

机电一体化系统智能控制策略研究

张永春¹ 杨振² 张志远²

1. 沈阳市庆恒华泰自动化成套设备有限公司 辽宁沈阳 110026

2. 沈阳鑫伟仁邦自动化设备有限公司 辽宁沈阳 110078

摘要: 随着科技进步,机电一体化系统在多领域应用日广,其控制性能提升至关重要。本文聚焦智能控制策略,阐述机电一体化系统与智能控制的基本概念,剖析PID、模糊逻辑、神经网络、模型预测等控制策略的原理、应用及特性,探讨其对系统性能的影响,并展望未来发展趋势,为系统智能化发展提供理论参考。

关键词: 机电一体化系统;智能控制策略;PID控制;模糊逻辑控制

引言

机电一体化技术融合机械、微电子、信息技术,核心是通过智能化控制优化系统性能。在工业自动化、智能制造等领域,传统控制方法难以满足复杂系统对高精度、高适应性和高稳定性的需求,智能控制策略的引入成为必然。本文系统分析现有智能控制策略在机电一体化系统中的应用现状与发展方向,为相关研究和工程实践提供借鉴。

一、机电一体化系统与智能控制概述

(一) 机电一体化系统

1. 定义与构成

机电一体化系统是由机械本体、传感器检测、执行机构、控制及信息处理等要素有机结合而成的复杂系统,旨在实现特定功能。其核心构成如下:

-机械本体:作为系统物理基础,提供结构支撑与运动执行载体。

-传感器检测单元:感知系统内外部状态信息,如位置、速度、温度等。

-控制单元:处理分析传感器信息,生成控制指令。

-执行机构:依据控制指令完成动作,如电机驱动、液压传动等。

-动力源:为系统提供能量,保障各部件正常运行。

2. 特点与应用领域

机电一体化系统融合多领域技术,具备显著特点:

-智能化决策:嵌入模糊控制、神经网络等算法,可自主感知环境变化并动态调整策略,实现复杂任务的自适应执行。例如工业机器人能实时识别工件位置偏差并调整。

-高精度执行:依赖精密传感器与伺服驱动技术,可达微米级甚至纳米级控制精度。如医疗手术机器人通过力反馈控制实现组织操作精准定位。

-高效协同运行:机械本体与电子控制单元深度集成,结合物联网技术实现跨设备数据共享,减少能量损耗与流程冗余。如智能工厂中加工单元与物流机器人实时同步生产数据。

-强环境适应能力:通过鲁棒控制算法与冗余设计,可在恶劣工况下稳定工作。如航空发动机控制系统利用容错技术保障复杂环境下的可靠运行。

-多功能集成:整合传感、控制、执行等模块功能,满足多样化场景需求。如智能家电通过多传感器融合与控制算法,自动切换制冷、节能等模式。

其应用领域广泛,涵盖工业制造(自动化生产线、数控机床)、交通运输(智能汽车、轨道交通)、航空航天(飞行器控制系统)、医疗设备(手术机器人、智能康复器械)等。

(二) 智能控制

1. 概念与发展历程

智能控制是无需依赖精确数学模型的先进控制方法,模拟人类推理、学习和自适应等智能行为,实现对复杂

作者简介:

1. 张永春(1979.06--),男,满族,辽宁沈阳人,职务/职称:电气设计,学历:本科,研究方向:电气。

2. 杨振(1994.05--),男,满族,辽宁葫芦岛人,学历:大专。

系统的有效控制。其发展历程如下：

-萌芽阶段（20世纪60-70年代）：模糊控制、神经网络等理论初步提出，奠定智能控制基础。

-发展阶段（20世纪80-90年代）：理论与技术逐渐成熟，在工业控制中初步应用。

-深化阶段（21世纪以来）：与人工智能、大数据、物联网等技术深度融合，推动智能控制向更高层次发展。

2. 基本原理与优势

智能控制通过模拟人类智能行为构建非模型依赖的控制框架，核心是利用算法对系统不确定性、非线性进行动态建模与调控。运作逻辑分为感知、决策、执行三层：传感器采集数据，经模糊逻辑、神经网络等算法处理生成控制指令，驱动执行机构调节。该模式突破传统控制对精确数学模型的依赖，适用于难以建模的复杂系统，如化工反应釜、机器人运动控制等。

智能控制优势显著：

-强适应性：通过在线学习算法自动调整控制参数，应对系统参数漂移或外部干扰。如机械臂负载变化时，可实现轨迹自适应修正。

-高鲁棒性：对模型误差和不确定性容忍度强，如模糊控制在非线性电机调速中能保持稳定性能。

-多功能集成：融合多源数据实现复杂任务协同，如自动驾驶汽车通过传感器融合与路径规划算法完成避障与导航。

-优化潜力大：借助全局优化算法实现多目标平衡，如智能电网中同时优化电能质量与能效。

二、机电一体化系统智能控制策略分析

（一）PID控制策略

1. 原理与工作方式

PID控制作为经典线性控制策略，由比例（P）、积分（I）、微分（D）环节组成。其原理是根据设定值与实际输出值的偏差，通过比例环节快速响应偏差，积分环节消除稳态误差，微分环节预测偏差变化趋势，实现系统闭环控制。

2. 应用场景与局限性

PID控制广泛应用于工业过程控制，如化工反应釜温度控制、锅炉水位控制等。但对非线性、时变系统控制效果不佳，参数整定依赖经验，难以实现最优控制。

（二）模糊逻辑控制策略

1. 理论基础与算法

模糊逻辑控制以模糊集合理论和模糊推理为基础，将人类经验转化为模糊控制规则。算法流程包括模糊化（精确输入转模糊量）、规则库建立（基于专家经验制定规则）、模糊推理（依规则推理）、清晰化（模糊输出转精确控制量）四个步骤。

2. 对不确定性系统的控制优势

该策略无需精确数学模型，能有效处理系统不确定性和非线性，对参数变化和外部干扰鲁棒性强，适用于复杂工业过程和家电控制等领域，如空调温度控制、洗衣机水位调节。

（三）神经网络控制策略

1. 神经网络结构与学习算法

神经网络由大量神经元连接组成，具多层结构（输入层、隐藏层、输出层）。学习算法通过调整神经元连接权重，使网络逼近任意非线性函数，常见算法有反向传播算法（BP算法）、随机梯度下降算法等。

2. 在复杂系统建模与控制中的应用

适用于高度非线性、强耦合的复杂系统，如机器人控制、航空发动机控制等。通过学习系统输入输出数据，可建立精确模型，实现自适应控制和故障诊断。

（四）模型预测控制策略

1. 预测模型与滚动优化

基于预测模型预测系统未来状态，在每个控制周期内通过滚动优化计算最优控制序列。预测模型可为线性或非线性，滚动优化通过最小化目标函数（如跟踪误差、控制能量等）实现实时控制。

2. 实时控制中的应用效果

具有良好动态性能和鲁棒性，能处理多变量约束问题，在电力电子系统、汽车动力总成控制等领域广泛应用，如电动汽车电机控制、微电网频率调节。

三、智能控制策略对机电一体化系统性能的影响

（一）提高系统稳定性

智能控制策略通过自适应调节和鲁棒控制，有效抑制系统振荡和干扰，提升不同工况下的稳定性。如模糊PID控制结合两者优点，依系统状态自动调整PID参数，增强稳定性。

（二）增强系统适应性

面对复杂多变的工作环境和系统参数变化，其自学习和自适应能力使系统快速调整控制参数，保持良好性能。如神经网络控制通过在线学习，适应机械系统磨损、负载变化等影响。

（三）提升系统精度和效率

通过精确建模和优化控制，实现对系统输出的高精度跟踪，同时优化能源消耗和生产流程。如模型预测控制在数控机床中的应用，显著提高加工精度和生产效率。

四、机电一体化系统智能控制策略的发展趋势

（一）与人工智能技术的深度融合

未来智能控制策略将与深度学习、强化学习等人工智能技术深度融合，推动系统向自主化、智能化跃升。深度学习通过多层神经网络提取特征、建模，解析复杂系统非线性动态特性，如工业机器人视觉伺服控制中，卷积神经网络（CNN）实时识别工件特征并优化轨迹规划。强化学习赋予系统自主决策能力，如智能加工中心基于Q-learning算法自动优化切削参数，实现效率与精度平衡。此类融合突破经验依赖，通过数据驱动自适应机制，使系统在未知场景完成全流程自主化，为智能装备在复杂工业场景自主作业提供支撑。

（二）基于物联网的分布式控制

随着物联网技术成熟，机电一体化系统从单一设备控制向分布式、网络化协同控制演进。通过传感器网络、边缘计算节点与云计算平台互联，实现跨设备数据实时共享与动态协同。如智能工厂中，分布式生产线各加工单元通过工业互联网实时交换数据，控制层利用协同优化算法动态调整任务分配与运行参数，避免产能瓶颈与设备空转，提升系统可靠性。该模式打破集中式控制局限，使复杂制造系统具备自组织、自优化能力，适用于柔性化生产场景多设备动态协同与故障自愈。

（三）绿色节能控制策略

在全球低碳化趋势下，绿色节能成为系统优化核心方向。通过能量流建模与智能调控算法实现能耗动态优

化：一方面，利用模型预测控制（MPC）、粒子群优化（PSO）等算法实时调节电机驱动系统功率输出，如工业风机水泵变频控制匹配负载需求，降低电能浪费；另一方面，构建能量回收与再利用机制，如电动汽车再生制动控制将动能转化为电能存储。结合生命周期评估（LCA）的控制策略从设备全流程优化能耗，如数控机床智能匹配切削参数减少空转损耗。此类技术响应环保要求，降低能耗成本，推动机电一体化向“绿色制造”转型。

结论

机电一体化系统的智能控制策略是提升系统性能的关键技术，PID、模糊逻辑、神经网络、模型预测等控制策略各有优势与适用场景。随着人工智能、物联网等技术发展，智能控制策略将朝更智能、高效、绿色方向发展，为系统在智能制造、智能交通等领域应用提供更强技术支持。未来需加强多学科交叉融合，解决复杂系统控制难题，推动机电一体化技术持续创新。

参考文献

- [1] 张尉. 基于物联网的机电一体化设备实时监测与维护系统设计[J]. 设备监测与控制, 2025, (05): 83-85.
- [2] 何静. 基于智能传感器的机电一体化数据采集方法研究[J]. 测控技术, 2025, (07): 85-88.
- [3] 余羽翔. 智能控制技术在机电一体化系统中的应用[J]. 机械工程学报, 2025, 54(04): 110-112.
- [4] 李炜, 余晓远. 建筑设备一体化监控系统的工程应用简析[J]. 智能建筑, 2025, 44(03): 58-61.
- [5] 侯洁, 杜鹃, 闫明蔚. 基于机电一体化的配电柜智能巡检系统设计[J]. 电气自动化, 2025, (03): 84-86.