

基于深度强化学习的综合能源系统多时间尺度调度策略

犹晓艺

广州平讯科技有限公司 广东广州

【摘要】本文提出了一种基于深度强化学习的综合能源系统多时间尺度调度策略，旨在提升能源系统调度效率与可靠性。通过构建多时间尺度模型，结合深度强化学习技术，能够动态优化能源生产、传输及消费的调度决策。通过模拟与实验验证，所提策略在面对复杂系统变化时表现出较传统方法更优的性能，不仅能降低系统成本，还能提高系统的能源利用率和灵活性。该方法具有较强的应用前景，尤其在智能电网和可再生能源接入的背景下，能够实现更加精细的调度优化。

【关键词】深度强化学习；综合能源系统；多时间尺度；调度优化；能源管理

【收稿日期】2025 年 8 月 23 日 **【出刊日期】**2025 年 9 月 18 日 **【DOI】**10.12208/j.sdr.20250216

Multi-time-scale dispatch strategy for integrated energy systems based on deep reinforcement learning

Xiaoyi You

Guangzhou Pingxun Technology Co., Ltd, Guangzhou, Guangdong

【Abstract】 This paper proposes a multi-time-scale dispatch strategy for integrated energy systems based on deep reinforcement learning, aiming to enhance the efficiency and reliability of energy system dispatch. By constructing a multi-time-scale model and integrating deep reinforcement learning techniques, the strategy enables dynamic optimization of dispatch decisions for energy production, transmission, and consumption. Simulation and experimental results demonstrate that the proposed strategy outperforms traditional methods when dealing with complex system dynamics, not only reducing system costs but also improving energy utilization and flexibility. The method shows strong potential for practical applications, particularly in the context of smart grids and renewable energy integration, enabling more refined dispatch optimization.

【Keywords】 Deep reinforcement learning; Integrated energy system; Multi-time-scale; Dispatch optimization; Energy management

引言

综合能源系统的调度优化问题在面对多种能源形式和复杂的时空变化时变得尤为重要。传统调度方法往往基于经验规则和固定模型，难以应对复杂系统中的实时变化和非线性特征。近年来，深度强化学习作为一种强大的机器学习方法，因其在决策优化中的优势逐渐应用于能源系统调度领域。本文针对现有方法的局限性，提出了一种基于深度强化学习的多时间尺度调度策略。通过多层次的调度决策，可以更好地适应综合能源系统的动态变化，实现更加灵活和高效的能源管理。本文将详细阐述该策略的设计框架及其在实际系统中的应用前景。

1 深度强化学习在综合能源系统调度中的应用

分析

深度强化学习（DRL）作为一种近年来兴起的先进机器学习方法，其在优化决策问题中的应用逐渐获得了广泛关注。在综合能源系统中，深度强化学习被认为能够有效地应对多种不确定性和复杂性因素，特别是在涉及到大量能源流动、交互关系及多维度目标的调度问题时，传统方法往往难以提供全局最优的解决方案。深度强化学习通过自动学习最优策略，使系统能够根据实时的变化情况做出动态的调整，从而在提升能源利用效率的同时降低系统的运行成本和排放。不同于传统的优化方法，深度强化学习通过对环境的不断交互学习，实现了决策策略的不断更新，这使得其在复杂、动态的综合能源

系统中展现出了强大的适应性。

在应用深度强化学习进行综合能源系统调度时,需要考虑多种能源类型的协调,包括可再生能源如风能、太阳能等与传统能源之间的调度平衡。由于这些能源的输出具有较强的波动性和不确定性,调度问题的复杂度显著增加。深度强化学习可以通过模拟不同的运行状态和调度策略,实时调整能源分配方案,优化各项资源的配置^[1]。进一步地,深度强化学习能够解决传统方法在多目标优化中的不足,特别是在节能降耗、减少排放以及满足电力需求等多重目标下,能够根据环境变化实时选择最优的调度方案,从而有效提升综合能源系统的整体效能。

深度强化学习在实际应用中也面临许多挑战。由于综合能源系统的多层次和多维度特征,构建准确的模型并进行有效的训练是实现深度强化学习成功应用的关键。深度强化学习的训练过程需要大量的计算资源和时间,如何提高其训练效率以及在多种实际条件下的泛化能力,是未来研究的重点。深度强化学习的黑箱特性使得其决策过程缺乏可解释性,这在一些安全性要求较高的能源系统中,可能带来潜在风险。尽管深度强化学习在综合能源系统调度中具有巨大潜力,但其实际应用仍需要在算法优化和系统可解释性方面做进一步的探索。

2 综合能源系统多时间尺度模型的构建与优化

综合能源系统的调度涉及到多个时间尺度的决策过程,从短期的实时调度到中期的日常运行规划,再到长期的能源生产和消费规划,涵盖了从小时到季节甚至年周期的多重时间尺度。每一个时间尺度的优化决策不仅仅是对当前系统状态的响应,同时还需要考虑其对其他时间尺度的影响。多时间尺度模型的构建因此成为了综合能源系统优化调度中的一个关键问题。通过合理的时间尺度划分,可以将复杂的系统调度问题分解为多个较为简单的子问题,从而提高优化的效率和效果。

在多时间尺度模型的构建中,首先需要明确不同时间尺度之间的关系和影响。在短期调度中,系统需要根据实时负荷预测和可再生能源的波动情况,进行精准的发电调度;而在长期规划中,则需要考虑能源需求的长期增长趋势、技术进步和政策变化等因素。为了有效结合这些不同层次的决策需求,研究者提出了分层优化的思路,将各个时间尺度的问题解耦,并通过层间信息传递来实现全局优化。

这种方法能够在保持全局优化目标的同时使得每个时间尺度的决策能够针对性地解决特定问题。

在多时间尺度优化的过程中,深度强化学习可以被用来应对时间尺度之间复杂的相互关系与反馈机制。通过设计合适的奖励机制和状态空间,深度强化学习能够通过自我学习来优化每个时间尺度的调度决策,从而实现全局最优。举例来说,短期内的需求响应和负荷平衡策略能够影响到长期的设备投资和运行计划,而长期的规划又会反过来影响短期内的资源配置^[2]。在这一过程中,深度强化学习通过对这些复杂交互关系的建模和学习,可以动态地调整决策,确保各个时间尺度的目标能够协调一致地达成。

尽管多时间尺度模型和深度强化学习能够显著提升综合能源系统的调度效率,但这一方法在实际应用中仍面临着数据获取、算法稳定性及实时计算等方面的挑战^[3]。如何高效获取实时数据并将其应用于深度强化学习模型中,如何在保证系统稳定性的前提下实现高效的多时间尺度调度,依然是当前研究中的热点问题。未来,随着计算能力的提升和大数据技术的不断发展,基于深度强化学习的多时间尺度调度方法将在综合能源系统中发挥更加重要的作用。

3 基于深度强化学习的调度决策优化方法

基于深度强化学习的调度决策优化方法主要依赖于深度学习算法的强大学习能力,通过对大量历史数据的训练,模型能够学会如何在动态环境下做出最佳决策。在综合能源系统的调度问题中,调度决策通常需要考虑多个目标,例如系统的经济性、可靠性以及环境影响等。深度强化学习通过自我探索和试错过程,能够有效地在这些目标之间进行权衡,最终达到全局最优的调度方案。

深度强化学习中的强化学习算法,主要通过对环境状态的不断评估以及奖励机制的设计,来引导模型朝着最优决策方向发展。在综合能源系统中,系统的状态包括能源需求、设备状态、天气预报以及电网负荷等变量。而奖励函数则通过对这些状态的评估,给予系统一个反馈信号,用以指导下一步的决策。在电力负荷调度问题中,模型可以根据负荷预测、可再生能源预测以及电价信息来确定最优的发电组合,从而实现系统成本的最小化^[4]。深度强化学习能够处理高维的、非线性的问题,这使得其在复杂的多目标调度优化中具有显著的优势。

在具体应用中,深度强化学习的调度决策优化方

法可以通过几种方式进行提升。可以通过引入多智能体学习模型,使多个系统协调合作,共同优化能源调度;通过结合专家系统和规则库,可以将传统调度方法中的经验和知识与深度强化学习的自学习能力结合起来,从而提高系统决策的可解释性和可靠性。通过这些优化措施,深度强化学习能够更好地适应复杂环境中的变化,从而提供更加灵活和高效的调度策略。

深度强化学习在调度决策优化中的应用也面临许多挑战。如何确保模型能够在有限的训练样本下收敛并给出稳定的决策结果,如何设计合适的奖励函数以保证系统在不同的运行条件下表现优异,都是目前研究中亟待解决的问题^[5]。随着算法的不断优化和硬件的不断进步,基于深度强化学习的调度决策优化方法有望在综合能源系统中得到广泛应用。

4 实验验证与实际应用效果分析

为了验证基于深度强化学习的综合能源系统多时间尺度调度策略的实际效果,本文进行了多轮实验和案例分析,模拟了不同情境下的能源调度过程。实验结果显示,相较于传统的优化方法,基于深度强化学习的调度策略在多个关键指标上取得了显著的提升^[6-8]。在能源系统成本方面,深度强化学习方法能够通过动态调整,降低系统的总运行成本;在系统可靠性方面,深度强化学习策略通过精准的负荷预测和能源调度,减少了因设备故障或可再生能源波动导致的停机时间,从而提高了系统的运行稳定性。

在实际应用中,深度强化学习的多时间尺度调度策略也展现了良好的适应性。以某智能电网为例,采用深度强化学习调度方法后,系统能够根据实时的负荷需求和可再生能源输出情况,动态调整发电计划,确保了能源的高效利用和供电的稳定性。在实际运行中,该方法不仅提升了能源系统的调度效率,还帮助用户降低了电力成本,并实现了更加绿色的能源使用。尤其是在风能、太阳能等可再生能源的波动性较大的情况下,深度强化学习表现出了较传统方法更强的适应能力,能够有效应对不确定性的挑战。

尽管实验和应用效果表明,基于深度强化学习的调度策略在综合能源系统中具有显著的优势,但在实际部署中仍存在一些挑战。训练数据的获取和处理、算法的实时性问题以及计算资源的需求等,这些问题仍需要进一步的研究和优化。然而,随着技术的不断进步,基于深度强化学习的多时间尺度

调度方法将在未来的综合能源系统中得到广泛应用,成为提升能源效率和促进绿色能源转型的重要工具。

5 结语

本文提出的基于深度强化学习的综合能源系统多时间尺度调度策略,展示了该方法在提高能源利用效率、降低运行成本和增强系统稳定性方面的显著优势。通过结合多时间尺度模型与深度强化学习,能够有效应对复杂多变的能源调度问题,并为实际应用提供了新的解决思路。尽管面临数据获取和实时性计算等挑战,但随着技术的不断发展,深度强化学习将在综合能源系统的优化调度中发挥越来越重要的作用,为未来智能电网及可再生能源的广泛应用奠定基础。

参考文献

- [1] 韩光洁,邹昕莹,张帆,等. 考虑不确定性 IDR 的综合能源系统优化调度方法[J/OL].小型微型计算机系统,1-9.
- [2] 李宏仲,罗龙宵,吴泽平,等. 计及最优(火用)流的综合能源系统多故障恢复策略[J].电力系统自动化,2025,49(10): 185-197.
- [3] 夏旭华,杨建迪,施永涛. 基于深度强化学习的多能流建筑综合能源系统优化调度[J].浙江电力,2025,44(05): 101-111.
- [4] 吕小雨.基于模型机理和数据驱动的建筑综合能源系统调控策略研究[D].青岛理工大学,2025.
- [5] 王恒.基于深度强化学习的综合能源系统多目标混合时间尺度优化调度研究[D].杭州电子科技大学,2025.
- [6] 李天明,王小君,窦嘉铭,等. 基于约束强化学习的综合能源系统优化调度研究[J].电力系统保护与控制,2025,53(06): 1-14.
- [7] 申晓宁,陈星晖,陈文言,等. 基于深度强化学习的建筑综合能源系统主从博弈优化调度[J/OL].南方电网技术,1-15.
- [8] 张磊,吴红斌,何叶,等. 基于深度强化学习的氢能综合能源系统优化调度方法[J].电力系统自动化,2024,48(16): 132-141.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS