

信息物理融合系统及其在航空制造业应用展望

Analysis on Cyber-Physical System and Its Application in Aeronautical Manufacturing Industry

中航工业北京航空制造工程研究所 侯志霞 邹方 吕瑞强 王湘念

[摘要] 信息物理融合系统(Cyber-Physical System, CPS)是当前国内外研究的热点,是实施智能化制造的核心技术。阐述了CPS的定义、原理和特点,并就CPS在航空制造业的应用前景和发展路线进行了分析。

关键词: 信息物理融合系统 工业4.0 智能化制造

[ABSTRACT] Cyber-Physical System (CPS) has become a worldwide hot issue. It is a key technology in the process of implementing intelligent manufacturing. The definition, principles and characteristics of CPS is introduced, and its application trend and development suggestions in aeronautical manufacturing is analyzed.

Keywords: Cyber-Physical System Industry4.0 Intelligent manufacturing

近来,关于新一轮工业革命的讨论持续升温,继美国的未来学者杰里米·里夫金发布了专著《第三次工业革命》后,德国人在2013年的汉诺威工业博览会上提出了“工业4.0”的概念。德国学术界和产业界认为,未来10年,基于信息物理融合系统的智能化,将使人类步入以智能制造为主导的第4次工业革命。“工业4.0”将使得工业生产过程更加灵活、坚强,发展出全新的商业模式和合作模式;带来工作方式和环境的全新变化,将促进形成全新的信息物理系统平台。

“工业4.0”战略的核心就是通过CPS网络实现人、设备与产品的实时连通、相互识别和有效交流,从而构建一个高度灵活的个性化和数字化的智能制造模式。在这种模式下,生产由集中向分散转变,规模效应不再是工业生产的关键因素;产品由趋同向个性的转变,未来产品都将完全按照个人意愿进行生产,极端情况下将成为自动化、个性化的单件制造;用户由部分参与向全程参与转变,用户不仅出现在生产流程的两端,而且广泛、实时参与生产和价值创造的全过程。“工业4.0”可以看作是CPS的特殊应用,其CPS应用平台,将提供全面、快捷、安全可靠的服务和应用业务流程,支持移动终端设备和业务网络中的协同制造、服务、分析和预测流程等^[1]。

未来制造业将向着高度信息化、自动化、智能化的方向发展。在提高产品设计效率的同时,要综合应用计算机技术、网络通信技术、控制技术和传感技术,使工艺装备成为信息物理融合系统的一部分;在经营管理中充分运用信息技术实现企业纵向和横向的集成,实现管理模式和业务流程的创新,提高经营决策的科学性;在生产制造方面实现智能制造、绿色制造,提高生产的柔性,提高资源的利用率。

1 信息物理融合系统(CPS)

信息物理融合系统的概念最早由美国国家科学基金会(NSF)的Helen Gill提出。关于CPS的定义有多个版本,具有一定的代表性的有:2008年加州大学的Lee E从信息学的角度将CPS定义为“CPS是一系列计算进程和物理进程组件的紧密集成,通过计算核心来监控物理实体的运行,而物理实体又借助于网络和计算组件实现对环境的感知和控制”。2011年Karl Henrik Kohansson从自动化学科的角度给出了CPS的定义“CPS是通过将云计算与通讯芯片在物理环境下嵌入机械系统,以达到对机器运行的检测与控制”^[2]。

CPS可理解为基于嵌入式设备的高效能网络化智能信息系统,它通过一系列计算单元和物理对象在网络环境下的高度集成与交互来提高系统在信息处理、实时通信、远程精准控制及组件自主协调等方面的能力^[3]。CPS在功能上主要考虑性能优化,是集计算、通信与控制3C(Computation, Communication, Control)技术^[4]于一体的智能技术。CPS的基本功能单元包括驱动执行单元、检测感知单元以及决策控制单元。如图1所示,传感器与执行器是物理和计算世界的接口,决策控制单元根据控制规则部署监测任务;传感器将感知信息反馈给决策控制单元,作为控制规则算法的输入经过计算得到控制指令;执行器根据控制指令操控物理对象^[5]。

CPS具有高可靠性、实时性和自主性等特点。CPS的应用涵盖了小到纳米级生物机器人,大到全球能源协调与管理系统等涉及人类基础设施建设的复杂大系统构建,系统的稳定性和可靠性是首要要求;CPS是对实时性要求较为严格的系统,需要在每段规定的时间内

完成预定义的任务,并能够及时对系统的输入信息进行处理;CPS 的运行环境存在着大量不确定和不可控因素,无法预测的问题很可能出现,为此,CPS 需要具备自主性,基于一定的策略,达成既定的目标^[6]。

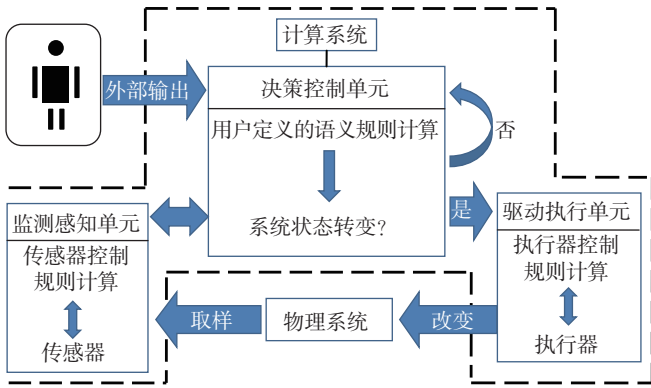


图1 CPS的基本功能逻辑单元
Fig.1 Basic function logical units in CPS

基于信息物理融合的制造系统通过有线或无线方式实现系统内制造单元的互联互通,形成实时分布式的制造系统网络,将具有环境感知能力的各种类型终端、移动通信、信息获取、智能软件与人机交互等技术进行深度集成,建立充满计算和通信能力的、人机和和谐的制造环境,其信息采集和处理的对象不仅包括制造过程中的工艺参数、设备状态、业务流程等结构化数据,同时还将与声、像、图、文等多媒体信息处理实现高度的集成与融合,实现物理制造空间与信息空间在多维度感知信息上的无缝对接,从而更加高效地指导现实世界的生产制造过程,实现产品流程、工艺流程、制造过程信息流的集成。制造系统的信息物理融合感控方法涉及的关键技术包括系统内部传感器网络、物联网、设备控制网络构建方法、制造系统泛在信息采集与处理方法以及系统的分布式智能化管控方法等。

信息物理融合制造系统的典型体系结构如图2所

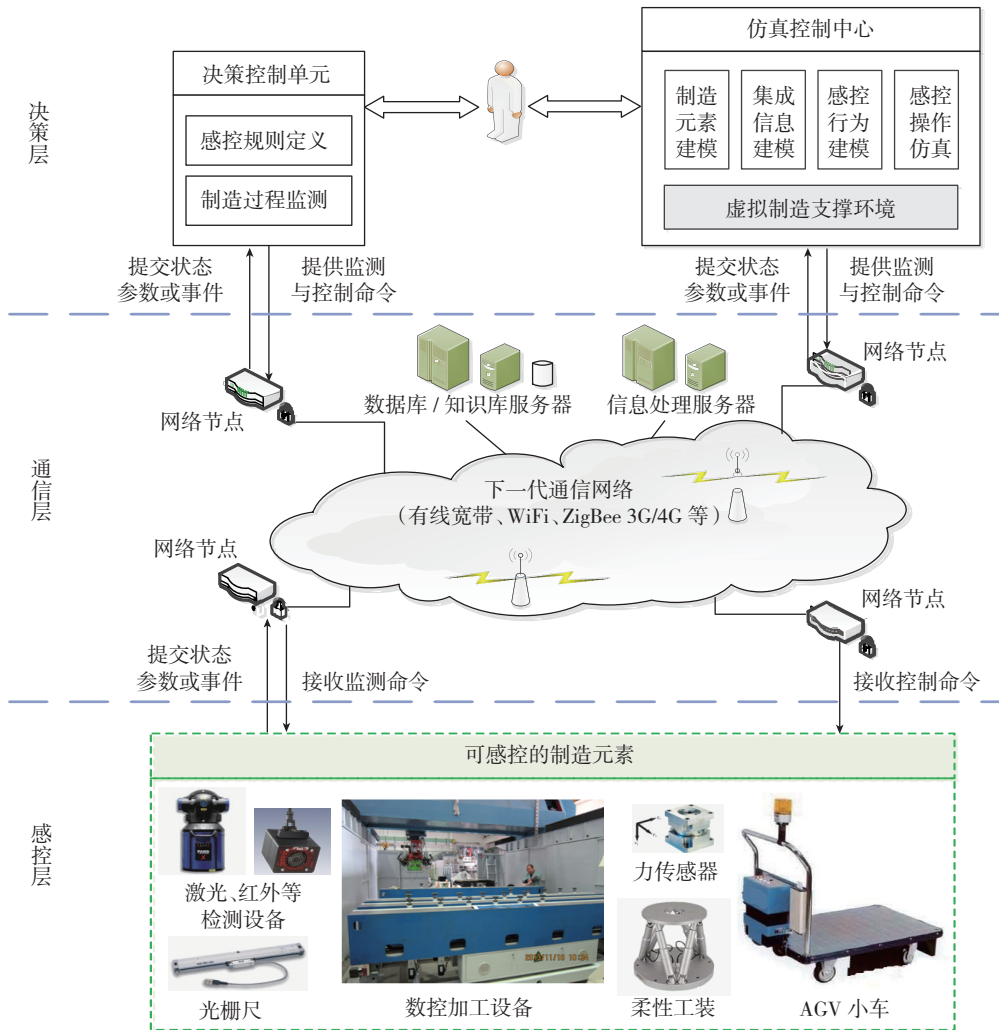


图2 信息物理融合的制造系统体系结构
Fig.2 Infrastructure of cyber-physical manufacturing system

示,整个系统可以分作感控层、通信层、决策层3个层次。

感控层即可感控的物理层,由若干个感控节点组成,一方面,负责感知受关注的物理设备/设施的某些物理属性,例如定位夹具的位姿、工件的尺寸、受力、变形、温度等状态参数,或者发生的某一特定事件,例如加工过程中需要更换刀具;另一方面,根据接收到的监测命令或控制指令执行相应的操作,例如启动某一加工任务或开始测量某一物理属性,采集到的原始信息数据经融合后传输至决策层。

通信即网络计算层,包括根据实际需要建立的各种网络,例如有线宽带、WiFi、ZigBee、3G/4G等,若干个通信基站和网络节点,以及分布式存在的相关数据库、知识库服务器和信息处理服务器,负责多传感器数据的融合处理和网络存储,以及相关数据的网络传输和交换。

决策层由终端用户直接与系统打交道,包括仿真控制中心与决策控制单元2大功能模块。仿真控制中心在虚拟制造环境的支持下建立各制造元素的几何实体模型、集成信息模型和感控行为模型,基于完整的数字化仿真模型和物理属性的理论数据来实现制造元素之间的感控操作过程仿真,生成初始的控制方案,进而通过物理感知得到的实际数据来验证和完善数字化仿真模型,通过这种离线与在线仿真相结合的方式得到的控制方案,是经过仿真实验验证了的可信方案。决策控制单元则为用户提供了对制造元素感控规则定义和制造过程监测的交互式操作功能,这一活动也可在感控操作过程仿真的基础上完成,从而大幅提高制造系统操作与控制的效率与安全性。

2 CPS应用展望及发展建议

2.1 CPS应用展望

航空产品结构复杂、几何精度和整体性能要求高、制造路线长、多品种小批量的特点,使得航空制造业对工艺装备的性能与制造过程的跟踪优化以及灵活柔性化生产组织模式等有迫切的需求。CPS是一个多维度而非单维度的开放式系统,能支持物理设备和制造过程的精确控制:基于CPS的数字工厂构建智能化生产系统以及网络化分布的生产设施;基于CPS的生产过程将人机互动、智能物流管理、3D打印等先进技术应用于整个工业生产过程,从而形成高度灵活、个性化、网络化的产业链。

对CPS的研究,对飞行器设计及空中交通管理也具有重大影响。CPS有助于实现飞机更大容量、更高安全性和更高效率,在目标出现冲突时进行权衡和优化;从目前面向飞行员的飞行显示及相关训练交互系统,逐步

发展到未来完全智能自主的系统;在飞机健康监测和管理方面,CPS将有关航空飞行关键系统检验和验证的研究涵盖产品从初步设计到制造、维护、更改各个阶段,支持在复杂性和验证方法之间进行权衡和取舍等。

2.2 发展建议

CPS是实施智能化制造的使能技术,其特点决定其拥有广泛的应用前景。随着智能制造技术的发展和进一步推广,CPS在航空制造业的应用可以从基础技术研究、工艺装备、制造系统、智慧工厂以及智慧产品等方面开展,重点发展建议见图3。

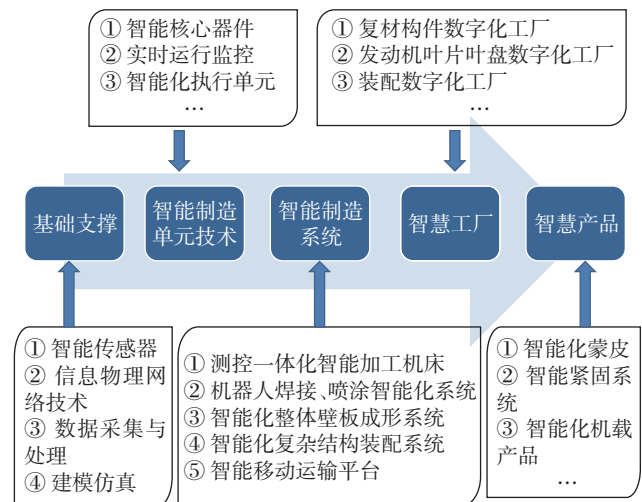


图3 航空智能化制造技术发展路线

Fig.3 Aeronautical Intelligent manufacturing technology evolution roadmap

在基础支撑技术方面,需开展适应于航空制造工况及其产品的智能传感器、基于大数据技术的各种工况感知信息的采集与处理、分布式实时的信息物理网络、虚拟建模以及实物半实物仿真等技术的研究。

在智能制造单元主要指相对独立的、模块化的制造执行单元,如基于视觉监控的机器人焊接单元、智能化钻铆执行单元、测控一体的五坐标加工单元、基于力感知的磨削执行单元、柔性化工装定位单元等。需开展专用嵌入式控制单元和高性能减速机等智能核心器件、实时运行监控以及健康状态预警技术(如图4)、知识建模以及智能化决策支持系统等研究和开发等。

在智能制造系统的构建方面需突破:制造系统的分布式网络化管控、多机器人的协同控制、工艺与装备的信息交互与过程优化、系统状态监控与智能化加工决策、制造过程数值仿真与工艺优化等技术。

在智慧工厂技术方面,需重点突破工艺布局规划与虚拟工厂、智能仓储与物流、工艺知识库、智能化生产调

(下转第53页)

几个工步,将装配工人在实践中总结出来的经验教训作为提示信息 and 警告信息录入工艺可视化系统中,如图4所示。

3 结论与探讨

(1) 对产品进行虚拟装配,这样部件的可装配性、可达性、分配空间的合理性以及装配工具和装配工艺等信息均能进行评估,并能给出装配模拟过程中的相关数据,据此指导或改进产品设计、工装设计和装配工艺,同时辅助人员培训、产品沉浸展示等,达到评估实物样机的装配性目的。

(2) 虚拟装配技术的应用,能实时、并行地模拟出产品的未来制造全过程及其对产品的影响,预测产品的性能、成本和可装配性,以达到产品开发周期和成本最优化、生产效率最高化的目的。

(3) 虚拟与现实技术相互结合运用,可大幅度提升产品的装配精度、装配效率以及装配稳定性。

(4) 目前实体参数化建模、容差分析等技术仍局限在实验室研究,不能满足工程应用需求。此外,装配力学分析对产品装配质量和稳定存在较大影响,目前研究较少。

参考文献

- [1] 唐水龙,余剑锋,李原,等.基于虚拟配合面的带平面度零件装配公差分析.计算机集成制造系统,2011,17(4):711-715.
- [2] 冯波,贾晓,王佩,等.面向路径规划的碰撞检测算法研究.机械设计与制造,2011(2):44-46.
- [3] 刘检华,侯伟伟,张志贤,等.基于精度和物性的虚拟装配技术.计算机集成制造系统,2011,17(3):595-604.
- [4] 孙江艳,史庆春,于文蕊,等.基于Pro/E公差分析的实例探讨.科学技术与工程,2011,11(10):2324-2326.
- [5] 姚英学,毛维华,夏平均.一种数字化装配工艺设计系统的装配建模方法.现代制造工程,2009(9):79-82.
- [6] 杨萍,谢慧清.虚拟装配中碰撞检测的研究.科学技术与工程,2007,7(6):1057-1061.
- [7] 王洪发,刘捷.用遗传算法求平面点列的最小包容圆.南昌大学学报,2007,29(4):384-386.
- [8] 刘元朋,张定华,桂元坤,等.用带约束的最小二乘法拟合平面圆曲线.计算机辅助设计与图形学学报,2004,16(10):1382-1385.
- [9] 郭具涛,梅中义.基于MBD的飞机数字化装配工艺设计及应用.航空制造技术,2011(22):74-77.
- [10] 肖珺,谢曦鹏.数字化三维工艺设计.数字技术与应用,2010(12):9.
- [11] 李原.大飞机部件数字化柔性装配若干关键技术.航空制造技术,2009(14):48-51.
- [12] 邹方,薛汉杰,周万勇,等.飞机数字化柔性装配关键技术及其发展.航空制造技术,2006(9):30-35.
- [13] 秦政琪,武大伟.基于数字化的飞机柔性装配技术研究.沈阳航空工业学院学报,2010,27(3):18-20. (责编 深蓝,亿霖)

(上接第49页)

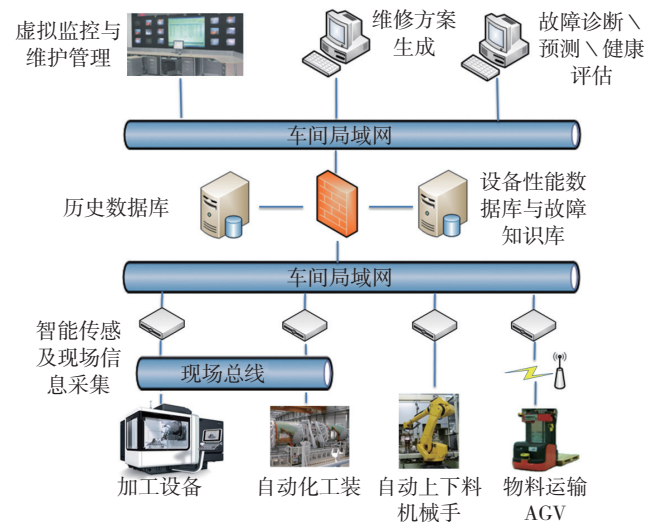


图4 支持故障诊断与健康评估的制造系统架构

Fig.4 Infrastructure of fault diagnosis and health assessment manufacturing system

度与生产过程实时监控、质量互锁与智能化检测等。

在智慧产品方面,需重点开展MEMS集成应用、航空产品智能化检测与验证、空天地一体化网络平台、航空产品运行监控与视情维护、航空产品设计/制造/服务一体化等技术的研究突破。

3 结束语

开展CPS相关技术的研究,是航空制造业实施智能化制造的关键。需要从传感器网络构建、信息采集融合、CPS软件等基础技术入手,在突破基础技术的同时,结合航空制造业需求,建立针对性示范项目和工程,尽快提高技术成熟度,提高航空产品整体智能化制造水平。

参考文献

- [1] 罗文.德国工业4.0战略对我国推进工业转型升级的启示.工业经济论坛,(4).
- [2] Christophe T,Chen Y Q.Optimal mobile actuator/sensor network motion strategy for parameter estimation in a classof cyber physical system. Proceedings of the American Control Conference,2009:367-372.
- [3] Rajkumar R,Lee I.Cyber-physical systems:the next computing revolution.Proceedings of the Design Automation Conference, 2010:731-736.
- [4] Lee E A.Cyber-physical systems-are computation foundations adequate.Position Paper for NSF Workshop on Cyber Physical Systems:Research Motivation,Techniques and Roadmap.2006.
- [5] 黎作鹏,张天驰,张菁.信息物理融合系统(CPS)研究综述.计算机科学,2011,38(9):25-31.
- [6] Ingeol C, Jeongmin P, Wontae K. Autonomic Computing Technologies for Cyber-Physical Systems. ISBN 978-89-5519-146-2, Feb. 7-10, 2010 ICACT 2010:1009-1014. (责编 亿霖)