

基于物联网的桔小实蝇诱捕监测装备设计及试验

肖德琴^{1,2}, 傅俊谦², 邓晓晖², 冯健昭², 殷建军², 可欣荣³

(1. 农业部现代农业装备重点实验室, 南京 210014; 2. 华南农业大学信息学院, 广州 510642;
3. 华南农业大学工程学院, 广州 510642)

摘 要: 为了实现对桔小实蝇诱捕的实时监测和快速诊断, 设计了一个基于物联网的桔小实蝇诱捕监测装备。该装备包括诱捕监测装置、太阳能供电装置和监测控制装置 3 个主要部分, 其中诱捕装置包括顶盖、透明的连通件和诱捕瓶; 太阳能装置包括太阳能板、蓄电池以及太阳能板支架; 控制装置包括 Fit-pc 控制器、3G 通讯模块和自主研发的桔小实蝇监测计数系统软件。该装备结合了机器视觉技术、远程通讯技术以及太阳能供电等技术, 实现了集病虫害信息采集、处理、传输与自供电为一体的桔小实蝇诱捕监测装备, 可长期的、实时的、远程的监控桔小实蝇诱捕过程和精确的计算桔小实蝇数量, 且可自动传输到远程服务器并保存在本地存储卡中。在实验室环境下采用该装备测试, 在 830 s 内有 138 头桔小实蝇进入该装备, 系统检测出的结果是 131 头, 检测成功率为 94.9%。采用该装备在杨桃公园从 2013 年 11 月到 2014 年 12 月进行了一年多测试, 系统软硬件可以稳定地协同工作, 仅在光照严重不足太阳能供电不力的情况下出现过系统停止运行。基于物联网的桔小实蝇诱捕监测装备能自动跟踪计算桔小实蝇数量, 从而向区域监控人员提供简洁有效的监控信息, 在农业上有着广泛的应用前景。

关键词: 实时控制; 设计; 机器视觉; 物联网; 桔小实蝇; 诱捕; 视觉感知; 计数

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2015.07.024

中图分类号: S475⁺.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2015)-07-0166-07

肖德琴, 傅俊谦, 邓晓晖, 等. 基于物联网的桔小实蝇诱捕监测装备设计及试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(7): 166—172.

Xiao Deqin, Fu Junqian, Deng Xiaohui, et al. Design and test of remote monitoring equipment for *bactrocera dorsalis* trapping based on internet of things[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(7): 166—172. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

目前国内外关于桔小实蝇野外监测, 主要通过设立成虫观测点、田间诱集和采集腐烂脱落的虫果人工检测桔小实蝇数量, 并对其生长规律和分布情况进行统计^[1-5], 虫情的直接监测还是以人工调查为主。该方法具有工作量大、效率低、可靠性差、精度低等缺点, 无法对果园的虫害发生情况进行现场、实时、大尺度快速监测, 导致测量结果无法反映大尺度果园虫害的实时和动态变化情况^[6-7]。农业昆虫专家热切盼望有一种能够自动统计和远程实时观察诱捕结果的解决方案, 以减轻他们劳动量, 让更多的精力放在研究昆虫的特性上。

近年来, 随着电子技术的发展和深入应用, 电子信息、视频监控逐渐渗透到各个领域, 在农业上的应用也逐步发展起来。台湾学者 Jiang 等^[8-9]提出了一个基于无线通信技术的远程害虫监测系统, 对害虫进行生态

监测, 此系统会自动报告实时环境条件并诱捕害虫, 还能对被诱捕的害虫进行计数, 其计数原理是用红外中断传感器感知害虫进入监测区引起的电阻特性差异。美国学者 Kays 等^[10]进行了相机陷阱作为传感器网络监测动物群落试验, 利用视频网络收集数据, 显示陆地鸟类和哺乳动物的时空动态活动状况, 该系统具有监测功能但不具备对视频图像的处理和运算功能。希腊学者 Semertzidis 等^[11]研究了一种基于网络的实时视觉系统的自动跟踪单元, 自动从一个或多个预校准的相机进行图像捕捉与处理, 进行交通流量监测。此外, 文韬等^[12]提出一种基于机器视觉技术, 在虫口区域对桔小实蝇进行运动轨迹跟踪, 通过 Canny 边缘检测方法和分段背景差分法完成对桔小实蝇的目标检测, 采用 CCMSPF 算法实现对连续帧图像中不同桔小实蝇个体标记及轨迹跟踪。但是, 该论文的试验数据来源于已有拍摄视频的前 50000 帧图像, 并没有能够做到对视频中的桔小实蝇进行实时检测和处理。因此, 应用视频图像传感器, 结合图像目标检测和跟踪技术, 开发一款能够对桔小实蝇进行自动化计数的远程监控系统将十分必要。

本文基于文献[11]和[13]的思想, 采用本课题组前期开发的 CMOS 视觉传感器^[14], 研究设计一种基于农业物联网应用、可在各种光照条件下进行远程实时监测的桔小实蝇诱捕装备。本文将首先介绍本装备的体系结构, 然后介绍其诱捕监测核心装置、太阳能供电装置和

收稿日期: 2015-01-18 修订日期: 2015-03-06

基金项目: 农业部南京农业机械化研究所开放课题资助(项目名称: 基于物联网的作物生长现场高质量图像采集装备研究, 5600-H14229); 广州市科技计划课题资助(项目名称: 桔小实蝇诱捕追踪与计量优化算法研究, 1563000115)

作者简介: 肖德琴, 女, 博士, 教授, 主要研究方向为无线传感器网络、农业信息感知与传输。广州 华南农业大学信息学院, 510642。

Email: deqinx@scau.edu.cn

监测控制装置及桔小实蝇跟踪计数算法，最后介绍在果园开展的试验情况。

1 桔小实蝇诱捕监测装备体系结构

基于物联网的桔小实蝇远程监控系统包括桔小实蝇诱捕监测装置、太阳能供电装置、控制监测装置 3 个主要部分。桔小实蝇诱捕监测装置中的摄像头连接控制设备，控制设备负责监测和计数从外部进入诱捕装置中的桔小实蝇。同时，控制设备连接着 3G 无线通信设备，该设备负责定时传输监测到的数据到服务器中，因而用户可以通过访问服务器获取实时或历史的监测数据。而这些的设备运行需要电源由太阳能板提供。太阳能供电装置是由单晶硅材料的太阳能板，面积大约为 80 cm×70 cm 大小，以及定制的可伸缩的支撑架组成。太阳能板支撑架的上端用来固定太阳能板；支撑架的中间位置固定诱捕装置；支撑架的中心支撑材料采用空心的铁管，各种设备的线路可以通过铁管中心与太阳能蓄电池连接，可以起到防水，防晒的作用；支撑架的下端连接着放置太阳能电池以及控制设备的铁箱；支撑架接地端采用三角形可伸缩的铁支架固定在地面上。装备结构如图 1 所示。

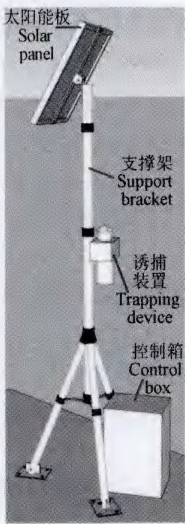


图 1 桔小实蝇诱捕监测装备结构示意图

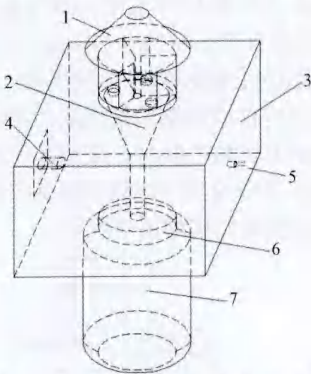
Fig.1 Structure diagram of monitoring control equipment for *bactrocera dorsalis* trapping

2 桔小实蝇诱捕监测核心装置

桔小实蝇诱捕检测核心装置，包括 1 个用于捕获视频的摄像头、1 个用于照明的发光二极管以及用于诱捕桔小实蝇的保护外壳。检测装置中部为长方体摄像头保护外壳，其顶部有 1 个钻孔用来安放玻璃漏斗，顶部左下角内侧装有发光二极管用来照明，右侧内壁装有摄像头并打有线槽引出摄像头电源，底部有一钻孔用来让漏斗穿过。检测装置上部为诱捕圆盖，用玻璃胶与中部连接密封防水，盖子底部开有 3 个钻孔让桔小实蝇能够爬入装置并通过漏斗最终到达装置下部的诱捕瓶。检测装置下部为诱捕瓶，用塑料螺纹与中部相连接组装，瓶底安放诱捕剂散发气味吸引桔小实蝇爬入，整个瓶身可以用

来储存诱捕到的桔小实蝇。本检测装置既能方便地检测爬入该装置的桔小实蝇的情况，对虫害发生情况进行现场、实时、大尺度快速监测从而准确反映果园虫害的实时和动态变化情况，又能对摄像头起到密封防水保护作用，同时具有低成本、防水可靠、组装简单、美观耐用的优点。

桔小实蝇诱捕检测装置原理框图如图 2 所示，该检测装置把摄像头、漏斗和发光二极管安装在中部的长方体盒子中，实现隔离防水，使得这些检测装置的核心元件得到密封和保护，同时摄像头在发光二极管的单一光源下拍摄，在捕获爬入漏斗的桔小实蝇视频数据时，将不受外界光照条件的制约，有利于在视频下对桔小实蝇进行检测。



1. 诱捕圆盖 2. 漏斗 3. PVC 外壳 4. 摄像头 5. 发光二极管 6. 螺纹塑料 7. 诱捕瓶
1. Dome cover 2. Funnel 3. PVC casing 4. Camera 5. LED 6. Threaded plastic 7. Trap bottle

图 2 桔小实蝇诱捕检测核心装置

Fig.2 Detection device for *bactrocera dorsalis* trapping

3 太阳能电池供电装置

装备的太阳能供电装置如图 1 所示，系统架构主要包括单晶硅太阳能电池板、阀控式密封高能铅酸蓄电池、太阳能充放电智能控制器、太阳能板支撑架等设备，如图 3 所示。

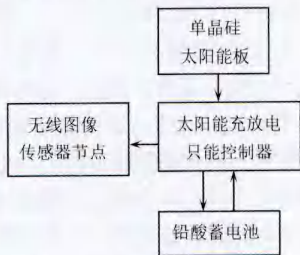


图 3 太阳能供电系统架构

Fig.3 Solar power system architecture

其中，太阳能电池板是太阳能供电系统的核心，主要作用是把太阳能的辐射能量转换成电能，一方面传输到铅酸蓄电池中存储起来，单晶硅太阳能板无线图像传感器节点太阳能充放电智能控制器铅酸蓄电池另一方面使负载设备能够工作。太阳能充放电智能控制器的作用是控制整个供电系统的工作状态，对铅酸蓄电池提供充放电管理、电池状态监测、防反流、防过充电和防过放电。蓄电池采用阀控式密封高能铅酸蓄电池，在太阳能供电不足的情况下维持负载设备的有效工作。

本装备中太阳能电池板功率选用功率为 10 W、输出

电压 17 V、输出电流 0.5 A、尺寸为 540 mm×350 mm 的单晶硅太阳能电池板。

4 桔小实蝇诱捕监测控制装置

整个桔小实蝇诱捕监测控制装置包括硬件和软件两部分，硬件包括处理器模块和 3G 通信模块。处理模块部分采用了 Fit-pc 微型计算机，其核心处理器是 Intel Atom Z530，主频达到 1.6 GHz，内存容量达到 1 GB，硬盘容量有 320 GB，处理性能达到一般家用台式计算机的水平，所以可以在采集前端进行视频图像运行处理，避免了大量的视频图像传输。Fit-pc 的最大特点是体积小质量轻，机箱尺寸仅有 101 mm×115 mm×27 mm，机器质量仅有 0.687 kg。Fit-pc 含有 4 个 USB 接口，可以用来连接摄像头和 3G 通信模块。3 G 通信可采用任意通信公司提供的网络通信模块。桔小实蝇监测计数软件是自主研发的核心软件，采用基于机器视觉技术和远程通讯技术开发的一个计数较精确、可远程控制

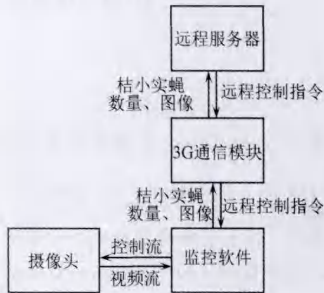


图 4 控制装置结构图
Fig.4 Control device diagram

本装备主要是利用昆虫性信息素或聚集素等特异性物质对桔小实蝇进行定向诱捕，桔小实蝇受诱捕瓶中诱捕剂的吸引，桔小实蝇依次经过顶盖的开口、通孔和漏斗后，进入诱捕瓶，从而起到诱捕的作用；当桔小实蝇穿过漏斗时，桔小实蝇处于摄像头监测的范围，这时监控设备发现桔小实蝇，并对其的运动轨迹进行跟踪计数统计，并通过 3G 网络传输当前计数所得的数据到服务器上。图 5 显示了整个诱捕监控系统软件控制流程，其跟踪计数方法主要包括桔小实蝇目标获取、目标跟踪和数量统计 3 个主要步骤。

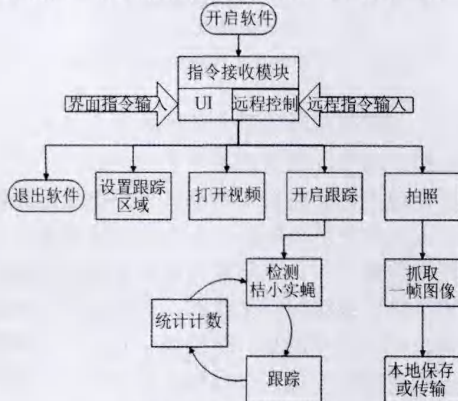


图 5 系统控制流程图
Fig.5 Flow chart of system control

4.1 桔小实蝇目标获取

桔小实蝇目标获取的过程主要包括以下 5 个步骤。

1) 将输入的 RGB 图像映射到 HSV 色彩空间中，根据桔小实蝇在 HSV 色彩空间中所表现出来的颜色特性，在色相通道 (H)、饱和度通道 (S) 和亮度通道 (V) 上对图像进行第 1 次过滤，该次过滤以像素点为单位，过滤的结果决定该点像素的数值取舍，映射公式为：

$$\begin{aligned} V &= R \\ S &= (V - B) \times 255 / V \\ H &= (G - B) \times 60 / S \end{aligned} \tag{1}$$

式中：H、S、V 分别表示 HSV 色彩空间的色相、饱和度和亮度；R、G、B 分别表示 RGB 色彩空间的红色、绿色、蓝色分量值。

2) 通过对基于 HSV 过滤后的图像进行中值滤波和形态学滤波处理，降低图像的白噪声干扰，消除目标区域的孔洞来提高图像质量。

3) 对滤波过滤后的图像依据相邻像素点进行分块处理，然后以块为单位对图像进行桔小实蝇的几何特征匹配，把符合匹配条件的区域设定为桔小实蝇的待定区域；具体操作为对图像进行 Canny 算子运算，得到区域的边缘信息，利用最小外接矩阵表示一个区域的边缘信息。模型匹配时代入公式 (2) 计算相似系数，其中 \square_1 和 \square_2 是给定的参考阈值， \square_1 取 20， \square_2 取 30。当公式 (2) 的 2 个式子同时成立时，最小外接矩阵 R1 被检测为桔小实蝇区域，否则该区域被视作背景，且不再对区域进行后续的处理。

$$\|w_1 - w\| + \|h_1 - h\| < \varepsilon_1 \text{ 且 } \|\alpha_1 - \alpha\| < \varepsilon_2 \tag{2}$$

式中：w、h、 α 分别表示桔小实蝇轮廓模型—最小外接矩形的宽度和高度以及矩形区域中的像素点个数。 w_1 、 h_1 、 α_1 分别表示 R1 的宽度、高度和区域的非零像素点个数。

4) 对桔小实蝇的待定区域利用基于权值的分水岭算法进行图像分割。

5) 对图像分割后的连通区域进行对象标记，得到只包含桔小实蝇目标的二值化图像。

4.2 目标跟踪算法

本软件采用基于代价模型的目标跟踪策略，主要包含以下 3 个步骤：

1) 利用当前帧目标位置、速度和包围目标窗口大小的运动状况，作为卡尔曼滤波的输入向量，对已有每个目标进行预测，估计目标运动位置，以缩小目标搜索匹配的范围，减少目标匹配的计算量。

2) 利用前后两帧目标的质心欧氏距离、存活时间和颜色差异建立代价模型，对目标进行匹配。

代价模型假设：由于图像序列中，两帧之间的时间间隔 Δt 比较小，本文认为在 Δt 较小的情况下，桔小实蝇的运动是具有连续性的，运动目标在相邻两帧图像的质心的位置和包围窗口变化不大。设在第 k 帧图像中，检测出有 m 个桔小实蝇目标的连通区域，每个连通区域

包含有下列的特征值： X_k^i 、 Y_k^i 、 L_k^i 、 W_k^i 、 S_k^i 、 h_k^i 、 s_k^i 、 v_k^i 、 t_k^i ，其中 X^i 和 Y^i 表示第 k 帧图像中第 i 个目标连通区域的质心横纵坐标； L_k^i 和 W_k^i 表示目标区域的包围窗口的长度和宽度； S_k^i 表示目标区域的面积大小； h_k^i 、 s_k^i 、 v_k^i 分别表示 HSV 色彩空间中 3 个通道的分量； t_k^i 表示丢失目标跟踪的持续时间。因此，代价模型 $V(i,j)$ 表示第 k 帧上第 i 个目标与第 $k-1$ 帧上第 j 个目标的接近程度，如公式(3)所示。当 $V(i,j)$ 数值越小时，表示 2 个目标对应关系的可能性越大。

$$V(i,j) = \alpha \cdot D(i,j) + \beta \cdot A(i,j) + \gamma \cdot C(i,j) \quad (3)$$

式中： $D(i,j)$ 如公式(3)所示，表示第 k 帧上第 i 个目标与第 $k-1$ 帧上第 j 个目标连通区域的质心距离大小。其中， m 的取值范围如公式(5)所示， $\text{count}(k-1)$ 表示在第 $k-1$ 帧上跟踪目标的数量。公式(4)表明，当 $D(i,j)$ 的数值越小，所表示的 2 个连通区域的质心距离越靠近。

$$D(i,j) = \frac{\sqrt{(X_k^i - X_{k-1}^j)^2 + (Y_k^i - Y_{k-1}^j)^2}}{\text{Max}_m \sqrt{(X_k^i - X_{k-1}^m)^2 + (Y_k^i - Y_{k-1}^m)^2}} \quad (4)$$

$$1 \leq m \leq \text{count}(k-1) \quad (5)$$

$A(i,j)$ 如公式(6)所示，表示第 k 帧上第 i 个目标与第 $k-1$ 帧上第 j 个目标的连通区域包围窗口面积的变化程度，其值越小，说明这 2 个目标面积越接近。

$$A(i,j) = \frac{|S_k^i - S_{k-1}^j|}{\text{Max}_m |S_k^i - S_{k-1}^m|} \quad (6)$$

$C(i,j)$ 如公式(7)所示，该公式表示第 k 帧上第 i 个目标与第 $k-1$ 帧上第 j 个目标的连通区域平均色彩的变化程度，其值越小，说明这两个目标的色彩变化越接近。

$$C(i,j) = \frac{|h_k^i - h_{k-1}^j|}{\text{Max}_m |h_k^i - h_{k-1}^m|} + \frac{|s_k^i - s_{k-1}^j|}{\text{Max}_m |s_k^i - s_{k-1}^m|} + \frac{|v_k^i - v_{k-1}^j|}{\text{Max}_m |v_k^i - v_{k-1}^m|} \quad (7)$$

3) 更新每个被跟踪目标代价模型，处理目标丢失的对象，保证跟踪算法的稳定性和精度。

4.3 桔小实蝇计量算法

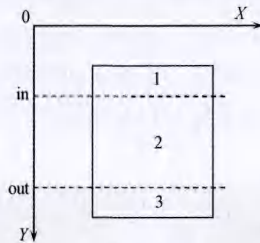
为了方便进行桔小实蝇的统计，并非对视频中整个图像区域进行目标跟踪，在对多目标进行跟踪前需要对跟踪区域进行分割。跟踪区域为摄像头可见范围内与漏斗等高宽度的矩形区域，区域中有进入线和离开线将区域分成 3 个区域（如图 6 所示）。本文采用的计量算法策略如下：

1) 上部区域是桔小实蝇的进入区域，只有在此区域内发现新的目标时，才将此目标设定为有效的跟踪目标，当有效跟踪目标在离开区域消失时，才在统计计数上加一；

2) 底下区域是桔小实蝇的离开区域，在该区域消失的有效目标将在统计计数上加一。当在此区域内发现新的目标时，将新目标设定为无效目标，无效目标将不影

响统计计数。

3) 中部区域是跟踪区，当桔小实蝇在该区域运动时，说明它已经被系统进行目标跟踪。



注：1 区域是桔小实蝇的进入区域；2 区域是跟踪区；3 区域是桔小实蝇的离开区域。

Note: 1 area is enter of *bactrocera dorsalis*, 2 area is tracking area; 3 area is leaving area.

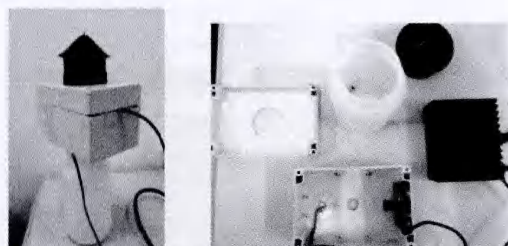
图 6 目标跟踪区域坐标系

Fig.6 Coordinates of multiple target tracking area

5 桔小实蝇诱捕监测试验与测试

5.1 试验硬件设备

本装备的硬件设备如图 7 所示，由传输模块、处理模块、以及视频采集模块组成。其中，传输模块采用了 3G 上网卡，上传数据速度一般可达 130~150 kB/S；处理模块部分采用了 fit-pc2 微型计算机，它的处理器是 Intel Atom Z530，主频达到 1.6 GHz，内存容量达到 1 GB，硬盘容量有 160 GB，处理性能达到一般家用台式计算机的水平。Fit-pc 的最大特点是体积小质量轻，机箱尺寸仅有 101 mm×115 mm×27 mm，机器质量仅有 0.687 kg；视频采集模块采用自主研发的 CMOS 感光元件的摄像头^[12]，可以获取最大达 500 万像素的静态图像。视频采集器帧率达到 30 f/s，视频输出大小为 640 像素×480 像素；拍摄视角到达 100°，并且通过调整摄像头焦距，拍摄范围能够从 2 cm 到无穷远。



a. Trapping device b. Device hardware

图 7 系统硬件配置图

Fig.7 System hardware configuration diagram

组装桔小实蝇诱捕检测装置，调整摄像头的角度，使得玻璃试管能够出现在视频图像中。然后，运行系统，设定系统的图像采集频率为 24 f/s，视频规格大小为 640 像素×480 像素，并且将检测区域锁定在玻璃试管上。最后，加入桔小实蝇引诱剂，把整个桔小实蝇诱捕装置放在一个充满桔小实蝇的封闭笼子中。在检测系统中，将会出现如图 8 所示的画面。

5.2 系统软件运行测试

在开启软件后，系统首先处于等待指令输入的状态，

此时系统允许软件界面指令输入和远程指令输入 2 种方式。当接收到指令时,判断指令的类别并调用对应的处理函数,然后系统继续等待下一条指令。在开启跟踪后,系统将对每一帧图像进行桔小实蝇的检测,并且对检测的对象进行跟踪和计数,直到关闭跟踪或者退出软件为止。当调用拍照功能后,系统将截取视频数据当前帧的图像,并且保存至采集节点本地硬盘,或者传输至远端服务器。

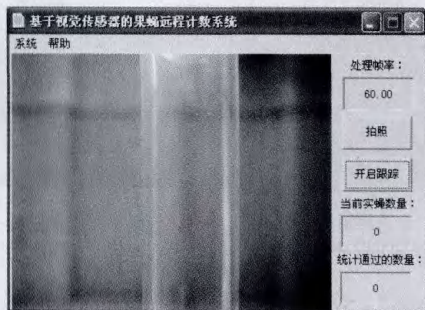


图 8 原始视频图像
Fig.8 Original video image

在服务器运行服务端程序以便能够汇总统计各客户端实时检测到的果蝇数量。服务端运行的效果图如图 9a 所示。



a. 服务端运行效果图
a. Server interface



b. 客户端运行效果图
b. Client interface

图 9 系统运行界面

Fig.9 System operation interface

在客户端双击运行客户端程序,客户端程序启动后会自动与服务器以心跳连接的方式保持连接,此时客户端运行在在线模式下,服务端在统计到果蝇的计数后会向服务器发送果蝇数量数据。客户端运行效果图如图 9b 所示。如果客户端的运行环境无法与服务端连接,则客

户端可以运行在离线模式下,计数数据暂存在本地。

在实验室环境下,当桔小实蝇跟踪计数系统经过一段时间运行后,每隔 5 s 对桔小实蝇实施 1 次采样计数,利用人工计数统计出进入诱捕装置的桔小实蝇数量,如图 10 中所示,在 830 s 内,有 138 头桔小实蝇进入诱捕装置。在图 10 中表示利用桔小实蝇跟踪计数系统检测出的桔小实蝇数量,在 830 s 后检测出的结果是 131 头,检测成功率为 94.9%,在每个采样点的平均计数误差为 6.7%。

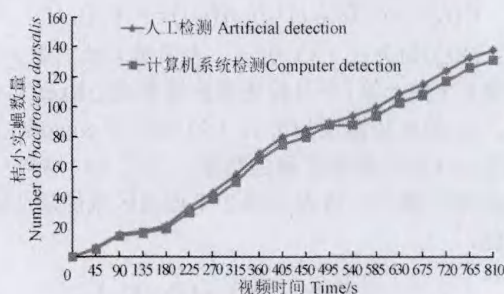


图 10 人工与计算机检测的桔小实蝇计数结果对比
Fig.10 *Bactrocera dorsalis* counting result contrast between artificial detection and computer detection

本文采用该装备从 2013 年 11 月至 2014 年 12 月在广州市杨桃公园进行了多次试验测试,试验测试结果表明所设计的太阳能供电系统能够维持图像传感器节点 2 个月连续工作。在晴天经过 8 h 左右,即可将蓄电池电压从 10.8 V 充到 14 V,在阴雨天蓄电池电压的最低值为 10.8 V。在一年多间断性测试中,系统软硬件可以稳定地协同工作,仅在光照严重不足太阳能供电不力的情况下出现数次系统停止运行。

6 结论与讨论

本文设计实现了一个集病虫害信息采集、处理、传输与自供电为一体的桔小实蝇诱捕监测装备及其控制系统,系统包括远端桔小实蝇视频图像采集、传输部分和主控端桔小实蝇监控计数软件部分,虫害数据传输采用 3G 无线通信技术不受地域限制,可以支持农业物联网应用。在实验室环境下采用该装备测试,在 830 s 内有 138 头桔小实蝇进入该装备,系统检测出的结果是 131 头,检测成功率为 94.9%。采用该装备在杨桃公园从 2013 年 11 月到 2014 年 12 月进行了 1 a 多测试,系统软硬件可以稳定地协同工作,仅在光照严重不足太阳能供电不力的情况下出现过系统停止运行。本装置可为大田害虫的防治提供及时准确的虫情信息,有利于降低防治成本,提高防治效果。

目前系统软件只能运行在 Windows 平台下的 Fit-PC 中运行,如何将该系统移植到嵌入式平台,将能够很大程度上减少硬件成本的开销,将是下一步工作重点研究的内容。至于前述的系统因自供电不足而导致的远程中断问题,在实际应用中可以通过加大太阳能电池容量及增大太阳能板面积的办法进行改进。

[参 考 文 献]

- [1] 蔡波, 林明光, 张艳, 等. 不同诱捕器和诱芯对橘小实蝇诱捕效果的比较[J]. 植物检疫, 2013(27): 28—31.
Cai Bo, Lin Mingguang, Zhang Yan, et al. Comparison of different traps and lure cores for capturing *Bactrocera dorsalis* (Hndle)[J]. Plant Quarantine, 2013(27): 28—31. (in Chinese with English abstract)
- [2] 于鑫, 曾玲, 梁广文, 等. 广东省杨桃园桔小实蝇发生高峰期预测[J]. 华南农业大学学报, 2010(2): 28—31.
Yu Xin, Zeng Ling, Liang Guangwen, et al. Forecasting of the peaks of *Bactrocera dorsalis* adults in starfruit orchards in Guangdong province[J]. Journal of South China Agricultural University, 2010(2): 28—31. (in Chinese with English abstract)
- [3] 张永庆, 梁广文, 许益鏖, 等. 广东南岭国家级自然保护区实蝇多样性研究[J]. 环境昆虫学报, 2014, 36(1): 39—43.
Zhang Yongqing, Liang Guangwen, Xu Yijun, et al. Diversity of tephritidae in Nanling Nation Natrue Reserve, Guangdong province[J]. Journal of Environmental Entomology, 2014, 36(1): 39—43. (in Chinese with English abstract)
- [4] 李周文婷, 曾玲, 梁广文, 等. 不同温度和光照强度甲基丁香酚对桔小实蝇雄虫的诱捕率[J]. 环境昆虫学报, 2010, 32(3): 363—368.
Li Zhouwenting, Zeng Ling, Liang Guangwen, et al. Ratio of males of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) captured by ME trap at different temperatures and light intensities[J]. Journal of Environmental Entomology, 2010, 32(3): 363—368. (in Chinese with English abstract)
- [5] 林进添, 梁广文, 陆永跃, 等. 温度和寄主植物对桔小实蝇成虫主要生物学参数的影响[J]. 环境昆虫学报, 2014, 36(1): 2—11.
Lin Jintian, Liang Guangwen, Lu Yongyue, et al. Effect of hosts and temperature on biological parameters of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) adult[J]. Journal of Environmental Entomology, 2014, 36(1): 2—11. (in Chinese with English abstract)
- [6] 张建伟, 王永模, 沈佐锐. 麦田蚜虫自动计数研究[J]. 农业工程学报, 2006(9): 159—162.
Zhang Jianwei, Wang Yongmo, Shen Zuorui. Novel method for estimating cereal aphid population based on computer vision technology[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2006(9): 159—162. (in Chinese with English abstract)
- [7] 毛文华, 郑永军, 张银桥, 等. 基于机器视觉的草地蝗虫识别方法[J]. 农业工程学报, 2008, 24(11): 155—158.
Mao Wenhua, Zheng Yongjun, Zhang Yinqiao, et al. Grasshopper detection method based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(11): 155—158. (in Chinese with English abstract)
- [8] Jiang J, Tseng C L, Lu F M, et al. A GSM-based remote wireless automatic monitoring system for field information: A case study for ecological monitoring of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel)[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 62(2): 243—259.
- [9] Jang E B. Effectiveness of plastic matrix lures and traps against *Bactrocera dorsalis* and *Bactrocera cucurbitae* in Hawaii[J]. Journal of Applied Entomology, 2011, 135(6): 456—466.
- [10] Kays R, Kranstauber B, Jansen P, et al. Camera traps as sensor networks for monitoring animal communities[C]// 2009 IEEE 34th Conference on Local Computer Networks, 2009.
- [11] Semertzidis T, Dimitropoulos K, Koutsia A, et al. Video sensor network for real-time traffic monitoring and surveillance[J]. IET Intelligent Transport Systems, 2010, 4(2): 103—112.
- [12] 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.
Wen Tao, Hong Tiansheng, Li Zhen, et al. Statistics and tracking of *Bactrocera Dorsalis* based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(10): 137—141. (in Chinese with English abstract)
- [13] Zhuo L, Chu Z, Zhao Y, et al. Cooperative multi-object tracking method for wireless video sensor networks[C]// 3rd IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing, MMSP, 2011.
- [14] 肖德琴, 黄顺彬, 殷建军, 等. 基于嵌入式应用的高分辨率农业图像采集节点设计[J]. 农业机械学报, 2014, 45(2): 276—281.
Xiao Deqin, Huang Shunbin, Yin Jianjun, et al. Based embedded high-resolution agriculture image capture node design [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(2): 276—281. (in Chinese with English abstract)

Design and test of remote monitoring equipment for *bactrocera dorsalis* trapping based on internet of things

Xiao Deqin^{1,2}, Fu Junqian², Deng Xiaohui², Feng Jianzhao², Yin Jianjun², Ke Xinrong³

(1. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment, Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China;

2. College of Informatics, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

3. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: For *bactrocera dorsalis* field monitoring, the current method had some disadvantages: a heavy workload, low efficiency, poor reliability, low accuracy, and it could not large-scale and fast monitor the orchard pest situation in real time. Agriculture experts eager to have a solution to automatically count the number of *bactrocera dorsalis* and remotely observe the trapping result in real time to reduce their labor so that they could focus more on the study of the characteristics of insects. Therefore, combining the image target detection technology and the target tracking technology to develop an automated counting system by using a video image sensor would be necessary. In order to realize the real-time monitoring, the *bactrocera dorsalis* trapping, and a rapid diagnosis, an IOT-Based remote monitoring equipment for *bactrocera dorsalis* trapping was provided in this paper. The equipment included a trap monitoring device, a solar power supply device, and the monitoring control device. The trap monitoring device was comprised of a top cover, a transparent funnel, a trap bottle, a LED, and a camera; the solar energy device was comprised of a solar panel, a storage battery, and a solar panel bracket; the *bactrocera dorsalis* monitoring control system device was comprised of a Fit-pc controller, a 3G communication module, and the independent software for counting *bactrocera dorsalis*' numbers. This equipment combined machine vision technology and telecommunication technology with solar power technology. The purpose of the equipment was to achieve a whole function for *bactrocera dorsalis* trap monitoring with plant diseases and insect pests information collection, together with processing, transmission, and self-supply. It could monitor the trapping process and precise calculation of the number of *bactrocera dorsalis* anytime and anywhere, and also automatically transmit the results to the remote server or store it in a local storage card. For object extraction, this paper used an HSV color space for image filtering, then used median filtering and morphological filtering for the image to reduce white noise, eliminating holes in the target area to improve the image quality, and then divided the image into blocks based on the adjacent pixels of the image and used these blocks for Geometric feature matching, so that the *bactrocera dorsalis* area could be extracted. Finally, this paper used the watershed algorithm based on weight for an image segment to get the tracking object and tag the object. For *bactrocera dorsalis* tracking, this paper used a Kalman filter to predict the target movement position, narrowing the range of target searching and target matching, reducing the amount of calculation of the target matching; and established a cost model by using centroid Euclidean distance, survival time, and the color difference of the target between two consecutive frames; updated the cost model of each tracked target, and handled the missing target to ensure the stability and accuracy of the tracking algorithm. For *bactrocera dorsalis* metering, this paper studied a counting strategy for moving targets. This equipment was tested in the laboratory environment. There were 138 *bactrocera dorsalis* entered in the equipment in 830 s, the detected result of the system was 131, and the detection success rate was 94.9%. Also this equipment was tested in the Yangtao Park for more than a year (from November 2013 to December 2014), and the system hardware and software could work cooperatively and stably. The system stoppeded running only when there was a shortage of solar power, rendering it ineffective under grim weather for lack of the light. The IOT-Based remote monitoring equipment for *bactrocera dorsalis* trapping could automatically track and count the number of *bactrocera dorsalis*. It could also provide simple and effective monitoring information to the regional monitoring personnel, improve work efficiency, greatly improve the performance of the monitoring system, and had a wide range of applications in agriculture. This equipment had important practical applications.

Key words: real time control; design; computer vision; internet of things; *bactrocera dorsalis*; trapping; visual perception; count