

基于人工智能的工业机器人智能控制系统研究

张兆

中国科学技术大学, 中国·山东 淄博 255000

摘要: 在当今工业发展的浪潮中, 论文聚焦于基于人工智能的工业机器人智能控制系统这一关键领域展开深入探究。工业领域正经历着前所未有的变革, 工业机器人作为现代工业生产的核心要素, 其重要性不言而喻。它们在提升生产效率、保障产品质量以及降低劳动强度等方面发挥着不可替代的作用。随着制造业向着智能化与自动化的深度演进, 传统工业机器人控制系统的局限性逐渐凸显, 已难以应对复杂多变的生产环境需求。在此背景下, 蓬勃发展的人工智能技术为工业机器人的升级带来了新的曙光。将人工智能有机融入工业机器人控制系统, 能够赋予机器人更为卓越的感知、学习、决策和执行能力, 从而使其在复杂工业环境中展现出更高的适应性。通过本研究, 详细剖析该智能控制系统的各个层面, 包括其组成部分、性能提升方法、实际案例、面临挑战以及发展趋势, 旨在为工业机器人技术的进一步发展提供全面且深入的理论与实践指导, 推动智能制造迈向新的高度。

关键词: 人工智能; 工业机器人智能控制系统; 人工智能技术; 智能制造

Research on Intelligent Control System of Industrial Robots Based on Artificial Intelligence

Zhao Zhang

University of Science and Technology of China, Zibo, Shandong, 255000, China

Abstract: In the current wave of industrial development, this paper focuses on in-depth exploration of the key field of intelligent control systems for industrial robots based on artificial intelligence. The industrial sector is undergoing unprecedented changes, and the importance of industrial robots as the core element of modern industrial production is self-evident. They play an irreplaceable role in improving production efficiency, ensuring product quality, and reducing labor intensity. With the deep evolution of manufacturing towards intelligence and automation, the limitations of traditional industrial robot control systems have gradually become apparent, making it difficult to cope with the complex and ever-changing production environment demands. In this context, the flourishing development of artificial intelligence technology has brought new hope for the upgrading of industrial robots. Integrating artificial intelligence into industrial robot control systems can endow robots with superior perception, learning, decision-making, and execution capabilities, thereby enabling them to demonstrate higher adaptability in complex industrial environments. Through this study, a detailed analysis of various aspects of the intelligent control system is conducted, including its components, performance improvement methods, practical cases, challenges faced, and development trends. The aim is to provide comprehensive and in-depth theoretical and practical guidance for the further development of industrial robot technology, and to promote intelligent manufacturing to new heights.

Keywords: artificial intelligence; intelligent control system for industrial robots; artificial intelligence technology; intelligent manufacturing

1 绪论

1.1 研究背景

在当今全球化的工业发展格局中, 工业领域正以前所未有的速度向着高效化、精准化和智能化方向迈进。工业机器人作为这一进程中的关键支撑力量, 已经成为现代工业生产体系中不可或缺的核心设备^[1]。在诸如汽车制造、电子设备生产、机械加工等众多工业领域, 工业机器人广泛应用于焊接、装配、搬运、加工等关键生产环节, 极大地提高了生产效率, 确保了产品质量的一致性, 并有效降低了工人的劳动强度。人工智能技术在过去几十年间取得令人瞩目的发展成果。机器学习、深度学习、强化学习等先进技术在图像识

别、语音处理、自然语言理解等领域展现出了强大的能力。这些技术为工业机器人控制系统的升级提供了丰富的理论和方法基础。通过将人工智能技术融入工业机器人控制系统, 可以从根本上改变机器人的运行模式, 使其具备类似人类的感知、学习、决策和执行能力。

1.2 研究意义

本研究对于工业机器人技术的发展具有深远的影响和重大的意义。从提高工业机器人智能化水平的角度来看, 通过引入人工智能技术, 可以使机器人在作业过程中实现更精准、高效的作业。在感知方面, 机器人能够更准确地获取环境信息, 如利用先进的视觉识别技术对微小瑕疵或复杂形状的工件进行精确识别和定位。在决策环节, 借助智能算法,

机器人可以根据实时感知的数据和预设的目标,快速做出最优决策,避免了传统控制系统中因预设规则的局限性而导致的决策失误。在执行阶段,通过对机器人运动学和动力学的精确建模和智能控制,能够实现更高的运动精度和速度,从而提升整个工业生产的质量和效率。

2 工业机器人智能控制系统的组成

2.1 传感器技术

传感器技术在工业机器人智能控制系统中占据着至关重要的地位,它是机器人与外部环境交互的关键接口,为机器人获取精确、全面的环境信息提供了保障。

视觉传感器作为一种广泛应用的传感器类型,其核心原理是基于光学成像技术。通过高分辨率的摄像头等设备,视觉传感器能够捕捉到工业场景中的图像信息^[2]。在图像采集后,利用先进的图像识别技术,包括特征提取、模式匹配、深度学习算法等,实现对工件的精准定位、详细识别和质量检测等功能。以汽车制造为例,在汽车车身组装过程中,视觉传感器安装在机器人的合适位置,能够清晰地捕捉到汽车零部件的图像。力觉传感器在工业机器人的操作中起着不可或缺的作用。这类传感器通常基于应变片、压电材料等原理,安装在机器人的关节或末端执行器上。在机器人执行诸如精密装配、打磨、抛光等任务时,力觉传感器能够实时感知机器人所受到的力和力矩信息。在精密装配微小零部件时,力觉传感器可以精确测量零件之间的接触力。当接触力超过或低于预设的安全阈值时,控制系统会根据传感器反馈的信息及时调整机器人的操作力度,确保零件之间的装配紧密且不会因过度用力而损坏。

2.2 控制器设计

控制器作为工业机器人智能控制系统的核心枢纽,承担着根据传感器获取的环境信息和预设的目标,生成精确控制指令以驱动机器人运动的关键任务。传统控制在工业机器人的简单运动控制场景中具有一定的优势。PID 控制基于对误差的比例、积分和微分运算来调整控制量,其原理简单且易于实现。在机器人的一些基本运动控制,如简单的直线运动、定速旋转等过程中,PID 控制能够根据设定的目标值和实际测量值之间的偏差,快速调整电机的驱动信号,使机器人的运动保持稳定。然而,随着工业生产环境的日益复杂和机器人任务的多样化,工业机器人的运动系统往往呈现出高度的非线性特性。智能控制方法则为解决复杂非线性系统的控制问题提供了更有效的途径。模糊控制是一种基于模糊逻辑的控制方法,它能够处理模糊的、不确定的信息。模糊控制通过将人类的经验知识以模糊规则的形式融入控制算法中。神经网络控制则展现出强大的学习和非线性映射能力。神经网络通过大量的神经元相互连接构成复杂的网络结构,能够对输入和输出之间的复杂关系进行建模。

2.3 人工智能算法在控制系统中的应用

在工业机器人智能控制系统中,人工智能算法的应用为机器人赋予了更高层次的智能,使其能够更好地应对复杂

的工业生产环境^[3]。机器学习算法在其中扮演着重要角色。机器学习通过对大量数据的学习和分析,能够使机器人对不同的工况进行准确分类和预测。以监督学习算法为例,在工业生产线上的质量检测环节,可以利用大量带有标注的工件图像数据(标注信息包括工件是否有缺陷以及缺陷的类型)对机器人进行训练。通过训练,机器人能够学习到不同类型工件缺陷的特征模式^[4]。这种基于机器学习的质量检测方法不仅提高了检测的准确性和效率,还能够及时发现潜在的质量问题,避免不良品流入下一道工序。强化学习算法则为机器人在复杂环境中的自主决策提供有力支持。强化学习的核心思想是让机器人在与环境的交互过程中,根据环境给予的奖励信号不断调整自己的行为策略。

3 人工智能提升工业机器人性能的方法

3.1 感知能力提升

环境感知融合,在复杂的工业环境中,为了使工业机器人获得更全面、准确的环境感知能力,环境感知融合技术应运而生。该技术通过将多种不同类型传感器的数据进行有机融合,充分发挥各传感器的优势,克服单一传感器的局限性。视觉传感器和激光雷达是两种常用的环境感知传感器。视觉传感器能够获取丰富的纹理和颜色信息,对于识别物体的类型和表面特征具有独特优势。在复杂光照条件下或对于距离信息的精确测量方面可能存在一定的误差。激光雷达则擅长获取高精度的三维空间距离信息,能够准确地检测出物体与机器人之间的距离以及物体的轮廓,但它对于物体表面纹理和颜色等细节信息的感知能力相对较弱。在动态的工业生产环境中,如自动化流水线上,实时感知与更新环境信息对于工业机器人的高效运行至关重要。为实现这一目标,需要利用高速的传感器和先进的信号处理技术。高速视觉传感器每秒可以采集数千帧甚至更高帧率的图像,能够捕捉到快速运动物体的瞬间状态。同时,先进的信号处理技术对采集到的数据进行实时处理和分析。这些技术包括实时图像增强、特征提取和目标跟踪算法等。

在自动化流水线上,工件处于不断的运动状态,其位置和姿态可能随时发生变化。机器人需要实时感知这些变化并更新其内部的环境模型。以电子元件的装配流水线为例,高速视觉传感器实时捕捉传送带上电子元件的图像,通过实时图像增强算法提高图像质量,然后利用特征提取算法快速识别电子元件的特征点,进而通过目标跟踪算法确定电子元件的实时位置和姿态。基于这些实时感知和更新的信息,机器人可以及时调整其抓取和装配动作,确保在高速流水线上准确无误地完成装配任务,提高生产效率和产品质量。

3.2 决策能力提升

基于知识的决策系统是将领域专家的知识以规则、模型等形式融入工业机器人的决策过程中,使机器人在遇到特定情况时能够迅速做出合理的决策。在工业生产的各个领域,都积累了大量的专家经验和知识。在焊接机器人的控制系统中,针对不同的焊接材料(如不锈钢、铝合金等)和工

艺要求（如弧焊、点焊等），焊接专家们拥有丰富的实践经验。这些经验可以转化为一系列的规则和模型，构建到机器人的决策系统中。当焊接机器人开始工作时，它首先通过传感器获取焊接工件的材料信息、焊缝的几何形状以及当前的焊接环境条件等数据。然后，决策系统根据这些输入信息，在知识库中搜索匹配的规则和模型。如果检测到焊接材料是铝合金，焊缝类型是弧焊，并且焊接环境温度较高，决策系统会根据相应的规则选择合适的焊接电流、电压、焊接速度以及保护气体流量等参数。同时，决策系统还可以根据焊接过程中的实时反馈信息（如焊缝的温度、熔池的状态等）动态调整焊接参数，确保焊接质量的稳定性和可靠性。

智能优化决策算法在工业机器人的作业流程优化和路径规划等方面发挥着关键作用。这些算法通过对复杂问题的建模和求解，能够找到最优或近似最优的决策方案，以提高机器人的整体工作效率。

遗传算法是一种基于生物进化原理的智能优化算法。在多机器人协作的场景中，在一个大型的汽车组装车间，有多个机器人负责不同的装配任务。遗传算法可以将每个机器人的任务分配方案和运动路径看作是一个个体的基因编码。通过定义适应度函数（如总装配时间最短、能量消耗最低等）来评估每个个体的优劣。在算法运行过程中，通过选择、交叉和变异等遗传操作，不断生成新的任务分配和路径规划方案，并逐步筛选出适应度最高的方案。

粒子群优化算法则模拟鸟群或鱼群的群体行为。在物流机器人的路径规划问题中，每个物流机器人可以看作是一个粒子，粒子在搜索空间中的位置代表了机器人的路径。粒子通过与自身历史最优位置和群体历史最优位置的信息交互，不断调整自己的运动方向和速度。这种算法能够快速收敛到较优的路径解，使物流机器人在复杂的仓库环境中找到最短的搬运路径，同时避免机器人之间的碰撞和拥堵，提高物流效率。这些智能优化决策算法为工业机器人在复杂场景下的高效运行提供了有力的支持。

3.3 执行能力提升

运动控制精度提高，通过人工智能算法对机器人的运动学和动力学模型进行精确建模和补偿。在高精度的加工任务中，如芯片制造中的光刻工艺，机器人可以实现纳米级别的运动控制精度。自适应控制能力增强：机器人能够根据不同的负载、摩擦等工况自动调整控制参数。在机器人搬运不同重量的物体时，自适应控制系统可以确保机器人的运动平稳、准确。

4 基于人工智能的工业机器人智能控制系统案例分析

系统介绍：该系统采用先进的视觉传感器和基于深度学习的图像识别算法。视觉传感器安装在焊接机器人的前端，实时采集焊接部位的图像。深度学习算法经过大量焊接图像的训练，可以准确识别焊缝的位置、形状和质量。

优势体现：与传统的焊接机器人相比，该系统的焊接

精度提高 30% 以上，焊缝质量的合格率从原来的 85% 提升到 98%。同时，由于能够自动识别焊缝的变化，减少了人工干预的次数，提高了生产效率。

5 基于人工智能的工业机器人智能控制系统面临的挑战

5.1 算法优化挑战

一些先进的人工智能算法，如深度神经网络，需要大量的计算资源进行训练和运行。在工业机器人的实时控制中，如何在有限的硬件资源下保证算法的高效运行是一个难题。对于复杂的工业环境，需要算法能够快速收敛以适应新的情况。但部分算法在处理高维数据和复杂工况时，收敛速度较慢，影响机器人的响应时间。

5.2 系统稳定性挑战

传感器是智能控制系统的重要信息来源，一旦传感器出现故障，可能导致机器人获取错误的信息，从而做出错误的决策和动作。因此，需要有效的传感器故障检测和容错机制。智能控制系统的软件复杂程度较高，可能存在软件漏洞、死机等问题。在工业生产中，系统的稳定性至关重要，任何软件故障都可能导致生产中中断和损失。

5.3 安全性挑战

随着工业机器人的智能化和自主化程度提高，如何确保机器人在运动过程中不会对操作人员造成伤害是一个关键问题。需要建立可靠的安全防护机制，如碰撞检测、紧急停止等功能。智能控制系统涉及大量的生产数据，包括工艺参数、产品设计等。保障这些数据不被泄露、篡改是保障企业利益和生产安全的重要方面。

6 基于人工智能的工业机器人智能控制系统的发展趋势

认知能力提升：未来的工业机器人将具备更强的认知能力，能够理解更复杂的任务指令和环境信息。通过自然语言处理技术，操作人员可以用更自然的方式与机器人沟通，下达复杂的生产任务。研究人员开始探索赋予机器人一定的情感交互能力，使机器人能够感知操作人员的情绪状态，从而更好地协作。在复杂的工业生产中，多机器人协作将成为主流。通过先进的通信技术和协作算法，机器人之间可以实现信息共享和任务协同，提高整体生产效率。借鉴生物群体的行为模式，发展工业机器人集群智能。

参考文献：

- [1] 韩民春. 工业机器人对制造业发展及就业影响研究[J]. 人民论坛, 2024(7): 76-81.
- [2] 李明. 基于AI视觉的工业机器人抓取系统设计[J]. 现代制造技术与装备, 2024, 60(3): 186-188+201.
- [3] 黄达, 陈薇薇. 基于深度学习的工业机器人智能控制系统设计与实现[J]. 信息记录材料, 2024, 25(7): 131-133+137.
- [4] 李春敏. 智能控制技术在工业机器人中的应用[J]. 河南科技, 2021, 40(14): 11-13.