

# 基于卷积神经网络的红外监测系统设计

焦 翔<sup>1</sup>,赵文策<sup>2</sup>,蒯 亮<sup>1</sup>,周 淦<sup>1</sup>,白永强<sup>2</sup>,任彦程<sup>2</sup>

(1.中国电子信息产业集团有限公司第六研究所,北京 102209;2.太原卫星发射中心,山西 太原 030027)

**摘要:**为了部队后勤物资有效、方便、统一管理,研究设计了一种用于监测物品在位状态的告警监测系统。该系统利用树莓派主板采集红外传感器检测物品在位状态的电平信号以及摄像头拍摄物品的图像数据,并将其转化为通用数据帧,通过指定源组播的方式发送至数据处理模块,最后使用基于卷积神经网络的图像识别算法判断物品的正确性,并在监测模块界面上实时显示其状态。经验证,该系统可以保证数据采集的实时性以及识别物品的准确性,实用性强。

**关键词:**树莓派;红外检测;状态监测;图像识别;卷积神经网络

中图分类号: TN215;P315.69

文献标志码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.222979

中文引用格式:焦翔,赵文策,蒯亮,等.基于卷积神经网络的红外监测系统设计[J].电子技术应用,2023,49(4):83-87.

英文引用格式: Jiao Xiang, Zhao Wence, Kuai Liang, et al. Design of infrared monitoring system based on convolutional neural network[J]. Application of Electronic Technique, 2023, 49(4):83-87.

## Design of infrared monitoring system based on convolutional neural network

Jiao Xiang<sup>1</sup>, Zhao Wence<sup>2</sup>, Kuai Liang<sup>1</sup>, Zhou Gan<sup>1</sup>, Bai Yongqiang<sup>2</sup>, Ren Yancheng<sup>2</sup>

(1.The Sixth Research Institute of China Electronics Corporation, Beijing 102209, China;

2.Taiyuan Satellite Launch Center, Taiyuan 030027, China)

**Abstract:** For the effective, convenient and unified management of materials about military logistics, this paper studies and designs a monitoring system for monitoring the presence of items. The system uses the motherboard of Raspberry Pi to collect the level signal of the infrared sensor about the presence of the items and the images taken by camera of the items. Then it converts the data into the general data frame, and sends the frame to the data processing module through the source-specific multicast. Finally, the image recognition based on the convolutional neural network is used to judge the correctness of the item, and display its status in real time through the monitoring interface. It has been verified that the system can ensure the real time of data acquisition and the accuracy of identifying items. It has strong practicability.

**Key words:** Raspberry Pi; infrared detection; condition monitoring; image recognition; convolutional neural network

## 0 引言

随着信息技术的不断发展,智能化的概念开始逐渐渗透到各行各业以及我们生活中的方方面面。其中,在部队后勤方面,智能化的物资管理能够有效地提高后勤保障工作,减小管理人员的管理成本,因此建设一套能实现实时化、智能化、可视化的监测系统具有重要的理论意义和实际应用价值。鉴于此,本文以部队后勤物资管理为背景,提出了一种基于卷积神经网络的红外监测系统,实时监测物品状态。该系统以树莓派作为主控制系统集成了多种元器件,并将采集的数据进行数据处理,最后将结果可视化,同时具有查询、预警等功能。该软件系统运行在国产银河麒麟操作系统、国产飞腾芯片

处理器上,满足了核心领域高信息安全、高自主可信的服务需求。由于YOLOv5网络模型检测精度较高、速度快,因此该系统采用它进行目标检测。

## 1 相关概念

### (1) 指定源组播

指定源组播(Source-Specific Multicast, SSM)是一种组播服务模型,是在一个发送者和多个接收者之间进行通信的方法。在SSM中,组播接收者在加入组播组时可以指定接收或者拒绝来自特定组播源的组播流量,即匹配上了源地址才接收组播流量,否则丢弃流量。SSM实现了路由协议的简化,使组播传输的稳定性以及安全性得到了增强。并且在实施SSM业务时,除了要求网络

端支持网络组播外,还要求网络和应用支持 IGMPv3 协议<sup>[1]</sup>。因此 SSM 特别适合于点到多点的组播服务,例如网络娱乐频道、网络新闻频道等。

### (2) 红外探测

随着红外探测技术的发展,该技术的应用范围也得到了充分拓展,尤其是在农业、医疗、军事等领域得到了有效的实践应用。红外探测主要是目标探测,利用不同种类物体发射出的红外光波段实现对物体目标的探测与跟踪。该技术的核心是红外传感器,利用传感器搭建红外传感信息采集电路,探测出不可见的红外辐射光,并将其转换为可测量的信号,从而实现信号采集。红外传感器可用于各种自动检测、自动报警和自动控制等装置中<sup>[2-3]</sup>。

### (3) 卷积神经网络

卷积神经网络 (Convolutional Neural Network, CNN) 是一种特殊的深层前馈网络,可以处理图像以及一切可以转化成类似图像结构的数据,主要包括输入层、卷积层、池化层、全连接层和输出层。在卷积神经网络中,由输入层输入的图像通过多个卷积层和池化层进行特征提取,逐步由低层特征变为高层特征;再经过全连接层和输出层进行特征分类,产生一维向量,表示当前输入图像的类别<sup>[4-7]</sup>。目前在图像识别中,解决目标检测问题比较好的模型是 YOLO。其中 YOLOv5 是 YOLO 系列最新的算法,主要分为输入端、Backbone、Neck、Prediction 四部分。其中,输入层包括 Mosaic 数据增强、自适应锚框计算、自适应图片缩放三部分,主要功能是通过多种方式做数据增强,扩充数据集,增强泛化能力;Backbone 层主要是由 Focus 和 CSP 两种结构组成,用于在不同图像细粒度上提取图像特征;Neck 层采用 FPN+PAN 结构,使网络对特征的融合能力得到加强,保留了更丰富的特征信息;Prediction 层通过 Bounding box 损失函数和非极大值抑制处理生成带有类概率、目标得分和包围框的输出向量,得到预测结果。YOLOv5 包括 4 个目标检测网络,分别是 YOLOv5s、YOLOv5m、YOLOv5l、YOLOv5x。它们按照其所含的残差结构的个数依次增多,网络的特征提取、融合能力不断加强,检测精度得到提高,但相应的时间花费也在增加<sup>[8-10]</sup>,其结构差异对比见表 1。

表 1 YOLOv5 网络结构差异

网络结构	残差组件数	卷积核数
YOLOv5s	12	992
YOLOv5m	24	1 488
YOLOv5l	36	1 984
YOLOv5x	48	2 480

## 2 系统架构设计

该系统以平台化、层次化、模块化为原则进行设计,

包括硬件模块和软件模块两部分。系统架构图如图 1 所示,硬件模块主要负责集成红外传感器和摄像头到树莓派采集设备上,其中红外传感器是将红外对管等多种元器件集成到电路板上形成的。树莓派采集电平信号以及图片数据,并发送到软件模块。软件模块是基于国产麒麟操作系统和飞腾芯片<sup>[11]</sup>,采用 Qt 框架开发,包括数据获取层、数据存储层、数据处理层、数据应用层。数据获取层基于树莓派接口驱动采集红外以及摄像头数据,然后将红外信号和图片按照通用帧格式重组数据发送至其他层;数据存储层将采集到的在位状态以及图片保存至数据库;数据处理层将实时采集的图片输入 YOLOv5 训练完成的预测模型,检测物品的准确性;数据应用层用来可视化物品的状态并预警,同时可以查询物品的历史状态信息。

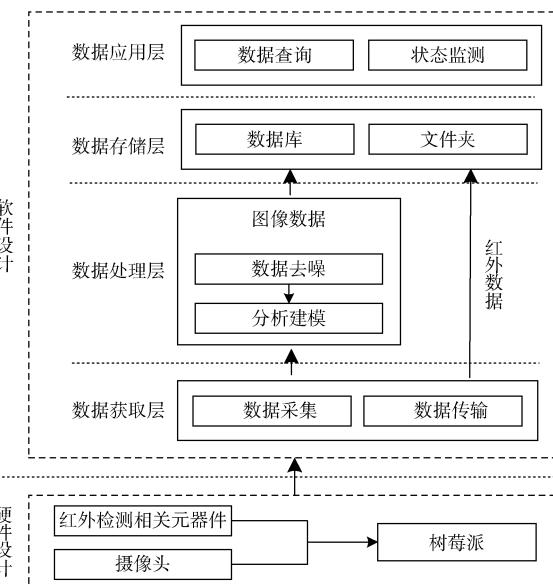


图 1 系统架构设计图

## 3 硬件设计

本系统在硬件设计部分主要包括红外传感器模块、摄像头模块和树莓派模块。树莓派模块负责采集红外传感器的高低电平信号以及摄像头拍摄的图片信息。红外传感器用于检测规定范围内是否有物品,若有物品则开启摄像头以获取图片。通过红外传感器信号控制摄像头的开启可以减少无用信息,大大节省了存储空间。

### 3.1 红外传感器模块

红外传感器主要是元器件把多路信号采集集成在一块电路板上,根据红外对管的发射与接收原理,输出高低电平信号表示是否有物体遮挡红外光。红外传感器简单电路设计如图 2 所示。

图 2 中,D1 为红外线发射管、D2 为光敏接收管,D3 为发光二极管。当有物品遮挡在 D1、D2 之间时,D2 接

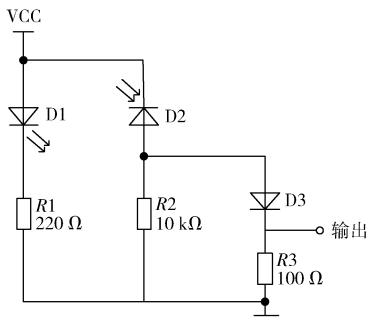


图2 一路红外信号采集电路图

收不到 D1 发出的红外光, D2 电阻值很大,D2 到 D3 的链路不导通或虽然导通但链路电流很小,D3 不亮,此时输出为低电平信号;否则 D3 点亮,输出为高电平信号。“输出”口连接树莓派采集设备。

### 3.2 树莓派模块

树莓派是一款基于 ARM 架构的微型电脑主板,体积微小,功能强大,具有性价比高、功耗低、扩展性高和易开发等优点,作为电路板设计平台,十分适合作为本系统的硬件开发平台。其运算速度和准确度等性能指标完全能够满足检测物品在位要求<sup>[12]</sup>。本系统采用的是树莓派 4B。其搭载了 4 核 ARM Cortex-A72 处理器,运行内存为 2 GB,主频为 1.5 GHz,带有 CSI 摄像头接口、DSI(显示屏)排线接口、千兆以太网端口等。树莓派的通用输入输出(GPIO)接口使用广泛,可以连接各种电子设备、电路模块、电子元件及多种类型传感器。本系统 GPIO 接口引脚用于程序中读取红外检测电路中的电信号,CSI 接口连接摄像头通过程序驱动获取图片数据,实现实时采集。

### 3.3 摄像头模块

摄像头采用树莓派 CSI 接口标准版摄像头,支持 1080p30、720p60 和 640×480p60/90 摄像。本系统基于树莓派操作系统,安装摄像头相关驱动,并设置其拍照参数,保证采集图片的实时性和清晰性。

## 4 软件设计

本系统软件模块主要包括数据获取层、数据存储层、数据处理层、数据应用层,数据通过每层的处理达到监测物品状态的目的,具体流程如图 3 所示。

### 4.1 数据获取层

数据获取层主要包括数据采集和数据传输两个功能模块,为了提升效率,通过两个线程处理。

数据采集线程通过树莓派 GPIO 接口获取红外传感器的电平信号,并转化成 0、1 表示状态。其中,0 表示低电平信号,红外对管之间有遮挡物;1 表示高电平信号,红外对管之间无遮挡物。当采集到低电平信号时,发送指令,控制摄像头打开并拍摄该位置物品,然后将 0、1 状态以及图像发送到数据传输线程。

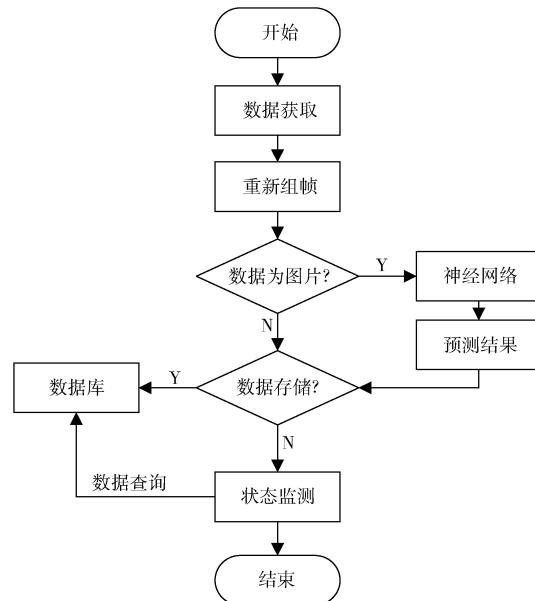


图3 软件系统流程图

数据传输线程将红外和图像数据重新组帧,通过指定源组播的通信方式发送到其他 3 层进行处理。本系统为了方便处理数据,规定了一种通用数据帧,可以将异构数据统一成相同格式的数据帧,数据帧格式如表 2 所示。

表2 数据帧格式

标识	时间	红外信号长度	图像数据长度	有效数据
2 B	4 B	1 B	4 B	N B

(1) 标识:标识数据类型。0 表示检测到物体,1 表示没有检测到物体。

(2) 时间:组帧的当前时间。

(3) 长度:通用帧的总长度。

(4) 红外信号长度:电平信号的字节数。

(5) 图像数据长度:图片数据的字节数。

(6) 有效数据:包括红外信号数据和图像数据。若红外信号长度和图像数据长度之和不等于有效数据长度,则该数据帧为错帧。

### 4.2 数据处理层

数据处理层解析数据获取层发送的通用帧。如果标识为 1,则将数据发送到数据存储层和数据应用层存储和显示当前物体的状态;如果标识为 0,则解析有效数据取出图片,通过 YOLOv5l 网络得到的训练模型识别图片中物品的正确性,并将识别结果和红外数据综合判断结果发送到数据应用层进行显示,将原始数据和结果发送到数据存储层。

#### 4.2.1 图像数据预处理

由于物体放置位置及光照的不同,摄像机捕捉的图

片会出现不完整或者因光照产生色差等情况,因此为了提高训练模型的鲁棒性以及泛化能力,使用 Albumentation 和 Mosic 数据增强工具对样本数据进行扩充。根据应用场景选择以下方法增加训练数据:

(1) 对单个样本进行随机放射变换(包括平移、缩放、旋转):

```
ShiftScaleRotate(shift_limit=0.0625, scale_limit=0.1,
rotate_limit=45, interpolation=1, border_mode=4, p=0.7)
```

(2) 对单个样本随机裁剪并翻转:

```
Compose([RandomCrop(width=150, height=150, p=1),
HorizontalFlip(p=0.7)], p=0.7)
```

(3) 对单个样本随机改变亮度并做模糊处理:

```
Compose([RandomBrightness(limit=0.7, p=0.7), RandomFog(fog_coef_lower=0.4, fog_coef_upper=1, alfa_coef=0.09, p=0.7)], p=0.7)
```

(4) 利用 YOLOv5 的 Mosic 方法,通过矩阵的方式截取四张图片固定区域,将它们拼接起来形成一张新的图片,有助于模型学习小目标。

经过数据增强处理后的图片如图 4 所示。处理后得到了 3 000 张样本图片,然后将每一张图片进行归一化处理,分辨率统一规格为  $416 \times 416$ 。随后使用 labelImg 数据标注工具对图片进行标注,标注种类为一类,名称为 gun,最后导出为 YOLOv5 可以识别的 txt 文件,文件名和图片名保持一致<sup>[13]</sup>。



图 4 数据增强结果

#### 4.2.2 神经网络训练与检测

为提高训练效率,将处理好的数据集选用 PyTorch 框架、YOLOv5l 模型进行训练,运行环境为: Intel(R) Core(TM) i7-10870H CPU, NVIDIA GeForce RTX 3060 Laptop GPU, 显存为 6 GB, 加速环境为 CUDA11.3, Windows10 64-bit 操作系统, 使用 Python 语言开发。

在训练阶段,参数设置如下:batch-size=3;最大迭代

次数 epochs=300; 图像权重 image\_weights 设置为 true; 因为只有一个类别, single-cls 设置为 true; 优化器使用 SGD; 初始学习率 lr0 设置为 0.01; 余弦函数动态降低学习率 lrf 设置为 0.12。在训练过程中,通过损失值、精确率、召回率等作为结果判断依据。精确率是预测正确的正样本个数占所有模型预测为正样本个数的比例,计算公式如下:

$$P = TP / (TP + FP) \quad (1)$$

其中, TP 表示实例为正类被判定成正类的样本数, FP 表示实例为假类被判定为正类的样本数<sup>[14]</sup>。召回率是预测正确的正样本个数占样本中所有正样本个数的比例,计算公式如下:

$$R = TP / (TP + FN) \quad (2)$$

其中, FN 表示实例为正类被判定为假类的样本数。

训练结束后,结果如图 5 所示,损失值在不断地减少,损失值 < 0.0075, 模型的精确率稳定在 95% 左右, 召回率稳定在 85% 左右, 平均精确率为 90% 左右。

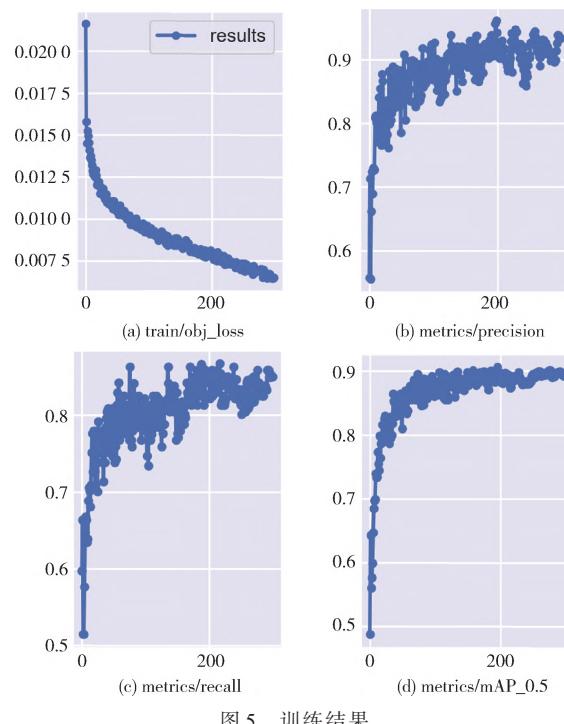


图 5 训练结果

训练好的模型在不同场景下的检测,识别准确率均在 0.9 左右,但是对于特别小的目标以及特征点模糊的目标,识别目标的准确性比较差。在后勤物资管理应用中,已经满足了监测要求。检测效果如图 6 所示。

#### 4.3 数据存储层

数据存储层使用达梦数据库(DM8)存储数据,具有可靠性、高性能、可扩展性等优点,实现了核心数据的自主可信。功能上主要对底层的数据库操作进行封装,对上层模块提供数据库访问接口。本层将数据处理层发



图6 检测结果

送的数据进行存储。对于标识为1的数据，则存储物品所在位置、不在位状态以及数据帧中的时间。对于标识为0的数据，将采集到的原始图片存储在固定文件夹中，数据库中则存储物品所在位置、数据处理层处理后的结果状态、数据帧中时间以及图片的路径。

#### 4.4 数据应用层

数据应用层主要包括数据查询和状态监测两个功能模块。数据查询模块实现查询物资出入库的历史记录、当前在库物资数量，可通过柱状图的方式统计某时间段使用物资的情况；状态监测模块通过折线图以及可视化的形式展示监测结果，方便后勤管理员实时掌握物资的使用状况，以及某个位置的物资是否存在异常，并预警。

#### 5 结论

基于后勤物资保障的应用需求，本文从智能化、信息化、自主化的角度出发，研究了一种物品状态监测系统。自主化方面，本文中软件模块运行在基于飞腾芯片的银河麒麟操作系统上，核心数据存储在达梦数据库中。智能化方面，本文通过红外检测等技术，以及YOLOv5目标检测网络模型对物品进行实时有效的监测。通过对数据集的有效处理以及参数的调整，该算法在一定程度上能解决小数据集在复杂模型上产生的过拟合问题，提高了识别准确率，减少误测的可能性，为后勤管理员提供可靠、高效的物资信息。总之，随着国家政策的引导，军队现代资产管理体系构建越来越现代化、自主化，因此该研究对以后后勤部队的信息化发展具有广

泛的实用价值，在目标检测与识别的实时性方面也具有重要意义。

#### 参考文献

- [1] 崔永强,白永强.基于银河麒麟环境指定源组播的研究与实现[J].电子技术与软件工程,2018(18):32-33.
- [2] 李意,雷志勇,李青松.红外探测技术的应用与发展[J].国外电子测量技术,2018,37(2):80-83.
- [3] 胡铭.浅析单片机的红外测控系统[J].电子制作,2018(24):7-9,49.
- [4] 周飞燕,金林鹏,董军.卷积神经网络研究综述[J].计算机学报,2017,40(6):1229-1251.
- [5] 李旭冬,叶茂,李涛.基于卷积神经网络的目标检测研究综述[J].计算机应用研究,2017,34(10):2881-2886,2891.
- [6] 李彦冬,郝宗波,雷航.卷积神经网络研究综述[J].计算机应用,2016,36(9):2508-2515,2565.
- [7] Xian Zhichao. Survey of image recognition technology based on convolution neural network[C]//2020 4th International Conference on Computer Engineering, Information Science & Application Technology,2020.
- [8] 王慧,蒋朝根.基于深度学习的智能垃圾分拣车系统[J].电子技术应用,2022,48(1):71-75.
- [9] 曾杨吉,刘自红,蔡勇,等.基于YOLOv5的姿态交互球类陪练机器人[J].电子技术应用,2022,48(1):76-79.
- [10] 王婧媛,方健.基于Yolov5的密集场所人数估计方法[J].吉林大学学报(信息科学版),2021,39(6):682-687.
- [11] 卫建芳,张瑞权,喻瑶瑶.基于自主安全的后勤保障指控系统设计与应用[J].电子技术应用,2019,45(7):89-92.
- [12] 安一凡,张辉,曾智辉,等.树莓派在地震观测站智能监控中的应用研究[J].科学技术创新,2021(13):96-99.
- [13] 王淑青,顿伟超,黄剑锋,等.基于YOLOv5的瓷砖表面缺陷检测[J].包装工程,2022(4):1-10.
- [14] 肖曾翔,徐启峰.基于改进卷积神经网络的变电站异物入侵识别[J].科学技术与工程,2022,22(4):1465-1471.

(收稿日期:2022-05-16)

#### 作者简介:

焦翔(1990-),通信作者,男,硕士研究生,工程师,主要研究方向:计算机应用,E-mail:hardyjx@163.com。

赵文策(1979-),男,硕士研究生,高级工程师,主要研究方向:弹道和制导。

蒯亮(1987-),男,硕士研究生,工程师,主要研究方向:计算机技术、指挥控制。



扫码下载电子文档