

DOI: 10.13382/j.jemi.B1902862

# 可编址主动红外入侵探测器设计及其应用\*

张振亚<sup>1</sup> 聂芹芹<sup>1,2</sup> 宋博<sup>1,2</sup> 王翠翠<sup>1,2</sup> 施璇<sup>1,2</sup> 董梦杰<sup>1,2</sup> 王萍<sup>1,2</sup>

(1. 安徽建筑大学 智能建筑与建筑节能安徽省重点实验室 合肥 230022;

2. 安徽建筑大学 电子与信息工程学院 合肥 230601)

**摘要:**为了及时准确的估计室内人数,进而了解建筑物不同区域内人员分布情况,设计了一种使用IP地址为标识的可编址主动红外入侵探测器。与传统红外探测器是主机附属装置不同,该探测器使用TCP套接字与上位机通信,一个主机可通过网络配置与多个探测器装置进行连接。可编址主动红外入侵探测器主要由主动红外入侵探测器、微处理器以及无线通信模块组成;主动红外入侵探测器完成人员进出过程的感知;微处理器实现对感知信号的获取和处理;数据采用无线通信方式上传至上位机。基于该探测器装置,设计并实现了基于红外的进出人数计数程序。实验表明,探测器装置能及时准确感知人员的变化并将信号上传给上位机,而且进出人数计数程序能准确统计通过人数。

**关键词:**主动红外入侵探测器;无线通信;人员计数;上位机;下位机

**中图分类号:** TP391.4; TN215 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4030

## Design of addressable active infrared intrusion detector and its application

Zhang Zhenya<sup>1</sup> Nie Qinqin<sup>1,2</sup> Song Bo<sup>1,2</sup> Wang Cuicui<sup>1,2</sup> Shi Xuan<sup>1,2</sup> Dong Mengjie<sup>1,2</sup> Wang Ping<sup>1,2</sup>

(1. Anhui Province Key Laboratory of Intelligent Building &amp; Building Energy Saving, Anhui Jianzhu University, Hefei 230022, China; 2. School of Electronics &amp; Information Engineering, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China)

**Abstract:** In order to timely and accurately estimate the number of occupants in a room, and then to understand the occupancy distribution for various areas in a building, an addressable active infrared intrusion detector using an IP address as its identification was designed in this paper. Differently from the traditional infrared detectors that were always attached to the host, the detector was achieved to communicate with the host computer through TCP sockets, rendering one host could receive messages from multiple detectors through network configurations. Our designed addressable active infrared intrusion detector composed of active infrared intrusion detector, microprocessor and wireless communication module. The active infrared intrusion detector collected the data during the occupants' entering and exiting process; the microprocessor processed the perceived signals; the data was transmitted to the host computer by the wireless communication module. Furthermore, based on the detector, an occupant counting program accounting for the entering and exiting was developed. Experiments results shown that the addressable active infrared intrusion detector could accurately and timely detect changes in occupants and transmitted messages reliably to the host computer, and the occupant counting program could accurately estimate the number of occupants in a given area.

**Keywords:** active infrared intrusion detector; wireless communication; occupants counting; host computer; slave computer

## 0 引言

近年来,在智能建筑中,建筑物内的人员分布状态成为关注重点,掌握建筑物内的人员分布状态对人群行为分析、现代安防、资源优化配置、商业信息采集以及智能管理等具有重大作用<sup>[1-4]</sup>。为此,国家重点研发计划课题一室内人员分布与移动状态监测方法及应用研究提出要基于红外技术,设计可被扁平化无中心新型建筑智能化系统平台<sup>[5-6]</sup>自动识别的室内人员数量辨识新装置与准确的分布式人员数量辨识方法,实现对室内人员数量的监控。

红外探测器主要分为被动式红外传感器(如红外幕帘)和主动式红外传感器(如红外对射)<sup>[7]</sup>。被动式红外传感器本身不发射任何能量,只被动接收、探测来自环境的红外辐射;主动式红外包括发射装置和接收装置,当有物体通过时,光线被遮挡,电信号输出发生变化。但对被动式红外传感器而言,一旦环境温度与人体温度相接近或人员的移动速度接近 0 时,传感器就不能有效探测到人的存在,因此在室内环境场所中,主动红外入侵探测器用于人员计数更有优势。另外,在以往的研究中,基于红外技术大多数用于监测和探测<sup>[8-9]</sup>,近年来,利用红外探测器进行计数也越来越受欢迎<sup>[10-11]</sup>。在这些应用中,大多数情况下设计了以红外传感器为信号采集单元,单片

机为控制核心的系统,但是在这些系统中,基本上都是红外传感器和上位机通过线缆连接,以 RS485 总线或串口形式进行通信<sup>[12-13]</sup>,这种形式下传感器被认定为上位机的附属装置,离开了上位机就无法正常工作,并且线缆的连线方式可能会引发动作布线困难,建设维护成本高等问题。

本文设计了一种使用 IP 地址为标记的可编址的主动红外入侵探测器,针对大多数红外探测装置作为主机附属装置的现象,该可编址的主动红外入侵探测器赋予了主动红外入侵探测器获取 IP 地址的能力,红外探测器和主机构成了两个独立的设备,一个主机可通过网络配置与多个探测器装置进行连接,这种情况下探测器不再是主机的附件。同时,基于网络的连接,无需考虑布线问题,传感器的放置在空间上的限制也变小,只要探测器和主机处在同一局域网下即可通信,实现了灵活性水平的提升。

## 1 可编址主动红外入侵探测器电路设计

可编址主动红外入侵探测器(简称探测器)主要由主动红外入侵探测器,微处理器以及无线通信模块组成,具体的原理如图 1 所示,图 1 中,微处理器使用的是 Arduino UNO<sup>[14]</sup>,无线通信模块使用的是 ESP8266 ESP-01<sup>[15]</sup>。

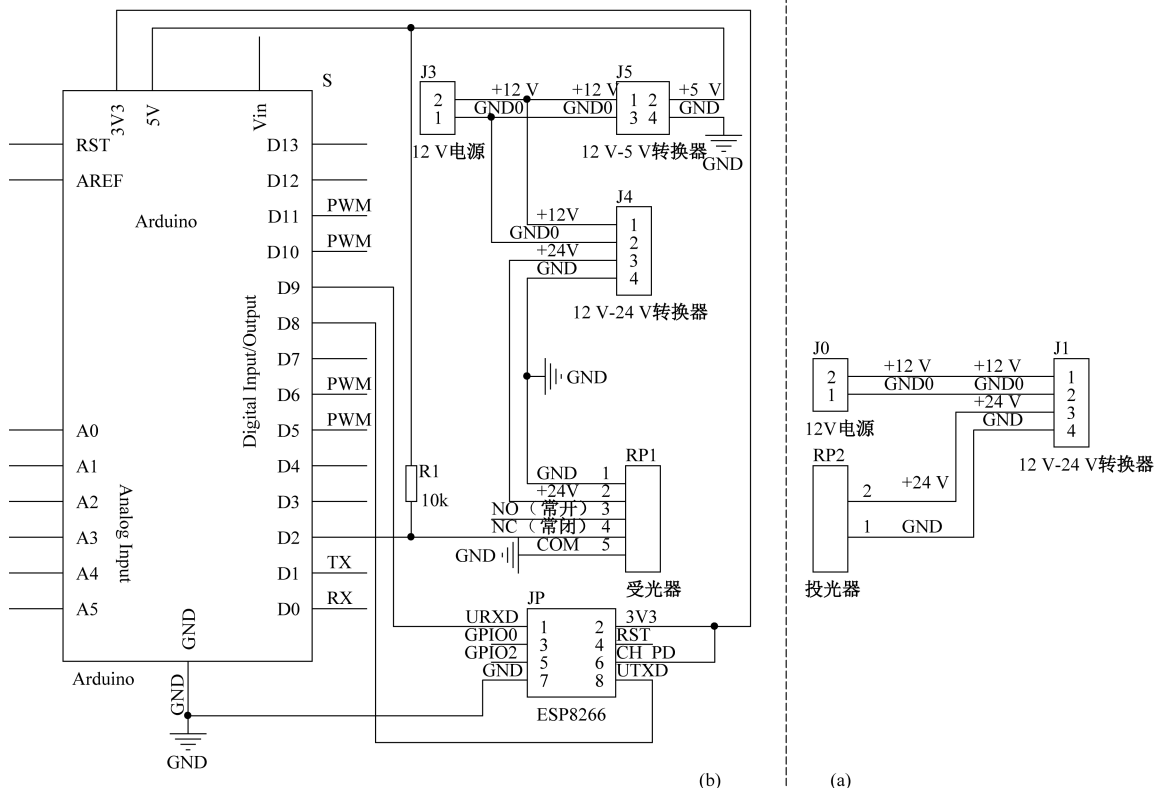


图 1 可编址主动红外入侵探测器原理

Fig. 1 Schematic of an addressable active infrared intrusion detector

图 1 包括两个部分,其中图 1(a)部分为探测器的投光部分,用于发出红外光束。投光部分由投光器和电源组成。为便于实验场所更换,选用 12 V 蓄电池供电,由于投光器的工作电压为 24 V,故使用一个 12 转 24 V 的电压转换器。

图 1(b)则是探测器的接收和上传部分,主要包括红外感知单元、数据处理单元以及无线传输单元。使用了 12 V 直流供电。由于受光器和微处理器的工作电压分别为 24 和 5 V,故图 1(b)使用一个 12 转 24 V 的电压转换器和一个 12 转 5 V 的电压转换器。

图 1(b)中,红外感知单元使用红外受光器实现:投光器发射的红外光束在没有被遮挡时,受光器可以接收到此光束,否则,受光器接收不到此光束。为标准的实现该装置,实验实现的探测器所采用的投光器和受光器为市场采购的主动红外入侵探测器,其型号为 ALN-0430,输出为开光量。如图 1 中受光器 RP1,其输出有 3 个端口,常开(NO)、常闭(NC)以及公共端(COM)。本装置选取 NC 以及 COM 作为输出端口,受光器正常接收红外光束时,两触点接通,一旦红外光束被遮挡,此时两触点断开。

图 1(b)中,数据处理单元使用了 Arduino,将受光器 RP1 的公共端 COM 接 Arduino 的 GND 引脚,常闭输出端 NC 接 Arduino 数字口 D2,同时,接数字口 D2 的 NC 端同时接阻值为 10 kΩ 的上拉电阻  $R$ ,电阻  $R$  另一端接 Arduino 的 5 V 引脚。Arduino 每 200 ms 周期性获取主动红外入侵探测器的感知信号。由于受光器的输出是个开关量,数字端口连接的是个短路开关,数字端口的电压状态为 0 或者 open。在 open 状态时,读取到的电压状态为不确定信号,因此通过一个上拉电阻将不确定的信号钳位在 5 V。这样,当有人通过时,数字口状态为 1,无人通过时数字口状态为 0。

图 1(b)中,Arduino 获得探测区域有无遮挡情况的感知信号之后,使用无线通信单元将感知信号数据发送给网络上感知信号的接收端(上位机)。图 1(b)中,无线通信单元选用的是 ESP8266。

表 1 为无线通信单元对应的 Arduino 和 ESP8266 的引脚连接方式,其中 D8 和 D9 为自定义的软串口 RX 和 TX。

表 1 微处理器与无线通信模块引脚连接关系

Table 1 Microprocessor and wireless communication module pin connection

Arduino	ESP8266
3.3 V	VCC、CH_PO
GND	GND
D8	TX
D9	RX

## 2 可编址主动红外入侵探测器软件设计

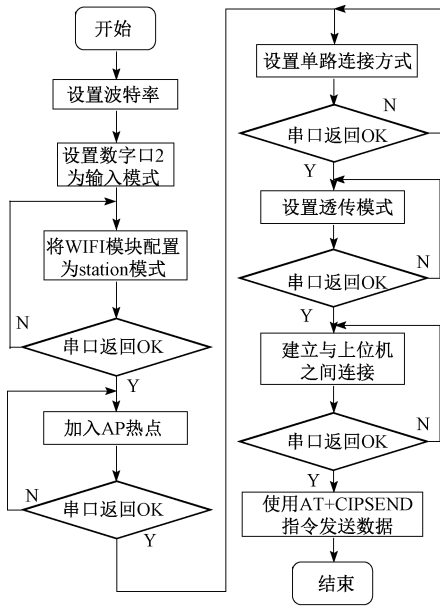
可编址主动红外入侵探测器软件由运行于 Arduino 中的信号感知和发送程序(下位机程序)以及运行于网络上感知信号的接收端的人员计数程序(上位机程序)两部分组成。下位机程序完成对主动红外入侵探测器的感知信号的接收与处理,并使用 TCP/IP 协议发送给上位机程序,上位机程序在接收到下位机根据发送信号探测器的地址确定信号产生的位置,进而对对应区域的人数变化进行计算。功能上,下位机程序由初始化模块以及信号采集与发送两个模块组成。其中,初始化模块不仅需要完成对 Arduino 引脚、串口通信速率、数字端口工作模式的设定,还需要对 WiFi 通信模块 ESP8266 的工作模式、接入 AP 点的名称和密码、TCP 服务器端的地址和端口以及 ESP8266 自身的 MAC 地址进行设定。全部工作在下位机程序中的 setup() 函数中完成,其流程如图 2(a)所示。信号采集与发送模块在下位机程序中的 loop() 函数中实现,其流程如图 2(b)所示。信号采集与发送模块的功能就是重复执行读取受光器的数据、对采集到的信号进行数据处理、将处理后的数据发送到上位机程序以及延时等操作。

图 2(b)中,读取受光器的数据主要是读取受光器的电压的高低状态并将所读取的状态转换为信号 0 或 1,数据处理主要是获取探测器的 MAC 地址以及 IP 地址,并将 MAC 地址、IP 地址以及获取到的受光器的输出信号拼接,得到处理后的数据,数据发送操作则将处理后的数据发送给上位机。由于探测器的 MAC 地址与 IP 地址经设定之后是相互绑定的,上位机根据接收的 MAC 地址和 IP 地址信息均可定位探测器的位置。

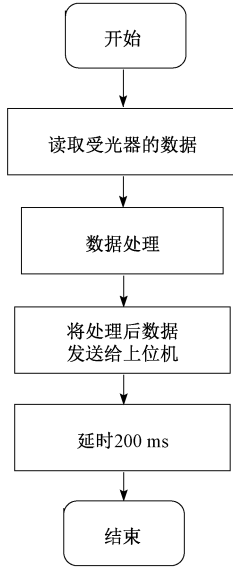
图 2(b)中,Arduino 数据读取和发送一次数据的耗时约为 1 ms。人正常的步行速度约为 1.2 m/s,经计算可知,Arduino 读取和发送一次的时间内,人的移动距离约为 0.12 cm。在目标完全通过探测区域时间内,Arduino 读取 3~5 个信号即可确定人员的进出状态,因此需要在图 2(b)中加入延时操作。设投光器的水平方向的探测角度为  $\theta$ ,投光器与受光器之间距离为  $L$ ,则主动红外入侵探测器能覆盖的探测区域的最大直径距离  $d$  的计算方法如式(1)所示,若人的步行速度为  $V$ ,在通过探测区域这段时间内读取的信号个数为  $n$ ,延时时间为  $T$ ,则  $T$  满足式(2)规定的约束条件。设人员的移动速度为 1.2 m/s,故设定  $T=200$  ms。

$$d = 2L \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (1)$$

$$(n-1)T < \frac{d}{V} \quad (2)$$



(a) setup()函数流程  
(a) Setup() function flow



(b) loop()函数流程  
(b) Loop() function flow

图 2 下位机软件流程

Fig. 2 Software flowchart of slave computer

上位机接收下位机发送的信号后,根据采集到的信号数据完成区域的人员的统计。对于采集到的受光器输出数据,当值为 0 时说明此刻无人在探测区域,当值为 1 时说明此刻有人在探测区域。则根据相邻时间段内采集到的受光器输出数据的取值变化统计通过探测区域的人数时,有如下 4 种情形需要考虑:1) 当前时刻数据 currentSignal 与前一时刻数据 previousSignal 均为 0,说明这段时间内无人在探测区域;2) 当前时刻信号 currentSignal 与前一时刻信号 previousSignal 均为 1,说明这段时间内探测区域内持续有人;3) currentSignal = 1,

previousSignal = 0,说明这段时间内有人通过探测区域;4) currentSignal = 0, previousSignal = 1。称情形 3 描述的情况为信号的 0-1 跃变,而情形 4 描述的情况为信号的 1-0 跃变。若以有人离开探测区域来判定通过人员计算变化,即以信号的 1-0 跃变作为判别人数变化的判据,则基于 1-0 信号跃变的通过人数的统计方法流程如图 3 所示。

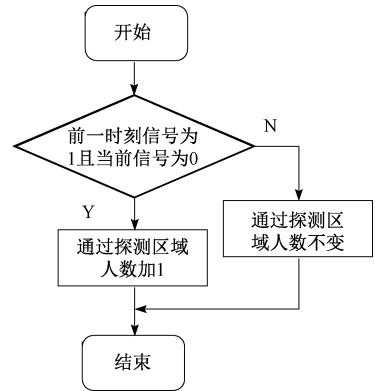


图 3 基于 1-0 信号跃变的人数统计流程

Fig. 3 Flow chart of occupant counting based on the 1-0 signal transition

基于 1-0 信号跃变的通过人数计数方法,以可编址红外入侵探测器为人员通过探测区域的感知装置,上位机中需要实现的通过探测区域的人员计数程序的流程如图 4 所示。

图 4 中,在计数流程开始前,初始化前一时刻受光器信号 previousSignal 和人数 occupantCounter,默认均为 0,接下来,通过创建套接字、绑定套接字、建立监听队列以及接受客户端连接请求这一系列操作按照服务器模式创建 TCP 套接字并进入工作状态。当客户端发送连接请求时,检测连接请求是否关闭,若请求关闭,则关闭套接字连接,若请求未关闭,则持续监听,接收下位机传来的数据,若数据为空,则设置出错信息后继续监听,若正常接收数据,则根据图 3 所示的流程实现人员计数。

### 3 实验结果与讨论

为了检测装置、人员计数方法的有效性,验证上位计数流程的准确性,研究对智能建筑与建筑节能安徽省重点实验室某房间人数进行了监测。实验时,房间入口放置了两组可编址主动红外入侵探测器,两组探测器的 IP 地址分别设定为 172. 16. 0. 85 和 172. 16. 0. 81,其中 IP 为 172. 16. 0. 85 的探测器放置在入口的外侧,IP 为 172. 16. 0. 81 的探测器放置在入口的内侧。实验中,11 min 内通过入口进入房间的人员信息被装置采集,上

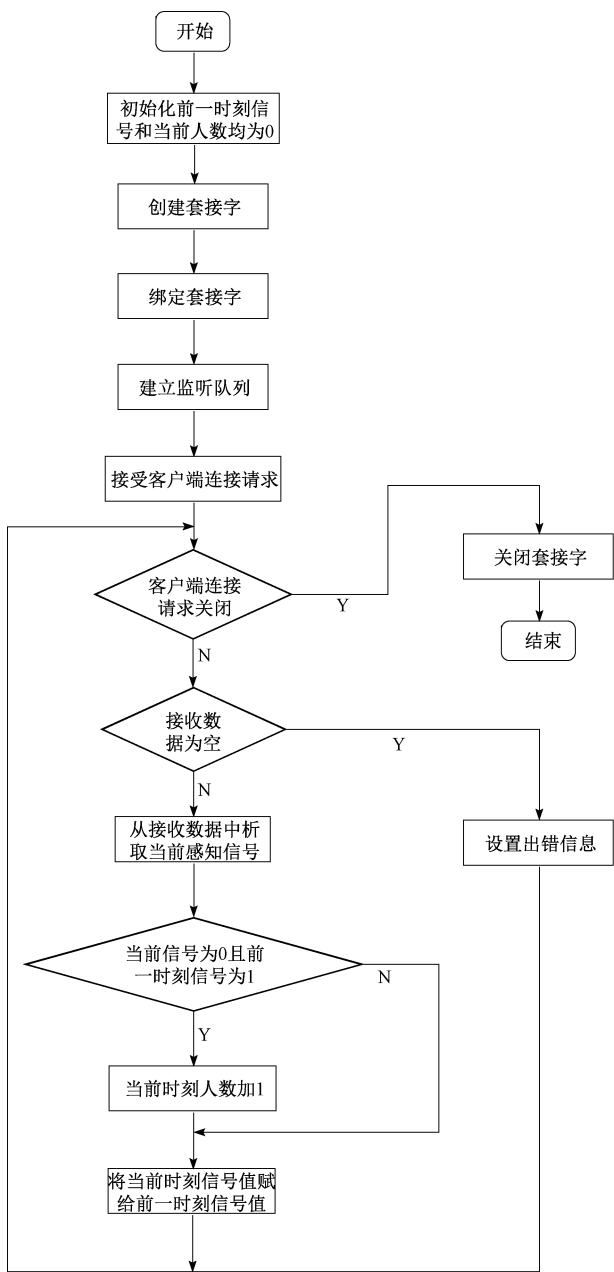


图 4 上位机人员计数流程

Fig. 4 Flow chart of occupant counting on the host computer

位机程序根据采集到的信号对进入房间的人员数目进行了计算,同时,实际的人员计数也被手工记录。

图 5 所示为实验时间内采集的两组可编址主动红外入侵探测器的信号,图 5(a)是 IP 为 172.16.0.85 的探测器的信号,图 5(b)是 IP 为 172.16.0.81 的探测器的信号。从图 5 可知,探测器均被触发了 22 次。图 5(a)和 (b)的左上角给出了时间在 37~40 s 之间的局部放大图,对比图 5(a)和(b)的信息可知,IP 为 172.16.0.85 的探测器先被触发,IP 为 172.16.0.81 的探测器后被触发,这与实际人员进入时,先通过 IP 为 172.16.0.85 的探测器

区域然后再通过 IP 为 172.16.0.81 的探测器区域的可编址主动红外入侵探测器的摆放位置设定一致。

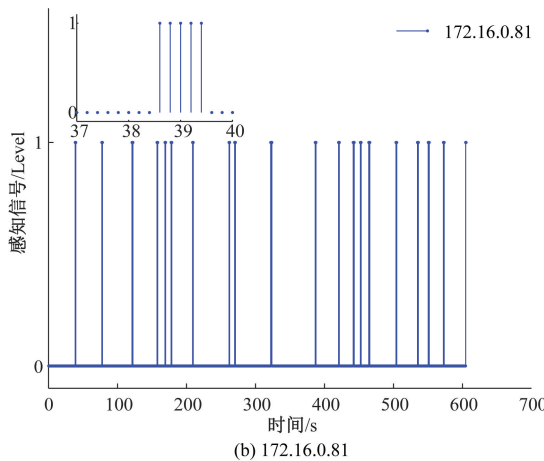
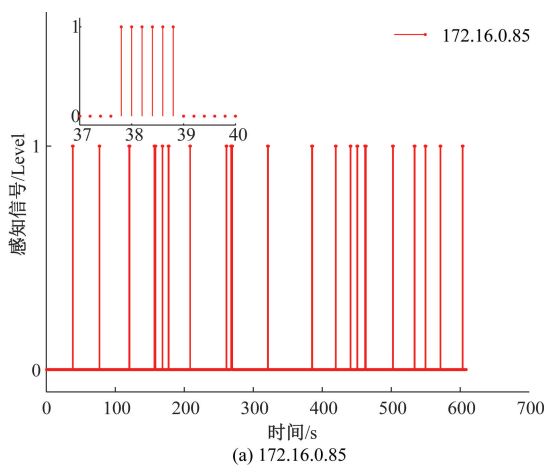


图 5 采集的信号

Fig. 5 Acquired signals

图 6 所示为根据图 4 的人员计数流程得到的累积通过探测区域的人数曲线,图 6(a)是通过 IP 为 172.16.0.85 的探测器的人数随时间的变化曲线,图 6(b)则是通过 IP 为 172.16.0.81 的探测器的人数随时间的变化曲线。局部放大图展示了时间在 37~40 s 之间的人数结果,对比两组探测器在这段时间内的人员计数结果可知,IP 为 172.16.0.81 的探测器对应的人数变化相比 IP 为 172.16.0.81 的探测器来说,有 0.6 s 的延迟,这是放置位置导致的先后通过关系引起的时间差异,符合实际情况。由图 6(a)和(b)可知,两组可编址主动红外入侵探测器根据 1-0 信号跃变统计的人数结果是一致的,均为 22,且人数随时间变化趋势和最终统计的人员数目与手工记录的结果相符。

### 4 结论与研究展望

为了及时准确的探测人员数目以及各建筑物内的

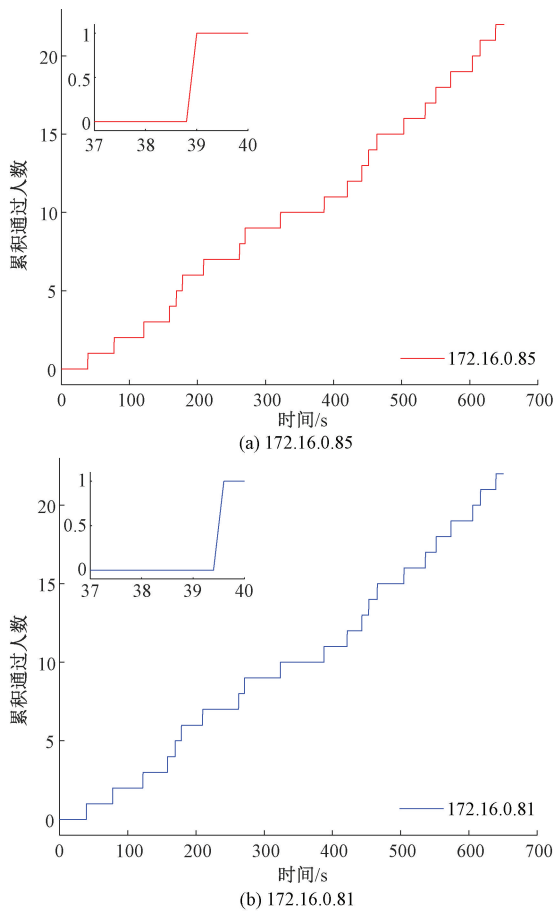


图 6 人员计数结果

Fig. 6 Results of occupant counting

人员分布情况,本文设计了一种使用 IP 地址为标记的可编址主动红外入侵探测器,并在出入口分离情况下设计了基于该探测器的进出人数计数程序。探测器与进出人数计数程序使用 TCP 套接字进行通信,探测器是客户端,进出人数计数程序是服务器端。由于服务器端可以同时接收多个客户端的发送信号,因此,这里设计的探测器在应用于监测区域内的人员数量计数时,可以由一套进出人数的计数程序服务于多个作为客户端的探测器。实验表明,可编址主动红外入侵探测器装置能准确感知人员进出探测区域情况并将合适的信号准确的发送到上位机,上位机中运行的进出人数计数程序能根据探测器的 IP 地址辨识探测器并能够根据准确获取的下位机发送信号统计进进出口的人员数量。

本文实现的进出人数计数程序可以对经过一个入口或者出口的人数进行计数,不支持多个出入口的情形。在具有多个出入口的复杂场景中,若一个主机能接收多个探测器数据,并根据接收的数据统计通过每个探测器的人数,那么根据每个探测器部署在出入口的不同,进出

人数计数程序通过简单的累加计算即可获得区域内的当前人数。使用多个可编址主动红外入侵探测器统计区域内当前人数的进出人数计数程序的研发工作正在进行中。

本文进出人数计数程序是基于 1-0 信号跃变次数的统计来实现。实际应用中,由于数据采集或数据传输过程中可能出现的错误,上位机接收到的数据并非完全是准确的,在这种情况下,本文提出的进出人员计数方法获得的人数与实际人数可能会存在偏差。针对数据出现少量错误情况下的准确判定人员数目的方法我们正在进行研究。进一步,实现的进出人数计数程序针对的是进出口分离情况,人员只能进或出。针对进出口不分离,人员双向通行的场景,基于红外的人数统计装置与方法也是正在开展的研究。

### 参考文献

- [ 1 ] WU B, YADA K. The effect of crowding on visit ratio at a product area; Based on RFID data in a Japanese supermarket [ C ]. Effect of Crowding on Visit Ratio at a Product Area; Based on RFID Data in a Japanese Supermarket, IEEE Computer Society, 2017.
- [ 2 ] BULUMULLA C, PADGHAM L, SINGH D, et al. The importance of modelling realistic human behaviour when planning evacuation schedules [ C ]. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems, 2017.
- [ 3 ] 徐小辉, 胡云鹏. 一种实现建筑物内应答器定位跟踪的新方法 [ J ]. 电子测量与仪器学报, 2019, 33 ( 4 ): 111-118.  
XU X H, HU Y P. A new method for realizing positioning and tracking of transponders in buildings [ J ]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2019, 33 ( 4 ): 111-118.
- [ 4 ] SERASINGHE M, VASANTHAPRIYAN S. Intelligent retail checkout management system [ C ]. IEEE International Conference on Computer & Communications, 2017.
- [ 5 ] 沈启. 智能建筑无中心平台架构研究 [ D ]. 北京:清华大学, 2015.  
SHEN Q. Research on the architecture of intelligent building without central platform [ D ]. Beijing: Tsinghua University, 2015.
- [ 6 ] 代允闯. 空调冷冻站“无中心控制”系统研究 [ D ]. 北京:清华大学, 2016.  
DAI Y CH. Research on “no center control” system for air conditioning refrigeration station [ D ]. Beijing: Tsinghua University, 2016.
- [ 7 ] 吕立波. 浅析主动红外入侵探测器的原理及应用 [ J ].

- 中国公共安全(综合版), 2010(Z1):168-171.
- LV L B. Principles and applications of active infrared intrusion detectors [J]. China Public Safety (Comprehensive Edition), 2010 (Z1): 168-171.
- [ 8 ] 胡为, 庄奕琪, 包军林, 等. 红外探测器低频噪声长时间监测系统设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(2):265-271.
- HU W, ZHUANG Y Q, BAO J L, et al. Design of low-frequency long-term monitoring system for infrared detector [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2015, 29(2):265-271.
- [ 9 ] 燕学智, 王海云, 王昕. 超声波飞行时间测量的数字增益补偿[J]. 仪器仪表学报, 2018, 39(9):82-90.
- YAN X ZH, WANG H Y, WANG X. Digital gain compensation for ultrasonic flight time measurements[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2018, 39(9):82-90.
- [ 10 ] WAHL F, MILENKOVIC M, AMFT O. A distributed PIR-based approach for estimating people count in office environments [C]. IEEE International Conference on Computational Science & Engineering, IEEE, 2012.
- [ 11 ] SUN Q, YANG W, ZHANG W D, et al. Research on target tracking based on dynamic pyroelectric infrared sensor network [J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2013, 24(12):2399-2403.
- [ 12 ] 易金桥, 黄勇, 廖红华, 等. 热释电红外传感器及其在人员计数系统中的应用[J]. 红外与激光工程, 2015, 44(4):1186-1192.
- YI J Q, HUANG Y, LIAO H H, et al. Pyroelectric infrared sensor and its application in people counting system [J]. Infrared & Laser Engineering, 2015, 44(4):1186-1192.
- [ 13 ] 孙乔, 杨卫, 于海洋, 等. 动态下红外热释电传感器的目标定位方法[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(9):2288-2292.
- SUN Q, YANG W, YU H Y, et al. New target location method based on dynamic pyroelectric infrared sensor[J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41(9):2288-2292.
- [ 14 ] LOUIS L. Working principle of arduino and using it as a tool for study and research [C]. International Journal of Control, Automation, Communication & Systems, 2018.
- [ 15 ] PAKALAPATI S S, CHARY G C, YADAW A K, et al. A prosthetic hand control interface using ESP8266 Wi-Fi module and Android application [C]. 2017 4th International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems, IEEE, 2017.

### 作者简介



**张振亚**, 1995 年于安徽师范大学获得学士学位, 2004 年于中国科学技术大学获得博士学位, 现为安徽建筑大学教授, 主要研究方向为计算智能、建筑智能化。

E-mail: zzychm@ustc.edu.cn

**Zhang Zhenya** received his B. Sc. degree from Anhui Normal University in 1995 and Ph. D. degree from University of Science and Technology of China in 2004. Now he is a professor at Anhui Jianzhu University. His main research interests include computational intelligence and intelligent building.



**聂芹芹**, 2017 年于安徽建筑大学获得学士学位, 现为安徽建筑大学硕士研究生, 主要研究方向为建筑模式识别与智能信息处理。

E-mail: nieqinqinorange@163.com

**Nie Qinqin** received her B. Sc. degree from Anhui Jianzhu University in 2017. Now she is a M. Sc. candidate at Anhui Jianzhu University. Her main research interests include Building pattern recognition and intelligent information processing.