

## 基于物联网的果园实蝇监测系统的设计与实现

李震<sup>1,2,3</sup>, 洪添胜<sup>1,2,3\*</sup>, 文韬<sup>2,4</sup>, 朱振驰<sup>1</sup>, 宋淑然<sup>1,2,3</sup>, 孙道宗<sup>1,2,3</sup>

(1.华南农业大学工程学院, 广东 广州 510642; 2.南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广东 广州 510642; 3.国家柑橘产业技术体系机械研究室, 广东 广州 510642; 4.中南林业科技大学机电工程学院, 湖南 长沙 410004)

**摘要:** 为大范围和准确监测果园实蝇的发生, 设计了基于物联网的果园实蝇监测系统。该系统由智能捕虫器、监测终端、远程终端及移动终端组成, 安装在果园的多个智能捕虫器和监测终端构成星形短程无线网络, 监测终端将收集的实蝇信息通过 GSM/GPRS 服务发送至远程终端及移动终端。智能捕虫器包括太阳能电池板、支架、捕虫器壳体及安装于壳体内部的光电检测电路、微处理器、短程无线通信模块、锂电池充电电路等功能电路, 采用成本较低且稳定性较高的红外光电对管检测进入捕虫器的果园实蝇; 监测终端包括微处理器、短程无线通信模块和 GSM/GPRS 模块。基于  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  实时操作系统设计了智能捕虫器和监测终端的应用软件。系统验证试验结果表明, 智能捕虫器平均工作电流为 97 mA, 监测终端在 GSM/GPRS 模块休眠和工作时的电流分别为 60 mA 和 328 mA, 2 种设备的工作电流消耗均低于各自电池的供电能力, 实蝇监测准确率可达 94.23%。

**关键词:** 果园实蝇; 捕虫器; 监测系统; 物联网

中图分类号: S126; S43 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2015)01-0089-05

## Design and development of orchard fruit fly monitoring system based on the internet-of-things

LI Zhen<sup>1,2,3</sup>, Hong Tiansheng<sup>1,2,3\*</sup>, Wen Tao<sup>2,4</sup>, Zhu Zhenchi<sup>1</sup>, Song Shuran<sup>1,2,3</sup>, Sun Daozong<sup>1,2,3</sup>

(1.College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2.Key Laboratory of Key Technology for South Agricultural Machinery and Equipment, Ministry of Education, Guangzhou 510642, China; 3.China Agricultural Research System Machinery Laboratory, Guangzhou 510642, China; 4.School of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China)

**Abstract:** In order to accurately monitor the happening of orchard fruit fly in large area, an orchard fruit fly monitoring system was designed based on the internet-of-things. The system is composed of intelligent fruit fly trap, monitoring terminal, remote terminal and mobile terminal. Several intelligent traps and monitoring terminals were installed into the orchard, forming a star style short-range wireless communication network. Fly happening information is gathered by the monitoring terminal and sent to either the remote terminal or the mobile terminal through the GSM/GPRS service. The intelligent fruit fly trap comprises a solar panel, bracket, trap enclosure and the functional circuits mounted inside the enclosure. The functional circuit includes the photoelectric detection circuit, the microcontroller, the short-range wireless communication module, and the lithium battery charging circuit. The fruit fly entering into the trap is detected using the low-cost and high-stability infrared photoelectric sensor. The monitoring terminal comprises a microcontroller, a short-range wireless communication module and a GSM/GPRS module. Both of the intelligent fruit fly trap and the monitoring terminals' software were designed based on  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  real-time operating system. The results indicated that: the average

收稿日期: 2014-05-28

修回日期: 2014-08-27

基金项目: 国家柑橘产业技术体系专项(CARS-27); 国家自然科学基金项目(31401281); 广东省高等院校学科与专业建设专项(2013KJ CX 0032); 广州市科技计划项目(2013J2200069)

作者简介: 李震(1981—), 男, 吉林大安人, 博士, 教授, 主要从事农业信息化工程及农情监测技术应用研究, lizhen@scau.edu.cn; \*通信作者, 洪添胜, 博士, 教授, 主要从事农业工程、机电一体化和信息技术应用研究, tshong@scau.edu.cn

operation current of the intelligent fruit fly trap is 97 mA, the operation current of the monitoring terminal with or without the GSM/GPRS module working is 60 mA or 328 mA, both of the equipments' power consumption are lower than their battery power supply ability. The fruit fly monitoring accuracy of the system can reach 94.23%.

**Keywords:** orchard fruit fly; fly trap; monitoring system; internet-of-things

橘小实蝇、南瓜实蝇和瓜实蝇是中国南方实蝇类优势种<sup>[1-2]</sup>,其成虫寿命较长,繁殖和飞行能力较强,可在较大范围内寻找适宜的寄主并传播,对柑橘、番石榴、芒果及杨桃等多种果树危害严重<sup>[3-5]</sup>。传统的“地毯式”大面积喷施化学农药的防治方法,造成环境恶化和污染加剧,还导致水果的大量农药残留,危害消费者健康。

目前主要通过设置成虫观测点、田间诱集、采集腐烂脱落果实等方式,人工监测实蝇的发生情况<sup>[6-7]</sup>;受作业强度的限制,难以实现对果园实蝇害虫的大范围和准确监测,进而无法根据害虫在果园中的地理分布及种群密度信息实现变量喷施农药灭虫<sup>[8]</sup>。物联网技术是集成了各种感知技术、现代通讯技术、人工智能和自动控制等功能的新分布式传感器网和信息传输网,已在温室环境监控、农产品溯源、病虫害远程诊断等方面得到广泛应用<sup>[9-12]</sup>。果园虫害监测预报应用中,大量融合信息采集和无线局域网功能的监测节点,可构成基于物联网的果园虫害监测系统,现场采集和处理虫害信息,经由多种网络连续、实时地向监测终端发布虫情信息,实现果园害虫的大范围和准确监测。

橘小实蝇、南瓜实蝇和瓜实蝇成虫体长可达8~9 mm,成虫体形较大,对性引诱剂敏感<sup>[7]</sup>。文韬等<sup>[13-14]</sup>在现有捕虫器的基础上加装工业级摄像头,基于机器视觉技术实现了果园实蝇运动轨迹跟踪与数量检测,但该方法需要在果园设置视频监测节点,成本较高、维护困难、节点耗电量大,难以大范围推广。笔者根据果园实蝇的体型特征和生活习性,结合果园地形地貌和大范围监测果园实蝇发生情况的要求,研制了具备光电检测电路、微处理器、短程无线通信模块、锂电池充电控制等功能电路的新型智能捕虫器,采用成本较低且稳定性较高的红外光电对管检测进入捕虫器的果园实蝇,通过融合短程无线通信和GSM/GPRS服务的果园物联网发布监测信息,以期实现对果园实蝇害虫的大范围的准确监测。

## 1 系统结构

基于物联网的果园实蝇监测系统结构如图1所示。系统由智能捕虫器、监测终端、远程终端及移动终端组成。智能捕虫器和监测终端安装在果园的多个位置,构成星形短程无线通信网,实现捕虫器本地监测信息上传和监测终端控制命令下达。为最大限度消除果树对短程无线通信信号的衰减,果园本地网络选用433 MHz作为通信载波频段。监测终端暂存来自智能捕虫器节点的监测信息,根据用户设定的时间间隔,将汇总的监测信息通过GSM/GPRS服务发送至远程终端及移动终端。



图1 系统结构

Fig.1 System structure

## 2 智能捕虫器节点的设计

智能捕虫器包括太阳能电池板、支架、捕虫器壳体及安装于壳体内部的光电检测电路、微处理器、短程无线通信模块、锂电池充电电路等功能电路。其主要工作为:1)采用传统性引诱剂诱捕果园实蝇;2)应用红外光电对管对进入捕虫器的实蝇进行检测计数;3)微处理器统计一定时间段内的光电传感器计数值,并定期发布监测信息。

### 2.1 捕虫器壳体设计

捕虫器壳体的设计以不影响捕虫效果为前提,在壳体内部安装功能电路,使捕虫器兼具捕虫和信息采集功能。结合现有实蝇类害虫捕虫器的设计经

验和应用效果<sup>[15-17]</sup>，所设计的捕虫器壳体包括瓶盖和瓶身 2 部分，瓶盖和瓶身间通过螺纹连接，瓶身的结构与传统捕虫器一致。

捕虫器壳体的瓶盖由 7 个构件组成。构件 1 用于观察区域的密封；构件 2 用于观察区域的取光；构件 3 为光电传感器遮挡阳光；构件 4 用于与构件 3 盈合；构件 5 用于进虫、安装电路板及光电传感器；构件 6 用于与瓶身及构件 5 连接；构件 7 用于封装瓶盖底部及为电路板提供固定。其中，构件 1 与构件 2 以螺纹连接，构件 3 与构件 4 盈合后设于构件 5 上，构件 2 与构件 5 以卡扣连接，构件 5 外侧与构件 6 以螺纹连接，构件 5 下端设置构件 7，构件 6 与瓶身螺纹连接，如图 2 所示。

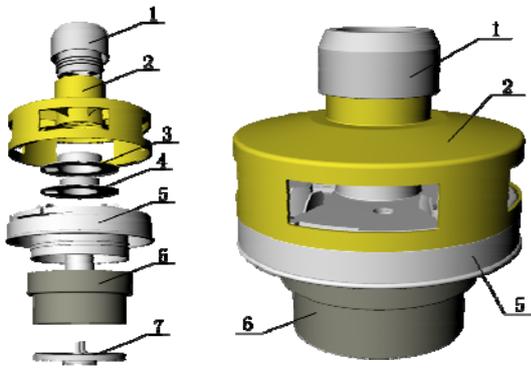


图 2 捕虫器壳体瓶盖构件间的连接关系及连接效果

Fig.2 Connection relationship between components and connection effect of the fruit fly trap shell cover

构件 1、2 主要用于设计阶段人工观察实蝇进入捕虫器后的运动情况；构件 4、6 用于盈合和连接，检测实蝇的功能主要通过构件 5 实现。该构件本体内部上端设有 4 条等弧长间距的进虫通道，进虫通道为下陷结构，下陷结构从进口处开始，在垂直方向弯曲一定曲率后直通至中心圆环平台，最窄处刚好可允许 1 头成熟实蝇通过；进虫通道壁两侧各有 2 个光电传感器安装孔，光电传感器安装孔上安装红外光电传感器，进虫通道上方左右各设置一处挡光壁，防止外部阳光对光电传感器造成影响；构件 5 本体内设有 2 处电路板安装支柱，智能捕虫器功能电路安装于电路板安装支柱上，光电传感器与电路板连接。

### 2.2 智能捕虫器功能电路的设计

功能电路由 Texas Instruments 公司的 MSP430

F149 微控制器、Nordic VLSI 公司的 nRF905 无线通信模块、红外传感器及驱动电路、LDO 稳压电路、锂离子电池及太阳能充电电路组成，结构如图 3 所示。电路板及其在捕虫器壳体内部的安装如图 4 所示。为实现将所有功能电路安装在捕虫器壳体内部的目标，选用 4.2 V 锂电池为电路供电，并基于 Consonance Electronic 公司的 CN3083 锂电池充电管理芯片制作了太阳能充电电路。

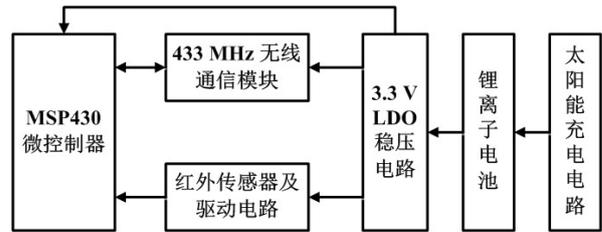


图 3 智能捕虫器功能电路结构



图 4 功能电路板及其在捕虫器壳体内部的安装

Fig.4 Function circuit board and its installation inside fly trap

#### 2.2.1 红外传感器及驱动电路

智能捕虫器通过红外对管对进入捕虫器的实蝇进行检测计数，检测策略如图 5 所示。红外对管安装于捕虫器进虫通道，发射管和接收管对射安装，实蝇进入捕虫器后，传感器被遮挡，触发检测。实际测试发现，存在实蝇沿进虫口走出捕虫器的情况，因此每通道安装 2 对红外对管 A 和 B。当实蝇从捕虫器外进入监测区时，如图 5 箭头①路径所示，先触发红外对管 A 后，触发红外对管

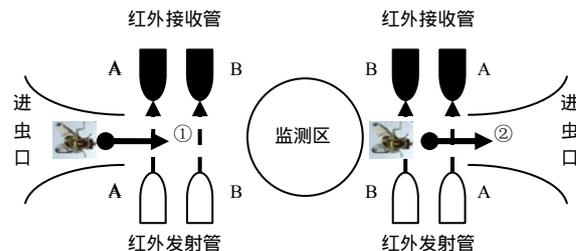


图 5 实蝇检测策略

Fig.5 Strategy for fruit fly detection

B, 此时记录为实蝇进入捕虫器; 当实蝇从捕虫器区域 A 往外走, 如图 5 箭头②路径所示, 先触发红外对管 B 后, 触发光红外对管 A, 此时记录为实蝇移出捕虫器。

研究中发现, 采用传统的单阈值电压比较器, 将光电传感器输出的不规则信号转变为方波时, 受实蝇胸、腹间连接狭窄的体态特征和翅膀抖动等影响, 传感器输出信号存在大量微小抖动, 比较器输出紊乱, 难以实现正确计数, 因此, 本研究采用带双阈值的迟滞比较器, 将光电传感器输出的不规则信号转变为方波<sup>[18]</sup>, 以抑制传感器输出信号的微小抖动对比较器输出的影响, 电路原理图如图 6 所示。实现实蝇检测的主要原理为利用触发双阈值迟滞比较器输出信号跳转时的输入电压检测回差电压  $\Delta V$ <sup>[19]</sup>。

$$\Delta V = V_{TH} - V_{TL}$$

式中:  $\Delta V$  为输入电压的检测回差电压;  $V_{TH}$  和  $V_{TL}$  分别为双阈值迟滞比较器的上、下门限电压。按图 6 中电阻取值, 可计算得到  $V_{TH}$ 、 $V_{TL}$ 、 $\Delta V$  分别为 1.98、1.38、0.60 V, 迟滞比较器输出能够正确反映实蝇进、出捕虫器的情况。

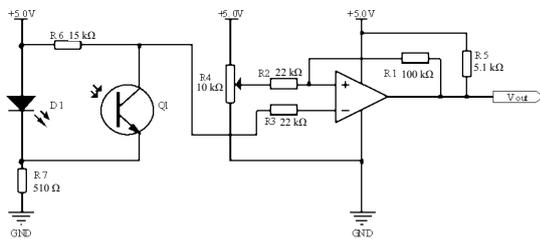


图 6 红外传感器及驱动电路

Fig.6 Schematic of the infra-red sensors and the driving circuits

### 2.3 智能捕虫器软件的设计

智能捕虫器操作系统选用  $\mu C/OS-II$  实时操作系统<sup>[20]</sup>, 软件任务由系统初始化组件、红外监测组件和无线通信组件组成, 其中系统初始化组件用于对微控制器外设、433 MHz 无线通信模块和  $\mu C/OS-II$  实时操作系统进行初始化; 红外监测组件用于查询红外传感器触发状态并对进/出捕虫器的实蝇进行计数; 无线通信组件用于与监测终端进行通信, 当数据发生更新时发送数据至监测终端。

## 3 监测终端的设计

### 3.1 硬件的设计

监测终端负责收集来自智能传感器节点的监

测信息, 将数据保存至 EEPROM, 按照用户设定的时间间隔, 通过 GRPS/GSM 服务将数据发送至远程监控终端; 此外, 当接收到来自移动终端的数据请求短信时, 也可将存储的数据发送至移动终端(图 7), 其中, 微控制器、无线通信模块、稳压电路、锂电池及太阳能充电电路的设计与智能捕虫器功能电路一致; PMOS 电路控制锂电池对 GSM/GPRS 模块供电; GSM/GPRS 模块使用 Simcom 公司的 SIM300 模组, 该模组符合工业标准、体积小、可即插即用; EEPROM 使用 ATMEL 公司的 AT24C08 存储芯片; RTC 时钟模块使用 Dallas Semiconductor 的 DS1307 时钟芯片。

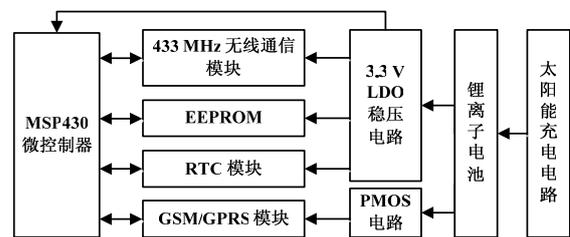


图 7 监测终端硬件结构

Fig.7 Hardware structure of the monitoring terminal

### 3.2 软件的设计

监测终端运行  $\mu C/OS-II$  实时操作系统, 软件任务由系统初始化组件、GPRS 控制组件、SMS 控制组件、无线通信组件和系统时间同步组件组成。系统初始化组件用于对微控制器外设、无线通信模块、GSM/GPRS 模块和  $\mu C/OS-II$  实时操作系统进行初始化; GPRS 控制组件定期将监测系统信息发送至远程监控终端及中国移动通信有限责任公司提供的网络邮箱; SMS 控制组件查询 GSM/GPRS 模块内 SMS 指令, 并反馈相应数据至移动终端; 无线通信组件定时查询智能捕虫器节点的数据; 系统时间同步组件用于同步当前监测系统的时间, 定期执行任务。

## 4 系统性能测试

### 4.1 系统工作电流测试

由于系统工作时, 智能捕虫器节点和监测终端均布置在果园, 由太阳能电池板为锂电池充电作为电源, 需要对节点和终端实际运行时的能耗及其持续运行的稳定性进行测试。使用 Keithley Instruments 公司的 Model 2700 Integra series 高精度数据采集系统, 实时测量并记录单个智能捕虫器节点和监测终端 31 d 的工作电流, 测试日期为

2013 年 5 月 1 日至 5 月 31 日, 实蝇在该时间段处于活跃期。结果表明: 智能捕虫器节点在 31 d 的平均工作电流为 97 mA, 4 组红外光电传感器及其驱动电路、无线通信模块的平均工作电流分别为 66 mA 和 15 mA; 捕虫器节点使用 4.2 V-2 200 mAh 锂电池, 在测试期内未出现断电的情况。

监测终端在 GSM/GPRS 模块休眠和工作时的电流分别为 60 mA 和 328 mA, 平均工作电流为 104 mA; 监测终端使用 4.2V-5200 mAh 锂电池, 通过 PMOS 供电控制电路对 GSM/GPRS 模块进行关断以降低消耗, 在测试期内未出现断电的情况。

#### 4.2 系统监测能力测试

2013 年 5 月 1 日至 31 日, 在华南农业大学工程学院实验柑橘园内, 对系统检测能力进行测试。在捕虫器壳体瓶身中滴入橘小实蝇性引诱剂, 测试时段为 6:00—18:00(白天)和 18:00 至次日 6:00(夜晚)。设置捕虫器节点程序, 使其每天 6:00 和 18:00 自动上传监测得到的实蝇数量; 在相同的时间点, 人工数取各捕虫器内的实蝇数量。监测结果如表 1 所示。

表 1 系统监测能力测试结果

时段	节点	系统监测数	人工数取数	漏检率/%
白天	1	581	605	3.97
	2	561	614	8.63
	3	587	621	5.48
	4	580	548	5.84
夜晚	1	235	247	4.80
	2	220	238	7.56
	3	202	213	5.16
	4	226	237	4.64

监测表明, 白天时段果园实蝇较为活跃, 进入捕虫器的数量明显高于夜晚时段。智能捕虫器节点在白天时段的最大漏检率为 8.63%, 夜晚时段的最大漏检率为 7.56%; 4 个节点全天的平均漏检率为 5.77%, 测试中未出现多检的情况, 即系统的平均监测准确率达 94.23%。节点在白天时段和夜晚时段的漏检率无明显差异, 说明捕虫器壳体能够有效遮挡进入光电对管自然光线, 降低了结果受自然光线的影响。

#### 参考文献:

- [1] 解淑慧, 邵兴锋, 王可, 等. 柑橘采后腐烂主要致病菌的分离鉴定及丁香精油对其抑制作用研究[J]. 果树学报, 2013, 30(1): 134-139.
- [2] 邓裕亮, 李正跃, 张宏瑞. 西双版纳州橘小实蝇、瓜

- 实蝇和南瓜实蝇种群动态监测[J]. 西南农业学报, 2006, 19(4): 643-648.
- [3] 李鸿筠, 刘浩强, 姚廷山, 等. 橘小实蝇发生期及发生量预测模型研究[J]. 果树学报, 2010, 27(2): 275-280.
- [4] 谢琦, 张润杰. 橘小实蝇生物学特点及其防治研究概述[J]. 生态科学, 2005, 24(1): 52-56.
- [5] 吴宇芬. 橘小实蝇地理分布模型[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2005, 34(2): 168-171.
- [6] 李杖黎, 郭元成, 郑薇薇, 等. 诱杀点分布对柑橘大实蝇诱杀效果的影响[J]. 华中农业大学学报, 2012, 31(6): 710-712.
- [7] 周志艳, 罗锡文, 张扬, 等. 农作物虫害的机器检测与监测技术研究进展[J]. 昆虫学报, 2010, 53(1): 98-109.
- [8] 陆永跃, 曾玲, 梁广文, 等. 对性引诱剂监测橘小实蝇雌成虫技术的改进[J]. 昆虫知识, 2006, 43(1): 123-126.
- [9] 黎贞发, 王铁, 官志宏, 等. 基于物联网的日光温室低温灾害监测预警技术及应用[J]. 农业工程学报, 2013, 29(4): 229-236.
- [10] 颜波, 石平, 黄广文. 基于 RFID 和 EPC 物联网的水产品供应链可追溯平台开发[J]. 农业工程学报, 2013, 29(15): 172-183.
- [11] 李志宇. 物联网技术研究进展[J]. 计算机测量与控制, 2012, 20(6): 1445-1451.
- [12] 李震, 洪添胜. 无线传感器网络技术在精细农业中的应用进展[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2011, 37(5): 576-580.
- [13] 文韬, 洪添胜, 李震, 等. 基于机器视觉的橘小实蝇运动轨迹跟踪与数量检测[J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 137-141.
- [14] 文韬, 洪添胜, 李立君, 等. 基于无线传感器网络的橘小实蝇成虫监测系统设计与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(24): 147-154.
- [15] 陈益民. 简易瓜/果实蝇诱捕器的制作与应用[J]. 中国生物防治, 2006(S1): 1-5.
- [16] 毛红彦, 韩世平, 李素芳, 等. 不同诱捕器与诱芯对南瓜实蝇的诱捕效果[J]. 植物检疫, 2003, 27(1): 58-60.
- [17] 吴佳教, 李春苑, 刘海军, 等. 新式综合型实蝇诱捕器的研制[J]. 植物检疫, 2013, 27(2): 65-67.
- [18] 任伯峰, 陈雷, 刘百坚, 等. 电压比较器在检测系统中的应用[J]. 仪表技术, 2010(10): 63-65.
- [19] 刘建猷, 刘建东, 程泽. 迟滞比较器数学模型[J]. 天津大学学报, 1996, 29(4): 581-585.
- [20] 章军富, 陈峻崎, 胡剑非, 等. 基于 GPRS/SMS 和  $\mu\text{C}/\text{OS}$  的都市绿地精准灌溉控制系统[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 1-6.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 吴志立