

机电一体化系统中智能控制技术的应用研究

曾庆波

四川新工晟飞建设工程有限公司 四川省 610100

DOI: 10.12238/ems.v7i11.16048

[摘要] 智能控制在机电一体化系统中的应用,可提升系统精准性与稳定性。探讨智能控制在机电一体化系统中的应用原理、优势,分析模糊控制、神经网络控制等技术的具体应用方式及效果,为机电一体化系统的智能化升级提供参考,以促进其在多领域的高效应用。

[关键词] 机电一体化系统;智能控制技术;模糊控制;神经网络控制

引言:

随着科技发展,机电一体化系统对控制精度和智能化程度要求渐高。智能控制技术凭借其自适应、自学习等特性,为机电一体化系统带来新发展机遇。研究其在机电一体化系统中的应用,能推动系统性能提升,具有重要现实意义。

1. 智能控制技术概述

1.1 智能控制技术定义

智能控制是融合人工智能、自动控制理论与工程技术的新型控制范式,其本质在于赋予控制系统类人化的感知、判断与决策能力。该技术突破传统控制依赖精确数学模型的限制,通过模拟人类专家的经验推理、学习机制和自适应能力,实现对复杂系统的自主优化调节。智能控制的核心特征表现为环境感知的主动性、信息处理的非线性、决策过程的自学习性和行为执行的柔韧性。相较于经典PID控制的静态参数设定和现代控制理论的严格建模要求,智能控制更擅长处理具有时变、滞后、强耦合特性的工业过程。这种技术架构使控制系统具备知识积累能力,能够在运行过程中持续完善控制策略,特别适用于机电系统这类多变量、强干扰、非线性的典型控制对象。

1.2 智能控制技术发展历程

智能控制技术的演进轨迹呈现出从规则驱动到数据驱动的技术跃迁路径。早期发展阶段以基于专家经验的启发式控制为标志,通过人工编码的控制规则库实现有限场景下的自主决策。随着计算机技术的突破,基于知识工程的专家系统开始整合领域专业知识形成推理引擎。进入机器学习时代后,神经网络与深度学习算法的引入使控制系统获得从数据中自动提取特征的能力。当代智能控制正朝着混合智能方向发展,将模糊逻辑、神经网络、进化计算等多种智能方法有机融合,

构建具有更强鲁棒性和泛化能力的复合控制系统。这一发展进程始终伴随着硬件算力的提升和算法理论的创新,推动智能控制从实验室原型向工业现场的深度渗透。

1.3 智能控制技术主要类型

当前主流的智能控制技术形成三大技术分支:模糊控制以模糊集合论为基础,通过建立输入输出变量的模糊规则库,实现对不确定系统的近似推理控制;神经网络控制模仿生物神经网络的信息处理机制,通过多层神经网络的自学习功能逼近复杂非线性映射关系;专家系统控制则聚焦领域知识的符号化表达,构建包含事实库、规则库和推理机的知识库进行逻辑推演。这三种技术路径各有优势:模糊控制善于处理定性经验知识,神经网络擅长从数据中自动学习规律,专家系统则强调显性知识的系统化运用。实际应用中常采用混合架构,如模糊神经网络结合符号主义与连接主义的长处,形成互补协同的控制方案。

2. 机电一体化系统分析

2.1 机电一体化系统构成

机电一体化系统作为现代工业装备的核心形态,由机械本体、动力驱动、传感检测、信息处理和执行机构五大功能模块有机融合而成。机械本体构成系统的物理载体,其结构设计直接影响运动精度和动态响应;动力驱动模块涵盖电机、减速器等能量转换装置,负责将电能转化为精确的机械运动;传感检测系统通过各类传感器实时采集位置、速度、力矩等状态参数;信息处理单元基于微处理器完成数据采集、算法运算和控制决策;执行机构则根据控制指令驱动机械部件完成预定动作。这些子系统通过总线通信协议实现信息交互,形成闭环控制回路。特别值得注意的是,各模块间的接口标准化程度决定了系统集成的难易程度,而软件中间件的设计

水平则影响着整个系统的协同效能。

2.2 机电一体化系统特点

机电一体化系统的本质特征体现为多学科技术的深度融合与功能的集约化实现。该系统具有明显的交叉学科属性, 机械工程提供结构与运动学基础, 电子工程解决信号处理与功率驱动问题, 计算机科学支撑控制算法与数据处理需求。其显著特点包括结构紧凑化带来的空间效率提升、功能复合化实现的多种任务集成、控制智能化展现的环境适应能力, 以及操作便捷化呈现的人机交互友好性。由于采用数字化控制架构, 系统具备良好的可编程性和可重组性, 能够通过软件升级快速适配不同生产任务。此外, 内置的故障诊断与健康管理系统使设备维护从被动维修转向预测性维护, 大幅延长使用寿命。

2.3 机电一体化系统发展现状

当前机电一体化系统的发展呈现三大趋势: 智能化程度持续深化, 表现为嵌入式 AI 芯片的广泛应用和边缘计算能力的提升; 网络化水平显著提高, 工业以太网、无线通信技术的普及推动设备互联与数据共享; 绿色化理念贯穿设计全过程, 能量回收技术和低功耗器件的应用降低能耗水平。在智能制造背景下, 机电系统正从单一设备向产线级系统集成演进, 数字孪生技术的引入使虚实联动成为可能。新材料的应用突破传统设计约束, 形状记忆合金、压电陶瓷等智能材料开始承担传感与驱动双重功能。随着工业互联网平台的成熟, 机电系统逐渐演变为云边端协同的智能终端, 实时数据驱动的服务型制造新模式正在形成。

3. 智能控制技术在机电一体化系统的应用原理

3.1 模糊控制应用原理

模糊控制在机电系统中的应用建立在人类操作经验的数学转化基础上。其核心是将操作人员的语言化控制经验转化为模糊控制规则, 通过模糊化接口将精确的传感器输入转换为模糊量, 经模糊推理引擎匹配预设的规则库, 最终通过解模糊化输出精确的控制量。在机电系统的位置控制中, 模糊控制器可同时处理位置误差、误差变化率等多个输入变量, 根据“若误差较大且快速增大, 则大幅增加控制量”之类的经验规则动态调整输出。这种控制方式无需建立精确的数学模型, 特别适合处理机电系统存在的摩擦非线性、负载突变等难以建模的因素。模糊控制的抗干扰能力源于其规则库的包

容性, 能够有效抑制测量噪声和参数摄动的影响。

3.2 神经网络控制应用原理

神经网络控制通过模拟生物神经系统的信息处理机制实现复杂函数逼近。在机电系统中, 多层前馈神经网络通过输入层接收位置、速度等状态变量, 经隐层神经元的非线性变换提取特征信息, 输出层生成控制信号驱动执行机构。网络的训练过程采用反向传播算法, 通过比较实际输出与期望输出的差异不断调整连接权值, 使网络具备学习能力。对于机电系统的轨迹跟踪任务, 神经网络可在线学习系统动态特性的变化, 自动补偿因温度漂移或机械磨损导致的参数变动。递归神经网络结构的引入使系统具有记忆功能, 能够捕捉运动过程中的历史信息, 这对振动抑制等需要时序信息的场合尤为重要。神经网络的并行处理能力使其特别适合实时性要求高的机电控制场景。

3.3 专家系统控制应用原理

专家系统控制将领域专家的知识经验转化为计算机可执行的控制策略。其典型结构包含知识库、推理机和工作存储器三大部分: 知识库存储经过验证的控制规则和典型案例, 推理机根据当前系统状态匹配适用的规则链, 工作存储器记录推理过程的中间结果。在机电系统的故障诊断中, 专家系统可依据振动频谱、电流波形等特征参数, 结合历史故障案例进行因果推理。与传统程序控制相比, 专家系统的优势在于知识表达的自然性和推理过程的透明性, 能够处理“IF-THEN”规则难以描述的复杂工况。深知识获取技术的运用使系统具备自我完善的能力, 可通过新增案例不断丰富知识库, 逐步提升控制水平。

4. 智能控制技术在机电一体化系统的应用优势

4.1 提高系统控制精度

智能控制技术通过多维度信息融合显著提升机电系统的控制精度。模糊控制的多输入单输出结构可同时考虑位置误差、速度误差及其变化率, 消除单一反馈回路的局限性。神经网络的自适应特性使其能自动识别并补偿机械传动链中的间隙非线性相移。专家系统的分层推理机制将粗调与精调相结合, 在快速响应阶段采用开环预测控制, 接近目标时切换至闭环精密校正。这种多级递进的控制策略使系统在高速运动阶段保持稳定, 在到位阶段实现微米级定位精度。智能算法对传感器误差的鲁棒性处理能力, 有效降低了硬件成本敏

感带来的测量噪声影响。

4.2 增强系统自适应能力

智能控制的自学习机制赋予机电系统动态适应环境变化的能力。神经网络控制器通过在线训练持续更新权重矩阵,实时反映设备老化带来的参数漂移。模糊控制的隶属度函数可根据运行数据自动调整,适应不同负载下的最佳控制律。专家系统的案例推理功能使系统能识别新型工况并生成相应控制策略。这种自适应能力在柔性制造系统中尤为重要,当更换加工工件时,系统能自动调整加减速度曲线和扭矩分配方案。智能算法对突发扰动的快速响应能力,如电网电压波动时的主动补偿,确保生产过程不间断运行。

4.3 提升系统稳定性

智能控制技术通过多重稳定性保障机制增强机电系统可靠运行。模糊控制的规则冗余设计使局部规则失效不影响整体性能。神经网络的容错结构允许部分神经元故障仍保持基本功能。专家系统的冲突消解策略确保多条规则触发时能选出最优解。智能算法对执行机构的非线性补偿能力,有效抑制了电机饱和、液压卡滞等非线性因素引发的振荡。系统健康监测模块通过趋势分析预测潜在故障,提前启动降级运行模式。这种多层级的稳定性设计使系统在电磁干扰、机械冲击等恶劣环境下仍能保持可控状态。

5. 智能控制技术在机电一体化系统的应用策略

5.1 优化控制算法设计

智能控制算法的优化需兼顾控制性能与计算复杂度平衡。针对机电系统的典型工况建立典型工况集,采用遗传算法对模糊规则表进行全局优化。设计可变学习率的神经网络训练策略,初期采用大步长快速收敛,后期减小步长提高精度。开发分层混合控制架构,底层用传统PID保证基本稳定性,上层用智能算法进行性能优化。引入滚动时域优化思想,将无限时域的控制问题转化为有限窗口的在线规划。建立控制参数的灵敏度分析模型,识别关键参数进行重点整定。通过数字孪生技术进行虚拟调试,验证算法在实际工况下的鲁棒性。

5.2 加强系统集成创新

智能控制系统的集成创新需突破软硬件割裂的传统模式。开发统一的软件框架支持多种智能算法的热插拔替换,建立算法容器化部署标准。设计模块化的硬件平台,将FPGA、DSP、GPU等异构处理器有机结合,满足不同算法的算力需求。

开发面向信号流的图形化编程环境,降低算法实现门槛。建立统一的通信中间件,实现PLC、工控机、智能仪表的数据互通。采用边缘计算架构,将实时性要求高的控制闭环下沉至现场层,复杂优化任务上传至云端处理。通过OPC UA等信息模型标准,实现跨平台的数据交换与功能互操作。

5.3 培养专业技术人才

智能控制技术的应用需要复合型人才队伍支撑。建立跨学科的课程体系,将自动控制理论、人工智能算法、机电系统设计有机结合。开发虚实结合的实验平台,让学生在数字孪生环境中体验算法修改对实际系统的影响。推行项目驱动的教学改革,通过真实工业场景的控制难题培养工程实践能力。建立校企联合培养机制,企业导师参与课程设计,学生参与实际项目开发。构建阶梯式持续教育体系,开设模块化课程涵盖深度学习框架、强化学习算法及工业场景应用案例,采用“线上理论+线下实训”混合模式,邀请学术专家与企业导师联合授课。设立专项创新基金,对提出突破性算法方案或成功落地应用的技术团队给予股权激励与项目分红。搭建内部技术沙盘平台,允许工程师在受控环境中开展前沿技术试验,优秀成果纳入企业标准解决方案库。建立技术职级双通道晋升机制,设立首席算法工程师等荣誉岗位,营造“敢创新、能落地”的技术文化生态。

结束语:

智能控制技术在机电一体化系统中的应用成效显著。持续深入研究智能控制技术,不断优化应用策略,能进一步提升机电一体化系统性能,推动其在更多领域的广泛应用,助力相关产业实现智能化、高效化发展。

[参考文献]

- [1]姜楠. 机电一体化系统中智能控制的应用分析[J]. 电子技术, 2019, 48(01)
- [2]董兆友. 智能控制在机电一体化系统中的应用[J]. 电子技术与软件工程, 2020(09)
- [3]朱文琦. 智能控制在机电一体化系统中的应用探讨[J]. 南方农机, 2019, (16)
- [4]贺国祥, 邸桂松, 孙兴华, 等. 大田智能灌溉技术研究现状及发展趋势[J]. 河北农机, 2022, (7)
- [5]刘博. 机电一体化系统中智能控制的应用及发展趋势分析[J]. 产品可靠性报告, 2023, (05): 143-145.