

光伏面板智能巡检系统的设计及实现

陈光浩 邵展坚 陈威
浙江安防职业技术学院

DOI:10.32629/acair.v3i4.17922

[摘要] 本文设计并实现了一款搭载智能摄像头、智能语言模块及各类传感器和通信模块的多功能智能巡检系统。巡检小车可利用各类传感器采集环境工作信息,完成预设路线的自主导航功能,利用智能语音模块实现低门槛的人机交互,利用智能摄像头实现巡检场地现场图像采集,在边缘服务器侧利用YOLO目标检测算法对污损的光伏面板进行智能识别,利用通信模块与智能清洁车实现联动,完成污损光伏板的自清洁作业,从而替代光伏电站大量重复的人力巡检作业。

[关键词] 自主导航; YOLO; 智能巡检

中图分类号: TN915.5 **文献标识码:** A

Design and Implementation of an Intelligent Inspection System for Photovoltaic Panels

Guanghao Chen Zhanjian Shao Wei Chen

Zhejiang Security Vocational and Technical College

[Abstract] This paper presents a multifunctional intelligent inspection system equipped with smart cameras, intelligent voice modules, and various sensors and communication modules. The inspection vehicle autonomously navigates predefined routes while collecting environmental data through sensors. Its intelligent voice module enables user-friendly interaction, while the smart cameras capture real-time images of the inspection site. At the edge server, the YOLO object detection algorithm identifies contaminated photovoltaic panels. The system coordinates with a smart cleaning vehicle via communication modules to perform self-cleaning operations, effectively replacing repetitive manual inspections in photovoltaic power stations.

[Key words] autonomous navigation; YOLO; intelligent inspection

引言

随着全球能源需求的不断增长和环境保护意识的提升,太阳能光伏发电作为一种清洁、可再生的能源形式,得到了迅速发展。近两年,国内光伏新增装机维持高位。国际能源署发布的《可再生能源市场报告》显示,2024年中国光伏装机容量超过210吉瓦,占全球总增量的44%左右^[1]。然而光伏面板长期暴露在复杂室外环境中,易受灰尘、污垢、裂纹、热斑等问题影响,导致发电效率下降,据统计,在西部戈壁地区单风沙积尘可降低光伏发电效率达20%。

传统的人工巡检方式依赖目视检查或手持设备,存在效率低(人工巡检耗时长且覆盖范围有限)、成本高(大规模光伏电站面积大需大量人力投入)、安全隐患高(如高温环境、室外野生动物闯入等突出问题)。作为人工智能的一个重要分支,深度学习通过构建和训练深层神经网络,在处理大规模数据方面展现出强大的能力^[2]。机器视觉等人工智能技术及物联网技术的迅猛发展为光伏面板的日常运维检修提供了新思路。

本文意在研究一种基于机器视觉的光伏面板智能巡检小车,

其设计不仅解决了传统运维模式的痛点,还通过多技术融合(机器视觉、自主导航、AI分析)实现了高效、精准、低成本的闭环管理。该设计的实现将为光伏产业注入创新动力,推动可再生能源的高效利用,助力全球能源可持续发展战略。

1 系统架构

系统架构包括智能巡检小车、边缘服务器、智能清洁车三个核心部件,巡检车和边缘服务器通过WiFi模块进行数据交互,巡检车和智能清洁车通过ZigBee模块进行控制信息的交互,其整体框架结构如图1所示。

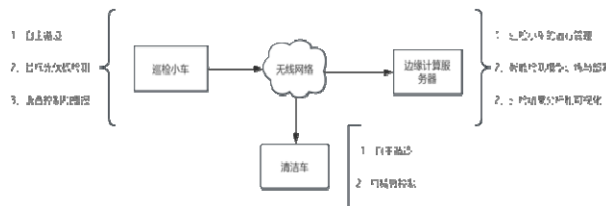


图1 系统设计框架

智能巡检小车主体底盘安装4个强力摩擦橡胶驱动轮、自主循迹板,上面安装有可充电锂电池、电机驱动板、传感器集成板、核心控制板、云台摄像头、通讯模块,通过基于改进深度学习算法的软件系统智能化操作,完成智能小车自主巡检、目标检测与识别、语音控制与播报、清洁车通信联动等功能。

边缘计算服务器主要负责智能巡检小车的系统管理^[3],包含3个子模块:

1.1 巡检小车的运行管理模块

负责小车的启停及运行状态的监控与维护。

1.2 智能检测模型的训练与部署模块

巡检小车的目标检测功能依赖于基于改进的YOLO算法模型^[4]。该算法模型需要小车使用前在服务器上训练完成,运行过程中调用已训练好的算法模型进行实时判断。

1.3 巡检结果分析

小车巡检过程中对光伏面板进行智能识别,动态显示分析结果,同时识别结果通过网络回传到小车,实现实时语音播报及结果展现。

智能清洁车上搭载ZigBee通信模块、喷水装置及6轴自由度机械臂,可接收指令对目标执行自清洁动作。

2 系统设计

2.1 硬件设计

智能巡检小车的硬件系统主要部件包括:电机、电池、核心控制板、电机驱动板、功能电路板、通信模块、相机等。电机运动控制、传感器数据的采集、语言识别和语音合成处理、智能摄像头的控制及各类信息的交互等应用场景都在该硬件平台上实现。

核心控制板采用ARM Cortex-M4内核的STM32F407IGT6为主控芯片,最高时钟频率可达168MHz,满足实时数据处理要求。电机驱动单元与核心控制单元分离,使四路电机驱动更加高效,并且能够防止电机启动瞬间产生的浪涌对核心板处理器造成损伤,有效提升了系统安全性。四路电机采用独立测速系统,实现四轮差速互补控制,提高了车辆运动控制的精度和稳定性。功能电路板搭载多种传感器及驱动电路,能够实时感知当前环境并实时传输传感器监测数据,包括光照强度传感器、超声波传感器、光敏电阻传感器、语音识别单元、

红外发射驱动电路、转向灯驱动电路、蜂鸣器驱动电路等。通讯模块采用ZigBee无线通信模块和WiFi无线通信模块分别与智能清洁车及边缘计算服务器进行通信。

智能清洁车则在巡检车基础模块上添加大功率水泵、6轴自由度机械臂等核心执行部件。

2.2 软件设计

智能巡检小车软件系统主要功能是控制小车的运行、基于图像的目标模型的训练、图像识别处理、语音播报及与清洁车的交互控制等。

智能巡检小车的运动控制是基于环境中的循迹线,主要依赖底盘上的循迹板数据进行判断。循迹板采用反射式光电传感

器,采用前七后八交叉排列方式,实时检测当前循迹状态,并将数据传回至核心板主控制器进行处理,从而实现自适应循迹,使智能车能够安全平稳行进。循迹板前七路循迹灯可实现对前进方向道路预判,提高了循迹的精准度,使智能车行进的稳定性得到增强,实现循迹数据实时采集实时处理。小车运动的控制代码流程图如图2所示。

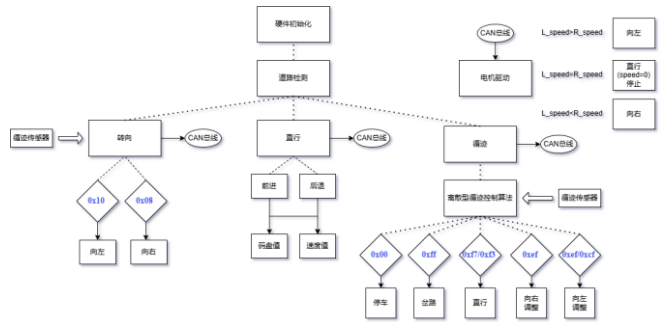


图2 小车运动控制代码流程图

巡检过程中,主控板控制云台摄像头实时拍摄目标图像,通过WiFi通信模块将图像传递给边缘计算服务器,通过预先部署的目标检测算法模型进行实时识别,识别出目标光伏板上的污渍后,通过网络回传信息并进行语音播报提醒。

2.3 目标检测算法设计

光伏面板检测的算法基于改进 YOLOv5 算法的目标检测模型,YOLOv5 目标检测模型采用PyTorch框架,与之前的版本相比,增加了数据增强模块、主干网络(Backbone)、颈部网络(Neck)以及预测输出网络^[5]。

模型框架的交互流程如下:

2.3.1 积累模型训练样本集。样本集主要来源于3个途径:(1)网上开源的数据集;(2)光伏电站实体拍摄的照片;(3)从公开网络上爬取满足需要的场景图片作补充。将这些图片按一定比例分为训练图片集和测试图片集。

2.3.2 通过训练图片集迭代训练出一个目标检测模型,并用测试图片集验证该模型识别效果。

2.3.3 使用优化后的模型对待验证的新目标图片进行识别,评估模型的可用性,模型确定达到使用标准后即可部署到边缘服务端使用。

图像的边缘端智能识别处理的流程图如图3所示。

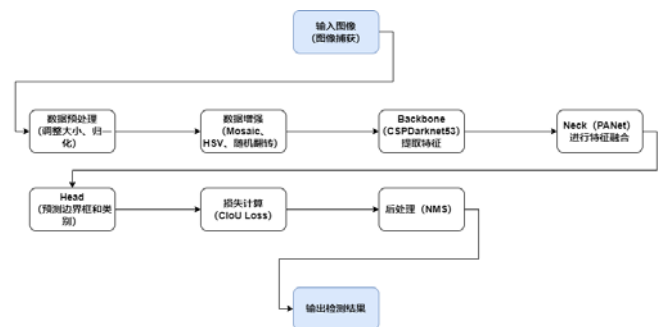


图3 目标图像的处理过程

3 系统的实现

经过软硬件综合调试,智能巡检小车可按预定路线完成目标场地的遍历,边缘服务器端可成功识别光伏电厂日常巡检中各类场景,识别率达95%以上。识别到的实验室虚拟场景图如图4、图5所示。

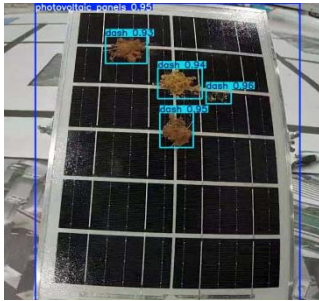


图4 光伏板有污渍



图5 杂草遮挡光伏板

系统的实现过程中主要完成了以下工作:

(1)复杂环境下的多模态感知与数据融合:实现多传感器(如红外传感器、温湿度、光照、超声波等)的高精度同步采集与环境建模。(2)高精度自主导航与巡检路径的规划:光伏板阵列结构复杂,需在狭窄空间内实现精准穿梭,同时能做到动态避障(如临时障碍物、工作人员防撞等)。(3)轻量化YOLO目标检测算法的嵌入式部署:YOLO作为高性能视觉Transformer模型,参数量大,在边缘计算设备(如手机、平板等终端机)上实现低延迟的计算推理。(4)低功耗实时通信与多机协同控制:巡检车与清洁车需在无稳定网络的光伏电站中实现任务协同,需保障通信可靠性与指令实时性。(5)自然语言交互的离线化与场景适配:在无网络环境下实现语音指令识别,构建专用的离线语音指令库。

4 结语

本文设计及实现了一款融合物联网及人工智能技术的光伏面板智能巡检系统,主要完成了以下几方面的升级改造:

(1)将传统的静态摄像头广域巡检布置于移动小车上,能实

现全领域全方位覆盖巡检,也可以执行特定区域的动态巡检。(2)将YOLO模型应用于光伏板污损检测,通过迁移学习与数据增强技术解决样本不足问题。(3)突破单一巡检功能,通过“感知-决策-执行”三层模式,构建“巡检车定点检测-边缘计算识别判断-清洁车自主前往清洁”的全流程无人化方案。(4)整合语音、触控、远程监控多通道交互,实现多模态人机交互工业级设计,降低操作人员技术门槛。

该系统后续升级改造可从加装太阳能电池板实现长时间续航、增加长距离通信模块实现远程控制及增加数据可视化界面实现巡检作业的自动化管理等方面进行。

[基金项目]

浙江安防职业技术学院2025年科研项目《基于机器视觉的光伏面板智能巡检小车的研究》(项目编号:AF2025Z09)。

[参考文献]

[1]王伟光,李雯娟,张雪峰.中国光伏产业发展的驱动要素:技术、市场与政策[J].沈阳师范大学学报(自然科学版),2025,43(4):323-332.

[2]张豪,高林,龚宇翔,等.YOLO系列算法在电力行业目标检测领域的应用与发展趋势[J].湖北民族大学学报(自然科学版),2025,43(1):86-93.

[3]邵世智,宋楚平.基于改进深度学习算法的校园智能巡检小车设计与实现[J].电脑编程技巧与维护,2023(2):128-130,158.

[4]王育欣,张志,张家亮,等.基于改进YOLOv5算法的光伏缺陷检测[J].太阳能学报,2024,45(12):139-145.

[5]卢奥玮.基于改进YOLOv5s的冬枣识别和定位方法研究[D].新疆:塔里木大学,2024.

作者简介:

陈光浩(1989--),男,汉族,浙江省瑞安市人,硕士研究生,讲师,研究方向:嵌入式开发。