

# 基于深度学习的配电高压操作机器人运动控制技术研究

郎子倩 孟健鹏  
河北科技学院

**【摘要】**随着人工智能的快速发展,体感控制成为机器人人机交互的热点方向,如何快速且准确地识别人体姿态是完成体感控制的一大难点。此次研究将通过改进后的YOLOv4模型检测人体框架,改进后的堆叠沙漏网络模型识别关节点,以提高人体姿态识别的速度和准确率;并针对机器人上半身手臂运动和下半身步态控制的特点,开发关节点映射算法来对机器人进行体感控制,解决配电高压操作机器人进行人机交互时容易摔倒的问题。结果表明,改进后YOLOv4网络检测人体目标的最好结果为84.37%,改进堆叠沙漏网络模型的收敛损失函数为0.096, PCK值为88.3%;研究模型的识别速度均值较CPN模型提高了21.5s,表明研究模型在提高人体姿态识别准确率的同时,提高了体感控制的效率,在体感控制领域有一定的研究价值。

**【关键词】**YOLOv4; 堆叠沙漏; 关节点识别; 机器人; 体感控制

Research on motion control technology of high voltage operation robot based on deep learning

Lang Ziqian Meng Jianpeng

Hebei Institute of Science and Technology

**【Abstract】** With the rapid development of artificial intelligence, motion sensing control has become a hot topic in human-robot interaction. How to quickly and accurately recognize human body postures is one of the major challenges in achieving motion sensing control. This study aims to improve the detection of human body frameworks using an enhanced YOLOv4 model and enhance the recognition of key points with an improved stacked hourglass network model to increase the speed and accuracy of human posture recognition. Additionally, tailored key point mapping algorithms are developed for the upper arm movements and lower body gait control of robots to address the issue of robots easily falling during human-robot interaction, especially when performing high-voltage operations. The results show that the best detection rate for human targets using the improved YOLOv4 network is 84.37%, and the convergence loss function of the improved stacked hourglass network model is 0.096, with a PCK value of 88.3%. The average recognition speed of the research model is 21.5s higher than that of the CPN model, indicating that the research model not only improves the accuracy of human posture recognition but also enhances the efficiency of motion sensing control, making it valuable in the field of motion sensing control.

**【Key words】** YOLOv4; stacked hourglass; key point recognition; robot; motion sensing control

## 一、引言

当前,随着网络技术的飞速发展,机器人在社会上的应用日益广泛,对其进行控制的研究已成为一个热门课题。

目前,大多数机器人控制系统都是利用机器视觉的算法,通过运动控制器来实现人机交互,这种方法首先要对特征数据进行提取,然后对控制器的参数进行相应的设定,这一过程比较繁琐,而且精度一般都不高。

然而,目前已有研究提出采用人体感觉交互方式实现机器人的动作控制,虽然可以简化图像处理流程,提升精度,但仍面临着识别速度慢,以及在大量数据情况下易失稳等问题。因此,本项目拟对此类问题进行建模,在提高求解精度的同时,提高求解效率。本项目拟采用YOLOv4网络与层叠

沙漏网相结合的方法,对人体骨架提取与节点识别进行研究,从而提升建模精度与辨识速度。再对机器人人体姿态和运动特点进行分析,开发关节点映射算法来对机器人进行体感控制,解决机器人运动中容易摔倒的问题,完成对配电高压操作机器人的运动控制。

## 二、配电高压操作机器人运动控制方法研究

### 2.1 人体姿态识别网络具体设计

机器人的运动控制创新性地采用肢体动作来实现人机交互,这一方式极大地提升了机器人操作的直观性和便捷性。而要让机器人精准地复现人类的肢体动作,关键在于检测模型对人体姿态进行准确的关节点识别,以此为基础,机

机器人方能实现稳定且高效的运动控制策略。

整个体感控制过程是一个环环相扣的系统工程。首先,借助目标识别网络来精准检测到人体框架。这一过程就如同为机器人的视觉系统安装了一双“慧眼”,使其能够在复杂的环境中迅速锁定人体目标。在本次研究中,经过综合考量,选用了基于 YOLOv4 的目标检测模型。YOLOv4 具有出色的检测速度和精度,它能够快速而准确地识别出图像中的人体框架,为后续关节识别提供了坚实的基础。

通过关节识别网络对人体关节进行细致识别。关节识别网络就像是一位技艺精湛的“解剖师”,能够精准地定位人体各个关节的位置。它可以捕捉到人体关节的细微变化,无论是手臂的弯曲、腿部的伸展,还是头部的转动,都能被准确地识别出来。

CSPDarknet53tiny 是该模型的核心特征提取网络,由一个卷积层和四个残差块组成,该模块的输入数据类型为三通道的图片,输出的数据则是大、中、小 3 种不同尺寸的特征层。其中 Conv2D\_BN\_MISH 为卷积层的 BN 激活函数和 MISH 激活函数,并用于卷积运算,Conv\_B\_L 为卷积运算的 BN 激活函数和 Leaky-relu 激活函数。该模块的主要是通过卷积计算提取输入图片的特征信息,通过残差块对特征层进行过滤,特征层越小,计算后保留的数据越细致,保存后的数据为大尺寸的特征目标。由于研究所使用的机器人的人形目标,在检测图像结果中占比较大,所以网络结构简化至 FPN 结构,进而提高网络检测速度。此次研究选用的是堆叠沙漏网络模型(Stacked Hourglass)来捕捉不同尺度下的关节特征信息,Hourglass 主要是通过由多个子网络堆叠而成的全卷积网络,利用多尺度特性来实现对人体的关节定位,并使用基于残差网络的训练模型来训练数据,使模型的精度更高。堆叠沙漏网络模型的具体网络结构。

该堆叠沙漏网络模型主要由 1 个 FCN 预处理网络和 3 个 Hourglass 模块组成,首先输入分辨率为  $256 \times 256$  的 3 通道原始图形,通过堆叠的沙漏网络模型处理后,输出的数据是分辨率为  $64 \times 64$ 、深度为 16 的特征图。其中,每个 Hourglass 模块处理后的图片数据信息分辨率和深度相同,这样能够进行模块数据的相互融合采样,Hourglass 模块的主要作用是降低特征图的分辨率,该模块由池化层和残差块组成,通过池化层进一步降低分辨率,利用残差块进行上下采样融合特征数据,以达到获得更高精度特征的目的。同时,模型的三个 Hourglass 模块以端对端的形式连接,堆叠的模块可以对特征信息进行多次处理评估,得到更加细节的特征信息。另外为提高人体目标检测模型和关节识别网络模型的精度和速度,选择常用的标准的训练数据集对其进行训练,并根据置信度来提高检测目标的准确率,从而证明网络模型的较好性能。

## 2.2 体感控制机器人的设计

在配电高压作业场景中,为确保操作的安全性与高效性,引入智能视觉人形机器人进行作业已成为重要的发展趋势。而实现机器人精准、灵活的体感控制,对于提升其在复杂配电环境下的作业能力至关重要。本研究聚焦于根据关节识别模型获取的人体关节数据,对配电高压机器人进行体感控制的训练,同时对机器人的运动控制系统及相关映射算法展开设计。

我们选择的智能视觉人形机器人具备高度智能化的特点,其运动控制系统采用树莓派系统。树莓派系统作为一种小型、低成本的计算机,为控制机器人动作模组和总线舵机提供了强大的上位机支持。通过树莓派系统,用户能够方便地获取机器人的各种运行参数,利用配套的调试工具对机器人的动作进行精细调整。这一特性极大地降低了机器人的使用门槛,使得用户能够自行维修和进行二次开发,为机器人的个性化应用提供了广阔空间。此外,该机器人还集成了人脸识别、颜色识别及标签识别等智能方法,这些功能在配电高压作业中可以发挥重要作用,例如通过人脸识别确保只有授权人员能够操作机器人,利用颜色识别和标签识别对不同的配电设备进行精准定位和识别。

机器人的运动状态主要通过关节角度和位置姿态来进行控制。在配电高压作业中,机器人的手臂和腿部姿态的精确控制是实现各种复杂操作的关键。对于手臂姿态的分析和步态控制,我们深入研究了关节式机器人的运动学原理。关节式机器人的运动学是通过各关节空间坐标系来建立的,通过建立准确的运动学模型,我们可以将人体关节数据与机器人的关节角度和位置姿态进行精确映射。

在体感控制训练过程中,我们利用关节识别模型获取人体各个关节的位置信息。这些关节数据反映了人体的运动意图,通过设计合理的映射算法,将人体的运动意图转化为机器人相应的动作指令。例如,当人体手臂做出弯曲动作时,关节识别模型能够准确捕捉到手臂关节的角度变化,映射算法根据这些角度变化计算出机器人手臂对应的关节角度,从而控制机器人手臂做出相同的弯曲动作。

对于机器人腿部的步态控制,同样基于关节角度和位置姿态进行。通过分析人体行走、奔跑等不同步态下腿部关节的运动规律,我们设计了相应的步态控制算法。这些算法能够根据机器人的当前状态和目标位置,实时调整腿部关节的角度和位置,使机器人能够实现稳定、灵活的行走和移动。

在实际应用中,我们还需要考虑配电高压环境的特殊性。例如,要确保机器人在强电磁干扰环境下能够稳定运行,关节识别模型和映射算法要具备较高的抗干扰能力。同时,为了提高机器人的安全性,我们还需要设计完善的安全保护机制,当机器人检测到异常情况时能够及时停止动作,避免发生安全事故。

通过本研究,我们有望实现配电高压机器人的高效、精准体感控制,为配电高压作业提供更加安全、可靠的解决方案。未来,我们将进一步优化关节识别模型和映射算法,提高机器人的运动性能和智能化水平,推动配电高压机器人技术的不断发展。

### 三、配电高压操作机器人运动控制结果分析

在此基础上,本项目提出了一种新的基于多传感器网络的分布式高电压作业机器人系统,通过对多传感器网络的实时采集,实现对多传感器传感器网络的实时采集,从而实现对多传感器传感器网络的实时采集。本项目拟基于 PASCAL VOC 数据库(以下简称 VOC),以 VOC2007 为例,采用具有轻量级、易于获得、可广泛应用于实际应用的对象探测数据集。本项目拟选取 1074 例 VOC 样本,120 例自主研发的 VOC 样本,通过对样本的预处理,进一步丰富样本背景,降低样本训练对硬件的要求。其中,基于 MP II (MP II) 的多人人体关节检测数据库,具有标签资源丰富、质量高、易于获得等优点,是目前最通用的人体姿势训练集合。使用数据集对目标检测网络及关节识别网络进行训练,以及选用损失函数来分析模型的性能变化。

使用的 VOC 数据集较多,进而使用生成器来将其输入至改进后 YOLOv4 网络模型中,且验证集为数据集的五分之一,经过 100 次的迭代,整体损失均呈下降收敛形势,曲线波动主要在于训练过程中学习率的增加及特征提取网络的解冻,从而选择收敛至最低的一组数据集作为识别人体目标的网络权重。最后将其分辨率为  $416 \times 416$  的三通道图片用于目标检测,得出在置信阈值为 0.5 时网络检测人体目标的准确率召回率曲线面积为 84.37%。如图 4 (b) 所示,将庞大的数据集经 TFRecordDataset 输出至堆叠沙漏网络模型,且训练集和验证集之比为 7 : 3,堆叠沙漏网络经过数据集训练后,整体损失函数呈下降收敛趋势,曲

线较为平滑,模型训练效果较好,原堆叠沙漏网络在第 100 次迭代后才收敛至 0.110,而改进堆叠沙漏网络在第 85 次迭代后收敛于 0.096,进而说明改进的堆叠沙漏网络对人体关节识别结果较好。

将计算后得到的 6 个手臂处舵机的输出值和下半身估计出的动作封装发送给机器人,再由机器人解析封装内容,根据控制指令做出姿态动作。为了进一步检测此次研究设计的体感控制机器人模型的性能,研究将引入常见的性能较高的级联金字塔网络 (Cascaded Pyramid Network, CPN) 模型进行对比实验,更加直观地验证模型在效率以及准确率上存在的优势,具体对比结果。

### 四、结论

近年来,随着互联网与人工智能技术的普及发展,体感交互成为控制机器人运动的主要技术,但如何快速且准确地识别人体姿态仍是完成体感控制的难点所在。此次研究将选用改进后的 YOLOv4 网络模型检测人物框架,改进后的堆叠沙漏网络模型来识别关节信息,并根据机器人上半身和下半身运动特点,设置不同的映射算法来完成机器人的体感控制,提高人体姿态识别的准确率及识别速率。检测结果表明,改进后 YOLOv4 网络在置信阈值为 0.5 时对检测人体目标的检测为 84.37%,而改进后堆叠沙漏网络模型对人体关节识别准确率均高于 80%,PCK 值为 88.3%;同时,研究模型的关节识别的准确率与 CPN 模型基本持平,但研究模型识别速度的平均值为 41.5 s/次低于 CPN 模型。表明该模型在能够达到较高的准确率情况下,明显地提高了识别效率。同时,由于训练数据有限,当人体的动作过于复杂时,研究模型可能会存在关节被阻挡,识别的准确率较低的问题,今后可以在提高算法覆盖面方向进行研究。

### 参考文献

- [1]刘世平,胡竹,程力,等.仿人机器人手臂动作模仿系统的研究与实现[J].机械设计与制造,2022,(2):300-304.
- [2]刘庆祥,郭冰菁,韩建海,等.体感交互式上肢镜像康复训练机器人系统[J].工程设计学报,2022,29(2):143-152.
- [3]冯帅硕,冯杰,常婕.基于 Kinect 的消防机器人体感控制系统设计研究[J].消防科学与技术,2021,40(4):548-550.
- [4]徐坤,周子昂,王祺,等.基于激光视觉传感器的智能家居体感交互系统设计[J].激光杂志,2022,43(9):218-223.
- [5]龙年,刘智慧.虚拟运动目标人机交互方法设计与仿真[J].计算机仿真,2022,39(6):201-205.

作者简介,郎子倩,河北科技学院,出生年 2004 年,女,民族:汉族,籍贯:河北省定州市。

第二作者简介,孟健鹏,河北科技学院,出生年 1987 年,男,民族:汉族,籍贯:河北省唐山市滦南县,学历:本科,职称:中级工程师,电气工程及其自动化。