

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2026.04.023

基于树莓派的计量现场监控系统设计

徐磊, 王琨

(江南大学 机械工程学院, 江苏 无锡 214122)

摘要: 目前计量现场的隐患排查多为人工巡检, 为解决人工效率低下的问题, 设计一种基于树莓派和 YOLOv7 Tiny 的计量现场隐患识别警报系统, 利用 OpenVINO 框架优化模型, 并结合 NCS2 在树莓派上进行监控系统的高效部署, 实现对计量现场潜在安全隐患的监控。此外, 该系统采用 Socket 编程技术, 结合 TCP 和 UDP 协议, 确保警报信息的准确传输和视频流的实时播放。通过实验验证, 此系统在实现快速响应和处理计量现场潜在风险方面展现了出色的性能和应用潜力。

关键词: 树莓派; 隐患识别; 目标检测; OpenVINO

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5276(2026)04-0122-04

Design of a Measurement Site Monitoring System Based on Raspberry Pi

Xu Lei, Wang Kun

(School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Currently, hazard detection at measurement sites is mostly conducted through manual inspections, which suffers from low efficiency. To address the issue of low manual efficiency, a hazard identification and alarm system for measurement sites based on Raspberry Pi and YOLOv7 Tiny is designed. The model is optimized using the OpenVINO framework and efficiently deployed on the Raspberry Pi in combination with NCS2 to monitor potential safety hazards at measurement sites. Moreover, the system employs Socket programming techniques, integrating TCP and UDP protocols, to ensure accurate transmission of alarm information and real-time playback of video streams. Experimental validation has demonstrated that the system exhibits excellent performance and application potential in achieving rapid response and handling potential risks at measurement sites.

Keywords: Raspberry Pi; hazard identification; object detection; OpenVINO

0 引言

在计量现场隐患监控中, 计量箱即电表箱的隐患分为箱体内隐患和箱体外隐患两类。表箱外隐患主要是标签和封印缺失问题, 表箱内隐患有飞线、表计封印不全、表计标签缺失等问题。传统的监控系统通常依赖人工巡检和简单的自动化系统, 这既可能会造成人为失误^[1], 也难以满足实时、高效和智能化的需求。随着深度学习技术的快速发展, 利用人工智能进行图像分析和目标检测已成为实现这一目标的有效手段。

文献[2]通过轻量化多目标视觉感知方法, 完成了建筑高大模板位移系统的监控, 但实时采集、响应速度较慢。文献[3]通过 U3D 构建了矿井排水的数字孪生系统, 但对于实时监控的精准度有待提高。文献[4]提出了一种基于 STM32 的环境监测系统, 能够精准地监测环境温度湿度等,

但通过云端服务器数据的传输速度较慢。

为了实现数据传输的精准以及图像实时检测的实时性, 本文设计了一种基于树莓派^[5-7]和 YOLOv7 Tiny^[8-9]的计量现场隐患识别警报系统。通过将监控系统部署在树莓派小车上, 控制小车对计量现场各类隐患因素进行目标检测以达到隐患监测的目的。

该系统旨在自动化监控计量现场, 利用目标检测技术识别潜在的安全隐患, 通过 OpenVINO 完成目标检测模型和 NCS2 的部署。并通过 Socket^[10] 实时发送警报信息, 通过综合考虑 TCP^[11] 和 UDP^[12] 的传输协议, 既保证了数据传输的精确性, 也保证了视频传输的实时性。本系统通过轻量级的 YOLOv7 Tiny 目标检测模型, 不仅灵活地覆盖更广泛的监控区域, 而且还具有较低的系统部署成本和较高的检测效率。

基金项目: 江苏省科技支撑计划(工业)项目-重点项目(BE2020006-5)

第一作者简介: 徐磊(1996—), 男, 江苏苏州人, 硕士, 研究方向为机器人、目标检测, 790270580@qq.com。

通信作者简介: 王琨(1986—), 女, 湖北黄冈人, 副教授, 博士, 研究方向为仿生机器人, jiangnan_robot@126.com。

1 实验平台搭建

1.1 硬件平台

根据搭建的系统框架,对计量现场隐患监测系统硬件结构进行设计,如图1所示。以STM32和树莓派4B作为主要控制器,STM32单片机连接MPU6050,电机驱动模块以及霍尔编码器。树莓派4B连接高清摄像头和NCS2加速棒。

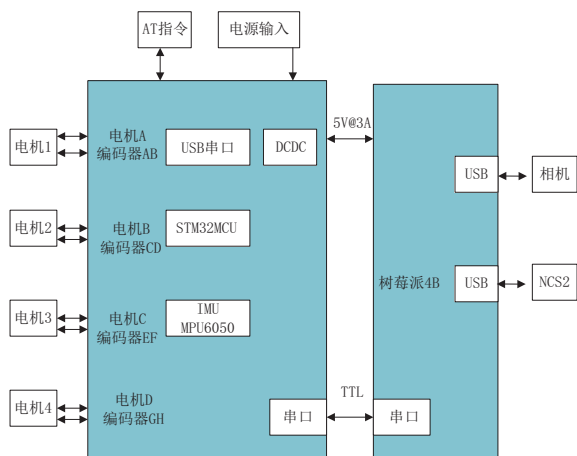


图1 系统硬件结构图

1) 树莓派4B介绍

树莓派4B模板如图2所示。

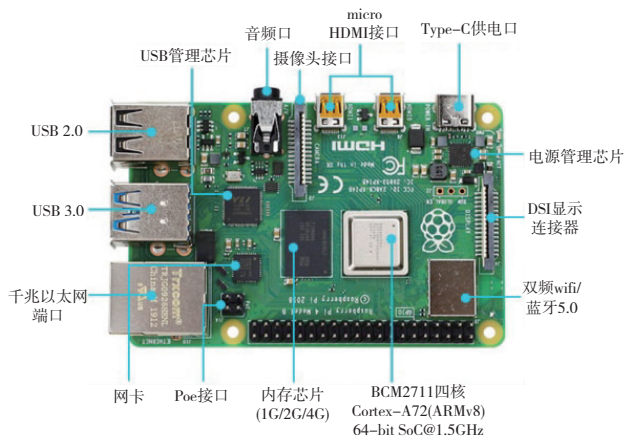


图2 树莓派4B

树莓派4B主要功能包括高性能Cortex-A72 64位四核处理器,2路micro-HDMI端口支持分辨率高达4K像素的双显示屏,高达4Kp60的硬件视频解码,高达4GB的RAM,双频2.4/5.0GHz无线局域网,蓝牙5.0,千兆以太网,USB 3.0和PoE功能。

2) 运动控制器

本文通过STM32微控制器负责执行驱动控

制、摄像头基本控制以及与树莓派的通信。选用STM32F407作为核心控制器。此型号因其效益高、性能稳定、外设支持丰富而被广泛用于各种嵌入式系统和智能控制项目中。

1.2 环境搭建

树莓派作为一个具有强大的计算功能的计算设备,在树莓派上部署目标检测模型之前,需要先配置深度学习环境。

如图3所示为环境搭建的流程图。

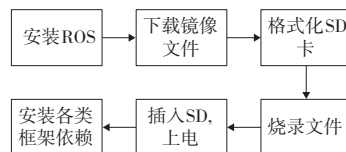


图3 环境搭建流程图

初步的树莓派学习环境搭建完成,然而运行的效果却并不理想。

1.3 基于OpenVINO的目标检测模型部署

本文通过继续安装OpenVINO框架,以及NCS2的驱动安装,加强树莓派的推理能力。OpenVINO能够将训练好的深度学习模型转换和优化,以适配英特尔的硬件架构,提高执行效率和降低延迟。

如图4所示为模型部署的流程图。

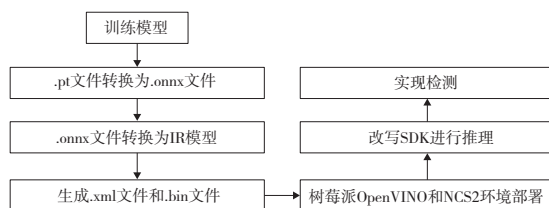


图4 OpenVINO模型部署流程图

为了部署模型,首先需要完成模型的训练并导出为.pt格式的权重文件。通过两次格式转换将文件转换为IR模型,生成.xml文件和.bin文件。完成OpenVINO环境的配置并安装必要的依赖,从而加速移动端目标检测的前向处理,实现目标检测。

2 系统功能开发

2.1 警报系统设计

警报系统的流程如图5所示。

系统的目的是通过目标检测技术,自动监控计量现场的表箱是否存在隐患问题,以确保安全

和合规性。系统使用两阶段的目标检测流程,首先使用训练好的目标检测模型检测图像中的表箱。在成功检测到表箱后,使用另一个训练好的目标检测模型对封印和条形码进行检测。当封印和条形码检测失败时,系统将通过网络发送警报信息至 PC。

发送警报需要通过预先配置的 Socket 通信将警报信息发送至 PC。PC 端需要有相应的接收机制。

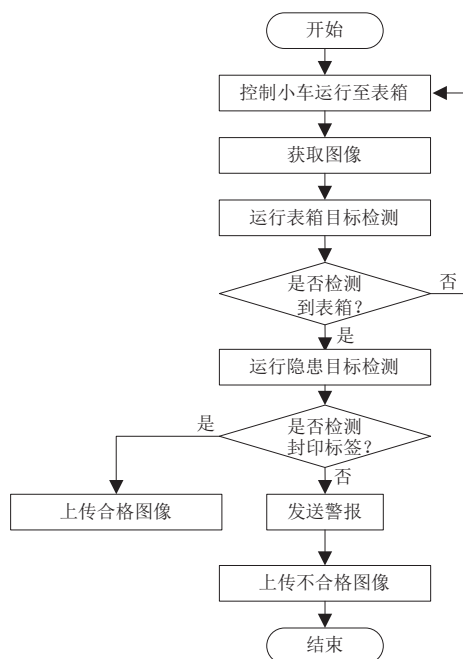


图5 警报系统流程图

2.2 Socket 编程

本文通过 Socket 编程,完成小车与 PC 之间的数据传输。如图 6 所示为 Socket 编程的流程图。

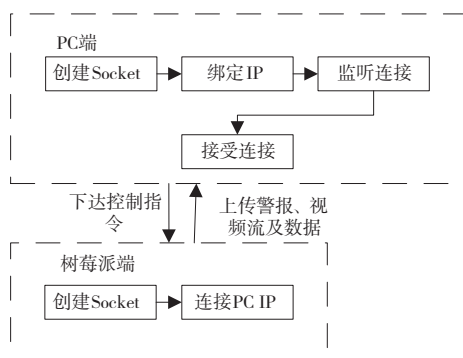


图6 Socket 编程工作流程

服务器端首先创建一个 Socket,指定通信使用的传输层协议,将创建的 Socket 绑定到一个 IP 地址和端口上,监听绑定的端口,等待客户端的连接请求。一旦接收到客户端的连接请求,服务器

就与客户端建立连接,并返回一个新的 Socket 对象,用于服务器与客户端之间的通信。通过建立的连接接收数据和发送小车控制指令。

客户端创建一个 Socket。客户端使用创建的 Socket,通过服务器的 IP 地址和端口号发起连接请求。连接建立后,客户端可以通过 Socket 与服务器发送警报信息、视频流及数据。

2.3 传输协议

本文通过综合考虑使用 TCP 和 UDP。控制指令及警报信息传输采用 TCP 以确保指令的准确执行,而实时视频流则使用 UDP 以降低延迟。

警报系统及小车的控制使用 TCP。TCP 提供可靠的数据传输,确保数据按顺序到达、没有丢失、重复或错误。TCP 适用需要可靠数据传输的应用,如小车控制,警报数据传输等。数据完整性和顺序比传输速度更重要的场景。

实时视频流使用 UDP。UDP 是无连接的协议,发送数据之前不需要建立连接,简化了通信过程。UDP 具有较低的延迟和开销,优先考虑传输速度和效率。

2.4 目标检测模型

本文的目标检测模型采用 YOLOv7 Tiny。YOLOv7 Tiny 是目标检测领域的一种轻量级深度学习模型,旨在进一步优化模型的大小和速度,使其更适合在计算资源受限的设备上运行,如树莓派等边缘计算设备,同时它仍保持良好的检测准确率。

YOLOv7 Tiny 通过精简网络结构和参数,显著减少了计算量和模型大小,即便是在边缘设备上,YOLOv7 Tiny 也能达到实时检测的帧率,这对于需要快速响应的应用场景是至关重要的。

3 实验验证与结果图

本文将监控系统部署到树莓派小车上,通过 NCS2 测试实验对系统的实时性地进行验证,通过监控系统对不同计量现场图像进行检测,从而对系统的精确性加以验证。通过 Pyqt5 和 socket 编程来完成对树莓派小车的远程简单控制及视频流接收。

3.1 NCS2 实验结果

将转换好的目标检测模型部署到树莓派,通过树莓派环境下设计 OpenVINO 推理 YOLOv7Tiny 模型的 SDK,调用 NCS2 加速模型推理,对视频流进行目标检测推理。本文分别将未经过 NCS2 加速的 YOLOv7Tiny 模型和加速后的模型进行对比,测试推理检测结果,其具体推理结果如表 1 所示。

表 1 实验对比

模型	平均识别时间/ms
YOLOv7Tiny	220
YOLOv7Tiny-NCS2	54

从表 1 中可以看出 NCS2 加速的目标检测模型,其识别速度明显优于未加速的模型。

3.2 计量现场图像实验结果

本文通过分别对 5 组合格计量箱和不合格计量箱图像进行检测,来检测该报警系统的测试结果。如表 2 所示为检测结果。

表 2 测试结果表

图像	警报	是否准确
表箱封印缺失 1	是	是
表计封印缺失 1	是	是
飞线 1	是	是
表箱标签缺失 1	是	是
表计标签缺失 1	是	是
正常 1	否	是
正常 2	否	是
正常 3	否	是
正常 4	否	是
正常 5	否	是

从表 2 中可以看出,报警系统正常运行,没有出现误报的情况。

3.3 GUI 设计结果

本文通过 PyQt5 使用 socket 进行通信来完成小车的远程控制和获取树莓派的实时视频流。本警报系统的 GUI 设计,通过 socket 编程实现了小车的简易控制,以及视频流的传输。

4 结语

针对计量现场监控工作中存在的人力资源消耗大和效率低下等问题,成功设计并实施了一套基于树莓派和 YOLOv7 Tiny 的计量现场隐患识别警报系统。该系统集成了移动的树莓派小车平台和轻量级的 YOLOv7 Tiny 目标检测模型,完成了模型的高效部署。实现了对计量现场潜在安全隐患的自动化监控,确保了警报信息的准确传输及视频流的实时性。

实验验证表明,本系统在快速响应和处理计量现场潜在风险方面具有出色的性能,由此证明

了其在现实应用中的潜力和价值。

本文的系统设计还有可改进的空间,目标是设计功能更为齐全的警报系统,如通过数字孪生系统完成更完善的警报系统。

参考文献:

- [1] 孙林辉,贾元瑞,王明扬,等. 工业系统监控作业中的人因失误研究综述[J]. 包装工程, 2022, 43(4): 27-35.
- [2] 李航宇,龚杰,陶玉菲,等. 基于轻量化多目标视觉感知的高大模板系统位移监控[J]. 建筑结构学报, 2024, 45(7): 69-79.
- [3] 巫庆辉,鲍亚庆,赵忠鑫,等. 矿井排水监控数字孪生系统研究与实现[J]. 系统仿真学报, 2025, 37(1): 199-210.
- [4] 杨春雷. 基于 LoRa 技术的物联网智能监控系统设计[J]. 机械制造与自动化, 2023, 52(1): 215-218.
- [5] Mathe S E, Pamarthy A C, Kondaveeti H K, et al. A review on raspberry pi and its robotic applications[C]//2022 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Signal Processing (AISP). Vijayawada, India: IEEE, 2022: 1-6.
- [6] Ali Suzen A, Duman B, Sen B. Benchmark analysis of jetson TX2, jetson nano and raspberry PI using deep-CNN[C]//2020 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA). Ankara, Turkey: IEEE, 2020: 1-5.
- [7] Kondaveeti H K, Bandi D, Mathe S E, et al. A review of image processing applications based on raspberry - pi [C]//2022 8th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS). Coimbatore, India: IEEE, 2022: 22-28.
- [8] She F F, Hong Z Y, Zeng Z Q, et al. Improved traffic sign detection model based on YOLOv7 - tiny [J]. IEEE Access, 2023, 11: 126555-126567.
- [9] Kumar A, Singh M. On the detection of faces with masks using tiny YOLOv7 algorithm [M]//Scalable and Distributed Machine Learning and Deep Learning Patterns. Hershey: IGI Global, 2023: 87-103.
- [10] 胡笳鸣,陈常明,罗宏川. 对空信息通信台站供配电数据采集系统设计[J]. 现代计算机, 2023, 29(6): 107-110.
- [11] 吴鑫,王树军,曹帅,等. 基于 TCP/IP 协议与关联规则的电力监控系统多线程通信方法[J]. 电气自动化, 2024, 46(1): 11-13, 19.
- [12] 荆俊峰,蒯亮,房志奇,等. 一种基于 UDP 和 FTP 协议的远程浏览系统的设计[J]. 电子技术应用, 2023, 49(12): 127-131.

收稿日期: 2024-03-15