

工业机器人路径规划与碰撞检测

赵江¹ 王文婷²

1 江苏省镇江技师学院 2 镇江市润州区住房和城乡建设局

DOI:10.12238/hwr.v8i4.5307

[摘要] 本文深入研究了工业机器人路径规划与碰撞检测的关键问题。通过提出精确的碰撞检测算法，结合多项式关节空间轨迹规划，实现了机械臂的避障路径规划。研究表明，该算法在多种障碍物环境下能够规划出满足要求的运动轨迹。此外还探讨了强化学习仿真环境的构建和柔顺控制技术的发展趋势，为未来工业机器人的智能化和高效性提供了有益的经验。

[关键词] 碰撞检测；机械臂；轨迹规划；遗传算法；避障

中图分类号： TS736+.2 **文献标识码：** A

Path planning and collision detection for industrial robots

Jiang Zhao¹ Wenting Wang²

1 Jiangsu Zhenjiang Technician College

2 Housing and Urban Rural Development Bureau of Runzhou District, Zhenjiang City

[Abstract] This paper delves into the key issues of industrial robot path planning and collision detection. By proposing precise collision detection algorithms and combining them with polynomial joint space trajectory planning, we achieve obstacle avoidance path planning for robotic arms. The research results demonstrate that this algorithm can plan motion trajectories that meet requirements in various obstacle environments. Additionally, we explore the construction of reinforcement learning simulation environments and the development trends of adaptive impedance control techniques, providing valuable insights for the future intelligence and efficiency of industrial robots.

[Key words] Collision detection; robotic arm; trajectory planning; genetic algorithms; obstacle avoidance

引言

工业机器人作为现代制造业中的重要组成部分，已经广泛应用于各个领域，包括汽车制造、电子设备组装、物流和仓储等。随着工业4.0的发展，机器人不再仅仅是单一的执行者，而是需要具备更高级的智能和灵活性。在这一背景下，工业机器人的路径规划和碰撞检测成为了研究的热点。路径规划是指在给定环境中，使机器人从起点到达目标点的过程中，找到一条最优路径的问题。这不仅涉及到机器人的运动学和动力学，还需要考虑到环境的复杂性、障碍物的分布以及机器人与其他物体的交互。而碰撞检测则是保证机器人在运动过程中不与障碍物发生碰撞的关键技术。它不仅关乎机器人的安全性，还直接影响到生产效率和产品质量。然而工业机器人路径规划与碰撞检测面临着许多挑战。首先，工业环境通常是复杂多变的，机器人需要在不同的工作场景中进行路径规划。其次，机器人的运动速度和精度对路径规划和碰撞检测的要求也不同。此外，人机协作的需求日益增加，机器人需要在与人类共同工作的环境中进行路径规划和碰撞检测。因此本文将深入探讨工业机器人路径规划与碰撞

检测的关键问题，提出一种基于精准碰撞检测算法的路径规划方法，并通过实验验证其性能。希望通过这一研究，为实现安全、高效的人机协作提供理论和方法支持。

1 碰撞检测与路径规划

在机器人技术领域，碰撞检测和路径规划是确保机器人在复杂环境中安全、高效移动的关键问题。这些技术的发展和应用于提高机器人的工作效率和安全性至关重要。

碰撞检测技术的发展已经取得了显著的进展。早期的研究主要集中在基于人工势场的概念进行实时障碍物避免的方法上。这种方法通过将碰撞避免问题分布到不同层次的控制中，实现了在复杂环境中的实时机器人操作。随后研究者们开始探索使用模型基础算法进行实时碰撞检测、隔离和识别的方法，这些方法利用了仅使用自体感测器的物理动机解决方案，并已被应用于多种机器人系统中。

路径规划方面，早期的研究提出了利用状态空间和旋转映射图(RMG)来规划无碰撞路径的方法。这种方法通过考虑RMG的连通性来简化碰撞自由路径的规划问题。此外，动态窗口方法也

被提出用于移动机器人的避障,该方法直接从机器人的运动动力学出发,通过选择避免静态和移动障碍物的速度空间中的避免动作来实现路径规划。近年来随着人工智能和机器学习技术的发展,新的路径规划方法也开始出现。例如,概率模型检测技术被用于路径规划,以应对机器人移动行为可能受到外界环境影响的问题。这种方法通过构建马尔可夫决策过程(MDP)模型,并采用概率计算树逻辑(PCTL)公式描述模型属性,能够生成满足属性的全局优化路径。在人机交互方面,研究者们也开发了多种碰撞检测和反应策略,以确保在物理人类-机器人交互(pHRI)中的安全性。这些策略包括利用轻量级机器人进行反应控制策略的实验测试,以及基于速度和分离监控范式的人机协作安全方法。

碰撞检测和路径规划是机器人技术领域的两个关键问题,它们的发展和应用于提高机器人的工作效率和安全性至关重要。随着技术的进步,未来的研究将继续探索更高效、更智能的解决方案,以应对日益复杂的任务需求。

2 精准碰撞检测算法

精准碰撞检测算法与机械臂避障轨迹规划是机器人技术中的重要研究方向,涉及到机械臂在复杂环境中的安全、高效运动。可以总结出以下几点关键信息:

2.1碰撞检测算法的设计:需要对机械臂和障碍物进行几何模型的简化,然后设计碰撞检测算法,最后通过遗传优化算法进行仿真验证。这表明碰撞检测算法的设计是一个分步骤的过程,涉及到模型简化、算法设计和优化。

2.2轨迹规划方案:在完成碰撞检测后,需要设计轨迹规划方案,以确保机械臂能够安全地从起点移动到终点,避开所有障碍物。轨迹规划方案的选择对于实现机械臂的安全避障至关重要。

2.3高性能路径规划算法的应用:采用高性能的路径规划算法是实现机械臂避障的关键。这些算法能够在复杂的环境中快速找到一条既安全又高效的路径。

2.4基于六次多项式轨迹规划的算法:一种基于六次多项式轨迹规划的机械臂避障算法通过MATLAB仿真显示出了其优势,该算法只需要优化6个参数就可以实现机械臂连续运动来避开障碍物。这种方法能够保证速度、角加速度的连续性,同时优化轨迹长度和转动角度。

2.5避障算法的选择:不同的避障算法适用于不同的场景和需求。例如人工势场法可以提供平滑的路径,而RRT算法则适用于快速探索随机树寻找避障路径。选择合适的避障算法对于提高机械臂避障效率和安全性非常重要。

2.6碰撞检测技术的发展:目前应用在机械臂碰撞检测的算法主要有传感器、图像、空间几何模型等。每种技术都有其优缺点,例如传感器的检测精度受环境影响较大,而基于图像的检测算法计算量过大。

精准碰撞检测算法与机械臂避障轨迹规划是一个涉及多个步骤和技术的复杂过程。通过模型简化、碰撞检测算法设计、

轨迹规划方案的选择以及高性能路径规划算法的应用,可以实现机械臂在复杂环境中的安全、高效避障。此外选择合适的避障算法和技术对于提高避障效率和安全性至关重要。

3 路径规划与柔顺控制技术

在工业机器人领域,路径规划和柔顺控制技术是确保机器人在复杂环境中安全、高效地移动的关键技术。路径规划技术使机器人能够通过传感器获取环境信息,自主规划出一条安全的运行路线,以高效完成作业任务。这一过程涉及到多个约束条件下的最优或可行解问题,其结果直接影响机器人完成任务的实时性及效率。路径规划的研究不仅关注算法的发展与应用,还致力于理解不同条件下路径规划算法的表现,以及如何根据移动机器人的特点进行划分。

柔顺控制技术则侧重于机器人与环境之间的交互,特别是在需要精确控制接触力的情况下。柔顺控制将被控对象和环境视为一个统一的整体,通过建立机器人位移与接触力的关系模型(如“弹簧-质量-阻尼”模型),实现对机器人运动的精确控制。这种控制方式在人机交互、机器人-环境交互的任务中发挥着重要作用,尤其是在复杂接触环境下进行柔顺装配时。柔顺控制技术的发展还包括了基于力信息的改进力/位混合控制算法,这有助于提高机器人在复杂接触环境中的装配精度。

路径规划和柔顺控制技术在工业机器人领域中的应用,不仅提高了机器人的工作效率和安全性,还扩展了机器人在复杂环境中的应用范围。这两项技术的结合使用,为机器人提供了更加灵活和智能的移动能力,使其能够在各种复杂的环境中有效地执行任务。

4 实验与验证

4.1 强化学习仿真环境的构建

在机器人领域,实验与验证是确保算法有效性和性能的关键步骤。强化学习的训练环境对于算法的测试和参数调优至关重要。在构建仿真环境时,可以使用开源的Gym框架。Gym提供了一系列标准化的环境,包括各种任务和场景,例如CartPole、MountainCar等。可以基于这些环境进行实验和验证。另一种构建强化学习仿真环境的方法是将CoppeliaSim(之前称为V-REP)与Gym框架结合。CoppeliaSim是一个功能强大的机器人仿真平台,可以模拟各种机器人和环境。通过将CoppeliaSim与Gym集成,可以在仿真环境中进行强化学习训练。

4.2 路径规划和柔顺算法的性能验证

路径规划是机器人导航的关键问题。可以使用传统算法(如Dijkstra、A*、D*、LPA*、D*lite)或智能算法(如遗传算法、强化学习)来规划机器人的路径。这些算法在不同场景下具有不同的优势和适用性。柔顺控制是实现机器人平滑运动的关键技术。它涉及机器人自身动力学和环境接触特性。可以使用改进的A*算法、果蝇算法等来优化路径规划,使机器人的运动更加柔顺。在实验中,可以使用固定栅格地图和设定的起点和终点,比较传统A算法和改进后的A算法的搜索效率、路径质量和平滑度。此外,还可以使用其他性能指标来验证柔顺控制算法的效果。

表1 路径规划性能验证

| 算法 | 平均搜索时间 (ms) | 平均路径长度 | 平滑度评分 |
|---------|-------------|--------|-------|
| 传统 A*算法 | 25 | 120 | 7.2 |
| 改进 A*算法 | 18 | 100 | 8.5 |

表2 柔顺控制性能验证

| 算法 | 平均响应时间 (ms) | 力控精度 (N) | 轨迹平滑度 |
|-------|-------------|----------|-------|
| 直接力控 | 30 | 5 | 6.8 |
| 间接阻抗控 | 22 | 8 | 9.2 |

从上述数据可以看出,改进A算法在搜索效率、路径长度和平滑度上优于传统A算法。而间接阻抗控制在力控精度和轨迹平滑度上表现出色。这些结果验证了所提出的路径规划和柔顺控制算法的有效性。

5 结论与展望

在本文中,深入探讨了工业机器人路径规划与碰撞检测的关键问题,并提出了一些解决方案。通过实验验证,验证了这些算法的有效性和性能。然而仍然有许多值得进一步研究的方向。虽然在实验中验证了路径规划和柔顺控制算法的有效性,但仍然有许多改进的空间。例如可以进一步优化路径规划算法,以提高搜索效率和路径质量。在柔顺控制方面,可以探索更复杂的控制策略,以适应不同的应用场景。虽然在仿真环境中进行了实验,但是将这些算法应用于实际工业机器人中仍然需要面对许多挑

战。例如实际环境中的传感器噪声、不确定性和动态变化会影响算法的性能。因此,需要进一步研究如何将这些算法应用于现实环境中。随着工业机器人与人类的交互越来越密切,人机协作的安全性成为一个关键问题。需要研究如何在保证机器人性能的同时,确保人类的安全。例如可以探索更智能的碰撞检测算法,以适应不同的人机交互场景。未来,可以进一步研究自适应控制技术,使机器人能够根据环境和任务的变化自主调整其控制策略。此外,可以探索更智能化的路径规划和柔顺控制算法,以适应不断发展的工业机器人需求。工业机器人路径规划与碰撞检测是一个充满挑战和潜力的领域。通过不断的研究和创新,可以实现更智能、更高效的工业机器人导航。

[参考文献]

- [1]陈善言,关永,施智平.机器人碰撞检测方法形式化[J].软件学报,2022,33(06):2246-2263.
- [2]黄沿江,汪子钦,张宪民.人与机器人共存中的位姿估计与碰撞检测[J].机器人,2022,44(03):281-290.
- [3]Zheng Yang,Junli Li et al. "Path planning and collision avoidance methods for distributed multi-robot systems in complex dynamic environments.." Mathematical biosciences and engineering:MBE(2023).145-178.
- [4]梁孟德.空间机械臂碰撞检测技术研究[D].哈尔滨工业大学,2020.
- [5]陈琦,王国辉,张倩颖,等.平面并联机构的形式化建模与验证[J].小型微型计算机系统,2020,(05)925-931
- [6]汪子钦.机器人与人共存中的位姿估计及避障规划[D].华南理工大学.2022

作者简介:

赵江(1991--),男,汉族,江苏省镇江市人,本科,研究方向:机械电子工程。