

强化学习在智能机械系统自适应控制中的应用探索

陈培荣

陕西中烟工业有限责任公司宝鸡卷烟厂宝鸡卷烟厂

DOI: 10.12238/ems.v6i5.7785

[摘要] 本文深入剖析强化学习算法在智能机器应用的运用, 涵盖其基本原理、控制要求评估、具体实施步骤与提升效能, 以及实际运用中的限制条件。借助国内实际情况, 比如华为公司的智能化生产系统、中车公司的铁路运输网络、南方电网公司的智能管理系统以及大疆无人机的自主飞行导航技术, 宝鸡卷烟厂制丝智能排产系统, 明显呈现增强学习对于提高系统适应能力、优化控制策略和提高作业生产率的显著影响。然而, 在实际运用中, 强化式学习仍遭遇诸多挑战, 如数据密集型需求、较高计算要求、模型说明度不够, 以及环境不确定性等问题。

[关键词] 强化学习; 智能机械系统; 自适应控制; 应用探索; 系统优化

Exploration of the Application of Reinforcement Learning in Adaptive Control of Intelligent Mechanical Systems

Chen Peirong

Shanxi Zhongyan Industry Co., Ltd. Baoji Cigarette Factory Baoji Cigarette Factory

[Abstract] This article provides an in-depth analysis of the application of reinforcement learning algorithms in intelligent machine applications, covering their basic principles, control requirement evaluation, specific implementation steps and efficiency improvement, as well as limitations in practical application. With the help of domestic practical situations, such as Huawei's intelligent production system, CRRC's railway transportation network, Southern Power Grid's intelligent management system, and DJI's autonomous flight navigation technology, the Baoji Cigarette Factory's silk production intelligent scheduling system clearly demonstrates the significant impact of enhanced learning on improving system adaptability, optimizing control strategies, and improving work productivity. However, in practical applications, reinforcement learning still faces many challenges, such as data intensive requirements, high computational requirements, insufficient model explanatory power, and environmental uncertainty.

[Key words] reinforcement learning, intelligent mechanical systems, adaptive control, application exploration, system optimization

引言

在当代自动化行业, 智能化机械设备的调整改进与控制方法扮演着至关重要的角色。近年来, 由于增强学习明显的自我调节能力和高效学习能力, 它已经逐步变成智能化机械装置学术领域中的热点。本篇文章将深度剖析强化学习在智能机械装置方面的应用, 覆盖基本原理、操作必要性、执行与优化, 以及遭遇的具体问题, 通过结合国内实际案例, 华为的智能制造系统、中车的电力机车控制、南网的智能调度系统、大疆无人机的自主飞行导航、宝鸡卷烟厂制丝智能排产系统, 本文全面展示强化学习在提升系统性能和运行效率方面的显著效果。

一、强化学习基础及其在控制系统中的理论框架

在自动化管理范畴, 增强学习方法能高效处理那些让传统调控手段难以企及的复杂交错的非线性难题。在不需要精确系统映射的范畴, 强化式学习通过与环境互动来积累经验, 因此在多变的操控环境中, 体现出其广泛的应用潜力。在机器人操作、智能巡航控制、自动驾驶汽车、智能工厂等前沿技术领域, 增强学习算法已经显示出巨大的实用价值^[1]。以

我国为例, 华为公司的智能化生产线中运用增强学习技术, 进而提高生产调度的效率。借助增强学习, 系统能够即时数据为依据灵活调整, 明显提升制造效率以及品质。具体来说, 华为运用深度学习 Q 算法和卷积网络打造自动化生产系统, 以即时数据为基础进行决策改进。采用该系统实际应用, 使得生产线上故障发生的几率下降 30%, 并列地生产速率增加 20%, 实现显著的效果改进。

中国中车公司对高速列车的自适应调控系统进行成功应用, 展现又一典型范例。中车集团采用增强学习方法, 对列车加速减速方案进行改善, 确保列车在各种复杂环境下都能达到最佳的能源消耗管理成效。在实际测试过程中, 中国中车公司研发的高速火车, 在采用增强学习方法进行控制后, 实现能耗降低十五分之一, 并显著提高乘坐的舒适感受和行车的稳定性能。在高科技自动化机器人领域, 深圳地区的某创新科技公司将其飞行器设备的自适应导航系统中融入增强学习方法。

宝鸡卷烟厂制丝线智能排产系统基于人工智能技术强化学习, 根据制丝车间的生产任务和设备状况, 分析生产需求

和设备能力, 确定生产任务的优先级和约束条件, 分析制丝车间的生产任务的波动性和不确定性, 生产设备能力, 生产工艺参数, 资源约束等, 实现了对制丝车间生产任务的智能排程。

二、智能机械系统的控制需求分析

对于智能机械设备, 对其控制管理需要强调即时反馈特性, 快速反应能力指的是某一系统能够在很短的时间内对环境变动进行适应性调整。在我国智能制造领域, 生产环节需要做到实时调整与精准控制。以海尔集团旗下的智能化生产基地为例, 该场所运用物联网与数据分析的高效管理架构, 成功达成生产环节的实时监控与有效调度。依托实时数据采集和深度分析, 该装置能够在生产过程中实时监控设备状态, 快速调整生产参数, 进而大幅提升生产效率和产品质量。根据数据显示, 海尔公司的智能化制造工厂在生产效能方面提升 25%, 同时不良品的比例削减 30%。对具备智能的机械化设备进行精确控制是必不可少的。精确性意味着体系在实施调控操作时能精确地按照预定流程进行, 确保操作的精确性和可靠性。在我国高端制造业中, 数控设备对精准度要求严格显得尤为重要。沈阳机械制造公司借助先进控制技术和精密传感技术, 极大提高数字化控制机床的加工精度和性能可靠度。该集团通过对调控系统的精细化调整, 使得数控机械的加工精确度提升至 0.01 毫米, 由此大幅提升产品的精确度和一致性标准, 成功达标高端制造领域的苛刻标准。

对于智能机械设备, 其灵活调控能力的要求同样值得关注。所谓自我调整能力, 是指一个体系能够在外部条件发生变化时, 自动调整其调控策略, 从而维持最佳运行状态。我国南方电力公司在电力调度的自动化系统上运用自调控技术, 借助智能处理技术与学习算法, 完成电力网络的智能化调度与自动调节控制^[2]。该体系具备对电力系统运行负荷的即时监管能力, 并能根据负载的波动来自动优化发电方式与电力传输的计划, 确保电力供应的信赖度与高效性。根据数据显示, 我国南方电力公司通过采用智能化调度系统, 使得电力系统运行效率提高 15%, 同时系统故障频次降低 20%。智能化机械装置需要拥有稳定精准的控制效能, 系统稳固性, 是指其在持久时间的操作流程中能够保持顺利运行, 不出现任何错误或失去效能的情况。以我国中车集团生产的高速列车管控系统为样本, 该系统利用冗余系统与故障诊断技术, 有效提高运行的稳定性和安全保障能力。高铁的控制中心由双重机制互相协调, 一旦主体系统发生故障, 应急系统能够立即接管, 保障列车行驶安全正常轨迹运行。宝鸡卷烟厂制丝排产调度问题在数学上具有高度耦合性, 对其生产调度带来了很多的困扰和不确定性。实践中往往采用以人工经验为主的排产方式, 计划员对卷包需求进行经验判断, 根据工艺

要求的储叶时间, 制定批次调度计划, 反复调整直至满足卷包需求。这种经验判断缺乏对现场生产情况和未来生产进度的准确把握, 难以全面考虑物料、产能、交货期、设备故障等约束, 容易造成排产误差或资源浪费。针对制丝车间排产多目标多约束的问题, 提出了基于产线平衡多目标优化的制丝高级排产方法, 以产线平衡为目标, 通过模型仿真及协同调度应用, 能够有效解决制丝排产问题, 提高生产效率。

三、强化学习策略在智能机械系统中的实现与优化

为使强化学习算法发挥作用, 必须设计合适的数学框架, 针对智能机械设备, 制定行为架构时, 通常需明确其状态分类、行动规范以及行动激励规则。以华为的高科技生产系统为例, 其中的状态范畴涉及各生产线的设备运作情况, 而动作范畴则囊括生产线的调度与设备的操控决策, 激励机制的设定则紧扣生产效能及产品品质进行。建立合适的模型之后, 机制便能按照实时状态选出最优行动, 以此来达到奖赏的连续积累最优化。在强化学习中, 策略学习的环节是其核心所在, 是实现学习目标的关键步骤。在策略训练的阶段, 学习实体通过与环境交流, 不断调整策略, 逐渐逼近理想策略。中国石化在其炼化工艺环节, 运用深度增强学习计算方法以提高参数设置的精细化程度。借助先进的深度神经网络技术, 对石化生产过程进行精细模仿, 并通过分析实时数据来塑造决策算法, 该系统能优化调整重要生产参数, 进而提升生产流程的效率及产品质量。中国石化通过其炼化技术优化系统, 采纳一种算法后, 实现能量消耗削减 8%, 同时产品质量达标率上升 10%。

改进强化学习算法, 是达成高效率控制关键组成部分。在策略改进的关键时期, 采取多种策略提高其收敛速度与稳定性。在策略学习环节中, 为处理搜索与应用的冲突, 可以利用经验重放和静态目标网络等方法, 提升稳定性和学习效果^[3]。华为的智能化生产流程借助经验重放手段, 充分挖掘并优化过往数据, 由此显著提高生产的效率和产品的品质。对强化学习方法进行效能验证, 是确保其性能的关键环节。在策略验证过程, 通过模拟测试与实际运用的双重检验, 评估策略的实效性和适应力。中国中车集团针对高速列车的自适应调控系统, 经过众多模拟试验与实践验证, 确保加强学习算法的稳定性和信赖度。在实际运用场景中, 高速火车的能耗降低一成五, 其行驶的稳定性以及乘坐体验都得到明显的优化。宝鸡卷烟厂制丝高级排产系统以产线平衡为目标, 通过模型仿真及协同调度应用, 结果表明该排产方法是有效的, 在实际应用中, 该方法取得了显著的应用效果, 生产效率得到了明显提高, 制丝车间的生产周期缩短了 30% 以上, 生产质量得到了显著提升, 产品合格率提高了 10% 以上, 减少了设备故障和浪费, 降低了生产成本。

表 1 强化学习策略在智能机械系统中的实现与优化

| 案例 | 强化学习算法 | 应用领域 | 成果 |
|-------|---------|---------|---------------------------------|
| 华为 | DQN | 智能制造 | 生产效率提升 20%, 产品不良率降低 30% |
| 中国石化 | DQN | 炼化工艺优化 | 能耗降低 8%, 产品合格率提高 10% |
| 中车集团 | 双重冗余设计 | 高铁自适应控制 | 能耗降低 15%, 系统可靠性达到 99.9% |
| 新松机器人 | 深度强化学习 | 工业机器人控制 | 工作效率提升 20%, 故障率降低 15% |
| 大疆创新 | 深度 Q 学习 | 无人机自主导航 | 避障成功率 95% 以上, 路径规划效率提高约 25% |
| 宝鸡卷烟厂 | 深度强化学习 | 智能高级排产 | 生产周期缩短了 30% 以上, 产品合格率提高了 10% 以上 |

四、强化学习在特定智能机械系统中的应用

在运用智能化制造技术的体系中, 通过运用增强学习这一前沿技术, 显著提升生产效率和生产率。华为在其打造的

智能化制造环境, 部署运用增强学习算法的生产流程调优系统。此款设备借助深度学习技术, 根据即时收集的生产信息, 即时优化生产流程安排。华为公司采纳的自动化制造系统使

得生产效率提升 20%，同时瑕疵品的比率削减 30%。采用增强学习方法的动态调度的策略，显著提高生产流程整体的工作效率及产品质量。在能源行业，增强学习这一前端技术显示出巨大的广阔应用。中国南方电力网络采用增强学习方法，将其运用到电力调度的自动化系统中，实现电网的智能调度与自适应调节。此套机制运用依赖策略梯度方法的增强学习算法，得以在复杂多变的电力需求环境中，快速调整以适应，并提高电力调度效能。根据数据，南方电网通过采用智能化调度体系，提升电力系统运行效能 15%，减少故障出现的概率 20%，确保供电的稳定性与效率性。

高速铁路的控制系统通过利用增强学习方法，进一步改善高速列车行驶的稳定性以及能源消耗效益。我国中车公司采纳增强学习方法，以此改进高速列车的增速与降速方案^[1]。中车集团运用基于深度学习 Q 算法的自调整控制机制，对火车的即时运作状态进行监管，并针对实际情况实施相应的调整控制方针。经过反复的模拟测试和实地测试，此机制有效减少能耗水平，同时提升其运行效率。依据实际数据，借助强化学习技术，高速列车的耗能减少 15%，其运行平稳性与乘客舒适度均明显改善。在制造业生产流程监控领域，我国石化集团运用增强学习这一前沿技术，对原油加工及化学制品生产环节中的指标进行细致调控，应用尖端的深度强化学习技术，我国石化企业研制的炼化工艺改善体系，能够依靠实时数据，自动调节工艺参数，实现生产力和产品质量的双重提高。此套机制运用先进的深度学习 Q 算法，依托卷积网构建炼化过程的模型，并利用实时数据驱动训练策略与提高。据数据表明，经过引入增强学习方法，我国石化公司的炼制加工技术优化系统实现节能降低 8%，产品品质达标率提升 10%，从而显著提高整个炼化工艺的效能及产品质量。宝鸡卷烟厂制丝高级排产内置多种强化学习算法，深度融合机器学习算法，如神经网络搜索、遗传算法、分枝定界算法、模拟退火算法等，系统可以通过参数配置动态调整算法，由调度灵活选择排产策略和算法组合，以智能算法进行静态排程，以多智能体 (Agent) 代理协商进行分布计算和动态调整，系统可以将多种不同算法发送到不同机器上进行并行计算提高处理速度，也可以将遗传算法的不同种群发送到多个服务器进行并行遗传变异，提高算运行速度和来源的多样性，同时综合考虑产能、设备、加工批次、资源等约束，实现滚动排产。

五、强化学习在实际应用中遇到的限制

在增强学习中，应对众多且严格要求数据品质的需要，成为一个突出的难题。增强学习方法需要依赖大量交互数据来进行训练，但在实际运用场景过程中，收集既优质又完备的训练数据集通常是一项难题。在自动驾驶汽车这一前沿科技范畴内，打造一款性能卓越的增强学习算法构架，离不开大量的驾驶数据与高度仿真的测试环境，取得这些关键数据，不仅成本高昂，而且程序复杂。数据质量的好坏直接关系到模型的效能，若是受到影响信号或错误数据的干扰，模型可能会习得错误的方法，这会进而波及到系统稳定性与安全性能。以某公司自动驾驶系统这一自动驾驶项目为例，尽管百度已经倾注众多资源于数据的搜集与加工，却仍遭遇着数据量不足及质量问题的双重考验，对高计算性能的需求，也是强化学习范畴遭遇的关键制约因素。特别是在深度强化学习范畴，对算法进行提炼和策略改进，这一环节对计算能力要求很高，一些使用场景，特别是在计算能力有限的环境里，这显然成为限制条件^[9]。以我国石油化工公司的炼化化工技

术优化为例，虽采用增强学习算法，但因其工艺复杂、参数众多，使得模型训练和优化过程需要大量的计算资源和时间，这在一定程度上限制提高学习算法的实时效率和实用效果。

提升增强学习架构的清晰度和稳定性，是其在广泛实践中的应用普及遭遇的障碍。在诸多要求决策制定环节明晰度要求高的实际应用场景中，增强学习算法模型因其决策规则不透明而受限，这种模型在优化策略上的具体环节和步骤难以解读，成为其在高透明度标准下的关键制约。在医疗行业中，对于疾病的辨识与治疗策略的选择，决策清晰度与透亮度乃关键所在；而在金融行业，规划有效的投资方针也需要高质量的决策支持，但目前所应用的深度学习算法，难以满足该领域对决策合理性与信息公开度的严苛要求。清华大学在推进其智能医疗系统开发的过程中，采用强化人工智能学习方法来辅助疾病的诊断及治疗计划的推荐，然而，由于计算模型的缺乏透明度，使得医生与患者对其诊断结果和建议的可信度产生疑虑，难以给予充分的信赖和接受，在现实世界的复杂多变中，增强学习遭遇的挑战之一便是难以预测的不可预知性和持续变化的情况。强化学习算法主要在恒定环境中接受训练，然而，在实际情况中，环境多变并且不确定性高，这就对模型调整适应性提出更加严苛的标准。

结语

在智能化机械结构中运用增强学习法，凸显其在调控优化策略与提升系统性能上的不凡实力。在具体实施过程中，仍需应对诸多挑战，如数据量巨大、计算需求浩大、模型解释难度大，以及环境导致的不可预知性等问题。借助华为的智能生产技术、智能电网调度技术、地铁控制系统、智能高级排产等中国典型应用案例，增强学习算法在提高工作效率及系统稳定性方面已实现明显的进步。伴随着科技的持续进步和深入研究，增强学习技术将在更多领域取得关键进展，从而为智能控制技术的壮大提供坚实的助力。

[参考文献]

- [1] 王军, 曹雷, 赵伟, 等. 演化博弈强化学习模型在智能博弈对抗中的应用[J]. 陆军工程大学学报, 2023, 2 (05): 34-43.
- [2] 李灿明. 强化学习在智能电网中的应用[D]. 华北电力大学(北京), 2023.
- [3] 卫宁, 王冠. 强化学习在智能无人系统决策管理中的应用[J]. 兵工学报, 2022, 43 (S2): 164-169.
- [4] 孔松涛, 刘池池, 史勇, 等. 深度强化学习在智能制造中的应用展望综述[J]. 计算机工程与应用, 2021, 57 (02): 49-59.
- [5] 窦佳佳. 强化学习及其在智能仓储中的应用研究[D]. 南京大学, 2016.
- [6] 李洋. 多代理强化学习在智能教学系统中的应用[J]. 计算机与数字工程, 2010, 38 (05): 78-80+174.
- [7] 张伟, 徐亚平, 王伟. 基于人工智能的烟草制丝车间高级排产研究[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25 (6): 1387-1395.
- [8] 李涛, 周建民, 王瑞峰. 人工智能在烟草制丝车间生产调度中的应用研究[J]. 工业控制计算机, 2018, 31 (10): 13-15.
- [9] 马涛, 周建民, 王瑞峰. 基于人工智能的烟草制丝车间智能排产系统设计[J]. 电子技术与软件工程, 2018, 16(9): 195-197.