业：控制工程

指 导 教 师：郑英 教授

答 辩 日 期：2017 年 5 月 20 日

**A Thesis Submitted to Huazhong University of Science and
Technology for the Degree of Master of Engineering**

**Research on Tobacco Pests Image Acquisition
and Quantity Monitoring System**

Candidate : Sun Sou

Major : Control Engineering

Supervisor : Prof. Zheng Ying

Huazhong University of Science & Technology
Wuhan 430074, P. R. China
May, 2017

摘要

烟草产业在国民经济中具有重要地位，在香烟生产过程中的烟草虫害严重影响香烟品质。业内长期采用人工方式监测和防治烟草害虫，存在数据代表性差、生产效率低和防治实时性差等问题。本文设计了一种自动虫情监测系统，旨在提高虫情监测、虫害防治和管理的自动化水平。

论文分析了国内外农业害虫诱捕、计数及其图像识别方法，采用信息素和光学诱导方法及粘胶捕获手段，以计算机图像识别技术为基础构建了虫情监测系统。系统包括虫情监测端、数据服务器和 Web 客户端及其软件。针对仓储烟虫监测工况，设计了利于诱捕、方便操作和防尘的铰链结构监测端机箱。以 ARM Cortex-M3 内核的 STM32 微控制器搭建了监测端硬件平台，用 CMOS 图像传感器 OV5640 采集虫情图像，采用内含 TCP/IP 协议栈的 W5200 模块为以太网接口，将虫情图像传输至数据服务器。为减少电源布线，用 SI3400 芯片实现了以太网供电技术。数据服务器端软件在 QT 平台上设计，实现了厂区监测点布局、图像采集轮询、虫数识别算法与虫情报警等功能。结合 MVC (Model View Controller) 开发模式，以浏览器/服务器 (B/S) 构架实现了远程客户端的虫情图像浏览、历史数据查询和报表打印等功能。

经测试验证，该系统能够实现预期功能，运行稳定，诊断准确率达到 99%，单个监测点响应速度达到 1200ms。并实现了烟草虫情网络化管理，降低了工人劳动量和烟草产量的损失，达到了监测害虫的目的。

关键词： 烟草虫害 虫情监测 诱捕器 图像识别 以太网供电

Abstract

Tobacco industry in the national economy has an important position. Tobacco pests in the production of cigarettes seriously affect the quality of cigarettes. The industry long-term use of artificial methods to monitor and control tobacco pests, there are poor data representation, low production efficiency and poor real-time control and other issues. This paper designs an automated pest monitoring system designed to improve the level of automation for pests monitoring, pests control and management.

This thesis analyzes the trapping, counting and image recognition methods of agricultural pests at home and abroad, and constructs the insect monitoring system based on the computer image recognition technology by using pheromone and optical induction method and viscose capture method. The system includes the monitoring terminal, data server and Web client and its software. In view of the monitoring condition of the storage insects, the hinge structure monitoring chassis is designed to facilitate the trapping, easy operation and dustproof. The monitoring terminal hardware platform is built with the STM32 microcontroller of the ARM Cortex-M3 core, and the worm image is collected by the CMOS image sensor OV5640. The W5200 module with the TCP / IP protocol stack is used as the Ethernet interface. Then, the pest images are transmitted to the data server. In order to reduce power wiring, the SI3400 chip is used to achieve Power over Internet technology. The data server software is designed on the QT platform, which realizes the functions of factory monitoring point layout, image acquisition polling, insect number recognition algorithm and insect alarm. Combined with MVC (Model View Controller) development mode, the browser / server (B/S) architecture is used to achieve the remote client of the insect image browsing, historical data query and report printing and other functions.

It is verified that the system can achieve the expected function, stable operation, the diagnostic accuracy rate of 99%, a single monitoring point response speed of 1200ms. And implementation of the tobacco pest network management, reducing the labor amount and tobacco yield loss, achieves the purpose of pest monitoring.

Key words: Tobacco pests Traps Image identification Power over ethernet
Insect monitoring

目 录

摘 要	I
Abstract	II
1 绪论	
1.1 研究背景与意义	(1)
1.2 国内外研究状况	(1)
1.3 论文主要研究内容	(6)
2 系统总体分析与方案	
2.1 烟虫捕获原理	(8)
2.2 系统需求分析	(8)
2.3 诱捕器机箱的设计	(10)
2.4 虫情监测系统组成	(12)
2.5 服务器与客户端软件构架	(14)
2.6 虫情识别图像处理算法研究	(14)
2.7 本章小结	(17)
3 虫情监测点软硬件设计	
3.1 系统硬件总体结构	(18)
3.2 主控电路设计	(19)
3.3 图像采集电路设计	(22)
3.4 以太网传输电路设计	(23)
3.5 以太网供电 (POE) 设计	(25)
3.6 虫情监测模块软件设计	(30)
3.7 本章小结	(39)
4 服务器与客户端软件设计	

华 中 科 技 大 学 硕 士 学 位 论 文

4.1 软件总体设计	(41)
4.2 虫情监测中心服务器端系统开发	(42)
4.3 基于 B/S 架构的 WEB 端虫情监测软件开发	(47)
4.4 B/S 架构与 C/S 架构之间的通信	(50)
4.5 数据库的设计	(51)
4.6 本章小结	(53)

5 系统实验测试

5.1 测试方法	(54)
5.2 功能效果	(55)
5.3 性能测试	(57)
5.4 本章小结	(59)

6 总结与展望

6.1 总结	(60)
6.2 展望	(61)
致 谢	(62)
参考文献	(63)

1 绪论

1.1 研究背景与意义

虫害的防治是农产品生产过程中最为重要的一个环节，与农业产品是否高产、优质均息息相关^[1]。害虫数量监测是防治害虫的主要手段，广泛应用于农业、城市环境、食品安全、植物保护等领域^{[2][3][4]}。害虫数量的监测不仅可以提供准确的虫情数据，还可以对虫害未来发生的危害趋势作出预测。在香烟的制作程序中，防治烟草虫害这一环节也同样必不可少^[5]。

在香烟的整个生产周期中，香烟的品质主要取决于烟草，而烟草虫害是影响烟草质量的重要因素，所以我们需要时刻关注每个烟草生产厂房的虫害情况^[6]。烟草害虫种类十分多，繁殖速度快，对其监测与防治不及时将导致香烟减产或质量受损^[7]。目前最常见的杀虫措施是用磷化物进行熏蒸。熏蒸过程中会产生大量的磷化氢气体，该气体有剧毒并且极易自燃。稍有不注意，对人体和烟草工厂会造成严重的损害，甚至会引燃周围的可燃物而发生火灾。所以，一旦失去对烟草害虫的控制，靠生产香烟的商户将造成严重的经济损失^[8]。因此，在工厂的管理中，对于虫情的监测和控制是以往仓库管理中不可缺少的环节。

我国烟草工厂主要通过将害虫诱导到诱捕器中，然后人工不间断监测的手段对害虫进行计数。但烟草害虫繁殖能力很强，人工方式会造成对烟草虫害无法及时的监测和识别，对烟厂盲目用药以及带来劳动强度大的缺点。人工监测方式无法达到预期的防治效果，而且严重污染环境，带来较大的经济损失。因此，开发一套全自动化的系统，对于降低生产工人的劳动强度、提高识别与计数仓储烟草害虫的准确率，使烟厂实现“数字化，网络化，全方位”的虫情监测和管理^[9]，具有重要的意义。

近几年来高分辨率、低成本、体积小的图像传感器的出现，以及图像识别技术和计算机技术的快速发展，使得研发具有自动图像采集、虫情计数和报警的虫情监测系统成为可能^[10]。

1.2 国内外研究状况

1.2.1 烟草害虫相关介绍

烟草的经济效益主要集中于烟叶，而大部分的烟草害虫均以叶片为食物，所以烟草虫害会造成烟草工厂极大的经济损失。烟草害虫主要分为两类，田间害虫和贮烟类烟虫，其中贮烟类烟虫是烟草工厂中对烟草制品危害最大的害虫。

田间类烟虫主要分为地下害虫类、刺吸类以及食叶类害虫。地下害虫主要以烟草的根部为食，使烟草无法获取营养而导致死亡。刺吸类害虫以烟蚜虫为主，烟蚜以成蚜和若蚜在烟叶和烟茎上刺吸烟草汁液，汁液的流失导致烟草生理代谢紊乱，发育缓慢，烟叶品质下降。食叶类害虫主要以烟草的叶片为食，导致烟叶不完整。有时会危害烟草的嫩茎，使烟草过早的枯萎^[11]。

贮烟类害虫是在烟草工厂中，以烟草制品为食并导致烟厂经济严重受损，严重影响社会效益的害虫^[12]。烟草仓储生产环节常见的害虫主要有烟草甲和烟草粉（斑）螟，其中烟草甲虫是卷烟车间中危害最严重的害虫。也是本文所研究的对象，如图 1-1 所示。

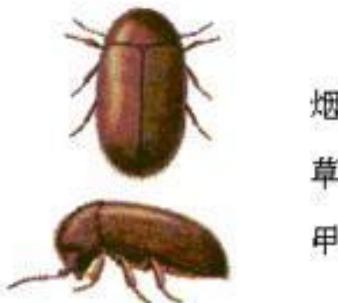


图 1-1 烟草甲虫图片

烟草甲虫主要以烟叶及其制品为食。一年发生 2-5 代，以老熟幼虫在烟包内、烟草碎屑或包装物上越冬，次春温暖时开始活动，交配产卵。该害虫体积极小，繁殖能力强、数量较多，如果只靠人工的手段来进行监测，会大大降低准确度。

1.2.2 烟草害虫诱捕装置应用现状

目前，捕获害虫首先用光源、食物、引诱剂、颜色以及声音等方式诱导害虫，然后对其进行捕获。

(1) 光电诱导

利用光源吸引趋光性害虫，在诱捕装置中添加光源进行诱捕。

(2) 引诱剂诱导

利用害虫对于引诱剂敏感性来进行诱捕，但是由于引诱剂的单一性，导致诱导害虫种类比较单一。

(3) 颜色诱导

根据捕获烟草害虫对某个颜色的吸引度，设置特定颜色来进行害虫的捕获。

(4) 声音诱导

利用烟草害虫对于异性发出的求偶声来诱导害虫。

针对不同的害虫，使用有效的诱导方式有利于捕获害虫。捕获害虫后需要对其虫害情况进行监测，烟草害虫监测是防止烟草在存储过程中被害虫损害的重要手段之一。以往的规范性检测主要是通过人工采样，筛选样品中的害虫数量，然后判断虫害等级并根据等级标准来决定应对措施。但人工的方法导致劳动强度大并且不准确的缺点，目前国内外正在使用害虫诱捕器的方式对虫害情况进行监测，诱捕器的设计是基于上述描述的诱导方式而设计。这种方式具有省力，省时，环保等特点，所以开展了越来越多的研究。目前波纹板诱捕器、探管诱捕器以及信息素表面诱捕器使用的越来越多。王公勤等对这几种诱捕器的效率和准确度进行了实验，并发现诱捕器具有发现害虫早、诱捕数量多、种类多的优势^[13]。

张初阳等利用波纹诱捕器进行了生产性试验^[14]。波纹诱捕器主要是利用害虫喜暗、避光等习性诱导害虫进入波纹板中，相关人员通过观测虫杯中的害虫情况来判断虫害等级，大大减少了采集以及分析的工作量。如图 1-2 为波纹诱捕器示意图。

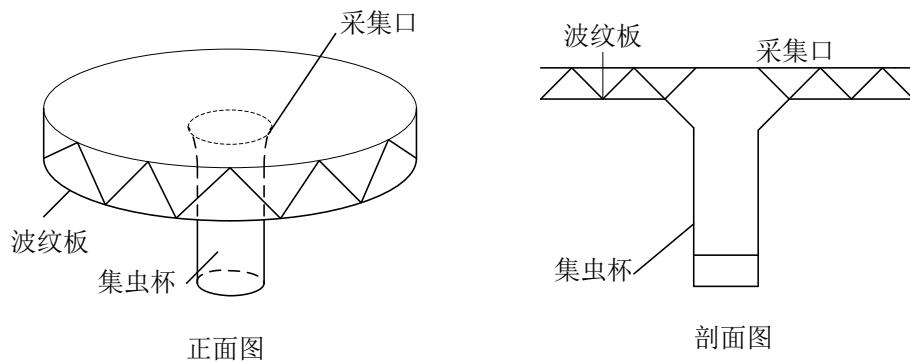


图 1-2 波纹诱捕器

MT Vanweelden 利用信息素诱捕器对墨西哥水稻螟虫进行诱捕实验^[15]。信息素

诱捕器是根据所要捕获害虫的特性，收集信息素，将信息素和食物诱捕剂的诱芯放置在捕获器上的方式进行诱捕。使用时放置在田间，定期检测其中的害虫。

探管诱捕器是直径 30mm，长 50mm 塑料管，在其下端开有 2.5mm 的斜向小孔，使用时将其直接插于烟草存储表面，上端露在外面，监测时拔出，检查其中害虫然后放回原处。这种方式检测精度较低，放入害虫不密集的位置将会导致检测不准确。

这几种诱捕器都有助于害虫的监测，但无法实时性查看，并且准确率低，可观性差。在监测害虫的过程中，我们必须做到“早发现，早预防，早处理”^[16]。在本文的研究中，由于烟草甲虫对性信息素敏感，所以对该害虫的诱导采用的是信息素诱导，捕获方式采用虫板粘连的方式。

1.2.3 影响诱捕器诱捕的效果因素

王争艳等为了提高诱捕器在捕获害虫方面的效果，对诱捕器的形状，诱导方式，不同的摆放位置、环境温度以及诱捕时间等影响因素进行研究，比较得出诱捕器摆放的位置、害虫的习性以及诱捕器的种类影响着诱捕器的功能^[17]。

(1) 害虫的生活习性

由于害虫种类多种多样，同种诱捕器作用在不同类的害虫身上效果大有不同，熟悉所需诱捕害虫的习性，会对诱捕效果有所提高。

(2) 诱捕器的形状与捕获效果

诱捕器形状和大小的改变和诱捕器摆放的位置，对同种害虫的诱捕效果也有差异。

1.2.4 烟草虫害图像传输设备现状

随着国内外图像采集监测与传输系统研究的深入，应用于农业虫害图像识别领域也越来越多。针对虫害图像采集的对象和目的各不一样，在系统的开发和研究上也各有不同。

(1) 基于有线以太网传输与 PC 机搭建图像传输设备

范平平设计了一套基于单片机的图像采集系统，其中图像传输方式采用有线以太网，PC 机作为显示终端搭建整套系统^[18]。

(2) 利用移动端搭建图像传输设备

姜慧利用 Andriod 手机终端作为图像采集装置，并结合 HTTP 协议将图像传输到远端服务器。在后台调用识别算法，并把识别结果传输给手机终端完成对水稻害虫监测^[19]。但由于农业现场环境比较复杂，系统诊断以及监测仍然需要人工的参与，在采集方面消耗了大量的时间。孙鹏同样基于 Andriod 平台设计了一套图像采集系统，成功对储粮害虫进行了监测，增加了粮食的产量^[20]。

(3) 基于无线传感器网络的图像传输系统

张秋利用远程面板技术（Remote Panel）和 GSM 技术搭建无线网络，利用温度、湿度等传感器对粮仓进行实时监测，在 LABVIEW 平台上设计上位机用来显示，完成粮仓监测系统的设计^[21]。陈光绒等应用 ZigBee 和 GPRS 技术搭建无线传感网络，与各类传感器结合，对农作物害虫危害进行自动测报。传感器检测是否有害虫进入，ZigBee 和 GPRS 用作指令的传输与数据的收发^[22]。

(4) 基于 Web 服务的图像传输系统

局域网内搭建的图像传输系统无法满足航天领域以及地理环境领域的图像传输要求。为了能够远程的采集和传输图像，毛宏燕等人开发了基于 Web 服务的图像处理系统 WIP（Web Service based Image Processing），充分利用计算机技术和无限传输技术，更好地解决了远距离图像的处理和存储^[23]。

1.2.5 烟草害虫图像识别研究进展

昆虫图像识别是指对昆虫图像去噪，然后进行图像背景分割，提取出昆虫的轮廓和边缘特征，最后，根据需要进行相关数据的统计和处理^[24]。昆虫图像处理与识别技术已经比较成熟。其中图像预处理和特征提取最为重要。

(1) 昆虫图像预处理

昆虫图像预处理过程主要是对复杂背景下昆虫图像进行图像的去噪、平滑化、二值化和图像的边缘检测和分割，使处理后的图像方便进一步的分析。常见的去噪方法有领域平均法、加权平均法以及中值滤波法^{[25][26]}。为了构建图像的二值化灰度图，张灿等应用小波分析插值法，使得到的灰度图更为清晰^[27]。为了降低彩色图像灰度化过程中信息的丢失，周茗琪以显著度为标准，更好保留了原有图像的信息。

图像经过灰度化和降噪后，还需要进行平滑性处理改善图像质量^[28]。王耀贵在对图像预处理中，设计一个平滑尺度和模板可以改变的高斯滤波器，有效地对图像进

行平滑性处理^[29]。处理后需要对图像中的研究对象进行边缘检测与分割的工作，王军敏在提取蝴蝶轮廓边缘时发现，Sobel 和 Laplace 算子有利于图像的边缘检测^[30]。中国农业大学的沈佐锐教授等在微小昆虫识别领域中提出多种阈值分割方法^[31]。图像的分割方法还有区域增长法、聚类法、遗传算法等^[32]和基于多重分形去趋势移动平均分析的图像分割新方法^[33]等。

(2) 图像特征提取

由于一些昆虫自身具有一定的特点，我们需要在预处理的图像中提取出这些有效的图像特征数据，这样才能对研究对象进行识别分析。A Romero 等提出来无人监督的预训练的高效特征提取算法，在需要高分辨率和详细结果的要求下，具有极高的计算效率^[34]。郦苏丹为了实现更高的目标识别率，提出来 SAR 图像的特征提取和目标识别方法，利用该方法能够有效的提取出研究对象的特征^[35]。为了从蜂窝图像中提取所需特征，P Cork 提出了在相对嘈杂的图像中提取相对较弱的特征的方法^[36]。A Hyvarinen 提出了基于稀疏编码和独立分量分析的图像特征提取算法^[37]。

1.3 论文主要研究内容

本课题与某烟厂公司合作，希望设计一套全自动的图像采集与监测系统，解决烟厂中人工识别的缺陷。整个系统主要包括虫情监测设备，虫情监测中心服务器端软件以及基于 B/S 架构的浏览器端虫情监测软件。通过摄像头采集诱捕器上捕获的虫情图像，诱捕器如图 1-3 所示，传统的人工方式是通过肉眼观察得出虫害的数量。现阶段我们希望通过图像处理与分析，统计出虫害情况，传输给上位机供给工作人员实时的查看，减少人工劳动强度。本文主要设计图像采集与传输硬件电路，然后结合数字图像处理技术、网络通信、数据库方面的知识设计虫情监测中心软件实现对工厂统一自动化的管理。另外为了使工厂人员能够更为方便的监测虫害，还设计了基于 B/S 架构的浏览器端虫情监测软件，开发出一整套功能全面的烟草虫情图像采集与监测系统。具体的研究内容如下：



图 1-3 诱捕器图片

(1) 烟草虫害图像采集设备设计

设计硬件模块，采集诱捕器区域的虫情状况，并通过网络协议将图像数据传输给服务器软件进行相关图像的处理与识别。

(2) 虫情监测中心服务器端软件开发

该软件需要完成对烟草虫害图像的处理与害虫数量的统计并将结果存入数据库的功能。并且，当害虫数量超过所设置的阈值时，软件会产生报警，通知相关技术人员采取除虫措施。

(3) 图像处理技术的研究

由于图像处理技术并不是本人的研究领域，在系统的设计上，该部分与其他研究人员一起合作完成。但为了论文的完整性，在后文中对所使用的图像处理技术进行了详细的介绍并展示了实验结果。

(4) 基于 B/S 架构的 WEB 端虫情监测软件开发

研究了 B/S 架构进行 Web 开发，对比 JAVA 和.NET 两种 Web 开发技术。并结合 JS 与 JQUERY 技术开发本软件。用户在移动端或在 PC 端通过一个浏览器便可以随时访问服务器得到数据库中摄像头采集到的虫害图片。

2 系统总体分析与方案

2.1 烟虫捕获原理

根据昆虫的捕获原理，设计了捕获烟草害虫的诱捕器，在车间内定点布置烟虫诱捕器，并构建车间烟虫诱捕器虫情监测网络。在诱捕器的设计上，利用信息素和光源来诱导害虫，通过粘虫板来捕获害虫^[38]。如图 2-1 所示，通过在圆形物中放置信息素，在上方添加诱捕光源，诱导烟虫爬向诱捕区域。进入诱捕区域后，害虫就会被区域内粘性材料所捕获，进而成功捕获到烟草害虫。该诱捕器最大优点在于无污染、简便和高效捕获。

诱捕器中信息素采用的是性信息素^[39]，该信息素是由雌性生成主要用于吸引雄性。使用该信息素诱捕器有可能实现大量诱杀，因为通过雌性信息素诱导大量的雄性害虫并杀死，雄性害虫数量的减少会导致下一代害虫的数量随之减少。

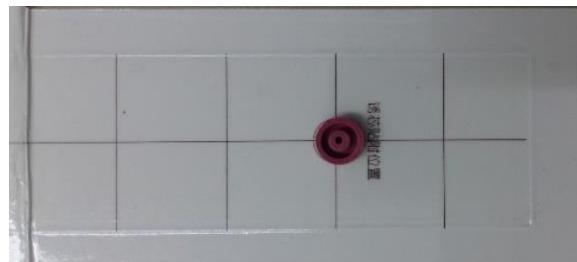


图 2-1 诱捕器平面图

2.2 系统需求分析

经过实地考察和调研，目前烟草工厂仍然采用人工巡查的方式来进行虫情的监测。主要是直接将诱捕器悬挂在监测点上，然后工人每隔一段时间进行巡查记录诱捕器上方的虫害情况。当发现虫害情况严重后，再进行清洁工作。清洁时，由于除虫剂含有磷化物，极易自燃，需要整个工厂停工。这种人工巡查的方式带来极大的工作量，并且准确率不高，效率低下，虫情历史数量对比不明显。为了解决这些缺点，设计了一套全自动模式的虫情图像采集和监测系统。该系统需要能够自动的采集诱捕器上的虫情图像，并传输到上位机进行图像处理和虫情数量的统计，操作人员可以不用在

大范围空间内进行巡查，只需要在 PC 机上操作便可以对整个工厂的监测点进行监测。并且可以通过历史数据曲线对比每个监测点的虫害情况。

烟草虫情图像采集与监测系统包括三大功能，硬件设备采集图像与传输功能、虫情监测中心服务器端软件处理图像并存入结果到数据库功能以及浏览器客户端查看各个监测点虫害情况的功能。总体功能框图如图 2-2 所示。

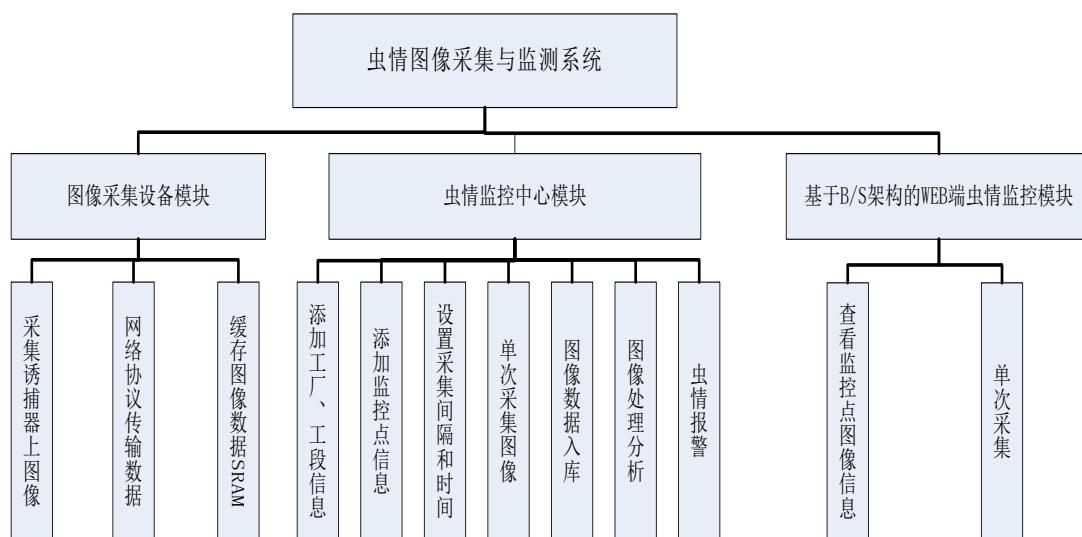


图 2-2 系统总体功能框图

1) 图像采集硬件设备采集图像与传输功能

(1) 烟草虫害图像采集功能

用户在服务器上可以设置每天定时的采集图片或者实时点击采集图片按钮，然后硬件设备通过 STM32 控制 OV5640 摄像头采集虫害图片，并存储在 SRAM 中。

(2) 烟草虫害图像传输功能

采集到烟草虫害图像后，通过以太网将图像传输到虫情监测中心服务器端，等待服务器的后续处理。

2) 虫情监测中心服务器端软件处理图像并存入虫害数量数据库功能

(1) 添加工厂、区域、车间以及工段

工厂根据制烟流程中的每一部分对每个区域进行了划分并命名。用户可以通过添加功能对软件进行初始化，录入详细的工厂信息方便后续的监控与查询。

(2) 烟草虫害图像处理功能

通过图像处理与识别技术分析出虫害情况，并统计出虫害的数量。

(3) 数据库存储图像处理结果

虫情监测中心服务器端软件对监测点采集到的图像处理后，结果都会存入数据库中，并且用户可以查看历史报表。

(4) 烟草虫害报警功能

虫情监测中心服务器端软件统计出的虫害数量一旦超过限制值，便会产生报警，通知相关人员进行除虫处理。

(5) 实时采集功能

用户可以实时采集监测点图像，观察每个监测点的图像数据以及处理后的虫害情况。

3) 浏览器查看各个监测点虫害情况的功能

(1) 查看烟草虫害图像

用户通过浏览器端（或移动端）访问 Tomcat 服务器，然后返回数据库中存储的每个监测点的图像信息以及虫害情况信息，但浏览器仅仅只是作查看作用，控制还是由虫情监测中心来完成。

(2) 单次采集，实时查看

数据库共享图像数据，浏览器访问虫情监测中心进行实时采集，将图像处理结果存入数据库中。浏览器端再访问 Tomcat 服务器通过从数据库中获得相关图像数据，并显示到页面上。

2.3 诱捕器机箱的设计

由于该诱捕器在烟草工厂中悬挂使用，厂中的灰尘会影响图像质量，并且每隔一段时间需要替换新的诱捕虫板。所以将诱捕器和图像采集设备设计成一个整体，放入机箱中，然后悬挂在工厂的每个监测点的墙壁处或者角落处进行虫情的监测，达到耐用、防尘和简便的效果。这样才能保证诱捕器不受到外界因素的影响，准确的捕获害虫并采集到清晰的图像^[40]。

根据以上需求，设计了一种诱捕器机箱，实现了以上的功能。具体结构如图 2-3 所示。在整个机箱的设计上，机箱的前面放置诱捕虫板，在隔板 6 的上面放置图像采集设备，其中摄像头垂直于隔板，并置于透明的有机玻璃盒 7 中。有机玻璃是隔离摄

像头防止灰尘进入影响拍照的质量。机箱在底面、左侧面和右侧面机箱进行了开孔处理，孔与孔之间交错摆放，即保证了结构上的稳定性，又能使烟虫不会滑落，烟虫可以准确的进入诱捕器的捕获范围内。机箱的前面平面图如图 2-4 所示，虫板用卡槽进行固定，使其不容易松动，保证虫板在摄像头采集范围内。在更换虫板时采集直插式的方式，工作人员只需要将虫板从机箱滑槽中抽出，然后插入新的虫板即可，使用起来比较方便。在虫板卡槽的前方设计有防尘罩，防止员工清洁工厂时，灰尘进入影响诱捕器的使用，防尘罩在使用时通过滑槽上下滑动，上滑动时可以盖住虫板，防止灰尘进入，下滑时可以露出虫板捕获害虫。机箱中部的隔板靠近前面的位置开有一个小孔，用于插入紫色 LED 灯，该灯光有益于诱捕烟草甲虫。在机箱的后面 5 安装有铰链，能够直接悬挂在墙面上，安装简单方便，并且稳定。

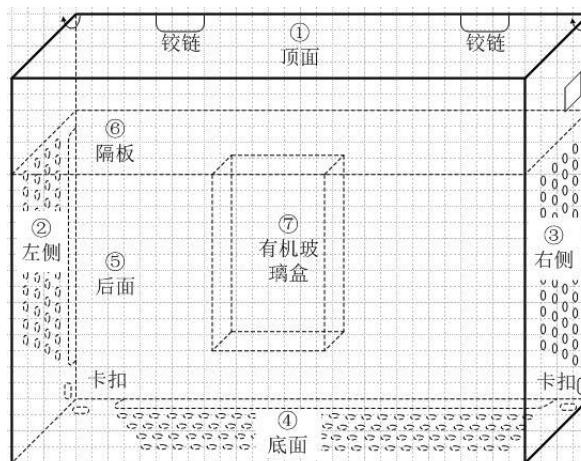


图 2-3 机箱结构图

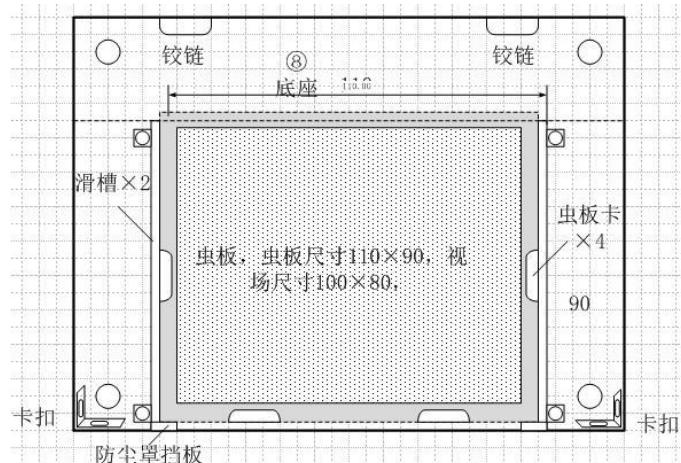


图 2-4 机箱前面平面图

2.4 虫情监测系统组成

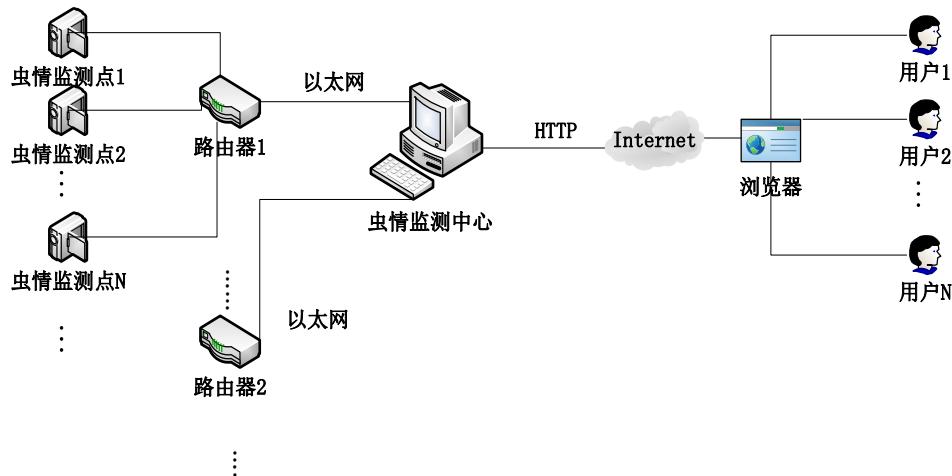


图 2-5 系统结构图

根据烟厂的实际需求,为了解决现阶段烟厂人工监测的方式。研究并设计了一套全自动化、不需人工干预的烟草虫情图像采集与监测系统,图 2-5 是整个系统结构框图,整个系统主要由 3 个部分组成:虫情监测图像采集设备即虫情监测点,虫情监测中心软件以及基于 B/S 架构的 WEB 虫情监测端。用户通过 HTTP 协议访问浏览器与虫情监测中心通信。每个虫情监测点放有虫情监测设备,虫情监测设备放入诱捕器机箱中,厂房的每个虫情监测点统一连接到路由器上通过以太网连接,利用 TCP/IP 协议与上位机进行通信。虫情图像采集与监测系统软件是结合 C/S 架构(客户端/服务器端架构)与 B/S 架构(浏览器/服务器结构)来进行开发,这两种架构方式在下一小节进行详细介绍。这样操作人员就可以通过该系统对整个厂房的监测点进行监测,不仅减少了大量的劳动力,而且也保证了监测的实时性,在准确率上也提高了许多。

(1) 虫情监测点

在诱捕机箱中,虫情监测图像采集设备可以采集监测点的虫害情况,通过图片的形式传输到上位机,使烟厂工人实现实时监测,并可以完成定点,定时的采集,无需人工的干预。

(2) 虫情监测中心服务器端

虫情监测中心作为 C/S 架构的服务端,主要接受图像采集设备作为客户端传输过来的图像数据以及控制虫情监测设备的拍摄。如图 2-6 所示,首先虫情监测中心发出

控制信号传输给路由器，然后将监测指令转发到监测节点，开启图像传感器，将拍摄到的图像通过网络协议返回给虫情监测中心。接受数据后调用图像识别算法进行检索和识别，分辨出虫害的数量并作标记，最后存储识别结果供历史浏览。一旦虫害情况超过用户设置的限制值，便会产生报警，通知相关人员进行处理。

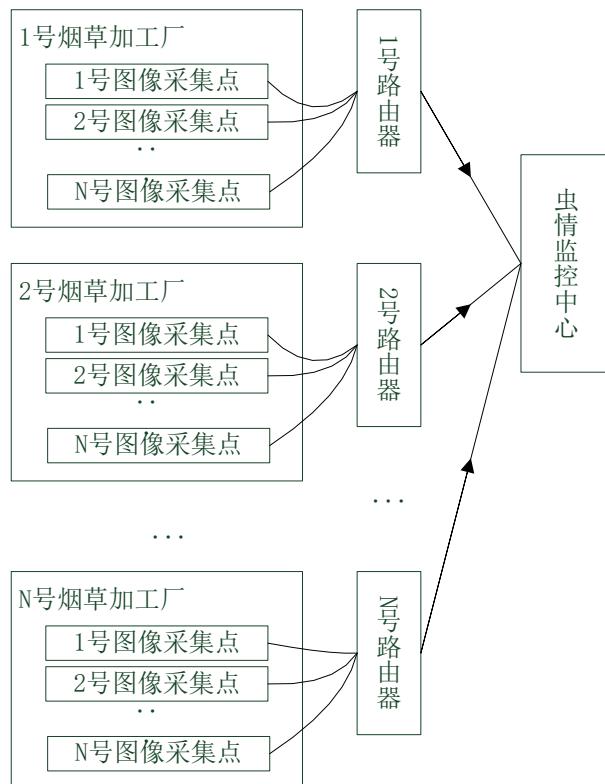


图 2-6 烟厂监测点布局

(3) 基于 B/S 架构的 WEB 虫情监测端

由于虫情监测中心软件需要 PC 主机，对于不同厂房的操作人员来说，查看起来仍然不方便，所以设计基于 B/S 架构的 Web 虫情监测端，这样用户就可以通过浏览器端（或移动端）来对每个监测点的虫害情况进行查看。浏览器端查看虫情主要是通过访问数据库中虫情监测中心存储的图像数据以及图像处理的结果。浏览器端的服务器采用开源免费的 Tomcat 服务器，通过该服务器用户就可以获取到数据库中关于每个监测点的详细信息。

综上所述，整个系统分为 3 大组成部分，并结合两大架构设计完成。服务器端软件与浏览器客户端软件之间通信，使操作人员可以通过虫情监测中心对烟厂虫害情

况进行整体的把握。工人也可以通过浏览器（或移动端）对每个监测点的虫害情况进行查看，并且两者之间还可以进行交互，形成一个完善的虫情图像采集与监测系统。

2.5 服务器与客户端软件构架

软件架构设计方式分为客户端/服务器端架构和浏览器/服务器架构两种。

C/S (Client/Server, 客户端服务器) 是一种成熟的软件系统结构，服务器端需要安装在 PC 机上，客户端软件可以存在一个或者多个与服务端互连。服务器端根据功能分为两类，用于存储用户所需数据的服务端是数据库服务端，保证数据的持久性。另一类是与多个客户端相连实现通信的功能的 Socket 服务器。本系统结合两种服务器端设计，不仅需要与图像采集监测点通信，也需要将传输过来的图像数据进行存储。这种系统结构大多用于局域网中，但由于服务端软件一般需要 PC 机，所以限制了适用范围，并且升级不方便。

B/S (Browser/Server, 浏览器/服务器)。浏览器端用于界面的显示与转换，不涉及程序逻辑。该系统架构的设计重点在于服务器端，主要完成数据的传递，数据库的读写等功能。该系统软件仅需要一个浏览器和服务器软件即可。软件安装简单、使用方便。但由于市面浏览器版本过多，软件设计上兼容性仍是该架构存在的问题。另外由于每次访问服务器都会重新加载浏览器其界面，浪费极大的资源。所以结合两种架构的特点，按照用户的要求，设计了一套虫情监测软件。

2.6 虫情识别图像处理算法研究

由于本文研究重点是烟草虫情图像采集与监测系统的开发，关于虫情识别图像处理算法的研究是与其他研究人员合作进行。考虑到论文的整体性，对算法的研究和流程作详细的介绍。该算法旨在通过图像处理技术统计出图像中烟草害虫的数量。

本文对烟虫的识别主要是提取烟草甲虫的特征数据，烟虫的特征主要在三个方面，整体形状特征、颜色特征和纹理特征（条纹等）^[41]。其中烟草甲虫的外形特征比较明显，所以将其作为识别特征的重点，算法流程图如图 2-7 所示。

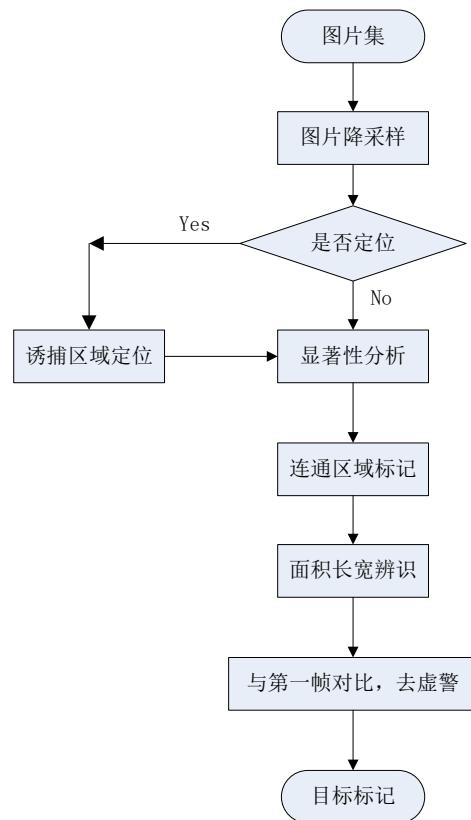


图 2-7 算法流程图

首先，由于图片分辨率太高，会增加算法复杂度，所以对获取到的图像进行去噪声处理和降采样，然后需要进行有效区域定位，即将诱捕器原始状态图进行定位，原始图像如图 2-8 所示，该步骤仅在第一帧需要，主要是作为后续检测的基础。



图 2-8 诱捕器原始状态图

然后对图像进行显著性分析，主要目的是对亮度、颜色、方向上的形态特征进行提取^{[42][43]}。首先进行颜色空间转换，然后对处理后的图像进行显著性计算，得到适合的显著性二值图，如图 2-9 和图 2-10 是显著性分析前后的图像结果。

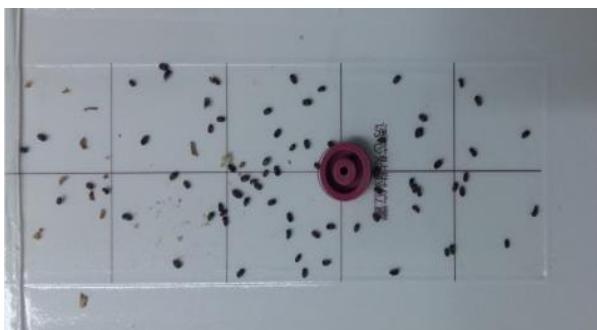


图 2-9 显著性分析前

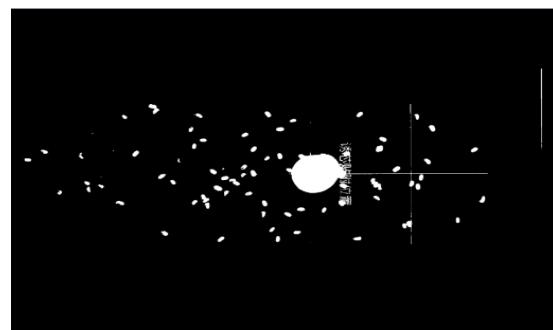


图 2-10 显著性分析后

根据诱捕器图片的特点，对得到的显著性图进行形态学处理，先对显著性图进行直线检测，去除直线后对其进行膨胀与腐蚀算法，然后去除掉目标外的孤立点，防止其他颗粒影响处理结果^[44]，如图 2-11 所示是去除直线和散点后的图。

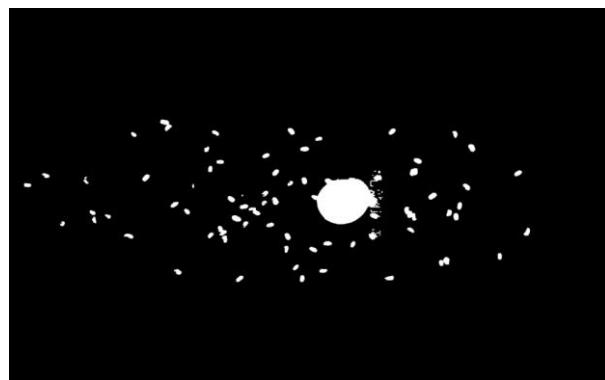


图 2-11 去除直线和散点后的图

图像处理过程中，如果两个或者多个烟虫之间有连通的话，需要进行连通区域标记。对去掉了直线和孤立点后的显著性图进行连通域标记，求出每个连通区域的面积、长宽以及外接矩阵的坐标等数据。对连通区域面积与所设定的阈值进行比较，高于阈值的则需要根据长宽比进行进一步判断。为了防止烟虫扎堆导致面积过大，所以加入差分的思想，将该时刻采集到的图像特征与前一时刻的图像特征进行差分比较。最后得出处理后的结果如图 2-12 所示，并统计出虫害数据显示在左上方。



图 2-12 检测结果图

2.7 本章小结

本章首先研究害虫的捕获原理，并设计了捕获机箱。然后就现阶段的害虫捕获手段的缺点，分析了系统的需求并给出了虫情监测系统的结构框图。最后，对系统软件的设计架构和图像分析处理的算法进行了详细的分析。

3 虫情监测点软硬件设计

经实地考察,考虑到烟厂的实际情况。烟厂要求设备满足安全性高、占有空间小、准确性高并且不用人为干预的要求。所以在硬件设计方面,功耗要低,布线尽可能少,体积要小,数据传输方式稳定以及需要实现“数字化,网络化,全方位”的管理。本章首先介绍整个硬件设计总体结构,然后分别对主控电路模块、图像采集模块、系统存储模块、电源供电模块等分别进行分析。

3.1 系统硬件总体结构

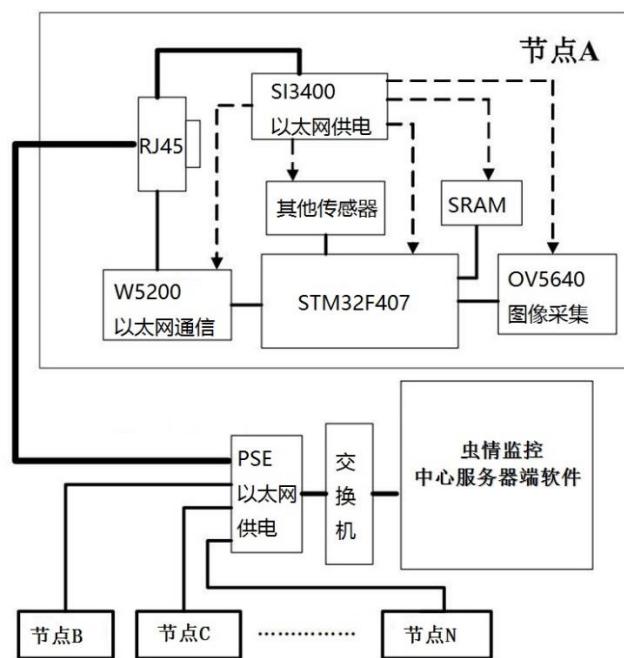


图 3-1 系统硬件框架图

图像采集设备主要用于采集诱捕器上诱捕到的虫害情况图片,设备分布在厂房各个位置,称为虫情监测点,如图 3-1 中每个节点所示。单个节点的系统硬件设计主要分为 OV5640 图像采集模块, STM32F407 主控模块, 以太网供电模块, 以太网通信模块以及 SRAM 存储模块。本章将会对以上几个部分分别来介绍。

3.2 主控电路设计

3.2.1 微处理器原理图

根据系统的需求，主控电路不仅需要控制图像传感器采集图像并通过网络传输给上位机，而且需要有足够大的内存容量来存储大量的图像数据。所以主控电路的微处理器需要兼容图像传感器接口，方便构建以太网传输协议以及容易扩展内存的特点。

图像数据量太大，微处理器难以拥有这么大容量的 RAM，所以需要外部扩展一个大容量的 SRAM 来缓存图像数据。对于摄像头而言，传统的微处理器芯片需要通过引脚来模拟摄像头的时序来实现图像的采集，这样增加系统的响应时间。STM32F4 系列的芯片具有摄像头接口，能够与 CMOS 摄像头完全兼容，不需要用传统的设计模式，并且该接口兼容大部分的 CMOS 摄像头传感器，为今后摄像头传感器的升级提供了方便，也为硬件系统的设计上带来了很大的灵活性。该芯片在内存扩充方面也具有通用接口。根据上述分析，本系统选取具有先进 Cortex-M4 内核的 STM32F407ZGT6 芯片。其运行速度高达 168MHz，内部资源有 GPIO、USART、SPI、I2C、CAN 等常规外设。并且内部容量较大，带有 FIFO 的 DMA 控制器。降低了外围电路的设计，提高了系统传输数据的性能。

STM32F407ZGT6 微处理器起到整个硬件系统的控制作用，通过相关接口以及外设控制 CMOS 摄像头何时采集图像，设置每个芯片的工作模式以及将 OV5640 摄像头采集到的图像数据通过以太网传输给上位机或者通过 DMA 存储到 SRAM 中等功能。在本系统中使用到的 STM32F407 接口图如图 3-2 所示。SPI 接口主要用于硬件 TCP/IP 协议的实现，I2C 接口用于摄像头寄存器的读取，DCMI 接口是摄像头接口，FSMC 接口用于外扩 SRAM 内存。

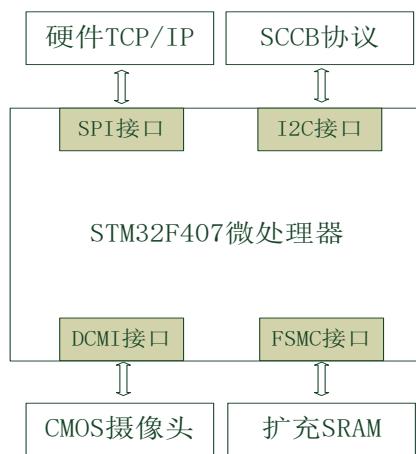


图 3-2 STM32F407 微处理器接口图

3.2.2 虫情监测采集接口和存储接口

(1) DCMI 接口

DCMI 接口是 STM32F407 兼容的摄像头并行接口，能够接受 8/10/12/16 位 CMOS 摄像头输出的图像数据。通过寄存器的设置可以输出不同格式的图像数据，在本设计中，需要接收 8 位的 JPEG 图像压缩数据。

DCMI 接口在 CMOS 摄像头中应用广泛，数据流可以达到 54MB/S。具有 14 条数据线、一条像素时钟线和两条同步信号线。另外该接口通过 STM32 的设置，支持内嵌码，外部行同步以及帧同步。只需要设置 STM32F407 中 DCMI 相关寄存器，调用相关的函数便可以控制 CMOS 摄像头进行图像的采集。

在像素时钟信号与同步信号的控制下，CMOS 摄像头经过 DCMI 接口将采集的 8 位压缩图像数据传输给 STM32。每次接受到一帧数据后，处理器会产生 DMA 数据传输中断，DMA（直接存储器访问）则进行数据的传输，将相应的数据传输到目的地址。如图 3-3 所示是 DCMI 接口的传输过程。

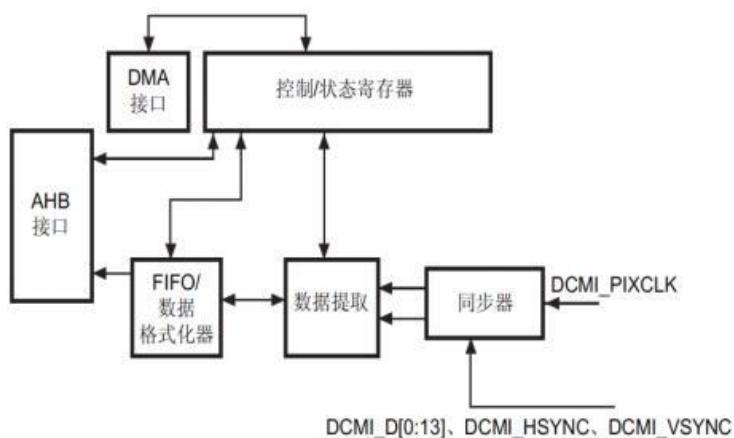


图 3-3 DCMI 接口框图

(2) FSMC 接口

虽然 STM32F407 拥有 164KB 的存储容量，但要想存储大量图像数据仍然无法达到要求，所以需要扩充存储空间。FSMC（可变静态存储控制器）接口兼容大部分 SRAM 的存储器扩展，并可以根据设备不同调整信号速率。因此，STM32F407 微控制器拥有该接口在很大程度上增加了它的应用范围。

针对此接口选用兼容 FSMC 总线接口的 SRAM 芯片 IS64WV102416BALL 设计了外扩 SRAM 数据存储电路。IS64WV102416BALL 是 ISSI 公司制作的拥有 2M 容量的高性能 SRAM 芯片，可以与 STM32F407 直接连接使用。不仅减少了编程的复杂程度，也使电路设计变得简单化。

如图 3-4 是 SRAM 与 STM32 连接图，IS64WV102416BALL 芯片的数据线为 D[0-15]，地址线为 A[0-19]，通过 FSMC 接口直接与 STM32 相连，两者完全兼容。引脚 FSMC_NBL0 与 FSMC_NBL1 是用于数据低位和高位控制。FSMC_NE3 与 FSMC_NOE 是控制读写数据使能引脚。FSMC_NE3 引脚表示选取的 STM32 外扩存储器中的 BANK3 区域作为外扩存储区域。对于 STM3F407 系列，总共可扩展区域有 4 个，每个区域可用空间为 64M，满足系统存储图像数据容量的要求。

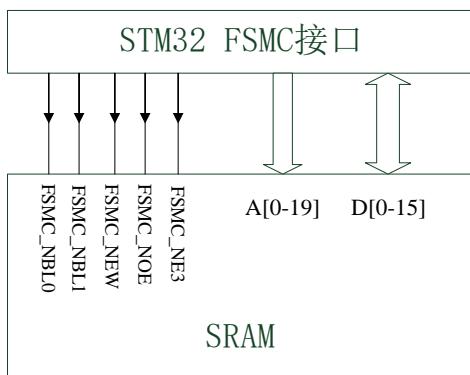


图 3-4 SRAM 与 STM32 连接图

3.3 图像采集电路设计

图像传感器是硬件设计当中最为重要的部分，它作为整个系统的最前端，是图像数据的来源。所以在图像数据的精度以及分辨率的要求上非常高。在本系统设计中，由于图像采集设备实验环境在烟草工厂中，工厂里器械放置密集，所以图像采集设备体积要求必须足够小才能在墙壁上或角落中进行安装。

目前，各种领域都需要图像传感器用作图像采集，其中 CMOS 传感器由于体积小、集成度高和成本低的特点而广泛被应用。本硬件设计中选取 OV5640 作为图像传感器，该 CMOS 传感器整体框图如图 3-5 所示，通过 SCCB 总线对内部寄存器进行相关设置，可以输出多种分辨率的图像数据格式适合目前各类应用。并且工作电压较低，成本低，拥有 500W 高像素，并且可以自动对焦以及对图像的裁剪和尺寸的调整^[45]。

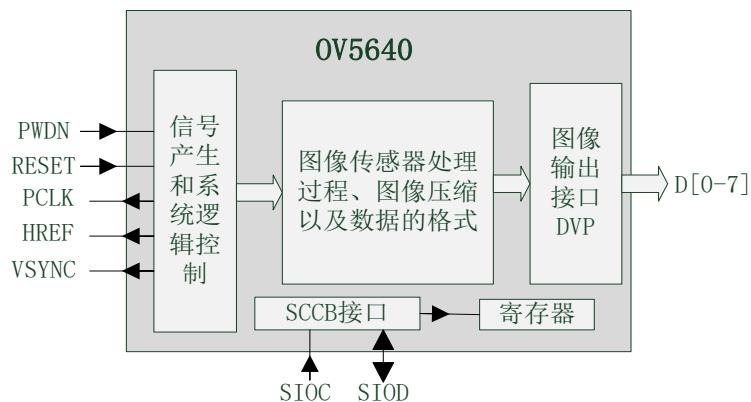


图 3-5 OV5640 结构图

OV 公司的图像传感器还自带有嵌入式微处理器，可以通过 SCCB 接口对其寄存器进行读写数据从而设置 OV5640 的工作模式以及相关参数。OV5640 具有行同步（HREF）和帧同步（VSYNC）信号，可以用这两种信号的时序来判断图像数据是否接收完整。摄像头的像素时钟输入信号（PCLK）控制每个像素点数据的输出。图像数据（D0-D7）端口的接入，接摄像头的输出，数据通过 DMA 传输到 SRAM 中存储下来。摄像头与 STM32 连线图如图 3-6 所示。STM32 通过 SCCB 协议对相关寄存器设置完成后，摄像头就可以根据设置传输图像数据给 STM32，进行后续的处理。

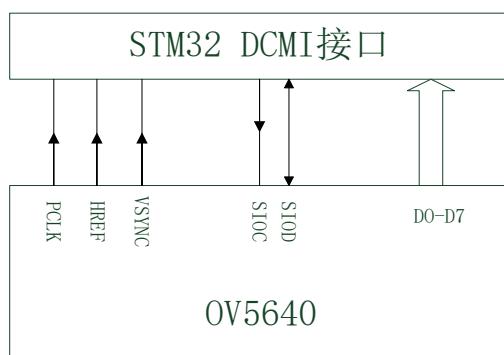


图 3-6 OV5640 与 STM32 连线图

3.4 以太网传输电路设计

3.4.1 图像数据传输方式的选择

图像数据的传输方式直接影响整个系统性能和可靠性，它决定系统是否能够正常运行。无线传输安装简单无需布线。但是由于工厂中复杂电磁环路的干扰会导致无线传输的数据错乱，无法保证系统的长期稳定进行。并且在传输距离长，传输大量数据的情况下，无线传输会有一定的时延。另外，无线网络由于接入简单，终端只要在无线范围内，就很容易被捕获，所以无线网络并不是那么安全。所以本系统选择有线传输方式。目前发展成熟的远距离有线传输方式有 RS485 总线、CAN 总线和以太网传输等方式。每个方案都有各自的特点和优势。

RS485 总线的传输具有传输距离长并且接口简单的优势，抗干扰能力也强，但在实验过程中，用 RS485 总线传输时，传输速率较低。传输大量数据时，在传输过程中消耗的时间过长，无法满足多点实时监测的要求。

CAN 总线由于高性能和高可靠性的优点被广泛运用于汽车和船舶等行业。它具有多主控制、传输速度快、错误检测和错误恢复等功能，系统设计灵活。但是 CAN 总线很难与现有的烟厂网络相连。并且不易与上位机直接连接，现有的 CAN 接口价格也比较昂贵。所以本系统不采用该方案。

以太网传输技术在工业现场中发展的相当成熟，以太网的传输速率可以根据实际的需求进行相应的选择，并且传输距离远，传输速率快，易于布线并且传输稳定，很容易接入到现有的烟厂网络中，所以本系统选取有线以太网的传输方式。

3.4.2 以太网驱动电路设计

以太网通信的实现方式主要分为两种。一种是以软件形式实现 TCP/IP 协议栈，另一种是用带有硬件 TCP/IP 协议栈的芯片与 PC 机进行以太网连接。软件实现方式编程较为复杂，系统开发周期较长，并且不利于后期系统的维护和升级^[46]。为了减少编程量并保证数据的高速和稳定的传输，本文采用硬件 TCP/IP 的芯片 W5200 来实现以太网通信。该芯片支持 10Mbps 或 100Mbps 速率，内部自带有 16K 大小的 SRAM 用于数据缓冲。数据支持 8/16 位数据格式，32K 字节存储器用于 TX/RX（传输/接受的数据寄存器）的缓存。W5200 芯片只需 3.3V 供电，外围电路较少，并且 STM32 能够通过高速 SPI 串行接口很容易地连接到网络。其内部框图如图 3-7 所示。

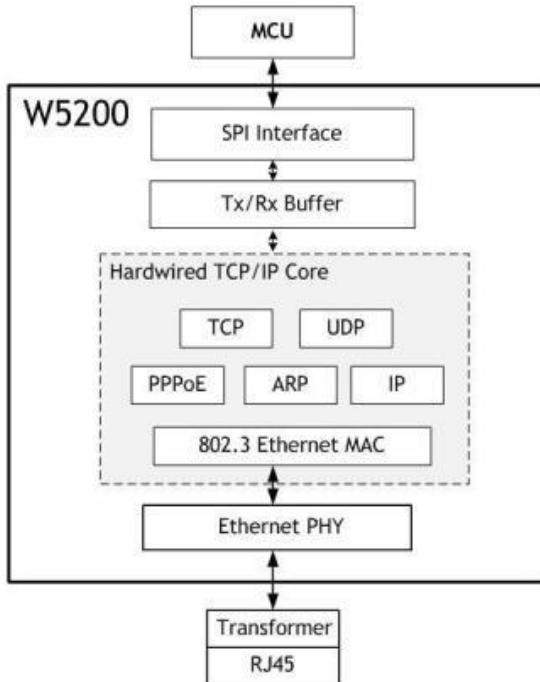


图 3-7 W5200 内部框图

W5200 内部支持硬件 TCP/IP 协议：TCP、UPD、ICMP 和以太网等，支持 8 个独立的端口（Sockets）。本系统中采用的是 STM32F407 作为微处理器控制 W5200 实现以太网通信，通过 SPI 接口实现对内部寄存器的配置。通信时，内部 Tx/Rx 作为缓冲区存储微处理器传输过来的数据，当缓冲区存满或者接到了传输指令，W5200 会将缓冲区内数据通过网线传输到上位机。STM32F407 只需要通过编程控制 Socket 程序便可以通过 W5200 进行以太网通信，大大简化了编程的复杂度，并加快了系统的开发进程。外部与网络接口插件 HR97116C 相连。HR97116C 集成了隔离变压器与 RJ-45 接口，简化了硬件电路的设计。网线连接成功后，W5200 就可以通过 SPI 接口协议与主控芯片 STM32F407 通信并实现与上位机的以太网传输。

3.5 以太网供电（POE）设计

3.5.1 电源供电方式比较

电源供电的方式有许多种，比如电池供电，交流电源供电，直流电源供电，以及以太网供电等。每个供电方式都有各自的优缺点。

交流电源供电在远距离输送方面有极大的优势，可以通过变压器的转换，把高压降为低压供给工厂使用，发电设备较直流而言相对简单。然而，大部分电器都是使用直流电，直流供电可以直接使用，而交流电需要用整流滤波设备才能供给电器使用。但直流设备无法通过变压器进行升压或者降压，所以使用起来比较复杂。直流供电不容易受到电容电流的干扰。但由于这两种方式都需要外接电源接口，所以不适合在烟厂厂房中使用。

采用电池供电可以保证整个图像采集设备外观简单美化，并且供电稳定。但是由于设备需要长期使用，如果电池更换次数过多会导致触电磨损，导致供电不稳定等缺点。设备一旦工作无法正常进行将使图像采集与识别结果发生错误，会给工厂造成极大的损失。所以这种不可靠的供电方式在本系统中是不可采取的。

综上所述，由于本系统运行在烟厂厂房中，厂房中安全问题及其重要，所以不允许外接电源。考虑到电源接口的有限性，本设计结合以太网供电（POE）技术实现整个硬件设备的电源设计，它是在以太网电缆传输数据的同时，还能为硬件设备提供直流供电的技术^[47]。以太网供电系统实现起来简单，并且不需要另外布线，节省了空间和劳动力，给安装在难以部署电源接口的受电设备提供了更为方便的供电方式。另外，以太网供电不会随意的给电缆上设备进行供电，只有检测到该受电设备支持以太网供电技术才会提供电压，这种方式减少了电压泄露的危险。

3.5.2 以太网供电（POE）实现方式

以太网供电技术统一的供电标准是 IEEE 802.3af 标准^[48]。在此标准下进行以太网供电系统的设计。如图 3-8 所示是标准的以太网供电系统。在原有以太网交换机的基础上，加上支持以太网供电的集线器（Midspan HUB）给以太网电缆提供电源，用来驱动支持以太网供电技术的受电设备。为避免断电，可以选用一个 UPS（不间断电源）。

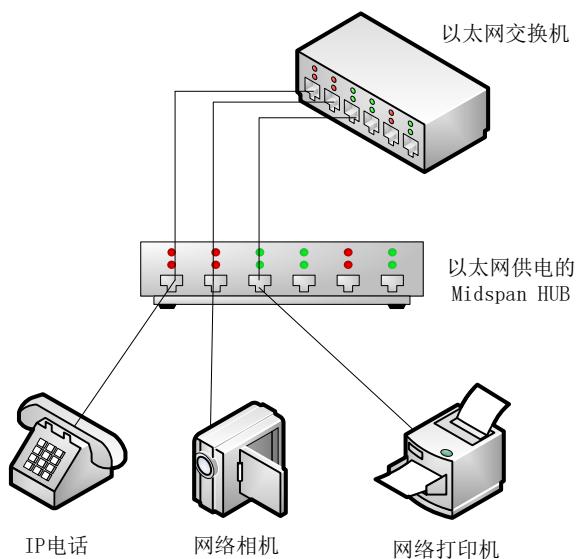


图 3-8 一个典型的 POE 供电系统

(1) POE 系统组成

一个完整的 POE 系统包括供电端设备（PSE，Power Sourcing Equipment）和受电端设备（PD，Power Device）两部分。PSE 设备主要提供电源给以太网。而 PD 设备是接受供电的设备^[49]。

(2) POE 标准关于供电参数的规定

根据 IEEE 802.3af 标准，供电设备提供给以太网电缆提供标准电压 48V，然后根据受相应功率级别的受电设备提供不同的功率。受电设备功率不超过 13W，并分为 5 个等级，电流最大不超过 500mA。

(3) 以太网（POE）供电过程

POE 整个供电过程最要分为 4 个阶段。分为检测阶段，功率分级阶段，供电阶段，断电检测^[50]。在检测阶段时，PSE 首先对连接在以太网电缆上的所有设备进行判断，并对判断结果为 PD 设备的才对其提供 48V 电压。在分级阶段，会根据 PD 所需功率的大小 PSE 会提供相应等级功率的，见表 3-1 所示。分级结束后开始对 PD 设备进行供电，供电过程中 PSE 时刻进行断电监测，当 PD 设备的电流值异常时，PSE 会停止供电，重新进行第一步的检测。

表 3-1 PSE 供电分类表

级别	分级特征电流	PSE 最小输出功率	说明
0	0-5mA	15.4W	PD 功率未知
1	8-13mA	4.0W	低功率 PD
2	16-21mA	7.0W	中等级功耗 PD
3	25-31mA	15.4W	高功耗 PD
4	35-45mA	15.4W	保留与 0 级相同

(4) POE 电缆供电实现方式

以太网供电标准提供两种以太网供电的实现方式，一种是使用以太网电缆中没有被使用的空闲线对来供电，如图 3-9 是通过空闲线供电。另一种方法是在传输数据所用的电缆线上同时提供与其频率不同的电信号进行供电，如图 3-10 所示是通过数据线进行供电。

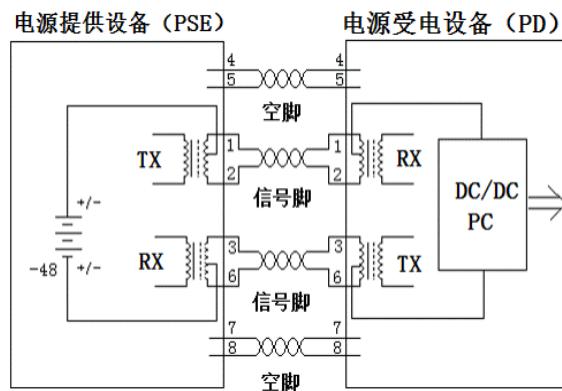


图 3-9 空闲线供电

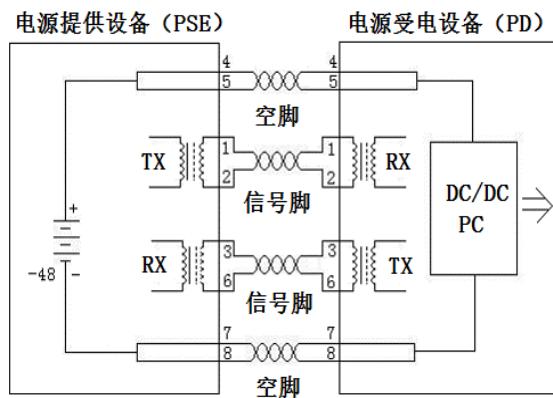


图 3-10 数据线供电

3.5.3 以太网供电电路设计

在本系统中，PSE 通常通过购买带 POE 功能的交换机或者在现有的交换机上加接中跨（MidSpan）设备来实现，所以只需要完成对 PD 设备的设计。目前市场上提供许多 PD 端设计芯片，如 MAXIM 公司的 MAX5940，National Semiconductor 公司的 LM5070 以及 Linear Technology 公司的 LTC4267 等等，但是目前业界最高整合度的 PD 端的设计方案来自 Silicon Laboratories 公司的 SI3400 芯片，它最大化的减少了实现 PD 端所需的外围电路，并兼容两种接入方式。

SI3400 芯片内部包含二极管整流桥，无需考虑电源的正负极，可直接与网线电缆进行连接，减短线缆长度，降低电磁辐射强度。另外，SI3400 还集成了 PD 所需的所有电源管理。包括 PSE 检测功能，PD 功率配置，过压，欠压过流保护，热插拔控制等，这有助于整个供电系统的可靠性和安全性。并且还内置功率 FET 和 DC/DC 转换，可以直接输出+5V 电压。

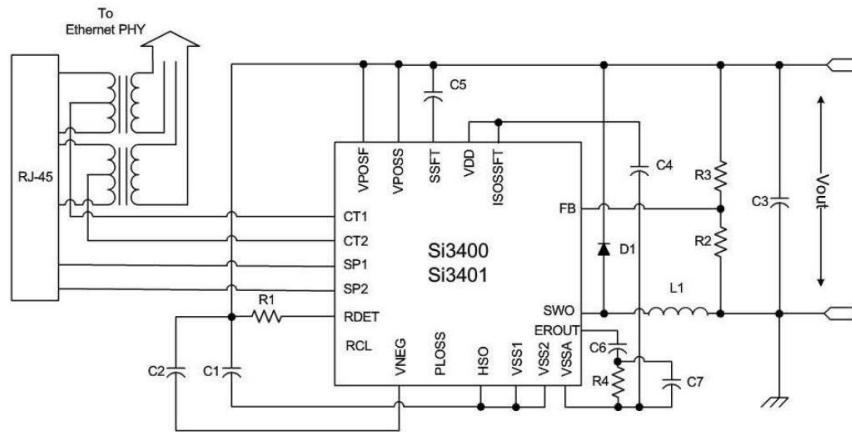


图 3-11 SI3400 外围电路图

如图 3-11 所示是 SI3400 受电设备设计电路图，SI3400 能够兼容 2 种供电模式，以太网电缆通过 RJ45 接口与芯片相连，其中电缆数据线用来传输数据，供电线引出与 SI3400 引脚相连实现两种供电方式。PSE 端提供给 PD 端 48V 电压。空闲线供电时，连接到 SP1, SP2。数据线供电时，采用与信号线频率不一样的电信号进行供电，与 CT1, CT2 连接。供电电压传输过来经过 SI3400 内部集成的二极管整流桥，获取到 PSE 提供电压。SI3400 电路受电过程如下，首先 PSE 判断该设备是否为 PD 设备。PSE 给予一个探测电压 2.8V~10V 来检测 25K 特征电阻 R1 即 RDET 端连接的 25 千欧的特征电阻 R1。成功判断为 PD 设备后，PSE 进行功率分级，根据 RCL 引脚连接的分级电阻所吸收的电流大小对其 PD 端进行功率分级，成功完成检测和分级阶段后，PSE 给 PD 设备提供相应功率的电压。在供电过程中，PSE 时刻监测 PD 设备，对其进行断电监测。经过 SI3400 处理后，便可以提供+5V 的电压给受电端，由于系统需要+3.3V 电源供电，配合三端线性稳压器便可以使系统稳定地运行。

3.6 虫情监测模块软件设计

3.6.1 主控逻辑设计

图像采集系统的控制流程图如图 3-12 所示，系统上电后首先完成相关模块时钟的初始化，摄像头传感器的初始化以及网络参数的配置并且与计算机建立以太网连接。成功与上位机连接后，等待用户指令。当传输采样使能信号到来时，摄像头根据

其配置要求开始进行图像采集，将虫害图像数据通过 DCMI 和 DMA 传输到 SRAM 中缓存起来等待传输。当一帧图像数据采集完成后，通过 W5200 硬件 TCP/IP 协议传输给上位机。系统返回到等待状态，等待下一个采集信号的到来进行下一帧的图像采集。

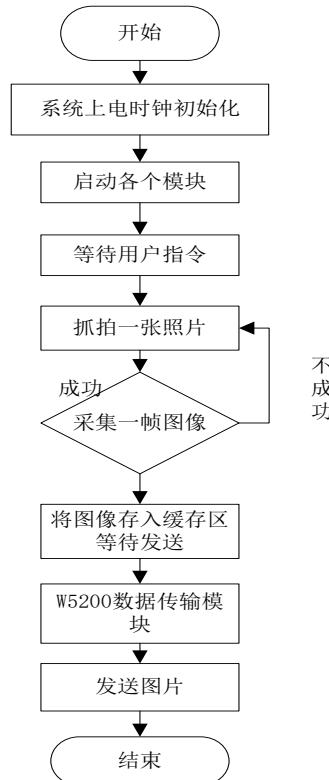


图 3-12 图像采集控制系统的控制流程图

3.6.2 摄像头 OV5640 采集模块

在图像采集软件设计中，首先完成相关模块的初始化以及预先设置。图像采集系统的初始化包括时钟，SCCB 接口，DMA 和 DCMI 接口以及 OV5640 的初始化。OV5640 摄像头实现拍照功能的程序流程图如图 3-13 所示。初始化成功后，STM32 时刻监测 VSYNC 帧同步信号电平变化，当一帧图像采集完成后，VSYNC 产生帧中断，然后根据 JPEG 图像格式的帧头和帧尾对图像数据进行有效数据的提取，其中有效的 JPEG 图像数据开头总是以“FF D8”开始，“FF D9”结束。最后，有效图像数据通过 DMA 传输到 SRAM 中。下面按照流程图对每个模块进行详细的分析^[51]。

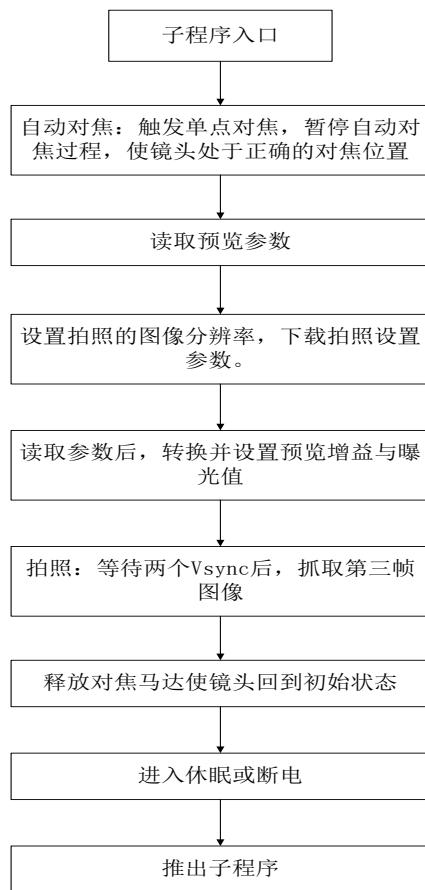


图 3-13 OV5640 拍照软件流程图

(1) SCCB 接口编程

SCCB 总线主要完成 OV5640 工作参数的配置。SCCB 的通讯协议与 I2C 十分相似，在 STM32 中可以直接使用 I2C 硬件外设来进行控制。SCCB 工作方式改进为两线模式，包括数据线（SIO_D）和时钟线（SIO_C）。其功能图如图 3-14 所示。

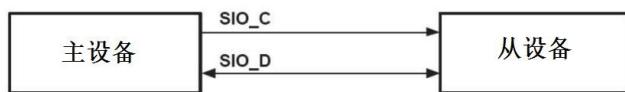


图 3-14 两线 SCCB 总线功能框图

STM32 作为主设备，与 OV5640 作为从设备进行 SCCB 通信。SCCB 协议与 I2C 协议类似，在设计上完全参考 I2C 协议即可，唯一的区别在于对 ACK 的确认不同，I2C 协议中，在写数据时从设备都要发一个低电平的 ACK 信号，读数据到最后数据段的时候不发送，而 SCCB 协议，在写数据时，主设备不关注最后 ACK 是否为低，

而在读数据时，Master 会将数据段结尾最后的 1bit 驱动为高。如图 3-15 所示是 SCCB 在读操作时的时序图。

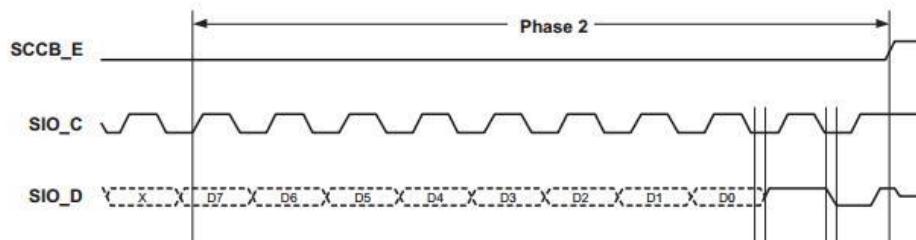


图 3-15 SCCB 读操作时序图

从图中可以看出，在读操作时，首先产生起始信号 SIO_C 低电平，SIO_D 上升沿信号，然后传输数据，Master 将最后一位拉高，表示读取数据成功，最后产生停止信号 SIO_C 低电平，SIO_D 下降沿信号。

(2) OV5640 寄存器的配置

完成 SCCB 总线初始化，需要通过该总线对传感器内部寄存器进行相关工作模式的配置。根据官方提供的相关文档，参照配置规范，利用 SCCB 向寄存器中写入数据的函数进行标准的配置。首先需要对帧率，输出分辨率，输出图像窗口大小的寄存器进行配置确定输出图像窗口大小。然后，对图像输出格式和数据进行配置，使其输出 JPEG 压缩图像格式。最后完成摄像头自动对焦寄存器的配置。配置成功后，才能启动摄像头采集到正常清晰的图片。

自动对焦过程最为重要，首先第一次进行自动对焦需要通过 SCCB 协议将自动对焦的固件下载到 OV5640 摄像头传感器中。然后进行拍照，摄像头进行自动对焦，对焦完毕后会返回标志位，使摄像头固定在该位置进行图像的采集。拍照完毕后，释放自动对焦的马达到初始状态，即对焦到无限远处，等待下一次的自动对焦。

(3) OV5640 拍照时序

OV5640 成功采集到一张图像时，输出图象数据时，一帧数据一般是从左到右，从上到下一行一行的输出。在设计中我们采用 8 位 JPEG 格式的图像数据输出，而 OV5640 的图像输出是在控制信号下进行的，控制信号分别为 PCLK（像素时钟）、VSYNC（帧同步信号）以及 HREF（行同步信号）。如图 3-16 所示为输出时序。

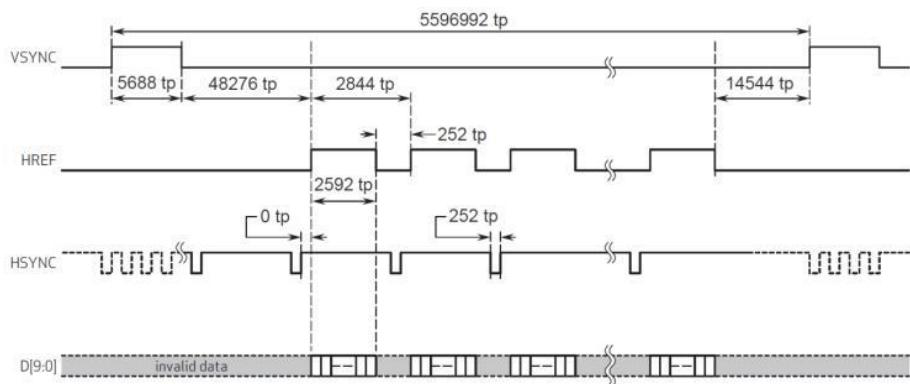


图 3-16 OV5640 输出时序

由时序可知，VSYNC 帧同步信号控制一帧图像数据的传输，HREF 行同步信号控制图像每一行的像素输出。当 HREF 为低时，表示这一行的数据传输完成，等待下一行数据的传输，每个 PCLK 输出一个字节的数据。同步信号通过中断机制控制。当一帧的数据传输完成后，触发帧中断，获得一帧图像数据后通过 DMA 双缓冲模式传输到 SRAM 中等待上位机的获取，DMA 双缓冲模式过程如图 3-17 所示，主要解决 STM32 内部内存较小无法缓存数据量较大的图像数据和 STM32 内存空间难以一次性传输的问题。

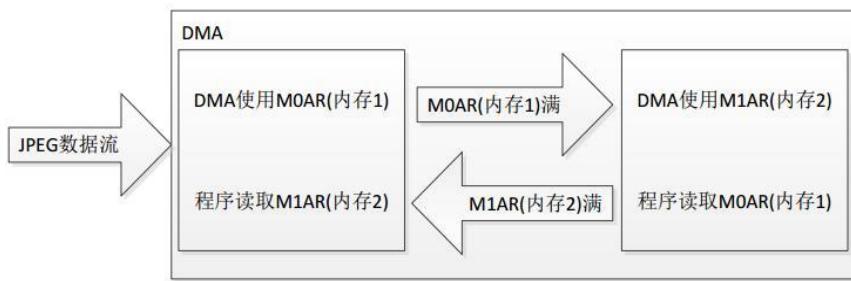


图 3-17 DMA 双缓冲模式

DMA 双缓冲模式采用 STM32 的两个内部内存交替存储传输的方式。当 DMA 接收来自 OV5640 的 JPEG 数据流，首先用内存 1 来存储数据，当内存 1 存储满了后，切换到内存 2 进行数据的存储，在存储的同时进行内存 1 数据的传输。当内存 2 存储容量满了并且内存 1 的数据传输完成时，则自动切换到内存 1 中存储数据。依次循环，切换标准主要是通过 DMA 中断来实现。最后将一帧的图像数据全部存储到 SRAM 中。由于采用了 DMA 双缓冲机制，就不需要定义一个很大的数组，一次性接收所有 JPEG 数据了，并且当采集高分辨率图像时，内部内存容量是不够存储的。

这种机制可以利用两个较小的数组来分批次接受较大的图像数据，并且给 STM32 内存腾出内存空间用于其他模块。

3.6.3 以太网 W5200 控制模块

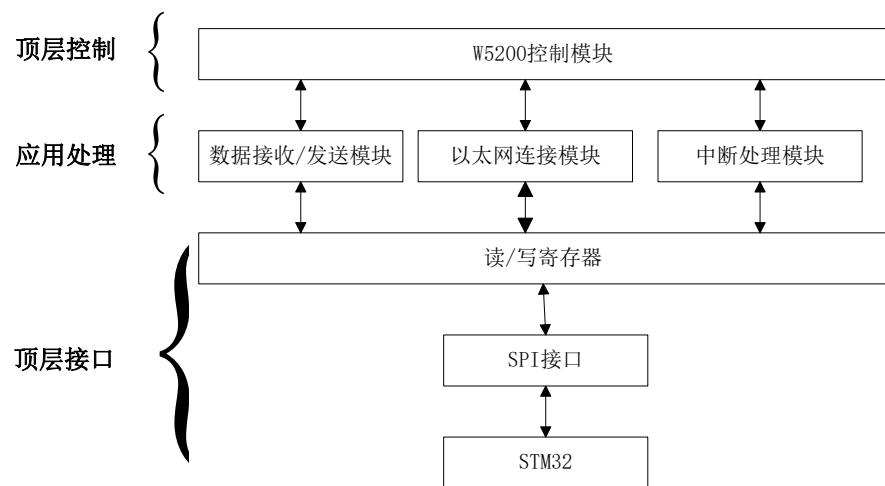


图 3-18 W5200 驱动模块图

STM32 驱动 W5200 进行网络传输，主要分为 3 大层，如图 3-18 所示。最底层是数据交互的接口层，主要采用 SPI 接口。第二层为应用处理层，主要包括数据的接受和发送，网络连接以及中断处理等。最顶层是控制整个 W5200 网络传输，让各个模块有序的进行。其中最重要的是协调好读写寄存器的操作，由于 SPI 是单向传输，读数据时不能进行写数据操作，这时就需要通过中断标志位来判断此时是读数据操作还是写数据操作，使整个系统能够正常的运行。利用 W5200 分层控制的思想对其进行软件的设计，完成 W5200 网络传输的功能。

W5200 驱动模块具体功能见表 3-2，软件设计时首先对各个模块进行初始化，然后按照统一的标准实现各个模块的功能函数。最后协调每个模块正常的运行。

华中科技大学硕士学位论文

表 3-2 W5200 模块功能说明

模块名	说明
W5200 顶层控制	使各个模块有序运行
命令处理	处理上位机传输过来的指令
数据发送	传输 Tx 缓存区中的内容
数据接收	读取 Rx 缓存区中内容
网络连接	配置网络参数，并与上位机进行网络连接
中断处理	处理中断信号，并执行中断处理函数
写寄存器	写 W5200 内部寄存器，进行工作模式的配置
读寄存器	读取相应地址寄存器内容
SPI 接口	STM32 通过 SPI 与 W5200 通信

在整个 W5200 数据传输的过程中，读写寄存器操作是需要注意的。系统通过读写操作码对读写操作来进行区分，CSS 是数据传输使能端口。系统启动写操作时，首先将 CSS 置 0 使能从设备，然后 STM32 通过 SPI 按照一定的帧格式向 W5200 写入寄存器的地址，读/写操作码，数据长度以及要发送的数据。当该命令发送完成后，将 CSS 端口置 1，W5200 完成数据传输，回到初始状态等待下一次传输。软件设计时 SPI 主设备为 STM32，而从设备为 W5200，设定 SPI 工作在模式 0，即采用的是时钟上升沿采样传输数据并且空闲时时钟为低电平。为了保证数据收发的一致性，SPI 通信时主从设备之间必须遵循一定的帧格式，即收发双方提前设定好的通信协议，W5200 的 SPI 帧格式见表 3-3。

表 3-3 W5200 的 SPI 帧格式

名称	长度	说明
地址	2byte	表示待操作寄存器的地址
操作码	1bit	0 表示都操作，1 表示写操作
数据长度	15bit	表示需要传输的数据长度
数据	N byte	所传输的数据

整个的数据帧包括 4 部分：地址，操作码，数据长度和数据。接收到命令后，STM32 通过操作码判断该操作是读操作或写操作。通过数据长度位判断所需传输的数据长度。本设计中需要传输大量的图像数据，当 W5200 接收到需要传输的图像数据时，首先缓存到 Tx 缓冲区中，当系统检测到传输中断信号后，系统执行数据传输操作，并消除中断标志位。接受数据步骤相同。在 STM32 中，用扩充的 SRAM 存储接受到的图像数据。当一帧图像数据传输完后，从 SRAM 中将数据分段存储到 W5200 的缓存区中，当缓冲区 Tx 接受到数据后，产生中断，然后通知 W5200 进行数据的传输。值得注意的是当传输数据的同时接受缓存区 Rx 接受到上位机数据时，判断中断标志位，发现正在进行传输数据的操作，则系统会等待数据传输完成后，再进行接受数据的操作。

底层控制设置好后，需要进行网络连接。只有成功连接网络后，数据才能够从缓存寄存器中传输到指定 IP 地址的上位机中去。本设计通过 W5200 来实现硬件 TCP/IP 协议，由于 TCP 的传输可靠性高，3 次“握手”完善的容错机制以及编程复杂度低的优点，所以选取 TCP 协议来进行图像数据的传输。本系统在局域网中进行图像数据的传输，环境比较稳定。在烟厂中每个监测点都具有各自的 IP 地址，所需需要设定单个监测的网络参数见表 3-4。

表 3-4 单个监测点的网络参数

网络参数	图像监测采集点	上位机
IP 地址	192.168.1.199	192.168.1.1
端口号	5000	6000

系统初始化与网络连接成功后,为了使各个模块正确的运行,还需要顶层模块的协调。模块流程图如图 3-19 所示。首先进行系统硬件初始化,包括 SPI 总线和 GPIO 口的初始化。然后,针对 W5200 进行网络设置:分配 Socket0 的工作模式为 TCP 模式、目标 IP、PORT、相关传输与接收 Buffer 的大小并且设置源本地 MAC、IP、GATEWAY 和 SUBNET。最后,建立 Control Socket, 工作于 Client 模式, 上位机作为 Server 一直处于 Listen 状态, 当侦听到有 Connect 请求时, 则建立连接。当成功连接后, STM32 通过查询是否有中断触发 W5200 读取上位机传输的指令, 做出相应的操作。当为采集指令时, OV5640 进行图像采集, 采集完成后向上位机发送数据, 数据传输完毕后关闭 Socket, 完成此次 TCP / IP 通信。但需要注意的是, 本系统运行时主要是将采集到的大量的图像数据传输给上位机, 所以在数据传输量上是比较大的, 在中断模块设计上, 传输数据的中断优先级要高于接受数据中断的优先级, 否则会使图像数据发生错乱。

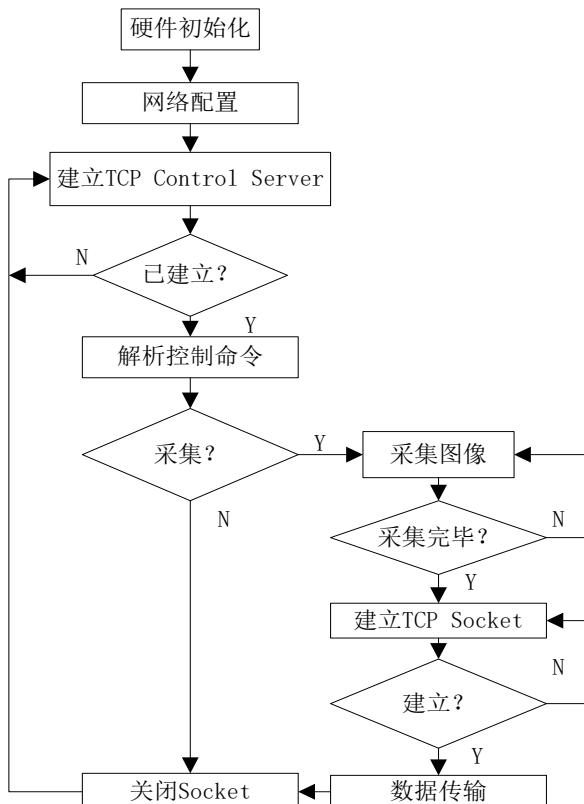


图 3-19 W5200 传输流程图

当网络连接正常并且能够进行通信后，上位机与 W5200 通信时数据接收与命令处理模块就需要开始工作了，该模块主要用于判断用户通过上位机下达的各种操作指令。例如控制摄像头的起停以及单次拍照等。W5200 首先从缓冲区中读取 TCP 报文中的 IP 地址和端口号判断是否为预先设定的上位机主机，如果不是则直接返回原始状态，等待下一次数据的到来。如果确认是正确的帧格式，首先判断帧头与帧尾命令格式是否正确，然后根据数据长度判断数据的完整性。再根据校验结果判断数据的正确性，最后按命令类型与格式向上位机发送一个命令确认帧，通知上位机该命令是否正确执行。确认帧格式见表 3-5 所示。

表 3-5 确认帧格式

字节序号	内容	长度	说明
0	0xFE	1	帧头
1	命令类型	1	与上位机设置相同命令类型
2	命令执行结果	1	成功：1；失败：0
3	校验和	1	XOR

整个系统的控制指令的类型主要分为如下几类，启动命令、停止命令和单次图像采集命令。这些命令的帧头为 0xFD 用来识别该命令来源于上位机。STM32 通过命令类型可以进行分类的处理。起停命令主要用于控制虫情图像采集系统开始或停止。0XA0 表示启动，0XB0 表示停止。启动停止帧格式见表 3-6。

表 3-6 启动停止帧格式

字节序号	内容	长度	说明
0	0xFD	1	帧头
1	0XA1	1	命令类型
2	系统启动/停止	1	启动：0XA0；停止：0XB0
3	校验和	1	XOR

单次图像采集命令主要是根据用户需要，可以在当前时刻采集到诱捕器上的虫

害情况，防止定时采集间隔时间过长无法实时进行监测，或者该监测点长期出现虫害超标情况，用户希望在该时刻查看找出问题。表 3-7 是单次采集帧格式。

表 3-7 单次采集帧格式

字节序号	内容	长度	说明
0	0xFD	1	帧头
1	0XA2	1	命令类型
2	单次采集	1	启动摄像头单次采集图像
3	校验和	1	XOR

3.6.4 低功耗设计

本硬件设备在烟草工厂的运行过程中，由于对诱捕虫板上的虫害情况采样周期长，所以在两次采样周期间隔时，持续运行功耗太大，所以需要考虑低功耗的设计。保证设备在采集完一次图像后，其他模块均运行在低功耗模式下以适应以太网供电的要求，同时在节点数量较多时也可有效减轻网络供电负荷。

STM32 控制器支持三种低功耗模式，分别是休眠状态、Stop 状态以及 Standby 状态。休眠状态是指内核停止工作，外设仍然在工作，退出后程序从停止处继续执行。Stop 模式是指内核的所有时钟全部停止运作，但计数器和寄存器内容保持不变。在该模式下，内部 Flash 也会通过软件配置进入到低功耗模式。当任何中断到来时，该模式会被唤醒，并也可以正常运行休眠前未完成的操作。Standby 模式是在 Stop 模式的基础上，所有 SRAM 和寄存器的值全部丢失，退出该状态后，系统相当于复位。

本系统中采用停止模式进行低功耗设计，在 5S 时间内无任何操作，系统便进入低功耗模式，大约为 $16 \mu A$ 。系统进入停止模式后，可以用任意中断进行唤醒，当上位机传输命令到来时，触发接受中断，系统被唤醒，可以直接接着休眠之前的代码运行。并且 SRAM 内的图像数据也会得以保存。

3.7 本章小结

本章详细设计了虫情监测点的硬软件部分。首先给出了图像采集设备硬件总体结构，并介绍了每个模块的电路设计方案。包括主控芯片 STM32 电路设计、图像采集 OV5640 电路设计、W5200 以太网传输以及以太网供电设计。最后介绍了整个硬件系统的软件设计，包括主控电路的初始化、图像传感器 OV5640 采集时序和流程图以及以太网控制部分的详细设计。

4 服务器与客户端软件设计

软件系统主要控制每个监测点设备并对每个监测点采集到的图像数据进行统一的管理。图像数据处理分析后，将结果展示给工人或操作人员查看。整个软件系统主要分为两大模块，虫情监测中心服务端系统软件开发和基于 B/S 架构的 Web 端虫情监测软件开发。设计框架图如图 4-1 所示。

4.1 软件总体设计

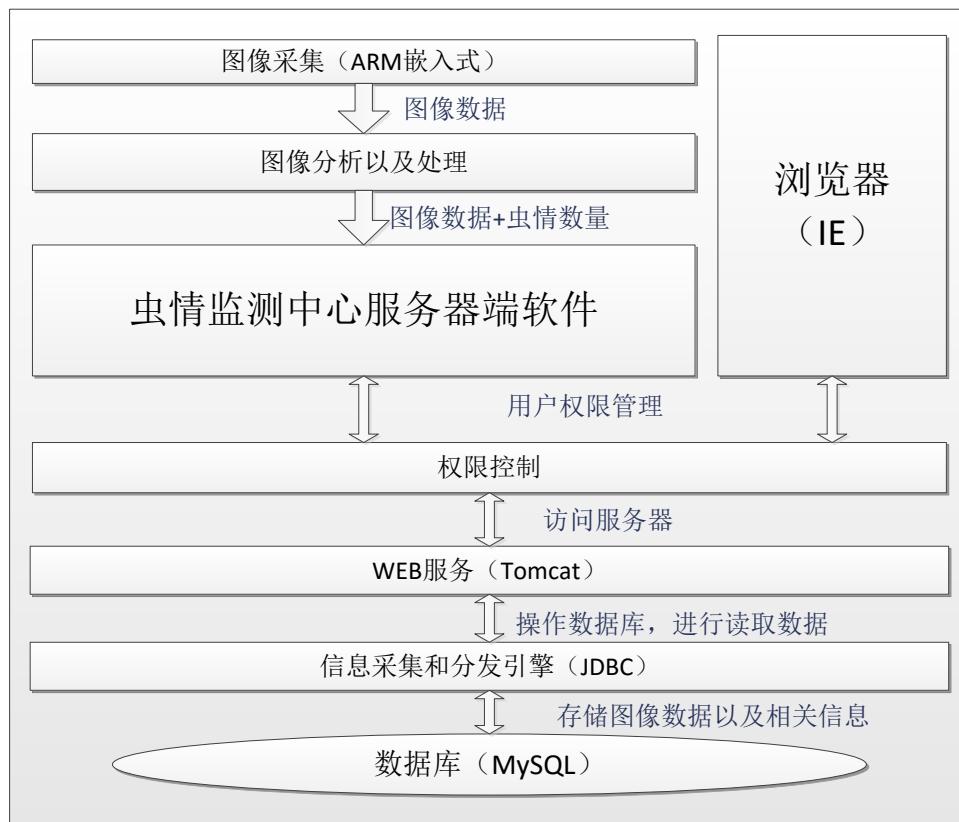


图 4-1 软件整体框架图

(1) 图像采集控制模块软件

该模块通过 TCP/IP 协议，采用套接字 Socket 编程与监测点设备进行通信，将图像监测设备采集的图像数据传送到上位机来，交给图像分析模块进行图像分析与虫害数量的统计。

(2) 图像分析模块

运用图像处理技术对采集到的虫情图像进行图像处理和分析，获得虫标识后的图像统计虫情数量。图像处理与识别算法编制为动态链接库文件（DLL），在服务器软件中动态调用。

(3) 虫情监测中心服务器端软件

该模块主要是对图像采集和图像分析模块进行集中性的管理，能够支持每个监测点通过以太网（TCP/IP）同时传输一路图片显示到界面中并且通过服务器保存到数据库中。该软件在 QT 平台上编写，可以实现跨平台的使用。

(4) 用户权限管理

该模块主要是对用户进行权限的管理，代码数据正确性的检验以及防止 SQL 注入等安全问题的处理。

(5) Web 服务器

Web 服务器选用的是免费开源的 Tomcat 服务器，不仅能够处理 Html 页面，另外它还是一个 Servlet 和 JSP 容器，通过编写 Servlet Java 程序能够响应用户在浏览器端发送的请求，然后将请求的图片和相关信息返回到浏览器通过 Html 页面的形式显示出来。

(6) 数据库与 JDBC

数据库我们使用的是 MySQL 数据库。主要通过 JDBC 接口来访问数据库。JDBC 兼容多种关系型数据库，并提供统一访问的接口，方便对数据库进行访问。为了防止对数据多次进行连接，我们采用的数据连接池，这样就不必每次访问数据库时就创建一次连接了，大大提高了对数据库操作的性能。

(7) 基于 B/S 架构的虫情监测模块

该系统采用的是 JavaWeb 开发模式 MVC 开发 Web 端软件，用户可以通过浏览器随时访问服务器，获取数据库中摄像头采集到的图片。浏览器采用 IE 浏览器。

4.2 虫情监测中心服务器端系统开发

4.2.1 需求分析

目前烟草虫害情况诊断大部分运用人工操作的方式来进行。通过诱捕器捕获烟

草虫害，然后人为的进行统计来推断出虫害情况。这种方式存在许多的问题，对于烟厂操作人员，工厂厂房空间较大，带来极大的劳动力；过度的依靠人工操作，客观性差，实时性差。人工诊断结果出错将会给烟厂带来严重的损失，所以设计一个全自动化的虫情图像采集与监测系统是有一定意义的。

虫情图像采集与监测系统面向的用户大多是极少接触互联网领域的普通员工，文化水平不高，所以对于新鲜事物的接受能力比较弱或者难以接受。所以在软件界面上设计上要求操作简单，诊断过程不需要人工干预。工人可以完成添加工厂、车间平面图，添加监测点、查看监测点虫害图像信息以及图像处理后的结果等功能。用例图如图 4-2 所示。用户首先需要对该工厂的信息进行初始化，例如添加工厂、区域、车间和工段的信息，每个工段都需要添加监测点以及监测点信息等。例如某地方烟厂-区域 1-车间 1-工段 1-监测点。

综合分析，烟草虫情图像采集与监测系统在软件设计上需要满足操作简单美化、实时性强、方便扩展升级和不需人为干预的要求。

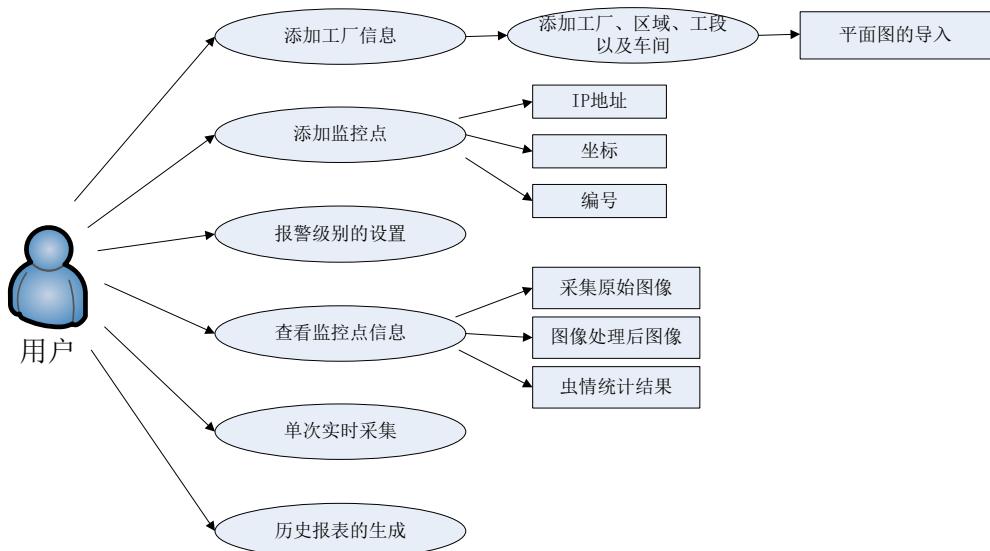


图 4-2 用户用例图

4.2.2 系统功能设计

由需求分析可知，该软件模块是对图像采集和图像分析模块进行集中性的管理，其软件系统包括以下功能，功能图如图 4-3 所示。

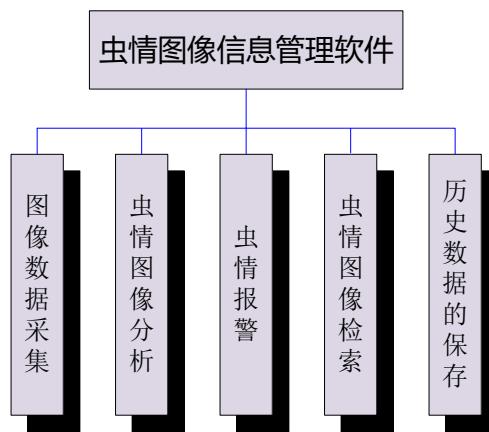


图 4-3 软件功能图

- 1) 图像数据采集。摄像头模块通过网络 TCP/IP 协议进行联网，实现将各远程图片传输到监测中心，对各个仓库监测设备进行集中配置和管理。
- 2) 虫情图像分析。将摄像头传输上的照片存储后，软件自动分析和统计烟虫数量，并且将数据存储到数据库中。
- 3) 虫情报警。一旦虫情数量达到一定数量时，软件会进行自动报警，并提示出现问题的具体位置。
- 4) 虫情图像检索。虫情监测中心可以设定自动拍照时间，并且可以按照时间地点进行相关虫情信息的检索。能够在一个画面上显示或者轮询显示多路图像。
- 5) 历史数据的保存与查询。能够对以前的图像数据，虫情数量进行保存，并且生成报表和曲线图提供给用户下载。

4.2.3 软件业务流程图

虫情监测中心软件流程图如图 4-4 所示。

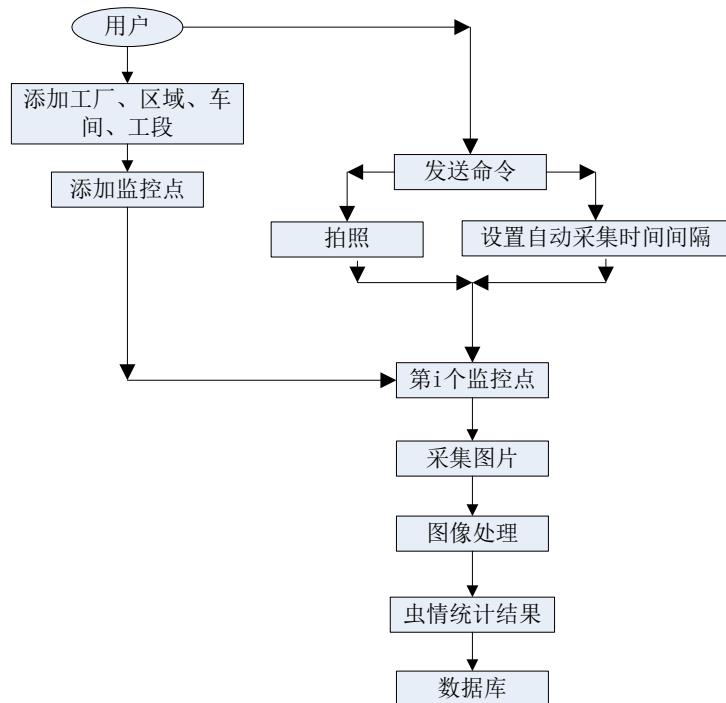


图 4-4 业务流程图

虫情监测中心软件服务端与图像采集客户端通过以太网通信。烟厂操作人员登陆服务端软件后，根据工厂实际情况，在软件中添加平面图和工厂相关信息，对监测点进行布局。然后在工厂中添加图像采集监测点。在监测点设置模块，用户可以发送单次拍照或者设置自动采集时间命令给下位机进行定时采集，采集完成后通过以太网将图像数据传输到服务端软件。服务端调用虫情图像处理算法的动态链接库，对图片进行烟草甲虫的数量统计，将统计结果存入数据库中并判断统计计数结果在哪种报警级别进行虫情报警。

4.2.4 开发平台以及系统功能的实现

虫情监测中心软件服务端使用的编程语言是 C++，在 QT 平台上进行编写。QT 平台提供了基于图形化语言的开发环境，其集成了较大的函数库，可实现数据的采集、数据的处理和分析、数据的显示以及数据的存储。QT 最大的特点就是使用图形化编程，不需要复杂的程序代码，可以实现跨平台的使用，且是一个可视化的界面，方便双方进行探讨跟改进，这样就大大提高了工作效率。界面需要简单、全面、易操作和美观。软件界面能够实时的更新图像信息，通过以太网通信并利用数据库存储图

像数据与统计结果。

整个界面主要分为 2 部分，左半部分是以工厂为主支的树状图。在树状图上可以实现添加烟厂工厂、区域、车间和工段的功能中，效果图如图 4-5 所示。鼠标右键触发 onClick 事件中的 addFactory() 函数，并在数据库中添加相关的工厂信息并显示到界面上。右半部份主要是显示车间平面图，在工厂信息设置中具有添加车间平面图的功能，车间平面图的显示是为了方便用户能够直观的看出工厂中每个监测点的相对位置，对应起来更为方便。

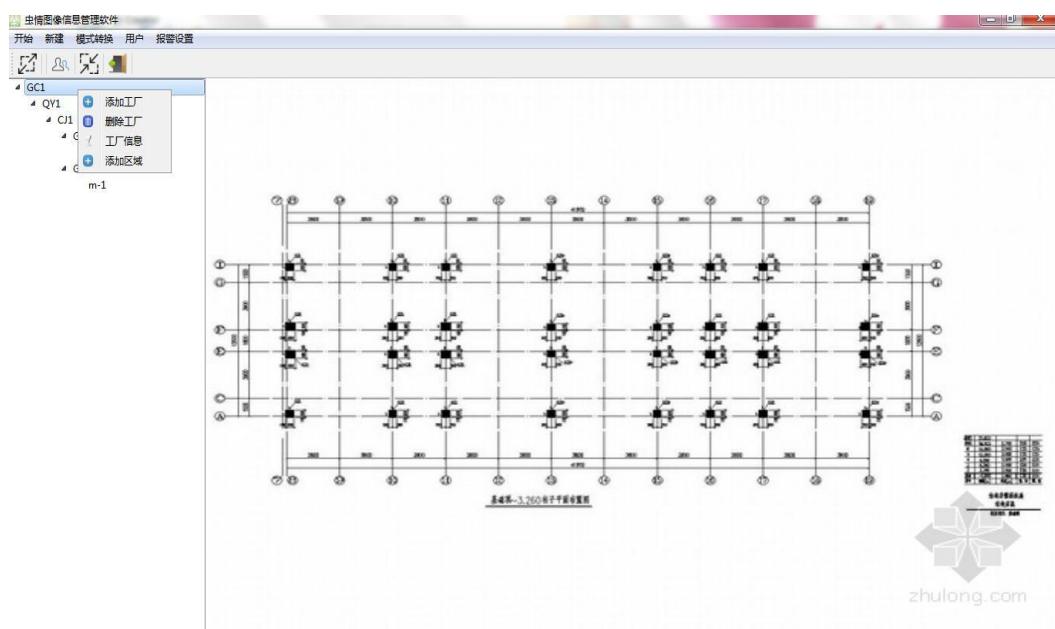


图 4-5 软件添加工程界面

在报警级别设置功能中，用户可以根据虫情统计数量阈值来定义报警级别，分别为红、黄、绿、黑四种级别。当虫情数量达到阈值后，在车间平面图中添加的虫情监测点的图片便会变成相应的颜色，提示用户该监测点出现虫害情况，注意防护措施。

用户可以通过两种方式进入观测监测点界面，通过左边栏的树状图进入或者右键点击平面图中相应监测点图标进入监测点界面。如图 4-6 是监测点详情界面，用户可以从该界面中获得该监测点的虫害情况，界面显示出该监测点四个部分的信息。标号 1 部分是监测点详细信息，包括 IP 地址，监测点名称，监测点在车间平面图上坐标等。标号 2 界面部分是最近一次采集到的原始虫情图像以及经过图像处理后标记的图像。在上方显示统计出的虫情数量增长的差值，如果统计不准确还可以进行人工

修改。标号 3 是该监测点的历史曲线图，主要是根据每天统计的虫情数量来进行绘制的。点击曲线图上的查看历史数据按钮可以查看每个时间段的图像以及处理后的图像结果等信息。标号 4 是用户需要在此刻进行采集图像，该部分就是显示此刻采集到的图像，方便与上方的上一时刻的图片进行对比。

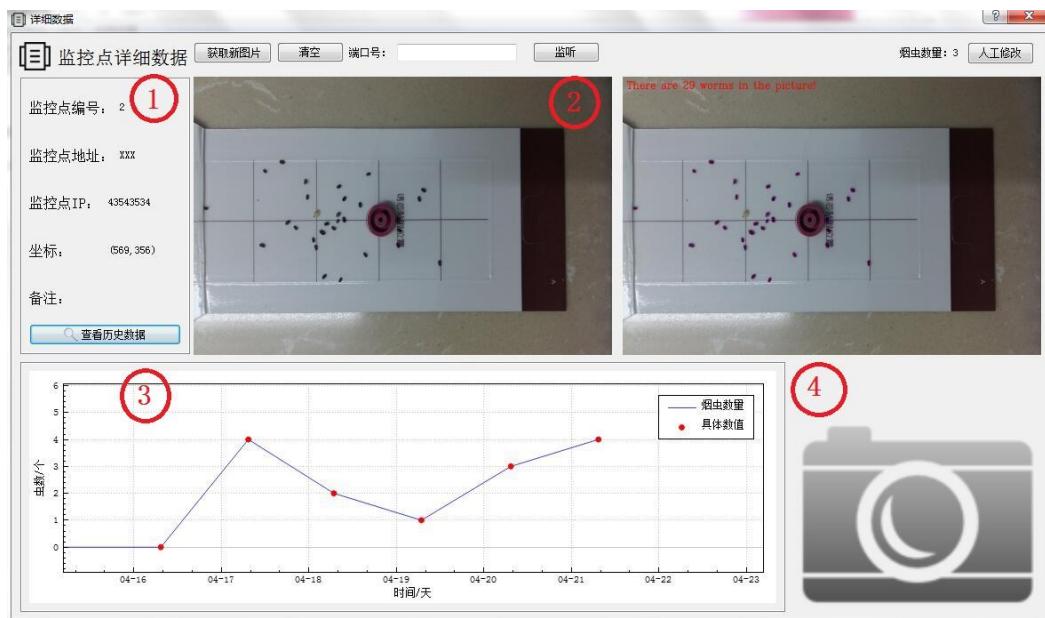


图 4-6 监测点详情界面图

4.3 基于 B/S 架构的 Web 端虫情监测软件开发

基于 C/S 架构的虫情监测中心服务器端，虽然能够在界面和操作上做的很完善，并且安全性能较高。但是由于 PC 机的限制，导致维护成本高和升级麻烦的缺点，操作人员必须在装有该软件的 PC 机上才能进行监测。为了摆脱 PC 机的限制，开发了基于 B/S 架构的 Web 端虫情监测软件。用户只需要在移动端或 PC 端下载一个浏览器软件便可以随时来访问服务器得到数据库中摄像头采集到的图片。下面对 B/S 架构的软件开发模式、软件开发工具以及功能进行分析。

4.3.1 B/S 框架开发平台比较

目前，基于 B/S 框架软件开发，浏览器端直接下载软件即可，主要是针对服务器端进行开发。目前比较流行的开发平台主要有 JAVA、.NET 的 ASP.NET 以及 PHP 等。

三种平台都有各自的优缺点，在选择方面我们必须考虑到 4 个方面，开发成本、软件效率、扩展性需求以及可移植性。.NET 入门快，不需要太多的配置，掌握起来比较容易，但它属于微软的“个性”产品，可移植性不够。PHP 出现时间较长，语言相对成熟，并且在各个平台上都代码不用进行修改就可以运行，但是在效率性能上较差。软件长时间运行会导致效率的下降。JAVA 虽然开发效率没有上面 2 种快，但是可移植性好，效率高，扩展性好的优点足以克服其缺点。

综上所述，该软件采用 Java 语言来进行编写，Java 开发 Web 具有成熟的架构。JavaWeb 开发都是运用 Servlet 来实现，运用 Jsp 技术在 Html 页面中嵌套 Java 代码。利用 JavaBean 跨平台组件将 Java 代码与 Html 分离，这样大大增强了系统的功能和软件的可复用性。在数据库访问方面，Java 通过 JDBC 工具来访问数据库，通过不同的数据库厂商提供的数据库驱动，方便地访问数据库，并且访问接口比较统一。许多软件开发架构兼容 Java 语言，本软件设计采用 MVC（Model-View-Controller）的设计模式，该模式可以方便开发者高效、合理、科学地架构多层商业应用。

4.3.2 JavaWeb MVC 开发模式

MVC 全名是 Model View Controller，是模型-视图-控制器的缩写。Model 主要用于处理程序的数据逻辑，View 用于显示处理的图像数据，Controller 主要用于处理数据与用户的交互。MVC 模式同时提供了对 Html、CSS 和 JavaScript 的完全控制。Web 服务器采用的是由 Apache 开发并且开源免费的 TOMCAT 服务器，MVC 开发模式主要分为 Web 层，SERVICE 层以及 DAO 层，分别对应的是 View、Model 和 Controller。如图 4-7 是 MVC 开发模式的结构框图。下面结合虫情监测系统的流程对 MVC 开发模式进行介绍。

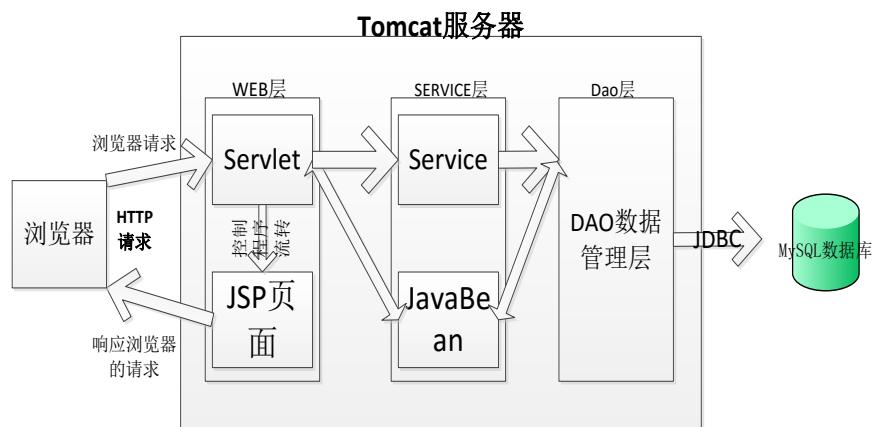


图 4-7 MVC 开发模式框图

Web 层主要是由 Servlet 和 JSP 层组成，Servlet 主要负责接收请求和控制程序流转，JSP 主要负责显示数据；用户通过浏览器发送查看某个 IP 图像监测点拍摄的图片的请求，Servlet 接受到请求后，经过 Service 层读取相关图片数据，然后转发给浏览器通过 JSP 页面进行显示 Service 层也就是通常我们说的业务逻辑层，这一层处理的数据通过 JavaBean 来进行封装，然后交给 Service 来处理业务逻辑，这样更有利于程序维护开发。

Service 服务是通过 Java 编程提供相应的接口和方法来实现 Servlet 接受到的请求，将请求的图像和相关信息的数据封装成 JavaBean，然后交给 Servlet 处理。

Dao 层主要是数据访问层，主要功能是将 JavaBean 封装的数据存入数据库中和将数据库中的数据以 JavaBean 的形式取出交给 Service 层来进行处理。

4.3.3 软件需求分析与功能实现

Web 端虫情监测软件实现了让工人或操作人员可以随时随地的进行虫情监测，不受 PC 机的约束。软件主要功能与虫情监测中心软件功能类似，结构框图如图 4-8 所示。

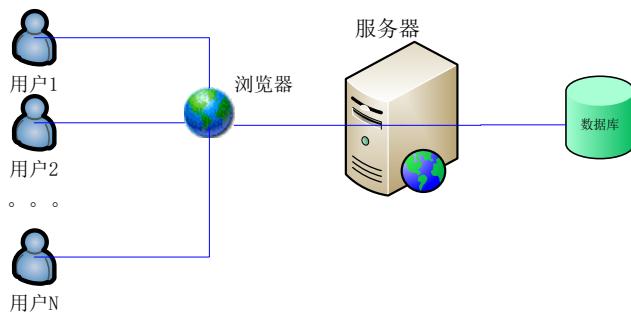


图 4-8 Web 端软件结构框图

(1) 查看数据库中虫害图像以及信息

浏览器访问数据库是通过 TOMCAT 服务器。根据用户要求提取出烟草虫害中的图像数据以及图像处理后统计的虫害数量，反馈给浏览器，通过页面显示出来。运用这种方式工人就可以通过浏览器端进行监测该观测点的虫害信息。虫害图像浏览页面如图 4-9 所示。



图 4-9 虫害图像浏览页面

(2) 历史图像数据曲线图的显示

根据每个监测点的历史图像数据分析的虫害数量，绘制历史曲线图，供用户比较分析。

(3) 虫害报警功能

一旦观测点的虫害数量超过虫情监测中心所设置的阈值，在浏览器端页面上，相应的观测点图标以及左侧图监测点分支会根据阈值区域变为不同的颜色。页面显示

如图 4-10 所示。



图 4-10 报警显示页面

(4) 进行单次采集图像

该功能是保证用户可以随时进行单次图像的采集，由于硬件的控制主要在虫情监测中心服务端进行，所以 Web 端需要访问虫情监测中心服务器端，才能进行单次采集。首先通知虫情监测中心服务器端发送单次采集的命令，将采集的图像数据存储到数据库中后，然后 Web 端访问数据库中的数据，返回浏览器进行页面的显示。该功能在实现上就涉及到两个软件之间即本地应用于 WEB 端应用之间通信的问题。

4.4 B/S 架构与 C/S 架构之间的通信

随着本地应用与 WEB 混合应用开发模式逐渐流行起来，QT 开发团队用近一年的时间开发了一套全新的基于 Chromium 浏览器引擎 QT WebEngine，完全支持桌面和嵌入式平台，不仅提供了易于使用的跨平台接口，还允许网页内容的叠加，与 QT 用户界面效果混合。这种引擎打通了 B/S 架构与 C/S 架构之间的通信阻碍。运用 QT WebEngine 引擎可以实现 QT 与 WEB 端 HTML 和 JS 的交互。

目前有两种方式实现两者的交互，方法一为运用 QWebEnginePage 类中的相关库函数完成 QT 对象与 WEB 页面元素的相互访问。方法二是用 QtWebChannel 的方式，这种方式可以很方便的实现两者的双向通信和解耦，方便开发人员分工以及系统的

集成。在本设计中运用的方式二。在该方法中能够实现的功能特性，可以在网页中包含由 C++ 代码编写的 QT 组件对象。可以在 JavaScript 环境中插入 QT 中的对象，让网页脚本直接调用和访问 QT 对象。相对的，可以在 QT 中调用网页环境中的 JavaScript 函数，触发网页事件。不仅如此，双方还可以通过数据库共享客户端存储。

4.5 数据库的设计

在整个系统的传输过程中，图像数据量非常大。这就要求存储图像数据的数据库具有非常好的读写能力以及稳定性。MySQL 是一款高性能的关系型数据库，它具有可靠性高、安全性好、易用性等优点。本系统采用的是 MySQL 数据库来存储图像数据。

根据用户需求和软件的功能设计了数据库中的实体类型。分别为烟草病虫害图像实体，烟草虫情数量报警级别实体，监测点实体，烟厂厂房实体，用户权限实体等。

(1) 烟草虫害图像实体

烟草虫害图像实例主要包括监测点编号、图像编号、图像存储路径、图像处理统计的虫情数量以及采集时间，烟草病虫害图像实体的 E-R 图如图 4-11 所示。

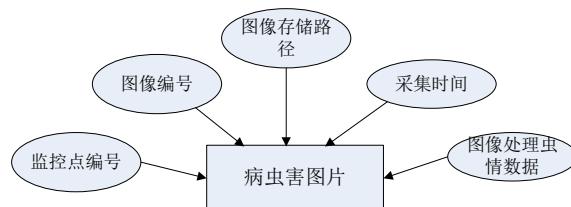


图 4-11 烟草病虫害图像实体的 E-R

(2) 烟草虫情数量报警级别实体

主要是包括图像编号和图像报警级别，报警级别分为红、黄、绿和黑四个等级，虫害情况从严重到轻微。烟草虫情数量报警级别实体的 E-R 图如图 4-12 所示。

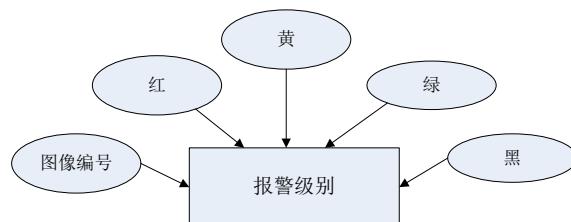


图 4-12 烟草虫情数量报警级别实体的 E-R 图

(3) 监测点实体

监测点实体包括编号、所属车间名称、监测地址以及 IP 地址。监测点实体的 E-R 图如图 4-13 所示。

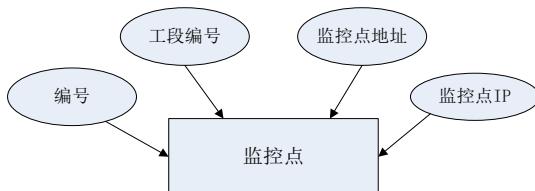


图 4-13 监测点实体的 E-R 图

(4) 烟厂工厂、区域、车间和工段实体

烟厂工厂、区域和车间实体具有编号、名称和平面图，其中工厂包括多个区域，区域包括多个车间，车间中含有多个工段，工段中设有多个监控点。烟厂工段实体包括编号、车间编号、监测点个数、车间平面图。烟厂车间实体的 E-R 图如图 4-14 所示。

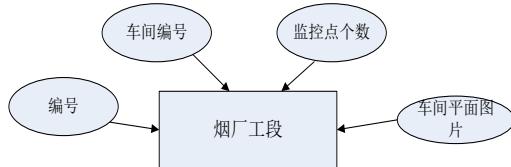


图 4-14 烟厂车间实体的 E-R 图

(5) 用户权限实体

主要分为用户管理员和操作人员两种。

(6) 实体之间的关系

一个车间中包含多个监测点，一个监测点会采集到多张图像数据，并且对每次图像数据进行图像处理并且将处理结果进行分析，根据识别后统计的虫情数量是否超过阈值划分为不同的报警等级。根据实体之间的关系，在虫情图像采集与监测系统中有三张最为主要的表，PK 表示主键，其中的表的结构和关系如图 4-15 所示。

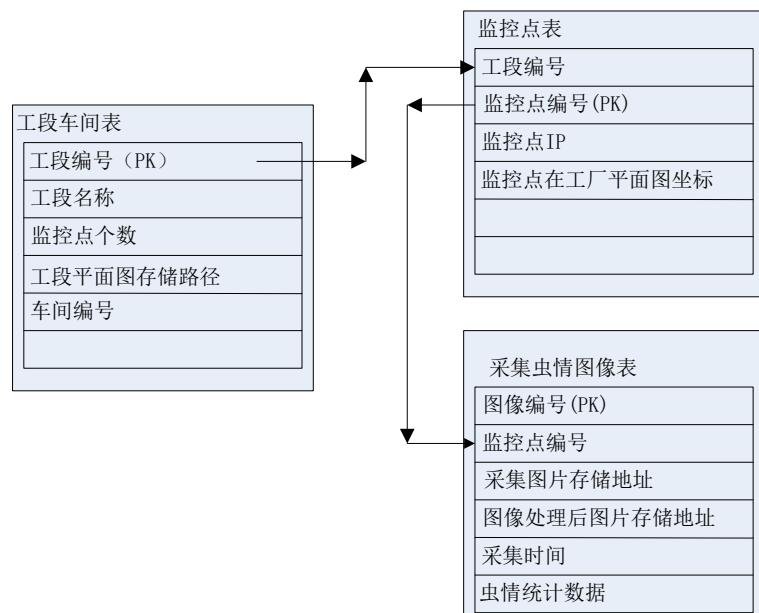


图 4-15 数据库表的结构与关系

4.6 本章小结

本章详细介绍了虫情图像采集与监测系统的两大模块软件设计。首先给出了软件的总体设计框图，介绍了虫情监测中心服务器端软件开发，包括软件的需求分析，功能设计，软件的流程图以及功能的实现。然后设计了基于 B/S 架构的 Web 端虫情监控软件，对开发平台以及开发模式进行了研究，并实现了相关监测功能。最后设计了数据库结构，给出了数据库实体图和表之间的关系结构图。

5 系统实验测试

5.1 测试方法

5.1.1 测试方法

虫情图像采集与监测系统的测试方法是采用图像采集硬件设备作为客户端、本地PC机作为服务器、采用本地以太网构建局域网进行网络通信。测试框架图5-1所示。本次测试在实验室内部完成。

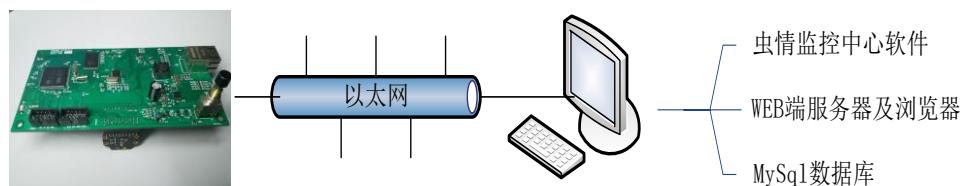


图 5-1 测试框架图

图像采集硬件设备经过PCB的绘制，电路板的焊接，元器件的选取等工作流程制作而成，如图5-1所示是最后的硬件设备图。该设备作为图像采集的前端，通过以太网连接与上位机软件通信。上位机主要装有3个软件。分别是虫情监测中心软件，Web端服务器TOMCAT，以及MySQL数据库。配置好相关环境后。便可以对虫情图像采集与监测系统单个监测点进行实验测试。

5.1.2 数据来源

本系统开发主要与某烟厂公司合作完成，数据主要来源于该公司所培育的烟草害虫，将害虫诱导至虫板处进行捕获。捕获后的虫板图像如图5-2所示。

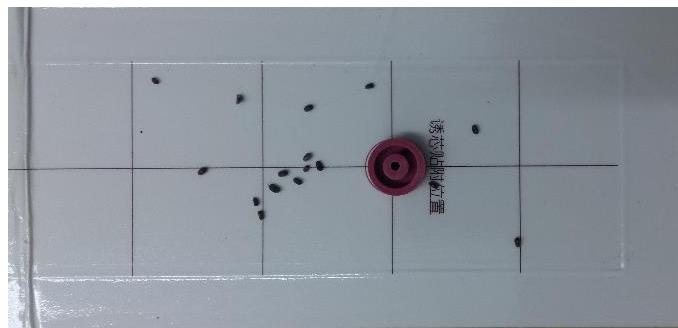


图 5-2 捕获后的虫板图像

将这些图像作为图像设备所采集的对象，分别用 5 组图片作为实验对象，对虫情图像采集与监测系统进行性能的分析与评估。

5.2 功能效果

根据工厂的实际情况，首先需要初始化设置好工厂、区域、车间和工段位置以及监测点位置信息后，然后网络连接成功后就可以进行图像的采集工作了。虫情监测中心软件初始界面如图 5-3 (a) 所示。用户在该界面还可以找到“报警设置”按钮，点击后会弹出对话框，可以对每个工段和每个监测点进行报警阈值的设置。用户初始化设置时，如果添加工段或者监测点，在软件中可以通过右键点击修改按钮触发相应点击事件，在弹出对话框进行相应的增加或者修改。工段修改对话框中，可以设置工段名称、地址和平面图。烟厂操作人员可以自行导入平面图，这样能够更直观的观察到监测点的位置。如图 5-3 (b) 所示是修改监测点对话框，可以设置监测点编号、地址、IP 地址以及坐标。点击坐标设置按钮可以直接在刚刚导入的车间平面图中用鼠标进行标记，软件会自动记录鼠标点击在平面图上的坐标并返回给对话框显示出来。添加监测点成功后，会在平面图中显示出一个摄像头图像，表示监测点的相对位置。如图 5-4 所示。并且根据所设置的报警级别和统计的虫情数量进行相应颜色的变换。



图 5-3 软件界面图

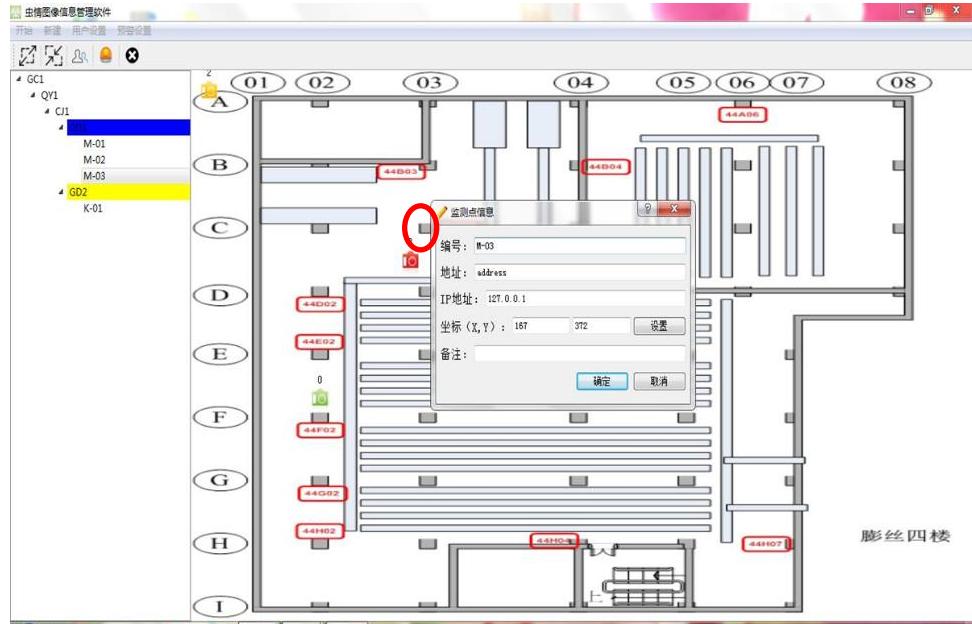


图 5-4 监测点详情设置界面

成功完成初始化设置后，在左侧树状图或者右侧的摄像头图标上点击鼠标右键，进入监测点信息详情，如图 5-5 所示，软件一直处于监听状态，一旦与下位机网络连接成功后，用户可以在该界面查看该监测点采集图像以及害虫数据统计的详细信息。在界面中可以找到该监测点的历史数据曲线。对该监测点每一时刻的虫情数量进行统计与分析。统计图的纵轴是该时刻与前一时刻的虫情数量的差值，这样更能表达害虫的增长率，为烟厂人员提供了一个有效的判断指标。如果想查看历史数据，点击界

面中的查看历史数据按钮便会弹出新对话框，用户可以选择所需要查看的日期进行虫情的查看。用户界面如图 5-6 所示。点击界面中相应的日期会得到该日期所有时刻的图像信息。

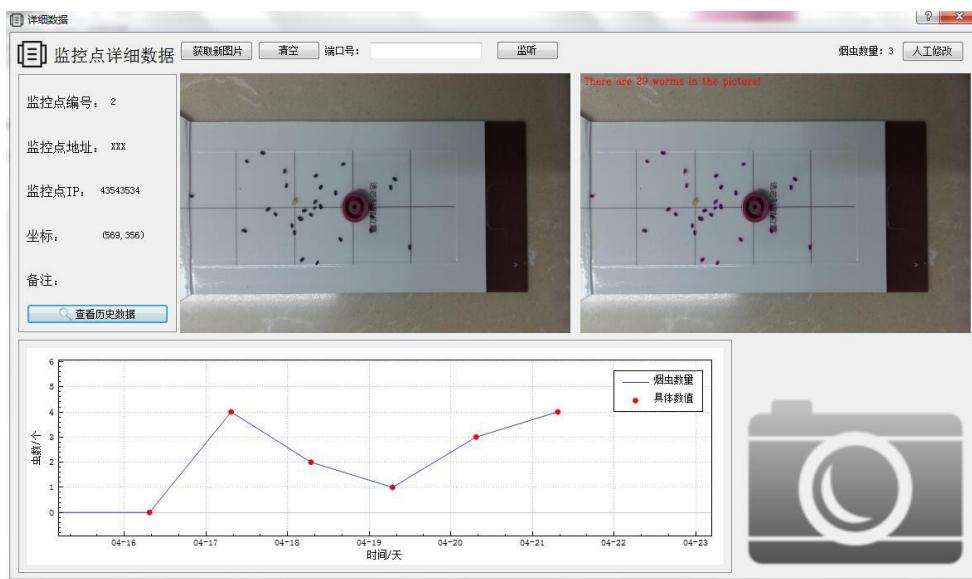


图 5-5 监测点详情界面

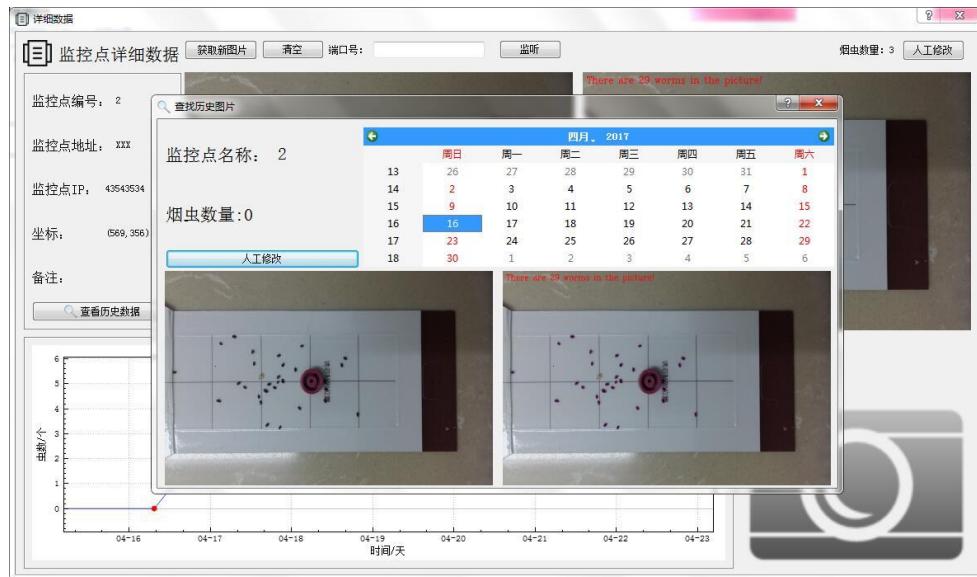


图 5-6 历史数据显示界面

在浏览器端，用户打开浏览器，登陆进入访问界面，用户便可以直接对每个监测点的详细信息进行查看。浏览器端并不作为控制使用，只供给用户进行监测使用，浏览器端的图像数据皆是虫情监测中心所采集的图像并存入数据库中的数据。所以使

用起来非常的方便。

5.3 性能测试

在系统的性能测试中，将从系统的单个监测点的响应时间，整个系统的稳定度以及图像处理与识别结果的准确度三个方面进行测试。在实验室内部测试过程中，系统能够长时间的稳定运行，所以在稳定度上基本能够满足要求。

5.3.1 系统的响应时间

整个系统的响应时间是指图像采集设备采集到虫板一帧的图像，通过网络传输给虫情监测中心，经过虫情监测中心调用图像处理模块进行分析处理，最后将图像数据以及处理结果存储到数据库中这段过程所需的时间。通过在服务端进行多次测试，每个监测点第一次识别并存储到数据库中的时间在 1200 毫秒左右，当图像数据量增大后，响应时间会逐渐的加长，大概平均在 2000 毫秒左右。基本上满足系统每次采样时间小于等于 2S 的要求。

5.3.2 系统的准确度

系统的准确度是指虫情监测中心的图像处理模块对采集到的虫情图像进行分析统计的虫情数量的准确性。使用中使用 5 组图像进行检测。5 组图片如图 5-7 所示。

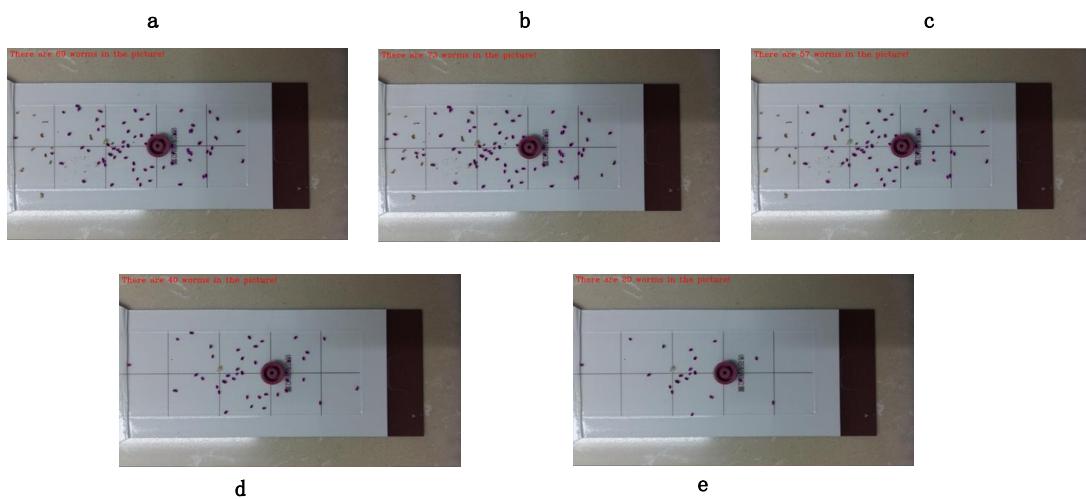


图 5-7 实验数据图

检测结果见表 5-1 所示。

表 5-1 示例图片检测结果统计

图片序号	实际目标数	检测目标数	漏检数	虚警数
a	74	73	1	0
b	70	69	1	0
c	57	57	0	0
d	40	40	0	0
e	20	20	0	0

检测指标见表 5-2 所示。

表 5-2 检测指标

检测率	虚警率	漏检率
99.23%	0	0.77%

根据表 5-1 与表 5-2 所知检测率达到了 99%，基本满足要求。但是检测率依然需要提高，分析结果得出主要还是许多灰尘以及烟草害虫的叠加导致检测率的降低。

5.4 本章小结

本章对整个系统进行了实验验证。在实验室内部搭建系统平台，首先利用图像采集设备拍摄诱捕器上的虫情图像，然后通过网络协议传输给虫情监测中心软件，待图像处理模块处理完后，查看监测点信息。然后对采样和处理结果进行标定实验。并对实验结果及误差进行了分析。

6 总结与展望

6.1 总结

近年来，随着视频监测以及图像处理技术的逐渐成熟，越来越多的农产业公司将视频监测和图像处理的技术引入了虫情监测中。随着其技术的大力推广，大量的虫情监测系统都投入使用，给农户带来了极大的便利。为了解决烟厂在虫情监测上给工人带来的劳动力大以及人工监测的不准确性，本文旨在研究并设计一套全自动化的虫情图像采集与监测系统。通过对相关资料的查找，了解捕获烟草害虫的方式并设计了诱捕器机箱，以及系统硬件部分和软件部分。烟厂工人或操作人员可以在 PC 机上或者浏览器端操作进行虫情监测。首先，操作人员对虫情监测点发出采集指令，通过网络协议将图像数据传输到虫情监测中心软件，然后后台调用图像处理模块对图像中虫情数量进行统计并存储到数据库中。最后工人或者操作人员便可以通过 PC 机或浏览器端查看每个监测点的图像信息、历史虫害曲线和报表。本论文研究的主要内容如下：

(1) 设计诱捕机箱

为了使图像采集模块能够采集到稳定、清晰、标准大小的图片，方便后续的处理，设计了诱捕机箱，将诱捕虫板与摄像头采集装置固定，并且进行了防尘的处理。

(2) 基于 STM32 的图像采集设备硬件设计

设计了以 STM32 作为微控制器芯片， OV5640 图像传感器作为采集前端以及相关的外围电路的硬件采集设备。根据烟厂实际工作环境的需要，对以太网传输方案和供电方案进行分析，并选取了基于 W5200 的网络通信设计方案，以及在以太网通信的基础上配合以太网供电技术进行系统的电源设计。

(3) 基于 QT 平台的虫情监测中心软件设计

结合 QT 平台的可视化编程、网络通信以及信号与槽机制等技术开发了服务端软件。用户可以在 PC 机安装该软件对整个工厂的监测点进行虫情监测，不需要人工识别，消耗大量劳动力。

(4) 基于 B/S 架构的 WEB 端虫情监测软件

研究 B/S 架构软件设计模式，并选用 JAVA 语言和 MVC 模式进行软件的开发。

利用 QT 内部引擎与虫情监测中心软件进行通信，使操作人员以及工人方便监测虫害情况。

(5) 研究了关于昆虫的图像处理与识别技术

论文中采用显著性分析、图像边缘检测、形态学分析以及特征提取的方式对烟草虫情图像进行处理和识别。并通过标记图中的害虫，对虫情数量进行统计，把统计数量作为烟厂中虫害情况的衡量标准。

6.2 展望

虫情图像采集与监测系统实现了烟草虫害自动监测，烟厂操作人员或工人可以通过浏览器端与移动端查看收集到烟草害虫的图像以及图像处理结果。该系统不仅提高了烟草害虫的诊断效率，还降低了烟厂的经济损失。但由于本系统涉及学科领域广、覆盖知识面宽、工作量大，而研究的时间有限，所以本系统还存在许多需要改进的地方。

(1) 提高系统对噪声背景下害虫图像的识别准确度。目前系统基本能够准确识别虫害数量，但对于虫害叠加、灰尘的摄入等情况，识别效果仍然会收到影响，希望以后的研究工作中能够提高复杂背景下的识别精度。

(2) 在工厂进行现场实验。本系统测试是在实验室环境下搭建的，监测点数有限。下一步需要在实际工作环境下进行现场实验，保证在多点情况下，系统能够稳定的运行。

(3) 图像数据的传输方式，目前系统传输的方式是采用有线传输，传输方式稳定，但在布线方面仍然存在一定的问题。所以运用一个稳定的安全的无线传输方式对工厂来说，可以更简便的安装设备，不用考虑布线的问题。

致谢

研究生的两年学习生活转眼就过去了，两年的时间让自己从迷茫走向成熟，找到了自己的奋斗目标。在这两年中需要感谢的人真的太多，感谢学校能够提供这么好的学习机会，让自己能够获得一定的专业技能，为将来的工作发展打下了基础。感谢老师、父母以及同学在生活和学习等各方面的帮助。

感谢我的导师郑英老师和张洪老师，在他们的悉心指导下完成了学位论文。两位老师知识渊博，工作精益求精，科学态度严肃谨慎，研发能力很强，让我由衷的敬佩。两年来，在学习上，两位导师坚持每周开例会讨论学术研究，听取每个人的学术报告并提出建议。在生活上，对我的关心也是无微不至。在项目开发上，给予自己专业的指导，让自己少走了许多弯路。在此对两位老师表示感谢。

感谢图像所的谭毅华老师对于本研究的帮助，在论文书写上提供许多的建议。感谢任课老师孔力老师、魏丰老师、周凯波老师等，在课程知识的学习上让我受益匪浅。

感谢在我的求学阶段父母的默默奉献与支持，给予了我莫大的动力。在今后我会用实际行动来回报他们，在此，希望他们身体健康。

最后，由衷的感谢在我读研的时期关心、支持和帮助过我的老师、同学和朋友们。

参考文献

- [1] 夏敬源. 大力推进农作物病虫害绿色防控技术集成创新与产业化推广[J]. 中国植保导刊, 2010, 30(10):20-24
- [2] 苏宏钧, 赵杰, 尤德康等. 我国森林病虫害灾害经济损失[J]. 中国森林病虫, 2004, 23(5):1-6
- [3] 梁军, 孙志强, 乔杰, 等. 天然林生态系统稳定性与病虫害干扰——调控与被调控[J]. 生态学报, 2010, 30(9):2454-2464
- [4] 于广威, 陈洋洋. 食品行业中的虫害防治[C]// 中国粮油学会储藏分会成立 30 周年学术交流会. 2015
- [5] 烟草种植编写组编写. 烟草病虫害[M]. 中国财政经济出版社, 1992
- [6] 王刚. 我国烟草病虫害防治研究策略探讨[J]. 中国烟草科学, 2003, 24(4):37-39
- [7] 潘悦, 蒋水萍, 董石飞, 等. 烟草病虫害综合防治技术田间效果研究[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(23):6123-6126
- [8] 周再军, 唐兴贵, 苏五雷, 等. 3 种有机磷杀虫剂对烟草粉螟幼虫的室内熏杀效果[J]. 河北农业科学, 2014(4):43-46
- [9] 吴子龙. 基于 Android 移动终端的烟草病虫害图像智能识别系统研究[D]. 云南农业大学, 2015
- [10] Hopkins T. Image Acquisition System[J]. 2016, 24(1):38-23
- [11] 陈永年, 潘桐, 汪明达. 湖南烟草害虫种类初步调查[J]. 河南农业大学学报, 1990(4):472-478
- [12] 彭秋, 周冀衡. 贮烟害虫二次侵染的成因及对策 [J]. 现代农业科技, 2012(20):154-155
- [13] 王公勤, 王殿轩, 汪灵广, 等. 几种表面诱捕器在仓储稻谷害虫发生初期的检测效果比较[J]. 粮食储藏, 2017(1):43-47
- [14] 张初阳, 黎国志. 波纹板害虫诱捕器生产性试验[C]// 粮食储藏技术与管理论坛. 2008
- [15] Vanweelden M T. The Active Space of Mexican Rice Borer (*Eoreuma loftini*)

- Pheromone Traps[J]. Annals of Thoracic Surgery, 2015, 79(5):1470-2
- [16] 李宏图, 章钦印, 李德鹏, 等. 不同密度诱捕器对烟草害虫的诱杀效果[J]. 湖南农业科学, 2015(3):34-36
- [17] 王争艳, 鲁玉杰. 几种诱捕器对储粮害虫诱捕效果的评价[J]. 河南工业大学学报自然科学版, 2006, 27(1):36-38
- [18] 范平平. 基于以太网的视频监控系统的研究[J]. 科技信息, 2013(6):257-257
- [19] 姜慧. 基于 Android 的水稻害虫图像采集与识别系统研究[D]. 浙江: 浙江理工大学, 2013: 1-3
- [20] 孙鹏. 基于 Android 平台害虫识别系统的设计[D]. 四川: 西南交通大学, 2014: 65
- [21] 张秋. 无线传感器网络在仓储环境监测中应用的研究[D]. 江南大学, 2013
- [22] 陈光绒, 李小琴. 基于物联网技术的农作物病虫害自动测报系统[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(4):406-410
- [23] 毛宏燕, 黄林鹏, 孙永强. 基于 Web 服务的图像处理系统研究与实现[J]. 计算机科学, 2005, 32(10):190-192
- [24] 王媛媛. 图像分割和边缘检测方法在昆虫图像中的应用[D]. 山东科技大学, 2007
- [25] Buades A, Coll B, Morel J M. A Review of Image Denoising Algorithms, with A New One[J]. Siam Journal on Multiscale Modeling & Simulation, 2005, 4(2):490--530
- [26] Gupta K, Gupta S K. Image Denoising Techniques- A Review Paper[J]. International Journal of Innovative Technology & Exploring Engineering, 2013, 2(4)
- [27] 张灿, 涂国防, 刘笑宙. 小波分形插值应用于遥感图像处理[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(2):247-251
- [28] 周茗琪. 基于显著度的图像灰度化算法研究[D]. 上海交通大学, 2015
- [29] 王耀贵. 图像高斯平滑滤波分析[J]. 计算机与信息技术, 2008(8):83-85+94
- [30] 王军敏, 姬鹏飞. 基于微分算子的边缘检测及其应用[J]. 平顶山学院学报, 2015, 30(2):85-89
- [31] 于新文, 沈佐锐, 高灵旺, 等. 昆虫图像几何形状特征的提取技术研究[J]. 中国

- 农业大学学报, 2003, 8(3):47-50
- [32] 何俊, 葛红, 王玉峰. 图像分割算法研究综述[J]. 计算机工程与科学, 2009, 31(12):58-61
- [33] Shi W, Zou R B, Wang F, et al. A New Image Segmentation Method Based on Multifractal Detrended Moving Average Analysis[J]. Physica A Statistical Mechanics & Its Applications, 2015, 432:197-205
- [34] Romero A, Gatta C, Camps-Valls G. Unsupervised Deep Feature Extraction for Remote Sensing Image Classification[J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, 2015, 54(3):1-14
- [35] 廉苏丹. SAR 图像特征提取与目标识别方法研究[D]. 国防科学技术大学, 2001
- [36] Pedersen S I. Image feature extraction: US, US7203342[P]. 2007
- [37] Hyvarinen A, Oja E, Hoyer P, et al. Image Feature Extraction by Sparse Coding and Independent Component Analysis[C]// Pattern Recognition, 1998. Proceedings. Fourteenth International Conference on. IEEE Xplore, 1998:1268-1273 vol.2
- [38] Cohnstaedt L W, Gillen J I, Munstermann L E. Light-Emitting Diode Technology Improves Insect Trapping[J]. Journal of the American Mosquito Control Association, 2015, 24(2):331-334
- [39] 盛承发, 苏建伟, 王红托, 等. 两种性信息素诱捕器对棉铃虫雄蛾的诱捕效果比较[J]. 昆虫学报, 2002, 45(2):271-274
- [40] Lieberwirth L, Sandford A F. Insect Trap Cartridge[J]. 2017
- [41] Nixon M, Aguado A. Feature Extraction & Image Processing[J]. Academic Press, 2002, 44(4):595-599
- [42] Itti L, Koch C, Niebur E. A Model of Saliency-Based Visual Attention for Rapid Scene Analysis[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 1998, 20(11):1254-1259
- [43] Hou X, Zhang L. Saliency Detection: A Spectral Residual Approach[C]// Computer Vision and Pattern Recognition, 2007. CVPR '07. IEEE Conference on. IEEE, 2007:1-8
- [44] Dougherty E R. An Introduction to Morphological Image Processing[J]. Spie Optical Engineering, 1992, tt9

华中科技大学硕士学位论文

- [45] Yin J, Zhang T, Ke X, et al. Design of Remote Acquisition Node of Lowcost Multispectral Image for Field Monitoring[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016
- [46] 王岩. 基于 FPGA 的冷轧板形检测仪实时信号采集处理系统设计[D].燕山大学,2016
- [47] Maggiolino L J, Shanava Y. Multiple Power Supply Management Scheme in A Power over Ethernet (POE) System: US, US20090070615[P]. 2009
- [48] 胡国珍, 马学军, 邹德军. 以太网供电电源的设计与实现[J]. 湖北理工学院学报, 2014(4):12-15
- [49] Power-over-Ethernet[J]. Lan Switches, 2015(5)
- [50] Woo A, Tammineedi A, Fujimori I, et al. Apparatus and Method for Multi-point Detection in Power-over Ethernet Detection Mode: US, US8782442[P]. 2014
- [51] Wegener A W. Raw Format Image Data Processing[J]. 2015