

# 基于机器视觉的四足机器人变电站 巡检关键技术研究

周子博, 吴茂源, 王 策

(西南民族大学, 四川 成都 610000)

**摘 要** 变电站是电力输送和分配过程中的重要枢纽, 其安全稳定运行的重要性毋庸置疑。传统的人工巡检方式显现出效率不高、检测精度较差等问题。基于机器视觉的四足机器人巡检技术, 为化解这些难题提供了崭新的途径。本文深入探究了这一技术的核心要点, 不但涵盖四足机器人变电站巡检系统的架构组成, 还包含机器视觉在自主导航、图像数据处理等领域的应用, 并通过实验加以验证和剖析, 旨在对增强变电站巡检的智能化水平与可靠性有所裨益, 从而为电力系统的平稳运维保驾护航。

**关键词** 机器视觉; 四足机器人; 变电站巡检; 自主导航技术; 图像数据处理技术

中图分类号: TM63; TP242

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.09.006

## 0 引言

随着机器人技术、大数据、机器视觉等技术的不断革新, 基于机器视觉的四足机器人变电站巡检技术从理想照进现实。四足机器人凭借出色的地形适应能力和稳定性, 能够在变电站多样且复杂的地形中灵活移动, 抵达人工难以到达的区域。机器视觉技术犹如为四足机器人装上了“明亮的眼睛”, 使其能够实时采集设备图像信息, 并借助图像处理与分析技术, 精确判断设备的运行状况以及是否存在故障隐患。该技术的应用, 为电力系统的平稳发展夯实了基础。故而, 研究该技术具有极大的现实意义。

## 1 四足机器人变电站巡检系统简述

四足机器人变电站巡检系统主要由四足机器人本体、机器视觉系统、控制系统、通信系统以及后台监控中心等几个重要部分构成<sup>[1]</sup>。首先, 四足机器人本体作为整个系统的执行终端, 其机械结构设计直接影响机器人的运动效能和地形适应能力。通常而言, 四足机器人采用多关节连杆结构, 各关节由电机驱动, 以精准调控点击转动速度与角度的方式, 达成机器人行走、转向、爬坡等各种动作。机器人腿部的设计要充分考虑到不同地形的适配性。同时, 机器人本体还需具有一定的负载能力, 以便搭载各类传感器和设备。其次, 机器视觉系统是四足机器人实现智能巡检的核心所在, 通常涵盖图像采集、处理和分析等装置程序。在图像采集方面, 主要借助的是分辨率较高的工业相

机, 安装在机器人的恰当部位, 以此来得到变电站设备的高清图像。为适应变电站复杂的光照环境, 相机需具备自动曝光、宽动态范围等功能。图像处理模块用来预处理采集到的各种图像, 以此提高图像质量, 为将来分析图像打牢数据根基。图像分析程序运用各类先进的图像处理算法和机器学习算法, 对经过处理的图像实施识别和提取特征目标, 进而分析设备在运行中是否有异常<sup>[2]</sup>。再次, 控制系统堪称四足机器人的“中枢神经系统”, 负责规划机器人的运动路线、控制机器人的动作以及处理各类传感器数据。控制系统通常采用分层架构, 包含任务规划层、路径规划层以及运动控制层。任务规划层依据变电站的巡检任务和要求, 制定机器人的整体巡检方案, 包括巡检路线、巡检时间等。路径规划层结合机器人所处的具体位置与环境, 规划出一条最优或较优的运动路线, 为机器人安全快速到达指定地点提供保障。运动控制层则依照路径规划的结果, 控制机器人各部分电机的平稳工作, 确保机器人运动的精确性。然后, 通信系统用于实现四足机器人与后台监控中心之间的数据传输和通信交互。通信系统必须具备可靠、高速、稳定等优秀特点, 保证机器人采集的图像数据、设备状态信息以及控制指令能够及时、准确地传输。在实际应用中, 通信系统可采取有线和无线兼顾使用的模式。在变电站室内等信号稳定的区域, 可采用有线以太网进行通信, 保障数据传输的稳定性和高速性; 在机器人移动过程中或信号较弱的区域, 则采用无线通信技术。最

后,后台监控中心是整个巡检系统的管理与决策核心,主要由监控计算机和监控软件组成。监控计算机负责接收并存储四足机器人传输的图像数据、设备状态信息等,监控软件则对这些数据进行实时分析处理,以直观的形式展示设备的运行状态和巡检结果。一旦发现设备存在故障,监控中心能够及时发出警报,并提供相应的故障处理建议。同时,监控中心还可对四足机器人的巡检任务进行远程管理和调度,实现对变电站设备的全方位、实时监控。

## 2 机器视觉关键技术在四足机器人变电站巡检中的运用

### 2.1 自主导航技术

变电站的环境繁杂多样,四足机器人若要顺利达成巡检任务,自主导航能力不可或缺,这取决于同时定位和地图构建与路径规划两项核心技术。一方面,SLAM 技术是自主导航的核心支撑<sup>[3]</sup>。凭借机器视觉系统采集的图像,依据传感器的各项数据,四足机器人能够实时描绘周边环境的地图,并精准明确自身在地图中的位置。在实际运用中,算法的选取极为关键。基于特征点的 ORB-SLAM 系列算法,凭借对环境特征点的高效提取,诸如设备的边角、轮廓等,通过特征点的追踪匹配,成功构建地图并实现机器人定位,在变电站场景中表现出色。而基于直接法的 DSO 算法则从另一个角度对图像像素信息实施直接处理,在一些对实时性和精度有特殊要求的场景中发挥效用。另一方面,路径规划是在 SLAM 构建的地图基础上展开的。它需要综合考量机器人的运动特性、动力学限制,还要避开环境中的各类障碍物,同时遵循变电站的巡检规范。常见的路径规划算法各有所长,A\* 算法作为启发式搜索算法的代表,通过计算各节点到目标点的预估代价,选择代价最小的节点拓展搜索,能够迅速发现起点与终点之间的最佳路线,在变电站巡检中,可依据地图与机器人实时位置,规划出既短又能避开障碍的理想巡检路线。Dijkstra 算法以其全面搜索的特点,确保能找到最优解,即便这一过程可能计算量较大,但在对路径精度要求极高的场景中必不可少。RRT 算法则通过随机采样的方式探索空间,在复杂环境下能够迅速生成可行路径,为机器人在复杂多变的环境中实施导航提供助力。

### 2.2 目标检测与识别技术

在变电站巡检任务中,目标检测与识别技术是四足机器人掌握设备状态的关键步骤,主要涵盖设备识别和异常状态检测两个方面。首先,在设备识别方面,

深度学习的进步取得了不小的突破<sup>[4]</sup>。基于卷积神经网络的 Faster R-CNN、YOLO 系列算法等,通过对海量变电站设备图像的学习,深度挖掘设备的特征信息,达成对变压器、断路器、绝缘子等设备的精准分类与定位。以 Faster R-CNN 算法为例,它依靠区域建议网络对潜在目标区域进行生成,再对这些区域进行分类和位置精修,最终确定设备的类别和具体位置,进而大幅度提升检测的效率和精度。其次,设备异常状态检测同样关键。针对设备过热、放电、漏油等异常情况,传统的基于图像特征分析的方法仍发挥着重要作用。借助红外热成像技术处理设备表面温度图像,能够有效检测过热问题;通过对设备表面图像纹理的细致分析,可判断是否存在放电痕迹。此外,深度学习算法也逐渐在异常状态的自动识别与分类中得到应用。将设备的红外图像作为训练数据,通过卷积神经网络学习,训练出能够准确识别过热故障的模型,持续改善检测异常的智能化程度。

### 2.3 图像数据处理技术

四足机器人在变电站巡检时,机器视觉系统会采集大量的图像数据。在传输和深入处理之前,对这些图像进行预处理极其必要,这能够改善图形质量以及之后的处理分析速度。图像预处理涵盖图像的去噪、增强以及分割。其一,去噪旨在消除图像在采集时混进去的噪声。均值滤波通过计算邻域像素的平均值来替换当前像素值,对高斯噪声有良好的抑制作用;中值滤波就选择邻域像素的中间值,并以此为当下的像素值,对椒盐噪声的去除效果显著,为之后提供更为清晰的图像夯实根基。其二,图像增强主要是为了改善图像的对比度、清晰度等视觉效果,以便更有效地进行目标检测与识别。直方图均衡化主要是完善图像灰度直方图,让灰度分布更为合理,提升图像的对比度;对比度受限的自适应直方图均衡化在局部区域实施直方图均衡化,能更好地保留图像细节,在复杂背景下突出目标信息。其三,图像分割主要是把图像里的背景和物体进行分离,便于后续对目标进行单独分析。依据阈值的分割手段结合图像的颜色特征或者灰度值对阈值进行设定,把图像区分成背景与目标两部分;依据边缘检测的分割手段通过检测图像边缘数据信息的形式,提取目标物体边界,实现图像分割;基于区域生长的分割方法则从种子点出发,依据一定规则将相似区域合并,逐步分割出目标物体,不同方法适用于不同特点的图像和应用场景。

### 3 关键技术实验与结果分析

#### 3.1 实验平台搭建

为验证基于机器视觉的四足机器人变电站巡检关键技术的效果,构建了一个实验平台。该实验平台主要涵盖四足机器人、机器视觉系统、用以模拟变电站环境的实验区域,以及数据处理与分析的设备<sup>[5]</sup>。其中,四足机器人选用了一款具有高负载能力和灵活运动特性的商业产品,其腿部关节由高性能电机驱动,拥有精确的位置控制能力。机器视觉系统由多个高清摄像头构成,包括前置、侧视、顶视摄像头,摄像头分辨率达1 920×1 080,帧率为30 fps,能够满足实时图像采集的需求。实验场地对变电站的典型环境进行了模拟,包含多种地形(如平地、草地、台阶)、各类变电站设备模型(如变压器、断路器、绝缘子等)以及障碍物。分析数据设备借助一台功能强大的计算机,配备了NVIDIA GPU加速卡,用于运行各种算法和处理图像数据。

#### 3.2 实验内容与方法

本实验以四足机器人在变电站巡检中的关键任务展开,重点涵盖自主导航、目标检测与识别以及图像数据处理这几方面的实验,每个实验都运用科学的设计方法,保障实验结果真实有效。(1)自主导航实验:在模拟的变电站环境中,设定多个巡检点,令四足机器人从起始点出发,借助基于机器视觉的SLAM和路径规划算法,自主导航至各个巡检点。记录机器人的行走轨迹、到达时间以及定位误差等数据,以此评估自主导航算法的精准性和可靠性。(2)目标检测与识别实验:在实验场地中放置不同类型的变电站设备模型,借助四足机器人的机器视觉系统对设备图形进行采集,利用以深度学习为基础的识别算法以及目标检测,对设备进行辨别和分类。统计识别的准确率、召回率等指标,分析算法在不同光照条件和设备姿态下的性能表现。(3)图像数据处理实验:针对机器视觉系统采集的原始图像开展各类预处理操作,例如去噪、增强、分割等。对比预处理前后图像的质量以及目标检测与识别的效果,评估不同图像数据处理方式的有效性。

#### 3.3 实验结果与分析

通过多次、全方位的实验测试,得到了大量非常有价值的实验数据。在对实验数据展开全面深入的剖析之后,有效论证该技术在实际运用中的有效性。(1)自主导航实验结果:经过多次实验,四足机器人能够在模拟的变电站环境中精确地完成自主导航任务。基于ORB-SLAM2算法的SLAM系统能够迅速、稳定地构建

环境地图,机器人的定位误差在±5 cm以内。路径规划算法能够为机器人规划出合理的巡检路径,平均到达时间符合预期的巡检效率要求。实验结果表明,基于机器视觉的自主导航技术能够满足四足机器人在变电站复杂环境中的导航需求。(2)目标检测与识别实验结果:基于YOLOv5算法的目标检测与识别模型在不同光照条件和设备姿态下,对变电站设备的识别精度在95%左右,召回率也在九成以上。在光照较暗或设备部分遮挡的情况下,识别准确率会稍有下降,但依然能够满足实际巡检的要求。这表明深度学习算法在变电站设备检测与识别方面具有较高的可靠性和稳定性。(3)图像数据处理实验结果:经过图像去噪处理后,图像里的噪声显著减少,目标检测的误检率降低;图像增强处理使图像的对比度和清晰度提升,有助于提高目标识别的准确率;图像分割能够准确地将设备从背景中分离出来,为后续的设备状态分析提供了便利。不同的图像数据处理方法在四足机器人变电站巡检中都发挥了重要作用,有效地提升了机器视觉系统的性能。

### 4 结束语

本文深入且系统地探究了基于机器视觉的四足机器人变电站巡检关键技术,从系统构成层面详细阐述了四足机器人变电站巡检系统的各个组成部分及其功能特性;在技术应用方面着重剖析了机器视觉在自主导航、目标检测与识别以及图像数据处理等核心环节的应用原理与实现方式;通过搭建高度仿真的实验平台,开展多维度、多条件的实验验证与分析。实验结果充分显示,该技术的应用能够显著提升变电站巡检的质量和效率,解决了人工巡检过程中的各种问题,减少了环境因素对巡检工作的影响,为电力系统的健康发展筑牢基础。

#### 参考文献:

- [1] 康文,魏文博,王涛,等.变电站巡检目标自动识别技术的研究[J].中国新技术新产品,2025(02):20-22.
- [2] 黄炜昭,何维,谢欢欢,等.变电站巡检装置误差分级补偿方法研究[J].自动化仪表,2025,46(01):58-62.
- [3] 许尧,彭明智,胡永波,等.空间几何约束下的特高压变电站巡检机器人下坡节能控速方法[J].机械设计与制造工程,2025,54(01):61-64.
- [4] 王启泽,高晓,张海龙,等.复杂环境变电站巡检机器人路径规划算法研究[J].电力勘测设计,2024(12):76-81.
- [5] 张明丽.基于自适应遗传算法的机器人路径跟踪控制系统设计[J].电气技术与经济,2024(12):377-379.