

基于改进混合遗传算法的智能电网 现货市场负荷资源调度

蒋民锁 王颖钧 罗 凡

(国网甘肃综合能源服务有限公司)

摘要: 智能电网现货市场产生的数据庞大而复杂,其中包括负荷数据、市场交易数据等。为了确保资源调度效果,提出了基于改进混合遗传算法的智能电网现货市场负荷资源调度方法。通过计算目标函数并设置约束条件,建立智能电网现货市场负荷资源调度模型。根据个体的适应度动态调整遗传操作参数,对混合遗传算法进行改进,以提高算法的收敛速度和全局搜索能力。利用改进的混合遗传算法对模型进行求解,实现智能电网现货市场负荷资源调度。实验结果表明,该研究方法资源调度效果更好。

关键词: 改进混合遗传算法; 智能电网; 现货市场; 负荷资源调度

2024.10.DQGY
86

0 引言

随着智能电网技术的不断发展,现货市场负荷资源调度已成为实现电网高效运行、优化资源配置的关键环节。在智能电网的框架下,负荷资源调度不仅涉及电力供需的平衡,更关乎能源利用效率的提升和节能减排目标的实现^[1]。然而,由于负荷资源调度问题具有高度的复杂性和不确定性,传统的调度方法往往难以应对^[2]。因此,如何借助先进的优化算法,提升智能电网现货市场负荷资源调度的智能化水平,已成为当前研究的热点和难点。

在负荷资源调度问题的研究过程中,遗传算法以其全局搜索能力强、易于并行处理等优势,受到了广泛关注。然而,传统的遗传算法在求解复杂优化问题时,往往存在收敛速度慢、易陷入局部最优等困境^[3]。因此,对遗传算法进行改进,以提高其在智能电网现

货市场负荷资源调度问题中的适用性和有效性,成为亟待解决的问题。

在国内外研究现状方面,已有许多学者针对智能电网负荷资源调度问题进行深入研究。将各种优化算法应用于负荷资源调度中,取得了一定的效果。然而,这些研究大多集中在算法的理论分析和仿真验证上,对于实际电网运行中的复杂性和不确定性考虑不足^[4]。此外,对于混合遗传算法在智能电网现货市场负荷资源调度中的应用,尚缺乏系统的研究和探讨。

因此,本文提出基于改进混合遗传算法的智能电网现货市场负荷资源调度方法,旨在为实现智能电网的高效运行和可持续发展提供有力支持。

1 改进混合遗传算法的智能电网现货市场负荷资源调度

1.1 建立智能电网现货市场负荷资源调度模型

在基于改进混合遗传算法的智能电网现货市场负荷资源调度方法设计中，构建智能电网现货市场负荷资源调度模型是核心环节^[5-6]。通过计算目标函数设置约束条件，构建智能电网现货市场负荷资源调度模型。以下为电网市场负荷资源调度模型的具体内容：

该电网市场负荷调度模型旨在模拟电力市场的交易和运营过程，以优化资源配置、提高市场效率^[7]。模型中的决策目标函数包括各类负荷资源，如发电、储能、需求响应的调度量，模型约束条件则包括电力平衡、网络安全、资源能力等限制。

目标函数是调度模型的核心，用于量化调度效果。定义调度问题的决策变量和约束条件。决策变量包括各时段各类负荷资源的调度量，约束条件则包括电力平衡约束、网络安全约束、资源能力约束等。这些变量和条件构成了目标函数的基础。

在本模型中，考虑运行成本、网络安全性和电力供需平衡等多个方面，为了高效、准确地实现负荷资源的优化配置，构建目标函数。以下是目标函数建立的具体内容：

建立调度问题的目标函数，用于量化调度效果。目标函数综合考虑了电力供需平衡、网络损耗、运行成本等多个方面，可以表示为：

$$F = \frac{T}{MN} C_{ii} + L_{ii} - (P_{ii} + Q_{ii}) \frac{R_{ij}}{S_{ij}} \partial \quad (1)$$

式中， F 为总调度成本； T 为调度时段数； N 为负荷资源种类数； M 为网络线路数； C_{ii} 和 L_{ii} 分别为时段 t 为负荷资源 i 的有功和无功电价； P_{ii} 和 Q_{ii} 分别为时段 t 负荷资源 i 的有功和无功调度量； R_{ij} 为时段 t 线路 j 的电阻； S_{ij} 为时段 t 线路 j 的视在功率； ∂ 为网络损耗的权重系数。用于调整不同成本项在目标函数中的相对重要性。该目标函数综合考虑了运行成本、网络损耗以及电力供需平衡，旨在实现调度成本的最小化。

根据上述目标函数，依照个体的适应度值选择优秀的个体进入下一代^[8-10]。引入多点交叉和均匀交叉等多种交叉方式，增加种群的多样性。采用非均匀变异策略，根据进化代数动态调整变异步长，以平衡全局搜索和局部搜索能力，建立的智能电网现货市场负荷资源调度模型如下：

$$P_c(f) = P_{cmax} - \frac{(P_{cmax} - P_{cmin}) \times (f_{avg} - f(x))}{F(f_{max} - f_{avg})} \quad (2)$$

式中， P_{cmax} 和 P_{cmin} 为交易策略交叉概率的最大值和最小值， f_{max} 和 f_{avg} 为当前资源配置中个体的最大和平均适应度值。

对上述建立模型进行如下约束。

1) 当个体的适应度值接近或超过当前的最大适应度值 f_{max} 时，交叉概率应接近其最小值 P_{cmin} ，此时对模型进行约束：

$$P_c(f) = P_{cmin} + \frac{f_{avg} - f}{f_{avg} - f_{max}} \times (P_{cmax} - P_{cmin}) \quad (3)$$

式中， f 为当前个体的适应度值。此式确保了当 f 接近或超过 f_{max} 时， $P_c(f)$ 接近 P_{cmin} 。

2) 当个体的适应度值远低于当前的最大适应度值，但高于平均适应度值 f_{avg} 时，交叉概率应介于 P_{cmin} 和 P_{cmax} 之间，并且随着适应度值的降低而增加。

3) 当个体的适应度值接近或低于当前的平均适应度值 f_{avg} 时，交叉概率应接近其最大值 P_{cmax} ，以增加搜索的多样性。

确保 $P_c(f)$ 的值始终在 $[P_{cmin}, P_{cmax}]$ 的范围内，这可以通过在计算 $P_c(f)$ 后应用一个截断函数来实现：

$$P_c(f) = \max(\min(P_c, P_{cmax}), P_{cmin}) \quad (4)$$

该式确保了 $P_c(f)$ 的值不会超过其允许的范围。通过以上步骤，智能电网现货市场负荷资源调度模型构建完成。

1.2 改进混合遗传算法

改进混合遗传算法，根据个体的适应度动态调整

遗传操作参数，以提高算法的收敛速度和全局搜索能力。结合精英保留策略，将每一代中的优秀个体直接复制到下一代，以避免优秀基因的丢失，加快算法的进化速度，其公式如下：

$$F_a = A + e_p \quad (5)$$

式中， e_p 为交叉概率的最大值； A 为变异概率的最小值。变异操作是遗传算法中增加种群多样性的重要手段。传统的均匀变异可能导致变异步长过大或过小，影响算法的收敛速度和精度。因此，采用非均匀变异公式，使变异步长随着进化代数的增加而逐渐减小：

$$\Delta x = x_{\max} - x_{\min} \times (1 - \frac{t}{T})^\beta \times \text{rand} F_a \quad (6)$$

式中， Δx 为变异步长； x_{\max} 和 x_{\min} 为变量的上下限； t 为当前进化代数； T 为最大进化代数； β 为非均匀变异控制参数； rand 为生成随机数的函数。这种变异方式可以在算法初期进行较大范围地搜索，而在后期逐渐减小搜索范围，以加快收敛速度。这种改进方式确保了优秀个体得以保留，并提高了算法的收敛性能，为后续模型求解奠定基础。

1.3 求解智能电网现货市场负荷资源调度模型

为解决智能电网现货市场负荷资源调度问题，根据上文建立模型。在模型中，基于改进混合遗传算法定义适应度函数来评估每个调度方案的优劣。适应度函数与目标函数密切相关，通常可以表示为：

$$F_{it} = [f + e_p] \quad (7)$$

式中， F_{it} 为适应度值； f 为目标函数值； e_p 为交叉概率的最大值，用于避免分母为零的情况。适应度值越大，表示调度方案越优。

求解智能电网现货市场负荷资源调度模型流程如下：

初始化改进混合遗传算法参数：设置种群大小、迭代次数、交叉概率、变异概率算法参数。确定自适应调整策略的参数。

生成初始种群：随机生成符合约束条件的初始调度策略种群。每个个体代表一种可能的调度策略组合。

选择操作：根据适应度值选择优秀的个体进入下一代。在改进遗传算法中，选择、交叉和变异是三个关键的操作。选择操作根据适应度值选择优秀的个体进入下一代；交叉操作通过交换两个个体的部分基因来生成新的个体；变异操作则随机改变个体的某些基因以增加种群多样性。公式如下：

$$P_i = F_i P_{\text{size}} \quad (8)$$

式中， P_i 为个体 i 被选中的概率； F_i 为个体 i 的适应度值； P_{size} 为种群大小。

对选中的个体进行交叉操作，生成新的调度策略。应用自适应交叉概率策略，根据个体适应度调整交叉概率。对交叉操作后得到的个体进行变异操作，引入新的基因变异。变异操作有助于增加种群的多样性，避免过早收敛。将每代中的最优个体直接复制到下一代，确保优秀基因的传递。

重复进行选择、交叉、变异和精英保留操作，直到达到预设的最大迭代次数。随着迭代的进行，种群中的个体逐渐逼近最优调度策略。

在达到最大迭代次数后，从最终种群中选择适应度最高的个体作为最优调度策略，并将其输出。

该模型结合目标函数的构建和算法的优化能力，通过迭代优化找到最优的调度策略，从而实现电网现货市场负荷资源调度。

2 实验分析

为了验证基于改进混合遗传算法的智能电网现货市场负荷资源调度方法的有效性，进行对比实验，设置传统方法 1 和传统方法 2 为对照组，对三种方法的鲁棒性进行对比。

2.1 实验准备

在对比实验中，针对某城市区域的 100 个微电

网 (N) 进行了详尽的对比实验。该微电网模拟光伏 (PV) 系统的生产者和未配备 PV 系统的消费者。在模拟实验设定中, 假定所有拥有光伏系统的微电网拥有相同的光伏发电能力, 并且各微电网的电力消耗模式保持一致。整个模拟过程持续时间为一天 (24h), 精确计算能源负荷并构建详尽的用户画像。为了实施所提议的市场机制, 采用智能合约技术, 在私有区块链网络中进行部署。在此过程中, 运用固态脚本语言和 JavaScript 程序来开发智能合约和应用程序用户界面 (API)。这些程序不仅保证了智能合约与 API 之间的顺畅通信, 还提升了整个系统的运行效率。所有相关程序均在 Node.js 运行环境中执行。

为了确保模拟的准确性和可靠性, 选择一系列参数, 并在仿真过程中加以应用。这些参数的具体数值和设定如表 1 所示。

表 1 仿真参数设置

| 参数 | 数值 |
|-----------|---------|
| SDR | 0.5 |
| [min max] | [10 16] |
| T | 24 |
| N | 100 |

对照组一采用传统的遗传算法进行负荷资源调度。该方法利用遗传算法的基本框架 (选择、交叉、变异等操作) 来搜索调度方案, 但并未引入提出的改进策略。对照组二采用一种基于启发式算法的负荷资源调度方法。根据经验规则和领域知识来构建调度方案, 能够在较短时间内得到一个相对满意的解。为了进行公平比较, 实验组和对照组使用相同的数据集, 包括历史负荷数据、资源成本信息、电网约束条件。实验组和对照组的算法参数根据实际情况进行适当调整, 以确保实验结果的可靠性。实验采用鲁棒性作为指标来评估不同方法的性能。实验结果如表 2 所示。

2.2 对比实验

表 2 三种方法结果对比

| 实验次数 | 本文方法鲁棒性指标/% | 传统方法 1 鲁棒性指标/% | 传统方法 2 鲁棒性指标/% |
|-------|-------------|----------------|----------------|
| 1 | 92.5 | 85.3 | 78.9 |
| 2 | 91.8 | 84.1 | 77.5 |
| 3 | 93.2 | 86.4 | 80.2 |
| 平均鲁棒性 | 92.5 | 85.3 | 78.9 |

从表 2 中可以看出, 基于改进混合遗传算法的智能电网现货市场负荷资源调度方法在鲁棒性指标上表现最佳, 平均鲁棒性达到了 92.5%。相比之下, 传统遗传算法的平均鲁棒性为 85.3%, 而启发式算法的平均鲁棒性仅为 78.9%。这表明本文设计方法在应对市场不确定性和资源波动时具有更高的稳定性和可靠性, 资源调度效果更好。

3 结束语

本文提出基于改进混合遗传算法的智能电网现货市场负荷资源调度方法。通过引入新的遗传操作策略和优化算法参数, 有效提升了遗传算法在求解复杂优化问题时的性能, 为智能电网现货市场负荷资源调度的智能化提供了有效手段。在实际应用中, 所提出的改进混合遗传算法展现出良好的优化效果和鲁棒性, 不仅能够快速收敛到全局最优解, 还能有效应对电网运行中的不确定性和复杂性。这不仅有助于实现电力供需的平衡, 提升能源利用效率, 还能为电力市场的稳定运行和可持续发展提供有力保障。

参考文献

- [1] 梁宁, 潘郑楠, 徐慧慧, 等. 风氢耦合系统参与现货市场的竞标策略及优化调度方法 [J]. 太阳能学报, 2024, 45 (2): 351-359.

- [2] 董萍, 韦述阳, 刘明波. 多网络协作下电动汽车参与电力市场的调度策略 [J]. 华南理工大学学报 (自然科学版), 2023, 51 (12): 83-94.
- [3] 郁海彬, 张煜晨, 刘扬洋, 等. 碳交易机制下多主体虚拟电厂参与电力市场的优化调度竞标策略 [J]. 发电技术, 2023, 44 (5): 634-644.
- [4] 祁泽, 赵会茹, 梁纪峰, 等. 区域综合能源系统参与电力-天然气市场优化调度研究 [J]. 河北电力技术, 2023, 42 (5): 9-16.
- [5] 梁泽琪, 周云, 冯冬涵, 等. 考虑电碳绿证市场耦合的园区综合能源系统日前优化调度 [J]. 电力建设, 2023, 44 (12): 43-53.
- [6] 郁海彬, 高亦凌, 陆增洁, 等. 计及需求响应的风-火-储-碳捕集多源参与深度调峰市场的低碳经济调度 [J]. 综合智慧能源, 2023, 45 (8): 80-89.
- [7] 蒋玮, 单沫文, 邓一帆, 等. 虚拟电厂聚合电动汽车参与碳市场的优化调度策略 [J]. 电力工程技术, 2023, 42 (4): 13-22, 240.
- [8] 吴洋, 苏承国, 孙映易, 等. 现货市场环境下水电富集电网日前优化调度研究 [J]. 人民长江, 2023, 54 (7): 210-217, 233.
- [9] 郁海彬, 章明, 徐金鑫, 等. 考虑碳交易与需求响应的虚拟电厂参与电力市场调度策略 [J]. 上海电力大学学报, 2023, 39 (3): 211-218.
- [10] 魏震波, 杨超, 李银江. 参与多元耦合市场的电-气综合能源系统低碳经济调度 [J]. 智慧电力, 2023, 51 (5): 8-14, 22.

(收稿日期: 2024-04-01)