

人工智能在自动化系统中的应用研究

万耐基

摘 要: 本文从人工智能的基本概念与主要技术类型入手,系统阐述了自动化系统的内涵、分类及其核心构成,进而重点探讨人工智能在智能控制、设备监测与预测性维护、视觉检测与识别、以及调度与资源优化等领域的具体应用。研究表明,人工智能通过深度学习、强化学习、专家系统、模糊逻辑等技术手段,使自动化系统从被动响应转向主动预判,从固定规则执行转向自适应优化,显著提高了系统的鲁棒性、灵活性与效率。

关键词: 人工智能; 自动化系统; 应用

引言

随着信息技术的迅猛发展和工业体系的深刻转型,传统依赖固定程序与刚性逻辑的自动化系统已难以满足复杂多变的生产环境与日益提高的柔性化需求。人工智能的兴起为这一困境提供了全新的解决路径,其强大的模式识别能力、非线性映射能力以及自学习能力,使自动化系统得以突破原有技术瓶颈,实现从“机械式自动化”向“认知式自动化”的跨越。尤其在全球制造业竞争日趋激烈、劳动力成本持续上升、产品质量要求不断提高的背景下,将人工智能嵌入自动化系统已成为提升核心竞争力的战略选择。本文正是在这一时代背景下,试图系统梳理人工智能技术在自动化系统中的主要应用形态、内在机理及其带来的深刻影响,以期为相关领域的理论研究与工程实践提供一定参考。

1 人工智能技术概述

1.1 人工智能的基本概念

人工智能是指通过计算机构建能够模拟、延伸和扩展人类智能的理论、方法、技术及应用系统。其核心追求在于使机器具备感知环境、理解信息、推理决策并采取行动的能力,而非仅仅执行预设指令。从哲学层面看,人工智能试图回答“机器能否思维”这一经典命题;从工程层面看,则体现为通过算法与数据使系统具备某种程度上的“智能行为”。尽管学界对强人工智能与弱人工智能的界限仍存争议,但就当前自动化系统应用而言,弱人工智能已足以在特定场景中展现出超越传统程序控制的优越性,其本质是通过对大量经验数据的归纳与抽象,形成能够应对未见情形的泛化能力。

1.2 主要技术类型

当代人工智能技术呈现出多样化、层级化的发展格局。

其中,机器学习构成了最核心的基础范式,它使系统能够不依赖显式编程而从数据中自动提取规律;深度学习则通过多层神经网络进一步增强了对复杂高维数据的表征能力,在图像、语音、自然语言等非结构化信息处理中表现尤为突出。专家系统以知识库和推理机为核心,试图将领域专家的经验规则形式化,适用于诊断、配置等需要符号推理的场景。模糊逻辑与神经网络的结合则为处理不确定性、不精确性问题提供了有效手段,而强化学习通过与环境的持续交互实现最优策略的自寻优,尤其适合动态决策环境。此外,生成式模型、迁移学习、元学习等新兴分支也在不断拓展人工智能技术的边界,为自动化系统提供了更加丰富多样的技术工具箱。

2 自动化系统概述

2.1 自动化系统定义与分类

自动化系统是指在无人或少人直接参与的情况下,能够按照预定目标和程序自动完成特定操作的技术系统。其根本特征在于用机器替代或部分替代人的体力与脑力劳动,从而实现生产过程的连续性、稳定性与高效性。根据控制方式与复杂程度的不同,自动化系统大致可分为固定自动化、可编程自动化与柔性自动化三个发展阶段。固定自动化以继电器逻辑与机械凸轮机构为代表,适用于大批量、少品种的生产场景;可编程自动化则引入可编程逻辑控制器与数控技术,使程序可根据需要调整;柔性自动化进一步实现了多品种、小批量的快速切换,成为当代智能制造的主流形态。此外,从应用领域来看,还可分为工业自动化、建筑自动化、交通自动化、办公自动化等不同类型。

2.2 自动化系统的核心组成

一个完整的自动化系统通常由感知层、决策层、执行层以及信息传输与人机交互等辅助部分构成。感知层通过各类传感器实时采集温度、压力、位移、图像等物理量信息；决策层依据控制算法或智能模型对感知信息进行处理并生成控制指令；执行层则通过伺服电机、气动液压机构、机器人等执行机构将指令转化为实际动作。信息传输系统保障各子系统间的数据流通，而人机交互界面则为操作人员提供监控与干预通道。在传统自动化系统中，决策层多采用 PID 控制、逻辑顺序控制等经典方法，其参数与规则需由工程师预先设定；而在引入人工智能后，决策层逐渐演化为具备学习与推理能力的智能核心，使整个系统呈现出显著的自组织与自适应特征。

3 人工智能在自动化系统中的主要应用

3.1 智能控制系统

智能控制系统构成了人工智能与自动化系统结合最为成熟且理论体系最为完整的领域之一。传统控制理论在处理线性、时不变与参数已知的确定性对象时表现出色，然而当代工业过程普遍呈现出强非线性、参数慢时变、外扰频繁、多变量深度耦合以及大惯性大迟滞等复杂特性，使得经典 PID、状态反馈或最优控制难以获得满意效果。模糊控制以语言变量与模糊集合论为基础，将操作人员长期积累的经验性知识转化为可计算的规则库，从而在缺乏精确数学模型的情形下实现对不确定性与模糊性的有效处理；神经网络控制则利用其对任意连续非线性函数的一致逼近能力，通过在线或离线学习建立被控对象的前向或逆向模型，进而实现高精度自适应控制；深度强化学习则将控制问题重构为序贯决策过程，在无需系统先验模型的前提下，通过与环境的持续交互逐步逼近最优控制策略，其显著优势在于能够处理高维状态空间与连续动作空间中的长期回报优化问题。专家控制系统、预测控制与上述智能方法的复合形式已在石油化工、冶金轧制、火力发电等典型流程工业中形成成熟应用方案，表现为显著增强的鲁棒性、更强的抗扰动能力以及更快的动态响应品质，使系统在大幅度工况变动或突发故障条件下仍能保持稳定运行与性能指标的相对最优。

3.2 设备智能监测与预测性维护

传统设备维护策略长期停留在事后维修与定期维修两

种范式，前者易因突发故障导致生产链条中断，后者则因维修周期的刚性设定而普遍存在过度维修与维修不足并存的矛盾。人工智能的引入从根本上改变了设备健康管理的哲学与技术路径。多源异构传感器持续采集的振动、温度、压力、电流、声发射等高维时序信号，经过深度时序网络的特征自动提取与多模态信息融合，可实现设备运行状态的精细化感知与实时健康评估。长短时记忆网络与卷积神经网络的复合结构尤其适用于捕捉信号中蕴含的长程依赖关系与局部异常模式；基于注意力机制的剩余寿命预测模型则能够动态加权不同退化阶段的历史信息，从而更准确地预估关键部件的失效时间分布。生成对抗网络与变分自编码器进一步解决了工业现场标注样本稀缺、故障数据极度不平衡的难题，通过对正常工况数据的深度生成建模实现异常的间接检测。即使在小样本或无标签条件下，系统仍能保持较高的诊断与预测精度。这一从被动应对到主动预防的范式转变，不仅大幅降低了非计划停机时间与连带经济损失，也使设备全寿命周期的管理决策建立在科学量化基础之上，显著提升了资产利用率与企业运维水平。

3.3 智能视觉检测与识别

视觉检测长期以来是自动化生产线质量保障的核心环节，传统基于固定模板、阈值分割或手工特征的检测方法在面对光照不均、工件姿态变化、表面污渍遮挡等现实干扰时表现得极为脆弱。深度学习的兴起尤其是卷积神经网络的多层次特征学习能力，使机器视觉系统首次具备了接近甚至在某些任务上超越人类视觉的鲁棒识别能力。目标检测算法可在复杂背景中实时定位并分类多种缺陷类型；语义分割技术实现缺陷区域的像素级精确勾勒；实例分割进一步区分同一图像内不同缺陷个体的独立边界，为后续定量分析提供基础。迁移学习与少样本学习有效缓解了工业场景下高质量标注数据严重不足的困境，使预训练模型能够在极少量目标域样本上快速适配；自监督学习、对比学习等无监督预训练范式则从海量无标签工业图像中挖掘内在结构，进一步降低了对人工标注的依赖。三维点云视觉、红外热成像、多光谱成像与深度学习的深度融合，正将检测维度从二维平面扩展至复杂曲面、内部空洞与材料属性层面，使传统光学手段难以发现的微小裂纹、夹杂及成分偏析等隐蔽缺陷得以暴露，产品质量控制的精度与覆盖范围因此达到前所未有的高度。

4 典型应用案例分析

4.1 制造业智能工厂案例

在制造业领域,某大型汽车零部件企业的智能工厂建设堪称人工智能与自动化系统深度融合的典范。该工厂以数字化车间为基础,将人工智能全面嵌入从冲压、焊接到装配、涂装的全工艺链。焊接生产线采用基于深度强化学习的机器人路径优化与多机器人协同调度系统,使不同车型混线生产时的换型时间缩短至分钟级;冲压车间引入基于生成对抗网络的模具磨损预测与视觉辅助精密定位技术,实现模具寿命延长近三成;装配线则部署了多模态视觉检测站,结合实例分割与三维点云配准算法,将微米级表面缺陷与装配偏差的漏检率降至接近零值。整个工厂通过边缘计算节点与云端数字孪生的实时交互,形成闭环自优化的生产决策机制,使设备综合效率指标持续保持在九成以上。该案例表明,当人工智能不再作为孤立模块而是贯穿感知、决策与执行全链路时,传统离散制造即可真正演化为高度自组织、自适应的智能制造系统。

4.2 智慧物流系统案例

某国际电商巨头建设的亚洲旗舰分拣中心代表了智慧物流领域人工智能驱动自动化的最高水平。该中心以万余台移动机器人构成的密集仓储与高速分拣系统为核心,全面采用多智能体深度强化学习进行全局路径规划与任务分配,使机器人在高密度动态环境中实现无碰撞、高吞吐率的协同运行。立体仓库出库路径优化模型综合考虑订单紧急度、货位热度与机器人电量状态,形成实时滚动的动态调度策略;基于三维视觉与力觉融合的机械臂拣选系统,能够准确处理软包、异形件等传统自动化难以应对的复杂商品;异常订单与设备故障则通过专家系统与预测性维护模型提前预警并自动触发备用方案。整个系统在峰值时段的订单处理能力较传统人工分拣提升数倍,同时误拣率大幅下降。该案例充分体现了人工智能在超大规模、强不确定性物流场景中实现资源高效流动与系统韧性增强的独特价值。

4.3 新能源与电力系统智能化案例

在新能源并网与电力调度领域,某省级电网构建的“源网荷储”一体化智能调控平台已成为典型标杆。该平台以人工智能为核心,深度融合风光发电功率超短期预测、负荷精细化预测与储能优化调度三大模块。基于时空图神经网络的

风光功率预测模型,将数值天气预报、卫星云图与历史发电数据多源融合,使分钟级预测精度显著优于传统物理模型;负荷侧则通过联邦学习框架,在保护用户隐私前提下实现千家万户用电行为的分布式建模;储能与可控负荷的协调优化采用多时间尺度深度强化学习策略,在日内滚动、实时调整两个层面同时追求经济性与安全性的多目标平衡。当出现新能源大幅波动或线路突发故障时,系统能够在秒级内生成并下发最优调控指令,有效抑制频率与电压越限。该平台运行以来,新能源消纳比例持续提升,备用容量需求明显下降,充分验证了人工智能在高比例可再生能源电力系统中实现安全、经济、绿色协同优化的关键支撑作用。

5 结论

综上所述,人工智能已全面渗透到自动化系统的感知、决策、执行与反馈等各个环节,并通过其独特的学习能力、推理能力与优化能力,深刻重塑了自动化技术的内涵与外延。智能控制提升了系统的动态性能,预测性维护延长了设备寿命,智能视觉保障了产品质量,智能调度则实现了资源的高效配置。四者相互支撑、协同演进,共同构成了当代智能自动化系统的核心特征。可以预见,随着算力持续提升、算法不断突破、数据资源日益丰富,人工智能与自动化系统的融合深度与广度还将进一步拓展,最终推动人类社会从“工业 4.0”迈向更高层次的“智能+”时代。当然,这一进程也伴随着算法可解释性、系统安全性、伦理责任等新挑战,需要学界与产业界共同努力,在技术突破的同时建立健全相应的规范与保障机制,以确保人工智能真正成为推动社会进步的善的力量。

参考文献:

- [1] 金彦宇. 人工智能在电子系统设计自动化中的应用[J]. 科技与创新, 2025,(21):59-62.
- [2] 朱虹, 邱彩依. 自动化技术将实现意图驱动与群体协同[N]. 科技日报, 2025-11-13(008).
- [3] 师玥, 杨博, 王子帅, 等. 基于人工智能的医学设备信息数据自动化采集系统[J]. 电子设计工程, 2025,33(21):37-41.
- [4] 宋昕. 基于人工智能的火电厂物资仓库自动化管理系统研究[J]. 电气技术与经济, 2025,(10):295-297+301.