

泛在信息化智能制造系统

Ubiquitously Information-Based Smart Manufacturing System

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 03-0062-005

摘要: 认为当前亟需泛在信息制造技术,使生产制造过程在广度上实现互联互通,在深度上实现信息空间和物理空间的融合。为此,提出了一种泛在信息化智能制造系统及相关技术群,实现制造资源的网络化互联,信息资源的语义化表达和制造服务的自组织运行。此外,还指出如何实现多种数据流的混合传输,如何实现异构信息的集成与互操作,以及如何面向复杂时空关系建立抽象模型,是需要解决的挑战性问题的。

关键词: 智能制造; 网络化制造; 工业控制网络; 信息物理融合系统; 服务化

Abstract: In this paper, we consider that ubiquitous information manufacturing technology is needed to realize interconnection in the extent, and achieve integration of cyber space and physical space in the depth. Therefore, a ubiquitously information-based smart manufacturing system and its related enabling technologies are proposed. In this way, manufacturing resources are networked, information resources are semantically described and manufacturing services are self-organized. More challenge problems are also pointed out, such as how to transport mixed data flow, how to integrate and interoperate heterogeneous information, and how to build the abstract model facing the complex space-time relationship.

Key words: smart manufacturing; networked manufacturing; industrial control network; cyber-physical systems; service oriented

于海斌/YU Haibin¹
王鹏/WANG Peng^{1,2}
曾鹏/ZENG Peng¹

(1. 中国科学院沈阳自动化研究所, 辽宁沈阳 110016;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)
(1. Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Science, Shenyang 110016, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

制造业经历多年发展,企业内部业务分工日趋明确,总体上可以划分为两大领域,即纵向生产管理控制和横向产品生命周期管理。根据 ANSI/ISA 65^[1]和 IEC 62264-3^[2]的定义,纵向生产管理控制可以概括为3个层次:经营决策、计划调度和生产控制;横向产品生命周期涉及4个领域:产品设计、工程实施、生产运行和产品服务。随着自动化、计算机和网络技术的发展,上述不同领域和层次逐渐形成了相应的计算机系统和网

络,其中计算机系统包括企业资源计划系统(ERP)、制造执行系统(MES)、数据采集与监测控制系统(SCADA)、分布式控制系统(DCS),以及包括计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助工程(CAE)在内的计算机辅助系统(CAX);网络包括互联现场设备、控制器、传感器的现场总线、工业以太网、工业无线网络,以及企业管理所需的以太网和互联网等^[3]。

然而,种类繁多的系统和网络造成了以下两方面问题:

(1)在广度上,部分网络虽然实现了少数系统的互联互通,但是企业内部仍然存在大量信息孤岛,受时间、空间的限制,人与人、系统与系

统、人与系统之间还无法建立起广泛的互联,信息无法在企业内部高效地流转;

(2)在深度上,数字化制造的发展,虽然初步形成了信息空间的概念,但是信息空间还未能实现与物理制造空间的深度融合,无法根据物理空间的需求,主动提供数据、应用和服务。

综上所述,当前制造业企业亟需广泛、深度互联的基础,纵向上打破系统之间的壁垒,横向上打通信息与物理的隔阂,实现跨层次、跨领域的业务集成,提高制造业企业的运行效率和敏捷性。

与此同时,随着芯片制造、无线宽带、射频识别、信息传感及网络业务等信息通信技术(ICT)的发展,信息网络已更加全面、深入地融合人与人、人与物,乃至物与物之间的现实物理空间与抽象信息空间,并向无所不在的泛在网络方向演进^[4]。

根据国际电信联盟的定义,泛在网络是指在预订服务的情况下,个人和/或设备无论何时、何地、何种方式以最少的技术限制接入到服务和通

收稿时间: 2016-09-20

网络出版时间: 2016-12-09

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA06020500); 国家自然科学基金(61533015、61233007)

信的能力^[5]。泛在网络可以将信息空间与物理空间深度融合,其服务能够以无所不在、无所不包、无所不能的方式,实现在任意时间、地点,任意的人、物都能顺畅地通信,获得个性化的信息服务。

显然,泛在网络的相关理念、技术和方法有助于解决制造业当前面临的问题。正是在这种背景下,有学者提出了泛在信息制造技术的概念:泛在信息制造技术是以泛在网络为基础,以泛在感知为核心,以泛在服务为目的,并以泛在智能拓展和提升为目标的综合性、一体化的信息处理技术^[6]。

泛在信息制造技术为解决制造业当前面临的问题提供了全新的思路 and 手段:将物理制造空间中跨层次、跨领域的物理制造资源映射到信息空间,从广度上打破信息壁垒,实现人、制造设备、生产过程的泛在互联互通;在深度上实现制造信息空间与物理空间的深度融合,按需提供主动的智能制造服务。因此,泛在信息制造技术的提出符合当前技术发展趋势和产业需求。

1 泛在信息化智能制造系统的架构

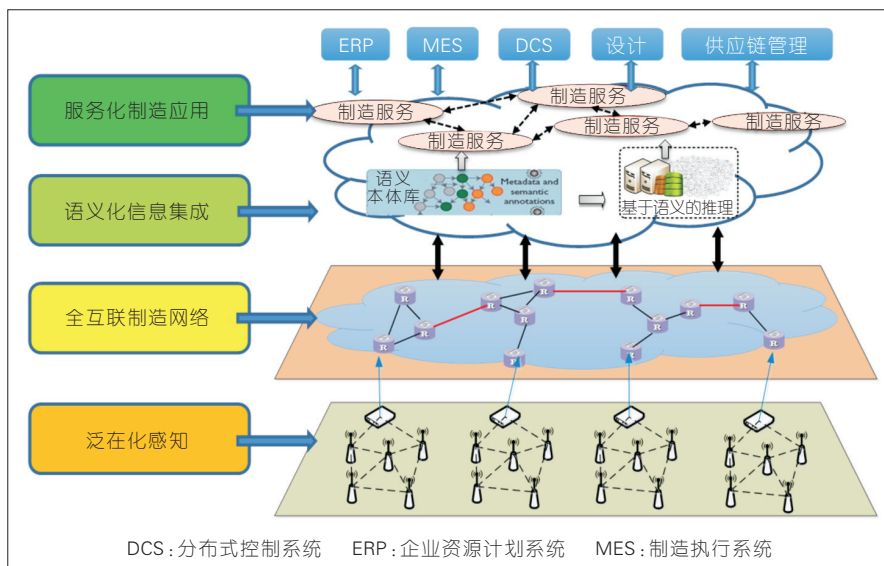
根据泛在信息制造技术的内涵,基于该技术的泛在信息化智能制造系统应当要满足以下3方面的功能需求。

(1) 制造实体网络化:分布式物理资源接入、数据感知和信息传输,要求系统具备网络化能力;

(2) 信息资源模型化、语义化:多尺度、异构虚拟资源的统一组织,要求虚拟资源的形式是模型化的,并且具备丰富的语义;

(3) 制造能力服务化:支持多种应用业务协作式运行,需要系统为不同的业务提供核心服务。

为此提出了如图1所示的泛在信息化智能制造系统的4层架构,包括:泛在化感知层、全互联制造网络



▲图1 泛在信息化智能制造系统的架构

层、语义化信息集成层和服务化制造应用层。

首先,网络化是泛在信息化制造系统的本质特征。针对制造系统网络化的特殊需求提出了两层的网络架构,其中泛在化感知层实现与生产过程密切相关的现场物理资源泛在接入、感知,在此之上全互联制造网络层使现场级传感网、控制网与企业级管理网、互联网实现扁平化、对等化互联。

其次,模型化是信息空间的虚拟信息资源统一组织的必要形式,语义化是异构模型能够跨层次、跨领域集成的核心。一方面,模型化是信息资源集中组织的有效手段;另一方面,语义化是模型能够进行跨层次、跨领域异构集成的核心。针对这种需求提出了语义化信息集成层,基于模型化和语义化手段,实现跨层次、跨领域虚拟信息资源的统一组织、集成和管理。

最后,服务化是制造物理空间与虚拟信息空间实现集成的技术手段。制造服务聚集在信息空间根据具体业务特点,按需进行组合,实现制造应用的动态自组织。因此,针对系统服务化的需求提出了服务化制造应用层,为具体的制造应用业务运

行提供核心服务。

2 泛在信息化智能制造系统的支撑技术群

图1所示的泛在信息化智能制造系统的架构需要相应技术群才能支撑其系统特征。本节分别总结了各层相应的技术群。

2.1 面向泛在化感知的无线传感网技术群

面向泛在化感知的无线传感网技术群是指实现工业现场传感器、控制器、生产设备接入、感知和控制的一系列无线传感技术^[7]。作为泛在信息化制造系统中虚拟信息空间与物理制造空间的接口,该技术群一方面从物理制造空间获取数据并映射入信息空间;另一方面接收信息空间的指令,完成对物理制造过程的控制。如图2所示,该技术群具体包括两方面:物理资源接入技术^[8]和物理过程感知技术^[9]。在资源接入方面,包括面向多种协议的物理资源即插即用技术,即根据协议类型、设备类别、生产流程等信息动态适配多种网络协议,为资源构建逻辑链路,满足其通信关系。在感知方面的主要支撑技术包括智能传感器技术^[10]和以无线

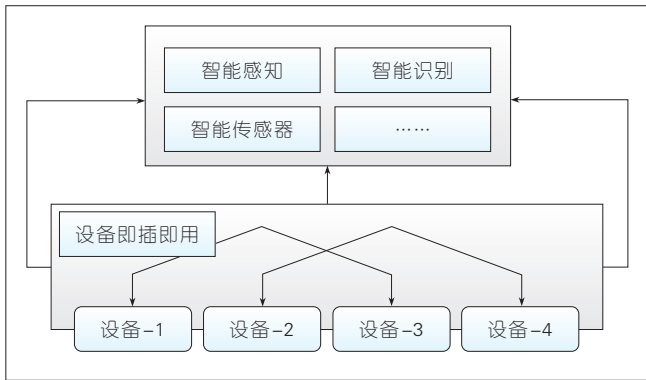


图2 面向泛在化感知的无线传感网技术群

射频识别 (RFID) 为代表的智能识别技术^[11]等。

在无线传感网技术的支撑下,工业现场的信息泛在化感知和设备可移动运行促进信息流转,提升系统运行效率和信息-物融合深度。此外,无线传感网模块化、可重构、即插即用等特点,能够最大限度满足底层系统对可组合性的需求,实现协作运行。

2.2 面向全互联制造网络的组网与传输技术群

面向全互联制造网络的组网与传输技术群是指实现工厂全覆盖,管理和控制业务混流传输,并提供安全可靠保障的一系列组网与传输技术。作为泛在信息化制造系统中完成网络化互联的核心,该技术群基于互联网的传输控制协议(TCP)/互联网协议(IP)架构实现对工厂管理网络、控制网络、传感网络进行全面互联,并与互联网集成,实现无缝信息传输。如图3所示,该技术群的组成主要体现在两个方面:一是对当前现场传感网、设备网采用的专用传输协议的IP化设计^[12],具体包括针对嵌入式设备的IP协议裁剪技术、针对嵌入式设备的低开销IP协议实现技术、面向完整和裁剪后IP的多协议适配和转换技术和轻量级IP设备的管理与维护技术;二是信息流混合传输服务质量(QoS)保障技术^[13],具体包括面向扁平网络的实时流交换传输技术、面向异构网络的资源动态认知与管理技术和面向混合业务流的

流量控制技术。

上述技术群通过IP化手段,实现网络扁平化,同时提供混合传输保障机制,实现了不同业务的按需服务。

2.3 面向时空动态制造信息资源的语义化集成技术群

面向时空动态制造信息资源的语义化集成技术群是指实现制造业中跨层次、跨领域的海量、异构信息资源语义化描述、存储、集成、组织与管理的一系列技术群^[14]。如图4所示,该技术群主要包括3个方面。首先,底层网络中信息资源如原始数据等,其质量不高,存在大量错误、不完

整或多余的原始数据。因此,需要采用数据清洗技术、过滤技术、压缩技术和消冗技术等,处理质量较差的原始信息资源,保证其正确性^[15]。其次,泛在信息化制造系统中大量跨层次、跨领域信息资源不具备统一的格式。因此,采用数据建模等语法转换技术对多种语法格式的信息资源进行规范化处理,保证信息的语法一致性^[16]。最后,异构信息资源只有具备统一的语义,才能实现语义级互操作性,直接被跨层次、跨领域的应用业务访问和使用^[17]。因此,采用语义转换技术,对模型化后的信息资源进行语义标注,构建统一的语义模型。

在上述技术群支撑下,跨层次、跨领域的虚拟信息资源实现了模型化、语义化组织与管理,在统一层面上根据上层应用业务的特点,为其提供所需的信息资源。

2.4 面向制造业务的服务化技术群

面向制造业务的服务化技术群是指一系列实现物理/虚拟资源服务化封装、注册、查询、组合、部署与管理的技术,以模块化、服务化的模式,

图3 面向全互联制造网络的组网与传输技术群

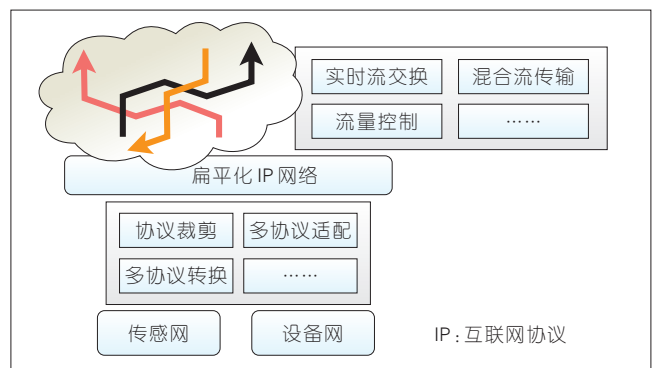
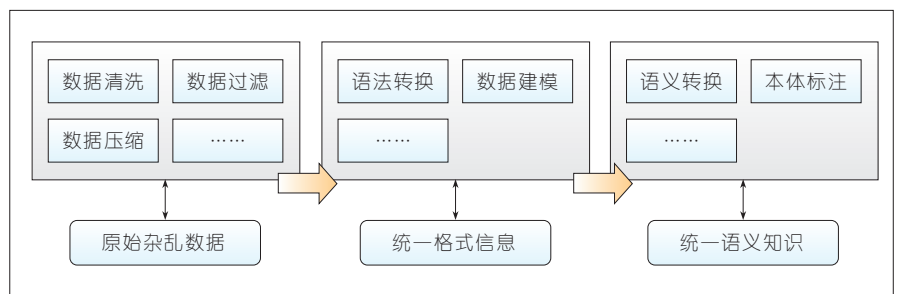


图4 面向时空动态制造信息资源的语义化集成技术群



完成制造应用的动态自组织^[18]。如图5所示,该技术群主要分为3类:一是服务的封装和注册技术,是指采用服务化和虚拟化手段,将各种资源进行服务化封装,并在服务库中完成注册^[19];二是服务的查询与组合技术,是指根据应用业务的需求,在服务库中查找合适的服务,并根据规则进行组合^[20];三是服务的部署与管理技术,是指将服务部署到具体的软硬件资源上,并根据具体的业务要求对服务的执行过程进行监测、控制与调度,满足共享资源上不同业务的运行要求。服务化首先将软、硬件资源抽象为简单的计算、存储、传输等基本服务,在此基础上,根据服务的组合规则,将基本服务组合为复杂的诸如加工、控制、监测、诊断、设计等服务,并且在面向具体业务实例化之后,可以满足不同业务的应用需求。

正是在服务化的这种特性支撑下,系统能够以开放的、可扩展的方式集成多种服务。并且能够随着业务的需求变化动态组织相应的服务,使得系统功能具备可演进性。

3 实现泛在信息化制造面临的技术挑战

3.1 异构动态网络环境下,多流混合传输的路径规划与流量控制

泛在信息化制造系统的全互联

网络基于IP将传感网、控制网、管理网互联构成扁平化的异构传输网络,实现控制、管理和知识流的混合传输,但控制流传输需要保障实时性、可靠性,管理流和知识流传输需要保障吞吐量和带宽利用率,管理人员的移动性使得网络拓扑和知识流的传播具有很强的动态性。

综上所述,针对控制、管理和知识流不同的应用需求和负载特征,同时考虑工业物理网异构和拓扑结构的动态变化,构建针对时延、可靠性、能耗、带宽利用率等混合关键性指标的网络资源调度策略和控制方法,是泛在信息化制造所面临的技术挑战之一。

3.2 工业多维、异构信息资源的集成与互操作

泛在信息化制造需要构建跨域、跨层的统一信息资源组织与管理体系,但设计域,实施域,运行域,维护域涉及多维异构的信息资源。一方面信息格式不同,既有结构化的生产数据、控制指令、设计模型等,也有非结构化的声音、图像、文本等信息;另一方面是信息的含义不同,各领域涵盖了多个学科,包括物理、化学等工艺知识,热学、力学等结构知识和电子、电气等自动化知识。因此,如何构建可集成、互操作的统一信息模型是泛在信息化制造面临的又一技术

挑战。

3.3 面向制造物理空间复杂时空关系的抽象与建模

泛在信息化制造系统的关键是信息空间能够准确对物理空间进行抽象与建模,以实现信息与物理的深度融合。制造物理空间生产过程具有明确的时间和空间特性,并且时空特性耦合性强,如描述流程工业复杂的物理、化学反应过程,通常采用动态偏微分方程来构建相关的机理模型。而传统意义上,信息空间的建模和抽象过程多面向离散事件以及解耦的多变量关系,显然无法实现对制造物理空间连续物理过程的抽象和建模。因此,面对制造物理空间复杂的时空关系,信息空间如何进行描述、抽象和建模,是泛在信息化制造面临的一大技术挑战。

4 结束语

当前,在中国相继推出“工业化信息化两化融合”“互联网+”行动计划、“中国制造2025”等一系列顶层设计方案的大背景下,无论是代表传统力量的制造业,还是代表新兴力量的互联网界,都在积极探索中国制造的创新模式,如何寻找到符合中国特色的智能制造模式成为共同关注的焦点。泛在信息化制造正是在制造业内部需求拉动,外部ICT使能技术推动的基础上,提出的一种符合当前技术、政策发展趋势的智能制造创新模式,因此开展泛在信息化制造相关理论研究、技术攻关、工程研发与应用推广等方面的工作,有利于国家宏观政策的落实,能够切实推动中国制造业转型和自主创新等。

参考文献

- [1] International Society of Automation. Enterprise Control Systems ANSI/ISA 65[S]. New York: International Society of Automation, 2010:3
- [2] International Electrotechnical Commission. Enterprise-control System Integration-Part 3: Activity models of operations management IEC 62264[S]. Geneva:

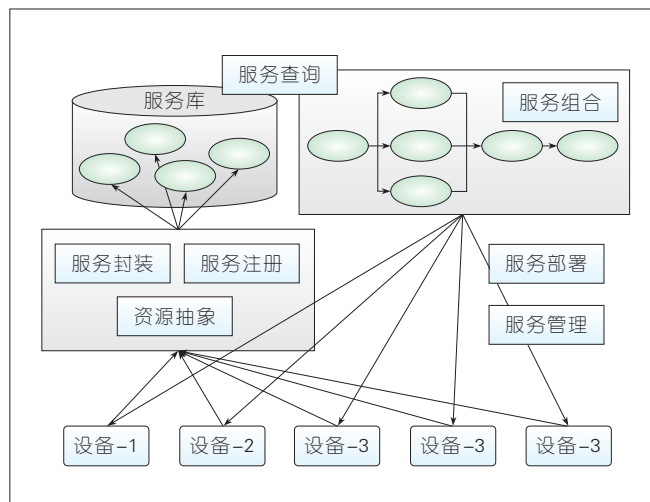


图5 面向制造业务的服务化技术群示意图

- International Electrotechnical Commission, 2013:4
- [3] SAUTER T. The Three Generations of Field-Level Networks—Evolution and Compatibility Issues[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2010, 57(11): 3585–3595. DOI: 10.1109/TIE.2010.2062473
- [4] 张平, 苗杰, 胡铮, 等. 泛在网络研究综述[J]. 北京邮电大学学报, 2010, 33(5): 1–5. DOI: 10.3969/j.issn.1007-5321.2010.05.001
- [5] International Telecommunication Union. Overview of Ubiquitous Networking and of Its Support in NGN ITU-T Y.2002 (10/2009) [S]. Geneva: International Telecommunication Union, 2009:10
- [6] WANG T R. Advanced Manufacturing Technology in China: a Roadmap to 2050 [M]. Beijing: Science Press, 2010
- [7] GUNGOR V C, HANCKE G P. Industrial Wireless Sensor Networks: Challenges, Design Principles, and Technical Approaches [J]. IEEE Transaction on Industrial Electronics, 2009, 46(10): 4258–4265. DOI: 10.1109/TIE.2009.2015754
- [8] DEMIRKOL I, ERSOY C, ALAGOZ F. MAC Protocols for Wireless Sensor Networks: a Survey[J]. IEEE Communications Magazine, 2006, 44(4): 115–121. DOI: 10.1109/MCOM.2006.1632658
- [9] STANKOVIC J A, ABDELZAHER T F, CHEN Y L, et al. Real-Time Communication and Coordination in Embedded Sensor Networks [J]. Proceedings of the IEEE, 2003, 91(7): 1002–1022. DOI: 10.1109/JPROC.2003.814620
- [10] CHI Q P, YAN H R, ZHANG C, et al. A Reconfigurable Smart Sensor Interface for Industrial WSN in IoT Environment[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2014, 10(2): 1417–1425. DOI: 10.1109/TII.2014.2306798
- [11] GADH R, ROUSSOS G, MICHEAL K, et al. RFID—A Unique Radio Innovation for the 21st Century[J]. Proceedings of the IEEE, 2010, 98(9): 1546–1549. DOI: 10.1109/JPROC.2010.2053871
- [12] XIAO Y, CUI X Y, LI H, et al. A Protocol Simplifying Mechanism for a WSN Module [C]//Proceedings of 2010 International Conference On Electronics and Information Engineering (ICEIE). USA: IEEE, 2010: 474–477. DOI: 10.1109/ICEIE.2010.5559820
- [13] SUN W, YUAN X J, WANG J P, et al. Quality of Service Networking for Smart Grid Distribution Monitoring [C]//2010 1st IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm). USA: IEEE, 2010: 373–378. DOI: 10.1109/SMARTGRID.2010.5622072
- [14] WILLIAMS J W, AGGOUR K S, INTERRANTE J, et al. Bridging High Velocity and High Volume Industrial Big Data Through Distributed In-memory Storage & Analytics[C] //2014 IEEE International Conference on Big Data. USA: IEEE, 2014: 932–941. DOI: 10.1109/BigData.2014.7004325
- [15] WANG K, SHAO Y, SHU L, et al. Mobile Big Data Fault-tolerant Processing For e-health Networks[J]. IEEE Network, 2016, 30(1): 36–42. DOI: 10.1109/MNET.2016.7389829
- [16] O'SULLIVAN P, THOMPSON G, CLIFFORD A. Applying Data Models to Big Data Architectures[J]. IBM Journal of Research and Development, 2014, 58(5/6): 1–11. DOI: 10.1147/JRD.2014.2352474
- [17] NACHABE L, GIROD-GENET M, HASSAN B E. Unified Data Model for Wireless Sensor Network[J]. IEEE Sensors Journal, 2015, 15(7): 3657–3667. DOI: 10.1109/JSEN.2015.2393951
- [18] KARNOUSKPS S, COLOMBO A W, JAMMES F, et al. Towards an Architecture for Service-oriented Process Monitoring and Control[C] //Proceedings of the 36th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. USA: IEEE, 2010:1385–1391. DOI: 10.1109/IECON.2010.5675482
- [19] KARNOUSKPS S, BAECKER O, SOUZA L M S, et al. Integration of SOA-ready Networked Embedded Devices in Enterprise Systems Via a Cross-layered Web Service Infrastructure[C] //Proceedings of 12th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation. USA: IEEE, 2007:293–300. DOI: 10.1109/EFTA.2007.4416781
- [20] KARNOUSKPS S, SAVIO D, SPIESS P, et al. Real World Service Interaction with Enterprise Systems in Dynamic Manufacturing Environments[C]//Artificial Intelligence Techniques for Networked

Manufacturing Enterprises Management. London: Springer, 2010:423–457. DOI: 10.1007/978-1-84996-119-6_14

作者简介



于海斌, 中国科学院沈阳自动化研究所研究员、博士生导师;研究方向为工业控制网络与系统、无线传感器网络、工业无线网络等;主持国家自然科学基金重点项目、国家杰出青年自然科学基金、国家重大基础研究计划(“973”计划)、科技部国家“863”项目等 10 余项, 曾获得国家科技进步二等奖 4 项、技术发明二等奖 1 项;已发表 SCI/EI 收录论文 100 余篇, 著书 2 部。



王鹏, 中国科学院沈阳自动化研究所博士研究生;研究方向为工业信息物理融合系统。



曾鹏, 中国科学院沈阳自动化研究所研究员、博士生导师;主要研究方向为工业通信、无线传感器网络、智能制造;主持和参加科技部国家科技重大专项、中国科学院战略先导专项、科技部国家“863”项目、国家自然科学基金面上项目、国家自然科学基金重点项目 10 余项, 曾获得辽宁省“百千万人才工程”百人层次人选、中国自动化产业世纪行年度人物、“中国标准创新贡献奖”一等奖、辽宁省科学技术科技进步一等奖等;已发表论文 80 余篇, 其中 SCI/EI 检索 50 余篇。