

人工智能与机械电子工程的融合分析

哈力旦木·乌甫尔

新疆维吾尔自治区教育技术与资源发展中心

DOI:10.32629/acair.v4i2.20391

[摘要] 人工智能从设计优化、智能管控、预测性维护三方面为机械电子工程全生命周期赋能,机械电子工程的工业场景需求则牵引人工智能芯片、算法与可解释模型持续迭代。二者融合面临数据壁垒、技术适配、生态协同、人才缺口四大难题,搭建数据标准、技术适配、生态协同、人才培育体系,可破除融合障碍,为智能制造提供核心支撑。

[关键词] 人工智能; 机械电子工程; 产业融合; 智能制造

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A

Analysis on the Integration of Artificial Intelligence and Mechatronic Engineering

Halidanmu·Wupure

Xinjiang Uygur Autonomous Region Educational Technology and Resource Development Center

[Abstract] Artificial Intelligence empowers the whole life cycle of mechatronic engineering from three aspects: design optimization, intelligent management and control, and predictive maintenance. Meanwhile, the industrial scenario demands of mechatronic engineering drive the continuous iteration of AI chips, algorithms and interpretable models. The integration of the two is confronted with four major challenges including data barriers, technical adaptation problems, insufficient ecological coordination and talent shortages. Establishing systems for data standardization, technical adaptation, ecological collaboration and talent cultivation can eliminate integration obstacles and provide core support for intelligent manufacturing.

[Key words] Artificial Intelligence; Mechatronic Engineering; Industrial Integration; Intelligent Manufacturing

引言

机械电子工程是现代制造业的核心支撑学科,融合机械设计、电子控制、信息处理等多领域技术,直接决定制造业的核心竞争力。以深度学习、大数据分析为核心的人工智能技术,正成为推动产业变革的核心驱动力,其与机械电子工程的深度融合,是实现智能制造的核心路径。当前二者融合正处于从技术叠加向系统适配的关键转型期,仍面临诸多现实瓶颈。

1 人工智能与机械电子工程融合的双向作用机理

1.1 人工智能对机械电子工程的全链条赋能

人工智能技术凭借感知、学习、推理与决策的核心能力,对机械电子工程的设计、制造、运维全生命周期进行系统性重构,打破传统机电系统的技术边界与性能瓶颈。

1.1.1 设计环节的性能优化与创新突破

机械产品设计是实现功能与性能匹配的核心环节,传统设计模式高度依赖设计人员的工程经验,难以同时兼顾多维度目标的协同优化^[1]。人工智能技术通过对海量历史设计案例、多物理场仿真数据、实际工况运行数据的深度学习,可精准构建设计参数与产品性能之间的非线性映射模型,实现材料选型、结构

拓扑、工艺路径的多维度同步优化。该模式可突破传统经验设计的局限,在缩短产品研发周期的同时,实现产品性能的极限提升,为机电产品创新设计提供全新的技术路径。

1.1.2 制造环节的智能管控与效率提升

机械制造过程具有设备种类多、工艺链条长、工况波动大的特征,传统生产模式难以实现全流程的精细化管控与动态优化。人工智能技术可在生产计划排程、设备协同调度、产品质量管控等环节发挥核心作用。基于机器学习算法,可挖掘生产工艺参数与产品质量之间的内在关联,构建质量预测模型,提前识别异常工况,从源头解决产品质量一致性问题。深度强化学习算法可实现多工序、多设备的动态协同调度,优化生产节拍,缩短生产周期。机器视觉技术可实现产品表面缺陷、尺寸偏差的高精度、高效率检测,替代传统人工检测,大幅提升检测准确率与生产效率。

1.1.3 运维环节的预测性维护与全生命周期管理

机械设备的故障诊断与健康管理,直接决定生产系统的运行稳定性与综合效率。传统设备维护模式以定期保养与事后维修为主,极易出现过度维护或维护不足的问题,不仅增加运维成

本,还可能引发非计划停机,造成重大生产损失。人工智能技术通过对设备运行过程中的振动、温度、压力、电流等多维度状态数据的时序分析,可精准学习设备性能退化规律,预测核心部件的剩余使用寿命,提前制定针对性的维护策略。该模式可实现设备的预测性维护,最大限度减少非计划停机时间,提升设备综合效率,实现机电设备全生命周期的健康管理。

1.2 机械电子工程对人工智能技术的反向牵引

人工智能技术迭代升级的关键驱动力,来自机械电子工程的工业场景需求。工业场景所提出的严格要求,促使人工智能技术在芯片、算法、模型架构等多个方面不断实现突破,进而推动人工智能技术从消费互联网领域,向工业互联网领域进行深度拓展与应用^[2]。

1.2.1 工业场景算力需求推动芯片技术迭代

机电装备的智能化升级,要求人工智能算法实现边缘侧部署,以满足设备实时监测、自适应控制、故障预警等功能的低延迟需求。复杂的工业智能模型对算力提出极高要求,而机电装备终端往往存在算力资源有限、功耗约束严格的现实问题。该需求直接推动人工智能芯片技术的持续创新,芯片架构从传统通用处理器向专用集成电路、神经网络处理器等方向演进,实现算力、功耗、体积的平衡优化。面向特定工业场景的定制化芯片,可针对机电装备的运算需求进行架构优化,大幅提升能效比,为人工智能技术在工业终端的落地提供硬件支撑。

1.2.2 复杂工况鲁棒性要求驱动算法创新

机电装备的实际运行环境复杂多变,光照变化、电磁干扰、工况波动、负载变化等因素,都会对传感器数据采集与模型预测精度产生直接影响^[3]。传统人工智能模型多在理想实验室环境下训练,泛化能力与抗干扰能力有限,难以适应复杂工业场景的应用需求。该要求推动机器学习算法的持续创新,领域自适应、迁移学习、对抗训练等技术成为研究热点。相关算法可通过知识迁移与特征适配,解决不同工况下的数据分布差异问题,提升模型在噪声干扰、工况波动环境下的稳定性与准确率,满足工业场景对模型鲁棒性的严苛要求。

1.2.3 机理挖掘需求倒逼可解释性模型突破

机械电子系统的运行基于明确的物理机理,材料力学、流体力学、热力学等基础理论,是机电系统设计、控制、运维的核心依据。传统深度学习模型多为端到端的黑盒架构,内部决策逻辑难以解释,工程师无法判断模型预测结果的物理合理性,难以应用于对可靠性要求极高的工业场景。该需求催生了可解释人工智能技术的快速发展,研究人员将物理机理知识嵌入神经网络架构,构建物理信息融合的智能模型,使模型内部神经元与中间变量具备明确的物理意义。该类模型在保持预测精度的同时,大幅提升了可解释性,实现了数据驱动与机理驱动的深度融合,为人工智能在机电工程领域的规模化应用扫清了核心障碍。

2 人工智能与机械电子工程融合的现实困境

2.1 数据层面的互通壁垒与质量短板

数据是人工智能技术落地的核心基础,而机电工程领域的

数据问题,成为制约二者融合的首要瓶颈^[4]。机电系统包含大量不同类型、不同厂商的设备,各类设备的通信协议、数据格式、输出类型存在显著差异,形成了严重的数据孤岛,难以实现多源数据的互通与融合。工业现场的运行环境复杂,传感器数据极易受到电磁干扰、机械振动等因素的影响,数据中存在大量噪声与异常值,同时设备停机、传感器故障等问题会造成数据缺失,导致有效数据样本不足。工业场景的高质量标注数据极度匮乏,数据标注需要同时具备机电工程领域知识与人工智能技术能力,标注成本高、周期长,无法满足AI模型训练的需求。

2.2 技术层面的场景适配与实时性瓶颈

通用人工智能技术与机电工程场景的适配性不足,是制约融合落地的核心技术瓶颈。通用AI模型通常参数量大、计算复杂度高,推理延迟较高,而机电装备的运动控制、误差补偿等场景,对响应速度有毫秒级的严苛要求,通用模型难以满足实时性需求。工业场景的工况多样性极强,同一类设备在不同的运行环境、加工物料、负载条件下,数据分布存在显著差异,在单一工况下训练的模型,难以适配全场景的应用需求。AI模型与机电控制系统的融合深度不足,多数应用仍停留在数据监测与事后分析层面,难以实现从感知、决策到控制的端到端智能闭环,无法充分发挥人工智能技术的核心价值。

2.3 产业层面的生态协同与标准缺失

产业生态的协同不足与标准体系的不完善,制约了二者融合的规模化推广。机械电子企业与人工智能企业之间存在明显的行业壁垒,机电企业熟悉工业场景与实际需求,但缺乏AI技术研发能力;AI企业掌握核心算法技术,但对机电系统的物理机理与工程场景理解不足,导致技术供给与实际需求脱节,难以形成可落地的解决方案。行业标准体系建设严重滞后,针对机电设备数据采集、传输、存储的接口规范与数据格式标准尚未统一,人工智能算法在工业场景的性能评估、安全可靠、准入规则等方面缺乏统一标准,导致不同企业的解决方案无法兼容,难以实现规模化复制推广。

2.4 人才层面的跨学科复合能力缺口

跨学科复合型人才的严重短缺,是制约二者融合发展的核心瓶颈。机械电子工程的传统人才培养体系,侧重机械设计、电子控制等专业知识的教学,对人工智能、大数据分析等相关内容的覆盖不足,导致传统机电人才难以掌握AI技术的核心原理与应用方法^[5]。

3 人工智能与机械电子工程深度融合的实现路径

3.1 构建标准化数据体系与全流程数据治理机制

统一的数据标准与完善的数据治理体系,是实现二者深度融合的基础前提。行业主管部门应牵头组织龙头企业、高校、科研院所,制定机电设备数据交互的行业统一标准,规范数据格式、通信协议、标签命名规则,从源头解决多源数据的异构问题。搭建边缘侧数据转换与治理平台,内置多协议解析模块与数据预处理引擎,实现不同设备数据的标准化接入与格式转换,保障数据的完整性与一致性。构建全流程数据治理体系,针对工业数

据的噪声、缺失、异常等问题,开发适配不同数据类型的滤波、补全、校正算法,提升数据质量。建立行业数据共享中心,依托区块链技术实现数据确权与安全防护,推动行业数据的有序共享与合规流动,让中小企业也能获得数据红利,为AI模型训练提供充足的高质量数据支撑。

3.2 推进面向工业场景的AI技术轻量化与场景化适配

针对机电工程场景的核心需求,开展AI技术的定制化研发与适配优化,是实现融合落地的核心路径。面向机电装备边缘侧部署的需求,研发模型轻量化技术,通过模型剪枝、参数量化、知识蒸馏等手段,剥离模型的非必要功能,精简模型结构与参数量,大幅降低模型的计算复杂度与推理延迟,满足工业场景毫秒级的实时性要求。推动物理机理与AI模型的深度融合,将机电系统的物理规律、领域知识嵌入模型架构,开发具备明确物理意义的可解释AI模型,提升模型的决策可靠性与工程适用性。针对不同的机电应用场景,开发专用化的智能算法与解决方案,实现AI技术与机电控制系统的深度集成,构建从数据采集、感知分析、决策优化到执行控制的端到端智能闭环,充分释放人工智能技术的核心价值。

3.3 搭建产学研用协同的融合创新生态

完善的产业协同创新生态,是推动二者融合规模化发展的重要保障。由政府部门引导,机械电子与人工智能领域的龙头企业牵头,联合高校、科研院所搭建开放共享的协同创新平台,打通技术供给与产业需求的对接通道。平台建立共性技术研发中心,围绕智能传感器、边缘智能、数字孪生等核心领域,组织成员单位开展联合攻关,实行项目负责制,研发成果由参与方共享,解决融合发展中的共性技术难题。平台建立行业应用验证中心,为AI技术方案提供工业场景的测试与验证环境,推动技术方案的快速迭代与落地。

3.4 完善跨学科复合型人才培养体系

跨学科复合型人才的培养,是实现二者深度融合的核心支撑。高校应打破传统学科壁垒,优化专业课程体系,在机械电子工程专业中增设机器学习、深度学习、工业大数据等相关课程,在人工智能专业中补充机械原理、机电传动、制造工艺等机电领域基础课程,开发交叉融合的特色课程体系,培养学生的跨学科思维与综合能力。

4 结束语

人工智能与机械电子工程深度融合是智能制造发展的核心驱动力,二者双向赋能、相互促进的格局已然形成。当前融合进程仍存在数据互通不畅、技术落地困难、产业协同不足、复合人才短缺等问题。唯有完善数据治理机制、推进技术场景化适配、构建产学研用协同生态、强化跨学科人才培养,才能打通融合堵点,全面提升机电产业竞争力,助力制造业高质量转型。

[参考文献]

- [1]汪钟浩.人工智能技术在机械电子工程领域的应用研究[J].智能制造研究与应用,2025,1(01):91-93.
- [2]庞念宾,房金富,武晓斐,等.人工智能技术在机械电子工程中的应用分析[J].模具制造,2025,25(09):186-188.
- [3]朱嘉诚,政大山.机械电子工程与人工智能的相互作用及深度融合[C]//广西网络安全和信息化联合会.第九届工程技术与数字化转型学术交流会论文集.上海送变电工程有限公司;国网上海市电力公司市北供电公司,2025:210-212.
- [4]郭思迪.人工智能与机械电子工程的融合分析[J].大众标准化,2024(21):63-65.
- [5]石晓峰.机械电子工程与人工智能的相互作用及深度融合[J].造纸装备及材料,2024,53(09):90-92.

作者简介:

哈力旦木·乌甫尔(1985--),女,维吾尔族,新疆乌鲁木齐人,机械电子中级职称,工程硕士,研究方向:人工智能+教育。