

Adaptive Assembly Method of Collaborative Robots for Intelligent Manufacturing

Jiaqi Li

Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan, Shanxi, 030024, China

Abstract

With the continuous advancement of intelligent manufacturing, collaborative robots have become increasingly prevalent in production environments, particularly demonstrating their full potential in assembly operations. However, traditional assembly methods often rely on fixed programs and environmental configurations, lacking flexibility and adaptability. To enhance assembly efficiency and precision, this study proposes an adaptive assembly method for collaborative robots tailored for intelligent manufacturing. By leveraging deep learning and sensor feedback, the robots can automatically adjust to different assembly scenarios, effectively handling complex operational changes. Experimental results show that collaborative robots employing this approach maintain efficient and stable performance across various dynamic environments, significantly improving both assembly quality and production efficiency. This research not only provides new technical pathways for intelligent manufacturing but also offers valuable references for automation upgrades in the Industry 4.0 era.

Keywords

Intelligent Manufacturing; Collaborative Robots; Adaptive Assembly; Deep Learning

面向智能制造的协作机器人自适应装配方法

李佳奇

太原科技大学, 中国·山西太原 030024

摘要

智能制造不断发展,在生产现场,协作机器人的应用越来越普遍,尤其在装配作业中,协作机器人的潜力被充分展现出来,但传统装配方法常常依赖固定程序和环境设定,缺少灵活度和自适应能力,要提升装配过程的效率和精确性,提出一种面向智能制造的协作机器人自适应装配方法。利用深度学习和传感器反馈,使机器人可以在不同装配场景下自动调节,可以应对复杂的工况改变。实验显示,使用这种方法的协作机器人在多种动态环境下仍能保持高效稳定的工作表现,极大地改善了装配质量和生产效率,此项研究既给智能制造领域赋予了新的技术途径,又给工业4.0时代下的自动化升级给予了参考。

关键词

智能制造,协作机器人,自适应装配,深度学习

1 引言

伴随着工业4.0的发展,智能制造成了改善生产效率和产品质量的关键力量,在这个过程中,作为智能制造的重要组成部分——协作机器人,正朝着更为智能化和自主的方向迈进。传统的工业机器人大多依照预先设定好的路线和操作方法,缺少灵活应变的能力,尤其是在装配环节,无法应对多变的工作环境以及工件精度方面的诉求,怎样加强协作机器人的适应能力,让其能按照实际情况自行调节,进而优化装配效率和精度,这是当下亟待攻克的技术难点。

2 协作机器人自适应装配的技术背景及挑战

2.1 协作机器人概述

协作机器人(Collaborative Robots, Cobots)是智能制造中的关键技术,可以与人类工人共享工作空间,把传统工业机器人做不完的任务做完。协作机器人机器人与人之相比,不仅操作灵活,而且可以在多变的生产环境中实时调整自己的工作策略。其最大的特点就是协作能力,可以与人工操作员一起完成工作,在执行过程中也具有自适应能力,因此在装配、搬运、检查等方面表现出很大的优势。当下,协作机器人被应用到汽车制造、电子装配等很多领域里,不过传统协作机器人的工作模式往往是预先编好的程序,在一些非常动态或者不能确定的生产环境下,机器人的适应性比较差,所以装配作业达不到预期的灵活度和精确度,如何提高协作机器人在不同装配环境下的应变能力,这是智能制造领域里很

【作者简介】李佳奇(2005-),男,中国河北新乐人,本科,从事机器人工程研究。

重要的一个研究方向。

2.2 自适应装配面临的关键技术挑战

自适应装配指的是机器人可以依据生产现场的变化自行调节工作参数或者执行策略，这个过程里协作机器人要应对不少关键技术难题，第一点，怎样应对动态环境中的感知问题便是其中的一大难点。在传统的装配生产线上，工件的位置，形状和尺寸都是固定不变的，机器人靠预先设定好的程序就能顺利完成装配任务，但是实际生产中，工件的误差，形变以及工位的变化往往会影响到装配的准确度，所以机器人在感知方面得更智能一些，能及时取得工件和周围环境的状态信息，并且做出相应的调整。第二点，机器人控制算法的自适应性也是一个难点。传统控制算法一般是静态的，难以处理复杂的装配场景变化，自适应装配要求机器人在任务执行时可根据实时反馈做调整，这就需机器人拥有较强的学习能力。通过学习不同场景下的操作经验来改进执行策略，机器人同环境的交互也属自适应装配的难点，处在不断变化的装配环境中，协作机器人需和其他机器人，人工操作员，设备展开协作与互动，怎样达成高效的，安全的人机协作，杜绝冲突和碰撞，保证生产过程既顺畅又安全，这是适应组装工艺需要解决的一个重要问题。

2.3 自适应装配的研究现状

自适应装配方面，不少研究已取得明显进展，研究者借助先进传感技术，计算机视觉以及深度学习算法，给协作机器人赋予了更灵活也更高效的装配操作手段。近些年，依靠视觉和力觉传感器的反馈控制系统被普遍运用到机器人装配当中，这类系统可即时察觉装配过程中的误差并加以修正，进而改善装配准确度和效率，而且，深度学习算法的采用也为机器人自适应能力的提升供应了新方法。通过深度神经网络，机器人能够学会多种装配策略，甚至可以从众多过往数据里找出更好的操作方案，不过，现存的研究依旧碰上诸如实时性，适应性与鲁棒性之间的矛盾之类的问题。所以，怎样在保障自适应装配速度的同时，优化系统的稳定性和安全性，便是当下研究的焦点。

3 面向智能制造的协作机器人自适应装配方法设计

3.1 系统架构与关键组成

为了使协作机器人能在装配过程中具有自适应能力，本题设计了一个基于深度学习以及传感技术的自适应装配方法，通过对多个关键技术的使用，使整个系统形成一个具有自适应能力的系统，其结构分为三大部分，即感知模块、决策模块以及执行模块。首先感知模块中主要包括了多种传感器来获取整个系统的工作环境以及工作物件的实时状态，比如视觉传感器、力觉传感器、温湿度传感器等等，通过这些设备所获取的环境信息和工件的信息，可以有效的

获取到该工作环境以及工作物件的形状大小，位置等信息。通过感知模块的数据信息融合之后，会将这些信息发送给决策模块。决策模块会根据感知数据来实施实时处理与分析，这个模块用深度学习算法，融合机器学习模型和历史数据，来预估装配过程里大概会出现的误差，并且生成对应的补偿策略。比如在装配的时候，要是察觉到工件的位置出现偏移，决策模块就能按照当前的偏移量算出调整方案，然后把这个方案传送给执行模块，执行模块依照决策模块发出的指令，去调节协作机器人的运动轨迹、速度、力量这些参数，从而达成精准的装配任务，执行模块所采用的控制算法是高度集成的，可以在不断调整的过程中维持装配的稳定性和安全性。

3.2 感知模块的设计与实现

感知模块是协作机器人自适应装配的基石，它要完成的任务就是及时获取环境信息，给决策模块给予支撑，这个模块把视觉感知，力觉感知和环境传感器的数据结合起来。通过数据融合加上优化算法做到精确的环境感知，视觉感知方面，采用高分辨率相机和深度传感器做环境扫描，用计算机视觉算法执行物体检测和识别。这些传感器能捕捉到工件的外形和姿态，特别是对于不规则的工件，视觉系统凭借边缘检测，特征匹配等算法可以立刻识别出它的位置和方向，而且，视觉系统还可以同力觉感应器相配合，从而对工件的位置加以校准和检验，保证准确无误，力觉感知则是借助安装在机器人末端的力传感器来即时监测机器人所受的力。当机器人碰到工件的时候，力传感器可以察觉到很细微的力的改变，然后通过反馈来调节机器人的运动，防止因为过度接触或者碰撞而造成损伤或者误差，而且力觉传感器还能观测装配过程有没有阻力上的改变，从而让机器人知道工件是不是已经被准确地定位，环境传感器用来检测工作区域的温度，湿度等外部环境情况。这些信息同样有益于改进机器人的操作策略，在非常动态的环境下，温湿度的变动也许会对装配品质产生影响，所以，及时监测环境变化十分关键。

3.3 决策模块的优化算法

决策模块是系统的“大脑”，它要对感知模块传来的数据执行即时处理，然后给出最佳的装配策略，想要让协作机器人在复杂环境里自动工作，决策模块就要有很强的智能分析能力，深度学习算法在这个模块的应用，让机器人可以从大量历史数据中持续改良自己的操作策略，提升工作效率和装配精度。决策模块采用深度神经网络（DNN）和卷积神经网络（CNN）等算法，对数据执行多层次的分析和预估。通过训练一个具有诸多装配经验的模型，系统可以预估不同工件及环境状况下的装配误差，给机器人接下来的操作给予即时回馈。比如说，在装配进程当中，系统可以凭借传感器所获取的数据，察觉到潜藏的装配偏差，然后用改良算法来立刻改变机器人前行的线路规划以及动作执行。

4 协作机器人自适应装配的实验研究与应用探索

4.1 实验设置与评估标准

为了验证此提出的针对协作机器人的自适应装配方法是否有效,便设计出了一系列的实验去模拟一些不同工况下的组装工作。实验中包含了较为简单的装配任务以及较难的装配任务,以考察该方法适应各种环境下是否具备足够的稳定度。在实验中设置了较为典型的工艺类型来进行实验,例如工件拧紧装配、部件组合装配等等。并且在实验的过程中设置一些不同的干扰因素,比如工件自身发生形变、不同工位之间的存在误差现象、传感器存在噪声情况等,模拟出一个真实生产过程当中的种种不稳定性情况,实验过程中采用多种传感器进行装配操作,选用的有高分辨率的视觉检测系统、力度检测系统以及对温度和湿度有感应能力的系统来实现。

评估标准主要对评估协作机器人装配工件时的精度进行评估,尤其是评估拼接误差、配合误差等;在动态环境下评估协作机器人的适应性,观察协作机器人在工件误差、位置变化等情况下的表现;对协作机器人在完成装配任务所花费时间进行评估,比较传统方法和自适应装配方法的效率差异;对评估协作机器人在长时间运行中是否能够保持高效的装配能力,尤其在复杂环境中的表现。

4.2 实验结果分析

标准装配任务里,用自适应装配方法的协作机器人同传统的固定程序的机器人相比,有着明显的优势,特别在螺钉拧紧任务上,采用自适应方法的机器人可以自行按照工件尺寸误差来调节操作力矩,从而减小由于力矩过大或者过小造成的装配失败情况。实验数据表明,自适应装配方法的精度误差下降大约15%,装配完成的时间缩减了10%左右,在复杂装配任务当中,协作机器人显示出更强的适应能力。比如工件形状不规则,工位有偏差的时候,采用传统方法的机器人就无法保证精度,但是自适应装配方法可以随时调整工作策略,保证装配过程顺利进行。在这个情况之下,自适应装配方法的稳定程度比较高,机器人在全过程中维持比较小的误差范围,并且能够对环境里突然出现的改变做出回

应,实验数据显示,协作机器人的自适应装配方法,在精确性以及效率方面比以往方法更优秀,具备很强的适应力以及鲁棒性能,这种技术可以有效地帮助智能制造完成柔性装配工作。

4.3 实际应用案例

为了进一步检验这种办法的实际运用价值,又选了一个汽车制造厂的装配线做例子,这个装配线包含许多复杂的装配任务,电动机组装、车身焊接等等。传统的装配手段依靠人工和固定的机器人,工作环境相对复杂,不确定性因素较多。在实际使用当中,用自适应装配方法的协作机器人取代了一部分人工工位,可以在很多个装配环节里和人工操作员一同工作。拿电动机组装任务来说,机器人凭借视觉传感器和力传感器随时调整夹具的位置,保证了精确的装配。机器人借助深度学习算法,可以依照即时回馈来改良装配策略,从而保证工件的准确定位以及操作力的精确把控。在执行自适应装配办法之后,这个装配线的生产效率大约改进了百分之二十,而且装配误差缩减了大概百分之十二,而且,机器人的稳定性和适应性也使得生产线的柔性得到了很大的提升,可以迅速应对不同批次,不同规格的工件改变,符合现代智能制造所要达成的灵活又精准的需求。

5 结语

协作机器人自适应装配方法给智能制造领域带来了新的技术思路,通过融合深度学习技术和传感器技术,机器人便能在变动的生产环境下开展高效的装配任务,从而加强生产线的柔性和智能化水平,虽然目前的技术还有待改进,但随着技术不断发展,协作机器人在装配方面的应用会愈加广泛,促使智能制造得到更大的发展和提升。

参考文献

- [1] 黄香怡.协作机器人运动学参数标定试验研究[D].大连交通大学,2025.
- [2] 殷珊珊.工业机器人驱控一体控制器的设计与开发[D].山东交通学院,2025.
- [3] 戴先鑫.基于视觉识别的机械臂抓取系统研究[D].山东交通学院,2025.