

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2208897

反针孔摄像装置实验系统的设计*

霍佳雨 林立海 钟灿英 韩佳乐 李昕阳
(吉林大学通信工程学院 长春 130012)

摘要: 针对现有反针孔摄像装置的设备功能单一、识别精度较低、实时性较低等不足,设计了一套反针孔摄像装置实验系统。该系统采用四象限红外探测器,扩大了探测区域,基于自主划分的区域显示探测结果,通过 STM32 单片机将数据传输到配套 APP,方便用户实地实时查看结果。同时利用 ESP8266 WiFi 模块攻击摄像头连接的网络,阻断数据传输,保证用户隐私安全。通过该实验,学生加深了对检测技术等相关理论的理解,熟悉利用单片机进行开发的流程,提高了解决实际问题的学习和实践能力。

关键词: 反针孔摄像;ESP8266 WiFi 模块;四象限红外探测器;实验系统

中图分类号: TB476 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

Design of experimental system for anti-pinhole camera device

Huo Jiayu Lin Lihai Zhong Canying Han Jiale Li Xinyang
(College of Communication Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: Aiming at the shortcomings of the existing anti-pinhole camera with single function, low recognition accuracy, and low real-time performance, an experimental system of anti-pinhole camera device was designed. The system uses a four-quadrant infrared detector to expand the detection area. Based on the autonomous division of the area, the detection results are transmitted to the supporting APP through STM32 microcontroller, which is convenient for users to view the results in real time. Meanwhile, the WiFi module of ESP8266 is used to attack the network connected to the camera to block data transmission and ensure privacy security of users. Through this experiment, students have a deep understanding of detection technology and other related theories, and are familiar with the development process using single chip microcomputer, so as to improve their learning and practical ability of solving practical problems.

Keywords: anti-pinhole camera;ESP8266 WiFi module;four-quadrant infrared detector;experimental system

0 引言

隐私问题一直以来都困扰着人们,针孔摄像机的问世给人们的生活带来很多便利,同时也对人们的隐私造成很大的威胁。为了保证自己的隐私安全,很多人都会有意识地检测酒店房间内是否存在针孔摄像头。现有的物理探测装置普遍存在价格昂贵,探测角度小,准确度不高,受环境光影响大等问题;百度手机卫士等 APP 又只能根据信号方向检测摄像头存在而不能找出具体位置。

针对上述缺点,设计了一套反针孔摄像装置实验系统。系统采用红外信号进行探测,扩大了探测范围、提高了探测准确率。利用光电效应的原理,通过四象限红外探测器探测针孔摄像头的位置,并用 ESP8266 WiFi 模块攻击 WiFi

网络,阻断信号传输,将探测结果记录在配套 APP 中,通过风险评估系统提醒用户。系统可以完成从预知风险,到实地实时探测,再到数据归纳的完整流程。学生在设计和制作该系统的过程中,能够将理论知识学以致用,有利于培养学生的创新思维能力和独立研究能力。

1 总体设计

现有的反针孔摄像装置作用单一,仅能探测摄像头的存在和确定大概范围,本实验系统将探测区域块化,使探测结果更加精细准确,并设计了与之配套的 APP,不仅能够实时实地显示探测结果,并能将结果加入风险评估系统,根据大数据评估该地点的风险等级,起到风险预警的作用。

软件系统总体设计如图 1 所示,软件分为四层进行设

收稿日期:2022-01-20

* 基金项目:吉林大学 2021 年实验技术项目(SYXM2021b010)资助

计,在信息采集层,为了更加准确的探测针孔摄像头,装置同时采用了 WiFi 信号探测和红外信号探测。由 ESP8266 WiFi 模块探测周围的 WiFi 信号,由四象限红外探测器探测环境中的红外信号。然后通过通信模块将采集到的数据传给用户服务层^[1]。在用户服务层,设计了用户登录界面,方便更多用户使用,并接收从数据采集层采集到的数据。在云数据层,设置了数据库来存储用户的个人信息,通过账号登陆查询过往的记录,并分析各地风险系数。在用户反馈层,将众多用户的使用记录和结果分析处理,对可能存在风险的地点进行评估,并警示客户^[2]。

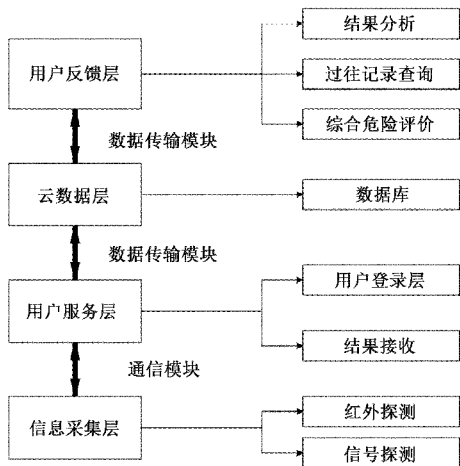


图 1 软件总体设计

硬件系统总体设计如图 2 所示,主要硬件有:ESP8266 WiFi 模块,0.96 寸 OLED 液晶屏,STM32 单片机,四象限红外探测器。

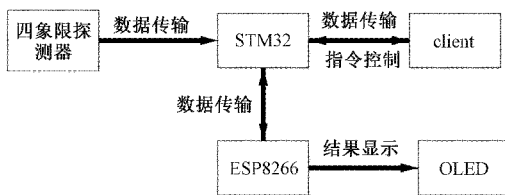


图 2 物理结构框图

四象限红外探测器和 ESP8266 WiFi 模块分别探测红外线和 WiFi 信号,将探测数据返回 STM32,经过处理后将结果返回到客户端 APP。ESP8266 WiFi 模块将周围 WiFi 网络显示在 OLED 屏幕上,为避免错误攻击,用户需要自己选择摄像头连接网络进行攻击^[3]。关键技术在于四象限探测器和 STM32 单片机间的串口通信,这是处理采集数据的前提和基础。技术难点在于保障探测器和单片机传输准确的同时,手机 APP 和单片机间能够通过蓝牙实现快速而准确的通信,缩小时延。

2 硬件部分

2.1 红外探测部分

为检测红外信号,本装置采用四象限红外探测器。四

象限红外探测器是把 4 个性能完全相同的光电二极管按照直角坐标要求排列而成的光电探测器件。

探测器有 4 个相互独立的像元 $D00, D01, D10, D11$ 。由于光斑与 4 个像元的距离以及占用每个像元的面积不同,4 个像元因为光电效应产生不同的电压,根据这些电压差别可换算出光斑在探测器上的相对位置^[4]。4 个像元 $V(D00), V(D01), V(D10), V(D11)$ 的电压值是 12 位采样深度 AD 采样后的相对数值,最大值均为 4 095,最小值均为 0,其当电压达到 4 095 时,说明该像元的输出电压已经达到饱和值^[5]。

在黑暗环境下,4 个像元的电压值均为 0,如图 3 所示。

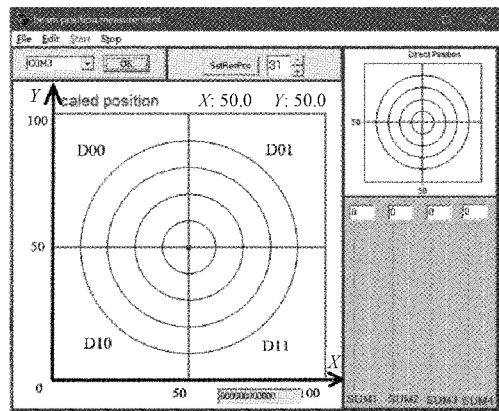


图 3 黑暗环境下电压值

当一束光照射到四象限探测器后,光斑在探测器平面上的分布如图 4 所示。4 个像元的电压值 $V(D00), V(D01), V(D10), V(D11)$ 分别为 38,27,33,26。

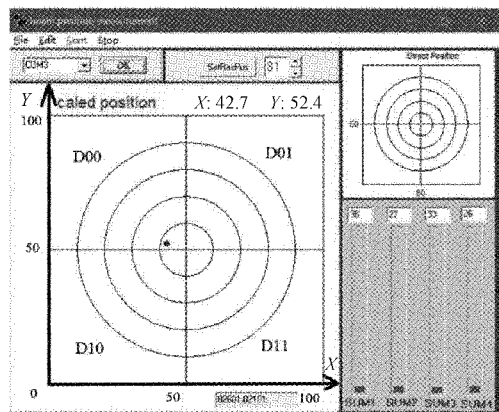


图 4 光斑分布图

外部设备按照 RS232 协议发送字符串后,会立即有介于字符‘0’和字符‘0’+15 之间的 12 个字符返回,依次用 $char1, char2, char3, char4, char5, char6, char7, char8, char9, char10, char11, char12$ 表示。使用命令“? data%”对探测器返回的 12 个字符进行处理,读取四象限探测器 4 个像元的电压。

$char1, char2, char3$ 表征像元 $D00$ 的电压 $V(D00)$,

换算关系为:

$$V(D00) = 256(char1 - '0') + 16(char2 - '0') + (char - '0') \quad (1)$$

char4, char5, char6 表征像元 D01 的电压 V(D01), 换算关系为:

$$V(D01) = 256(char4 - '0') + 16(char5 - '0') + (char6 - '0') \quad (2)$$

char7, char8, char9 表征像元 D10 的电压 V(D10), 换算关系为:

$$V(D10) = 256(char7 - '0') + 16(char8 - '0') + (char9 - '0') \quad (3)$$

char10, char11, char12 表征像元 D11 的电压 V(D11), 换算关系为:

$$V(D11) = (char10 - '0') \times 256 + (char11 - '0') \times 16 + (char12 - '0') \quad (4)$$

2.2 模拟探测部分

为测量在一定距离内,探测器的探测角度,探测范围和探测准确度。在测量探测范围之前,应先将四象限红外探测器的电压结果转换为光斑的位置坐标。由式(1)~(4)可以计算得,4个像元的总电压为:

$$SUM(total) = V(D00) + V(D01) + V(D10) + V(D11)$$

探测器左侧的总电压为:

$$SUM(left) = V(D00) + V(D10)$$

探测器右侧的总电压为:

$$SUM(right) = V(D01) + V(D11)$$

探测器上侧的总电压为:

$$SUM(up) = V(D00) + V(D01)$$

探测器下侧的总电压为:

$$SUM(down) = V(D10) + V(D11)$$

用 P_x 和 P_y 表示探测光点在探测器上 X 和 Y 正方向的相对位置。 P_x 和 P_y 的数值是在 0~100 之间变化, $P_x = 0$ 表示光斑在最左侧, $P_x = 100$ 表示光斑在最右侧, $P_x = 50$ 表示光斑在探测器的左右中间位置; $P_y = 0$ 表示光斑在最下侧, $P_y = 100$ 表示光斑在最上侧, $P_y = 50$ 表示光斑在探测器的上下中间位置。计算方法如下:

$$P_x = 50[(SUM(right) - SUM(left))/SUM(total) + 1]$$

即:

$$P_x = 100SUM(right)/SUM(total) \quad (5)$$

$$P_y = 50[(SUM(up) - SUM(down))/SUM(total) + 1]$$

即:

$$P_y = 100SUM(up)/SUM(total) \quad (6)$$

囿于装置蓝牙传输模块的限制,每次只能传输 1 个字节,同时为了使探测区域易于区分,将探测范围平均划分为 n 行 n 列的 $n \times n$ 个矩形区域。设探测区域为长 L , 宽 H 的矩形。将探测区域左下角顶点设为坐标原点,使得其与探测器的坐标保持一致。则第 i 行 j 列的矩形区域实际的中心

坐标为 $(L \times j / (n - L) / (2n), H \times i / (n - H) / (2n))$, 在探测器中的相对位置坐标为 $(P_x \times L / 100, P_y \times H / 100)$ 。因为 P_x, P_y 在 $[0, 100]$ 之间,为使返回值 i, j 为整数,应使:

$$P'_x = 50/n + (100/n) \times [n \times P_x / 100]$$

$$P'_y = 50/n + (100/n) \times [n \times P_y / 100]$$

(“ $[x]$ ”表示取不大于 x 的最大整数)。

联立实际坐标和相对坐标,可以得到:

$$i = nP'_y / 100 + 0.5$$

$$j = nP'_x / 100 + 0.5$$

解得:

$$\begin{cases} i = [n \times P_x / 100] + 1 \\ j = [n \times P_y / 100] + 1 \end{cases} \quad (7)$$

又由式(5)和(6)可得:

$$P_x = \frac{100(V(D01) + V(D11))}{V(D00) + V(D01) + V(D10) + V(D11)} \quad (8)$$

$$P_y = \frac{100(V(D00) + V(D01))}{V(D00) + V(D01) + V(D10) + V(D11)} \quad (9)$$

将 $V(D00), V(D01), V(D10), V(D11)$ 依次简记为 $V(1), V(2), V(3), V(4)$, 由式(1)~(4)得:

$$V(i) = [256161] \begin{bmatrix} char(3i - 2) \\ char(3i - 1) \\ char(3i) \end{bmatrix} - 273'0'$$

推出向量组 $[V(1) \ V(2) \ V(3) \ V(4)]^T$ 与向量组 $[char(1) \ char(2) \ \dots \ char(11) \ char(12)]^T$ 线性相关但不等价。

实际探测区域与相对位置区域是一一对应的。实际探测区域的边界范围即是探测器返回相对位置的边界。不存在实际区域在探测器中没有相对区域的情况,也不存在探测器中的相对区域在实际中不存在的情况。

为了使探测区域划分更方便,本文选取探测角度为 120° , n 值为 5, 如图 5 所示,即将探测区域均匀划分为 5 行 5 列的 25 个区域。同时为了模拟酒店黑暗环境,本装置用一个长宽高分别为 17.5, 9, 11 cm 的封闭纸盒代替黑暗密闭的房间,并且在四象限红外探测器表面添加 800 nm 红外滤光片滤除自然光^[6]。在纸盒正面(长 17.5 cm, 高 11 cm)均匀设置 25 个小孔,代表针孔摄像头可能存在的 25 个区域。其中小孔位于 25 个区域的正中心。

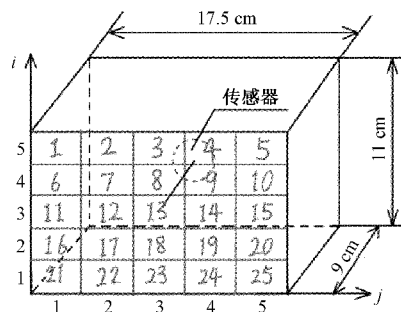


图5 模拟装置

探测结果如表 1 所示,在 6,17 号位存在偏差,探测准确率为 92%。

在 6 号位,探测结果显示为 1 号位,偏差距离为一个垂直单位 2.2 cm,在 17 号位,探测结果显示为 11 号位,偏差距离为一个对角单位 4.134 cm。单次探测最大误差面积占总探测面积的比例为 27.89%^[7]。

2.3 WiFi 探测模块

除了通过探测红外线来检测针孔摄像头,本系统还从无线信号的角度进行探测,提高了探测的准确率。由于现在市面上的针孔摄像头大多采用 WiFi 传输数据,所以本装置利用 ESP8266 WiFi 探测模块,扫描周围环境存在的 WiFi 信号,并发起攻击,阻断 WiFi 信号的传输^[8-10]。其核心电路图如图 6 所示。

表 1 探测结果

位置	红外探测方位数据				
理想位置	1	2	3	4	5
实际位置	1	2	3	4	5
理想位置	6	7	8	9	10
实际位置	1	7	8	9	10
理想位置	11	12	13	14	15
实际位置	11	12	13	14	15
理想位置	16	17	18	19	20
实际位置	16	11	18	19	20
理想位置	21	22	23	24	25
实际位置	21	22	23	24	25

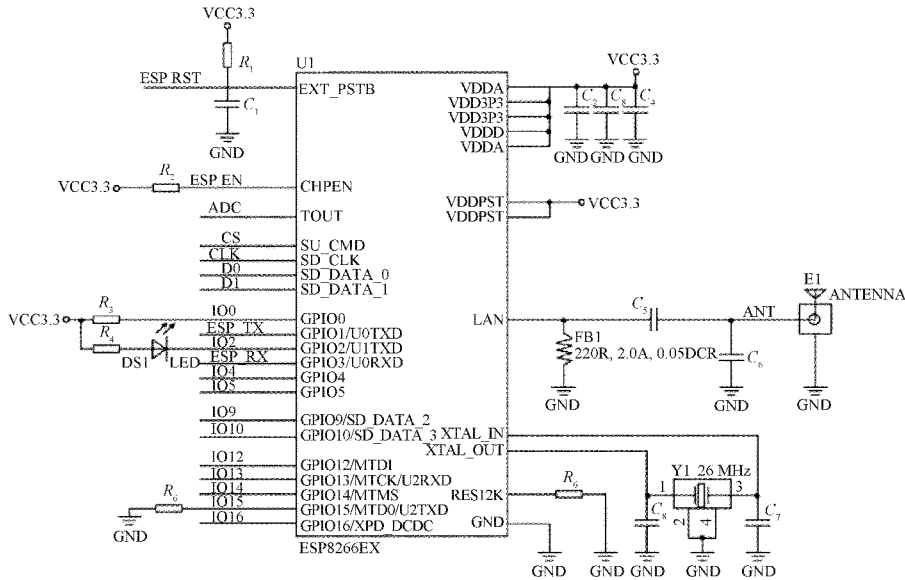


图 6 核心电路图

模块主要用到了引脚 GPIO5(SCL),GPIO4(SDA),GPIO14(SCLK),GPIO12(MISO),GPIO13(MOSI)。该模块与 OLED 接线图如图 7 所示。ESP 8266 时钟信号线 SCL 连接 OLED 的数据信号 SDA;ESP 8266 数据信号线 SDL 连接 OLED 的时钟信号线 SCA。OLED 的 GND 引脚接 ESP8266 的 GEN;OLED 的 VCC 引脚接 ESP8266 的 VCC(3.3 V)。

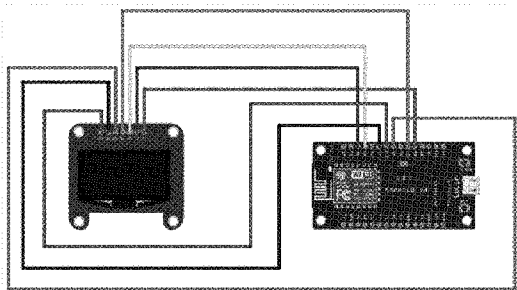


图 7 接线图

ESP8266WiFi 干扰模块如图 8 所示。可以从附近的路由器接收无线数据,利用其服务集标识符(SSID)内容数据,以确定可疑路由器是否正在发送无线信号。通过发送取消认证报文让客户端以为路由器需要让自己断开连接

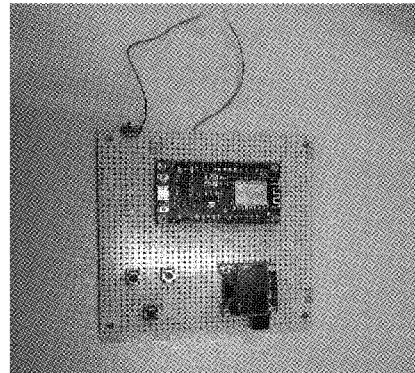


图 8 WiFi 干扰装置

从而断开 WiFi, 伪造路由器向客户端发送取消认证报文, 使客户端主动断开 WiFi 连接, 达到攻击 WiFi 网络的目的^[11-12]。

2.4 工作流程

反针孔摄像装置实验系统的流程图如图 9 所示。

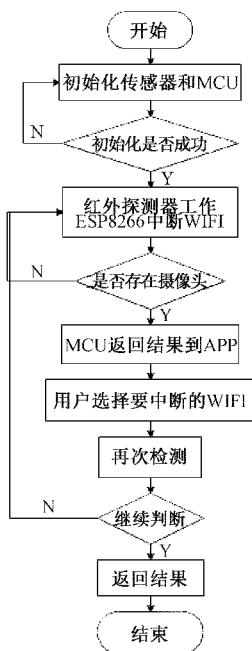


图 9 流程图

启动探测装置, 先初始化传感器和 MCU, 初始化成功后, 四象限红外探测器和 ESP8266 开始工作, 分别探测红外信号和扫描周围网络, 并将探测结果返回至客户 APP, 客户可以选择控制 ESP8266 阻断 WiFi 信号, 之后再次检测确认阻断有效, 风险解除^[14]。整体硬件图如图 10 所示。

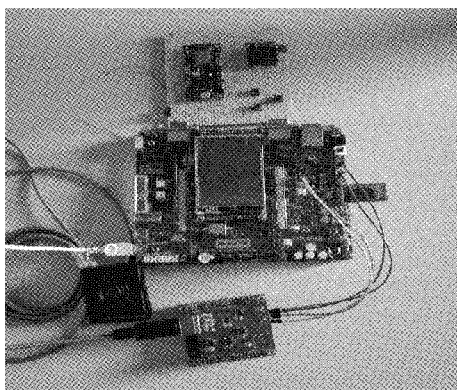


图 10 整体硬件图

3 软件部分

手机 APP 通过通信模块实时接收来自探测装置的探测结果并加以处理和显示。在 APP 端用户可以选择将数据上传至云端, 也可以控制探测仪开始进行检测^[14-15]。其

核心功能是可以查看酒店的信用记录, 与系统评判出的危险程度。危险程度主要由所在地针孔设备出现次数、周边地区危险状况、用户评价决定。

如图 11 所示, 软件设计界面主要包括蓝牙控件、客户端收发信息与酒店信息查询等选项。主界面主要由 8 个按钮控件组成, 服务器、客户端、推荐酒店、酒店信息四个按钮控件分别与一个意图(Intent)绑定来实现页面跳转, 点击服务器后跳转画面。

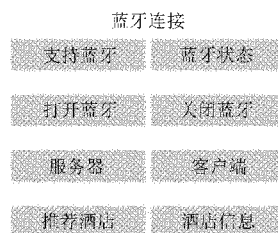


图 11 主界面

在开启蓝牙和定位服务后, 服务器启动, 可以搜索周围的蓝牙设备, 如图 12 所示。

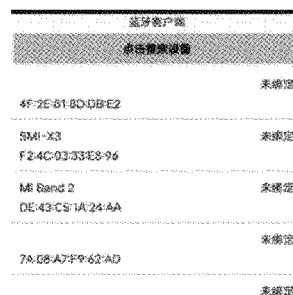


图 12 服务器界面

软件主界面提供周围低风险酒店推荐, 经点击按钮后跳转界面, 页面由 ImageView 控件显示酒店外观图片, 如图 13 所示。

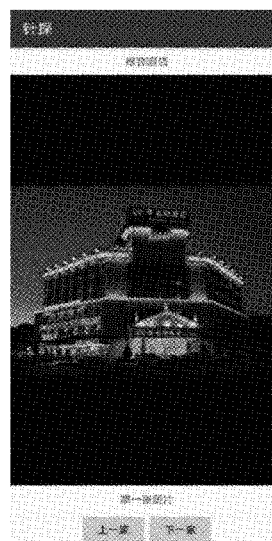


图 13 风险评测界面

为测试手机 APP、STM32 单片机和四象限探测器间信号的实际传输效果,以单片机返回值 L_Pos 和 APP 显示位置为量化指标,观察计算两者偏差。例如试运行观察到 STM32 单片机显示屏 L_Pos 为 08,APP 界面提示返回方位也为 8 号位置,两者保持一致,说明 STM32 单片机和手机 app 连接是有效的,且探测结果准确。

软件的主要功能是形成自己的数据库,以硬件设备探测信息为基础,经过分析整合之后反馈每一个酒店的评价,方便用户查阅。当酒店的数据信息库形成之后,可以对整个行业形成一定约束,方便用户的出行。

4 结 论

现有的反针孔探测装置大多是利用红外线来进行探测,只能起到部分探测作用,而隐藏在吊灯和插座内部等隐蔽角落的摄像头,由于有障碍物阻拦,很难被发现。本实验系统采用四象限红外探测器,利用光电效应,可以很好的解决上述问题。而且系统用 ESP8266WiFi 模块搭建干扰电路干扰信号源,可以切断数据传输。对于天花板和电器内部等难以排除的摄像头,该系统从信号源出发,可以实现对无线传输数据的设备的干扰。系统设计了配套的 APP,可以将探测收集到的结果纳入数据库中,并设计了风险评估系统,通过系统的分析可以发出预警消息。

该系统应用在我校开放实验中,学生在任课教师的指导下,完成系统结构设计和制作等工作。通过该实验系统的设计和使用,加深学生对于理论知识理解的同时锻炼了学生的动手能力的,理论与实际相结合,提高了学生的自主创新能力。

参考文献

- [1] 苏圆圆,何怡刚,邓芳明,等. 绝缘子温湿度在线监测技术研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(7): 1098-1106.
- [2] 郑悦,景晓蓓,李光林. 人机智能协同在医疗康复机器人领域的应用[J]. 仪器仪表学报, 2017, 38(10): 2373-2380.
- [3] 刘小军,温宏愿,周军,等. 基于双控制器的家庭服务

机器人实验系统设计[J]. 实验室研究与探索, 2021, 40(3): 75-80.

- [4] 张广,黄玮,王新华. 多探测器拼接成像系统四维标定平台[J]. 电子测量与仪器学报, 1995(3): 12-17.
- [5] 陈杜,徐秀芳,刘银年. 四象限红外探测器信号处理系统[J]. 科学技术与工程, 2006, 5(6): 611-615.
- [6] 徐小焘,陈海清,齐哲明. 四象限红外探测器光电参数测试技术研究[J]. 光学仪器, 2007, 29(1): 7-11.
- [7] 邢冀川,田超. 基于 LabVIEW 的四象限探测器光电参数测量系统[J]. 红外技术, 2004(2): 33-36.
- [8] 吴超,刘雪花. 室内 WiFi 信号探测设备的设计与实现[J]. 电脑知识与技术, 2021, 17(8): 215-217.
- [9] 吴迪,施伟斌,王宇波. 基于自适应信道切换的抗干扰技术研究[J]. 软件导刊, 2020, 19(8): 207-211.
- [10] 王博,刘忠富,庄婧昱,等. 基于 STM32 的无线温室大棚控制系统设计[J]. 电子测量技术, 2017, 40(6): 42-46.
- [11] 钱光明,易超. 基于 nRF24L01 和 ESP8266 的跳频及干扰演示实验[J]. 无线互联科技, 2020, 17(6): 15-17,24.
- [12] 罗钧,李志学,龚燕峰. 基于 AM5749 的交通标志智能识别系统实验设计[J]. 实验技术与管理, 2021, 38(8): 65-70.
- [13] 李勇. “反偷拍干扰器”对 3G 基站干扰的查找和体会[J]. 中国无线电, 2011(9):97.
- [14] 郝相林,高小珂,刘宁艳. 基于 STM32 的 VLC 音频传输系统[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(7): 36-39.
- [15] 李宗卿,刘忠富,吴学富,等. 无线智能家居舒适度测控系统[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(11): 103-107.

作者简介

霍佳雨,博士,高级工程师,主要研究方向为光电子器件、光电信号检测等。

E-mail:huojy@jlu.edu.cn

林立海,本科,主要研究方向为光电信号检测。

E-mail:1838797064@qq.com