

结合强化学习的模糊控制算法在机器人避障路径规划中的研究

郑秀丽¹, 李佳东²

1. 河南工学院, 河南 新乡 453003

2. 中船重工龙江广瀚汽轮机有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150001

DOI:10.61369/ECE.2025030020

摘要 : 本文主要通过结合模糊控制算法与强化学习算法对机器人的障碍物避开作出分析, 利用这种策略方式, 能增强机器人自我调节方面的性能能力, 对提升避障路径规划灵敏度和稳定度也有一定的帮助意义, 还有利于机器人领域智能化方向发展和广泛应用目标的达成。因此, 论文尝试将强化学习和模糊控制算法结合, 对机器人障碍物避开系统进行了进一步分析, 加强对算法学习方式的研究, 对多种应用场景等方面进行探讨, 有利于推动机器人领域在生产制造、服务行业和服特种服务需要等方面的应用, 具有一定的积极影响。

关键词 : 强化学习; 模糊控制算法; 避障路径规划

Research on Fuzzy Control Algorithm Combined with Reinforcement Learning in Robot Obstacle Avoidance Path Planning

Zheng Xiuli¹, Li Jiadong²

1. Henan Institute of Technology, Xinxiang, Henan 453003

2. CSIC Longjiang Guanghan Steam Turbine Co., Ltd., Harbin, Heilongjiang 150001

Abstract : This paper mainly analyzes the robot obstacle avoidance by combining the fuzzy control algorithm and the reinforcement learning algorithm. By using this strategy, it can enhance the performance ability of the robot in self-regulation, which is also helpful for improving the sensitivity and stability of the obstacle avoidance path planning, and is beneficial for the development of the intelligent direction in the robot field and the achievement of the application goals. Therefore, this paper attempts to combine the reinforcement learning and the fuzzy control algorithm to further analyze the robot obstacle avoidance system, strengthen the research on the learning method of the algorithm, and discuss it in various application scenarios, which is conducive to promoting the application of the robot field in production manufacturing, service industries, and special service needs, and has a certain positive impact.

Keywords : reinforcement learning; fuzzy control algorithm; obstacle avoidance path planning

引言

目前, 机器人发展日趋火热, 障碍物避障路径规划是其独立行走的主要步骤, 这一直是学者们研究的热点与焦点问题。然而, 部分传统方法, 如人造势力场法或 A* 算法, 虽能解决简单的静态问题, 但是在面对复杂的、动态变化的场景时, 收效甚微。随着技术的不断发展, 机器人在各行各业中的应用日益广泛, 如工厂生产、家务服务、危险场所、宇宙探索等, 人们对机器人避障能力也提出了更高要求。基于强化学习和模糊控制相结合的新算法, 现在已经在实际中应用。二者相结合能够使机器人具备根据与外界的交互状况, 调整行为策略实现最优决策的能力, 也能更高效地处理传感器给出的信息。鉴于此, 本次我们分别从意义和路径两方面进行探索, 探索融合下的机器人避障路径规划如何更加有效。

一、结合强化学习的模糊控制算法在机器人避障路径规划中应用的意义

(一) 提升机器人在复杂环境下的自适应能力

传统基于预设环境模型和固有规律的人工势场法、A* 算法

等难以应对不断变化的、信息稀少的复杂环境。加入强化学习和模糊控制算法后, 机器人能够利用与环境的交互和调整躲避的方法, 通过不断试错累积自身经验, 基于环境反馈优化决策过程。同时模糊控制将人类专家的经验 and 知识运用模糊化规则^[1], 以处理由传感器获得的不确定的数据。例如, 碰到移动目标障碍物、照

明条件改变或者路面复杂的情况下，机器人可以马上获得周围信息，通过强化学习动态调整模糊控制规则的重要性，以改变躲避行为，从而完成高效率的避障和最优路径规划，极大提高机器人在复杂环境下的自主性和生存能力。

（二）增强机器人避障路径规划的灵活性与鲁棒性

结合强化学习的模糊控制算法在机器人避障路径实践过程中，机器人在面对各种障碍物障碍时情况复杂，对防碰路径规划方法的灵活、抗干扰能力提出要求。采用模糊控制方法，可以模拟人的思维处理模糊信息，将传感器感知到的距离、速度等连续信息转化为模糊的语句处理，生成合理的避让方案。结合强化学习，使得机器人能根据不同工作需求以及环境特点独立探索，优化模糊控制规则。例如面对狭窄路段和宽敞路面时，机器人能够通过强化学习调整模糊控制系统参数，使机器人的防碰策略既做到可靠又提高效率。另外，若机器人由于传感器噪音的影响或者是模型参数不确定，通过结合强化学习的模糊控制算法，可以经过自我学习和自我调整，仍保持较高的防碰性能，提高机器人防碰路径规划的灵敏性和稳定性，降低由于环境和系统产生偏差而导致的防碰失效风险。

（三）推动机器人智能化发展与实际应用落地

随着机器人相关技术的发展，很多行业对于机器人的智能化水平也提出了更高要求。模糊控制算法与强化学习的结合让我们有了更先进的机器人路径规划避障设计，能够让机器人的自主学习和自主决策能力明显提升，这才是其向更高水平发展的决定性条件。无论是工业制造中的物流机器人，还是服务领域应用的配送机器人，又或是危险行业应用的特种机器人，都离不开有效的路径规划避障^[2]。该算法应用能够让机器人理性完成相关任务，并在各种情况下展现出更高效的执行效率以及安全性，减少人力需求和成本消耗。例如在物流仓储企业中，应用该算法的机器人能在货品摆放区域和搬运通道中灵活穿行，避开各类障碍，高效进行货物拣选分拨等工作；在灾难救援现场，机器人能够根据现有的灾害情况进行有效规避，自主规划寻找生还者，给救援工作发挥强大的力量。因此模糊控制算法与强化学习的结合对于推动机器人在多个领域的实际应用，加速机器人行业发展具有十分重大的意义。

二、结合强化学习的模糊控制算法在机器人避障路径规划中的应用路径

（一）优化算法结构与参数调整策略

1. 算法融合深度优化

融合强化学习与模糊控制本身不是简单的叠加，需要对机器人规避障碍的实际情境进行深入融合。可将强化学习置于顶层，以完成全局行为策略学习，模糊控制处于底层，能够随时进行动作决策。例如在复杂多变环境中，强化学习模块根据过往的学习以及环境信息进行调整的能力，生成宏观避障策略方向^[3]，模糊控制模块则根据传感器的实时信息，如距离、速度等，将信息转化成模糊语言变量，快速给出具体的避障动作，形成“全局规划—

局部反应”的协同机制。

2. 参数动态自适应调整

机器人传统算法往往需要通过人的主观经验设置参数，而人无法了解不同环境特性，一旦环境改变，参数与环境不符，那么结果也会不精准。因此，可以引入基于强化学习的 Q-learning 和 DQN 算法的自适应参数调整系统，将其作用在奖励函数（如：避免障碍物效果、运动路径长短和时间消耗）上，从而使机器人在和环境交互过程中，自行优化模糊控制系统的权值以及隶属函数参数。例如机器人需要穿越狭窄的通道进行避障时，可以以强化学习方式，降低“快速转向”规则权重，提升“慢慢前进”规则的权重，保证机器人能够安全通过。

3. 算法性能优化与改进

针对强化学习学习过程中的低速收敛以及易陷入局部最优的问题，可通过遗传算法或模拟退火算法，对强化学习的初始策略以及参数进行优化^[4]。结合模糊控制，以自适应模糊控制技术实现算法调整，在运行时自动产生和调整模糊规则，提高模糊控制的精准度。

（二）完善机器人避障系统设计

1. 传感器系统优化配置

机器人要在多变环境中自如行动的重要前提条件就是具有极其灵敏以及精准的外部环境感知能力，这就需要根据选用不同的传感器，比如激光雷达、视觉或是超声波传感器等。其中，激光雷达能够获得高精度的三维空间信息，构建地图和遥感障碍物；视觉传感器能区别一些复杂环境以及动态目标；超声波传感器主要负责近距离的精准测量。通过多种传感器的应用，将所捕捉的各种、各样的数据信号相互补充，提高了环境感知精度与稳定性，给予算法更为优质的输入信息。

2. 硬件与软件协同设计

机器人系统的硬件决定其运行效率，所以为提高效率，就要选择高性能处理器与内存，保证硬件具备的算法可以快速处理海量数据信息，还要可以实现复杂计算。此外，在系统软件部分的设计上，采取模块化设计，建立分层组织体系，使传感器的数据采集、算法处理和动作控制等功能可以分离^[5]，提升系统可维护性与可扩展性。比如，将强化学习和模糊控制部分做成独立的软件模块，便于后期算法的升级优化。

3. 系统安全性与可靠性保障

保证系统安全性和稳定性需要机器人完成避障任务时不仅通过算法完成避障工作，还需要设计硬件性的保护机制，如设急停设备、碰触探头等。另外，从软件设计方面，我们要设计故障识别、纠正机制，当算法出错或者传感器输入信息不准确时，可以迅速切换至备选模式或是转入安全运行模式，保证机器人以及环境的安全。相关人员还可通过仿真与实际场景测试，检测系统是否具有可靠性，不断优化系统设计。

（三）强化数据处理与学习策略

1. 数据采集与预处理

对于机器人来说，有海量和优质的训练数据，是进行算法学习的前提条件。机器人运行期间，要能不断采集机器人数据以及

环境信息，对得到的数据进行预处理，比如清晰数据信息、归化信息，还有提取特征等，以降低噪声，提高数据准确性与可应用性，如采用激光雷达数据处理滤波，提出环境干扰下导致的异常点。

2. 经验回放与迁移学习

为了解决强化学习的数据短缺问题及训练过程的不稳定性，可以应用经验回放技术，即将机器人与环境相互作用后获得的知识（状态、动作、反馈、未来状态等）存储在经验池中，随后从经验池中随机选取若干信息展开训练，打破数据彼此练习，把某个场景中获得的躲闪障碍信息迁移到相似场景中去，减少新场景中算法的训练时间，加快收敛速率。

3. 在线学习与持续优化

由于机器人周遭的环境处于运动状态，所以算法设计要能够满足多变环境需求，因而在线学习功能就变得必不可少。机器人实际运行中，实时收集当前的环境数据，接收反馈数据，对增强学习算法以及模糊控制规则进行实时修正。例如机器人进入新的工作环境，面对新的障碍物，可以通过在线学习调整避碰方案，快速适应新的环境，增强避障的效果。

（四）促进多场景应用与实践拓展

1. 工业场景应用深化

工业场景中应用比较广泛的为物流机器人与搬运机器人，其必须能够在复杂的工业生产场景和物流存储区域内自主避障。融合强化学习的模糊控制方法，能够根据工业生产场景的具体需要，设计相应的应用方案。例如，在汽车生产环境下，汽车机器人需要在既定生产流程中避开活动 AGV 小车和人手，通过强化学习对模糊控制进行动态调整，以达到在不降低生产效率的情况下，实现机器人的安全运作，保障员工和设备生产安全。同时结合物联网技术，工业机器人之间可以进行信息交流，实现共同协作，提升整体工业生产系统的智能化水平。

2. 服务场景创新应用

服务领域技术的应用，如配送机器人、导览机器人等，需要高效在人流密集的公共场所避障。由于服务行业的固有特点，其同样可以借助该算法设计，让避障方案更具人性化。比如，配送机器人进入小区配送货物时，能根据行人轨迹路与行人目的地，修改模糊控制规则，找出最合适避让时刻，选择最合适避让路

径，预防与行人发生冲突，提升顾客满意度。同时，借助 AI 自然语言、电脑视觉技术，机器人对于人类指令与环境信息理解会更加深入，提供更为智能化的服务。

3. 特种场景探索应用

对于不分长期处于高危工作岗位或者是航天探测等特殊环境中的机器人来讲，面临的是一种极其复杂多变而未知的环境，因此对于规避障碍路径算法的要求也较高。在强化学习和模糊控制算法相结合的方法应用下，能充分发挥机器人自身适应能力和智能判断能力，使机器人在上述环境中自主有效完成作业。例如机器人在救援行动过程中，需要在坍塌的房檐瓦片下面将被困人员搜索出来，并且不断提升自身规避障碍的路径计划。同样的情景也会发生在航天领域，机器人需要依靠该算法设计避免碰撞的路径规划，以此完成探测任务。特种场景下通过应用这种算法，不仅可以促进算法的新颖化，而且也能给类似特殊环境下的机器人运行提供建议。

4. 产学研合作与标准制定

为加速融合模糊控制的机器人应用于障碍物回避的路径规划，应加强校、研、企的联盟。高校、科研机构拥有在理论研究、技术突破等方面的优势，企业负责将科研成果转换为应用产品与应用服务。同时，产业联盟等相关机构、标准化组织也要制定出统一的规范技术标准，以提高不同制造厂商之间的机器人相互兼容与配合协作的能力，实现产业的健康发展。

三、结束语

基于强化学习的模糊控制算法用于机器人的障碍绕开路径规划方法具有很多层面的优势，可以在实际工作中对算法结构以及参数设置进行精细化融合的调优；改进机器人的避障系统设计，提升传感设备性能、软硬件接口之间的协作以及系统的安全性；巩固加强数据学习策略，为其提供优质的数据库和较快的学习速度及灵活性；扩大应用范围，提升其在工业领域、生产领域和服务领域的应用。另外，还可以通过产学研相结合的方式加快相关产业的前进步伐。相信在以后的发展过程中，随着技术的发展和深入，模糊控制与强化学习对障碍绕开路径规划的机器人会更好地应用于实践中，促进机器人行业的高发展。

参考文献

- [1] 强立京, 包长春, 丁登辉, 等. 基于改进 A* 算法融合 DWA 算法的机器人全局路径规划与局部动态避障 [J]. 长江信息通信, 2025, 38(02): 72-76.
- [2] 王茜. 基于模糊控制的移动机器人路径规划仿真研究 [J]. 江西煤炭科技, 2021.
- [3] 何玉灵, 孙晨凯, 赵路佳, 等. 基于磁轨导航和多影响层判据识别的送餐机器人避障算法开发 [J]. 制造业自动化, 2024, 46(10): 53-61.
- [4] 张可琨, 鲍久圣, 艾俊伟, 等. 基于改进 A* 与 DWA 算法的井下搬运机器人自主行走路径规划 [J]. 煤炭科学技术, 2024, 52(11): 197-213.
- [5] 孙丁斌, 梅贤慧, 张杨桂, 等. 基于视觉引导的四足机器人避障控制系统设计 [J]. 工业控制计算机, 2024, 37(08): 74-76.