

基于深度强化学习的微电网能量管理与优化调度研究

耿雪峰

沙特国际电力和水务公司 上海

【摘要】微电网在能源领域的日益重要，如何实现高效的能量管理与优化调度成为了研究的热点。深度强化学习（DRL）作为一种先进的人工智能技术，在智能控制和决策领域表现出显著优势。本文基于深度强化学习算法，提出了一种新的微电网能量管理与优化调度方案，旨在提高微电网运行的经济性和稳定性。通过建立微电网系统模型，并应用深度强化学习算法进行在线优化调度，能够有效平衡各能源源之间的负荷调度，降低能源损失。实验结果验证了该方案的可行性和优越性，为微电网的智能化管理提供了有力支持。

【关键词】深度强化学习；微电网；能量管理；优化调度；智能控制

【收稿日期】2025 年 2 月 20 日 **【出刊日期】**2025 年 3 月 18 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250085

Research on energy management and optimal scheduling of microgrids based on deep reinforcement learning

Xuefeng Geng

ACWA Power, Shanghai

【Abstract】 Microgrids have become increasingly important in the energy field, and how to achieve efficient energy management and optimal scheduling has become a research hotspot. As an advanced artificial intelligence technology, Deep Reinforcement Learning (DRL) has demonstrated significant advantages in the fields of intelligent control and decision-making. Based on the deep reinforcement learning algorithm, this paper proposes a new energy management and optimal scheduling scheme for microgrids, aiming to improve the economic efficiency and stability of microgrid operation. By establishing a microgrid system model and applying the deep reinforcement learning algorithm for online optimal scheduling, it is possible to effectively balance the load scheduling among various energy sources and reduce energy losses. The experimental results verify the feasibility and superiority of this scheme, providing strong support for the intelligent management of microgrids.

【Keywords】 Deep reinforcement learning; Microgrid; Energy management; Optimal scheduling; Intelligent control

引言

微电网作为未来能源系统的重要组成部分，在保障电力供应、提高能源利用效率等方面具有显著优势。微电网的能量管理与优化调度仍然面临诸多挑战。传统的调度方法难以满足微电网复杂多变的环境和多样化的能源需求，而深度强化学习（DRL）因其出色的学习能力和自主决策能力，成为解决该问题的有力工具。通过深度强化学习，微电网可以在动态环境中不断优化调度策略，提高能源利用率并降低运行成本。本文将探讨基于深度强化学习的微电网能量管理与优化调度方法，提出一种适应性

强且高效的调度策略，旨在为未来智能电网的发展提供理论依据和技术支持。

1 微电网能量管理与调度面临的主要挑战

微电网作为一种新型的能源系统，具备独立运行或与主电网互联的能力，能够有效地调节和优化局部能源的供需。微电网的能量管理与调度问题面临诸多挑战，尤其是在复杂的环境条件下如何实现高效的能源利用与可靠的电力供应。传统的调度方法，如基于规则的优化算法，难以应对微电网内能源来源和需求的动态变化，尤其是在多种分布式能源（如太阳能、风能、储能设备等）共同作用下，如

何根据实时数据对负荷进行精准调度仍然是一个亟待解决的问题。

微电网的运行环境具有很大的不确定性, 天气变化、设备故障、以及外部电力市场的波动等因素都会影响微电网的供电稳定性。在这种不确定性背景下, 如何在有限的资源条件下优化调度, 避免过度消耗或能源浪费, 是能量管理中的一大难题。传统优化方法难以适应这种动态和复杂的环境, 且由于微电网的运行模式和技术条件千差万别, 往往缺乏普适性。优化调度不仅要求快速响应, 还需要考虑到多目标优化问题, 如经济性、环境影响以及系统的稳定性等, 这对传统调度方法提出了更高的要求。

为了克服这些问题, 基于人工智能的技术, 尤其是深度强化学习(DRL), 逐渐成为解决微电网能量管理与调度问题的有力工具。深度强化学习能够在复杂、动态、不确定的环境下自主学习并优化调度策略, 适应微电网内能源来源和需求的变化^[1]。通过实时分析和学习历史数据, DRL 能够调整决策过程, 从而在确保供电安全的优化能源成本和提高系统效率。这种方法相比于传统算法, 具备了更强的自适应性和决策能力, 为微电网的高效能量管理提供了新的解决思路和技术支持。

2 深度强化学习在微电网调度中的应用框架

深度强化学习(DRL)在微电网调度中的应用框架是解决复杂调度问题的有效工具。DRL 通过模拟智能体与环境之间的交互过程, 实现对微电网的能量调度策略的自主学习。系统的核心是基于奖励机制的学习, 通过不断试探和反馈优化调度策略, 以达到系统性能的最大化。在微电网的调度问题中, DRL 能够应对多变的环境条件, 例如负载波动、可再生能源的间歇性及电网的外部因素, 依据这些变化调整能源的生产和分配。通过对历史数据的积累, DRL 可以为不同的运行状态制定合适的调度策略, 从而提高系统的稳定性和经济性。

微电网的调度问题包含了多个因素的协同作用, 包括不同类型能源的管理、储能设备的调度、以及电网的运行状态等。在 DRL 的框架下, 系统通过建立状态空间、动作空间和奖励函数来模拟微电网的运行环境。在这一框架中, 状态空间包含了电网负荷、发电状态、储能容量、外部市场电价等多个变量; 动作空间则指的是系统能够采取的决策, 如调度电池、改变发电机的输出功率等。而奖励函数则用

于评估每个动作的效果, 确保调度结果能在满足系统约束的最大限度地降低成本并提高能源利用率。DRL 通过不断探索和优化, 能够找到最优的调度策略。

通过深度神经网络(DNN)对环境的反馈进行建模, DRL 能够在高维、复杂的环境中有效地执行调度决策。尤其是在微电网中, 环境的变化速度和复杂度使得传统的算法难以提供实时且有效的调度方案^[2]。DRL 的优势在于其能够从环境中实时学习和调整, 适应不断变化的运行条件, 从而避免了传统调度方法的局限性。微电网调度的目标不仅仅是优化经济性, 还需兼顾环境影响和系统的稳定性, DRL 算法能够在多目标优化下提供更加灵活且高效的解决方案。

深度强化学习(DRL)在微电网调度中的应用展现了其强大的灵活性和适应性, 能够处理多种不确定性和复杂因素。随着微电网规模的扩大, 能源种类的多样性以及系统负荷的波动, 传统的调度方法往往难以应对实时变化。而 DRL 通过强化学习算法, 能够在不断变化的环境中自主调整决策策略, 优化能源调度^[3]。这种方法不仅提升了系统的经济效益, 还能够在保证电网稳定性的前提下, 有效降低能源浪费。DRL 的自学习特性使得微电网能够实时响应外部因素的变化, 如电力市场价格的波动或天气变化, 从而实现更加高效和智能的能源管理。

3 基于深度强化学习的优化调度方法研究

基于深度强化学习的优化调度方法主要通过构建一个精确的数学模型来描述微电网的运行状态, 以便从多种调度方案中选择最优的操作策略。该方法将微电网的能量管理问题转化为一个决策问题, 利用强化学习的框架来自动优化系统运行。通过定义系统的状态空间、动作空间以及奖励函数, 深度强化学习能够自主学习如何在复杂、动态的环境中进行高效调度。对于微电网中的分布式能源、储能设备和负荷需求等多个因素, DRL 算法能够根据实时的运行数据调整各个部件的调度, 优化能量生产与分配, 最终实现成本最小化和系统稳定性的最大化。

在优化调度方法的具体实现中, 深度强化学习利用深度神经网络(DNN)来逼近最优的策略函数。通过对微电网历史数据的学习, DRL 可以捕捉到系统中复杂的非线性关系和时变特性, 进而提出适应性强的调度策略^[4-7]。当光伏发电和风力发电的输出受天气变化影响时, DRL 能够及时调整电池的充放电策略, 以平衡电力供需, 避免电力短缺或浪费。DRL 还

可以通过学习电力市场的价格波动,为电网提供灵活的需求响应机制,降低运行成本,提升整体经济效益。

与传统调度方法相比,基于深度强化学习的优化调度方法具有显著的优势。传统方法通常依赖于预设的规则和模型,难以适应微电网中不断变化的环境因素。相反,DRL 通过在线学习和适应性调整,可以实现自我优化和自我修正。随着训练的进行,深度强化学习不断调整调度策略,减少系统能量浪费,同时确保微电网的稳定运行和负载需求的平衡。DRL 还能够处理多目标优化问题,既考虑经济性,又能兼顾系统的可靠性和环境可持续性。通过该方法,微电网能够在面对各种复杂场景时,作出合理的决策,从而实现高效且可靠的能源管理与调度。

4 基于深度强化学习的调度策略验证与性能分析

基于深度强化学习的调度策略验证与性能分析是评估该方法有效性与实用性的关键步骤。通过构建多种场景下的仿真模型,可以对所提出的调度策略进行全面的测试与验证。验证过程通常涉及模拟微电网在不同负荷需求、可再生能源波动及电力市场变化等环境下的运行状态。在这些场景中,深度强化学习调度策略的表现可以通过与传统调度方法(如线性规划、遗传算法等)进行对比,明确其优越性。通过调度结果的对比分析,可以观察到深度强化学习在能源成本、系统稳定性以及电力损失等方面的表现,验证其在动态、复杂环境下的优化能力。

在性能分析中,通常采用一系列的评价指标来量化调度策略的优劣,包括经济性指标(如运行成本、能源浪费)、稳定性指标(如系统频率波动、负荷跟踪精度)以及环境可持续性指标(如碳排放降低)^[8]。通过对这些指标的综合分析,可以全面评估基于深度强化学习的调度策略在实际应用中的表现。在系统经济性方面,通过比对传统调度方法与 DRL 方法的总运行成本,可以显著看到深度强化学习在调度过程中对能源利用的优化效果,减少了能源浪费,并降低了电力供应的成本。在系统稳定性方面,深度强化学习通过持续的在线调整能够有效应对负荷波动,保持系统的稳定运行。

为了进一步验证深度强化学习调度策略的实际应用潜力,还可以通过不同规模的微电网进行实验分析。这些实验不仅可以模拟单一微电网的运行情况,还能够考虑多个微电网之间的协调与协作。性能分析结果表明,深度强化学习调度策略能够在多

样化的运行环境中提供灵活的解决方案,尤其在面对不确定性和变化时,展现了其强大的自适应能力和优化优势。通过逐步训练和实时调整,DRL 能够根据不同的系统需求和运行条件,优化各项调度决策,从而提高微电网的整体性能和经济效益。

5 结语

基于深度强化学习的微电网调度策略为解决复杂能源管理问题提供了一种创新的解决方案。通过自适应学习和优化决策,DRL 能够应对微电网中的多变环境,实现能源的高效利用和系统的稳定运行。实验验证结果表明,深度强化学习在调度成本、系统稳定性以及能源损耗等方面具有显著优势,为微电网的智能化管理提供了强有力的技术支持。随着技术的不断发展,DRL 将在更广泛的能源管理领域展现出更大的潜力,推动智能电网和绿色能源的可持续发展。

参考文献

- [1] 白渊铭,魏艳龙.基于深度学习与光流算法的工业机器人异常姿态检测方法[J].山西电子技术,2025,(02):35-37+48.
- [2] 章海峰,高瞳.基于深度学习的工业自动化控制 DCS 系统维护方法[J].自动化应用,2025,66(06):12-14.
- [3] 莫丽娟,张梦榛.基于深度强化学习的工业物联网路由优化方法[J].物联网技术,2025,15(02):82-84.
- [4] 沈琛.基于深度学习的工业机器人装配路径规划方法[J].今日制造与升级,2024,(12):85-88.
- [5] 薛雨,姚金明,姜怀龙,等.基于深度学习和多源 GIS 数据的工业用地调查更新机制研究与应用[J].智能城市,2024,10(12):85-88.
- [6] 赵梦逸.基于深度学习的工业外观检测通用方法研究[J].工业控制计算机,2024,37(12):73-75.
- [7] 吕张成,张建业,陈哲钊,等.基于深度学习的工业零件识别与抓取实时检测算法[J].机床与液压,2023,51(24):33-38.
- [8] 石兰娟.基于深度学习的工业制品表面缺陷检测算法研究[D].杭州师范大学,2023.

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