

人工智能与智能制造

Artificial Intelligence and Intelligent Manufacture

中航工业北京航空制造工程研究所数字化制造航空科技重点实验室 吕瑞强 侯志霞



吕瑞强

工学博士,工程师,就职于中航工业北京航空制造工程研究所数字化与柔性装配技术研究室,研究方向为生产线规划与仿真、智能制造系统等。

智能制造技术是传统制造技术、计算机技术、网络技术、自动化技术与人工智能技术的有机结合,是面向产品全生命周期,实现泛在感知条件下的信息化制造,人工智能本身技术的逐步成熟以及它在制造业中的成功应用,是制造业实现智能化的关键技术保障。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.13.060

等方面。智能制造技术是传统制造技术、计算机技术、网络技术、自动化技术与人工智能技术的有机结合,是面向产品全生命周期,实现泛在感知条件下的信息化制造,人工智能本身技术的逐步成熟以及它在制造业中的成功应用,是制造业实现智能化的关键技术保障。

智能制造的发展历程

“智能制造”的概念最早是由美国普渡大学智能制造国家工程中心(IMS-ERC)于1987年提出,最初研究方向主要包括过程建模、设计工具和系统集成策略3部分,以开发智能制造研究平台为主要手段,研究面对不同类型的机械制造相关制造智能化系统。随后美国国家标准与技术局(NIST)的自动化制造与试验基地(AMRF)也将“为下一代以知识库为基础的自动化制造系统提供研究

与试验设施”作为其三大任务之一。美国工程师协会在1993年4月召开的第22届可编程控制国际会议中,展出了大量具有一定智能的硬件控制设备,并提出“智能制造、新技术、新市场、新动力”的口号。当时美国工业界就提出预测:智能制造将彻底改变21世纪的制造业面貌。

欧洲对人工智能和智能制造的研究也是自20世纪80年代开始的,其更侧重于对制造系统中人的因素进行研究。当时欧共体推行的“欧洲信息技术研究发展战略计划”(ESPRIT)和“欧洲高技术发展计划”(EUREKA)中涉及大量智能制造基础技术的研究。日本也在同一时期开始智能制造领域的研究工作,日政府推行的“智能制造国际合作研究计划”于1993年正式实施,合作组织成员包括日本、美国、欧盟等国家和组织的企业、高校、研究所共84个

制造业是一个国家经济发展的基石,也是增强国家竞争力的基础,同时也是多专业高新技术的载体,体现了国家高新技术的整体水平。随着专家系统、神经网络、遗传算法等人工智能技术在制造系统及其各个环节的广泛应用,制造信息及知识的获取、表示、传递、存储和推理成为可能,出现了制造智能化的新型生产模式。制造中的智能主要表现在智能设计、智能加工、机器人、智能控制、智能工艺规划、智能调度、智能测量

制造业组织,对 100 多个智能制造相关技术展开前期科研计划。该国际合作计划的目标是研究开发出能使人 和智能设备都不受生产操作和国 界限制的彼此合作的系统。

近年来,由于全球生产力成本的 增加和制造环境复杂程度的提升,智 能制造受到众多工业发达国家更加 广泛的关注,这一概念又被重新推到 世界制造业的风口浪尖。德国提出 “工业 4.0” 计划,美国宣布国家级制 造相关政策“再工业化”,中国也随 后推出“中国制造 2025”。这些制造 相关的先进概念与政策,无一例外都 是以提升制造业整体竞争力为目的, 以实现真正的“智能制造”为发展目 标。

人工智能技术

智能制造的技术核心便是人工 智能(Artificial Intelligence)。人工智 能是以现代计算机技术为基础,以模 仿人类智能为手段的一门学科。人 工智能研究的一个主要目标是使机 器能够胜任通常需要人类智能才能 完成的任务,或者完成人类智能也 无法解决的更加复杂的工作。

人工智能的概念最早是由英国 科学家阿兰·图灵博士于 1950 年首 次通过“智能机器”而引出的。图灵 认为,如果一台计算机能够对人类 提出的问题 进行回答,那么就可以认为 这台机器是一台会思考的机器,它 便具有了一定的智能。1956 年在 美国达特茅斯学院召开的人工智能 会议,正式提出了人工智能这一学 科,并提出“Dartmouth 人工智能夏 季研究计划”,其中提到将研究如 何使机器使用语言,形成抽象的概 念,解决各种人类尚无法解决的问 题^[1]。通过几十年的研究,人工智 能的思想和技术已经在包括制造业 在内的许多领域 中获得了应用。人工智能研究领域 主要包括以下几个方面。

(1) 专家系统(Expert Systems),

或称基于知识的系统(Knowledge- Based Systems)是人工智能的一个 重要研究领域,也是最早被应用在 制造业的人工智能技术之一。通常 来讲,专家系统可以被视为一个专 门解决某一领域专业问题的程序, 它通常包含 2 个主要的功能元素: 知识库和推理机。知识库中包含的 专业领域知识通常可以包括对事 实的陈述、“If-Then”规则以及 对象或程序的组合;推理机中,通 过推理机制可以对获知的信息进行 推理验算,并选择最优的规则。

(2) 搜索技术。搜索是根据问 题的实际情况不断寻找可利用的知 识,从而构造一条代价较小的推理 路线。搜索分为盲目搜索和启发式 搜索,盲目搜索是按预定的控制策 略进行搜索,在搜索过程中获得的 中间信息不用来改进控制策略。启 发式搜索是在搜索过程中加入与问 题有关的启发性信息,用于指导搜 索朝着最有希望的方向前进,加速 问题的求解过程,并找到最优解。 演化算法是一类模拟自然界遗传进 化规律的仿生学搜索算法,它可以 处理传统方法难以解决的高度复杂 非线性问题。其中的遗传算法是启 发于“优胜劣汰,适者生存”的自 然界物种法则,因其搜索策略和优 化计算时不依赖梯度信息,它在各 个领域有着非常广泛的应用。图 1 为遗传算法的基本流程,其中选择、 交叉和变异是种群逐步进化收敛的 关键步骤,也是整个

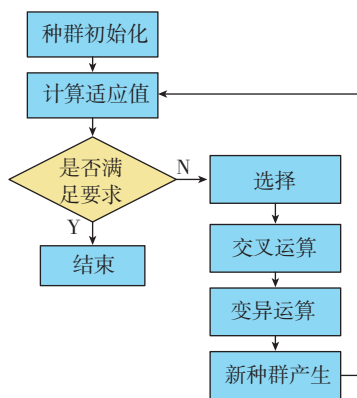


图1 遗传算法基本流程

算法的核心。

(3) 模式识别。模式识别是借 助数学模型和计算机手段,研究和 模拟人类识别语音、图形、文字、 符号等能力的一门学科^[2]。其过程 主要包括:利用各种传感器把被研 究对象的各种信息转换为机器可以 识别的数值或者符号集合;消除采 集到数据信息中的噪声,仅提取与 关键特征有关的数据信息;从过滤 后的数据中衍生、分析出有效信息, 得到更加直接的特征参数值;模式 分类或模型匹配,可以依据已知分 类或描述的模式集合进行有监督学 习,也可以基于模式的统计规律或 模式相似性学习判断模式的类别, 从而进行无监督学习,最终输出对 象所属类型或模式编号。常见的 模式识别的方法主要包括统计模式 识别、句法结构模式识别、模糊模 式识别、模板匹配模式识别、支持 向量机模式识别、神经网络模式 识别等。图 2 介绍了一种典型的 神经网络结构。

(4) 分布式人工智能。分布式 人工智能(DAI)是人工智能与分布 式计算结合的产物,其目的主要是 完成多任务系统和求解各种具有 明确目标的问题。多智能体系统(MAS) 是分布式人工智能最重要的研究 领域之一,系统内多个智能体(Agent) 具有感知、通信、协作、推理、判 断、学习、反馈等功能属性,同时 每个智能体具有其本身的目标和 意愿。通常复杂系统的多目标求解 问题被逐层划分为复杂程度相对 较低子问题,再由不同智能体经过 沟通协作和自主决策完成。分布 式人工智能由于克服单个智能机 器资源和能力缺乏以及功能单一 等局限性,具备并行、开放、容 错等优势,已获得越来越广泛的 关注。

人工智能技术在制造业 的应用

由于人工智能系统具有自我学

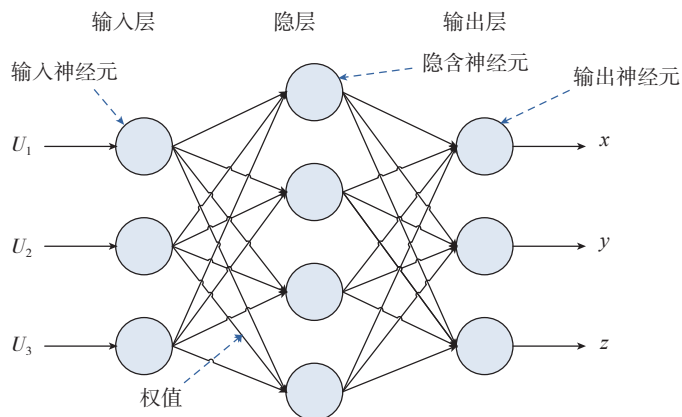


图2 典型的神经网络结构

习、自我控制和自适环境等能力,它已经广泛地应用到包括制造业在内的各行各业中。以人工智能为基础的智能制造技术在产品的设计与加工、工艺规划、任务调度、测量装置与系统、人机协作和制造企业的管理等各个制造阶段都有了深入的应用,实现了产品生产效率和质量提高。

1 智能设计与加工

产品的设计是一项具有创造力的智能活动,是一个综合决策、迭代、寻优的过程^[3]。人工智能在现代产品设计领域的应用,使得传统的连续变量设计与混合离散变量设计模式向随机变量与模糊变量优化设计模式转变。利用模糊数学等理论,可以将机械设计中不精确的经验数据与海量实测数据进行简化,同时利用启发式算法、遗传算法、蚁群算法等技术可实现产品在设计阶段的性能模拟、运动分析、功能仿真与评价,最大程度满足产品设计自动化和智能化的要求。

另一方面,随着各种制造产品功能多样性需求的提高,产品加工的难度也随之增加,一般具有非线性和时变性等特点,因此加工过程的关键特性很难用精确的数学模型描述。利用人工神经网络的自学习、自组织和良好的知识隐式表达能力,可以构造产品加工过程性能参数预测模型,并跟踪加工过程的变化。例如,在刀具状态监控上,有监督学习的神经网络

可以在加工过程中对刀具状态进行自动识别;而利用无监督的神经网络对刀具状态监测,其结果的收敛速度更快,同时系统具有更高的自组织性、自适应性和柔性^[3]。

2 智能机器人

作为人工智能研究领域的一个重要分支,机器人和机器人学已经受到学术界和企业界的广泛关注与重视。现代制造系统中任务复杂程度的增加以及作业环境的多变,要求机器人必须从最初的工业机械手向智能机器人进化。每个机器人就是一个独立的智能系统,需要具有感知、决策和执行的能力。同时很多复杂的任务需要多机器人共同完成,相关协同管控技术方面也有很高要求。模式识别、机器学习、专家系统和多智能体系统等技术,在机器人领域应用较为深入。

模式识别技术广泛应用在机器人的感知方面,使机器人可以通过

“感官”接受外部信息,并识别和理解这些信息,包括文字、图像、声音等。一般来说,模式识别需要经历模式信息采集、预处理、特征或基元提取、模式分类等几个步骤^[4]。

机器学习技术可帮助机器人不断对环境的改变进行解读,并对自身动作进行规划和决策,使其在动态多变的环境中不断进行自我学习和提高,从而完成复杂的任务。机器学习基本可分为有监督学习和无监督学习2类:有监督学习通常是在提供了明确的输入输出时使用,如神经网络和决策树等;无监督学习则是在不能提供准确的输入输出情况下使用,如进化学习、强化学习等。例如,蚁群算法、遗传算法常被用在机器人路径规划上,使机器人在一定条件约束下,能迅速找到其从起始状态到最终状态的最优或接近最优路径^[5]。

另外,由于机器人动力学的非线性、时变性、多关节强耦合和变惯量等复杂性,以至其动态控制模型的参数和类型需要通过大量计算得出,而完成如此巨大的计算量所用的时间完全无法满足机器人在实际中需要的反应速度。如图3所示^[6],基于规则和推理的专家系统与常规控制相结合,可以大幅度减少机器人在控制决策方面的计算量,从而帮助机器人提高其整体反应速度。

分布式多智能体系统(MAS)技术,在多机器人系统中充分发挥优势。单Agent的建模方法、Agent之间的

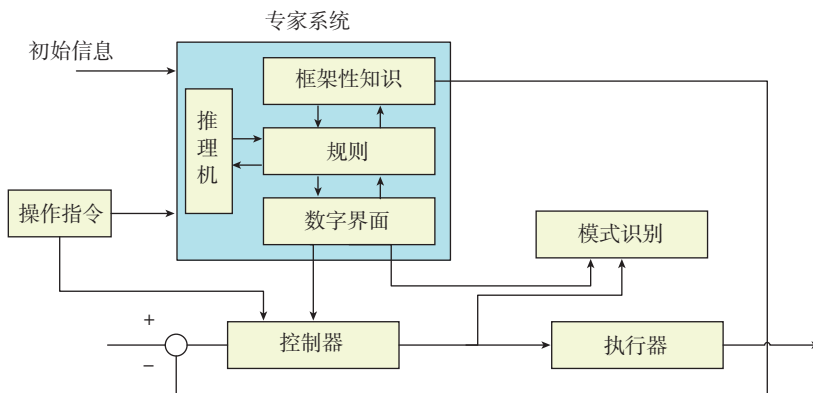


图3 机器人控制专家系统

通信协议、协商策略以及整个系统的拓扑结构、组织方式都可以直接用在多机器人系统中,解决不同机器人协同工作中遇到的相同问题。

3 智能工艺规划

由于数控机床、可重构工装、自动钻铆等先进制造装备的技术研究和广泛应用,使得制造工艺路线的柔性和加工效率有了大幅提高,但由于制造产品趋于多品种、小批量的动态需求,产品工艺规划的复杂程度越来越高,传统的计算机辅助工艺规划(CAPP)方法无法对用户订单的更改、内部设备的增添等制造环境的变化做出快速响应。因此,人工智能的方法被广泛使用在产品加工制造的自动规划中^[7]。

知识库的建立与管理是人工智能在CAPP中应用最多的领域。基于专家系统,通过工艺设计知识库、工艺决策方法库及加工资源库完成各种任务的决策,同时利用专家系统良好的人际交互功能,可对接收到的信息进行推理^[8]。有些复杂的工艺知识模糊性和不确定性较强,如工序的选择、特殊工序的安排、定位装夹方案选择等,可以利用模糊逻辑、遗传算法等其他技术与专家系统结合的方式对问题进行建模和求解^[9]。

4 智能调度

制造系统的生产调度一般具有多目标性、不确定性和高度复杂性等特点,车间级调度优化问题属于典型的NP-Hard问题,即利用传统的手段无法在可接受的时间内找到问题的最优解。借助人工智能的优化方法,或人工智能与运筹学结合的优化方法,可以较好地解决这类问题。

人工智能在调度问题上的应用主要分为集中式和分布式2类,集中式方法利用专家系统、遗传算法、模糊逻辑等方法极大地加快了对解空间检索的速度,例如人工神经网络通过训练使网络能正确地根据生产特征选择合适的调度策略和评价指标;

专家系统利用知识库与推理机,可在决策处理过程中同时采用定性和定量的知识,生成启发式规则,并在整个车间信息基础上选择最优规则。

然而,集中式人工智能方法仅仅加快了复杂问题求解的速度,但因其并不具备足够的柔性、鲁棒性,所以并未从实质上解决这类问题。相反,分布式方法主要基于多智能体系统(MAS),以及MAS与蚁群算法、遗传算法等其他人工智能技术相结合的方法,利用问题分解、彼此协商、任务指派、解决冲突等步骤,有效地将复杂的问题简化,并利用智能体自主和协作的特性,在系统总目标的指引下单独求解子问题^[10]。图4展示了典型的基于MAS的推拉结合模式的生产计划调度与控制系统^[11]。

5 智能测量

一般的专用测量装置和系统在处理输入信号时,普遍采用建立确定的数学模型并使用规范的数学算法,但由于算法的复杂性和难度,导致在某些情况下无法对问题进行规范化的说明和表达,如测量结果的有效性验证、特定环境下最适宜量程的自动选择和零点的自动校准等^[12]。随着通信技术和人工智能技术在测量装置和系统中的广泛使用,上述问题正在被逐步解决。应用人工智能技术,可对当前和历史数据信息进行智能分析与处理,从不同层次上对测量过程进行抽象,提高现有测量系统的性能和效率,扩展传统测量的功能^[13]。

人工神经网络、模糊逻辑和遗传算法等技术可以用在多传感器融合方面,对来自多个传感器的数据进行综合处理。例如:采用自组织映射神经网络和神经网络相结合,进行分类和识别,将传统方法的全程拟合化为分段拟合,使算法的复杂度大幅降低,从而提高信号识别率^[14]。同时,当传感器出现短暂故障时,利用人工智能技术可以及时发现、警报、隔离相应故障并发出启动备用器件的信号,还

可以利用其它可用信息进行计算和推理,尽量弥补丢失的数据。

6 智能人机协作

对于智能制造系统来说,实现彻底的无人化并不是其最终需要或者说希望达成的目标,而是制造设备资源能够和操作人员通力协作、取长补短,共同组成智能系统,以最高效、最高质量的方式完成任务。与一般的“人机工程学”不同,人机在智能交互的过程中处于相对平等的地位,有时工人需要借助智能机器或系统的帮助来完成一些复杂程度较高的决策,或是完全由机器下发指令给工人,让其完成一些自动化不易实现的工序,如划线定位、产品翻面、夹具装卸等。另一方面,有些仅凭常识或经验就能解决的复杂程度较低的问题,操作工人也会通过交互的方式告诉系统,免去繁杂的感知、计算和分析过程,提高制造系统整体运行效率。

7 智能管理

由于传统的企业管理系统无法满足现代制造企业中各种管理流程和业务流程结构的复杂性与多变性,尤其是处理半结构化和非结构化的问题^[15]。利用知识库、专家系统和决策支持系统等手段,可以建立人工智能应用平台,综合分析各类内部和外部的动态数据,参考已有的知识与规则,帮助企业管理层提供及时的决策支持,减少因决策失误导致的各种风险与浪费,提高企业综合竞争力。

结束语

随着传感器、射频识别等感知技术和网络通信技术的蓬勃发展,经过几十年孕育的各类人工智能技术开始纷纷跳出理论书本,逐步将其优势真正地发挥到实际的生产制造中。智能制造作为各国在新一轮制造改革热潮中最关心的话题,必然在未来的几年得到极大发展。完善人工智能技术的理论研究,同时将成熟的人工智能理论用在复杂制造系统中的各

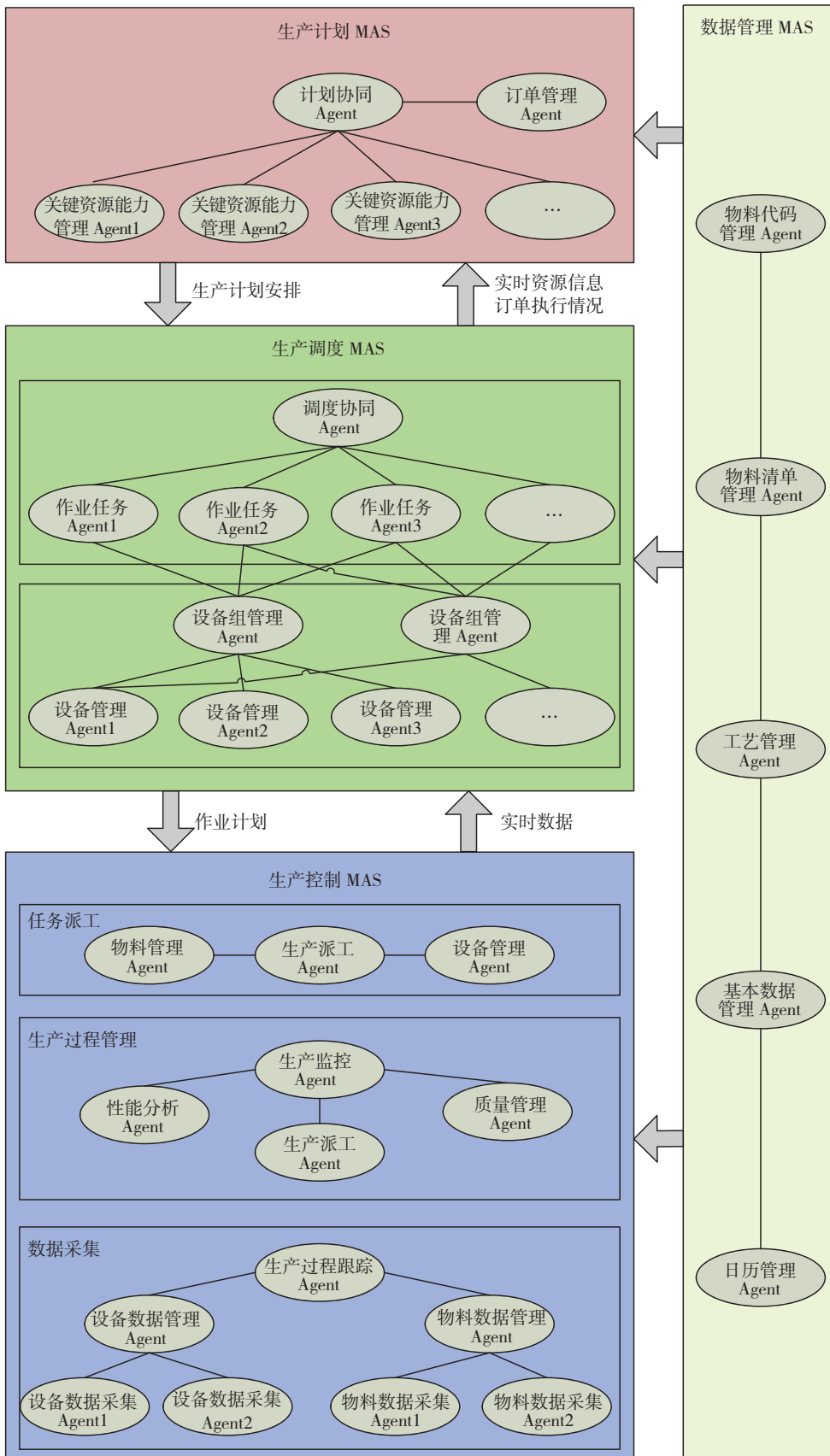


图4 基于MAS推拉结合模式的生产计划与控制系统结构

个环节,才能真正地实现智能制造。

参考文献

- [1] 钟义信. 人工智能的突破与科学方法的创新. 模式识别与人工智能, 2012, 25(3): 456-461.
- [2] 范会敏, 王浩. 模式识别方法概述. 电子设计工程, 2012, 19(2): 48-51.
- [3] 陈超. 人工智能在制造业中的应用. 机械设计与制造, 2006, 1(1): 161-163.
- [4] 夏鲁刚. 机器人智能控制方法研究及控制器设计. 机械工程师, 2006(12): 47-49.
- [5] 张颖, 吴成东, 原宝龙. 机器人路径规划方法综述. 控制工程, 2003, 10(S): 152-155.
- [6] 陈建平, 任斌, 张会章. 人工智能在智能机器人领域中的研究与应用. 东莞理工学院学报, 2008, 15(3): 33-37.
- [7] 田颖, 江平宇, 周光辉, 等. 基于蚁群算法的零件多工艺路线决策方法研究. 计算机集成制造系统, 2006, 12(6): 882-887.
- [8] 何新贵. 知识处理与专家系统. 北京: 国防工业出版社, 1995: 10-40.
- [9] 范顺成, 王进峰, 李世杰. 基于遗传算法的工艺路线决策与优化. 制造技术与机床, 2012, 3: 95-99.
- [10] 胡祥培, 孙丽君, 王征. 基于物联网的在线智能调度方法的相关思考. 管理科学, 2015, 28(2): 137-144.
- [11] 张洁. 基于 Agent 的制造系统调度与控制. 北京: 国防工业出版社, 2013.
- [12] 王毅, 侯雄坡, 钟国辉. 人工智能技术在仪器与测量中的应用. 西安交通大学学报, 2002, 36(3): 318-321, 327.
- [13] Alippi C, Ferrero A, Piuri V. Artificial intelligence for instruments & measurement application. IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, 1998, 2(2): 6-8.
- [14] 刘同明, 夏祖勋, 解洪成. 数据融合技术及其应用. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- [15] 刘玉然. 谈谈人工智能在企业管理中的应用. 价值工程, 2003, 4: 95-96. (责编 亿霖)