

电气自动化系统中的智能控制策略研究

宋兆文 李俊

特变电工沈阳变压器集团有限公司 辽宁 沈阳 116600

摘要: 智能控制技术融合控制理论、计算机科学与人工智能,具备自主、学习、适应等特性,突破传统控制局限。本文围绕电气自动化系统,阐述智能控制策略框架,涵盖分层、自适应、协同控制架构,介绍数据驱动、知识引导、学习优化等核心实现方法,分析实时性、数据安全、可解释性、异构兼容等应用挑战及解决方案。该研究为电气自动化系统智能控制提供理论支撑与实践参考,推动其向智能化、高效化方向发展。

关键词: 电气自动化系统;智能控制策略;分层控制架构;数据驱动方法

引言:电气自动化系统在工业生产、能源管理等领域应用广泛,对提升生产效率与质量至关重要。传统控制策略依赖精确数学模型,面对复杂多变的工况,难以实现高效精准控制。智能控制技术融合多学科优势,具备自主调控、学习优化等能力,可突破传统控制局限。研究电气自动化系统中的智能控制策略,有助于提升系统性能、增强适应性与稳定性,对推动电气自动化技术发展具有重要现实意义。

1 智能控制技术理论基础

1.1 智能控制的核心概念

智能控制是融合控制理论、计算机科学与人工智能技术的交叉学科理论体系,其定义围绕系统自主调控能力展开,核心是通过模拟人类智能行为实现复杂系统的高效管控^[1]。智能控制具备自主性,能够在无需人工干预的前提下独立完成决策与执行流程;具备学习性,可通过对运行数据的分析与积累,逐步优化控制策略;具备适应性,能够根据外部环境与系统状态的变化,灵活调整运行参数;具备鲁棒性,可在外部干扰与参数波动情况下,维持系统稳定运行。智能控制与传统控制存在显著本质差异,传统控制以精确数学模型为核心支撑,对模型依赖性较强,一旦模型与实际场景偏差较大,控制效果便会大幅下降。智能控制则突破这一局限,弱化模型约束,注重通过动态调整能力适配复杂多变的运行场景,无需依赖精确模型即可实现高效控制,这一差异由控制理论的发展历程所决定,是现代控制技术向智能化升级的核心体现。

1.2 关键技术分支

机器学习是智能控制的核心技术支撑,依据控制理论与人工智能领域的研究成果,监督学习通过构建输入与输出数据的映射关系,形成符合系统需求的控制规则;无监督学习无需预设标签,通过挖掘数据内在关联特征,实

现控制策略的自主优化;强化学习依托交互反馈机制,通过不断试错调整决策路径,完善控制逻辑。深度学习以多层神经网络为核心架构,基于神经网络理论的发展,突破传统建模方法的局限,能够精准刻画系统复杂非线性关系,为复杂工况下的控制提供可靠技术支撑。模糊控制以语言规则为推理核心,基于模糊逻辑的数学理论,将人类经验知识转化为定量控制规则,实现定性认知与定量控制的有机结合。专家系统聚焦专业知识的工程化应用,知识库整合领域内权威理论与实践经验,推理引擎依据逻辑推演规则,将知识库中的知识转化为控制决策,支撑系统高效运行。神经网络控制以反向传播算法为核心运算方式,基于自适应控制理论,通过误差反馈实现网络参数的动态调整,让控制模型能够适配不同运行场景的需求,提升控制的灵活性与精准度。

2 电气自动化系统智能控制策略框架

2.1 分层控制架构设计

分层控制架构是电气自动化系统智能控制的核心载体,遵循模块化设计理念,基于工业控制体系架构研究成果,实现系统各环节的有序协同与高效管控^[2]。感知层作为架构底层基础,承担数据采集与初步处理功能,依托传感器网络搭建全方位数据采集体系,整合环境参数与设备运行状态数据,通过多源数据融合技术消除数据冗余与干扰,提升数据采集的精准度与完整性,为上层控制决策提供可靠数据支撑。决策层处于架构核心位置,构建动态规则引擎与优化算法体系,遗传算法、粒子群优化等智能优化算法的引入,能够实现控制决策的多目标优化,动态规则引擎可根据感知层反馈数据,实时更新决策逻辑,确保决策结果贴合系统运行实际。执行层作为控制策略落地的关键环节,由分布式控制单元构成,结合实时反馈机制,将决策层下达的控制指令精准转化为设备运行动作,同时将设备运行状态实时反馈至决策

层,形成闭环控制链路,保障控制策略的高效执行。

2.2 自适应控制策略

自适应控制策略是应对电气自动化系统工况多变、干扰复杂问题的核心手段,基于自适应控制理论与鲁棒控制理论研发设计,实现系统控制性能的动态优化。在线参数调整依托系统状态监测数据,实时捕捉运行参数与理想状态的偏差,通过参数自整定算法完成控制参数的实时优化,确保系统在工况波动时仍能维持稳定运行。动态模型切换基于不同工况下的系统特性,预设多种适配不同场景的控制模型,通过工况识别算法自动判断当前运行工况,选择最优控制模式完成切换,规避单一控制模型适配性不足的问题。抗干扰设计结合鲁棒控制与容错机制,通过干扰抑制算法削弱外部电磁干扰、负荷波动等因素的影响,容错机制则通过冗余设计与故障隔离技术,避免局部故障影响整个系统运行,提升系统运行的稳定性与可靠性。

2.3 协同控制策略

协同控制策略聚焦电气自动化系统多设备、多环节的协同运行,基于分布式控制理论与通信技术,实现系统整体性能的提升。多设备联动通过标准化通信协议搭建设备间信息交互通道,实现各设备运行状态与控制指令的实时共享,结合任务分配算法,根据设备负载能力与运行状态合理分配控制任务,避免单一设备过载运行,提升系统运行效率。能源优化以负荷预测技术为基础,通过分析历史负荷数据与环境因素,精准预测系统负荷变化趋势,基于预测结果实现能源的动态调度与能效管理,降低能源损耗,提升能源利用效率。故障自愈依托分布式故障诊断与隔离恢复机制,通过多节点监测实现故障的精准定位与快速隔离,结合自愈算法自动启动备用方案,完成故障恢复,减少故障停机时间,保障电气自动化系统的连续稳定运行。

3 智能控制策略的核心实现方法

3.1 数据驱动的控制方法

数据驱动的控制方法依托数据科学与控制理论的交叉融合,以系统运行数据为核心决策支撑,构建无需精确数学模型的自主调控体系。数据预处理是该方法的基础环节,数据清洗技术剔除采集过程中产生的冗余、异常信息,保障数据样本的纯净度;归一化处理统一数据量纲,消除不同维度数据的量级差异,提升数据在模型训练中的适配性;特征提取通过数学变换与降维技术,挖掘数据内在核心特征,简化数据表达的同时保留关键控制信息^[3]。模型训练建立离线学习与在线更新的双重体系,离线学习依托历史数据集完成控制模型初步构建,

优化核心参数以具备基础控制能力;在线更新机制持续接收新的运行数据,实时修正模型参数与结构,适配系统状态的动态变化。预测控制基于历史数据构建时序预测模型,通过数据挖掘预判系统未来运行状态,提前生成控制策略实现主动干预,突破传统被动控制局限,提升系统响应的前瞻性。

3.2 知识引导的控制方法

知识引导的控制方法融合领域专业知识与控制逻辑,依托人工智能与知识工程理论,实现经验知识向自动化控制决策的转化。专家知识库构建通过标准化流程将领域内权威理论与实践经验转化为数字化知识体系,采用结构化存储方式整合控制规则、运行准则与故障处理策略,形成可被系统调用与推理的知识数据库,为控制决策提供系统化知识支撑。模糊推理机制以语言变量为核心表达形式,结合模糊数学理论定义多维度隶属度函数,实现定性知识的定量化转换。该机制通过模糊规则库构建推理逻辑,将人类经验性控制知识转化为系统可执行的决策路径,突破精确数学表达的局限,适配难以量化的复杂控制场景,提升决策的合理性与灵活性。混合智能控制整合数据驱动与知识引导的技术优势,构建分层决策模型,底层通过数据驱动方法实现实时状态感知与动态调整,上层依托知识引导机制完成战略级决策规划。该模型融合数据的客观性与知识的指导性,实现不同控制层级的优势互补,提升复杂系统控制的整体性能与决策质量。

3.3 学习优化控制方法

学习优化控制方法基于强化学习理论,通过自主交互与试错学习实现控制策略的动态优化,是智能控制向自主化发展的核心技术路径。强化学习框架以状态-动作-奖励为核心交互逻辑,系统通过感知环境状态执行控制动作,根据奖励反馈评估动作优劣,持续调整决策行为以累积长期最优收益,实现控制策略的自主进化。策略梯度算法针对连续动作空间控制需求,通过梯度上升方法直接优化策略函数,实现连续动作空间的最优策略搜索。该算法摒弃传统离散动作限制,能够在连续控制域中高效求解最优解,适配机器人控制、过程调节等复杂连续系统场景,拓展智能控制的应用边界。深度强化学习结合深度学习与强化学习技术,构建端到端控制体系,通过深度神经网络处理高维状态空间信息,实现从原始感知数据到控制决策的直接映射。该技术突破传统控制方法对人工特征工程的依赖,能够自动提取高维状态空间中的关键特征,提升复杂系统控制的智能化水平与适应性,为大规模、高复杂度电气自动化系统提供高效控

制解决方案。

4 智能控制策略的应用挑战与解决方案

4.1 实时性要求

智能控制策略在电气自动化系统应用中,实时性是核心制约因素。电气自动化系统运行工况动态多变,控制指令需快速响应设备状态变化,传统云端集中式决策模式依赖远程数据传输,易产生通信延迟,影响控制指令执行效率,难以适配高动态运行需求。边缘计算与本地决策模式可有效破解这一难题,将计算资源下沉至数据采集终端,实现数据就地处理与决策生成,缩短数据传输链路,规避云端通信带来的时间损耗^[4]。轻量化模型设计兼顾控制精度与计算复杂度,通过优化模型结构、精简参数规模,在保留核心控制功能的基础上降低运算负荷,使其能够在资源受限的终端设备上高效运行,实现精度与速度的动态平衡,保障控制策略的实时响应能力。

4.2 数据安全与隐私

智能控制策略依赖海量数据驱动,数据安全与隐私保护成为应用过程中的重要挑战。系统采集的设备运行数据、环境参数等信息多含敏感内容,传输与共享过程中易遭遇窃取、篡改等安全风险,同时可能泄露数据主体隐私。加密通信协议作为基础安全保障,通过标准化加密算法对传输数据进行处理,构建安全的信息交互通道,确保数据传输过程中的完整性与保密性,防范中途攻击行为。联邦学习框架采用分布式训练模式,各节点在本地完成数据训练,仅共享模型参数而非原始数据,从源头规避数据隐私泄露风险,同时实现多节点模型协同优化,兼顾数据安全与模型性能提升,契合数据驱动控制的发展需求。

4.3 系统可解释性

多数智能控制模型存在黑箱特性,内部决策逻辑难以直观解读,增加系统运维、故障排查与参数调整的难度,限制其在关键场景的应用。可视化决策路径技术将抽象的决策过程转化为直观的逻辑链路,清晰呈现数据输入、算法运算至决策输出的完整流程,提升控制逻辑的透明度与可追溯性,便于操作人员理解系统运行机制。规则提取技术通过模型解构与算法分析,从黑箱模型中

挖掘显性化控制规则,将隐含的决策逻辑转化为人类可理解、可验证的规则集合,打破模型内部封闭性,增强控制策略的可信度,为系统优化与人工干预提供支撑。

4.4 异构系统兼容性

电气自动化系统多由不同品牌、不同型号的设备组成,硬件架构、通信协议与数据格式存在差异,形成异构系统环境,导致设备间信息交互不畅,阻碍智能控制策略的整体部署。标准接口设计通过制定统一的通信协议与数据格式规范,消除设备间的技术壁垒,实现不同设备的标准化信息交互与指令传达,支撑设备快速集成与即插即用^[5]。中间件技术封装底层硬件差异,向上层控制应用提供统一的访问接口与服务,负责处理协议转换、数据适配等工作,使上层控制策略无需关注具体硬件细节,即可实现对异构设备的统一管理与控制,提升系统集成度与可扩展性。

结束语

电气自动化系统中的智能控制策略研究,在理论构建与实践应用层面均取得一定成果。通过设计分层、自适应、协同等控制架构,结合数据驱动、知识引导、学习优化等实现方法,有效提升了系统的控制性能与智能化水平。同时,针对实时性、数据安全、可解释性、异构兼容等挑战提出解决方案,增强了策略的实用性与可靠性。这些研究成果为电气自动化系统的优化升级提供了有力支持,有助于推动其在更多领域的广泛应用。

参考文献

- [1]谢尧,李嗣敏,沈龙骏.电气自动化系统中的智能控制策略研究[J].电脑采购,2024(15):48-50.
- [2]熊许格.电气自动化系统中的智能控制策略及应用研究[J].电脑校园,2021(11):2977-2978.
- [3]赵静.电力系统运行中电气自动化技术的应用策略[J].科技创新导报,2022,19(28):94-97.
- [4]刘天生.智能建筑中电气自动化系统设计与实现关键技术研究[J].建筑与装饰,2025(24):163-165.
- [5]詹为军.电气自动化控制技术在电气化铁路电力系统中的应用[J].运输经理世界,2024(3):157-159.