



# 智能系统学报

CAAI TRANSACTIONS ON INTELLIGENT SYSTEMS

## 高层火灾智能报警及逃生指导系统

毕晓君, 孙梓玮, 刘进

引用本文:

毕晓君,孙梓玮,刘进. 高层火灾智能报警及逃生指导系统[J]. *智能系统学报*, 2022, 17(4): 814–823.

BI Xiaojun,SUN Ziwei,LIU Jin. Intelligent fire alarm and escape guidance systems for highrise buildings[J]. *CAAI Transactions on Intelligent Systems*, 2022, 17(4): 814–823.

在线阅读 View online: <https://dx.doi.org/10.11992/tis.202110018>

## 您可能感兴趣的其他文章

### 基于小样本学习的LCD产品缺陷自动检测方法

An automatic small sample learning-based detection method for LCD product defects  
*智能系统学报*. 2020, 15(3): 560–567 <https://dx.doi.org/10.11992/tis.201904020>

### 低觉醒脑电识别与唤醒的可穿戴系统研究

A wearable system to recognize and awaken low-arousal state  
*智能系统学报*. 2019, 14(4): 787–792 <https://dx.doi.org/10.11992/tis.201806047>

### 基于车内外视觉信息的行人碰撞预警方法

Pedestrian collision warning system based on looking-in and looking-out visual information analysis  
*智能系统学报*. 2019, 14(4): 752–760 <https://dx.doi.org/10.11992/tis.201801016>

### 智能手机车辆异常驾驶行为检测方法

Abnormal driving behavior detection based on the smart phone  
*智能系统学报*. 2016, 11(3): 410–417 <https://dx.doi.org/10.11992/tis.201504022>

### 多特征融合的火焰检测算法

Fire detection based on fusion of multiple features  
*智能系统学报*. 2015(2): 240–247 <https://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1673-4785.201406022>



微信公众平台



期刊网址

DOI: 10.11992/tis.202110018

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1538.TP.20220421.1530.007.html>

# 高层火灾智能报警及逃生指导系统

毕晓君<sup>1</sup>, 孙梓玮<sup>1</sup>, 刘进<sup>2</sup>

(1. 中央民族大学信息工程学院, 北京 100081; 2. 哈尔滨工程大学信息与通信工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘要:** 现有高层火灾报警系统因报警滞后, 缺乏火灾定位以及逃生引导, 导致现场人员伤亡较大。为此, 设计了具有精准定位、高效报警以及智能逃生引导功能的火灾报警系统。通过 TXW8301-WiFi 模块、火灾探测器和语音单片构成节点设备, 布控在建筑内各区域, 可自动检测火灾发生, 并第一时间在各楼层播报火灾位置及具体的逃生指引路线, 可以解决高层建筑距离远、隔断多造成因不知情、不清楚逃生路线而错失最佳逃生时机的问题。除自动报警引导功能外, 本系统通过对通道监控视频进行去烟补光和去噪处理, 并基于深度学习算法进行行人密度检测, 可以根据逃生通道的拥堵情况进行多次逃生指导, 最终所有信息将在系统总控界面显示, 方便统一救援指挥, 可最大限度地降低火灾中的人员伤亡。

**关键词:** 火灾报警系统; 无线保真; 火灾探测器; 现场可编程逻辑门阵列; 套接字; 行人检测; 中值滤波; 同态滤波  
**中图分类号:** TP277 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4785(2022)04-0814-10

中文引用格式: 毕晓君, 孙梓玮, 刘进. 高层火灾智能报警及逃生指导系统[J]. 智能系统学报, 2022, 17(4): 814-823.

英文引用格式: BI Xiaojun, SUN Ziwei, LIU Jin. Intelligent fire alarm and escape guidance systems for highrise buildings[J]. CAAI transactions on intelligent systems, 2022, 17(4): 814-823.

## Intelligent fire alarm and escape guidance systems for highrise buildings

BI Xiaojun<sup>1</sup>, SUN Ziwei<sup>1</sup>, LIU Jin<sup>2</sup>

(1. School of Information Engineering, Minzu University of China, Beijing 100081, China; 2. Department of Information and Communication Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

**Abstract:** Due to delayed alarms, lack of fire positioning, and lack of escape guidance, existing highrise fire alarm systems caused large casualties on the scene. Thus, this paper designs a fire alarm system with precise positioning, high-efficiency alarm, and intelligent escape guidance functions. It can be deployed in various areas of the building using the TXW8301-WiFi module, fire detector, and voice monolithic to form a node device, which can automatically detect the occurrence of a fire and broadcast the fire location and specific escape guidance routes on each floor as soon as possible, which can solve the problem of highrise buildings. Due to unknown and unclear escape routes, the long distance between buildings and many partitions causes the problem of missing the best time to escape. In addition to the automatic alarm guidance function, the system uses the channel monitoring video to remove smoke, add light and denoise, and perform pedestrian density detection based on deep learning algorithms. It can conduct multiple escape guidance according to the congestion of the escape channel, and finally, all the information will be displayed on the system's main control interface to facilitate unified rescue command and minimize fire casualties.

**Keywords:** fire alarm systems; wireless fidelity; fire detectors; field programmable gate array; socket; pedestrian detection; median filtering; homomorphic filtering

随着城市建设的高速发展以及基建能力的提升, 高层建筑越来越多。由于建设规模大、装修标准高、人员密集以及各种电气设备的频繁使用,

因此高层建筑往往存在着较大的火灾隐患。近年来, 我国高层建筑火灾呈逐年上升趋势, 造成的人员伤亡和经济损失触目惊心, 仅 2019 年高楼层建筑火灾 6874 起, 共死亡 1335 人。经分析, 高层建筑造成人员伤亡的主要原因是由于楼层过高、

收稿日期: 2021-10-18. 网络出版日期: 2022-04-22.

通信作者: 毕晓君. E-mail: [bixiaojun@hrbeu.edu.cn](mailto:bixiaojun@hrbeu.edu.cn).

人员分散且相对封闭,使现场人员无法第一时间获得火灾发生信息,特别是火灾发生的地点,从而造成逃生决策失误,错过了宝贵的逃生时机。因此,如何利用高新科技有效解决高层建筑火灾定点报警及逃生智能指导的研究迫在眉睫。

目前现有的火灾自动报警系统主要存在以下问题<sup>[1-5]</sup>:1)无法及时通知现场人员火灾发生的具体地点,容易错失最佳逃生时机及造成逃生错误等问题;2)部署报警系统时需要穿墙布线,无法做到灵活部署,对于老旧小区、古建筑等场景情况无法应用;3)当火灾发生时,只能实现警笛报警,没有具体可行的逃生指导方案;4)当救援工作展开时,由于对建筑内火情及人群情况不清楚而导致救援指挥延误。而目前国内外针对火灾处理的研究重点为消防用水系统,消防排烟系统,应急照明及多探测器消防联动控制等火灾处理方面,而火灾定位报警,智能引导人群逃生及逃生通道的人群密度监控等方面尚无研究。

针对上述问题,本文基于人工智能技术的发展,特别是具有无线传输能力的智能芯片问世,结合火灾实际需求提出了可行的研究方法。所设计的报警系统能够实现一旦发生火情,第一时间对建筑内所有区域进行定位报警,并及时语音播报各区域的最佳逃生路线。同时开发基于深度学习的行人检测算法以掌握建筑内各区域的人群密度状态,能够随时指导现场人员选择最佳的具体逃生路线。经查阅火灾报警相关文献和资料,目前国内外尚无类似功能的火灾语音报警系统,本系统的研究具有创新性和实用性,可为火灾现场人员赢得宝贵的逃生时间,给出最佳的逃生路线,提高逃生效率。

## 1 系统整体方案设计

本文通过 TXW8301-WiFi 模块实现系统组网,并结合烟雾火灾探测器和 WT588D 语音单片机构成节点设备,实时自动监测各楼层不同区域的烟雾浓度状态,当检测到某处烟雾浓度过高时,表明有火灾发生,立即激活建筑内所有节点设备组网,根据预存逃生路线及火灾发生情况自动语音播报火灾的具体地点以及逃生路线,并能够将每层楼不同区域的实时状态通过无线网发送至上位机,上位机将收到的数据以界面动画的形式进行显示。同时现场可编程逻辑门阵列 (field programmable gate array, FPGA) 开发板通过串口控制上位机树莓派端进行各逃生通道的图像数据采集,将采集的图像数据通过网口发送至部署有

E902-CPU 的 FPGA 端,通过运行其部署的中值滤波算法<sup>[6]</sup>、同态滤波算法<sup>[7-10]</sup>进行图像去噪、去烟及补光处理。在树莓派中部署基于人工智能的行人检测算法<sup>[11-14]</sup>对视频的人数进行监测,当超过一定的人数阈值后,界面上就会发出警报,并重新规划各楼层不同区域的逃生路线。同时,将建筑内火灾报警情况以及人群密度情况在上位机界面进行显示,方便消防及管理部门了解内部情况,进行智能救援指挥,最大限度地降低火灾中的人员伤亡。

本系统由硬件设备和算法软件两部分组成。硬件设备包括 TXW8301-WiFi 模块、JTY-GD-DG311 激光烟雾火灾探测器、WT588D 语音单片机组成的节点设备以及系统上位机端。算法软件包括基于中值滤波的图像去噪算法、基于同态滤波的去烟补光算法以及基于深度学习的实时行人检测算法,还有数据传输模块以及系统上位机界面。图 1 给出了系统整体工作流程。

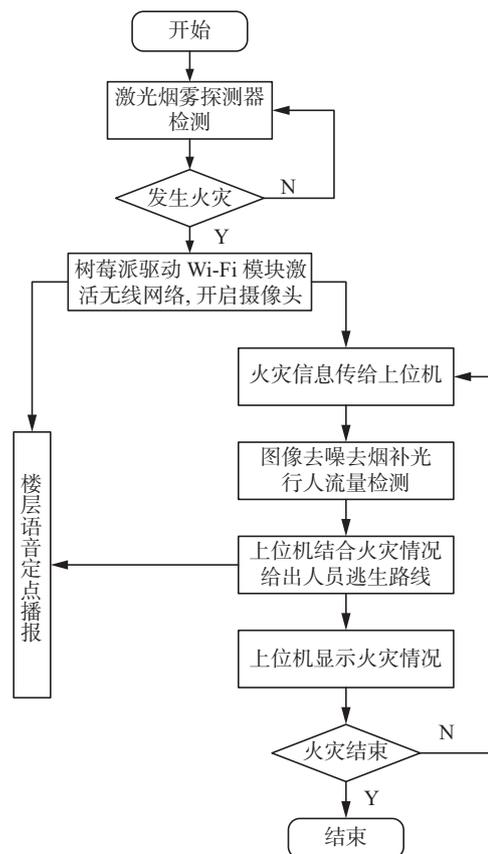


图 1 系统整体工作流程

Fig. 1 Overall work flow of the system

## 2 系统硬件设计

整个系统硬件包括节点设备和系统上位机端两大部分,其中节点设备用于楼层火灾检测,主

要由 TXW8301-WiFi 模块、JTY-GD-DG311 激光烟雾火灾探测器以及 WT588D 语音单片机组成,平时系统处于休眠状态的,无需电源。当火灾发生时,通过火灾检测信号自动启动电源,激活各个节点开始工作。考虑到火灾时容易出现断电现象,因此搭配移动电源使用非传统的插座式电源,可以满足系统连续工作 12 个小时。在日常使用中,

系统会定时激活所有节点,进行设备及电池自检,保证系统始终处于能够正常工作的状态。可实现实时监测楼层火灾、实现系统组网、语音播报以及将监测数据发送至上位机。系统上位机端主要由树莓派主控和 FPGA 硬件加速端组成,主要功能是将获取的火灾数据、图像数据进行处理并显示。本系统的硬件架构图如图 2 所示。

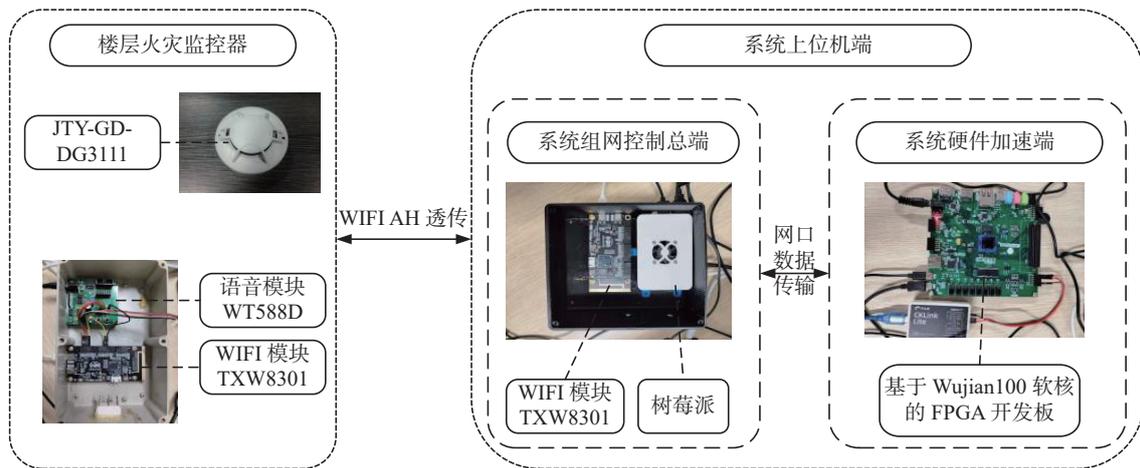


图 2 硬件设计关系图

Fig. 2 Hardware design relationship diagram

### 2.1 TXW8301-WiFi 通信模块

在设计 WiFi 通信模块时,将集成有玄铁 E803-CPU 内核的 TXW-8301-WiFi 模块配置为 STA 网络模式,通过 GPIO 的高低电平即火灾探测器继电器的输出信号来判断光电感烟器是否检测到有火灾发生,当某处检测到有火灾发生后,WiFi 模块通过 GPIO 接口驱动 WT588D 语音模块进行语音播报,同时基于 socket 网络通信协议将火灾信息发送至上位机 AP 端。

该 WiFi 模块工作在 730~950 MHz 频段,相较于 2.4 GHz 和 5 GHz 频率的其他 WiFi 设备,在拥有在相同发射功率的情况下具有传输距离远,穿透性强的优点,最远传输距离可达到 3 km,非常适用于高楼层之间的无线信息传输。同时预留丰富的接口可用于开发,本系统对该模块的使用情况如表 1 所示。

表 1 TXW8301-WiFi 接口使用情况  
Table 1 TXW8301-WiFi interface usage

TXW8301接口	功能介绍
USB接口	连接树莓派或上位机串口通过AT指令配置模块参数实现模块组网
GPIO B4~B7	驱动WT588D进行语音播报
GPIO B0	连接光电感烟器,检测火灾信息
JTAG	CDK程序调试、烧写

### 2.2 语音播报模块

语音播报模块由 WT588D 语音芯片及外挂 16M-Flash 存储芯片组成,将事先录制好的不同区域的逃生路线语音通过专用 Flash 烧写器写入 Flash 芯片,一旦某处被检测到有火灾发生时,立即通过 TXW8301 模块的 GPIO 接口模拟三线 SPI 协议驱动 WT588D 语音播报不同区域的逃生路线,同时外接功放来提升语音信号输出功率。

### 2.3 系统上位机树莓派主控端

上位机主控端由端使用树莓派 4B,通过挂载 TXW83-01-WiFi 模块的驱动使用 AH 接口控制 WiFi 模块,通过 Linux 指令集配置主控端 WiFi 模块为 AP 网络模式,并将工作频段和密钥配置成和 STA 端相同,实现主控端与节点设备的 WiFi 组网,具体配置参数如表 2 所示。

通过 QT 软件制作了火灾报警系统界面充分利用树莓派的优势,将各子节点设备传输的数据以界面动画形式进行展示,可以更清晰的在上位机树莓派端实时反映各楼层的设备及火灾发生情况。同时,在各楼层的逃生通道处置有摄像头,一旦检测到有火灾发生,将各摄像头采集的图像数据发送至上位机端进行处理,通过基于深度学习的行人检测算法,获得各通道的人群密度情况,并在上位机端界面进行展示。可实时监控逃生通道的人流量,以及时优化各区域逃生路线及消防部门的救援指挥工作。

表 2 WiFi 模块参数配置  
Table 2 Wi-Fi module parameter configuration

配置指令	说明
AT+MODE=STA	配置为STA模式
AT+SSID=SSB	设置模块ID为SSB
AT+KEYMGMT=NONE	关闭加密模式
AT+PSK=baa58559a9edd7c3a55e446bc658ef76a7173d023d256786832474d737756a82	设置模块密码
AT+BSS_BW=4	设置带宽为4 MHz
AT+TX_MCS=1	设置模块发射功率为1dB
AT+FREQ_RANGE=9020,9100	设置模块工作频段范围为9020~9100 MHz

### 2.4 FPGA 开发版

基于 Wujian100 软核的 Nexys Video FPGA 将采集的图像数据通过中值滤波算法、同态滤波算法进行处理<sup>[15-17]</sup>, 减少图像噪点, 提升图像的清晰度, 提升在暗光环境下的图像质量, 处理后的图像数据再发送至树莓派端。搭建 FPGA 图像处理硬件系统框图如图 3 所示。系统的硬件加速设计模块以移植有 Wujian100 软核移植的 Nexys Video FPGA 开发板为核心, 通过构建图像处理系统的

Block Design 将其例化到顶层。Wujian100 软核外设拓展总线均为 AHB 接口, 首先添加 AHB 转 AXI 总线桥适配软核接口, 分别通过 AXI Ethernet Subsystem 和 AXI Direct Memory Access 两个 IP 核实现以太网外设 GEMAC 和 DMA 的功能, 将图像数据传入 FPGA。然后对图像数据应用中值滤波和同态滤波算法, 最后将处理后的图像数据通过 DMA 缓存至 DDR3。

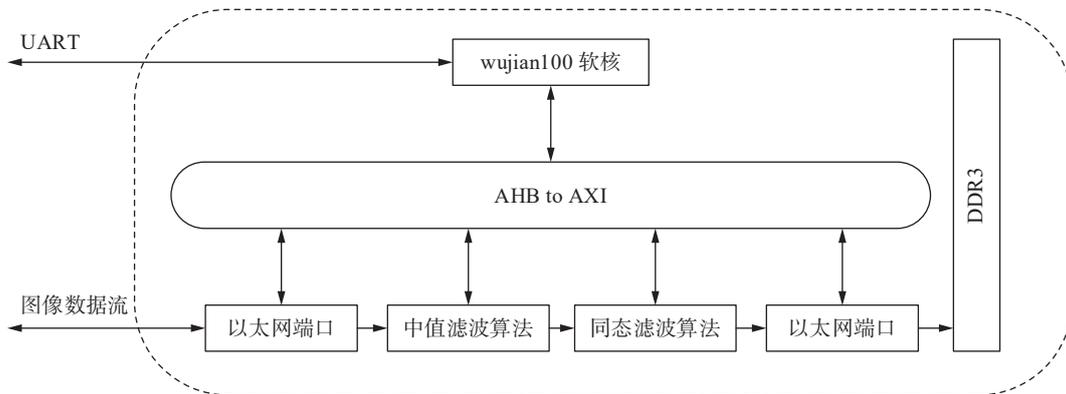


图 3 图像处理硬件系统框图

Fig. 3 Block diagram of the image processing hardware system

#### 2.4.1 Wujian100 软核

Wujian100 软核是一种嵌入式 CPU 核, 以 8 位 CPU 的成本获得 32 位嵌入式 CPU 的运行效率与性能。该软核兼容 RISC-V 指令架构, 采用 16/32 位混合编码系统, 指令系统与流水线硬件结构精简高效, 具备极低成本、极低功耗和高代码密度等优点。

#### 2.4.2 以太网口高速数据传输设计

本硬件系统在 FPGA 中搭建 AXI Ethernet Subsystem 及 AXI Direct Memory Access IP 核用来驱动以太网端口。其均通过 AHB 总线转 AXI 总线桥和软核连接, 软核通过 AHB 总线对其进行配置和控制。其中 AXI Ethernet Subsystem IP 核通过 RGM II 接口与 RTL8211 芯片连接, 其 Block Design 设计如图 4 所示。

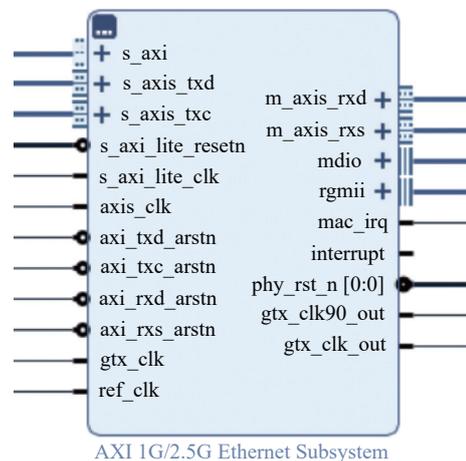


图 4 以太网端口驱动 IP

Fig. 4 Ethernet port driver IP

### 3 系统软件设计

#### 3.1 中值滤波算法设计

在火灾烟雾环境下采集的图像，不可避免的会产生噪声，严重影响行人密度检测的检测效果，本系统使用中值滤波算法<sup>[18-20]</sup>对烟雾图像进行去噪操作。能够有效平滑图像内噪声，保护图像边缘细节不被模糊。其基本原理是以各像素点作为中心点，将该像素及其滤波尺寸内的相邻像素作为滤波模板，计算出该模板内所有像素点灰度值的中值，作为增强后图像对应中心点的灰度值，可消除孤立的噪点，从而让图像中的像素值更平滑达到去除噪声的效果，且具有硬件易实现的优点。因此本文采用中值滤波算法去除噪声，提高后续行人密度检测精度。其伪代码如下所示。

输入 图像  $X$  尺寸为  $m \times n$ ，滤波核尺寸为  $r$

输出 中值滤波处理后的图像  $Y$

- 1) for  $i = r$  to  $m - r$  do
- 2) for  $j = r$  to  $n - r$  do
- 3) 以该点为中心根据滤波核尺寸划定矩阵， $Y(i, j)$  = 划定矩阵中值
- 4) end
- 5) end

为此，在 FPGA 中构建基于 AXI 总线的中值滤波 IP 核如图 5 所示，以太网接收的图像数据流通过 S00\_AXIS 接口进入 IP 核应用中值滤波算法，输出 32 位处理后的流数据。

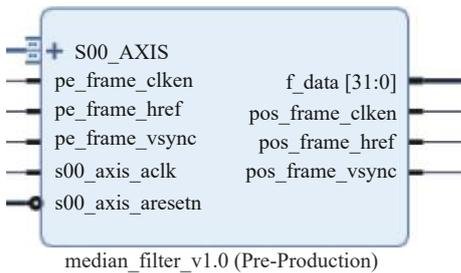


图 5 AXI 总线中值滤波 IP 核  
Fig. 5 AXI bus median filter IP core

#### 3.2 同态滤波算法

在光线比较暗的烟雾环境下，视频图像会出现白色烟雾和低对比度的问题。为了解决光度补偿问题，恢复图像颜色、纹理等细节，使其更适合进行行人检测任务，本系统采用同态滤波算法<sup>[21-23]</sup>，能够在频域中同时进行对比度增强和压缩图像动态范围的滤波。根据光照反射模型，图像可用式

(1) 描述:

$$f(x,y) = R(x,y) \times L(x,y) \quad (1)$$

把图像  $f(x,y)$  由看作光照分量  $L(x,y)$  和反射分量  $R(x,y)$  的乘积，其中光照分量在空间内变化非常缓慢，对应图像频域的低频段；反射分量反映的是图像的细节边缘特性，对应图像频域的高频段。因此在减少光照分量的同时增加反射分量，能够有效地消除图像光照不均的影响，实现图像灰度范围的调整。具体算法过程如图 6 及式 (2)~(7) 所示。

$$\ln(f(x,y)) = \ln(R(x,y)) + \ln(L(x,y)) \quad (2)$$

$$Z(u,v) = \text{DFT}(R(u,v)) + \text{DFT}(L(u,v)) \quad (3)$$

$$S(u,v) = H(u,v) \times Z(u,v) \quad (4)$$

$$s(x,y) = \text{IDFT}(S(u,v)) \quad (5)$$

$$g(x,y) = \exp s(x,y) = l(x,y) + r(x,y) \quad (6)$$

$$H(u,v) = (R_h - R_l) \left[ 1 - e^{-\left(\frac{D(u,v)}{D_0}\right)^2} \right] + R_l \quad (7)$$

式中： $R_h$ 代表高频加权系数； $R_l$ 代表低频加权系数， $D(u,v)$ 代表频率 $(u,v)$ 距离滤波器中心的距离； $D_0$ 代表 $u_0$ 和 $v_0$ 为 0 时 $D(u,v)$ 的值，代表截止频率。

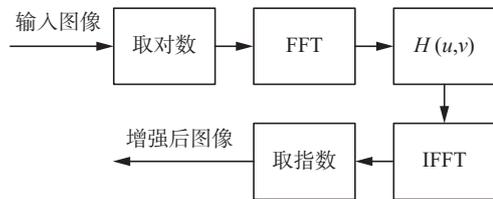


图 6 同态滤波算法 IP 核  
Fig. 6 IP core of homomorphic filtering algorithm

为此，在 FPGA 中构建基于 AXI 总线数据流的同态滤波算法 IP 核如图 7 所示。中值滤波 IP 核输出的 32 位数据由  $fin\_data$  输入到同态滤波 IP 核中进行图像对比度增强，同态滤波 IP 核输出的视频流数据通过 DMA 进行 DDR3 缓存。

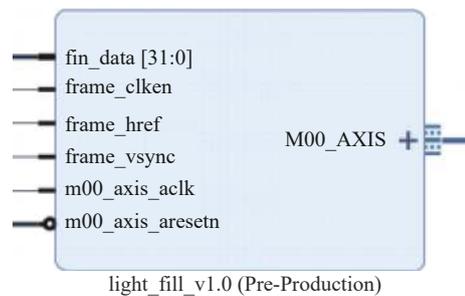


图 7 同态滤波处理流程  
Fig. 7 Homomorphic filtering processing flow

#### 3.3 行人检测算法

行人检测算法采用 RFBNet 模型<sup>[9]</sup>，该模型

采用轻量级特征提取网络, 并且采用 one-stage 检测策略。其特点是轻量级, 网络结构简单, 参数量较少, 运行速度快, 适合部署到边缘设备中, 例如树莓派等微型电脑中。并且能够保证检测的实时性以及较高的检测准确率。RFBNet 模型<sup>[9]</sup>原用于多目标检测, 本文将模型用 PASCAL VOC2007 行人数据集进行重新训练, 专用于行人

检测。

RFBNet 采用改进的轻量级 VGG16 神经网络用于特征提取, 并通过在检测头增加 RFB 模块, 实现了可在多特征层同时检测的功能。其中每层都可预测  $4(\text{box}) + 1(\text{class\_num})$  数量的结果, 将检测结果进行整合操作, 输出最终的检测结果。RFBNet 整体网络结构如图 8 所示。

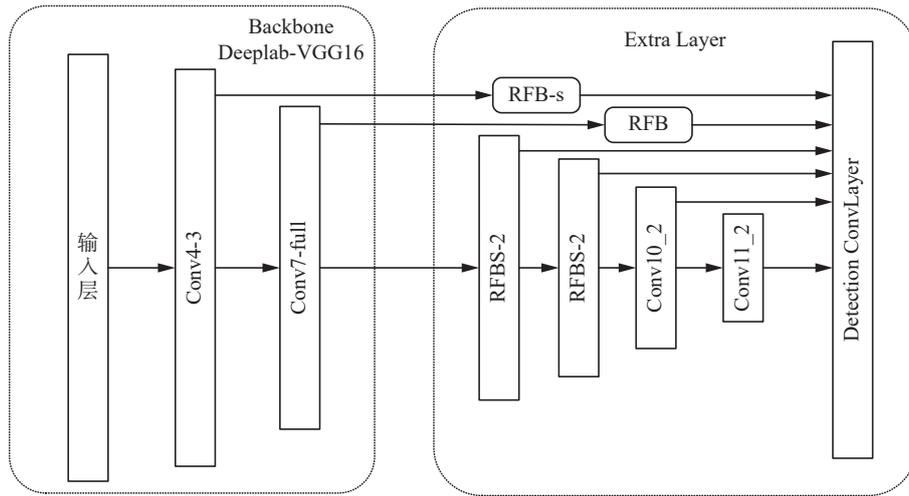
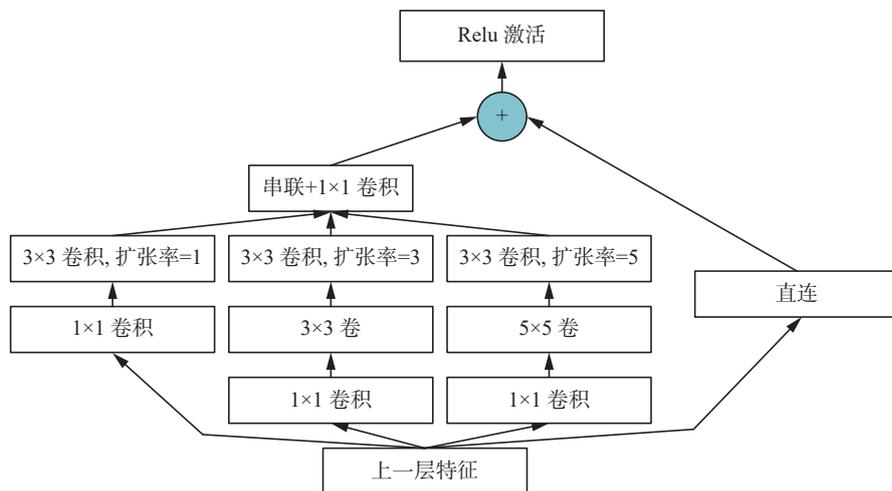


图 8 RFBNet 网络结构

Fig. 8 RFBNet network structure

RFBNet<sup>[9]</sup> 检测模型为达到在基于轻量级特征提取网络的前提下, 达到速度及精度的平衡的目的, 设计了借鉴人类视觉的 RFB 模块, 该模块是一种多分支的结构, 其主要包括常规卷积及膨胀卷积两部分。这种精心设计的 RFB 模块通过结合不同的卷积分支、卷积尺寸、扩张卷积结构来模拟人类视觉系统中的感受野结构, 在参数量相近的情况下扩大感受野, 以解决图像中检测目标

大小尺寸不一难以检测的问题。这种多尺度的思想十分有利于提高检测性能, 其检测效果远超同级别的轻量级网络, 甚至可以超过部分参数量巨大的深层网络。在该检测模型中共设计两种不同的 RFB (receptive fields block) 结构分别为 RFB 和 RFB-s, 可以从不同深度的特征层进行检测。进一步提高检测效果。具体结构如图 9 所示。



(a) RFB 结构

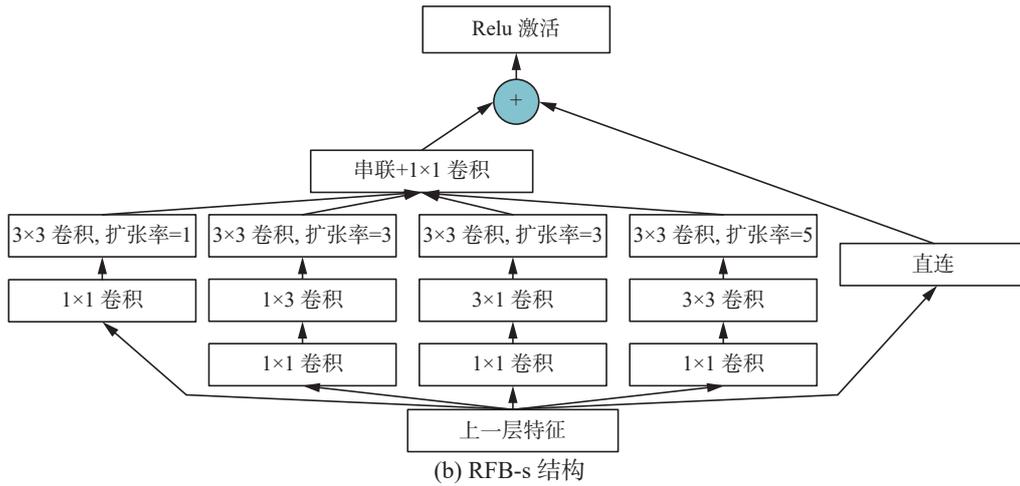


图 9 RFB 及 RFB-s 结构

Fig. 9 RFB and RFB-s structure

### 4 系统测试与分析

#### 4.1 中值滤波算法仿真分析

测试时使用的测试数据为分别为 {99,138,30}、{138,30,69}、{30,69,108} 根据中值滤波算法可求得中值为 70, 具体内容如图 10 红色标记部分。图中红色圈所指示, 模块输出的中值是 69, 与仿真实验计算结果相同, 中值滤波 IP 核时序正确, 完成算法设计功能。

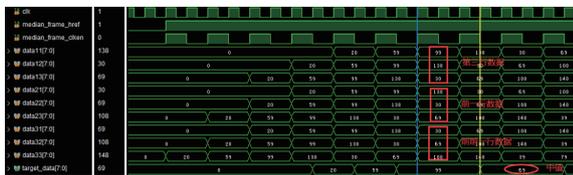


图 10 中值滤波算法仿真图

Fig. 10 Simulation diagram of median filtering algorithm

#### 4.2 同态滤波算法

同态滤波的处理效果取决于滤波函数的选择及参数的设定, 恰当的数据设定能够在压缩削弱光照分量的同时增强提升反射分量, 增强图像的对比度, 本系统经反复实验确定滤波函数采用高斯高通滤波函数, 式 (7) 中参数设置为  $R_h=2.5$ ,  $R_l=0.6$ ,  $D_0=6$ 。图像经算法测试后的对比结果图如图 11 所示。

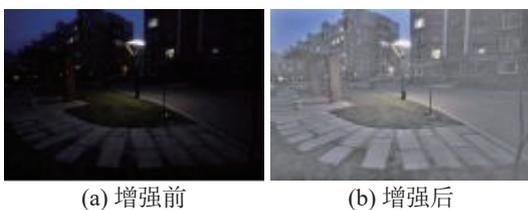


图 11 同态滤波算法测试结果

Fig. 11 Test results of homomorphic filtering algorithm

从图 11 中可以看出应用该算法 IP 后能够明显提升图片中物体的整体亮度, 恢复图片中物体的颜色、纹理、轮廓等细节。以便后续行人检测算法能够准确检测人流量。

#### 4.3 行人检测算法

本算法从 PASCAL VOC2007 数据集中单独挑选出包含行人的图片及标注, 作为数据集并进行训练。由于神经网络对训练数据要求较高, 数据集规模越大, 包含的目标样本越丰富, 模型的泛化能力及鲁棒性越强。所以本文在训练时对输入的图像进行了数据扩增操作, 通过随机裁剪、水平翻转、区域随机采样等操作增加了训练数据。在训练时模型参数设置如下: epoch 为 200, batch size 为 24, 图像的输入尺寸为 320, IoU 阈值为 0.5。学习率为 0.01, 迭代次数为 200, 使用 SGD 优化器。

本文使用通用的 P-R 曲线图绘制检测结果图, 即 Recall 值为 0, 0.1, ..., 1.0 情况下的 Precision 值, 其中 Recall 为召回率即查全率, Precision 为准确率。通过设置不同的置信度阈值来得到 P-R 曲线图。实验结果如图 12 所示。

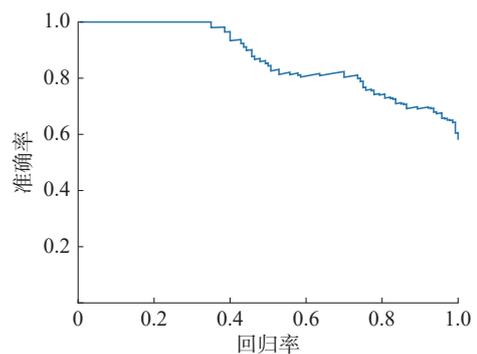


图 12 P-R 曲线图

Fig. 12 P-R curve diagram

从图中可以观察到, P-R 曲线呈递减趋势, P-R 曲线下的面积即为检测的 AP 值, 具体公式为

$$AP_i = \sum_{j=1}^{n-1} (R_{j+1} - R_j) \times P_{(r_{j+1})}$$

式中:  $R_j$  为上述提到的阈值 (0, 0.1, ..., 1.0) 对应得到的所有回归率,  $j=0, 1, \dots, 10$ 。  $P_{(r_{j+1})}$  为  $(r_j + 1)$  对应的准确率。  $P$ 、 $R$  公式为

$$P = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$R = \frac{TP}{TP + FN}$$

式中: TP 为正确检测出来的数量, FP 是检测错误的数量, FN 是未检测出的数量。

在目标检测领域中使用 mAP 作为评测标准,

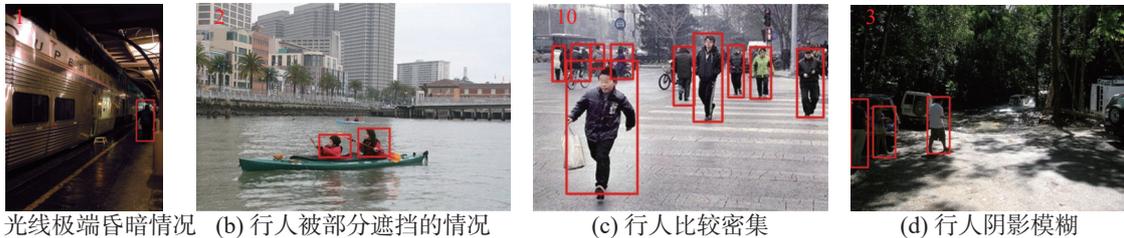


图 13 行人检测极端情况测试图

Fig. 13 Pedestrian detection extreme case test chart

## 5 结束语

本文实现了高层建筑火灾智能报警及逃生指导系统的设计与搭建工作, 通过多个 TXW8301 WiFi 模块实现各楼层节点模块组网, 一旦建筑内某一区域发生火情, 激光烟雾火灾探测器发出信号立即激活建筑内布控的所有终端节点, 各楼层自动启动 WT588D 语音单片机语音播报具体的火灾地点以及逃生路线, 智能引导各区域人群逃生。同时, 通过 FPGA 开发板对烟雾监控视频进行去烟补光、去噪处理, 并基于深度学习算法对各逃生通道进行行人密度检测, 系统界面实时显示火灾报警情况及安全通道的人群密度等监测情况, 方便进行智能救援指挥, 可最大限度地降低火灾中的人员伤亡。

## 参考文献:

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 火灾自动报警系统设计规范: GB 50116—2013[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [2] 中华人民共和国公安部. 高层民用建筑设计防火规范: GB 50045—95[S]. 北京: 中国计划出版社, 2005.
- [3] 刘明岩, 常宁. 基于 ZigBee 和 GPRS 全无线火灾自动报警系统设计 [J]. 消防科学与技术, 2015, 34(5): 603—606.
- [4] 郭冰陶, 刘珊, 刘强, 等. 基于多传感器数据融合的智能火灾监控系统设计 [J]. 自动化与仪表, 2016, 31(2): 29—32.
- [5] 张天佑. 高层建筑火灾自动报警系统设计 [J]. 高等教育, 2018, 27(5): 143—147.
- [6] 杨雷, 唐瑞尹, 王兴朝. 中值滤波在噪声图像匹配中的应用 [J]. 现代计算机, 2021(17): 135—139.
- [7] 周佐, 张静. 基于同态滤波与直方图均衡的沙尘图像增强研究 [J]. 信息与电脑(理论版), 2020, 32(23): 61—64.

代表各类目标 AP 值的平均值。由于在行人检测任务中只有行人一类目标, 所以 AP 值与 mAP 值相等, 在 PASCAL VOC2007 val<sup>[23]</sup> 验证集中计算得 mAP 值为 87.02%。准确率完全满足行人检测任务在系统中的实际应用需求。原模型用于目标检测, 我们根据所筛选的行人数据集进行训练及测试, 对模型进行了应用创新, 达到了预期要求。

在实验测试中, 我们对光线暗、行人被部分遮挡、行人密集、行人抖动模糊等各种特殊情况进行了测试, 最终得到的检测结果如图 13 所示。在各种极端恶劣的条件下检测效果依然较好, 这说明模型的泛化能力较强。

- ZHOU Zuo, ZHANG Jing. Research on enhancement of dust image based on homomorphic filtering and histogram equalization[J]. *China computer & communication*, 2020, 32(23): 61–64.
- [8] 赵春丽, 董静薇, 徐博, 等. 融合直方图均衡化与同态滤波的雾天图像增强算法研究 [J]. *哈尔滨理工大学学报*, 2019, 24(6): 93–97.
- ZHAO Chunli, DONG Jingwei, XU Bo, et al. Research on finger-image enhancement algorithm based on fusion histogram equalization and homomorphic filtering[J]. *Journal of Harbin University of Science and Technology*, 2019, 24(6): 93–97.
- [9] 韩亮. 复杂光照下图像去雾算法的研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2020.
- HAN Liang. Research on image defogging algorithm under complex lighting[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2020.
- [10] 朱海辉. 夜间视频增强算法研究及硬件设计 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2017.
- ZHU Haihui. The research on night video enhancement algorithm and hardware design[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2017.
- [11] LIU Songtao, HUANG Di, WANG Yunhong. Receptive field block net for accurate and fast object detection [C]//European Conference on Computer Vision. Cham: Springer, 2018: 404–419.
- [12] 黎国斌, 张剑, 林向会, 等. 基于改进的 RFBNet 行人检测算法 [J]. *智能计算机与应用*, 2021, 11(6): 173–177.
- LI Guobin, ZHANG Jian, LIN Xianghui, et al. Based on the improved RFBNet pedestrian detection algorithm[J]. *Intelligent computer and applications*, 2021, 11(6): 173–177.
- [13] 李佐龙, 王帮海, 卢增. 多尺度特征融合重建的行人检测方法 [J]. *计算机工程与应用*, 2021, 57(4): 176–182.
- LI Zuolong, WANG Banghai, LU Zeng. Pedestrian detection method based on multi-scale feature fusion and reconstruction[J]. *Computer engineering and applications*, 2021, 57(4): 176–182.
- [14] 李昕昕, 杨林. 面向复杂道路场景小尺度行人的实时检测算法 [J]. *计算机工程与应用*, 2020, 56(22): 124–131.
- LI Xinxin, YANG Lin. Real-time detection algorithm for small-scale pedestrians in complex road scenes[J]. *Computer engineering and applications*, 2020, 56(22): 124–131.
- [15] 王超, 王腾, 马翔, 等. 基于 FPGA 的机器学习硬件加速研究进展 [J]. *计算机学报*, 2020, 43(6): 1161–1182.
- WANG Chao, WANG Teng, MA Xiang, et al. Research progress on FPGA-based machine learning hardware acceleration[J]. *Chinese journal of computers*, 2020, 43(6): 1161–1182.
- [16] 刘焰强, 戚正伟, 管海兵. FPGA 加速系统开发工具设计: 综述与实践 [J]. *软件学报*, 2020, 31(10): 3087–3099.
- LIU Yanqiang, QI Zhengwei, GUAN Haibing. FPGA acceleration system development tools: survey and practice[J]. *Journal of software*, 2020, 31(10): 3087–3099.
- [17] 王涌, 肖顺文, 郑瑞, 等. 基于 FPGA 的实时图像采集与显示系统设计 [J]. *西华师范大学学报(自然科学版)*, 2020, 41(2): 221–226.
- WANG Yong, XIAO Shunwen, ZHENG Rui, et al. Design of real-time image acquisition and display system based on FPGA[J]. *Journal of China west normal university (natural sciences edition)*, 2020, 41(2): 221–226.
- [18] 张小刚, 唐美玲, 陈华, 等. 一种结合双区域滤波和图像融合的单幅图像去雾算法 [J]. *自动化学报*, 2014, 40(8): 1733–1739.
- ZHANG Xiaogang, TANG Meiling, CHEN Hua, et al. A dehazing method in single image based on double-area filter and image fusion[J]. *Acta automatica sinica*, 2014, 40(8): 1733–1739.
- [19] 高全明, 孙俊喜, 刘广文, 等. 基于 FPGA 的交通视频快速去雾系统的设计与实现 [J]. *电子技术应用*, 2017, 43(6): 71–74.
- GAO Quanming, SUN Junxi, LIU Guangwen, et al. Design and implementation on the system of high speed fog removal in traffic video images based on FPGA[J]. *Application of electronic technique*, 2017, 43(6): 71–74.
- [20] 韩团军. 快速中值滤波算法研究及其 FPGA 硬件实现 [J]. *电子器件*, 2017, 40(3): 697–701.
- HAN Tuanjun. Research of fast median filtering algorithm and hardware implementation based on FPGA[J]. *Chinese journal of electron devices*, 2017, 40(3): 697–701.
- [21] 刘佳敏, 何宁. 基于改进同态滤波的低对比度图像增强 [J]. *计算机应用与软件*, 2020, 37(3): 220–224.
- LIU Jiamin, HE Ning. Low contrast image enhancement based on improved homomorphic filtering[J]. *Computer applications and software*, 2020, 37(3): 220–224.
- [22] 蔡秀梅, 马今璐, 吴成茂, 等. 基于模糊同态滤波的彩色图像增强算法 [J]. *计算机仿真*, 2020, 37(6): 342–346.
- CAI Xiumei, MA Jinlu, WU Chengmao, et al. Color image enhancement algorithm based on fuzzy homomorphic filtering[J]. *Computer simulation*, 2020, 37(6):

342-346.

- [23] EVERINGHAM M, VAN GOOL L, WILLIAMS C K I, et al. The pascal visual object classes (VOC) challenge [J]. *International journal of computer vision*, 2010, 88(2): 303-338.

#### 作者简介:



毕晓君,教授,博士生导师,主要研究方向为智能信息处理技术、数字图像处理、机器学习。主持国家重点研发计划项目、国家社科基金重大项目等国家级、省部级项目6项。获高等学校科学技术进步一等奖1项、省部级科学技术奖7项。发表学术论文170余篇。



孙梓玮,硕士研究生,主要研究方向为目标检测、图像增强。



刘进,硕士研究生,主要研究方向为深度学习算法在边缘设备上的优化部署。

## 2022年吴文俊人工智能科学技术奖提名

为激励和表彰在人工智能科学研究、技术开发与创新、科技成果推广应用和产业化等方面做出突出贡献的单位和个人,中国人工智能学会经研究决定开展2022年度“吴文俊人工智能科学技术奖”提名工作。

### 一、提名奖项

1. 吴文俊人工智能最高成就奖;
2. 吴文俊人工智能杰出贡献奖;
3. 吴文俊人工智能自然科学奖;
4. 吴文俊人工智能技术发明奖;
5. 吴文俊人工智能科技进步奖(含科普项目和企业技术创新工程项目);
6. 吴文俊人工智能优秀青年奖;
7. 吴文俊人工智能专项奖(芯片项目);
8. 吴文俊人工智能优秀博士学位论文奖。

### 二、提名工作时间安排

接收项目申报:5月23日至8月25日

申报材料形式审查:8月25日至9月20日

初审函评:9月下旬至10月中旬

初审会评并公示:10月中旬至11月上旬

终评会评:11月中旬至11月下旬

终审结果公示:12月上旬

举办颁奖典礼:12月底

详情请关注:

中国人工智能学会官网:<http://caai.cn>