



信息通信领域产学研合作特色期刊
 第三届国家期刊奖百种重点期刊 | 中国科技核心期刊

ISSN 1009-6868
 CN 34-1228/TN

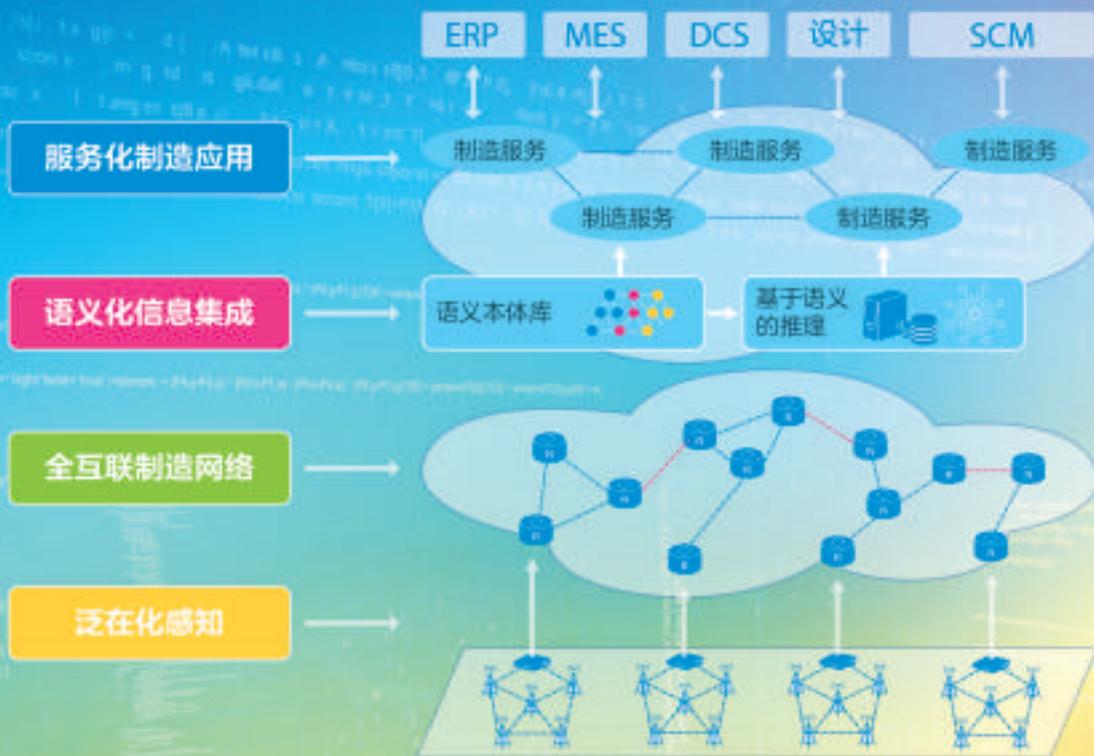
中兴通讯技术

ZTE TECHNOLOGY JOURNAL

tech.zte.com.cn

2016年10月 • 第5期

专题：工业互联网与智慧工厂技术



中兴通讯技术

ZTE TECHNOLOGY JOURNAL

二〇一六年十月

第二十二卷第五期

总第一三〇期



《中兴通讯技术》第7届编辑委员会委员名单

顾问 侯为贵（中兴通讯股份有限公司创始人） 钟义信（北京邮电大学教授） 陈锡生（南京邮电大学教授）

主任 陆建华（中国科学院院士,清华大学教授）

副主任 赵先明（中兴通讯股份有限公司董事长兼总裁） 糜正琨（南京邮电大学教授）

副主任 马建国（天津大学电子信息工程学院院长） 陈前斌（重庆邮电大学副校长）

编委（按姓氏拼音排序）

- | | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| 曹淑敏 中国信息通信研究院院长 | 孙枕戈 中兴通讯股份有限公司副总裁 |
| 陈建平 上海交通大学教授 | 孙知信 南京邮电大学物联网学院院长 |
| 陈杰 中兴通讯股份有限公司高级副总裁 | 谈振辉 北京交通大学教授 |
| 陈前斌 重庆邮电大学副校长 | 唐雄燕 中国联通网络技术研究院首席专家 |
| 葛建华 西安电子科技大学通信工程学院副院长 | 田文果 中兴新能源汽车有限责任公司董事长 |
| 管海兵 上海交通大学电子信息与电气工程学院副院长 | 童晓渝 中电科软件信息服务有限公司副总经理 |
| 洪波 中兴发展股份有限公司总裁 | 王京 清华大学教授 |
| 洪伟 东南大学信息科学与工程学院院长 | 王文东 北京邮电大学软件学院副院长 |
| 纪越峰 北京邮电大学信息光子学与光通信研究院
执行院长 | 王翔 中兴通讯股份有限公司副总裁 |
| 江华 中兴通讯股份有限公司副总裁 | 卫国 中国科学技术大学教授 |
| 蒋林涛 中国信息通信研究院科技委主任 | 吴春明 浙江大学教授 |
| 李尔平 浙江大学信息学部副主任 | 邬贺铨 中国工程院院士 |
| 李红滨 北京大学教授 | 徐安士 北京大学教授 |
| 李建东 西安电子科技大学副校长 | 续合元 中国信息通信研究院技术与标准研究所总工 |
| 李军 清华大学教授 | 徐慧俊 中兴通讯股份有限公司执行副总裁 |
| 李乐民 中国工程院院士,电子科技大学教授 | 薛一波 清华大学教授 |
| 李融林 华南理工大学教授 | 杨义先 北京邮电大学教授 |
| 李少谦 电子科技大学通信与信息工程学院院长 | 杨震 南京邮电大学校长 |
| 李涛 南京邮电大学计算机学院院长 | 尤肖虎 东南大学教授 |
| 李星 清华大学教授 | 张宏科 北京交通大学教授 |
| 刘建伟 北京航空航天大学教授 | 张平 北京邮电大学网络技术研究院执行院长 |
| 陆建华 中国科学院院士,清华大学教授 | 张云勇 中国联通研究院副院长 |
| 马建国 天津大学电子信息工程学院院长 | 赵慧玲 中国电信股份有限公司北京研究院总工程师 |
| 孟洛明 北京邮电大学教授 | 赵先明 中兴通讯股份有限公司董事长兼总裁 |
| 糜正琨 南京邮电大学教授 | 郑纬民 清华大学教授 |
| 庞胜清 中兴通讯股份有限公司高级副总裁 | 钟章队 北京交通大学教授 |
| 史立荣 中兴通讯股份有限公司董事 | 周亮 南京邮电大学通信与信息工程学院副院长 |
| | 朱近康 中国科学技术大学教授 |



信息通信领域产学研合作特色期刊
 第三届国家期刊奖百种重点期刊
 中国科技核心期刊
 工信部优秀科技期刊
 中国五大文献数据库收录期刊
 ISSN 1009-6868
 CN 34-1228/TN
 1995年创刊

办刊宗旨

以人为本,荟萃通信技术领域精英;
 迎接挑战,把握世界通信技术动态;
 立即行动,求解通信发展疑难课题;
 励精图治,促进民族信息产业崛起。

目次

中兴通讯技术 总第130期 第22卷 第5期 2016年10月

专题:工业互联网与智慧工厂技术

- 02 智慧云制造——一种互联网与制造业深度融合的新模式、
 新手段和新业态 李伯虎,柴旭东,张霖
- 07 对智能制造内涵与十大关键技术的系统思考 黄培
- 11 面向智能制造的云平台技术 王恩东,张东,元开元
- 17 工业CPS技术、架构及应用策略研究 刘棣斐,田洪川,刘贺贺
- 21 工业互联网推动工厂网络与互联网融合发展 高巍
- 26 智慧工厂机器视觉感知与控制关键技术综述 王耀南,陈铁健
- 31 流程工业智能工厂建设的探索与实践 施一明
- 36 工业互联网的安全挑战及应对策略 陶耀东,李强,李宁
- 42 工业生产中的知识自动化决策系统 陈晓方,吴仁超,桂卫华
- 47 面向家纺产品云定制的数码喷印彩色管理技术 金小团,陈刚,陈纯
- 51 面向智慧油田的工业互联网语义集成技术研究 刘阳,曾鹏,于海斌

专家论坛

- 56 中国智能制造之路 莫欣农
- 59 工业互联网不是企业经营发展的万能钥匙 赵维铎

企业视界

- 61 M-ICT时代SDN技术实践与创新 李光,王延松,范成法

综合信息

“中兴通讯技术杂志社第22次编委会议暨2016通信热点技术研讨会”在长春隆重召开(25)
 WAPI产业联盟:中国两项近场通信NFC安全技术成国际标准(30) 工业互联网产业联盟通
 过《工业互联网体系架构》(35) 2025年中国将成全球最大物联网市场(55) 爱立信、高
 通、中兴通讯等成立Avanci专利授权平台旨在加速物联网发展(58)

Contents

ZTE TECHNOLOGY JOURNAL Vol. 22 No. 5 Oct. 2016

Special Topic: Technologies of Industrial Internet and Smart Factory

- 02 Smart Cloud Manufacturing—A New Kind of Manufacturing Paradigm, Approach and Ecosystem of Deep Integration of the Internet and the Manufacturing Industry LI Bohu, CHAI Xudong, ZHANG Lin
- 07 The Connotation and 10 Key Technologies of Smart Manufacturing HUANG Pei
- 11 Intelligent Manufacturing-Oriented Cloud Platform Technologies WANG Endong, ZHANG Dong, QI Kaiyuan
- 17 Technologies, Architecture and Application Strategies of Industrial CPS LIU Difei, TIAN Hongchuan, LIU Hehe
- 21 Industrial Internet Promotes the Integration of Plant Network and Internet GAO Wei
- 26 Key Technologies of Machine Vision Perception and Control for Smart Factory WANG Yaonan, CHEN Tiejian
- 31 Construction of Process Industrial Intelligent Plant SHI Yiming
- 36 Security Challenges and Countermeasures of the Industrial Internet TAO Yaodong, LI Qiang, LI Ning
- 42 Knowledge Automatic Decision Making System in Industrial Production CHEN Xiaofang, WU Renchao, GUI Weihua
- 47 Digital Printing Color Management Technology for Housing Textile Massive Customization JIN Xiaotuan, CHEN Gang, CHEN Chun
- 51 Semantic Integration for Smart Field Based on Industrial Internet of Things LIU Yang, ZENG Peng, YU Haibin

Expert Forum

- 56 Developing Road of Intelligent Manufacturing for China MO Xinnong
- 59 Industrial Internet is not the Master Key for the Development of Enterprise ZHAO Weiduo

Enterprise View

- 61 Practice and Innovation of SDN Technology in M-ICT Era LI Guang, WANG Yansong, FAN Chengfa

敬告读者

本刊享有所发表文章的版权,包括英文版、电子版、网络版和优先数字出版版权,所支付的稿酬已经包含上述各版本的费用。

未经本刊许可,不得以任何形式全文转载本刊内容;如部分引用本刊内容,须注明该内容出自本刊。

2016年第1—6期专题

1 网络空间安全

杨义先 北京邮电大学 教授
杨庚 南京邮电大学 教授

2 大数据分析处理与应用

郑纬民 清华大学 教授

3 5G技术与业务创新

王京 清华大学 教授
向际鹰 中兴通讯股份有限公司 首席科学家

4 天地一体化信息网络

张乃通 中国工程院 院士
顾学迈 哈尔滨工业大学 教授

5 工业互联网与智慧工厂技术

邬贺铨 中国工程院 院士
王耀南 湖南大学 教授

6 SDN/NFV的实践与规模应用

蒋林涛 中国信息通信研究院 教授

专题栏目策划人



邬贺铨

中国工程院院士,曾任中国工程院副院长,现任国家信息化专家咨询委员会副主任、国家标准化专家委员会主任、国家互联网+专家委员会主任、国家物联网专家组组长、国家新一代宽带无线移动通信网重大科技专项总师、中国互联网协会理事长、中国通信标准化协会理事长,以及 IEEE 高级会员等;长期从事数字和光纤通信系统的研究开发工作,近十多年来负责中国下一代互联网示范工程和 3G/4G/5G 等研发项目的技术管理及重要工程科技咨询项目研究;曾获全国科学大会奖、国家科技进步二等奖、邮电部科技进步一等奖等多个奖项;出版专著 1 部。



王耀南

湖南大学教授、博士生导师,电气与信息工程学院院长,机器人学院院长,机器人视觉感知与控制技术国家工程实验室主任;长期从事智能控制与机器人技术研究;在机器人感知与控制、机器学习与视觉图像检测、智能工业作业机器人领域内先后主持完成多项国家重大项目;技术成果获“中国发明创业”特等奖、“国家科技进步”二等奖等奖项;发表论文 100 余篇,出版著作 8 部,获国家发明专利 60 余项。

专家论坛栏目策划人



刘建业

中兴通讯物联网及能源产品总经理、中兴通讯战略与技术专家委员会常委、LoRa® Alliance 董事、中国 LoRa 应用联盟 (CLAA) 秘书长、工业互联网产业联盟 (AII) 理事等;研究方向为传感器、智能仪器、工业自动化等,目前从事能源领域行业规划、方案经营等工作;发表论文 30 多篇,获得专利 30 余项。

专题:工业互联网与智慧工厂技术

导读

德国“工业 4.0”、美国 GE 公司“工业互联网”和“中国制造 2025”提出后,在工业、企业产生了前所未有的影响,为企业在新一轮工业革命浪潮中的转型、升级指明了战略发展方向。这 3 个计划都把工业互联网与智慧工厂作为智能制造重要核心内容。智能制造是对基于新一代信息技术实现信息深度感知、智能优化决策和精准控制执行功能的制造过程和生产模式的总称。实施智能制造能有效缩短产品研制周期,提高生产效率,提升产品质量,降低成本和消耗。智能制造的目标是整个制造企业价值链的智能化,是信息化与工业化深度融合的进一步提升。智能制造融合了信息技术、先进制造技术、自动化技术和人工智能技术。智能制造系统的趋势是实现自组织、自主学习、自主决策和不断优化。智能制造是“完全集成的协同制造系统,可以实时响应,以满足在工厂、供应网络 and 客户需求方面,不断变化的需求和条件”;智能制造是基于物联网、信息物理系统和云系统的工业 4.0 新创举。智能制造的关键技术包括:智能产品与智能服务;智能装备、智能生产线、智能车间和智能工厂;智能研发、智能管理、智能物流与供应链;智能决策。

在本期专题栏目的文章中,我们阐述了智能制造领域中的工业互联网与智慧工厂关键技术,包括:智慧云制造、智能制造内涵与关键技术、面向智能制造的云平台技术、工业 CPS 技术架构、工业互联网推动工厂网络与互联网融合、智慧工厂机器视觉感知与控制关键技术、流程工业智能工厂建设的探索、工业互联网的安全挑战及应对策略、工业生产中的知识自动化决策系统、面向家纺产品云定制的数码喷印颜色管理技术,面向智慧油田的工业物联网语义集成技术。

在本期专家论坛栏目的文章中,我们提出中国应当坚持引进、消化、吸收、再创新的智能制造体系,才能在较短时间内缩小与发达国家间的差距;与此同时,也指出工业互联网并不是企业经营的万能钥匙,只是企业发展道路上的一个辅助工具或指导理念。

这些论文凝聚了各位作者的研究成果和工作经验,希望能给读者带来有益的收获与参考。在此,对各位作者的积极支持和辛勤工作表示衷心的感谢!

邬贺铨 王耀南 刘建业

2016 年 9 月 10 日

智慧云制造——一种互联网与制造业深度融合的新模式、新手段和新业态

Smart Cloud Manufacturing—A New Kind of Manufacturing Paradigm, Approach and Ecosystem of Deep Integration of the Internet and the Manufacturing Industry

李伯虎/LI Bohu^{1,3}

柴旭东/CHAI Xudong²

张霖/ZHANG Lin³

(1. 中国航天科工集团二院, 北京 100854;

2. 航天云网科技发展有限责任公司, 北京 100854;

3. 北京航空航天大学, 北京 100191)

(1. The 2nd Research Institute of CASIC, Beijing 100854, China;

2. CASICloud Co. Ltd., Beijing 100854, China;

3. Beihang University, Beijing 100191, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 05-0002-005

摘要: 提出了智慧云制造的内涵, 即智慧云制造是一种互联网与制造业深度融合的新模式、新手段和新业态。通过航天云网的实践, 给出智慧云制造面向行业、企业、车间不同层次及面向产业链不同阶段开展应用的范例。认为智慧云制造的发展需要注重创新体系的建设, 要实现“技术、应用、产业”的协调发展。

关键词: 智慧; 云制造; 互联网+

Abstract: In this paper, the connotation of the smart cloud manufacturing is put forward. The smart cloud manufacturing is a new kind of manufacturing paradigm, approach and ecosystem of deep integration of the Internet and the manufacturing industry. Through the practice of "astronautics cloud", application cases covering levels of industry, enterprise, workshop and phases of industrial chain are presented. It is believed that the development of smart cloud manufacturing needs to pay attention to the construction of innovation system, and realize the coordinated development of "technology, application and industry".

Keywords: smart; cloud manufacturing; Internet+

当前, 制造业正面临全球新技术革命和产业变革的挑战, 特别是快速发展的新一代信息通信技术, 以及取得重要突破的人工智能技术与制造技术的深度融合, 正引发制造业制造模式、制造流程、制造手段、生态系统等的重大变革。

一些国家纷纷制订国家制造发展计划: 美国政府先后出台的“先进制造伙伴关系”计划 (AMP)、“国家制造业创新网络”计划 (NNMI) 等战略规划; 德国在 2013 年 4 月的汉诺威工业博览会上提出“工业 4.0”战略。

目前, 中国制造业正面临从价值链的低端向中高端, 从制造大国向制造强国, 从中国制造向中国创造, 从经济高速发展进入新常态发展等转

变的关键历史时期。中国工程院《制造强国战略研究》报告中提出中国制造业迫切需要推进 5 个转型升级^[1], 即由技术跟随战略向自主开发战略转型再向技术超越战略转型升级; 由传统制造向数字化网络化智能化制造转型升级; 由粗放型制造向质量效益型制造转型升级; 由资源消耗型、环境污染型制造向绿色制造转型升级; 由生产型制造向生产+服务型制造转型升级。

1 智慧云制造概论

笔者团队从 20 世纪 80 年代即介入制造业信息化研究与应用的工作,

于 2009 年提出了“云制造”的理念, 并开始了以网络化、服务化为主要特征的云制造 1.0 的研究与实践^[2-5]。目前, 云制造已经在全球范围内均取得了较大的影响力^[7-13]。经过近几年的实践, 随着有关技术的发展, 特别是大数据、云计算、移动互联网、高性能计算等新兴信息技术的发展, 3D 打印、智能化机器人、智能制造装备等新兴制造技术智慧化的发展, 以及机器深度学习、大数据驱动下的知识工程、基于互联网的群体智能等人工智能技术的新发展^[14], 云制造的智慧化有了更强有力的技术支撑。因此, 本团队于 2012 年提出并开始了以互联

收稿日期: 2016-07-24

网络出版日期: 2016-09-12

基金项目: 国家高技术研究发展 (“863”) 计划 (2015AA042101)

化、服务化、协同化、个性化(定制化)、柔性化、社会化为主要特征的“智慧云制造”(云制造2.0)的研究与探索,它在制造模式、技术手段、支撑技术、应用等方面进一步发展了云制造1.0^[5],它是“互联网+”时代的一种智造模式、手段与业态,是实施互联网与制造业深度融合的一种制造新模式、新手段与新业态。

1.1 智慧云制造的定义

基于泛在网络,借助新兴制造技术、新兴信息技术、智能科学技术及制造应用领域技术等4类技术深度融合的数字化、网络化、智能化技术手段,智慧云制造构成以用户为中心的智慧制造资源与能力的服务云(网),使用户通过智慧终端及智慧云制造服务平台便能随时随地、按需获取智慧制造资源与能力,对制造全系统、全生命周期活动(产业链)中的人、机、物、环境、信息进行自主智慧地感知、互联、协同、学习、分析、认知、决策、控制与执行,促使制造全系统及全生命周期活动中的人/组织、经营管理、技术/设备(三要素)及信息流、物流、资金流、知识流、服务流(五流)集成优化,构成一种基于泛在网络,以用户为中心,人机物融合,互联化、服务化、协同化、个性化(定制化)、柔性化、社会化的智慧制造新模式,进而高效、优质、节省、绿色、柔性地制造产品和服务用户,提高企业(集团)的市场竞争能力。

“智慧云制造”在制造模式、手段、业态和支撑技术方面都体现了智慧特征。这里的“智慧”特别强调了:创新驱动;以用户为中心的人、机、物、环境、信息的深度融合;数字化、网络化(互联化)、智能化的深度融合;工业化与信息化的深度融合;智慧地运营制造全系统和制造全生命周期的活动。

1.2 智慧云制造系统概念的模型

智慧云制造系统是按智慧云制

造模式和手段构建的制造系统(智慧制造云),其概念模型抽象为“一个核心支持”,即智慧云制造平台;“两个过程”,即智慧服务接入与取出;“三大部分”,即智慧制造资源与能力、智慧制造云池、制造全生命周期智慧应用;“三类人员”,即智慧制造服务提供者、使用者和智慧制造云池运营者,如图1所示。

1.3 智慧云制造系统的体系结构

智慧云制造系统实质是一种基于泛在网络及其组合的,人、机、物、环境、信息深度融合的,提供智慧制造资源与智慧能力,并可以随时随地、按需服务的智慧制造服务互联系统。它就是一种“互联网(云)+制造资源与能力”的智慧制造系统。它的体系结构如图2所示,包括智慧资源/智慧能力层、智慧感知/接入/通信层、智慧虚拟资源/能力层、智慧核心支撑功能层、智慧用户界面层、智慧云服务应用层、人/组织层,并且各层皆有标准和安全技术的支持。

智慧云制造系统的实施范围可以是区域、行业乃至跨行业的层次,也可以是工厂、企业的层次,还可以是制造单元、车间的层次。

1.4 智慧云制造系统的技术体系

智慧云制造技术体系包含八大

类关键技术(如图3所示),是实现智慧云制造所需关键技术的集合,它为智慧云制造的研究指明了方向。

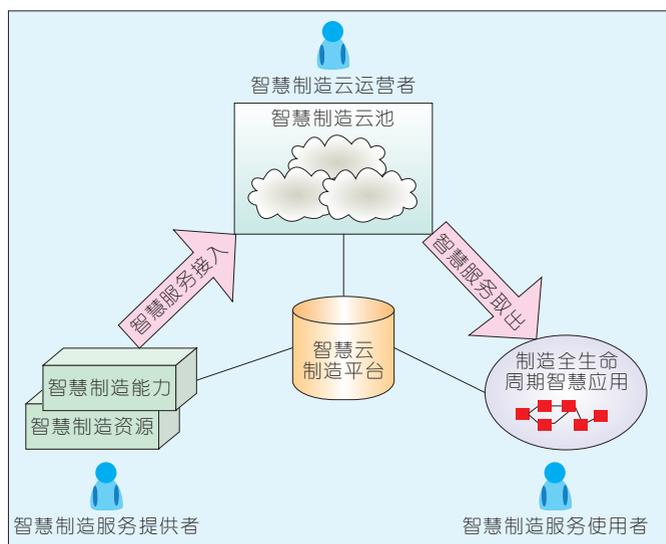
针对构建智慧云制造系统,我们特别提出了智慧云制造软件技术体系,它包括智慧云制造的系统软件技术、平台软件技术以及应用软件技术,如图4所示。

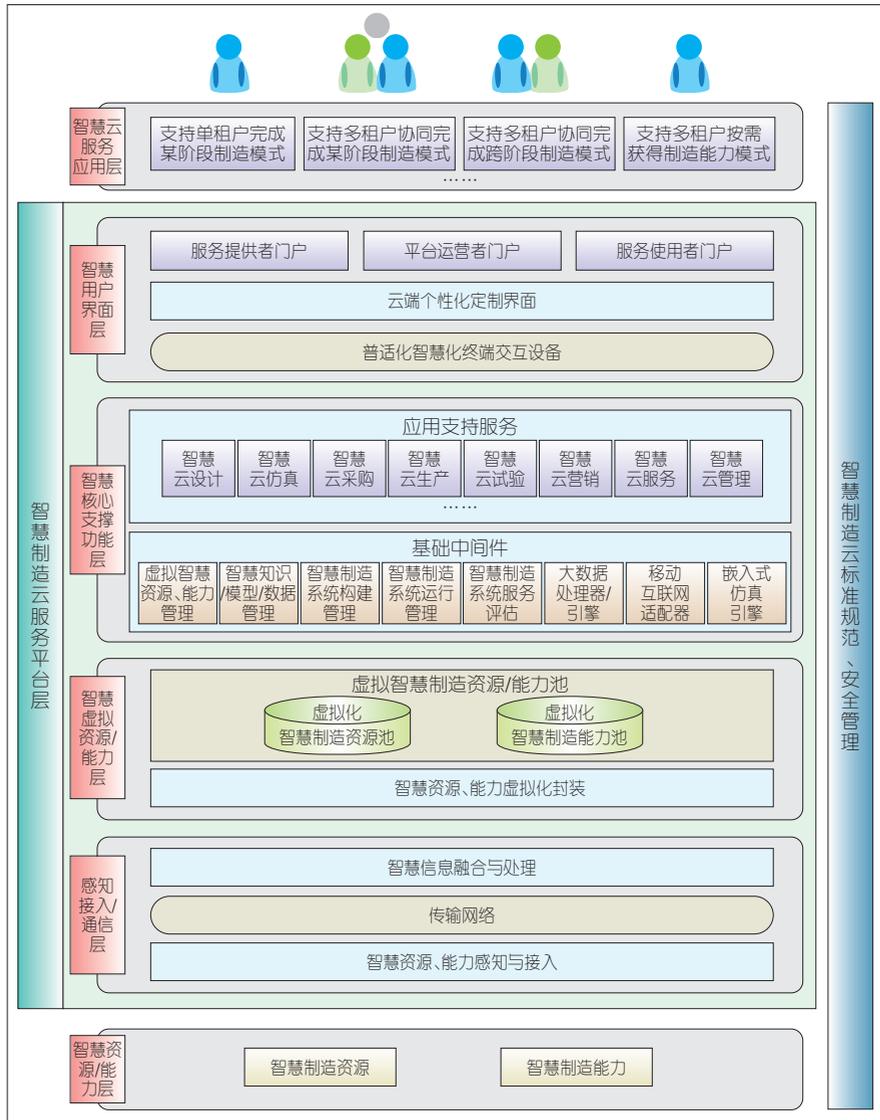
1.5 智慧云制造在制造业与互联网融合发展中的作用

我们认为:智慧云制造是“互联网+制造业”的一种制造模式和手段。首先,它是一种新的制造业经济发展模式,是以用户为中心,产品+服务为主导的,制造全系统随时随地、按需构建与运行的,以互联化、服务化、个性化、柔性化、社会化为主要特征的制造产品和服务用户的智慧制造模式。另外,它是一种新的制造业技术手段,如前所述,制造资源和能力智慧化技术手段包括以数字化、物联化、虚拟化、服务化、协同化、定制化、柔性化、智能化8个方面为特征的人、机、物融合的系统技术手段。新的模式、新的手段形成了一种新的业态——即以“泛在互联、数据为源、开放共享、跨界融合、自主智慧、万众创新”为特征的互联网+世界的新产业生态(如图5所示)。

值得指出的是,云制造相关研究

图1▶
智慧云制造系统(智慧制造云)概念模型





▲图2 智慧云制造系统(智慧制造云)体系结构



▲图3 智慧云制造系统技术体系

引起其他国家同行的关注,先后有美国、新西兰、英国等大学及研究机构开展云制造研究。2010年8月欧盟第七框架(FP7)启动了“云制造项目”。2013—2016年于美国召开的ASME(顶级)制造科学与工程会议(MSEC)上,新西兰、瑞典、美国、英国、德国等学者组织了多次云制造专题研讨会,本项目成员单位皆被邀发表了技术报告^[6]。

2 航天云网的实践

“航天云网”是中国航天科工集团公司基于本团队于2009年提出的云制造1.0及2012年提出的云制造2.0(智慧云制造)等制造理念、模式、技术手段和业态,研究开发成功的一种“智慧制造系统”雏形。

“航天云网”由3类制造云(网)组成。

(1)“航天(专有)云网”:面向航天科工集团自身装备制造转型升级的战略需求,基于航天科工集团专网,开发并成功运营了面向航天复杂产品的智慧云制造服务平台/系统(也称“航天(专有)云网”)。它是首个央企集团级的云制造服务平台/系统,服务于航天科工集团各类制造企业和产品用户的全要素资源共享以及制造全过程活动能力的深度协同。截至2016年6月30日,共注册企业100多家;光2016年在协作与采购专区发布了上万条需求,需求标的金额超过200亿元,共成交近1000笔,成交金额达数10亿元;在众创空间发布创新项目近200个;在装备保障专区完成多个航天复杂产品数据录入和运用。

(2)“航天(公有)云网”:面向社会各类大中小制造企业转型升级战略需求,基于公有互联网,开发并成功运营了中国首个以生产性服务为主体的“互联网+智能制造”的大型智慧云制造服务平台/系统(也称“航天(公有)云网”)。它服务于中国全社会各类制造企业和产品用户的全要



▲图4 智慧云制造软件技术体系

素资源共享以及制造全过程活动能力的深度协同。截至2016年6月30日,共注册企业超过150 000家;制造能力发布1 000多条,协作任务需求发布近10 000条,产品发布20 000多条,采购招标发布近20 000条;协作与采购需求发布金额近300亿元,平台整体成交约1 000笔,成交金额总计近100亿元。

(3)“航天(国际)云网”:面向国际各类大中小制造企业转型升级战略需求,基于国际互联网,开发成功的以生产性服务为主体的“互联网+智能制造”的大型国际智慧云制造服务平台/系统(也称“航天(国际)云

网”)。它目前已经开始与中亚地区的国家合作,服务于国际各类制造企业和产品用户的全要素资源共享以及制造全过程活动能力的深度协同。截至2016年6月30日,共注册企业数将近1 000家,云制造中心制造能力发布约10条,协作任务需求近100条;工业品商城产品发布约100条,采购招标需求约10条;已经开始陆续洽谈成交。

航天云网纵向应用的应用范例主要是按照制造业的范围领域进行划分,按照行业云、区域云、企业(工厂)云、车间云的分类体现智慧云制造在相关范围内的应用。以行业级

应用为例,代表性的案例是中国航天科工集团公司专有云网,目前可以支持开展机加、电装、计量检测、环境试验等协作配套业务,以及标准件、元器件、工具、刀具、模具等物资采购业务。实现了航天集团内制造资源的整合及资源竞争性交易对接,有效缩短了生产周期,提升了生产效率和资源利用率。

航天云网横向应用的应用范例主要是按照制造业产业链进行划分,按照研发设计、生产制造、采购供应链、销售营销等制造业全产业链的分类体现智慧云制造在相关范围内的应用。具体汽车研发应用为例,通过打造基于众包的快速原型研发平台,支持在线异地协同设计,实现设计流程串行到并行的转变,并能摒弃集中开发和集成,将非核心设计工作众包给社会化企业和个人,以此实现社会化研发,有效提升了研制效率和管理效率,极大节约了软件购置和模具定制成本。

3 智慧云制造中的问题

智慧云制造的发展需要注重创



▲图5 智慧云制造的新特征

新体系的建设,要实现“技术、应用、产业”的协调发展。有4类问题需要注意。

(1) 技术拓展研究

- 大力发展与融合“互联网+”相关技术,包括重视云制造与大数据技术、新一代网络技术、在线仿真(嵌入仿真)技术、智能科学技术的融合。

- 深化云设计、云生产、云管理、云试验、云服务等应用技术研究,包括云支持下的新模式、流程、手段的研究等。

- 结合各个行业与企业,创造有特色的商业模式,例如:长尾型、工具+等社群、跨界、O2O平台等。

- 重视开展相关标准和评估指标体系研究。

(2) 研究成果的产业化

- 云制造工具集和平台的工程化、产业化。

- 云制造系统的(行业、企业、车间制造云)建设。

- 建立运营团队,并且开展运营服务。

(3) 深化应用实施

- 围绕转变经济增长方式、增强企业市场竞争能力的目标,走良性循环发展的路线。

- 企业一把手挂帅,建立系统工程的观点,按复杂系统工程内涵实施云制造系统。

- 制订激励政策,建立创新体系,并组织开展知识、技术、产业发展项目。

(4) 进一步突出中国云制造研究与实施的特点与优势

- 突出应用需求牵引云制造体系建设。

- 突出新一代信息技术、大制造技术、智能科学技术和产品专业技术的深度融合。

- 突出以建立智慧制造新模式、新手段、新生态为核心。

- 突出面向制造企业与产品用户两类对象,实现产品制造全生命周期活动中的资源与能力服务化及制

造系统中三要素与五流的集成以及优化。

- 突出工业 2.0/3.0/4.0 同步发展为途径。

- 突出发挥“政、产、学、研、金、用”的团队力量。

致谢

感谢笔者牵头的“云制造技术研究与应用”团队多年来的共同努力与奉献!

参考文献

- [1] 制造强国战略研究项目组. 制造强国战略研究(综合卷)[M]. 北京: 中国工信出版集团, 2015
- [2] 李伯虎, 张霖, 王时龙, 等. 云制造——面向服务的网络化制造新模式[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(1): 1-7, 16
- [3] 李伯虎, 张霖, 任磊, 等. 再论云制造[J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17(3): 449-457
- [4] 李伯虎, 张霖, 任磊, 等. 云制造典型特征、关键技术与应用[J]. 计算机集成制造系统, 2012, 18(7): 1345-1356
- [5] 李伯虎, 张霖, 柴旭东, 等. 云制造[M]. 北京: 清华大学出版社, 2015
- [6] LI B H, ZHANG L, CHAI X, et al. Research and Applications on Cloud Manufacturing in China, Cloud-Based Design and Manufacturing (CBDM)[M]. Germany: Springer, 2014
- [7] KUMAR A, SHANKAR R, CHOUDHARY A, et al. A Big Data MapReduce Framework for Fault Diagnosis in Cloud-Based Manufacturing [J]. International Journal of Production Research, 2016:1-14. DOI: 10.1080/00207543.2016.1153166
- [8] BABICEANU R F, SEKER R. Big Data and Virtualization for Manufacturing Cyber-Physical Systems: A Survey of the Current Status and Future Outlook [J]. Computers in Industry, 2016, 81: 128-137
- [9] LEHMHUS D, WUEST T, WELLSANDT S, et al. Cloud-Based Automated Design and Additive Manufacturing: A Usage Data-Enabled Paradigm Shift [J]. Sensors, 2015, 15(12): 32079-32122
- [10] OSTASEVICIUS V, JURINAS V, MARKEVICIUS V, et al. Self-Powering Wireless Devices for Cloud Manufacturing Applications [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016, 83(9): 1937-1950. DOI: 10.1007/s00170-015-7617-x
- [11] TAPOGLOU N, MEHNEN J, VLACHOU A, et al. Cloud-Based Platform for Optimal Machining Parameter Selection Based on Function Blocks and Real-Time Monitoring [J]. Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME, 2015, 137(4): 040909. DOI: 10.1115/1.4029806
- [12] ARGONETO P, RENNA P. Supporting Capacity Sharing in the Cloud

Manufacturing Environment Based on Game Theory and Fuzzy Logic [J].

- Enterprise Information Systems, 2014: 1-18
- [13] LARTIGAU J, XU X, ZHAN D. Artificial Bee Colony Optimized Scheduling Framework Based on Resource Service Availability in Cloud Manufacturing. Service Sciences (ICSS)[C]// 2014 International Conference on Service Sciences(ICSS), USA: IEEE, 2014: 181-186
 - [14] 潘云鹤. 人工智能 2.0 [R]. 北京: 中国工程院, 2015
 - [15] 李伯虎, 柴旭东, 张霖, 等. 云制造研究与发展(制造强国战略研究二期出版物一章)[M]. 待出版
 - [16] Cloud Manufacturing [EB/OL]. <http://www.manuclouds.org>

作者简介



李伯虎, 中国工程院院士, 中国航天科工集团二院国家重点实验室学术委员会主任, 北京航空航天大学学术委员会委员、博士生导师, 现任中国系统仿真学会理事长、中国计算机学会会士、中国自动化学会制造技术专委会副主任等职务; 长期从事系统仿真及制造业

信息化方面的研究, 近期研究方向包括复杂系统仿真、高性能仿真计算机系统、云仿真、智慧云制造、智慧城市等; 获得国家科技进步一等奖 1 项、二等奖 3 项, 部级科技进步奖 16 项, 2012 年获国际建模与仿真学会(SCS)授予的“终身成就奖”并入选名人堂; 发表论文 300 余篇, 出版专著 14 本, 译著 4 本。



柴旭东, 航天云网科技发展有限公司副总经理、中国系统仿真学会常务理事、中国工业互联网产业联盟专家委员会技术标准组组长等; 研究方向为复杂系统建模与仿真技术、复杂产品多学科虚拟样机技术等, 现从事系统仿真及制造业信息化方面的工作; 先后主持

过多个国家级研究项目; 获国防科学技术进步奖一等奖 1 次、二等奖 2 次, 获教育部科技进步二等奖 1 次等; 发表论文 100 余篇。



张霖, 北京航空航天大学教授、博士生导师, 国际建模仿真学会主席, 中国系统仿真学会常务副理事长, 中国人工智能学会理事, 亚洲仿真联盟(ASIASIM) Fellow, IEEE 高级会员等; 研究方向包括云制造、复杂系统建模仿真、智能物联网、服务网络、软件工程等; 承担

各类国家级科研项目 20 余项; 获“国家图书奖”和“全国优秀科技图书奖”暨“科技进步奖(科技著作)”一等奖、教育部科技进步二等奖(排名 1)等奖项; 发表论文 200 余篇, 合作专著 5 本, 已授权国家发明专利 9 项。

对智能制造内涵与十大关键技术的系统思考

The Connotation and 10 Key Technologies of Smart Manufacturing

黄培/HUANG Pei

(武汉制信科技有限公司, 湖北 武汉 430223)
(e-works Technology Co. Ltd., Wuhan 430223, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 05-0007-004

摘要: 剖析了智能制造的内涵和其 10 项关键技术。认为智能产品与智能服务可以帮助企业带来商业模式的创新; 智能装备、智能产线、智能车间和智能工厂可以实现生产模式的创新; 智能研发、智能管理、智能物流与供应链可以实现运营模式的创新; 而智能决策则可以帮助企业准确决策。同时还结合若干典型案例, 分析了智能制造技术发展趋势和推进策略。

关键词: 智能制造; 工业互联网; 物联网

Abstract: In this paper, the connotation and 10 key technologies of smart manufacturing are introduced. Smart product and smart service can bring business model innovation; smart machine, smart production line, smart workshop and smart factory can bring production model innovation; smart R&D, smart management and smart logistics can realize operation model innovation; smart decision making can realize accurate decisions. Based on several case studies, we analyze the trend of smart manufacturing and provide the strategy of deploying smart manufacturing.

Keywords: smart manufacturing; industrial Internet; Internet of things

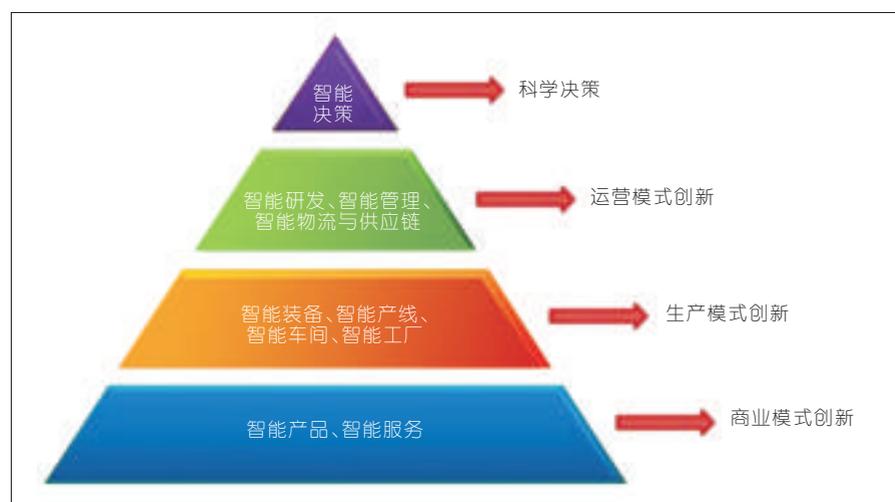
1 智能制造的内涵

智能制造是中国制造 2025 的主攻方向, 是实现中国制造业由大到强的关键路径。当前, 中国正在大力推进智能制造, 已连续两年支持智能制造专项项目, 发布了智能制造的标准体系。那么, 智能制造的内涵是什么? 我们认为, 智能制造的目标是整个制造企业价值链的智能化, 是信息化与工业化深度融合的进一步提升。智能制造融合了信息技术、先进制造技术、自动化技术和人工智能技术。目前, 智能制造的“智能”还处于 Smart 的层次, 智能制造系统具有数据采集、数据处理、数据分析能力, 能够准确执行指令, 实现闭环反馈; 智能制造的趋势是真正实现“Intelligent”, 智能制造系统能够实现自主学习、自主决策和不断优化。

智能制造有 10 项关键技术, 形成了 4 层的金字塔, 如图 1 所示。其中, 智能产品与智能服务可以帮助企业带来商业模式的创新; 智能装备、智

能产线、智能车间和智能工厂可以实现生产模式的创新; 智能研发、智能

管理、智能物流与供应链可以实现运营模式的创新; 而智能决策则可以帮助



▲ 图 1 智能制造的关键技术

收稿时间: 2016-07-22
网络出版时间: 2016-09-06

助企业科学决策^[1-3]。

2 智能制造的十大关键技术

2.1 智能产品

智能产品具有记忆、感知、计算和传输功能。典型的智能产品包括智能手机、智能可穿戴设备、无人机、智能汽车、智能家电、智能售货机等。企业应该思考如何在产品上加入智能化的单元,提升产品的附加值。比如在工程机械上添加传感器,可以对产品进行定位和关键零部件的状态监测,从而为实现智能服务打下基础。

美国 Bigbelly Solar 公司发布的智能垃圾桶(如图 2 所示)集太阳能、物联网、高效压缩机为一体,垃圾快倒满时,压缩机会在 40 s 内将垃圾的体积压缩至原来的 1/5,垃圾箱快满时自动联网发送垃圾桶已满及地理位置等信息至垃圾处理中心。处理中心的系统根据各个垃圾桶发回的数据分析,规划最佳回收路线和时间。该公司还在垃圾桶上安装 WiFi 部件,将垃圾桶变为公共的 WiFi 热点,加速了智能城市的发展进程。

2.2 智能服务

智能服务可以通过物联网感知产品的状态,从而进行预测性维修维护,及时帮助客户更换备品备件;可以通过了解产品运行的状态,帮助客

户带来商业机会;还可以采集产品运营的大数据,辅助企业进行市场营销的决策。企业开发面向客户服务的 APP,也是一种智能服务,可以针对客户购买的产品提供有针对性的服务,从而锁定用户,开展服务营销。

罗尔斯·罗伊斯公司推出针对其航空发动机产品的 Total Care 包修服务,按飞行小时收费,确保航空公司的飞行可靠性和在翼飞行时间,实现了与航空公司的双赢。该公司能够实现按服务绩效收费的基础是强大的传感与物联网技术。个性化定制也属于一种智能服务。创业公司 Yooshu 提供个性化定制服务,通过激光三维扫描仪扫描,再进行逆向工程获得三维曲面模型,然后通过工业机器人加工出符合客户脚形的舒适的沙滩鞋。

2.3 智能装备

智能装备具有检测功能,可以实现在机检测,从而补偿加工误差,提高加工精度,还可以对热变形进行补偿。以往一些精密装备对环境的要求很高,现在由于有了闭环的检测与补偿,可以降低对环境的要求。智能装备应当提供开放的数据接口,能够支持设备联网。

日本 MAZAK 的智能机床配备了针对加工热变位、切削震动、机床干涉、主轴监测、维护保养、工作台动态平衡性及语音导航等智能化功能,可

以自行监测控制机床运转状态,并进行自主反馈,从而大幅度提高机床运行效率及安全性。德玛吉森精机推出最新的复合加工中心 LaserTec65 已经融合了增材制造和减材制造,可以通过激光堆焊的增材制造工艺快速制造毛坯,在通过传统的切削方式进行精加工。ABB 推出的双臂机器人 YUMI 拥有 14 轴(如图 3 所示),双臂可以协同工作,带有机器视觉功能。

2.4 智能产线

钢铁、化工、制药、食品饮料、烟草、芯片制造、电子组装、汽车、轴承等行业的企业高度依赖自动化生产线,实现自动化的加工、装配和检测,但是装备制造企业目前还是以离散制造为主。很多企业的技术改造重点就是建立自动化的生产线、装配线和检测线。很多汽车整车厂已实现了混流装配,在一条装配线上可以同时装配多种车型。食品饮料行业的自动化生产线可以根据工艺配方调整分布式控制系统(DCS)或可编程逻辑控制器(PLC)系统来改变工艺路线,从而生产多种产品。汽车、家电、轨道交通等行业的企业对生产和装配线进行自动化和智能化改造需求十分旺盛,很多企业在逐渐将关键工位和高污染工位改造为用机器人进行加工、装配或上下料。西门子成都电子工厂通过在产品的托盘上放置射频识别(RFID)芯片,识别零件的装配工艺,可以实现不同类型产品的混线装配,如图 4 所示。

智能产线的特点是:在生产和装配的过程中,能够通过传感器或 RFID 自动进行数据采集,并通过电子看板显示实时的生产状态;能够通过机器视觉和多种传感器进行质量检测,自动剔除不合格品,并对采集的质量数据进行统计过程控制(SPC)分析,找出质量问题的成因;能够支持多种相似产品的混线生产和装配,灵活调整工艺,适应小批量、多品种的生产模式;针对人工工位,



◀图 2
Bigbelly 智能垃圾桶



◀图3
ABB YUMI 双臂智能
机器人



◀图4
西门子成都电子工厂
的智能总装线

进行防呆设计, 给予提示。

2.5 智能车间

要实现车间的智能化, 需要对生产状况、设备状态、能源消耗、生产质量、物料消耗等信息进行实时采集和分析, 进行高效排产和合理排班, 显著提高设备利用率(OEE)。因此, 制造执行系统(MES)成为企业的必然选择。对于药品、食品等行业, 国家有强制性的追溯要求, 需要通过GMP等行业认证, 推进MES更加紧迫。数字化制造(DM)技术可以帮助企业在建设新厂房时, 科学地进行设备布局, 提升物流效率, 提高工人的舒适程度。MES可以帮助企业显著提升设备利用率, 提高产品质量, 实现生产过程可追溯, 提高生产效率。智能车间必须建立有线或无线的工厂网络, 能够实现生产指令的自动下达和设备与产线信息的自动采集。实现车间的无纸化, 也是智能车间的

重要标志, 通过应用三维轻量化技术和工业平板和触摸屏, 可以将设计和工艺文档传递到工位。

数字映射技术可以将MES系统采集到的数据在虚拟的三维车间模型中实时地展现出来, 而且还可以显示设备的实际状态, 实现虚实融合。智能车间还有一个典型应用, 视频监控控制系统不仅记录视频, 还可以对车间的环境, 人员行为进行监测控制、识别与报警。例如, 有工人没有带安全帽, 进入了不允许进入的区域, 或者倒地, 都可以自动报警。这方面, 三星已经有了成功实践。此外, 智能车间应当在温度、湿度、洁净度的控制和工业安全(包括工业自动化系统的安全、生产环境的安全和人员安全)等方面达到智能化水平。

2.6 智能工厂

仅有自动化生产线和工业机器人还不是智能工厂。智能工厂不仅

生产过程应实现自动化、透明化、可视化、精益化, 产品检测、质量检验和分析、生产物流也应当与生产过程实现闭环集成。一个工厂的多个车间之间要实现信息共享、准时配送、协同作业。一些离散制造企业也建立了生产指挥中心, 对整个工厂进行指挥和调度, 及时发现和解决突发问题, 这也是智能工厂的重要标志。智能工厂需要应用企业资源计划(ERP)系统制定多个车间的生产计划, 并由MES系统根据各个车间的生产计划进行详细排产, MES排产的粒度是天、小时, 甚至分钟。

三星开展了移动工厂的实践, 工人可以通过智能手机查询工单, 可以开视频会议, 维修人员碰到疑难问题, 可以通过手机视频寻求专家解答, 还给智能手机配备了RFID和条码扫描的接口, 这也是一个智能工厂的创新实践。还有一些企业实现了智能刀具管理, 在刀柄上植入RFID芯片, 对刀具的全生命周期进行管理, 从而提高刀具使用寿命。智能检测也很重要, 检测仪器的检测结果可以自动录入信息系统。增强现实(AR)技术也将在智能工厂大显身手。工人带上AR眼镜, 就可以“看到”需要操作的工作位置, 从而提高作业人员的工作效率。美国GE公司宣布将工业互联网平台Predix开放, 提出了卓越制造理念。

2.7 智能研发

离散制造企业在产品研发方面, 已经应用了计算机辅助设计(CAD)/计算机辅助制造(CAM)/计算机辅助工程(CAE)/计算机辅助工艺过程设计(CAPP)/电子设计自动化(EDA)等工具软件和产品数据管理(PDM)/产品周期管理(PLM)系统, 但是很多企业还处于二维CAD和三维CAD软件混用的阶段, 存档依然是二维, 没有实现全三维设计; 应用仿真技术仍然处于事后验证, 没有实现仿真驱动设计; 虽然应用了PDM系统, 但还没有

建立企业内部的通用件库,重用率低;对工程/制造/服务物料清单(BOM)的管理不到位。企业需要深入应用仿真技术,建立虚拟数字化样机,实现多学科仿真,通过仿真减少实物试验;贯彻标准化、系列化、模块化的思想,以支持大批量客户定制或产品个性化定制;应当将仿真技术与试验管理结合起来,以提高仿真结果的置信度。流程制造企业也已经开始应用PLM系统实现工艺管理和配方管理。

在产品研发领域,已经出现了一些智能化软件。例如 Geometric 的 DFM PRO 软件可以自动判断三维模型的工艺特征是否可制造、可装配、可拆卸;CAD Doctor 软件可以自动分析三维模型中存在的问题;基于互联网与客户、供应商和合作伙伴协同设计,也是智能研发的创新形式;拓扑优化技术可以在满足产品功能的前提下,减轻结构的重量;系统仿真技术可以在概念设计阶段,分析与优化产品性能;PLM 向前延伸到需求管理,向后拓展到工艺管理,例如西门子 Teamcenter Manufacturing 系统可以建立工艺过程清单(BOP),更好地实现典型工艺的重用;索为高科和金航数码合作,开发了面向飞机机翼、起落架等大部件的智能设计系统,可以大大提高复杂产品设计效率。数字映射技术可以将实际产品中传感器采集的数据,传递到对应的产品数字模型,再通过虚拟仿真和优化,提升产品性能。

2.8 智能管理

ERP 是制造企业现代化管理的基石。以销定产是 ERP 最基本的思想,物料需求计划(MRP)是 ERP 的核心。制造企业核心的运营管理系统还包括人力资产管理系统(HCM)、客户关系管理系统(CRM)、企业资产管理系统(EAM)、能源管理系统(EMS)、供应商关系管理系统(SRM)、企业门户(EP)、业务流程管

理系统(BPM)等。为了统一管理企业的核心主数据,近年来主数据管理(MDM)也在大型企业开始部署应用。实现智能管理的前提条件是基础数据的准确性和主要信息系统无缝集成。

智能管理主要体现在各类运营管理系统与移动应用、云计算、电子商务和社交网络的集成应用。例如移动版的 CRM 系统可以自动根据位置服务确定销售人员是否按计划拜访了特定客户;一些消费品制造企业开展全渠道营销,实现了多个网店系统与 ERP 无缝集成,自动派单。主流电梯制造企业纷纷研发销售配置器软件,销售人员可以根据客户需求进行产品配置,快速报价。BPM 软件可以实现对业务流程进行建模,实现业务流程的可视化、模拟与优化,也是一个典型的智能管理应用。制造企业已经开始应用基于公有云的人力资源招聘、绩效和人才管理系统。例如,广东生益科技就很好地应用了 SAP 的 Success Factors 软件,完全基于公有云。

2.9 智能物流与供应链

制造企业越来越重视物流自动化,自动化立体仓库、无人引导小车(AGV)、智能吊挂系统得到了广泛应用,智能分拣系统、堆垛机器人、自动辊道系统的应用日趋普及。仓储管理系统(WMS)和运输管理系统(TMS)也受到制造企业普遍关注。其中,TMS 系统涉及到全球定位系统(GPS)定位和地理信息系统(GIS)的集成,可以实现供应商、客户和物流企业三方的信息之间的共享,可以基于云服务。

实现智能物流与供应链的关键技术包括自动识别技术、GIS/GPS 技术、电子商务、电子数据交换(EDI),以及供应链协同计划与优化技术。EDI 技术是企业间信息集成的必备手段,信息交互无需人工干预。而很多大型企业建立的供应商门户,供应商

只能手工查询。供应链协同计划与优化是智能供应链的核心技术,可以实现供应链的同步化,同时可以消除牛鞭效应。

2.10 智能决策

企业在运营过程中,产生了大量来自各个业务部门和业务系统的核心数据,这些数据一般是结构化的数据,可以进行多维度分析与预测,这是业务智能(BI)的范畴。内存计算是 BI 的重要支撑。目前,很多 BI 软件都能够实现移动应用。同时,制造企业有诸多大数据,包括生产现场采集的实时生产数据、设备运行的大数据、质量的大数据、产品运营的大数据、电子商务带来的营销大数据,以及来自社交网络的与公司有关的大数据等,对工业大数据的分析需要引入新的分析工具。IBM 推出的认知计算代表了智能决策的前沿方向。三一重工集团借助大数据和物联网技术,将工程机械通过机载控制器、传感器和无线通信模块进行实时采集,通过对大数据进行多维度分析和预测,使“挖掘机”指数成为中国经济运行的晴雨表,如图 5 所示。

3 智能制造技术发展趋势和推进策略

在智能制造大潮下,信息化与自动化厂商的界限变得越来越模糊;未来工业机器人的发展趋势是人机融合;在满足零件的强度要求前提下,通过将增材制造与拓扑优化等技术相结合,可以制造出内空的零件,重量甚至可以减少 70%;物联网技术在实现设备数据采集的基础上,可以进行分析与优化,并与应用软件集成,例如某台设备出现故障,车间排产软件自动不排该设备;AR 技术在生产制造、设备安装、培训、维修维护等环节将日益普及。

实现智能制造的核心是数据和集成,基础数据要准确,信息系统之

►下转第 16 页

面向智能制造的云平台技术

Intelligent Manufacturing-Oriented Cloud Platform Technologies

王恩东/WANG Endong
张东/ZHANG Dong
齐开元/QI Kaiyuan

(高效能服务器和存储技术国家重点实验室, 山东济南 250101)
(State Key Laboratory of High-end Server & Storage Technology, Ji'nan 250101, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 05-0011-006

摘要: 提出了基于融合架构构建面向智能制造的云数据中心的理念, 并认为利用高速互连、新型存储及内存计算、可重构等关键技术能够实现硬件重构和软件定义。应用实践表明: 通过3个阶段持续演进, 融合架构将引领敏捷、高效和智能的云数据中心, 从而推动智能制造快速发展。

关键词: 智能制造; 融合架构; 硬件重构; 软件定义; 云平台

Abstract: In this paper, we propose the key idea for constructing intelligent manufacturing-oriented cloud data center based on smart architecture. In addition, the key technologies, including high-speed interconnection, new storage and memory computing, reconfigurable technology are introduced to implement hardware reconfiguration and software defining. The practice shows that smart architecture will make cloud data center more agile, efficiency and intelligent through its three phases of evolution, and it will promote intelligent manufacturing developing rapidly.

Keywords: intelligent manufacturing; smart architecture; hardware reconfiguration; software defining; cloud platform

21世纪以来,新一轮科技革命和产业变革正在孕育兴起,全球科技创新呈现出新的发展态势和特征^[1]。面向工业制造领域,信息技术、生物技术、新材料、新能源广泛渗透使得传统制造智能化、服务化、绿色化趋势明显^[2]。特别是信息技术与制造业的深度融合正在深刻变革着工业产品设计研发、工艺制造、经营管理模式,从而更有效地配置资源,大幅度地提高生产效率,降低成本,提高核心竞争能力,从而推动产品换代和产业升级^[3]。

在科技创新和产业变革的趋势下,世界上主要的制造大国都推出了具有本国特色的“智能制造”发展战略。无论是美国的工业互联网、德国的工业4.0还是中国制造2025^[4],智能制造主要体现在以下几个方面:

(1) 生产过程智能化,即生产方式的自动化、精密化、智能化。

(2) 生产装备和产品智能化,即把芯片、传感器、软件嵌入到生产装备和产品中,使之具备动态存储、感知和通信能力,实现可追溯、可识别、

可定位。

(3) 制造模式智能化,即建立以个性定制、协同开发、精准推荐、智能生产、智能物流为代表的智能制造新模式。

(4) 管理智能化,将云计算、大数据、深度学习等技术以及现代管理理念融入到制造企业中,实现基于数据的精准经营决策。

(5) 服务智能化,即体现为高效、准确、及时挖掘客户潜在需求并实时响应,也体现为产品交付后通过线上线下(O2O)的相关服务实现全生命周期管理。

可以看到,智能制造离不开移动互联网、物联网、云计算、大数据等新一代信息技术的支撑和驱动。具体来讲,前端传感器、移动终端和嵌入设备时时处处感应着物理制造过程的状态变化,并将其转变为数字化原

始数据。整个工业系统基于物联网、移动互联网实现设备间、设备与控制系统、企业上下游的联通,将数据传输汇总到后端云数据中心。云数据中心对数据进行存储、建模和初步统计分析后形成信息;再进一步通过分类、归纳、演绎和预测等深度挖掘成为知识;最后,智能设备可在软件平台的控制下,对设计规程、制造指令、运维告警进行精确响应,灵活调整运行参数,产出智能产品来影响物理世界、服务大众生活^[5]。

因此,新一代信息技术推动着制造业向着数字化、网络化、智能化方向快速发展。这个过程以云计算作为计算和存储能力的资源平台,以工业互联网作为物理和信息系统的连接纽带,以大数据及相关技术作为知识共享、价值挖掘的认知方法,而围绕深度学习的芯片、算法则成为强化

收稿日期: 2016-07-19
网络出版时间: 2016-09-07

制造智能的优化工具。其中,云计算是基础,它可以为智能制造提供核心驱动力。

1 面向智能制造的数据中心面临的挑战

可以预见,今后面向智能制造的前端生产装备、智能产品将朝着轻量化和泛在化发展。通过物联网、工业互联网将各种各样的数据持续不断向后端传输,造成数据的爆发增长。除传统结构化数据外,音/视频、图片等非结构化数据比重快速增加,而其固有的不可预测性、不连贯语义使得难以进行分析处理。同时,数据处理的速度问题也愈发突出,需要以秒/分钟级为目标进行实时/准实时处理。也就是说,数据来源的多样性、语义的不确定性和处理的实效性使得后端计算量越来越大,对数据中心的存储和计算能力都提出了巨大的需求。在这种趋势下,面向智能制造的数据中心规模持续增长,且大规模数据中心也越来越集中。规模化、集中化的数据中心将面临着性能、效率、能耗等方面的诸多问题和一系列挑战。

首先是性能方面的瓶颈问题。2005年之后处理器主频基本停滞在3 GHz。同时,集成电路的制程工艺也遇到瓶颈,摩尔定律难以维持下去,2014年国际半导体技术蓝图(ITRS)宣布将不再遵循摩尔定律^[6]。性能上的另外一个问题在于存储性能瓶颈,处理器外部的主存、磁盘与内部寄存器、缓存的访问速度相差巨大,造成整个系统数据存取性能的不匹配。例如,主存访问时间比L1 Cache高出2个数量级,比磁盘快4~5个数量级。此外,网络瓶颈也是制约数据中心扩展性的重要因素,目前的数据中心普遍采用分布式架构,设备间的互连网络带宽远低于设备内的互连带宽,并且协议复杂、层次众多,使得业务系统扩展受到严重限制。

第2个挑战是效率问题。据

Gartner统计,目前数据中心的服务器平均利用率为12%^[7]。虽然通过虚拟化能实现计算资源在不同业务间的调度,从而使得单一设备的利用率提升到60%左右,但是传统架构中服务器、存储等设备是分离的,资源共享仅限于同类设备,这就使得整体的资源利用率仍然不高。效率低下的另一个原因是中央处理器(CPU)普遍采用通用的迭代电路设计,而图形处理器(GPU)、数字信号处理(DSP)等专用芯片采用专用硬件电路设计,在执行快速傅里叶变换(FFT)、离散傅里叶变换(DFT)等特定算法时并行度高,性能能够提高100~1 000倍。因此,提升CPU针对大规模应用的性能,或发展面向应用的专用和可重构计算单元,具有广阔的空间。

第3个挑战是能耗问题。统计分析表明,大多数数据中心的服务器能耗占比在50%以上,问题突出。在无法降低处理器功耗的前提下,就需要通过提升能效来实现以较少的能耗达到更高的性能。然而,就目前的工艺水平,通过维持功耗基本不变提升单颗处理器的性能难以实现。此外,深度学习等智能计算的发展进一步加剧了数据中心能耗和能效的双重挑战。例如,Google的AlphaGo其规模为1 920个CPU和280个GPU,在与李世石的对弈中,AlphaGo的功率为500 kW,而李世石仅为0.1 kW。由此可见,AlphaGo与人脑的计算效率差距巨大,这也表明CPU/GPU在设计上存在冗余或瓶颈,造成能效低下。深度学习若要大规模应用,将会给数据中心能耗带来更大的挑战,迫切需提升数据中心的单位能效。

2 面向智能制造的云台技术

随着规模的不断扩大,传统数据中心那种将设备进行简单堆积,以交换机连接,再辅以虚拟化软件进行资源调度和管理的方式已经无法满足智能制造带来的计算量与数据量需

求,必须在各个层面进行技术的创新,推动数据中心架构的变革。我们将这种适应未来需求的全新数据中心架构定义为融合架构^[8]。

融合架构就是面向应用的硬件重构和软件定义^[9],也就是在硬件层将计算、存储、网络整合为资源池,在软件层动态感知业务的资源需求,利用硬件重组的能力,智能地动态分配和组合资源,以满足各类应用的需求。融合架构的实现,从当前来看至少需要以下几个方面的关键技术来做支撑:

(1)在高速互连方面,硅光技术的发展将加速硬件解耦化,为硬件重构奠定基础。

(2)高性能非易失性存储器的突破性进展将简化存储层次结构,大幅提升系统效能。另外,大容量内存技术将使得内存计算成为现实。

(3)可重构计算技术的发展使得硬件面向软件优化,或者说硬件适配软件成为可能。

(4)软件定义将支撑面向应用优化的数据中心基础设施的按需重构。

2.1 高速互连

光互连相对于电信号互连具有高带宽、低延迟、长距离等优势,而硅光互连相对于目前用于板间或者节点间通信的光纤技术又有着更高的通信速率、更低的功耗,以及因更简单的结构所带来的更高部署密度和更简单互连协议等优点。例如,电互连的传输速率是10 Gbit/s,而光互连可达30 Gbit/s,并且通过波分复用并行传输可进一步达到Tbit/s级的速度。同时,光学器件的体积较小,部署密度是电互连的5倍以上,而功耗仅为1/7^[10]。硅光技术的上述优势,使其特别适合用于芯片间的高速和长距离互连,其应用将加速推动硬件资源的解耦,进而实现数据中心硬件资源的物理池化。

硅光技术将使目前毫秒级的跨节点访问延迟缩短至纳秒级,使节点

内和节点间的访存延迟几乎没有差异,因此资源的解耦和池化便成为可能,如图1所示。目前虚拟化技术采用的分时复用模式是在硬件资源无法从物理上切分时的选择,但虚拟化本身带来了额外的资源开销。因此,当硬件资源具备物理的解耦能力之后,一种基于软件定义的资源边界配置与组织模式,将会较大程度上提升数据中心的总体能效。

2.2 新型存储与内存计算

随着半导体工艺的进步,非易失性存储性能在性能和容量密度方面已经取得较大进展,将对计算机系统的存储层次结构产生重大影响^[11]。内存与外存合二为一,存储层次更加扁平化,如图2所示。这种扁平化将带来更低的数据访问延迟、更高的访问带宽,以及更大容量的存储空间,支撑实现更高效率的“内存计算”。近年来,非易失性内存固定存储器(NVM)

和传统动态存储器(DRAM)单位容量的成本持续下降,而服务器的内存容量支持能力大幅增长,也使得在内存中缓存海量的实时数据成为现实。内存计算通过将用户程序在内存中执行,避免了传统架构中访问磁盘的输入输出(I/O)瓶颈和并行度差的问题。例如,K-means聚类和Logistic回归算法的处理速度在Spark内存计算架构下将比传统Hadoop提升37.8倍和114倍^[12]。

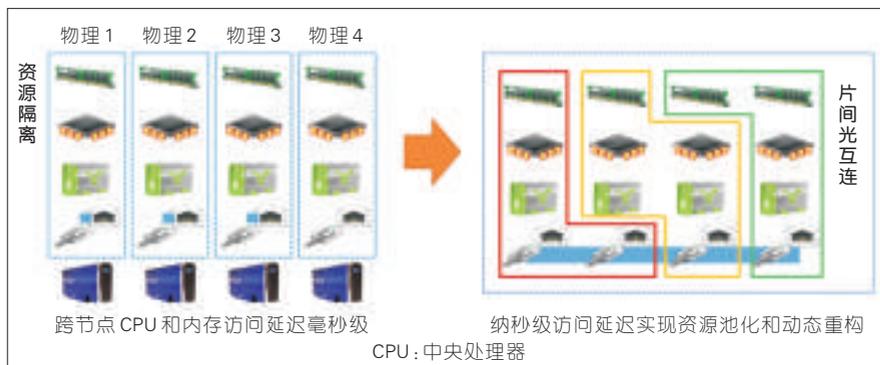
2.3 可重构技术

可重构技术可以分为数据中心级、系统级和芯片级3个层次,芯片级的可重构即是根据应用的需求进行芯片功能重构。随着3D晶体管工艺的推广应用,处理器芯片内部的晶体管资源更加丰富,可编程现场可编程门阵列(FPGA)的性能和容量也都大幅提升,使得面向特定应用重构硬件逻辑成为可能^[13]。可重构处理器

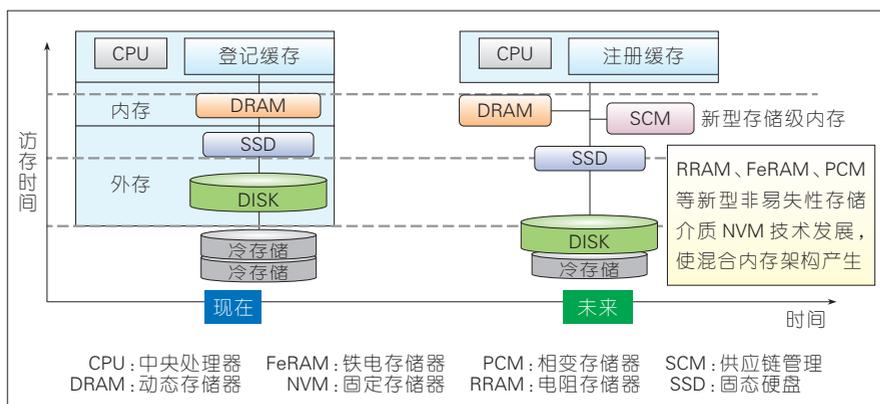
既保持了处理器的通用性,又具备专用硬件逻辑的高效率,以及逻辑可重构带来的灵活性。这实际上就是一种更细粒度的软件定义的资源重构,将对数据中心整体效率带来较大提升。实现可重构的关键是应用逻辑的在线快速动态加载与切换。将应用逻辑划分为通用静态逻辑和专用动态逻辑,如图3所示。通用的静态逻辑可以预先配置,用于建立异构部件与CPU的数据通路;而动态逻辑与应用特征有关,可以通过CPU与加速部件的高速接口完成目标应用在线快速切换,从而在毫秒级内完成逻辑动态重构。

2.4 软件定义

软件定义的基本思想是控制与基础设施分离,实现逻辑集中的资源弹性调整、动态分配与可编程配置,也就是说将计算、存储、网络等基础设施资源化,作为随需提供的服务。目前,软件定义的关注重点正在从资源抽象和控制分离,逐步扩展到业务感知能力。特别是在数据中心资源管理中引入机器学习技术,例如在模式识别、音/视频处理等领域广泛应用的深层神经网络^[14],建立应用感知的资源重构决策系统,赋予基础设施感知上层应用需求、识别资源使用行为特征的能力,为业务构建最佳运行环境。



▲ 图1 硅光互连使得资源池化成为可能

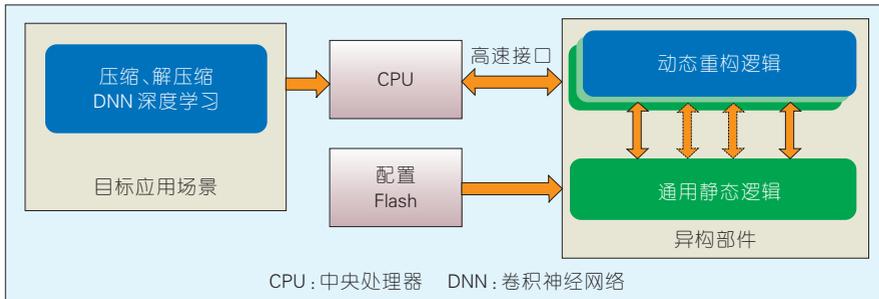


▲ 图2 存储架构的演变

3 融合架构演进路线及应用实践

融合架构的最终形态,就是硬件趋于一致,软件定义一切。通过硬件重构,将各种资源融合到一个全新形态的设备中,再通过软件定义表现出计算、存储、网络、安全功能,派生出科学计算、大数据和人机交互等业务,满足不同的智能制造应用场景需求。具体到发展路线,我们认为可以从软、硬件2个层面演进,并分3个阶段逐步发展。

(1) 第1阶段,在硬件上实现散



▲ 图3 可重构异构部件架构

热、电源、管理功能等非IT资源的集中化和模块化,并利用软件虚拟化实现计算、存储等IT资源的池化和集中管理。

(2)第2阶段,进一步将非计算部分的存储、网络等IO设备进行池化,机柜内采用硅光电等技术进行高速互联,并以软件定义的计算、存储和网络来满足业务需求。

(3)第3阶段是最终将CPU、内存等所有IT资源完全池化,从硬件上可实现任意组合,根据应用需求智能地分配和组合相关资源,实现完全意义上业务驱动的软件定义数据中心。

3.1 第1代融合架构

第1代融合基础架构的特征是实现散热、电源、管理等非IT资源的集中化和模块化,如图4所示。与传统架构相比,集中供电能够提高系统供电效率,减少电源自身的损耗;集中散热不但方便系统维护,而且能够降低系统散热功耗;对资源的集中管理能够实现系统功耗监测控制、散热调控等智能化管理。

第1代融合架构代表是参照美国开放计算项目(OCP)^[15]和中国天蝎规范^[16]研发的机柜级服务器,OCP和天蝎规范都针对机柜服务器的尺寸、空间、设施、供电等方面形成各自统一标准,已经在全球互联网巨头的数据中心广泛应用。例如,Google每年采购量在40万节点,Facebook每年25万节点,中国BATQ每年也都在10万节点以上。通过第1代融合架构应用,中国互联网数据中心的空间利用率

可以提升13.8%,能耗降低15%以上,总所有成本(TCO)降低10%,部署效率提高10倍,浪潮在百度阳泉数据中心更是创造了单日部署1万节点的记录。

3.2 第2代融合架构

第2代融合基础架构在第1代基础上,基于高速互联构建分布式网络,进一步将存储硬件池化,并通过软件定义实现资源拓扑灵活定义、存储按需供给,如图5所示。

第2代融合架构的典型代表是云服务器架构(CRA)。网络方面,CRA将传统网卡、交换机取消,统一设计为统一网络引擎(UNE),每个UNE链接4个节点,相互之间组成分布式网络构成一个机柜级交换核心,实现与主干网络的连接。每个UNE对内有8个25G的外设部件快速互连(PCI-E)接口,而对外有4个40G和4个100G的以太网接口,如图6所示。相比传统网络,该架构可以:(1)通信延迟降低77%。传统架构最低通信延迟超过10μs,但是CRA仅为2.3μs。(2)灵活多样,按需扩展。基于分布式网络,通过软件定义能够支持多种组网方式,并且可以根据负载和应用类型进行纵/横向流量动态调配,网络规模可以按需扩展。在存储方面,CSA将原属于各个节点的存储空间池化,形成存储扩展节点,通过PCI-E高速网络连接,最大能扩展到24×12盘位。此外,通过集成虚拟化

图4
第1代融合架构

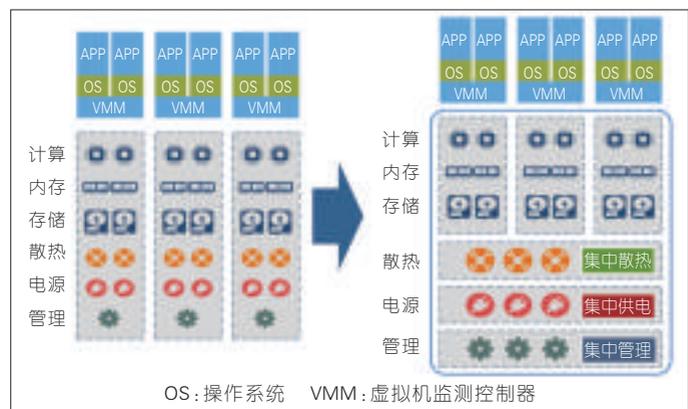
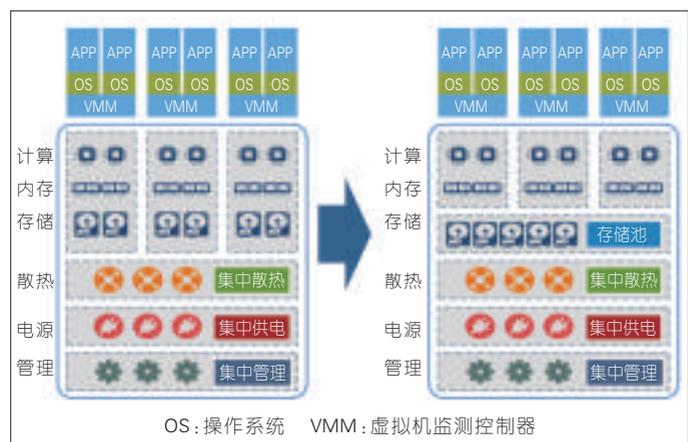


图5
第2代融合架构



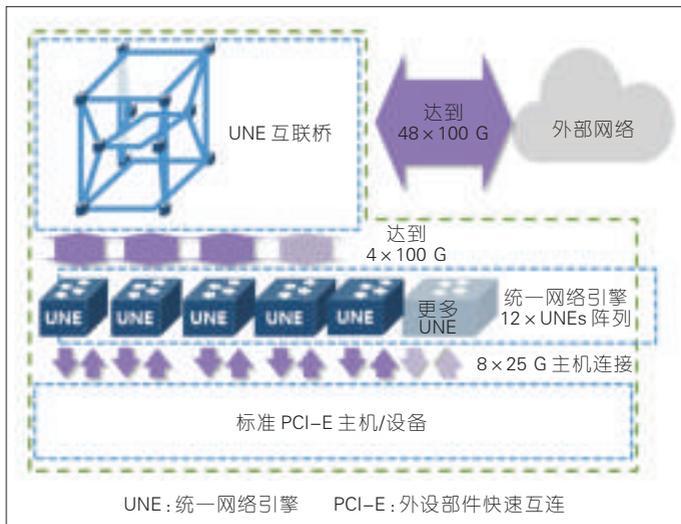


图6 分布式网络架构

生产车间内的一切, 监视生产的每个环节, 准确控制每个生产步骤和节拍, 科学管控仓储和物流系统, 根据个性化需求和生产情况变化快速规划出及时、准确的控制指令。第3代融合架构能够通过感知上层业务的类型和资源需求, 利用硬件的重构能力动态地分配和组合资源, 变化高效灵活的服务形态, 为上述智能制造场景构建最佳的运行环境, 并能够有效提升应用性能和系统能效, 具体如图8所示。

4 结束语

作为支撑智能制造的重要基础设施, 融合架构能够从更深层次上提高云数据中心的精简化和智能化程度, 促进能源使用效率(PUE)降低至

平台和云管理平台, 实现硬件和虚拟资源的统一管理, 形成软硬一体的基础设施即服务(IaaS)解决方案。

CSA通过一体化的基础架构融合, 不仅电源、管理等模块全部采用冗余和热插拔设计, 两路/四路/八路通用计算节点、集成众核(MIC)/GPU/协处理异构加速节点、存储扩展节点都可以按需配置, 能够满足智能制造领域智能监测控制、数字订单、协同管理、工业分析和预测等全方位的应用需求, 同时部署密度提高52%, 部署效率提高10倍。基于CSA、利用FPGA构建的语音识别系统功耗只相当于CPU方案的15.7%, 性能可以提升2.87倍。

软件层面的代表是云海云数据中心操作系统InCloud OS, 基于OpenStack构建并增强, 全面支持软件定义, 统一管理主流小型机、x86服务器和存储, 支持异构虚拟化和混合云管理, 如图7所示。InCloud OS通过整合异构设备, 资源利用率提高70%, 空间成本节省50%, 服务交付时间由数天缩短至分钟级, 业务部署时间由平均12h缩短至5min, 有效提升智能制造信息系统的管理和运维效率。

内存、存储、网络完全池化, 完全按需进行资源的软件定义。在未来的智能工厂, 即使远在千里之外也能洞悉

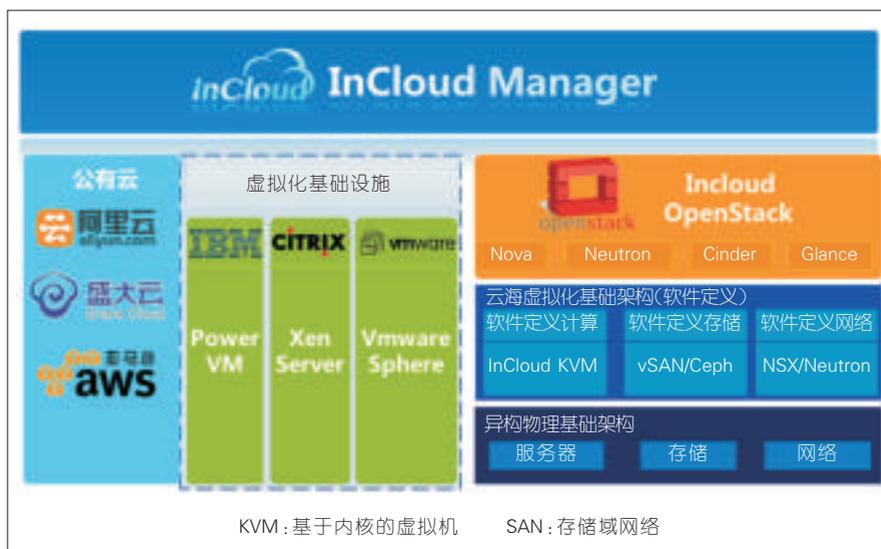


图7 InCloud OS架构

3.3 第3代融合架构

第3代融合架构的特征是CPU、



图8 第3代融合架构

1.2 以下;通过将各类资源整合为资源池,可以实现资源的任意重构,资源利用率提高 50%;满足弹性伸缩和超大规模持续扩展需求,扩展性提高 20 倍以上;通过感知业务的资源需求,数据中心可以自动重组资源来为业务构建最佳的运行环境,按需建立从底层硬件到上层业务软件的信任链,让应用软件与基础设施之间的契合程度达到一个前所未有的水平,从真正意义上赋予数据中心高效、绿色、灵动、智能,驱动智能制造的快速、健康发展,支撑“中国制造 2025”的实现。

致谢

本文得到李仁刚高级工程师、苏志远博士的帮助,谨致谢意!

参考文献

[1] 周济. 智能制造—“中国制造 2025”的主攻方向[J]. 中国机械工程, 2015, 26(17): 2273-2284
 [2] 张洁, 吕佑龙. 智能制造的现状与发展趋势[J]. 高科技与产业化, 2015(226): 42-47
 [3] 陶永, 王田苗, 李秋实, 等. 基于“互联网+”的制造业全生命周期设计、制造、服务一体化[J]. 科技导报, 2016, 34(4): 45-9
 [4] 冯国华. 因地制宜打造大数据驱动的智能工业

[IN]. 中国电子报, 2015-01-12
 [5] 于青利, 李曼, 周倩. 云计算时代托举智能制造走向成功[J]. 世界电信, 2015(7): 28-36
 [6] International Technology Roadmap for Semiconductors. 2014 ITRS Reports[R]. Gyeonggi-do, 2014
 [7] The Sorry State of Server Utilization and the Impending Post-Hypervisor Era [EB/OL]. <https://gigaom.com/2013/11/30/the-sorry-state-of-server-utilization-and-the-impending-post-hypervisor-era/>
 [8] 王恩东. 融合架构引领云计算数据中心[R]. 北京: 第八届中国云计算大会, 2016
 [9] 张广彬, 盘骏, 曾智强. 数据中心 2013: 硬件重构与软件定义[R]. ZDNet 企业解决方案中心, 2014
 [10] ROELKENS G, LIU L, LIANG D. III-V/Silicon Photonics for On-Chip and Intra-Chip Optical Interconnects [J]. Laser & Photonics Reviews, 2010, 4(6): 751-779
 [11] TORRES L, BRUM R M, CARGNINI L V, et al. Trends on the Application of Emerging Nonvolatile Memory to Processors and Programmable Devices[C]//2013 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS2013). USA: IEEE, 2013: 101-104
 [12] ZAHARIA M. Parallel Programming with Spark [EB/OL]. <http://ampcamp.berkeley.edu/wp-content/uploads/2013/02/Parallel-Programming-With-Spark-Matei-Zaharia-Strata-2013.pdf>
 [13] HAUCK S, DEHON A. Reconfigurable Computing: the Theory and Practice of FPGA-Based Computation [M]. USA: Morgan Kaufmann, 2010
 [14] LECUN Y, BENGIO Y, HINTON G. Deep Learning [J]. Nature, 2015(521): 436-444
 [15] Open Compute Project [EB/OL]. <http://www.opencompute.org/>

opencompute.org/
 [16] 开放数据中心委员会. 天蝎整机柜服务器技术规范[S]

作者简介



王恩东, 中国工程院院士, 高效能服务器和存储技术国家重点实验室主任、研究员; 主要研究方向为计算机体系结构; 主持国家科技课题 10 余项; 获国家科技进步奖 3 项、省部级科技进步奖 7 项; 发表论文 22 篇, 出版专著 3 部, 授权发明专利 24 项。



张东, 高效能服务器和存储技术国家重点实验室副主任、教授级高级工程师; 研究方向为云计算、信息安全、操作系统; 主持“863”等国家科技课题 2 项, 参与完成多项; 获得国家级科技进步奖 1 项、省部级科技进步奖 3 项; 发表论文 10 余篇, 授权发明专利 12 项。



元开元, 高效能服务器和存储技术国家重点实验室工程师; 主要研究方向为云计算、大数据; 作为核心人员参与过多项国家级项目; 发表论文 20 余篇, 授权发明专利 3 项。

←上接第 10 页

间, 信息系统与自动化系统之间应实现深度集成, 避免形成“智能孤岛”。智能制造涵盖诸多软件、硬件和自动化技术, 需要推进工业工程, 实现精

益生产, 对业务流程和工艺流程进行梳理与优化。智能制造是一个复杂的系统工程, 是企业转型的手段而不是目的, 制造企业应当根据自身的产品特点和生产模式, 制订智能制造推

进路线图, 做好投入产出分析, 否则可能大伤“元气”。制造企业并不需要成为“十项全能”冠军, 只要在某几个方面做得很出色, 就能建立差异化竞争优势。



◀图 5
2015 年 12 月三一重工集团的“挖掘机”指数

参考文献

[1] 杨明, 李培根. 互联网与智能制造可以更好地融合[J]. 装备制造, 2015(12):2-3
 [2] 陈祎焱. 智能制造: 两化深度融合主攻方向[J]. 企业管理实践与思考, 2015(2):31-32
 [3] 蒋明炜. 智能工厂: 实现智能制造的重要载体[J]. 中国工业评论, 2016(1):28-36

作者简介



黄培, 武汉通信科技有限公司总经理、e-works 数字化企业网总编、中国机械工程学会高级会员、湖北省机械工程学会常务理事、华中科技大学兼职教授; 曾荣获国家科技进步二等奖; 担任 3 项国家“863”项目的负责人, 是中国知名工业软件企业开目软件的创始人之一。

工业 CPS 技术、架构及应用策略研究

Technologies, Architecture and Application Strategies of Industrial CPS

刘棣斐/LIU Difei
田洪川/TIAN Hongchuan
刘贺贺/LIU Hehe

(中国信息通信研究院, 北京 100191)
(China Academy of Information and
Communications Technology, Beijing
100191, China)

随着嵌入式系统、自动控制技术和传感器技术的深入发展,以及物联网和新型信息技术的迅速兴起,信息物理系统(CPS)^[1]应运而生。CPS的概念最早在2006年由美国自然科学基金委提出^[2-3]:CPS是一种计算资源和物理资源紧密结合和协作的系统,能通过计算智能、通信和控制的深度融合以及相关技术的新发展来改变我们的世界。此概念一经提出,就因其多学科融合的前沿性和广阔的应用前景而得到广泛关注和高度重视。

尤其在工业领域,德国“工业4.0”战略^[4]、美国“先进制造”战略^[5]和“中国制造2025”战略^[6]都强调通过信息技术和传统制造业的深度融合来实现智能制造,而实现融合的核心则是能够连接虚拟数字世界和现实物理世界的CPS。换言之,CPS是智能制造的关键技术,是促进工业化与信息化融合的重要抓手,是当前工业革命战略布局的主要方向。

尽管目前关于CPS的定义尚未统一,不同定义所采用的描述方法和关

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 05-0017-004

摘要: 认为信息物理系统(CPS)是传统自动化控制系统和新型信息技术融合的产物,是工业领域实现智能制造的必要基础。在研究智能制造实施过程中所面临的设备联通、信息集成和分析优化等需求的基础上,提出了涵盖不同层级的、能够描述工业信息物理系统特征的通用架构体系,并重点阐述架构体系实施过程中需要关注的关键技术要素。认为中国应该把握发展机遇,积极布局相关技术和应用,稳步推进CPS在工业领域的应用。

关键词: 信息物理系统; 智能制造; 架构体系; 关键技术; 策略建议

Abstract: Cyber physical system (CPS) is the integration of traditional automation control systems and novel information technologies, and it is the essential foundation for implementing intelligent manufacturing. In this paper, we propose a universal architecture covering different levels to present the features of industrial cyber physical system, and focus on the main technologies that should be concerned during architecture implementation. China should take the development opportunities, and actively arrange related technologies and applications, and steadily promote the application of CPS in the industrial field.

Keywords: cyber physical system; intelligent manufacturing; architecture system; main technologies; suggestions

注重点各不相同^[7-9],但对于工业领域来说,CPS可以被视为一个由嵌入式系统、网络、软件、数据平台等信息要素与生产设备、传感器件、操作人员等物理实体所构成的“智能闭环系统”。CPS的本质是借助先进的传感、通信、计算和控制技术实现生产过程中信息单元和物理实体在网络环境下的高度集成和交互,构建从数据感知到数据处理的自下而上的信息流和从分析决策到精准执行的自上而下的控制流^[10],最终达到自主协调、效率提升、性能优化和安全保障的智能制造目标。

文章中面向工业领域的CPS,我们重点研究如下几个方面内容:(1)分析在智能制造实施过程中CPS所

能解决的关键问题;(2)提出一个涵盖企业不同层级的、能够描述工业领域CPS应用特征的通用架构体系,并分析架构体系中所涉及的关键技术要素;(3)针对典型企业应用案例进行剖析,展示CPS在智能制造领域中的应用模式和具体场景;(4)中国推进工业领域CPS实施应用的策略和方法。

1 CPS 解决的问题

智能制造是对基于新一代信息技术实现信息深度感知、智能优化决策和精准控制执行功能的制造过程和生产模式的总称。实施智能制造能有效地缩短产品研制的周期,提高生产效率,提升产品质量,同时降低

收稿时间: 2016-07-25
网络出版时间: 2016-09-01

成本和消耗。

但是,在当前智能制造的实施过程中,制造业仍面临不少问题亟需解决。在工业领域开展CPS研究和应用,则能够有效解决这些问题。

(1)CPS能够解决当前工业生产数据、装备数据和产品数据采集的完整性、及时性和准确性问题。由于传感器部署不足,装备智能化水平低等因素制约,当前工业生产现场的数据采集存在着数据量不够,数据类型不丰富,数据精度不高等问题,无法形成支撑高级分析和智能优化的底层海量数据源。CPS能够借助先进的嵌入式系统和传感器技术,增强对底层数据的采集能力,支撑工业系统实现智能深度感知。

(2)CPS能够解决当前工业信息的横向和纵向集成问题。受制于数据接口标准的不统一,数据运营的相对孤立封闭,以及数据和网络的异构问题,工业数据难以实现横向集成。而工业数据的纵向集成则主要受制于企业管理层和生产现场层之间的网络隔离和企业内部尚未形成统一化网络接口,导致生产现场的管理平台间无法实现实时数据的双向传递。CPS可以通过构建新型工业数据集成平台,能够按照统一标准对不同来源和不同类型数据进行集成处理,实现数据信息的横向、纵向连通和共享。

(3)CPS能够解决当前工业数据计算分析能力和应用能力不足的问题。一方面,现有工业计算工具和分析方法长期停滞在较为初级的水平;另一方面,当前工业大数据分析的应用能力不足,无法基于海量的工业数据形成更深层次的运营决策优化、生产效率优化和设备运行优化等。CPS能够提供数据分析应用软件并打造新型工业数据分析平台,从而提升对工业数据的计算分析水平,促进行业内的生产智能化应用。

在解决上述3个问题的基础上,CPS的深入应用还可以进一步实现

对工业生产过程的全面优化,例如基于工业装备和产品的监测控制感知和分析反馈,实现能够提升效率的企业资产优化,以及基于大数据分析决策,实现能够创造服务新价值的运营优化等。

2 CPS的架构体系和关键技术

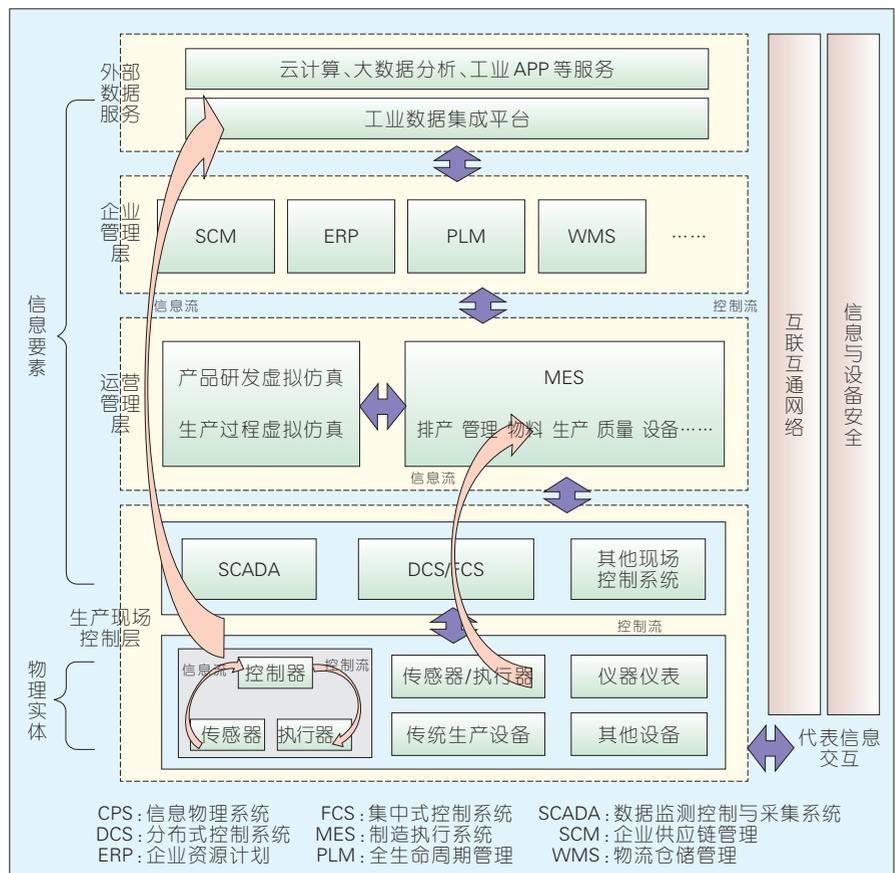
2.1 企业实施CPS的架构体系

从定义可知,CPS中既包含物理实体又包含信息要素,对应到企业或工厂之中,就囊括了从生产现场控制、运营管理、企业管理到企业外部服务的不同层级。一个通用的企业CPS实施架构就是由这些层级中的相关实体要素和功能要素以及它们之间的相互关系共同构成的,如图1所示。

架构体系中的物理实体部分位

于最底层,由企业生产现场控制层中的含有传感器、控制器和执行器的各类生产设备构成。它们是整个信息物理系统实现环境感知的数据采集源头,也是与物理世界进行交互的决策执行终点。而架构体系中的信息要素部分则覆盖了更广泛的范围,从生产控制层的分布式控制系统到运营管理层的虚拟仿真软件和制造执行系统,再到企业管理层的各类信息化业务系统以及更高层次的企业外大数据应用服务,来自底层的数据信息在不同层级间传递、处理和分析,形成相应的决策结果并反馈到物理实体去执行。另外,为了保证信息的连通性和安全性,在架构体系中还应该贯穿始终地关注网络连通和安全防护两部分内容。

另外,在图1中还展示出了架构体系中所包含的3种类型的CPS:首先是结合嵌入式系统实现感知、计



▲图1 企业/工厂中的CPS架构体系

算、决策和执行能力集成的单个信息物理设备,例如新一代的智能工业机器人;其次是利用网络连接各类物理设备(可包括单个信息物理设备)和分析软件以实现智能闭环控制的信息物理系统,例如车间内的分布式控制系统和智能物流配送系统;最后是由不同信息物理系统通过信息连接和行为交互实现协同的“系统的系统”,例如一个容纳了各类智慧业务系统的智能工厂。

2.2 实现 CPS 的关键技术

(1) 工业设备智能化技术

在工业领域,信息系统与物理系统交互的基础是智能化的工业设备,包括传感器、执行器、可编程逻辑控制器(PLC)等。实现设备智能化的关键依托是嵌入式技术,既包括传统的实时嵌入式系统,又包括新兴的物联网嵌入式系统和设备厂商的自定义嵌入式系统。利用嵌入式技术实现工业设备的集成化,使其在数据采集、计算处理和指令响应等方面的功能得到持续增强。

(2) 工业软件智能化技术

工业软件是信息物理系统中构建信息世界的载体,包括设计研发、生产运营和企业管理等各类工具软件。工业软件智能化是指实现软件的云端化、集成化和仿真化,例如依托云平台构建软件即服务(SaaS)以大幅降低企业信息化成本;以企业资源计划(ERP)为中心实施管理软件集成化来提升系统间的互操作能力;能够覆盖产品设计到制造全流程的仿真建模和虚拟运行实现从信息世界到物理世界的优化等。

(3) 数据集成和分析技术

数据的集成和分析是信息物理系统决策生成的关键。当前的数据集成和分析主要实现方法有工业云平台、大数据平台以及相应的大数据分析软件,主要涉及大容量存储、高速处理芯片、海量异构数据的组织和融合,以及基于模型和迭代分析的数

据处理和分析等技术。通过数据的集成和分析来促进企业能力的提升,并形成智能制造的开放生态系统。

(4) 高性能网络通信技术

网络是信息物理系统实现泛在连接的核心支撑。高性能网络通信技术要解决不确定信息信号、异构系统模块的实时可靠通信与处理问题。从实时通信的技术构成来看,可以分为有线网络的现场总线技术和工业以太网技术,无线网络的蓝牙、WiFi、Zigbee 等近场通信技术和 LTE/5G 移动通信技术;从互联互通的技术构成来看,包括异构网络、异构系统集成和跨平台互通等技术。

(5) 安全防护技术

安全防护是信息物理系统的本质要求。安全防护核心技术主要涉及工业以太网入侵检测技术、兼容多类型嵌入式系统的安全防护技术、适合工业安全隔离要求的现场认证与密码技术、面向工业协议和工业设备的漏洞挖掘技术等。

3 CPS 应用案例分析

当前,工业领域内有越来越多的企业开始进行 CPS 的探索和应用,并在不同的应用场景中形成了一批具有代表性和示范性的应用成果。

(1) 信息物理设备——ABB 人机协作机器人

ABB 于 2015 年正式推出了代号为 YuMi 的人机协作机器人以满足电子消费品行业对柔性和灵活制造的需求^[14]。相比于传统工业机器人而言,YuMi 最大的特点是实现了与人类的近距离协作。这得首先得益于机器视觉和新型力传感器的应用,使得 YuMi 具备了视觉和触觉,大大提升了它对周边环境的感知能力。在环境信息获取的基础上,嵌入式安全系统和智能控制算法的应用则赋予了 YuMi“思考”和“决策”的能力,能够自动适应环境变化并进行安全的轨迹规划。最后,借助一流的精密运动控制部件,YuMi 能够精确灵活地

执行自身所做出的“决策”,从而实现生产过程中的人机协作。新型传感器技术、嵌入式技术、智能算法和控制技术的集成促进机器人外部物理现实环境和内部信息分析决策空间的深度融合,使人机协作机器人表现出典型的信息物理设备特征。

(2) 信息物理系统——GE 航空发动机的预测性维护系统

美国 GE 公司在出厂的航空发动机中布置了大量传感器以实现飞行过程中发动机工作数据的实时采集,具备了对物理世界的感知能力;通过互联网络将数据传回 GE 自身推出的工业数据集成和分析平台 Predix,然后基于大量历史数据的积累来寻找规律,通过数据拟合和建模的方法判断发动机运行趋势,进而制订出精准的预测性维护策略^[15],具备了信息世界中的分析决策能力;最后根据决策结果进行发动机的维护工作,有效增加发动机的运行时间、降低维护成本并提高安全性,具备信息世界对物理世界的优化能力。在预测性维护系统中,互联互通网络是基础,Predix 平台中的数据分析软件是核心,形成了从感知、决策到执行闭环的信息物理系统。

(3) “系统的系统”——西门子安贝格工厂

在德国西门子公司的安贝格电子制造工厂中,智能物流配送系统利用射频识别(RFID)实现物料信息识别并将信息传递到中央物流区,经过分析处理后能够准确地将相关物流进行配送;生产管理系统基于 SIMATIC 平台进行数据采集,实现了生产状态的实时展示并利用统一的分析管理工具对生产过程中每个环节进行有效监测控制;质量管控系统则借助实时在线的质量检测和进一步的相关性分析来降低产品的缺陷率。这些不同场景中的信息物理系统实现了信息的交互和各类资源的合理分配,并对工厂中物理实体进行高效实施控制,共同构建出“系统的

系统”式的智能工厂,生产效率提升至每秒钟就能生产一个产品,产品合格率高达99.9988%^[13]。

4 工业CPS应用的推进策略

相比于其他国家,中国工业领域的CPS研究和应用虽然仍处于起步阶段,但并未存在明显差距。因此,中国应该把握机遇,积极布局相关技术和应用,稳步推进CPS在工业领域的应用,抢占新一轮工业革命的制高点。总体思路,中国应以突破关键软硬件技术为基础,构建综合标准化体系为主线,开展行业内应用试点示范为牵引。

在突破关键技术方面,可借鉴美国工业互联网联盟(IIC)的经验^[14-15],以企业为主体联合相关研究机构,通过联合体的方式整合产学研用资源,共同搭建测试验证平台,开展嵌入式系统、大数据分析、高端工业软件、工业以太网和安全防护等方面的研究与验证。在加强基础共性理论和技术研究力度的基础上,通过搭建模拟仿真验证环境,开展各项技术的测试验证服务,推动相关技术产业化应用,培养应用型技术人才。借助测试验证平台对信息物理系统研究的催化作用,提升底层计算和控制能力,提升数据分析和软件工具应用能力,提升工业网络性能和系统安全水平。

在综合化标准体系中应重点关注6类标准:

(1) 总体标准,包括信息物理系统术语、参考模型、总体架构等;

(2) 平台和软件标准,包括平台架构、软件架构和质量评价等;

(3) 数据标准,包括数据接口、标识和存储管理等;

(4) 网络技术标准,包括网络架构、异构网络、新型标识解析等;

(5) 安全标准,包括安全管理、监测、评估和智能装备安全保障等;

(6) 系统实施标准,包括系统的研发设计、集成实施、运行维护等。在标准体系的构建过程中,应通过推

动成立信息物理系统标准推进联盟的方法来充分调动各方积极性,寻求标准“最大公约数”,加速相关成果的落地实施。

行业应用试点示范是牵引技术应用测试和标准体系建立的有效手段,应从特定行业选择、特定应用场景两个角度来考虑试点示范工作的推进思路:一是在工控自动化基础较好、虚拟仿真应用成熟、工业大数据分析需求迫切的重点行业,如钢铁、石化、机械、汽车、航空、电子等行业,组织开展新型嵌入式工业控制系统、工业大数据平台、高端工业软件三大核心技术应用试点示范;二是以智能车间的生产过程智能控制、智能工厂的研发运营虚拟仿真、智慧园区的企业间协同制造为重点,开展信息物理系统应用场景试点示范。

参考文献

- [1] 罗俊海,肖志辉,仲昌平.信息物理系统的发展趋势分析[J].电信科学,2012(2):127-132
- [2] 许少伦,严正,张良,等.信息物理融合系统的特性、架构及研究挑战[J].计算机应用,2014(33):1-5
- [3] LEE E A. The Past, Present and Future of Cyber-Physical Systems: A Focus on Models [J]. Sensors, 2015(15):4837-4869. DOI: 10.3390/s150304837
- [4] Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0 [EB/OL]. [2013-04]. http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report__Industrie_4.0_accessible.pdf
- [5] A National Strategic Plan for Advanced Manufacturing [EB/OL]. [2012-02]. https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/iam_advancedmanufacturing_strategicplan_2012.pdf
- [6] 中国制造2025 [EB/OL]. [2015-05]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-05/19/content_9784.htm
- [7] 黎作鹏,张天驰,张菁.信息物理融合系统(CPS)研究综述[J].计算机科学,2011,38(9):25-31
- [8] WOLF W. Cyber-Physical Systems [J]. Impact of Control Technology, 2011, 13(4):1-6
- [9] LEE J, BAGHERI B, KAO H. A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry4.0-Based Manufacturing Systems [J]. Manufacturing Letters, 2015(3): 18-23
- [10] Framework for Cyber-Physical Systems Release 1.0 [EB/OL]. [2016-05]. https://s3.amazonaws.com/nist-sgcpps/cpspwg/files/pwgglobal/CPS_PWG_Framework_for_Cyber_Physical_Systems_Release_1_0Final.pdf
- [11] 刘星,徐志慧.ABB最新智能技术集体亮相2014工博会[J].电气技术,2014(11):17-17
- [12] GE Aviation Steps Up Its Predictive Maintenance Efforts [EB/OL]. [2016-05]. <http://aviationweek.com/mro/ge-aviation-steps-its-predictive-maintenance-efforts>
- [13] RUSSWURM S. 工业4.0战略与西门子实践[J].工业经济论坛,2014(4):48-51
- [14] KUMAR P S, EMFINGER W, KARSAI G. A Testbed to Simulate and Analyze Resilient Cyber-Physical Systems[C]// International Symposium on Rapid System Prototyping. USA: IEEE, 2015:97-103
- [15] Industrial Digital Thread (idt) Testbed [EB/OL]. <http://www.iiconsortium.org/industrial-digital-thread.htm>

作者简介



刘棣斐,中国信息通信研究院信息化与工业化融合研究所工程师;主要研究方向为信息物理系统、工业机器人技术与产业和智能制造;主持和参加基金项目2项;发表论文4篇。



田洪川,中国信息通信研究院信息化与工业化融合研究所工程师;主要研究方向为工业互联网体系架构及智能制造应用技术;先后参加工信部软科学项目3项;发表论文近10篇。



刘贺贺,中国信息通信研究院信息化与工业化融合研究所工程师;主要研究方向为各国智能制造政策、电子行业智能制造应用研究。

工业互联网推动工厂网络与互联网融合发展

Industrial Internet Promotes the Integration of Plant Network and Internet

高巍/GAO Wei

(中国信息通信研究院, 北京 100191)
(China Academy of Information and
Communication Technology, Beijing
100191, China)

2015年发布的《中国制造2025》是中国实施制造强国战略第一个十年的行动纲领。“智能制造”是《中国制造2025》中的重要关键词,可以总结为以“智能化生产”为主要制造形态,以“个性化定制”为主要生产方式,以“网络化协同”为主要的组织机制,以“服务化转型”为主要的方向的新型工业发展模式。

信息化与工业化的深度融合是实现智能制造的前提条件,工业互联网是实现“智能制造”的重要基础设施。工业互联网就是工业制造业与信息通信技术(ICT)产业的交叉领域,综合了工业制造、互联网、物联网的技术创新。预计在未来几十年内,工业互联网领域将出现应用、技术、网络的大规模集中创新,可能引领网络技术与架构的发展,并引发工业制造模式的变革。

1 工业制造领域的网络发展现状

当前,工业生产过程的控制已经实现了从模拟信号到数字信号的飞

收稿时间: 2016-07-19
网络出版时间: 2016-09-06

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 05-0021-005

摘要: 从目前工厂网络面对智能制造需求存在的问题出发,分析工厂内部网络“三化(IP化、扁平化、无线化)+灵活组网”的发展趋势,指出工业生产与互联网业务模式的融合体现为四大类:信息技术(IT)系统与互联网的融合、操作技术(OT)系统与互联网的融合、企业专网与互联网的融合、产品服务与互联网的融合,并认为工厂网络与互联网的融合仍将基于目前以IP技术为基础的互联网技术体系。

关键词: 工业互联网; 智能制造; 互联网; IT; OT

Abstract: In this paper, considering the existing problems of plant network faced by intelligent manufacturing, we analyze the development trend of plant network: IP networking, flat networking, wireless networking, and flexible networking. We also summarize the integration of the industrial manufacturing and the internet service model, including the convergence of information technology (IT) system, operation technology (OT) system, enterprise network, and product service with the Internet. It is believed that the integration of the plant network and the Internet will be based on the IP technology.

Keywords: industrial Internet; intelligent manufacturing; Internet; IT; OT

跃,以微处理器为核心的智能生产控制系统得到了广泛的应用。伴随着生产过程控制的自动化和数字化,数字通信网络已经延伸到工业控制领域。随着企业信息化的发展,连接信息终端与IT系统的信息网络也成为工厂网络的重要组成部分。

1.1 工厂网络架构

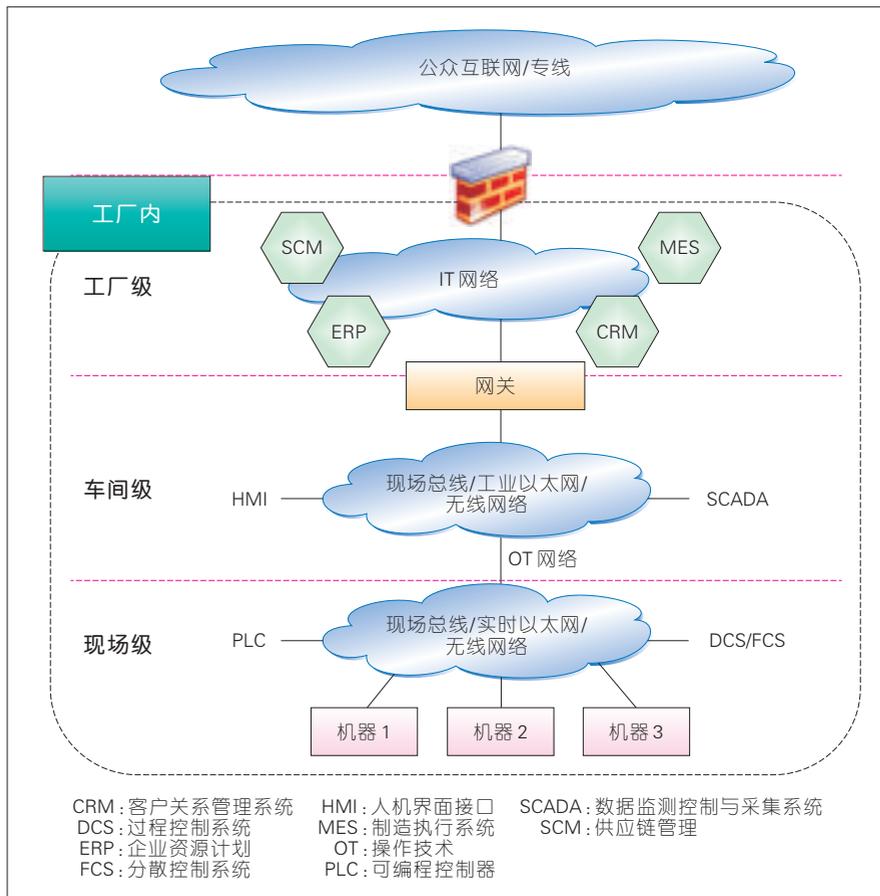
目前工厂网络的一般架构如图1所示。

总体来看,工厂网络呈现“两层三级”的结构。“两层”是指存在“信息技术(IT)网络”和“操作技术(OT)网络”两层技术异构的网络;“三级”是指根据目前工厂管理层级的划分,网络也被分为“现场级”、“车间级”、

“工厂级/企业级”3个层次,每层之间的网络配置和管理策略相互独立。

工业控制网络,或称为OT网络,主要用于连接生产现场的控制器,如可编程控制器(PLC)、过程控制系统(DCS)、分散控制系统(FCS)等,以及传感器、伺服器、监测控制设备等部件。工业控制过程对网络的主要需求是网络的确定性(包括对时延、时延抖动的严格要求,以及时间同步要求等)和可靠性(网络的丢包率与可用性)。工业控制网络的主要实现技术可分为现场总线和工业以太网两大类。

工厂信息网络,或称为IT网络,主要由IP网络构成,并通过网关设备实现与互联网和现场网络的互联和



▲图1 工厂网络结构

安全隔离。

1.2 OT网络的技术与产业现状

OT网络技术主要包括现场总线和工业以太网两类。

现场总线技术出现于20世纪80年代初,目前在工业控制领域占有60%以上的市场份额。虽然经历了30多年的标准化努力,现场总线技术标准仍呈现“诸侯割据,各自封闭”的状况,许多国际制造业的巨头形成并把控了各自不同的现场总线技术标准,并应用在不同的工业领域,如西门子的PROFIBUS、施耐德的Modbus、博世的CAN总线等。在现场总线国际标准IEC61158的第4版中,包括了20种不同的现场总线技术,也体现了目前工业控制领域各自为战的局面。

随着工业生产过程中信息化水平的不断提高,现场总线正在向能够

兼容互联网通信技术的工业以太网演进。工业以太网使基于IP技术的数据采集、监测控制能力一直延伸到工业生产现场。目前工业以太网虽然都是基于标准的以太网(IEEE802.3)技术,但其技术体系也呈现“各自独立”的局面,主要有西门子的PROFINET、罗克韦尔/思科的Ethernet/IP、倍福(Beckhoff)的EtherCAT等标准。总体上看,在工业控制领域中工业以太网的市场份额(2015年为34%)仍然低于现场总线,但近年来一直呈现缓慢上升的趋势,预计到2017年其市场份额将达到38%。

中国在工业控制领域一直处于比较弱势的地位,虽然由浙江大学、浙江中控技术有限公司、中国科学院沈阳自动化研究所等提出的面向工厂自动化的以太网(EPA)技术已经

在2005年被列入IEC61158标准,但在产业中实际市场份额较低^[1-2]。

2 工厂网络存在的问题

目前工厂网络中这种技术体系和网络结构相互隔离的状况使IT系统与生产现场之间的通信存在很多障碍,难以满足智能制造的需要,主要体现在以下3点:

(1)工业控制网络与企业信息化系统网络技术体系各异,难以融合互通。智能化生产需要企业信息化系统充分收集生产现场的数据信息,以实现智能化的决策反馈。但目前工业企业内部在网络结构上呈现“工业控制网络”和“企业信息网络”的两级网络划分,工业控制网络以工业总线、工业以太网等技术为基础,企业信息网络则以IP/以太网为基础。两级网络之间由于技术体系的差异难以实现充分的信息交互,而且由于目前工业控制网络技术呈现“七国八制,诸侯割据”的状态,采用不同标准的系统之间的互通也存在极大障碍。因此,亟需在保障生产环节安全的前提下,打通企业信息网络与工业控制网络,实现生产现场数据的有效采集和流动。

(2)工业生产全流程存在大量“信息死角”,亟需实现网络全覆盖。智能制造是设计、生产、销售、维护全流程的信息化、网络化,但目前从机器设备、控制系统,到产供销各流程还有大量没有实现网络化,或“智能化使能”的环节。在工业企业内部,由于没有充分的网络覆盖,大量与生产、管理相关的数据无法生成和采集,这会使得企业信息化系统变成是信息死海中的一个“孤岛”,难以发挥其作用。

(3)工业制造过程与互联网的融合不足,难以催生新模式、新业态。无论是个性化定制还是网络化协同,以及制造业的服务化转型,互联网都在其中发挥了连接产业环节,实现资源优化配置的重要作用。目前,中国

的工业企业对互联网的融合利用还很不足,对互联网的应用大多数仅限于信息发布等简单形式,“互联网+制造”所引发的新模式、新业态还远未得到开发。

3 工厂网络与互联网的融合发展

3.1 工业互联网带动工厂网络与互联网的融合

工业互联网对现有生产过程的改造一方面体现在覆盖工业生产生命周期的信息采集与分析,另一方面体现在利用互联网实现工业生产的资源配置、协同合作和延伸服务。这些愿景需要工厂网络与互联网实现充分的融合。

工厂网络与互联网的融合使工业互联网呈现以3类企业主体、7类互联主体、9种互联类型为特点的互联体系,如图2所示。

3类企业主体包括工业制造企业、工业服务企业和互联网企业。工业制造企业提供基本的产品设计、生产、维护能力;工业服务企业利用对智能产品的数据采集、建模、分析形成创新的用户服务模式与业态;互联网企业利用其平台资源优势实现工业生产全生命周期的资源优化配置。在工业互联网体系中,这3类企业的角色是不断渗透,并且不断进行转换的。

7类互联主体包括在制品、智能机器、工厂控制系统、工厂信息系统、智能产品、协作企业和用户。在目前的工业生产模式中,机器、控制系统、信息系统等主体已经具备了一定的互联能力,工业互联网将互联主体进一步扩展至在制品、智能产品、用户等工业生产生命周期各环节、各层面的主体之中,这也需要新型传感设备、物联网等使能技术的支撑。

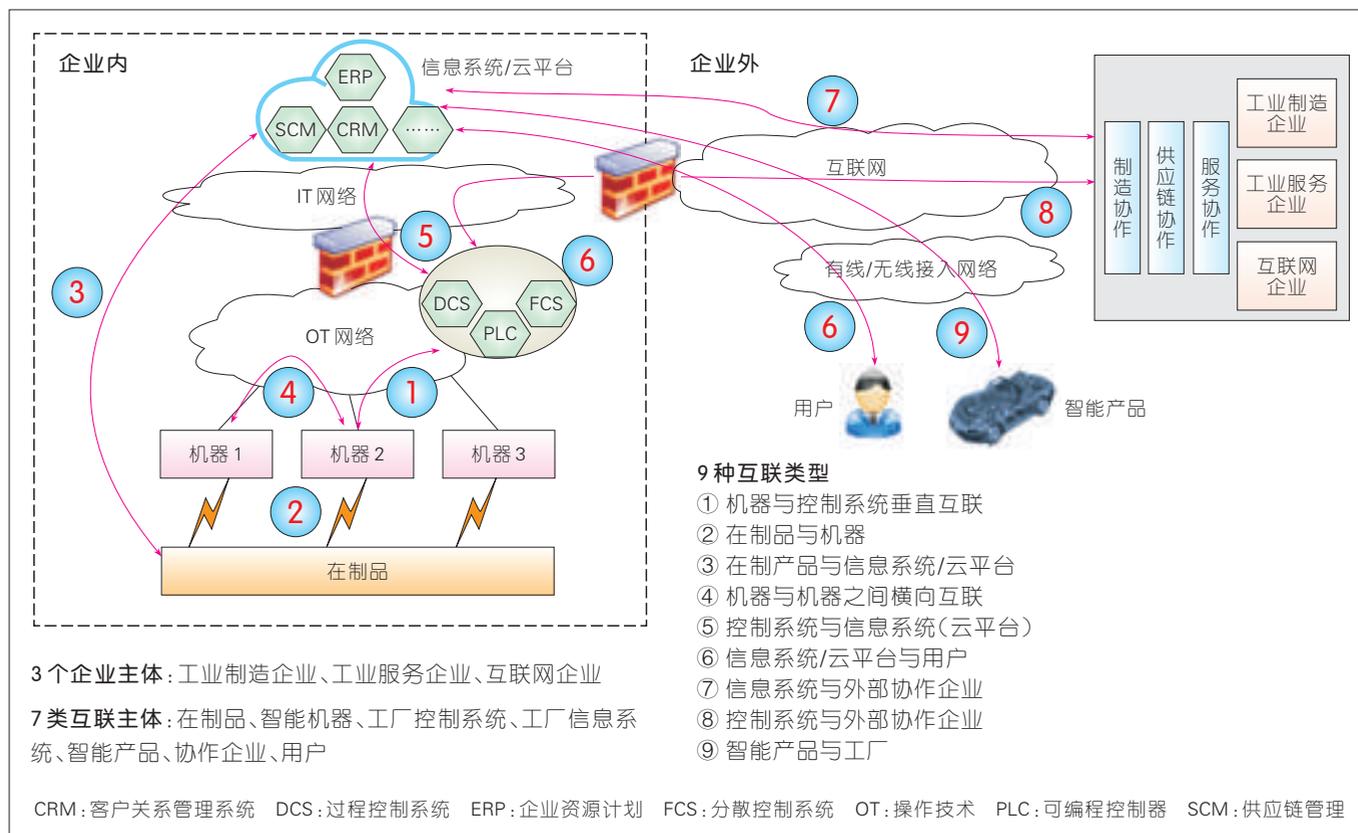
9种互联类型包括了7类互联主

体之间复杂多样的互联关系,目前已梳理出的互联类型可能还不能完全体现工业互联网中互联关系的复杂性。这些互联关系体现出工业生产过程中的网络互联已经远远超出了传统OT系统或IT系统互联的范畴,成为连接生产能力、设计能力、商业能力以及用户服务的复杂网络系统,其支撑技术也涵盖了已有的工业控制网络、互联网、物联网等技术。

3.2 工厂内部网络与互联网技术的融合

面向工业互联网的需求,工厂内部网络正逐步与互联网技术实现融合,呈现“三化(IP化、扁平化、无线化)+灵活组网”的发展趋势。

IP化是指OT网络的IP化,以实现从机器设备到IT系统的端到端IP互联,进而实现整个制造系统更大范围、更深层次的数据交互与协同。IP网络是目前互联网和企业信息系统



▲图2 工业互联网的互联体系

普遍采用的网络技术,通过“IP到底”实现工业生产全过程信息采集是合理的技术选择。目前以 PROFINET、Ethernet/IP 等为代表的工业以太网协议已经支持为现场设备分配 IP 地址,并可以实现 IP 流量与控制信息的共线传送。

扁平化是减少工厂内数据传送的层级,实现工业数据在生产现场和 IT 系统间的快速流通,并支持实时或准实时的数据分析与决策反馈,从而实现智能化生产。扁平化有两层含义:一是 OT 层面的扁平化,将传统上现场级、车间级、控制级等复杂分层的 OT 网络统一为扁平化的二层网络;二是 IT、OT 的融合化,通过业务网关类设备实现 IT 层和 OT 层的数据融合互通。

无线化是利用各种无线技术支持工厂内更加广泛的信息采集与传送,消除工厂内的“信息死角”。目前传统的 2G/3G/LTE、WiFi 及 zigbee 等无线技术已经逐步在工业互联中获得一定规模的应用;同时针对于工业场景的工业无线技术也开始出现,如 WIA-PA、WirelessHART 及 ISA100.11a 等。但工业无线的应用总体还处于初期阶段,实际应用部署较少,且主要在流程工业领域。随着工业互联网的发展,工业无线技术将逐步成为有线网络的重要补充,但还需要解决电磁信道干扰、低功耗、可靠性等关键问题。

5G 技术在场景设计中已经考虑到低功耗、大连接、高可靠的物联网应用场景,未来可能在工业无线领域发挥更大作用。

灵活组网是面向柔性生产的需要,通过网络资源的动态调整,实现生产过程的灵活组织及生产设备的“即插即用”。目前的工业生产(主要指离散工业)基本上都是“刚性生产”模式,其互联网络也是“刚性网络”,制造环节中机器、设备、辅助工具等需要按照预先的设定进行互联。未来工业生产大规模定制化的特点需

要资源组织更加灵活,更加智能,以软件定义网络(SDN)为基础的新型网络技术可实现网络资源的动态调整,打破工厂内部网络刚性组织的局限,适应智能机器自组织和生产线敏捷部署的要求^[9]。

3.3 工业生产与互联网业务模式的融合

目前工业生产品生命周期与工业互联网的结合主要是商业销售环节的结合,并催生出“淘工厂”等新业态。随着网络和信息技术、服务模式的发展,原来局限在工厂内的工业生产过程逐步走向外部网络,体现为工厂内系统、网络与工厂外网络(互联网)逐步实现融合,以实现更为灵活的生产组织、更加优化的产业分工、更加便捷的产业链协作,或形成以往无法实现的新的服务业态^[9]。

工业生产与互联网业务模式的融合体现为四大类:IT 系统与互联网的融合、OT 系统与互联网的融合、企业专网与互联网的融合、产品服务与互联网的融合。

IT 系统与互联网融合从网络层面来看是工厂内部 IT 网络向外网的延伸。企业将其 IT 系统(如企业资源计划(ERP)、客户关系管理系统(CRM)等)托管在互联网的云平台中,或利用软件即服务(SaaS)服务商提供的企业 IT 软件服务。目前美国的 Autodesk、法国的达索,以及中国的数码大方等企业已经开始面向中小企业提供这类云服务。

OT 系统与互联网融合从网络层面看是 OT 系统网络向外网的延伸。在一些人力较难达到,且又需要实现生产过程调整和维护的场景下,需要通过可靠的互联网连接,实现远程的 OT 系统控制。目前沈阳机床厂的“i5”平台可以初步实现对不同地理位置机床的远程监测控制,就是这类服务的雏形,但不同的 OT 业务流对网络要求不同。目前互联网的质量对于时延、抖动、可靠性等有着极高

要求的实时控制和同步实时控制还很难承载。

企业专网与互联网融合是将在公众网络中为企业生成独立的网络平面,并可对带宽、服务质量等进行定制。这类业务场景不仅需要为企业提供独立的链路资源,还需要提供独立的网络资源控制能力,开放的网络可编程能力,以及定制化的网络资源(如带宽、服务质量等)。目前的互联网尚不支持此类业务场景,需要网络虚拟化及软件定义技术的进一步发展及部署。

产品服务与互联网融合将通过智能工业产品的信息采集和联网能力为工业企业提供新的产品服务模式。目前 IBM、微软、GE 等公司纷纷推出各自的工业互联网数据分析平台,工业企业基于这些平台可以为用户提供产品监测、预测性维护等延伸服务,从而延长了工业生产的价值链。这类业务的基础是对海量产品的数据采集与监测,需要通过无线等技术实现工业产品的泛在接入。

3.4 工厂网络与互联网融合发展的技术需求

基于我们目前的研究,工厂网络与互联网的融合仍将基于目前以 IP 技术为基础的互联网技术体系。另外由于工业互联网需要连接大量的无处不在的企业、用户、智能产品(如汽车、工程机械)等,需要依托公众网络,因此从网络建设部署的角度看,工业互联网应和公众网络融合在一起,部分环节有可能采用专网或虚拟专网^[9]。

虽然工业互联网引发的工厂网络与互联网融合尚在发展初期,但一些关键技术需求或方向已经显现,包括以下 6 个方面:(1)支持控制信息与数据信息共线传送的高可靠工业以太网技术;(2)面向工业生产的无线解决方案;(3)支持生产现场控制网络灵活组网的 SDN 技术;(4)包括 NB-IoT、5G 在内的面向海量产品泛

在接入的无线网络技术；(5)生产现场数据向云端集成的信息传送技术；(6)支持骨干网络多租户隔离的网络虚拟化和软件定义网络技术。

4 中国工业互联网发展的建议

(1)利用科研专项等方式加快中国自主知识产权的工业控制网络技术研发及标准化,并以产业联盟的形式集中工业企业、IT企业、互联网企业以及研究机构的力量,尽快实现规模应用,形成产业生态。

(2)利用中国 ICT、互联网产业技术方面的比较优势,加强 ICT 新技术与工业领域融合技术的研究,在一些新兴技术领域形成我们自己的突破点,占据国际技术研究的前沿。

(3)鼓励中国企业、科研机构等积极参与国际工业互联网相关产业、标准组织活动,紧跟国际工业互联网技术进展的步伐,并争取对其发展方向产生影响。

(4)建立国家级工业互联网创新平台,围绕工业互联网整体技术架构、网络技术、标识解析、工业大数据、工业云平台、安全防护等领域的技术、标准、产品验证,构建工业互联网技术和产业创新服务体系,开展产业转化与推广,引领和支撑中国工业互联网技术与产业的发展。

参考文献

- [1] Industrial Internet Consortium. Industrial Internet Reference Architecture [EB/OL]. <http://www.iiconsortium.org/IIRA.htm>
- [2] 全国工业过程测量控制和自动化标准化技术委员会(SAC/TC124). 工业通信网络现场总线

类型 ID: PROFINET IO 规范: GB/Z25415.1~3-2010[S].

- [3] 廖学勤. 20 种类型现场总线进入 IEC61158 第四版国际标准[J]. 自动化仪表, 2007, 28(S1): 25-29
- [4] 德国联邦信息电信和新媒体技术协会. 产业实施战略 4.0[IR]. 德国: 德国机械设备制造业联合会协会, 德国电气电子产业同业协会, 2014
- [5] MARK, HOSKE. 应用于工厂的无线技术[J]. 李静, 译. 软件, 2009(7): 28-30

作者简介



高巍, 中国信息通信研究院技术与标准研究所互联网中心主任工程师; 主要从事工业互联网、云计算、IP 承载网络等方面的技术、政策研究工作; 作为项目负责人和主要研究人员参与了发改委云计算示范工程、CNGI 专项课题、“863”课题等 10 余个重大项目研究, 负责 20 余项行业标准的制订; 发表论文 20 余篇, 参于编辑专著 1 部, 获得专利授权 3 项。

综合信息

“中兴通讯技术杂志社第 22 次编委会议暨 2016 通信热点技术研讨会”在长春隆重召开

【本刊讯】2016 年 8 月 20—21 日, 来自国内外高校、运营商、研究院所及企业界的近百位 ICT 专家、学者齐聚长春, 参加“中兴通讯技术杂志社第 22 次编委会议暨 2016 通信热点技术研讨会”。中兴通讯董事长兼总裁赵先明、高级副总裁陈杰, 中兴发展总裁洪波等多位领导出席会议。

赵先明董事长致欢迎辞。他感谢业界专家多年来对中兴通讯的大力支持, 认为刊物平台正在发挥越来越重要的作用, 是中兴通讯对外技术交流, 实现合作共赢的一个重要途径。他指出, 2016 年初美国商务部对中兴通讯实施出口限制, 但通过公司的快速响应、社会各界及政府的有力支持, 危机迅速缓解, 希望尽快解决危机; 经过本次危机事件, 中兴通讯将会更加注重合规经营, 通过机制创新、模式创新、文化创新, 实现技术创新、产品创新, 更好地服务全球用户; 中兴通讯计划用 5 年的时间, 更快更好地发展, 努力进入世界 500 强。

本次会议完成了中文刊编委会及杂志社领导的换届。清华大学陆建华院士接替北京邮电大学钟义信教授担任中文刊编委会主任, 中兴通讯高级副总裁陈杰接替孙枕戈博士担任杂志社总编。公司聘请中兴通讯创始人侯为贵、北京邮电大学教授钟义信、南京邮电大

学教授陈锡生三人为中文刊编委会顾问。会上, 赵先明董事长向钟义信教授发了“编委贡献奖”。

杂志社常务副总编黄新明做了杂志社年度工作报告, 产学研办公室副主任李婷介绍了中兴通讯产学研论坛的最新发展, 与会代表讨论和确定了中英文两刊 2017 年 6 期专题名称及其策划人, 并为各期专题的组稿计划建言献策, 为下年度组稿工作打下坚实基础。

在通信热点技术研讨会上, 钟义信、陆建华、李尔平等 18 位海内外专家针对人工智能、未来通信、ICT 核心器件、量子信息、大数据等前沿技术做了精彩的学术报告, 反响热烈。

每年一度的中兴通讯技术杂志社编委会不仅为刊物发展领航引路, 谋篇布局, 更为 ICT 高端专家提供了智慧交融、思想碰撞的良机, 彰显刊物的纽带作用。



智慧工厂机器视觉感知与控制关键技术综述

Key Technologies of Machine Vision Perception and Control for Smart Factory

王耀南/WANG Yaonan
陈铁健/CHEN Tiejian

(湖南大学, 湖南长沙 410082)
(Hunan University, Changsha 410082, China)

当前, 全球制造业格局面临着重大调整, 新一代信息技术与制造业深度融合, 正在引发影响深远的产业变革, 形成新的生产方式、产业形态、商业模式和经济增长点。

各国都在加大科技创新力度, 制订了多个智能制造产业发展计划, 包括德国的“工业 4.0”计划^[1], 美国的“制造业回归”计划, 中国的“中国制造 2025”计划^[2], 日本的“2015 制造白皮书”等。在最具代表性的“工业 4.0”计划中, 提出了第 4 次工业革命的概念。在该智能制造模式中, 信息物理系统(CPS)^[3-5]通过将物联网、服务网络、社会网络有机结合, 实现智能机器、存储系统、生产设施、物流和定制服务等各个生产-消费要素相互独立地自动交换信息、触发动作和控制, 从根本上改善包括制造、工程、材料使用、供应链和生命周期管理的工业过程, 生产出智能产品, 大幅度提高服务质量, 降低设备闲置率、生产时间、能源消耗和制造成本。

收稿时间: 2016-07-28

网络出版时间: 2016-09-18

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2015BAF11B00)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 05-0026-006

摘要: 认为发展智慧工厂和智能制造装备的关键技术是环境感知和智能控制技术。结合智慧工厂特点, 提出了一种机器视觉感知控制系统原理方案, 并对各个关键核心技术进行分析。还提出了一种基于云计算的机器视觉感知控制系统方案, 用于解决各种视觉控制应用的高实时性需求与计算复杂度极高之间的矛盾。该方案中还有一些技术需要进一步研究, 包括先进工业成像技术、云计算平台负载均衡技术、云计算平台中的自动化图像处理流程设计等。

关键词: 智慧工厂; 机器视觉; 感知控制; 云计算

Abstract: The key technology in smart factory and intelligent manufacturing is environment sensing and autonomous control. In this paper, a machine vision perception and control system design is proposed, and key technologies are also analyzed. Additionally, the cloud computing-based machine vision perception and control system design is also proposed, which is utilized to solve the conflicts between real-time requirements and high computing complexity of image processing. In this design scheme, some techniques need to be further studied, including advanced industrial imaging technology, cloud computing platform load balancing technology, process design of automated image in cloud computing platform and so on.

Keywords: smart factory; machine vision; perception and control; cloud computing

工业 4.0 的核心在于智慧工厂, 它是实现高质量定制产品和智能产品的关键^[6]。在工业 4.0 框架下, 发展智慧工厂和智能制造装备需要解决多个关键技术难题, 诸如精密机构设计、高性能材料、高速网络通信、云计算平台、环境感知和智能控制等信息处理方法、系统可靠性等。其中, 环境感知和智能控制技术作为智慧工厂高适应性、高精度、智能化作业的根本保障, 是必须首先解决的关键技术难题。在工业 4.0 框架下, 智慧工厂的感知和控制技术必须具备高速、高精度、模块化、智能化、无损感知等

特点, 能够根据不同的任务实现自主配置和自适应调节, 满足定制和个性化产品的自适应制造, 然而传统的感知控制技术无法满足上述需求, 因此研究适应智慧工厂需求的新型环境感知和智能控制技术十分必要。

1 机器视觉感知与控制关键技术

机器视觉感知与控制技术是解决智慧工厂环境感知和自主控制这一技术难题的关键。机器视觉检测与控制技术是采用机器视觉、机器人代替人眼、人脑、人手来进行检测、测

量、分析、判断和决策控制的智能测控技术^[9],是人类模仿自身视觉感知能力实现自动化测量和控制的重要手段,能够同时满足智慧工厂环境感知和自主控制的多项需求。机器视觉感知控制技术可用于智慧工厂中的精密制造自动化生产线、智能机器人、在线检测装备^[10]、细微操作、工程机械、虚拟现实产品设计^[11]等多个领域,在提高航空航天^[12]、军工、汽车、电子、精密仪器等行业自动化加工制造水平,保障产品质量等方面发挥巨大作用。因此,机器视觉感知控制是工业4.0框架中不可或缺的重要组成部分。

1.1 智慧工厂中的机器视觉感知控制系统方案

智慧工厂属于复杂系统,应用环境特殊,对机器视觉感知控制技术的准确率、实时性、重复性有着极高的要求。针对这一难题,我们提出了如图1所示的智慧工厂机器视觉感知控制系统方案。在该系统方案中,根据应用需求,首先设计智能视觉成像系统和自动化图像获取机构,自动获取检测对象的高质量图像;获取的图像经过去噪增强、分割、配准融合、拼接等图像预处理步骤,改善获取图像

质量;然后采用目标定位与分割算法、目标检测与识别算法,智能分类与判别等图像处理过程,实现对检测对象的识别、检测、分析、测量。同时,从图像处理中得到的目标位姿信息可用于基于视觉的高速运动精确位置与恰当力的优化控制。

1.2 工业成像系统的关键技术

工业成像系统包括光学、成像、处理3部分。其中,光学部分由光源、光学系统构成,光源主要用于在成像对象表面上产生光场,常用的光源包括发光二极管(LED)光源、结构光等;光学系统主要实现光路控制,并将光信号聚焦到成像平面上。成像部分主要由图像传感器构成,将入射光转化为电信号,并经过放大、调理、A/D转换和读出,就可以得到数字图像^[13]。处理部分由通信电路、图像处理器和处理算法构成,获取的图像通过通信电路和协议传输到图像处理单元中,并采用图像处理算法进行实时处理,提取出视觉信息用于智能制造装备的检测和控制。

1.3 自动图像获取的关键技术

精密成像机构是自动图像获取的关键,它可以实现对成像位置、视

角、分辨率、质量、数量等参数的精密控制。为适应不同成像对象和装备机械结构,多种自动图像获取方法和精密成像机构被提出,主要包括:高速运动序列图像获取、位置触发成像、显微成像、眼手图像获取、全方位图像获取、立体视觉成像^[14]、线扫描成像、点云成像等关键技术。

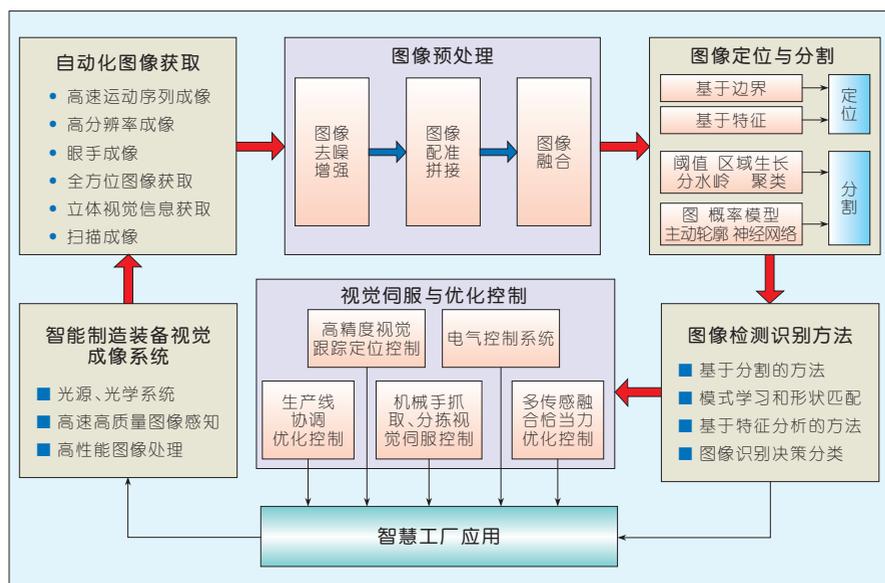
1.4 图像预处理的关键技术

图像预处理方法主要包括去噪、增强、配准、融合、拼接,通过图像预处理可提高图像质量,降低图像识别和分类的难度,从而保证检测控制的精度。

图像去噪增强主要用于消除获取图像中包含的盐椒、高斯等多种噪声,并通过特征结构增强改善可能存在的对比度低,边界模糊和运动模糊等现象^[15]。常用的去噪方法包括空间域滤波方法、变换域滤波方法、基于偏微分的图像去噪方法、基于相似性的图像去噪方法、全变分图像去噪等。常用的图像增强方法包括直方图均衡化、匹配、校正,图像锐化方法^[16],基于视觉模型的增强方法^[17],运动模糊去除方法等。

多源图像融合可以去除冗余信息,提高单幅图像所包含的信息量。图像融合^[18]主要基于图像分解和重构,其中多分辨率图像分析是最常用的图像分解方法,包括小波变换、金字塔形或树状小波帧变换、几何分析小波,以及稀疏表示等;在重构过程中,根据统计模型或其他融合规则对图像分解系数进行融合,经过逆变换得到融合图像。

对不同位姿获取的图像进行配准,可以将多幅图像对齐到单个图像坐标系下,实现多幅图像拼接,还可以实现图像偏差测量。在图像配准过程中,输入多源图像经过特征检测、匹配、变换模型估计、图像重采样和空间变换,得到相同目标在不同图像中的匹配关系,最后根据变换模型对图像进行空间变换和重采样,获得



▲图1 智慧工厂中的机器视觉感知控制系统方案

配准后的图像。

1.5 图像定位分割的关键技术

在成像过程中由于运动控制方式和机械电气误差,图像中对象位置并不固定,因此需要进行目标定位和检测区域分割。

对于背景简单、特征明显对象,可以利用目标边界、几何形状特征等先验知识,实现目标定位和检测区域提取。对于复杂背景下且特征模糊对象,可采用基于图像分割的定位和检测区域提取方法^[19],如阈值分割方法、区域生长法、分水岭分割算法、聚类分割方法、基于图的分割方法、基于主动轮廓的分割方法、神经网络图像分割方法等关键技术。

1.6 图像识别检测的关键技术

通过图像识别检测,可实现目标识别和分类、缺陷检测、视觉测量等功能,从而满足智慧工厂多样化的应用需求。

图像识别可通过对分割后图像特征分析,序列图像运动分析和模式匹配等方法实现。识别目标多表现为灰度或纹理均匀的闭合区域,利用检测对象轮廓等不变性特征和形状、面积、灰度、纹理等先验信息,对分割后图像进行特征分析,即可实现图像识别。在基于模式匹配的识别方法中,模式可以用点集、轮廓、骨架来表示^[20],匹配过程可采用动态规划、最优化、最大似然、图匹配方法、Patmax方法等^[21],得到对象位移、旋转、尺度、形变等参数。

图像检测可实现对缺陷、特定结构及特征的检测,由于检测目标在尺寸、灰度、纹理等特征方面与背景差异较大,因此图像检测主要通过特征分析实现。针对不同应用,多种特征分析方法被提出,主要包括基于纹理分析的检测方法、基于局部特征的检测算法、基于模板匹配的缺陷检测方法等。

图像分类是实现图像识别、检

测、决策的关键,其精度直接决定最终检测识别结果。常用的分类方法包括模糊方法、神经网络方法、支持向量机、极限学习机、深度学习等机器学习方法。机器学习方法能够模仿人的学习能力,处理非线性等复杂问题,提高图像分类决策的智能化程度。然而当前主要问题在于图像分类精度不理想,特别是对于复杂高维数据、非均衡数据集等,同时图像空间域与特征域的建模也是一大难点。

1.7 视觉伺服与优化控制的关键技术

智慧工厂根据视觉检测识别和位姿测量结果,引导精密伺服运动控制系统可控制机器人完成定位、抓取、分拣、组装、灌装、装配等复杂自适应作业。视觉伺服运动控制基本原理如图2所示,视觉控制率根据视觉误差产生控制量,驱动机器人的关节运动,完成给定作业。其中视觉误差定义为给定特征向量和视觉信息反馈之间的差值。

在反馈环节,通过成像参数、控制对象模型等信息,将当前图像特征的测量值转化为与给定特征向量同类型的测量值。根据特征向量类型,可分为基于位置的视觉伺服(PBVS)、基于图像的视觉伺服(IBVS)、混合视觉伺服和直接视觉伺服等^[22-23]。其中PBVS采用机器人末端空间位姿作为反馈,IBVS将图像特征作为反馈,而混合视觉伺服则将一种扩展图像坐标特征作为反馈。针对传统方法未充分利用图像信息这一不足,直接视觉伺服方法将整幅图像作为反馈,通过最优化方法得到视

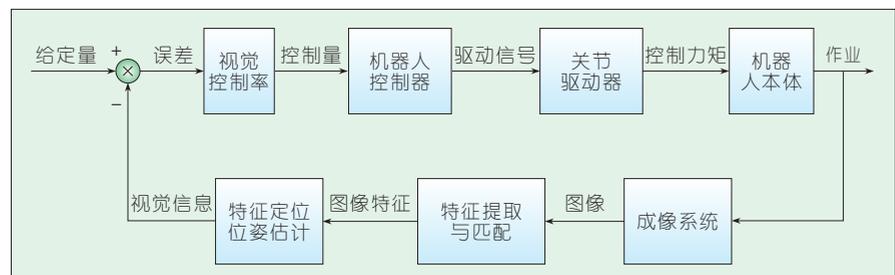
觉伺服中的位姿信息,改善视觉伺服的精度和鲁棒性。与其他控制方法相比,视觉伺服控制的主要难点在于视觉反馈信息的测量和视觉控制率的确立。

在智慧工厂中,智能制造系统需要自动化生产线上多种智能制造装备协同工作,是一种典型的高阶、非线性、强耦合的多变量系统。针对这一难题,可采用多机器人手眼协调控制,将机器人逆运动学分析、轨迹规划、多机器人协同控制、力/位混合控制、多感知控制等智能控制技术用于视觉伺服中,实现多机器人关节空间的协同视觉伺服控制,提高控制精度和智能化程度。

2 智慧工厂机器感知控制的云计算平台设计

在智慧工厂中,机器感知控制技术主要用于解决特定的制造作业,如目标识别和位姿测量,产品质量和缺陷检测,物理量测量、目标三维建模、视觉伺服作业等。在这些应用中,由于实时获取的图像本身数据量较大,且图像处理过程通常较为复杂,导致整个信息处理过程计算量复杂度极高,采用传统的装备侧运算资源难以满足上述应用对于实时性的要求。针对这一难题,在工业4.0框架下,智能制造过程中获取的实时图像数据通过高速通信网络传输到云计算平台中,利用云端极强的运算能力和计算负载均衡方法,可以满足各种机器感知控制算法应用的实时性、检测控制精度、稳定性极高的需求。

智慧工厂中的机器视觉感知控



▲ 图2 视觉伺服运动控制基本原理

制的云计算平台可采用如图3所示的系统方案,该云平台主要有3部分构成^[2],分别为装备抽象层、机器视觉感知控制算法层和智能制造数据库。装备抽象层主要对各种制造装备进行抽象,得到装备的成像系统模型、控制系统模型等,作为环境感知和自主控制的基础。算法层主要包括各种图像去噪增强、配准融合、目标定位、检测区域分割、目标识别、特征检测、机器学习、视觉伺服控制等信息处理方法,实现从获取的图像中提取出目标的位姿、特征、类型等信息,满足智慧工厂各种应用对于信息服务的需求。智能制造数据库主要包括感知和控制目标数据库、图像处理流程数据库等,主要用于存储、配置和统计制造过程中的物流、制造参数、信息处理流程等,是实现柔性制造和高质量定制产品制造的关键。

与传统的机器视觉感知控制系统相比,上述基于云平台的实现可以大幅度提高系统的可扩展性、可重构性等,同时也降低了系统开发的难度

和成本,有利于在智慧工厂中普遍推广应用机器视觉感知控制技术,提高环境感知和自主控制的智能化程度。

3 总结与展望

智慧工厂是一个复杂系统,通过智能制造装备、大数据、云计算平台和信息物理系统的应用,可满足极其复杂的制造过程协同控制的需求,大幅度提高制造过程的智能化和自主化程度。机器视觉感知控制技术是解决智慧工厂环境感知和自主控制这一难题的关键,而云计算技术则能够解决各种视觉应用高实时性需求与图像运算复杂度极高之间的矛盾,因此发展机器视觉感知控制云计算平台对于智慧工厂来说十分重要。针对这一难题,我们分别对机器视觉感知控制技术进行综述,并提出了一种机器视觉感知控制云计算平台设计方案,在该方案中有以下关键技术难题有待进一步研究:

(1)先进工业成像技术。当前采用的成像技术大多局限于可见光成

像,导致在某些应用中获得的图像特异性差,不能够全面体现被检对象特征。为此需要从光源频谱控制、先进阵列感知、信号调理等方面全面研究成像技术,探索不同类型对象与电磁波相互作用和成像的新现象、新原理、新方法。将多种先进成像技术,如高光谱成像、激光扫描成像、干涉/衍射成像、层析成像、太赫兹成像、电容成像等应用于工业视觉检测和控制,丰富视觉感知手段。

(2)云计算平台负载平衡技术。图像大数据与其他信息不同,具有流数据的特点,如何在云计算平台中实现对制造过程获取的图像大数据进行实时处理一直是困扰智能制造的一个技术难题。因此,研究云计算平台中的负载平衡技术,将图像处理步骤分散到各个节点中,结合流数据处理特点,实现并行图像处理,成为解决这一难题的关键。

(3)云计算平台中的自动化图像处理流程设计。图像处理过程通常由多个图像处理步骤构成,而每个步骤都可以采用多种处理算法,同时由于不同应用图像特征和任务目标各异,造成图像处理流程设计困难。为解决这一难题,需研究自动化图像处理流程设计方法,首先分析不同图像处理算法的特点,以及达到的处理效果,并分析参数对于图像处理结果的影响,然后根据任务、先验知识和图像特征,选择最优图像处理算法和参数,实现自动化图像处理流程设计。

(4)智慧工厂机器鲁棒感知控制的高稳定性、高可靠性和适应性研究。由于机器感知图像信息属于非线性多维信息,在应用中存在多种不确定性,限制了智慧工厂制造装备的稳定性和可靠性。为此需要研究机器感知应用的稳定性、可靠性控制方法,以及误差控制方法,消除不确定性,提高智慧工厂的自适应能力。

(5)智慧工厂机器深度学习技术研究。建立智能化工厂是企业未来发展的需要。不论是食品行业还是

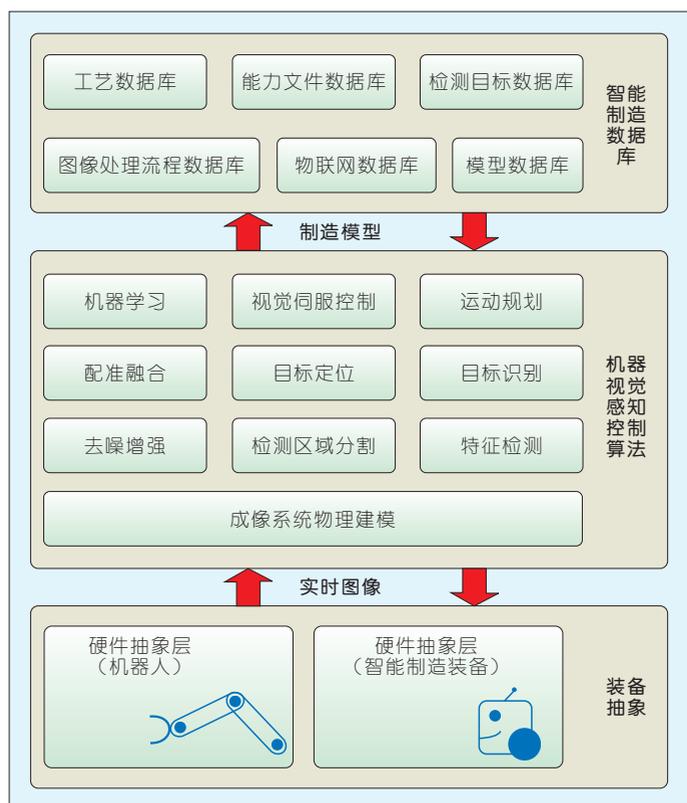


图3 智慧工厂的机器视觉感知控制云计算平台系统设计

其他行业,最初的生产都是大批量生产,随着技术及时代的发展,市场上产品同质化越来越严重;另一方面客户的个性化需求逐渐增强,迫使企业由大批量生产转向多品种小批量生产,更进一步,将逐步转向个性化定制生产。市场需求的变化使得各行各业逐步开始进行转型升级,要求生产线具有高度的柔性,能够进行模块化的组合,以满足生产不同产品的需求。与此同时,为了响应客户的需求,需要及时对客户的信息进行收集、处理及反馈,也促使企业开始关注自己的数字化、信息化建设,各种实用的系统逐步上线;更进一步为了提升生产效率,使得设备与设备之间、设备与人之间要有信息互通和良好的交互,又要求利用相关技术实现互联。在工业4.0概念中对于智能化要求的描述是设备自适应柔性制造、信息感知及端到端沟通,并具有预警和自诊断能力。为此需研究深度学习的机器感知、机器认知,以提高智慧工厂的自适应柔性制造能力。

参考文献

- [1] 德国联邦教育研究部. 德国工业4.0战略计划实施建议[R]. 2013
- [2] 中国国务院. 国务院关于印发《中国制造2025》的通知[R/OL]. (2015-05-19)[2016-05-09]. http://www.mof.gov.cn/zhengwux/inxi/zhengcefabu/201505/t20150519_1233751.htm, 2015. Online; accessed 19-Mar.-2016
- [3] SHETH A, ANANTHARAM P, HENSON C. Physical-Cyber-Social Computing: An Early 21st Century Approach [J]. IEEE Intelligent Systems, 2013, 28(1):78-82. DOI: 10.1109/MIS.2013.20
- [4] ILIC M D, XIE L, KHAN U A, et al. Modeling of Future Cyber-Physical Energy Systems for Distributed Sensing and Control[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, 2010, 4(40):825-838. DOI: 10.1109/TSMCA.2010.2048026
- [5] DERLER P, LEE E A, VINCENTELLI A S. Modeling Cyber-Physical Systems [J]. Proceedings of the IEEE, 2012, 100(1):13-28. DOI: 10.1109/JPROC.2011.2160929
- [6] PEREZ F, IRISARRI E, ORIVE D, et al. A CPPS Architecture Approach for Industry 4.0 [C]// Proceeding of Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA), 2015 IEEE 20th Conference on. USA: IEEE, 2015, 1-4
- [7] WANG F Y. The Emergence of Intelligent Enterprises: From CPS to CPSS [J]. IEEE Intelligent Systems, 2010, 25(4):85-88. DOI: 10.1109/MIS.2010.104
- [8] CHENG F T, TIENG H, YANG H C, et al. Industry 4.1 for Wheel Machining Automation [J]. IEEE Robotics and Automation Letters, 2016, 1(1):332-339. DOI: 10.1109/LRA.2016.2517208
- [9] 王耀南, 陈铁健, 贺振东, 等. 智能制造装备机器视觉感知控制方法综述[J]. 控制理论与应用, 2015, 32(3): 273-286
- [10] 张辉, 王耀南, 周博文. 基于机器视觉的液体药品异物检测系统研究[J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(3):548-553
- [11] SAMPIGETHAYA K, POOVENDRAN R. Aviation Cyber-Physical Systems: Foundations for Future Aircraft and Air Transport [J]. Proceedings of the IEEE, 2013, 101(8):1834-1855. DOI: 10.1109/JPROC.2012.2235131
- [12] GATTULLO M, UVAA E, FIORENTINO M, et al. Legibility in Industrial AR: Text Style, Color Coding, and Illuminance [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2015, 35(2):52-61. DOI: 10.1109/MCG.2015.36
- [13] YADID P O, ETIENNE C R. CMOS Imagers: from Photo Transduction to Image Processing [M]. Germany: Kluwer Academic Publishers, 2004
- [14] 余洪山, 赵科, 王耀南, 等. 融合2D/3D摄像机的方法与获取高精度三维视觉信息的装置[J]. 控制理论与应用, 2014, 31(10):1383-1392
- [15] BUADES A, COLL B, MOREL J M A. A Review of Image Denoising Algorithms, with a New One [J]. Multiscale Modeling & Simulation, 2005, 4(2):490-530
- [16] POLESEL A, RAMPONI G, MATHEWS V J, et al. Image Enhancement via Adaptive Unsharp Masking [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(3):505-510
- [17] RAHMAN Z U, JOBSON D J, WOODDELL G A. Retinex Processing for Automatic Image Enhancement [J]. Journal of Electronic Imaging, 2004, 13(1):100-110
- [18] 王耀南, 李树涛. 多传感器信息融合及其综述[J]. 控制与决策, 2001, 16(5):518-522
- [19] SEERHA G K, KAUR R. Review on Recent Image Segmentation Techniques [J]. International Journal on Computer Science and Engineering, 2013, 5(2):109
- [20] SILVER W M, MCGARRY E J, HILL M L, et al. Method for Fast, Robust, Multi-Dimensional Pattern Recognition [P]: 7016539. 2006-03-21
- [21] CHAUMETTE F, HUTCHINSON S. Visual Servo Control. I. Basic Approaches [J]. IEEE Robotics & Automation Magazine, 2006, 13(4):82-90
- [22] CHAUMETTE F, HUTCHINSON S. Visual Servo Control. II. Advanced Approaches [J]. IEEE Robotics & Automation Magazine, 2007, 14(1):109-118
- [23] DRATH R, HORCH A. Industrie 4.0: Hit or hype?[J]. IEEE Industrial Electronics Magazine, 2014, 8(2):56-58

作者简介



王耀南, 湖南大学教授、博士生导师, 电气与信息工程学院院长, 机器人学院院长, 机器人视觉感知与控制技术国家工程实验室主任; 长期从事智能控制与机器人技术研究; 在机器人感知与控制、机器学习与视觉图像检测、智能工业作业机器人领域内先后主持完成多项国家重大项目; 技术成果获“中国发明创业”特等奖、“国家科技进步”二等奖等奖项; 发表论文100余篇, 出版专著8部, 获国家发明专利60余项。



陈铁健, 湖南大学在读博士; 主要研究方向为智能制造装备与机器视觉, 从事机器人感知与控制、机器学习与视觉图像检测、工业制造机器人自动化生产线控制系统等; 技术成果获省部发明科技进步一等奖2项; 发表论文6篇, 获国家发明专利5项。

综合信息

WAPI产业联盟: 中国两项近场通信 NFC 安全技术成国际标准

中国自主创新的近场通信(NFC)非对称实体鉴别(NEAU-A)、NFC对称实体鉴别(NEAU-S)两项近场通信安全技术正式成为ISO/IEC国际标准, 填补了国际上NFC身份认证安全领域的空白, 一定程度上改变了中

国物联网领域核心技术受制于人的局面。

据市场研究机构预测: 全球NFC市场预计会在2020年达到218.4亿美元, 2015年至2020年的复合年均增长率接近17.1%, 然而其技术安全性却备受诟病, 相关问题已严重威胁用户的财产和金融信息安全。

(转载自《飞象网》)

流程工业智能工厂建设的探索与实践

Construction of Process Industrial Intelligent Plant

施一明/SHI Yiming

(中控科技集团有限公司, 浙江 杭州 310053)
(SUPCON Science&Technology Group Co., Hangzhou 310053, China)

中国经济变革已经迫在眉睫, 投资主导增长模式正在失去动力, 推动经济发展更要注重提高发展质量和效益, 生产力主导型发展模式正在成为中国经济发展的新动力。作为国民经济支柱产业的流程工业企业, 面对错综复杂的经济环境和持续下行的经济压力, 如何创新企业经营管理模式, 优化提升运营服务能力, 抓住历史发展的新机遇, 构建企业发展的新生态, 重拾发展新动力, 是每个企业必须直接面对和亟待解决的问题。

信息化是中国加快实现工业化和现代化的必然选择。在信息技术领域, 随着德国工业4.0、美国工业互联网、中国制造2025的提出, 以数字化、网络化、智能化为特征的新一轮科技革命正在悄然兴起, 以大数据、云计算、移动物联网等为代表的新一代信息技术不断成熟和普及^[1], 对企业发展正在产生着越来越显著的重要作用。

工业企业进行“两化”深度融合, 集中表现就是建设智能工厂。然而, 什么是智能工厂? 为什么建、怎么

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 05-0031-005

摘要: 工业企业进行“两化”深度融合, 关键是建设智能工厂。认为智能工厂建设是一项系统工程, 通过采用成熟的数字化、网络化、智能化技术, 使企业的生产系统、信息系统、自动化系统和业务管理系统成为一个协同工作的整体, 提升企业生产管控的整体绩效。提出了智能工厂的功能架构, 并介绍了数据交换体系、3个智能服务平台和十大业务应用系统等建设内容, 对建设过程中的若干关键技术进行了探讨, 并结合实际案例介绍了智能工厂建设情况和运营效果, 对信息安全、实时优化等未来发展方向进行了展望。

关键词: 智能工厂; 优化控制; 实时数据库

Abstract: For industrial enterprises, intelligent plant is the key to achieve deep integration of informationization and industrialization. The establishment of intelligent plant is a complex system engineering which requires the collaboration of production system, information system, automation system and business management system through mature digital, network and intelligent technology, thus improve the overall performance of enterprise production management & control. In this paper, we present the functional structure of intelligent plant, and explain the main construction points including the data exchange system, three intelligent service platforms, ten business application systems, and discusses several key technologies during the construction. The construction and operation results of typical intelligent plant cases are also introduced, and the future development trends such as information security, real-time optimization is forecasted.

Key words: intelligent plant; advanced process control; realtime database

建? 在业界还未形成统一的观点和认识。文章中, 我们结合多年来在自动化、信息化领域的工作经验和认识, 对智能工厂的建设思路、功能框架、行动路线、关键技术等进行简要分析, 同时结合实践案例分析了智能工厂建设的效果与作用, 希望促进行业对智能工厂的思考, 推动智能工厂的技术建设和建设实践。

1 智能工厂系统架构

1.1 智能工厂的理解

智能工厂建设是一项系统工程,

从空间维度看, 包括生产、工艺、设备、质量、仓储、物流、自动化、信息化等技术系统与系统; 从时间期维度看, 包括产品研发、生产制造、供应链等维度^[2]。

智能工厂建设旨在使企业的生产系统、信息系统、自动化系统和业务管理系统成为一个协同工作的整体, 提升企业生产管控的整体绩效。

1.2 智能工厂建设思路

智能工厂建设的总体目标是: 采用成熟的数字化、网络化、智能化技术, 围绕生产管控、设备运行、质量控

收稿时间: 2016-07-28
网络出版时间: 2016-09-09

制、能源供给、安全应急5项核心业务,采取关键装置优化控制,计划调度操作一体化管控^[3],能源优化减排,安全风险分级管控及生产绩效动态评估等关键措施,着力提升企业生产管控的感知能力、预测能力、协同能力、分析优化能力及IT支撑能力,为企业经营管理综合效益和竞争力提升提供了坚实的保障,并能够最终帮助企业实现高效、绿色、安全、最优的管理目标。

1.2.1 “六层面”建设视角

对于流程工业企业这样一个复杂的系统,我们“化整为零”,从生产控制和生产组织两个维度切入,将智能工厂建设分为智能机构、智能检测、智能控制、智能操作、智能运营、智能决策6个层面,分别寻找、匹配先进的装备、技术与系统,进行智能化建设,如图1所示。

(1)智能机构层:在适合的生产单元、工序中进行智能化操作改造,最大限度地利用机械臂、码垛机、巡检机器人、无人引导小车(AVG)小

车、自动化仓储、定量装车等装备,替代人的体力劳动,提高生产运行的工作效率和质量。

(2)智能检测层:对生产资源、运行状态的检测进行系统化的设计和建设,包括泄漏、火灾、消防、视频、电子巡更、一卡通、全球定位系统(GPS)、在线检测仪等内容,并实现这些系统的互联互通、智能联动,为安全的生产环境提供保障和服务。

(3)智能控制层:对生产工艺的控制提供系统的解决方案,包括分布式控制系统(DCS)、数据监测控制与采集系统(SCADA)、控制回路比例积分微分(PID)性能评估等内容,实现生产工艺控制的高度自动化。

(4)智能操作层:为生产、质量、设备、能源、安全等业务管理提供智能操作系统与平台,包括先进控制(APC)、仿真培训系统(OTS)、制造执行系统(MES)、能源管理系统(EMS)、企业资产管理系统(EAM)、安全评价系统(SES)、质量健康安全环境管理系统(QHSE)等内容,优化生产管控的业务流程,丰富操作优化

的指导工具,提升生产操作的业务协同水平^[4]。

(5)智能运营层:为供应商关系管理、客户关系管理、企业资源计划、工程项目管理、科研管理等业务提供智能化服务平台,包括企业资源计划(ERP)、供应链管理系统(SCM)、客户关系管理系统(CRM)等内容。

(6)智能决策层:构建企业级专家知识库,搭建面向主题的工业大数据分析决策平台,通过建立拟合不同模型研究不同关系,发现有用信息,用于分析原因解决问题;发现潜在价值,预见可能发生的某种“坏的未来”并且给出相关建议,即预测并提供解决方案。

1.2.2 “四步骤”行动策略

流程工业是一个很大的范畴,不同行业差异很大,同一行业的企业差异也很大,且企业处在发展变化的不同阶段,所以每个具体企业建设智能工厂的基础条件、建设目标、建设内容,均应该具体问题具体分析,不能采取“一个模子”、“一刀切”的实施方案。

鉴于各企业的差异,我们提出了具有一定共性和普适性的智能工厂“四步骤”行动策略,如图2所示。

第1步,立足自动化。以企业生产的工艺流程为主线,分析各设备、工序、工段、车间的仪表及自动化系统,对人工操作、机械控制等环节进行自动化改造,使数据自动采集率>90%,提升控制回路自控率,提升区域优化控制平稳率,在生产工艺过程控制层面,实现高度自动化与优化控制,充分挖掘装置产能,提升产品质量并降低物耗能耗。本阶段建设的关键是互通。

第2步,做足电子化。结合中国大多数企业管理还处在人工记录,开会制订方案,文本形成报告的管理阶段的实际情况,我们建议以流程梳理优化为抓手,规范、固化企业管理业务流程,并通过电子化的信息系统进



▲图1 工厂智能化“六层面”建设

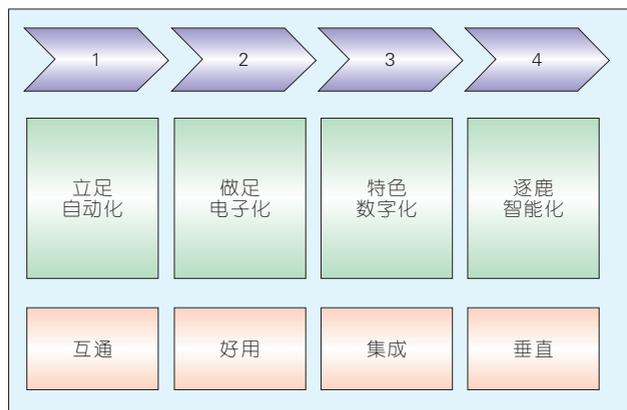


图2
流程工业企业智能工厂建设的行动策略

行支撑,做到管控流程的透明和可追溯。本阶段建设的关键是适用。

第3步,特色数字化。通过建立企业的数字化模型,整合工厂设计的静态数据和工厂运行的业务数据,将MES、ERP、EAM、全生命周期管理(PLM)、SCM、CRM、工厂设计等系统进行集成,建设以企业数字化模型为核心的业务应用及展示平台。本阶段建设的关键是集成。

第4步,逐鹿智能化。建立企业级知识库以及工厂长周期运行的历史数据,结合对计划、调度、操作、工艺等机理研究,分业务、分装置建立智能化决策、管控、操作一体化的优化平台。本阶段建设的关键是垂直。

1.3 流程企业智能工厂功能架构

流程工业企业智能工厂建设的功能架构如图3所示。

智能工厂建设内容包括:智能服务数据交换体系、3个智能化管控平台、十大智能业务应用系统。

1.3.1 基于智能服务总线的数据交换体系

基于实时数据库、关系数据库,以及工程设计、工厂资源、生产动态、现场多媒体等信息融合技术与可视化技术,建立基于统一数据仓库的智能服务数据总线,实现生产管理系统、安全管理系统、能源管理系统、设备管理系统、质量管理系统、绩效管理系统等集成以及与ERP系统的互

联互通,消除“信息孤岛”、“应用孤岛”^[5]。

数据交换系统包括:传输服务(安全/可靠的数据传输,同步/异步服务等)、仲裁服务(服务路由、格式转换、流程引擎等)以及协议服务(接入协议转换、接出协议转换)。

1.3.2 3个智能服务平台

(1)生产过程自动化智能控制平台:以控制系统DCS为核心,包括APC、安全仪表系统(SIS)、调制与编码策略(MCS)、机组综合控制系统(ITCC)、火灾报警系统(FAS)、全球

分销系统(GDS)、闭路电视监测控制系统(CCTV)、电气自动化、三级计量、外操巡检定位、分析小屋、电气防误闭锁、大型机组设备健康等。

(2)企业生产管理智能服务平台:以MES为核心,包括企业级专家知识库、企业数字化资产模型、 workflow引擎、优化分析模型库、分析算法库、智能报警服务、IT工具集等。

(3)企业生产运营智能服务平台:以ERP为核心,包括企业主数据、业务分析模型、绩效评估体系、企业门户等。

1.3.3 十大智能业务应用系统

智能工厂应着力建设十大核心智能系统:工程设计数字化移交、过程控制自动化控制系统、实时数据库系统、先进控制优化系统、生产执行系统、能源管理系统、实验室信息管理系统、设备运行管理系统、安全风险分级管控与安全应急指挥系统、目标传导式绩效管理系统。

1.4 智能工厂建设的关键技术

在智能工厂建设过程中,需要攻

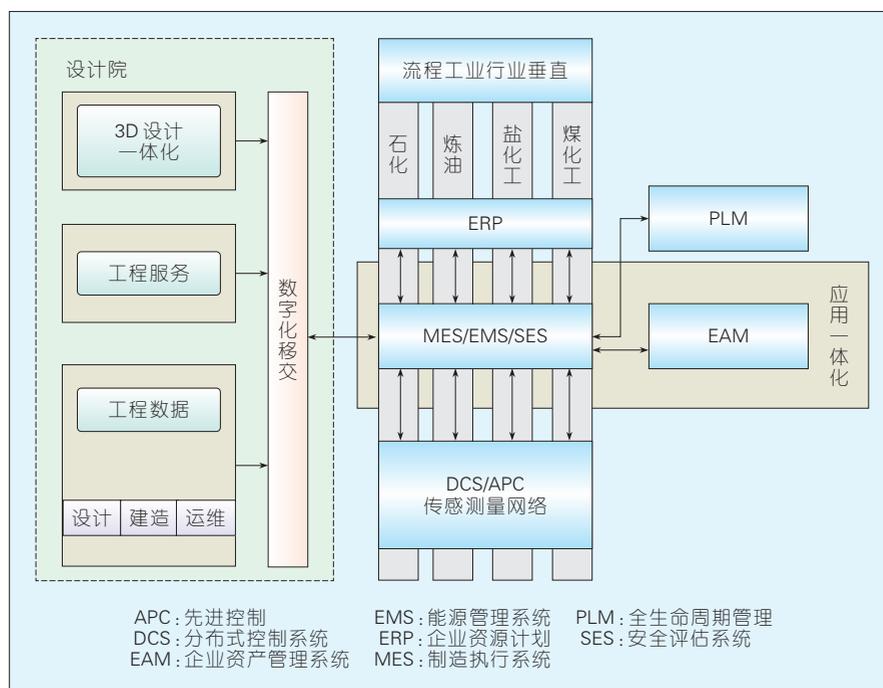


图3 流程工业企业智能工厂功能架构

克一系列关键技术,包括:

(1) 工程设计数字化交付

一般意义上的交付按照专业划分,资料分别交付,交付成果是分散的,没有关联关系的,很难保证数据的一致性,业主很难进行维护和再利用。而“数字化交付”将各专业数据进行整合,并将它们之间建立起关联关系,保证交付信息的完整性、一致性和正确性。要实现真正意义上的“数字化交付”至少要完成智能 P&ID 的绘制,完成 3D 模型的绘制,并且通过技术手段保证二、三维数据的一致性和正确性,减少数据冗余。

(2) 复杂异构系统的互联互通

智能工厂的各信息系统包括基础自动化系统、三级计量、实时数据库系统、分析小屋、巡检定位系统、外操培训系统、在线污水监测系统、绩效考核系统、在线培训系统等,这些系统存在技术路线各异、数据与模型不统一等问题,已经形成了诸多应用孤岛,需要攻克异构系统集成关键技术,实现系统的集成与互联互通。

(3) 复杂过程动态特性优化控制策略设计

流程工业企业生产过程工艺复杂,各装置上下游工艺关联紧密,设备间的物料、能量耦合度高,对扰动十分敏感,局部干扰,往往会在整个生产流程传播。每个工序的设备、单元,甚至整个生产线,都有自身优化点、控制点及安全约束边界,而往往单个设备的优化操作点与整个生产线的全局优化点存在差异。如何协调优化各个工序的局部优化点使整个过程的趋于最佳优化点,是整个单元生产优化控制的关键问题。

(4) 多层次、多尺度工厂统一进行建模

生产企业管理是一个复杂的多维系统,如何建立生产、设备、质量、安全、能源等多项专业管理在时间、空间多尺度上的模型以及实现模型一致映射,是考验应用系统实用性、灵活性的关键,需要攻克工厂统一建

模的技术难题^[6]。

(5) 重大耗能设备能效的分析与优化

企业生产中,由于缺乏加热炉、压缩机、泵等重大耗能设备的能效评估模型,导致对其的操作与控制智能凭经验进行,因此需要通过基于机理和数据联合建模的方法,绘制设备能效监察图,并通过实时计算值在线评估各台设备的当前能效,解决设备能效分析与负载优化难题。

(6) 关键生产设备故障诊断与操作优化

关键设备一旦发生故障,不但造成巨大的经济损失,有可能还会引发安全事故。通过设备运行状态、巡检及检修纪录等信息,找到设备变化的规律,对设备潜在的故障进行预警,是智能工厂中提高设备运行效率的重要方法。

(7) 区域定量风险分析及重大事故模拟

涉及危险化学品生产、储存的区域,要进行火灾、爆炸、泄漏、中毒等多种灾难事故的叠加风险分析、定量计算与可视化模拟等模型研究,并开发集安全风险容量、事故场景、多米诺效应等多种功能于一体的安全信息系统,技术难点是上述模型的研究仍需加强。

(8) 绩效管理理念落地

在制订绩效管理方案的过程中,企业都根据自身特点融入了各类绩效管理理念,但在实际实施中,这些理念的大部分却没有得到有效贯彻、落实。通过指标量化细化分解使战略转化成指标是重要的技术难点。

2 流程工业智能工厂应用案例

某氯碱企业典型的“煤-电-电石-聚氯乙烯-电石渣水泥”循环经济产业,聚氯乙烯树脂 137 万吨/年、烧碱 100 万吨/年、电石 200 万吨/年、水泥 260 万吨/年、乙二醇 10 万吨/年、1,4-丁二醇 10 万吨/年,发电 125 亿

度/年。随着生产规模、原材料成本等优势丧失,企业运营变得越来越困难。

我们与该企业合作,围绕企业“节能减排、流程优化、减人增效、绿色安全”等管理目标,以智能工厂建设为契机,建设了生产管控信息化支撑系统,为企业创造了显著的经济效益,该企业 2016 年还被工信部评选为智能制造试点单位。

在装备自动化方面,对 PVC、烧碱车间的生产线进行了智能化改造,使用了 PVC 包装机器人和片碱包装码垛机,人工减少 50%,操作误差降低 80%。

在智能检测层面,对涉及 12 个生产板块的 10 万多块仪表进行了改造、联网,为企业实现泛在感知奠定了坚实的基础。

在智能控制层面,我们建设了 13 个分厂的 9 套控制系统。在 1,4-丁二醇、乙二醇、密闭电石炉、以及 2×300 MW 机组等工艺技术先进的重大装置上实施了中控的 ECS-700 型控制系统,控制效果达到设计要求。

在智能操作层面,针对高耗能的电石炉,通过建立电极电流、电极电压、电极功率、炉内压力等关键操作变量过程模型,实施先进控制,其控制效果得到显著改善,经过标定计算,吨电石耗电量降低 2.37%。同时,针对热电、电石、水泥、化工四大耗能生产板块,改造、新增能源计量仪表近 4 000 块,建立了基于水、热力学能源管网模型,对热电联产的机组负荷进行优化调度,保障各机组经济运行。通过数据对比分析,优化后降低煤耗 1.45%,每年可节约 4.29 万吨标准煤。

在生产运营方面,建立了 ERP、OA 等管理平台,通过智能工作流引擎促进经营管理业务的高效与协同,大大提高了生产管理的质量和效率。

基于工业大数据平台,建立了基于原料、产量、质量、设备等主题的分析模型,帮助管理者进行科学决策,

优化管理与生产。

“十三五”期间,该企业在智能工厂建设方面将进一步加大投入,继续推进信息化项目建设,如建设关键装置先进控制、重大危险源监察、设备故障诊断及主动防护、跨境电商平台等,不断完善企业业务管理的IT支撑体系,为企业发展提供新动力。

3 流程工业智能工厂建设展望

当前,新一轮的科技革命与中国的产业变革产生了交汇,智能工厂建设还处在起步阶段,未来还需要在工控信息安全与防护、智能工厂参考模型建模、工业大数据分析与应用、生产过程模拟仿真^[4]等方面开展更多的研究,并要求业主、方案提供商、科研院所等多方力量进行联合创新、探索,结合行业特点,将先进的信息化工具、技术与企业的工艺知识库、操

作经验进行深度融合,探索创新出行业最佳应用实践,是智能工厂提升发展的必由之路。

同时,智能工厂的内涵和外延还在不断发展和深化之中。展望未来,智能工厂将继续利用数字化、网络化、智能化的先进技术,发展基于智能制造的生态系统,实现原料供应到制造加工再到产品销售的价值链集成,创新生产管理新模式,帮助企业实现安全、绿色、高效、节能的生产愿景,全面提升企业竞争力。

参考文献

- [1] 张曙.工业4.0和智能制造[J].机械设计与制造工程,2014,43(8):1-5
- [2] 张益,冯毅萍,荣冈.智能工厂的参考模型与关键技术[J].计算机集成制造系统,2016,22(1):1-12
- [3] 覃伟中,冯玉仲,陈定江,等.面向智能工厂的炼化企业生产运营信息化集成模式研究[J].清华大学学报(自然科学版),2015(4):373-377
- [4] 郭仲臻,冯毅萍,王继帅,等.一种基于仿真的流程工业生产调度闭环优化方法[J].化工自动化及仪表,2011(4):369-374

- [5] LI D F, LIU L, ZHU W, et al. Material-Flow Modeling Technology and Its Application in Manufacturing Execution System of Petrochemical Industry[J]. Chinese Journal Chemical Engineering, 2008, 16(1):71-78
- [6] 贾伟,朱建新,高增梁,等.区域定量分析评价方法及其在化工园区中的运用[J].中国安全科学学报,2009,15(5):140-146
- [7] 周泽伟,冯毅萍,吴玉成,等.基于虚拟现实的流程工业过程模拟仿真系统[J].计算机工程与应用,2011,47(10):204-208

作者简介



施一明,中控科技集团有限公司副总裁、中控研究院院长;长期从事现场总线技术、自动控制系统和自动化仪表等方面的研究,对企业创新体系建设、新产业孵化等有丰富经验,现从事企业战略规划、科研管理的相关工作;研究成果获国家科技进步二等奖1项、浙江省科技进步一等奖2项;发表论文10余篇,获得发明专利5项。

综合信息

工业互联网产业联盟通过《工业互联网体系架构》

2016年8月12日,工业互联网产业联盟(以下简称“联盟”)工作组第二次全会在北京成功召开。会议由联盟秘书长余晓晖主持,工业和信息化部信息通信管理局、联盟理事长单位、副理事长单位、理事单位、成员单位、相关单位代表及业界专家等90家单位的223名代表出席了本次会议。

会议审议了联盟总体组(含知识产权、边缘计算及工业大数据3个特设组)、需求组、技术与标准组、安全组、试验平台组、产业发展组和国际合作组的上半年工作总结、下半年工作计划以及重点任务,新成立了频率工作组,通过了部分工作成果,审议了各工作组的输出文件,同时还针对投融资机制议题进行了广泛、集中地讨论。

● 通过《工业互联网体系架构(版本1.0)》

本次会议通过了《工业互联网体系架构(版本1.0)》。工业互联网体系架构是工业互联网的顶层设计,是对工业互联网重大需求、核心功能、关键要素的明晰和界定。该报告在总结分析国内外发展实践的基础上,明确了工业互联网的内涵,给出了工业互联网体

系架构,提出网络、数据和安全是体系架构的3大核心,给出了实施建议。工业互联网体系架构是工业互联网产业联盟通过的第一份报告,也是我国首个对工业互联网全面系统阐述的文件。《工业互联网体系架构(版本1.0)》的发布,有利于推动业界对工业互联网形成共识,牵引工业互联网技术研发、标准化、应用部署和工业互联网生态建设,促进产业协同推进工业互联网发展。

● 正式成立频谱工作组

频谱是工业互联网的重要资源之一,为了满足工业互联网高速率、密集接入、高可靠性等需求,促进无线技术在工业互联网领域的应用,解决工业领域频谱使用存在的问题,保障工业互联网的健康发展,本次会议正式成立了频谱工作组,国家无线电监测中心任组长单位。频谱工作组将针对工业互联网开展频率使用评估、频率需求论证、候选频段和传播特性研究以及系统间电磁兼容性测试等工作,促进工业领域用频的全球协调一致,为国家频率规划提供参考和建议,服务“中国制造2025”战略实施。

(转载自《中国信息产业网》)

工业互联网的安全挑战及应对策略

Security Challenges and Countermeasures of the Industrial Internet

陶耀东/TAO Yaodong¹
李强/LI Qiang¹
李宁/LI Ning²

(1. 360 企业安全集团, 北京 100015;
2. 中国科学院大学 沈阳计算技术研究所, 辽宁 沈阳 100168)
(1. 360 Enterprise Security Group, Beijing 100015, China;
2. Shenyang Institute of Computing Technology, University of Chinese Academy of Sciences, Shenyang 100168, China)

1 工业互联网概况

工业互联网是互联网和新一代信息技术与工业系统全方位深度融合所形成的产业和应用生态, 中国工业互联网产业联盟(AII)提出的工业互联网参考体系架构^[1]如图 1 所示。其中,“网络”是工业数据传输交换的支撑基础;“数据”是工业智能化的核心驱动;保障网络与数据的“安全”是工业互联网稳定运行、创造价值的前提。工业互联网的安全可以分为:设备安全、网络安全、控制安全、数据安全、应用安全和参与全程的人员安全。

工业互联网包含了工业控制系统、工业网络,同时也包含了大数据存储分析、云计算、商业系统、客户网络等商业网络基础设施,如图 2 所示。其中,工业控制系统(ICS)是指用于操作、控制、辅助自动化工业生产过程的设备、系统、网络以及控制

收稿时间: 2016-07-20
网络出版时间: 2016-09-05

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 05-0036-006

摘要: 从设备、网络、控制、应用、数据、人员等方面全面分析了工业互联网面临的挑战,提出了应对安全挑战的 10 项策略,并创新性地提出了整体建议和指导日常安全运营的 PC4R 自适应防护框架。指出工业互联网应用企业、安全服务企业、监管部门,需要采取提出的应对措施,形成联动的机制,从体制改革、管理流程优化、人员意识培养、技术创新等方面着手,构建 PC4R 的自适应防御架构,共同打造安全的工业互联网。

关键词: 工业互联网;安全挑战;应对策略;PC4R 自适应防护框架

Abstract: In this paper, we analyze the challenges faced by the industrial Internet, and put forward 10 strategies from the aspects of equipment, network, control, application, data, personnel and so on. The PC4R adaptive protection framework is also proposed in this paper, which guides the daily safety operation of the industrial Internet enterprise. The industrial Internet companies, security services companies, network regulators should take measures to form linkage mechanism, and construct the PC4R adaptive defense framework from the aspects of the system reform, management process optimization, personnel training, technological innovation and so on. In this way, the secure Internet industry can be built.

Keywords: industrial Internet; security challenges; strategies; PC4R adaptive protection framework

器的集合^[2],包括:数据监测控制与采集系统(SCADA)、分布式控制系统

(DCS)、可编程逻辑控制器(PLC)、智能终端、人机交互接口(HMI)等一系

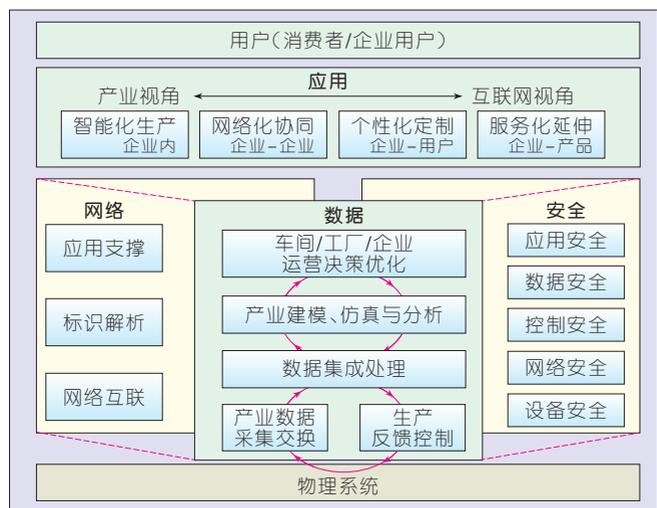
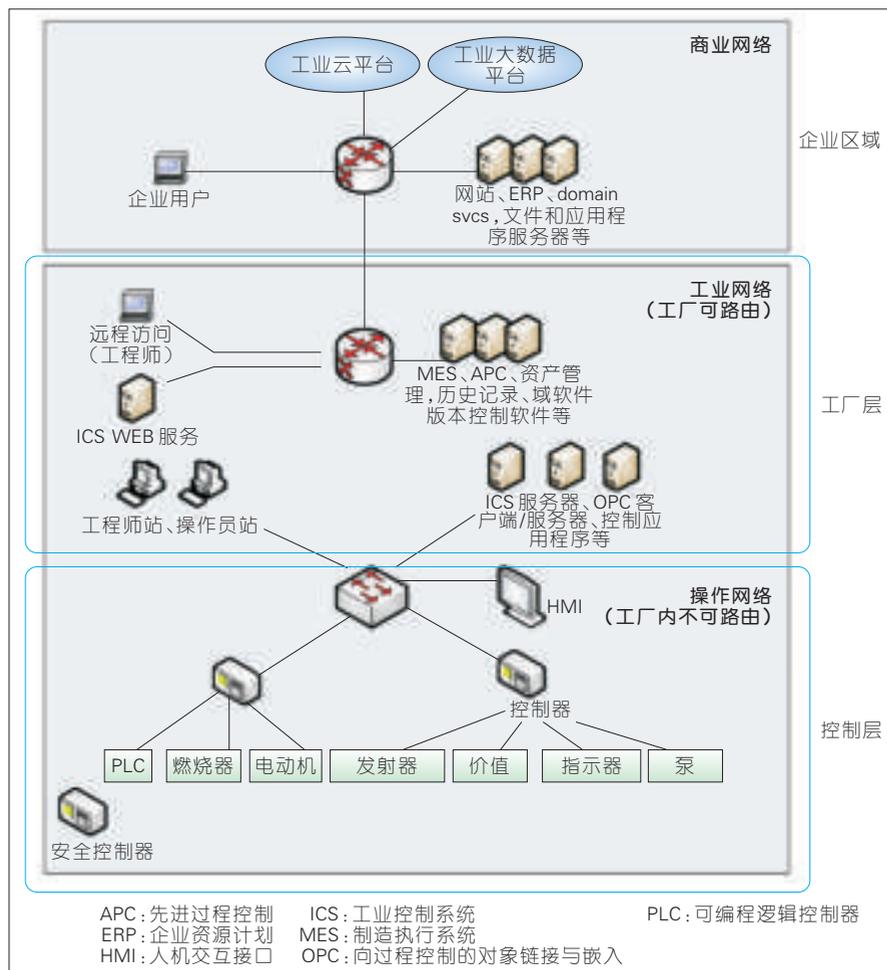


图 1 工业互联网体系架构



▲图2 工业互联网的典型组成

列系统^[1]。

文章中,我们将分析工业互联网的安全挑战,并提出应对措施、整体防御建议。

2 工业互联网的安全挑战

2.1 工业互联网的安全现状

在中国提出《中国制造2025行动纲要》后,工业互联网已经是国家战略组成,工业互联网安全关系国家战略安全。工业互联网中工业网络与采用Internet技术的商业网络的打通,标准Internet的威胁也随之而来——病毒和黑客。原本认为不容易被攻击的工业网络,也因存在设备同时连接到企业网络,而使该设备成为攻击跳板,最后工业网络受到攻击。

近年来全球工业互联网安全事件频发,如:2006年8月,美国BrownsFerry核电站受到网络攻击事件;2011年5月,Duqu病毒(Stuxnet变种)出现;2012年12月,震网病毒攻击美国ChevronStuxnet等4家石油公司。根据RISI数据库统计,发生在工控领域的安全事件与涉及的工业行业,数量明显增多^[2],如图3所示。

2.2 工业互联网的各层次安全挑战

工业互联网安全主要受到来自图1所示的5个层次安全挑战,同时也包括可能参与到各个层面的人员因素,以及覆盖多个层面的高级持续性威胁(APT)。

(1)设备层安全挑战,指工业互联网中工业智能设备和智能产品的

安全挑战,包括所用芯片安全、嵌入式操作系统安全、编码规范安全、第三方应用软件安全以及功能安全等,均存在漏洞、缺陷、规范使用、后门等安全挑战。

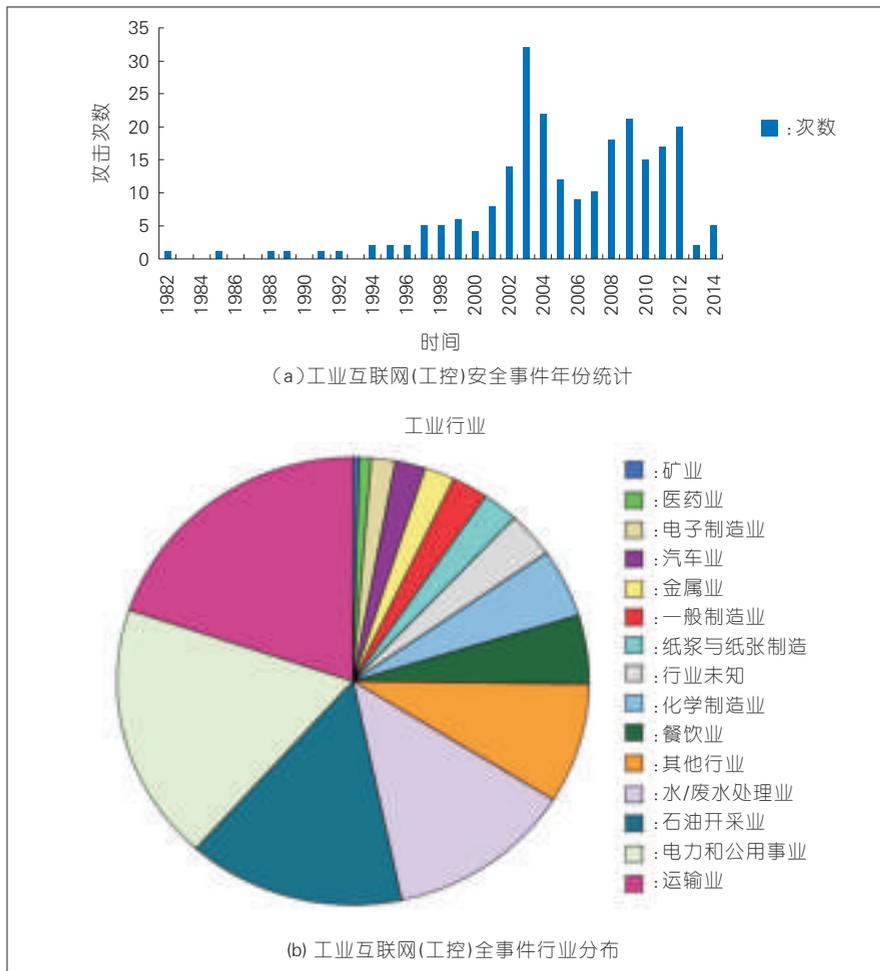
(2)网络层安全挑战,主要来自3方面:工业网络、无线网络、商业网络。主要挑战包括:网络数据传递过程的常见网络威胁(如拒绝服务、中间人攻击等),网络传输链路上的硬件和软件安全(如软件漏洞、配置不合理等),无线网络技术使用带来的网络防护边界模糊等^[3]。

(3)控制层安全挑战,主要来自控制协议、控制平台、控制软件等方面,其在设计之初可能未考虑完整性、身份校验等安全需求,存在输入验证,许可、授权与访问控制不严格,不当身份验证,配置维护不足,凭证管理不严等安全挑战。

(4)应用层安全挑战,指支撑工业互联网业务运行的应用软件及平台的安全,如:WEB、企业资源计划(ERP)、产品数据管理(PDM)、客户关系管理(CRM)以及正越来越多企业使用的云平台及服务。应用软件将持续面临病毒、木马、漏洞等传统安全挑战;云平台及服务也面临着虚拟化中常见的违规接入、内部入侵、多租户风险、跳板入侵、内部外联、社工攻击等内外部安全挑战。

(5)数据层安全挑战,是指工厂内部生产管理数据、生产操作数据以及工厂外部数据等各类数据的安全问题,不管数据是通过大数据平台存储,还是分布在用户、生产终端、设计服务器等多种设备上,海量数据都将面临数据丢失、泄露、篡改等一些安全威胁。

(6)人员管理的挑战,随着工业与IT的融合,企业内部人员,如:工程师、管理人员、现场操作员、企业高层管理人员等,其“有意识”或“无意识”的行为,可能破坏工业系统、传播恶意软件、忽略工作异常等,而针对人的社会工程学、钓鱼攻击、邮件扫



▲图3 工业互联网(工控)安全事件统计

描攻击等大量攻击都利用了员工无意泄露的敏感信息。因此,在工业互联网中,人员管理的也面临过巨大安全挑战。

(7)APT,工业互联网中的APT是以上6个方面各种挑战组合,是最难应对、后果最严重的威胁。攻击者精心策划,为了达成既定目标,所长期持续地进行攻击,其攻击过程包括收集各类信息收集、入侵技术准备、渗透准备、入侵攻击、长期潜伏和等待、深度渗透、痕迹消除等一系列精密攻击环节^[6-7]。

3 工业互联网安全的应对措施

针对第2节提到了工业互联网所面临过的威胁,我们可从以下几方面

进行系统应对。

3.1 知己知彼

(1)知己——安全的前提

制作工业互联网中企业内网的设备清单,保证任何一件设备都处在安全的状态。理解并且登记在企业网络环境中的工控系统设备及其安全状态,是工控安全管理的基础。工控资产清单包括硬件清单、软件清单、软硬件配置清单、网络拓扑图等。

(2)知彼——主动防御

采用蜜罐系统对入侵行为进行捕获,分析相关行为后,并采取更新防火墙、服务器、工作站等安全策略,进行主动防御,使得入侵无功而返。如Conpot^[7]在GitHub发布开源工控蜜罐系统Conpot,该系统是工业控制系

统服务器端的低交互的蜜罐技术,设计易于布置、修改和扩展,通过提供各种通用的工业控制协议,可以构建需要的系统,并且能够模拟构建基础设施^[8]。目前,其他一些国家将蜜罐技术用于研究工业互联网的威胁源,攻击途径以及探索防御手段,技术应用成熟,取得了很多成功,中国部分企业已开始尝试使用。

3.2 网络分区防护

图4为参考NIST SP 800-82、IEC62443等国际工控领域指导性文献的深度防御架构,该架构将工业互联网划分为外部区域集合、控制网络区、企业网络区、远程访问区与生产现场。在相应边界设置防火墙,可保护整个的内部系统免受外部的攻击,隔离企业网络与远程访问区,控制系统网络与其他网络隔离,生产区与控制网络隔离。为进行工业互联网保护,网络分区与应用防火墙可按4个阶段改进:第1阶段双宿主主机防火墙;第2阶段在企业网络和控制网络之间构建防火墙^[9];第3阶段添加路由的企业与控制网络间的防火墙策略;第4阶段添加非军事区(DMZ)防火墙;最后是按照深度防御体系的布置防火墙,并采用基于行为感知的动态分区技术^[9]、特殊分区间的单项传输策略和基于威胁情报的非白即黑策略等。

3.3 安全的远程访问

远程接入设备和移动设备安全的远程访问是工业互联网开放的基础。首先,对于企业工作人员移动设备管理策略应该至少要求远程访问人员不得在公共网络、私人WiFi、其他单位局域网中登录,需要使用安全的网络登录,例如虚拟专用网络(VPN)登录,登录需要使用强口令,并且口令、文件应加密传输^[10],企业外部客户远程访问要做好访问域、访问权限控制等;再次,使用VPN技术保证远程访问过程安全,也被列入到

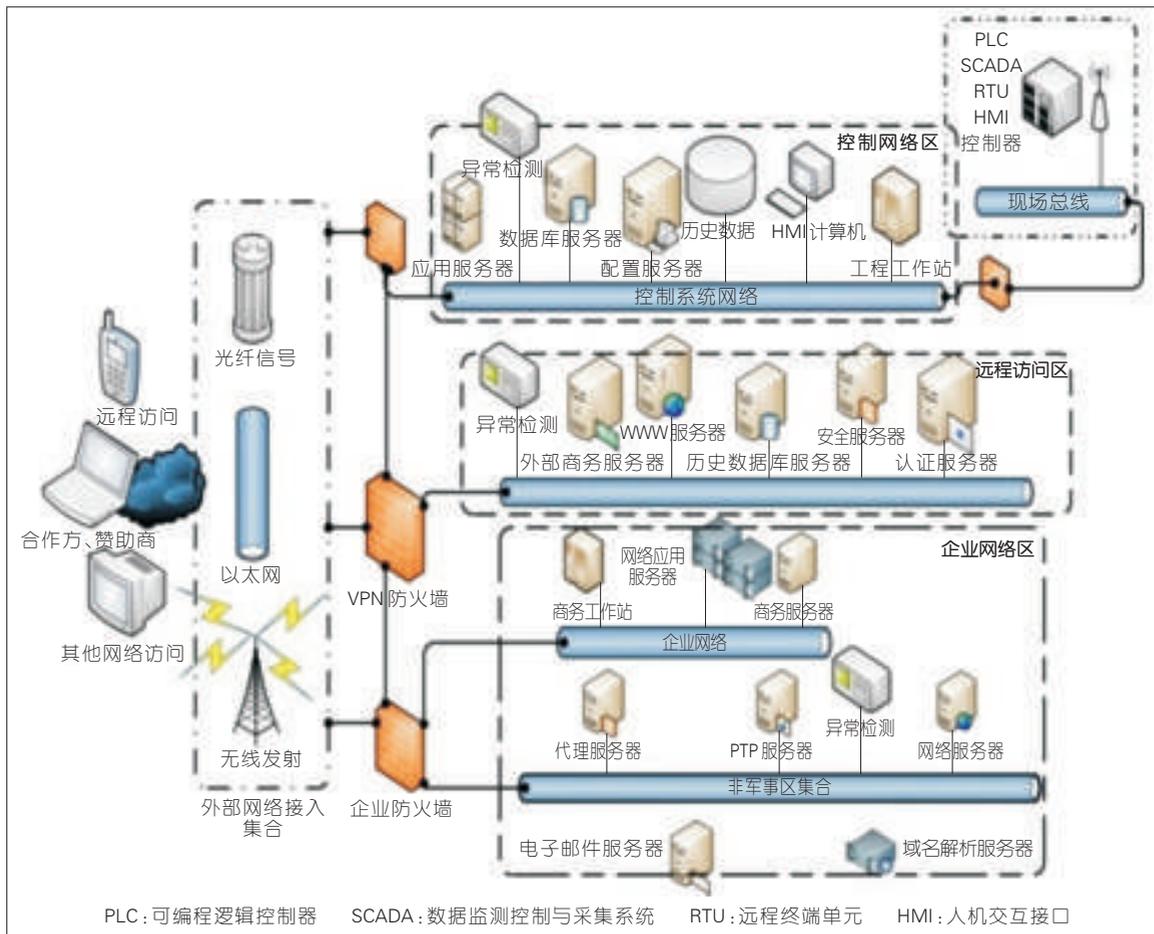


图4 ICS深度防御架构

美国国土安全部发布的工业控制系统远程访问的指导性文献^[11];另外,工业控制网络网关无需对工控设备做任何改造或配置,便可完成数据包的转发工作,不依赖任何硬件环境和软件环境,适用于各种SCADA系统防护,也具有较强的适用性^[12]。

3.4 漏洞和补丁管理

入侵者或黑客用漏洞对工业互联网中的商业网络和工控系统展开攻击,如零日漏洞攻击。科学地检测各类服务器、终端和工控系统漏洞,并合理更新补丁是工业互联网防御的重要组成部分。CVE、中国国家信息安全漏洞库、国家信息安全漏洞共享平台等权威机构漏洞库统计出现的包括工控系统在内的各类漏洞,可作为漏洞扫描的参考。同时,企业用户在自己的工业网络中,主动利用漏洞扫

描技术提前检测主机、网络、工控系统的安全脆弱性,这也是一种主动防御技术。针对工业互联网中的工控系统,因其是实时连续运行的系统,更新补丁需要科学的策略,工信部451号文件也明确了对补丁安全管理提出了要求。

3.5 攻击检测与应急响应

异常检查是对防火墙的补充,可检查内部的攻击、异常,并可检测跨防火墙攻击。异常检查包括入侵检测、病毒查杀、异常代码检测等。业界已提出一些入侵检测模型、异常检测方法,如:非参数累积和(CUSUM)模型、基于多分类支持向量机(SVM)的入侵检测方法^[13],以及基于系统级行为特征的ICS场景指纹异常检查方法^[14]。业界也通过对工业网络中的流量进行被动监测控制,进行分析检

测异常,如对工业网络用差分自回归移动平均模型(ARIMA)方法对正常流量建模后检测异常^[15]。工业大数据现在已开始应用在工业系统和工业网络健康预测性管理(PHM)^[16],通过对工业网络、控制系统、设备上提取关键信息,经过大数据建模、分析、预测,提前预测工业系统的状态和可能存在的异常,布置相关预案。将工业大数据用于工业互联网的异常检测和应急响应,将有机会提前发现由于工业互联网入侵引起的安全事件,抓住先机^[17]。

工业互联网受到攻击是不可避免事件,优秀的安全策略的一个重要指标是能在尽可能短的时间内检测到入侵事件,做出响应动作,使系统回复正常的生产过程,这需要对应急响应包括对入侵事件分类、针对不同类型的入侵事件执行不同的响应动

作,最后采取恢复系统的动作,制订面向网络的故障维修事件应急响应策略,进一步优化响应时间。

3.6 态势感知

态势感知指综合分析工业互联网安全要素,结合企业、商业网络和工业网络状态,评估工业互联网的安全状况,预测其变化趋势,以可视化的方式展现给用户,并给出相应的应对措施和报表。在中国,将态势感知技术用于互联网、企业内网已经出现了解决方案,如360公司的天眼下一代态势感知和未知威胁发现平台,但是将态势感知用于工业互联网还是比较少。其他一些国家提出专门应用于ICS的态势感知参考架构(SARA),并提出构建网络入侵自动响应和策略管理系统(CAMPS)^[19-20]。

从技术发展趋势来看,只要解决了工业网络中的协议多样性、应用多样性的问题,互联网态势感知和未知威胁发现的方法就同样能够适用于工业互联网中,那么态势感知和未知威胁发现将是工业互联网应对安全挑战的重要策略选项。

3.7 用户与实体行为分析

如何确定有效特权账户是否被盗用,应用是否被攻破,设备是否因攻击进入异常状态也是工业互联网用户最棘手的问题之一,解决该问题的最新安全对策是用户与实体行为分析(UEBA)方案。

UEBA方案从物理传感器、网络设备、系统、应用、数据库和用户处收集数据,利用这些数据创建一条基线,以确定在各种不同情况下,什么状态是正常状态。建立基准线后,通过聚合数据、机器学习,发现非正常的模式。用户行为分析管理员也可以创建自定义规则来定制解决方案,以便更贴合工业互联网用户及其特定服务、数据和过程的需求,未来部署了UEBA方案的工业互联网用户,准确率命中异常事件的速度将远快

于传统的安全信息和事件管理(SIEM)系统,可防御80%复杂攻击。

3.8 打造安全的产品

工业互联网中运行了的服务器、终端、工业控制系统、传感器等,特别是工控系统、工业软件,其开发人员一般是控制领域的人员,其信息安全知识不足,往往存在开发环境过时,操作系统版本过时并没有补丁,编码规范不严格,所引入的开源组件代码安全性未知等情况,所完成的产品可能在出厂时就带有各种开发人员未知的缺陷、漏洞等,在进入应用现场后,才开始考虑产品的安全,导致后期修复、升级、防护投入巨大,这也是工控系统安全事件频繁发生的根源之一。因此,我们需要转变思路,将产品进入使用后进行防护保证“产品的安全”这种通常模式,转变为产品进入使用前,先按安全规范,对问题排除,使其成为“安全的产品”。

各大工业互联网解决方案厂商,特别是工控产品厂商,可以联合信息安全厂商建立自己的产品的开发流程、编码规范、出厂标准等。工业互联网应用用户,在将系统投入使用前也请专业的安全服务商、第三方检测机构帮助发现、解决可能存在的问题。越早发现产品或整体网络安全问题,其修复成本越低。

3.9 安全即服务

在工业互联网中将广泛使用云计算、大数据技术,在云平台所面临的问题,如虚拟化安全问题、分布式拒绝服务(DDOS)攻击和挑战黑洞(CC)攻击等,采用传统硬件或设备已经无法防护,安全产品转化新的形势,即安全即服务。安全服务即以云服务的方式在云端为用户提供各种安全解决方案,包括:态势感知、DDOS防护、域名系统(DNS)劫持、IP攻击等;在安全运维管理方面,安全也正变成一种服务,被工业互联网企业采购;企业也不再维持一个庞大的

信息安全维护人员,而是在工业互联网中布置响应感知探针,构建安全管理平台后,发现网络中的安全问题,自动对接专业的安全服务公司或安全专家,由安全专家根据所约定的安全事件级别,提供相应的响应服务,服务内容包括:网络安全评估、渗透测试、取证溯源、响应恢复等。

3.10 以人为本的安全

在工业互联网中,以人为本的安全策略(PCS)可以作为应对人员管理挑战的战略应对。在以PCS指导的安全策略中^[20],可以从问责、责任、即时性、自治、社区、比例、透明度等方面设计较好的安全制度和流程,建立人员的信任空间,包括人员的自治性、主动性、对话、查询等。这个策略实施过程中应强调个人的责任和信任,并强调限制性、预防性的安全控制。进一步地,工业互联网企业可以建立用户和实体行为分析UEBA的系统,并结合端点、网络和应用的情况,提供了围绕用户行为的、以用户为中心的分析。这种跨不同实体相关性分析使得分析结果更加准确,让威胁检测更加有效。

4 工业互联网安全挑战的整体防御建议

4.1 整体防御建议

(1)从“应急响应”转变为“持续响应”。假定工业互联网系统受到破坏并需要不断监测控制和修复,则需要建立多点防御、联合防御,与产业界合作开展防御响应。

(2)以“数据驱动安全”。对工业互联网中的所有层面构建进行全面持续的监测控制,通过全面的数据感知和分析,建立企业安全数据仓库,并结合云端威胁情报,实现对已知威胁、高级威胁、APT攻击的有效预防、发现、防御和过程回溯。

(3)开发安全运维中心,构建组织流程和人员团队,支持持续监测控

制并负责持续的威胁防护流程,规划好外部安全服务合作伙伴,保证“人在回路”,应对各类安全事件。

4.2 工业互联网的PC4R自适应防护架构

为帮助工业互联网用户应对工业互联网所面临的各种挑战,结合整体防御的3点建议,我们提出了可以工业互联网信息安全日常运作的自适应防护架构——PC4R,其由6个过程闭环组成,该6个过程均需要人在回路,全程参与,具体如图5所示。

(1) 信息感知

工业互联网中,实现对工业网络中工业现场(压力、摩擦、振动、温度、电流等)关键物理量数字化感知、存储,为工业现场异常分析、预防性健康监测分析提供物理信息来源。

(2) 数据汇集

对数控系统(CNC)/PLC、分布式数控(DNC)、SCADA、制造执行系统(MES)、ERP等工业控制系统及应用系统所运行的关键工业数据进行汇集,该过程不是简单的数据采集,是产品全生命周期的各类要素信息的同步采集、管理、存储、查询,为后续过程提供控制信息来源。在网络方面,进行全网流量的被动存储等,为

工业互联网企业建立安全数据仓库。

(3) 转化分析

数据特征提取、筛选、分类、优先级排序、可读,可以实现从数据到信息的过程,使得数据具有信息安全意义。信息主要包括内容和情景两方面,内容指工业互联网中的设备信号处理结果、性能曲线、健康状况、报警信息、DNC及SCADA网络流量等;情景指设备的运行工况、维护保养记录、人员操作指令、人员访问状态、生产商务任务目标、生产销售机理等;该过程针对单个设备或单个网络做纵向的数据分析,计算相对来说比较简单。

(4) 网络融合

该过程面向工业互联网中的设备集群和企业跨域运维和经营活动的关联,将机理、环境、群体、操作、外部威胁情报有机结合,基于大数据进行横向大数据分析和多维分析,利用群体经验预测单个设备的安全情况;并建立虚拟网络与实体系统相互映射,实现综合模型的应用,如蜜罐、入侵检测等;也可以根据历史状况和当前状态差异化的发现网络及工控系统异常。

(5) 认知预测

该过程在网络层的基础上,加入

人的职责,人在回路,对企业的工业互联网规律、异常、目标、态势、背景等完成认知,确定安全基线,结合大数据可视化平台,发现看不见的威胁,预测黑客攻击。

(6) 响应决策

根据认知预测的结果,一旦完成了对事件的识别并确认优先级排序后,人在回路的决策、部署、优化、响应,可实现安全价值,而启动相关响应策略,如隔离受损系统或账户,使其无法访问其他系统,从而遏制威胁。同理,人在回路也可以在决策之后,形成团队,一旦受损系统或账户得以遏制,并利用持续监测控制所收集的数据来源确定根本原因和所有违规行为。

5 结束语

工业互联网打通了商业网络与工业网络的边界,传统的网络边界概念正在逐渐模糊,网络环境的复杂性、多变性、信息系统和工业控制系统的脆弱性,给工业互联网带来了设备、网络、控制、应用、数据、人员等多方面安全挑战。工业互联网应用企业、安全服务企业、监管部门,需要采取文章所提出的应对措施,形成联动的机制,从体制改革、管理流程优化、人员意识培养、技术创新着手,构建PC4R的自适应防御架构,并通过内外部大数据、威胁情报驱动安全防护,全程人在回路,利用用户本身、专业安全服务机构的力量,进行预测、防护、检测、响应,并根据不断出现的、新的威胁形式,完善应对策略,共同打造安全的工业互联网。

参考文献

- [1] 工业互联网产业联盟(AII). 工业互联网体系架构[R]. 北京:工业互联网产业联盟, 2016
- [2] WILHIOT K. Who's Really Attacking YourICS

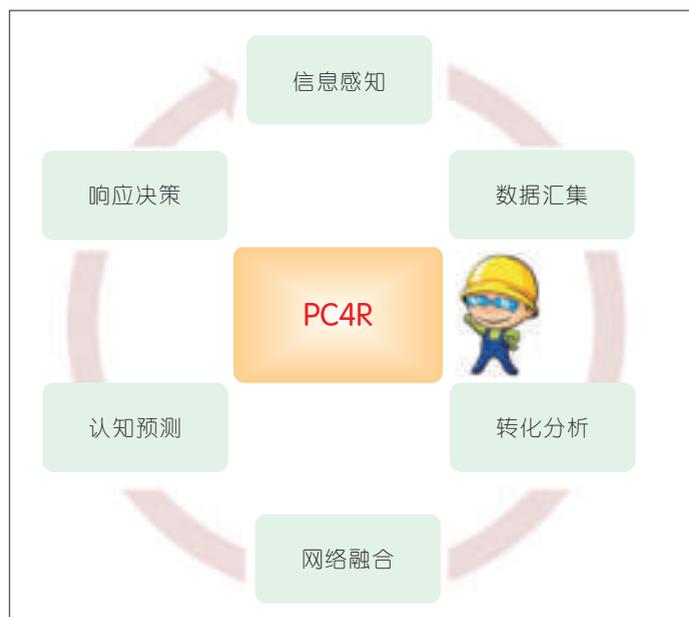


图5
工业互联网的
PC4R自适应防护
架构

下转第46页

DOI: DOI: 10.3969/j.issn.1009-6868.2016.05.009

网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20160912.1429.002.html

工业生产中的知识自动化决策系统

Knowledge Automatic Decision Making System in Industrial Production

陈晓方/CHEN Xiaofang
吴仁超/WU Renchao
桂卫华/GUI Weihua

(中南大学, 湖南 长沙 410083)
(Central South University, Changsha
410083, China)

1 知识自动化的提出

古典经济理论认为劳动力、土地和资本是经济发展的关键动因,而现代经济理论则更加看重人类知识的积累对于经济增长的促进作用。知识自动化的提出很大程度上源于知识型工作自动化的启示。2009—2010年,美国的帕罗奥多研究中心讨论了关于“知识型工作的未来”,并指出2020年知识型工作自动化将成为工业自动化革命后的又一次革命。美国麦肯锡全球研究院指出,知识型工作自动化是指用计算机来自动执行之前只有人可以完成的知识型工作,该机构于2013年在《颠覆性技术:先进技术将改变生活、商业和全球经济》报告中列举了十二大改变经济和未来的颠覆性技术,其中知识型工作自动化位列第2。2015年11月,麦肯锡全球研究院非正式发布了知识自动化技术对于职业、公司机构和未来工作的潜在影响的研究结果,图1所示是收入高低与可自

收稿时间: 2016-07-23

网络出版时间: 2016-09-12

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (61533020)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 05-0042-005

摘要: 认为知识自动化是未来经济发展的颠覆性技术,为解决工业生产决策问题提供了新途径。以一类铝电解生产企业的两级智能决策系统为例,对知识自动化决策系统的实现进行了说明,并对其体系结构、知识库构建、决策算法和分级决策系统的设计进行了简要说明。知识自动化决策有望为中国工业企业实现两化深度融合提供新的契机,可能产生深远的技术影响。

关键词: 知识型工作自动化; 决策支持系统; 知识库; 系统设计

Abstract: Knowledge automation is a disruptive technology in the future and can be a new solution for industrial production decisions problem. An example of a two-level intelligent decision system for aluminum reduction plants is introduced briefly with its structure design, knowledge base construction, decision algorithms and two-level decision system. Knowledge automation decision-making may provide new favorite opportunity for deep integration of informationization and industrialization and produce profound influence.

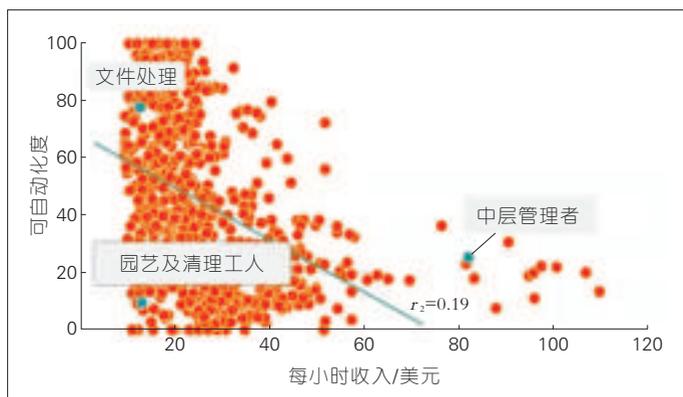
Keywords: knowledge work automation; decision-making support system; knowledge base; system design

动化度的关联图,麦肯锡对将近800人的2000技能工作进行了“可自动化性”评定,发现将近45%的工作能够通过使用当前已有的科学技术被自动化,超过20%的CEO工作也是可以实现知识自动化的。通过对知识自动化在一些产业中转变业务流程的潜力进行分析,发现收益通常是成

本的3~10倍。

2016年1月,谷歌AlphaGo^[1]在围棋上取得的胜利被认为是人工智能发展的新里程碑。围棋博弈这类复杂分析、精确判断和创新决策的知识型工作在过去被认为只有围棋手这样的知识型工作者才能完成。AlphaGo的成功引起的巨大社会影

图1
麦肯锡:收入高低
与可自动化度的
关联



响,事实上具有三重含义:知识自动化在技术愿景上的可能性;人们对于知识自动化的潜在渴望;知识自动本身具有颠覆性的科学和经济意义。

在现代工业企业生产过程中,通过生产分工和自动化技术,体力型工作基本上已经被自动化系统和机器替代,但目前复杂工业生产过程中涉及分析、判断、决策的工作大部分还是要依靠人来完成。将来,得益于计算技术、机器学习、自然的用户接口和自动化技术的蓬勃发展,越来越多的知识型工作也可以通过自动化技术由机器来完成,从而为知识型工作自动化提供了可能。

从自动化发展的历程来看,工业自动化经历了机械自动化、电气/仪表自动化、信息化几个时代,知识在工业生产中的地位日益凸显。知识自动化是工业自动化发展的新阶段,是知识经济时代特征和智能化趋势在工业自动化领域的映射,是复杂生产过程中工业化信息化深度融合的必然结果,有望为各行业带来革命性变化。

2 工业生产决策中的知识自动化

中国已经是一个工业大国,但工业发展目前在资源、能源、环境方面受到严重制约,面临着巨大的生产转型升级压力。如何依托智能化、信息化手段从将中国从工业大国发展成为智造强国是我们面临的重大战略课题。

2.1 知识型工作的地位

知识型工作在工业生产中起核心作用,现代大型工业生产中的决定性工作,例如:决策、计划、调度、管理和操作等都是知识型工作^[1]。处理这些工作时,知识型工作者需要统筹关联与工作对应的多领域、多层次知识,在各自的工作岗位上利用自己掌握的专业知识完成决策等知识型工作。例如,在运行优化层,许多工业、

企业操作参数的选择设定以及流程的优化控制都依赖工程师完成控制指令决策等知识型工作。在计划调度层,调度员需要统筹考虑人、机、物、能源等各种生产要素知识及其时间空间分布等相关知识,通过调度流程管理系统协调各层级部门之间的生产计划,完成能源资源配置、生产进度、仓储物流、工作排班、设备管理等知识型工作。在管理决策层,高级管理者的经营管理决策过程流程涉及企业内部的生产状况、外部市场环境以及相关法规政策标准等,而董事会通过相关流程审批这一系列经营管理决策。

2.2 知识与决策系统

目前,随着计算技术、机器学习、自然用户接口和自动化技术的蓬勃发展,越来越多知识可以封装到决策系统中,从而逐步形成一类蕴含知识的决策系统。许多国际知名的自动化系统供应商研发了蕴含知识的模型、软件和系统,有些已得到应用验证。但是由于国际已有的知识决策系统的核心技术和算法的保密,以及难以完全适用解决中国特殊的工业生产问题,因此亟需提出针对中国现代工业生产所特有问题的知识决策系统。美国 Honeywell 公司在 2002 年推出了世界第一套的过程知识系统 E-PKS,该系统是一个基于知识驱动应用的、规模可变的、业务与制造智能平台。2011 年 Honeywell 公司陆续为流程工业推出了多种基于知识驱动应用的工业自动化应用软件系统和服务,包括生产管理数据平台 Uniformance、生产执行系统 Business、FLEX,以及先进控制与优化系统 Profit、SuiteTM 等,涉及化工、天然气、生命科学等诸多领域。美国 AspenTech 公司推出的 AspenDMC 软件运用框架式知识建立了流程知识模型,主要用于化工过程。德国西门子公司开发的 SIMETALCIS VAIQ 计算机辅助质量控制系统包括生产系统、

知识库系统、知识发现系统,利用灵活的知识库组件为冶金专家及工艺流程工程师提供有关生产和产品质量预测专门知识,通过详细的过程和检验数据,促进冶金过程控制^[2]的发展。法国 ArcelormittalGent 公司使用了统计过程控制(SPC)技术,该技术的核心特点是发现潜在数据知识。在长期的运行过程中,SPC 技术通过定义与异常情况相关过程变量,将异常情况与过程变量联系起来,可以快速诊断异常情况的根本原因,同时也可以促进系统内部的知识生成,从而提高生产力。美国 Gensym 公司开发了实时专家系统平台 G2。作为智能故障诊断系统,G2 系统封装了专家知识组件对象,运用的知识关联的推理引擎能够实时响应大量的外部数据和事件,目前已广泛应用于石油化工、电力、航天、军事等领域。这类蕴含知识的决策系统已经产生了一定影响,但还缺乏系统的知识自动化决策方法与技术体系。

决策是管理者在一定的条件下,运用科学的方法对解决问题的方案进行研究和选择的全过程。决策支持系统的概念最初是由 Scott 等在 1971 年整合了管理行为的分类和决策类型的描述而提出的。决策支持系统在发展过程中可以分为两条路线:第一条是从 Sprague 提出的 2 库结构开始,逐渐发展到 5 个部件的 4 库结构组成,包括人机接口(对话系统)、数据库、模型库、知识库和方法库;另一条由 Bonczek 等人提出的 3 系统结构,包括语言系统、问题处理系统、知识系统。传统的决策支持系统(DSS)采用各种定量模型,对半结构化和非结构化决策问题提供支持,而群决策支持系统、分布式决策支持系统、智能决策支持系统已经成为热门的研究方向。3I 决策支持系统(3IDSS),即智能型、交互式、集成化决策支持系统,也吸引了学者的关注。在近些年发展中,DSS 不断与各种新技术融合,比如数据仓库、联

机分析处理、机器学习、数据挖掘、云计算、大数据等,促进决策支持系统在不同方向上的深入研究^[4-7]。不过决策系统在工业生产中的应用大多还只是针对工业、企业某些局部生产过程或者单一层级的决策问题来提供解决方案。

2.3 知识自动化决策

由于现代工业生产需要面对快速变化的市场需求、资源供应、环保排放等诸多因素的综合挑战,从而造成了工况变化更加复杂,再加上现代工业具有生产规模增加和产能集中的显著趋势,使得现代工业生产对知识型工作的要求也越来越严苛。目前云平台、移动计算、物联网、大数据的新技术的出现使得工业环境中数据种类和规模迅速增加,以往工业生产中的知识型工作者根据少量关键指标依赖经验进行决策分析,现在面对新环境下海量的信息以个人有限的知识已经感到力不从心。过去人工的知识决策方式严重依赖个别高水平知识型工作者,而个别高水平知识型工作者的决策制订具有主观性和不一致性。在决策反应灵敏性和知识积累成本上人工决策也存在缺陷。因此工业生产过程中的知识型工作正面临新的挑战,只依赖知识型工作者是无法实现工业跨越式发展的。未来必须逐步摆脱对知识型工作者的传统依赖,探索知识自动化以及知识自动化决策系统的解决之道。

知识自动化决策的实现当然离不开在人工智能领域已有的知识获取、表示、关联推理等大量研究积累。许多研究者在知识获取方面提出了一系列方法,例如粗糙集^[8]、决策树^[9-10]、神经网络^[11-12]、群智能算法^[13-14]等。在知识表示方面,谓词逻辑^[15-16]、产生式规则^[17]、语义网络^[18-19]等方法主要的研究热点。知识关联推理方法主要有关联规则^[20-21]、案例推理^[22-23]、语义推理、非精确推理等。这些方法对实现知识自动化决策有重要

参考价值,但目前还缺少面向工业决策问题的从数据、知识到自动化决策的整体设计和技术方案。

3 知识自动化决策系统

3.1 问题分析

在设计构建面向工业生产的知识自动化决策系统时,应当基于知识自动化方法解决3个问题:局部点的知识自动化决策问题;基于知识的决策业务流程优化问题;知识自动化决策环境和支撑技术问题。解决这3个问题,就能够保证利用知识高效完成局部决策的同时,尽可能地改善整体决策机制,可以使得工业生产的决策流程达到全局优化。知识自动化决策系统需要发现和解决生产、管理、调度流程中的关键决策点的决策问题,并从每个特定的决策流程以及其中涉及的知识型工作者出发,基于知识优化决策流程。各级决策调用的知识服务体系包括工业大数据支撑环境和知识表示、知识获取、知识关联/重组/推理等一系列知识自动化算法模型。

3.2 一类铝电解生产知识自动化决策系统的设计

以一类铝电解生产企业的集团和分厂两级智能决策系统设计为例,对知识自动化决策系统的实现进行说明,其体系结构示意如图2所示。该系统的硬件体系主要包括工业生产过程智能感知的工业物联网、企业级大数据中心、按需服务的集团级大数据云服务中心等,从而实现集团级/企业级生产计划业务的无缝集成和协同工作。系统中信息类型主要有物流信息、原始数据流、决策信息流和知识信息,其中蕴含了从原始数据集成为大数据,从大数据中获取知识,从知识实现决策的一系列关键环节。这些关键环节实现都离不开基于知识自动化决策支持环境。

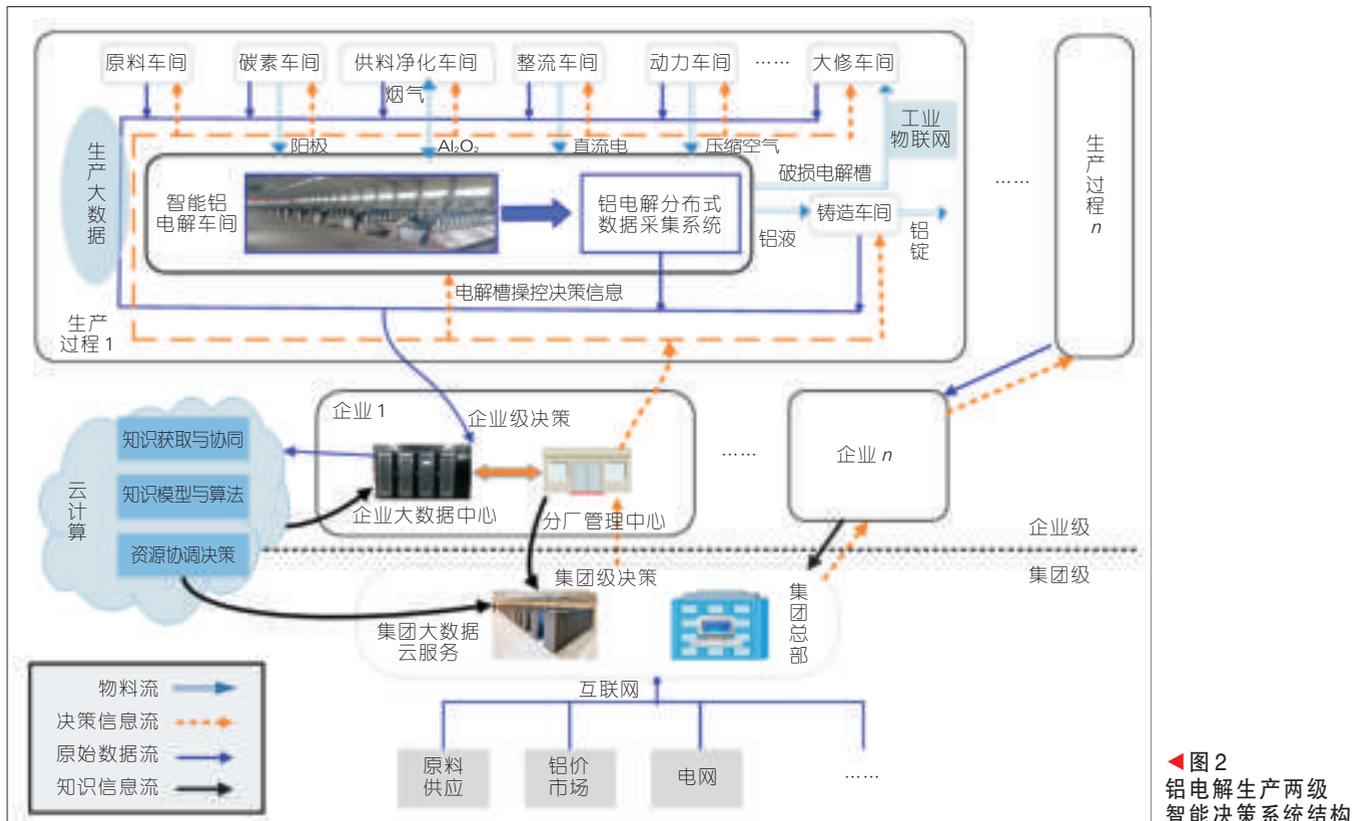
铝电解生产两级智能决策系统

设计采用“挖掘提取、归一协同、模型计算、分级决策”的思想实现生产知识自动化决策,其内容主要包括以下几个方面。

(1)体系架构和环境设计。在工业大数据和云网络平台的支持下,基于资源管理实现内容动态封装,建立具有多维度和多粒度结构的决策知识库,并根据认知推理和动态演化机制实现推理计算,据此形成集团级生产规划决策能力和企业级生产计划决策能力,使之成为具备知识自动化和集成化能力的全覆盖式智能决策服务系统。为了使铝电解集团/企业具有全新的感知、分析和优化决策能力,依托工业物联网、企业级大数据中心、集团级大数据云服务中心等,在工业大数据环境下实现人与生产过程的高效协同,形成面向服务、透明和集成、按需使用的云制造决策支持平台。

(2)基于知识获取的知识库构建。按照铝电解的生产决策实际需要,在知识库中将包含结构化和非结构化特征的知识有效组织起来,实现知识的压缩和精炼化。通过研究多源/异构数据解码与转换、知识结构化、基于学习的数据性知识提取、经验性领域知识提取方法等获取知识的一致性表达。通过研究知识相似性度量、知识源可靠性和知识成熟度分析进行知识评价,并且标注其对于各种决策问题的知识关联度,建立知识关系智能化标注。

(3)知识决策模型与算法的设计。通过基于学习的知识关系特征提取和基于领域知识的特征提取等方法,对模型中知识结构进行演化、校正,以适应知识关系的动态变化。对铝电解生产分级决策系统来说,知识推理的结果需要针对不同推理计算对象进行识别和知识匹配。因此,知识推理核心就是构建以推理问题为导向的分层求解器。算法库中还包含知识库的实时更新算法和演化方法。



◀图2
铝电解生产两级
智能决策系统结构

(4) 依托知识推理机制和决策支持环境实现两级决策系统。这需要从集团级和企业级两个层面进行考虑。在集团级,实现基于知识自动化的集团级管理决策、经营决策、计划决策、技术决策和生产决策,确定生产计划;在企业级,需要根据下达的生产计划实现基于知识的全流程智能决策,以生产计划完成情况和生产指标为决策评价函数,优化配置人员与设备,优化调整生产系列总体技术方案,优化能源和原材料供应,实现快捷、高效与绿色生产。

4 结束语

随着智能感知、云计算、大数据、工业互联网等新兴技术的快速发展,工业生产管理数据爆炸式增长,数据量已超出了人工决策和传统决策支持系统处理的能力范围,对现有决策方式在时效性、准确性、前瞻性、共享性等方面提出了新的挑战。知识自动化是具有颠覆性的新技术,知识自

动化决策有望为中国工业、企业实现转型升级和两化深度融合提供新的技术途径,并可能产生深远的技术影响。相关系统的研发对于形成适应中国工业生产实际的智能工厂建设方案具有重要价值。知识自动化决策是多学科交叉的研究课题,涉及工业过程控制、计算机应用、大数据与云计算、人工智能、决策支持系统等多个热点领域知识,对多学科研究领域的拓宽、延伸和交汇将起到重要推动作用。

参考文献

- [1] SILVER D, HUANG A, MADDISON C J, et al. Mastering the Game of Go with Deep Neural Networks and Tree Search [J]. Nature, 2016, 529(7587): 484-489
- [2] 钱锋. 以流程工业智能化助推“制造强国”. 联合时报[IN/OL]. <http://shszx.eastday.com/node2/node4810/node4851/node4852/u1ai95566.html>
- [3] AMARAL R R. A New SPC Tool in the Steelshop at ArcelorMittal Gent Designed to increase productivity [D]. Belgium: Ghent University, 2012
- [4] WEN W, CHEN Y H, CHEN I C. A

Knowledge-Based Decision Support System for Measuring Enterprise Performance [J]. Knowledge-Based Systems, 2008(21): 148-163

- [5] MUNOZ E, CAPON-GARCIA E, LAINEZ-AGUIRRE J M, et al. Using Mathematical Knowledge Management to Support Integrated Decision-Making in the Enterprise [J]. Computers and Chemical Engineering, 2014(66): 139-150. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2014.02.026
- [6] ALALWAN J A, THOMAS M A, WEISTROFFER H R. Decision Support Capabilities of Enterprise Content Management Systems: An Empirical Investigation [J]. Decision Support Systems, 2014(68): 39-48. DOI: 10.1016/j.dss.2014.09.002
- [7] CHIOU S W. A Bi-Level Decision Support System for Uncertain Network Design with Equilibrium Flow [J]. Decision Support Systems, 2015(69):50-58. DOI: 10.1016/j.dss.2014.12.004
- [8] SHI F Q, SUN S Q, XU J. Employing Rough Sets and Association Rule Mining in KANSEI Knowledge Extraction [J]. Information Sciences, 2012(196): 118-128. DOI: 10.1016/j.ins.2012.02.006
- [9] BARROS R C, JASKOWIAK P A, CERRI R. et al. A Framework for Bottom-Up Induction of Oblique Decision Trees [J]. Neurocomputing, 2014(135): 3-12. DOI: 10.1016/j.neucom.2013.01.067
- [10] MANTAS C J, ABELLAN J. Credal-C4.5: Decision Tree Based on Imprecise Probabilities to Classify Moisy Data [J].

- Expert Systems with Applications, 2014(41): 4625–4637
- [11] CHAN K Y, JIAN L. Identification of Significant Factors for Air Pollution Levels Using a Neural Network Based Knowledge Discovery System [J]. Neurocomputing, 2013(99): 564–569. DOI: 10.1016/j.neucom.2012.06.003
- [12] GUEERERO J I, LEON C, MONEDERO I, et al. Improving Knowledge-Based Systems with Statistical Techniques, Text Mining, and Neural Networks for Non-Technical Loss Detection [J]. Knowledge-Based Systems, 2014(71): 376–388. DOI: 10.1016/j.knsys.2014.08.014
- [13] GHANBARI A., KAZEMI S M R, MEHMANPAZIR F, et al. A Cooperative Ant Colony Optimization-Genetic Algorithm Approach for Construction of Energy Demand Forecasting Knowledge-Based Expert Systems [J]. Knowledge-Based Systems, 2013(39): 194–206. DOI: 10.1016/j.knsys.2012.10.017
- [14] CHEN C H, KHOO L P, CHONG Y T, et al. Knowledge Discovery Using Genetic Algorithm for Maritime Situational Awareness [J]. Expert Systems with Applications, 2014(41): 2742–2753. DOI: 10.1016/j.eswa.2013.09.042
- [15] IKRAM A, QAMAR U. Developing an Expert System Based on Association Rules and Predicate Logic for Earthquake Prediction[J]. Knowledge-Based Systems, 2015(75): 87–103. DOI: 10.1016/j.eswa.2013.09.042
- [16] ZHANG J F, ZHAO X J, ZHANG S L, et al. Interrelation Analysis of Celestial Spectra Data Using Constrained Frequent Pattern Trees [J]. Knowledge-Based Systems, 2013(41): 77–88. DOI: 10.1016/j.knsys.2012.12.013
- [17] PRAT N, WATTIAU I C, AKOKA J. Combining Objects with Rules to Represent Aggregation Knowledge in Data Warehouse and OLAP Systems [J]. Data & Knowledge Engineering, 2011(70): 732–752
- [18] LI J, QIN Q M, XIE C, et al. Integrated Use of Spatial and Semantic Relationships for Extracting Road Networks from Floating Car Data[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2012(19): 238–247
- [19] IJINOH O, TAEHOON K, SUN P, et al. Efficient Semantic Network Construction with Application to PubMed Search[J]. Knowledge-Based Systems, 2013(39): 185–193. DOI: 10.1016/j.knsys.2012.10.019
- [20] HAN M, CAO Z J. An Improved Case-Based Reasoning Method and Its Application in Endpoint Prediction of Basic Oxygen Furnace [J]. Neurocomputing, 2015(149): 1245–1252. DOI: 10.1016/j.neucom.2014.09.003
- [21] YAN A J, QIAN L M, ZHANG C X. Memory and Forgetting: An Improved Dynamic Maintenance Method for Case-Based Reasoning[J]. Information Sciences 2014(287): 50–60. DOI: 10.1016/j.ins.2014.07.040
- [22] MARLING C, MONTANI S, BICHINDARITZ I, et al. Synergistic Case-Based Reasoning in Medical Domains [J]. Expert Systems with Applications, 2014(41): 249–259. DOI: 10.1016/j.eswa.2013.05.063
- [23] YAN A J, SHAO H S, GUO Z. Weight Optimization for Case-Based Reasoning Using Membrane Computing [J]. Information Sciences, 2014(287): 109–120. DOI: 10.1016/j.ins.2014.07.043

Information Sciences, 2014(287): 109–120. DOI: 10.1016/j.ins.2014.07.043

作者简介



陈晓方, 中南大学信息科学与工程学院副教授; 主要研究方向为复杂过程建模与优化、工业大数据分析; 获得省部级以上科技奖励 2 项; 发表论文 50 余篇。



吴仁超, 中南大学信息科学与工程学院博士研究生; 主要研究方向为知识自动化系统和智能调度决策算法。



桂卫华, 中国工程院院士, 中南大学信息科学与工程学院教授; 主要研究方向为复杂工业过程建模、控制与优化; 获得国家科技进步二等奖 3 项; 发表论文 500 余篇。

← 上接第 41 页

- Equipment [R]. Silicon Valley: Trend Micro Incorporated, 2013
- [3] STOUFFER K, PILLITTERI V, LIGHTMAN S, et al. Guide to Industrial Control Systems Security: SP800–82 [S]. Gaithersburg: NIST, 2015
- [4] Industrial Security Incidents Database (ISID) [EB/OL]. <http://www.risidata.com/>
- [5] GENGE B, HALLER P, KISS I. Cyber-Security-Aware Network Design of Industrial Control Systems [J]. IEEE Systems Journal, 2016, 1932(8184): 1–12
- [6] 360 天眼实验室. 2015 年中国高级持续性威胁研究报告-解读版 [R/OL]. [2016–06–26]. <http://zt.360.cn/2015/reportlist.html?list=4>
- [7] Lukas. CONPOT ICS/SCADA Honeypot [EB/OL]. <http://conpot.org/>
- [8] VASILOMANOLAKIS E, SRINIVASA S. Did You Really Hack a Nuclear Power Plant? An Industrial Control Mobile Honeypot[C]//2015 IEEE Conference on Communications and Network Security (CNS). USA: IEEE, 2015: 729–730. DOI: 10.1109/CNS.2015.7346907
- [9] MACHII W, KATO I, KOIKE M, et al. Dynamic Zoning Based on Situational Activities for ICS security[C]// 2015 10th Asian Control Conference (ASCC). USA: IEEE, 2015: 1–5. DOI: 10.1109/ASCC.2015.7244717
- [10] ICS-CERT. Cybersecurity for Electronic Devices[R]. Washington: DHS, 2013
- [11] CNPI. Configuring and Managing Remote Access for Industrial Control System[R]. Washington: DHS, 2010
- [12] 黄登泽. 基于 TCP_IP 协议的工业控制网络远程数据通信网关的研究与实现[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2012
- [13] 罗耀锋. 检测技术与自动化装置[D]. 杭州: 浙江大学, 2013
- [14] 彭勇, 向懂, 张淼, 等. 工业控制系统场景指纹及异常检测[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2016, 56(1): 14–21
- [15] 高春梅. 基于工业控制网络流量的异常检测[D]. 北京: 北京工业大学, 2014
- [16] LEE J, BAGHERI Behrad, KAO H. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-Based Manufacturing Systems[J]. Society of Manufacturing Engineers, 2015(3): 18–23
- [17] ICS-ISAC. Situational Awareness Reference Architecture (SARA)[EB/OL]. <http://ics-isac.org/blog/sara/>
- [18] SAUNDERS N, KHANNA B, COLLINS T. Real-Time Situational Awareness for Critical Infrastructure Protection[C]//2015 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm). USA: IEEE, 2015: 151–156
- [19] Gartner. Gartner Identifies the Top 10 Technologies for Information Security in 2016[EB/OL]. <http://www.gartner.com/newsroom/id/3347717>
- [20] Detect Security Breaches Early by Analyzing Behavior [EB/OL]. <http://www.gartner.com/smarterwithgartner/detect-security-breaches-early-by-analyzing-behavior/>

作者简介



陶耀东, 360 企业安全集团沈阳研发中心主任, All 安全组成员; 主要研究方向为信息安全、工控安全; 曾荣获中国发明优秀奖、沈阳市科技进步一等奖、辽宁省科技进步二等奖; 先后主持和参与国家项目 10 余项; 发表论文 20 余篇, 已获得发明专利授权 6 项。



李强, 360 企业安全集团 CTO 办公室研发总监; 主要研究方向为信息安全、嵌入式系统; 曾荣获沈阳市科技进步一等奖、辽宁省科技进步二等奖等; 主持和参与国家、省市级科研项目 5 项; 获得国家发明专利 20 余项。



李宁, 中国科学院大学沈阳计算技术研究所在读硕士研究生; 主要研究方向为工业互联网安全、工业大数据; 已发表论文 2 篇。

面向家纺产品云定制的数码喷印颜色管理技术

Digital Printing Color Management Technology for Housing Textile Massive Customization

金小团/JIN Xiaotuan
陈刚/CHEN Gang
陈纯/CHEN Chun

(国家数码喷印工程技术研究中心, 浙江杭州 310052)
(National Engineering Technology Research Center on Digital Textile Printing, Hangzhou 310052, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 05-0047-004

摘要: 认为家纺产品云定制的核心技术难点是对产品的图案色彩进行管理, 减小甚至消除由于显示器和数码喷印机成色原理不同导致的色差问题。从色彩一致性建模入手, 提出了面向设备和面料无关的颜色一致性度量学习算法、可伸缩的颜色一致性度量学习算法、感知驱动的面料颜色增强等面向家纺产品云定制的颜色管理关键技术。此外, 还介绍了一款宽幅自动色彩扫描装置, 可用来采集产品的颜色信息, 即色彩管理算法的基础数据。

关键词: 家纺产品大规模定制; 数码喷印; 颜色管理; 大数据驱动

Abstract: The core technological difficulty of cloud-based customization is the color management of products. It can reduce the risk of color differences due to the different coloring mechanisms of the display device, printing equipment and fabric material. We propose the device-independent and fabric-independent color consistency metric learning algorithm, scalable color consistency measure learning algorithm, perception-driven fabrics' color enhancement and other key technologies of color management used for the cloud-based customization of home textile products. In addition, a wide-format color scanning device is designed to collect the product's color information, which is the basic data for color management algorithm.

Keywords: massive household textile customization; digital textile printing; color management; big-data driven

纺织工业是中国国民经济的民生产业。随着社会的进步和生活水平的提高, 人们对于纺织品的消费理念已经发生了重大变化, 正呈现出个性化、时尚化与整体化的发展趋势, 以往大批量生产提供的标准化产品已经不能满足消费者的需求。企业也由此面临着提高产品创新能力、缩短交货期和改善服务的压力, 必须对不断变化的市场做出快速反应。

但目前传统纺织业尚不能很好适应这一挑战, 存在着诸多问题亟待解决。传统纺织印染行业采用“分色→制版→调浆调色→打样→批量生产”的工艺流程, 只能支持“大批量、少品类、慢变化”的制造模式, 无法实现“多品类、小批量乃至单批量”, 不能适应纺织行业“个性化、时尚化与整体化”的发展趋势。另一方面, 受限于可生产的产品种类, 大量设计方

案浪费, 大批设计师聪明才智不能得到充分发挥, 中国纺织行业目前尚处于附加值低、薄利多销的初级阶段, 这制约着纺织行业从中国制造走向中国创造。

基于四色印刷(CMYK)四基色混色的纺织品数码喷印技术的出现, 对纺织印染业的生产工艺产生了颠覆式的变革, 也为家纺产品云定制提供了可能。

在这一新型工艺的支持下, 针对目前家纺行业提出的重大需求, 以互联网为平台, 以家纺产品个性化定制与虚拟真实感展示为亮点, 以智能化

专家设计系统为支撑, 以数字化生产工艺为核心, 以新型行业标准体系为基础, 构建家纺产品云定制平台, 可逐步形成全新的家纺领域产业生态系统, 改变当前家纺产业低附加值、薄利多销、高能耗、高排放的格局, 实现整个家纺行业的技术与商业模式的革命。

1 颜色管理在家纺产品云定制技术体系中的重要作用

在个性化纺织品云定制的设计生产流程中, 产品设计师设计出海量的花型方案, 最终用户通过互联网平

收稿时间: 2016-07-15

网络出版时间: 2016-09-12

基金项目: 国家高技术研究发展(“863”)计划(2013AA040601)

台在现有设计方案的基础上对花型、色彩等进行定制,形成个性化的产品设计稿并进行在线支付,生产厂家在平台上接收用户订单,安排后续喷印生产,并将产品寄送给用户。

在如上所述的纺织品云定制流程中,要实现“所见即所得”的个性化定制,最为核心的技术难点就是要解决设计师、最终用户、生产厂家的多种显示器、数码喷印机之间的色差问题。这一问题的成因主要有以下3个方面。

(1)三原色(RGB)色彩空间和CMYK色彩空间的色彩表达能力不同。设计师和最终用户使用的色彩输出设备是显示器,采用RGB色彩模式,而生产厂家使用的色彩输出设备是数码喷印机,采用CMYK色彩模式。这两种色彩模式的色彩空间不存在一一对应的关系,且CMYK色彩空间小于RGB色彩空间,需要在产品设计时在RGB色彩空间中模拟CMYK颜色。

(2)不同品牌、型号的显示器之间色彩表现力也不尽相同,甚至同一台显示器由于亮度、对比度参数设置的不同也会导致人眼看到的色彩有所差异。传统方法需要用校色仪等专业设备对显示器进行校准,设备成本高,操作复杂,无法在大量最终用户中推广应用。

(3)数码喷印生产时不同批次的墨水会对产品色彩产生影响,需要通过打样等工序进行颜色校准。在传统的大批量生产模式中,打样产生的成本可以在批量生产中摊薄,对于小批量、单批量的个性化云定制纺织品,反复打样将造成生产成本的激增。必须通过对数码喷印色彩进行建模和补偿,实现准确的颜色管理,才能有效的控制打样成本。

综合上述3个因素,通过技术手段缩小或消除不同输出设备之间的色彩差异,是保证纺织品云定制产品质量,提高产品附加值,使个性化纺织品云定制真正落地实现的基础性、

关键性核心技术问题。

2 面向家纺产品云定制的颜色管理关键技术

面向家纺产品云定制的颜色管理主要包括色彩一致性、颜色一致性度量学习、感知驱动的颜色增强、主题色提取等关键技术。在这些技术领域,前人已经开展了一些基础性的研究工作,如:在色彩一致性方面,国际照明委员会(CIE)提出了CIE DE94、CIE DE2000^[1]等色差公式,另外文献[2]提出了视觉感知保真度颜色误差测量准则S-CIELAB;在颜色一致性度量学习方面,目前已经有物理转换模型^[3-4]、数值量化转换模型^[5-7]、3D LUT法^[8]等3类模型;在感知驱动的色彩增强方面,现有方法一般将视觉感知特征应用于图像增强处理中,很少应用于纺织品印染的颜色增强;在主题色提取方面,也已经出现了基于聚类^[9-10]、颜色直方图^[11]、人眼视觉模拟^[12]等技术的方法。

这些现有技术由于其提出的背景均不是家纺产品云定制,直接应用在纺织品颜色管理中往往效果不佳,或需要大量的人工干预操作,无法满足大规模云定制的色彩管理需求。为此,本文提出了一套面向家纺产品云定制的颜色管理技术。

2.1 色彩一致性模型构建

现有的色差公式和色彩一致性评估模型主要针对于通用色彩一致性情况,对纺织品印染的颜色管理并不完全适用。新的颜色一致性评估模型需要能够贴近模拟人眼的主观感受,通过对色调、饱和度、亮度的视觉先验学习,构造与人类视觉最匹配的色彩一致性评估模型。为此,作者提出了先进行主题色提取,再进行色彩一致性评估的技术思路。

在主题色提取方面,作者提出的算法将图片按照颜色、边缘属性进行精细化分割^[13]。在精细划分获得颜色的多个类基础上,根据人的视觉特

性与图像中颜色的空间分布来定义并构造图模型,并以能量方程描述,包含颜色空间一致性、图像结构信息、图像通道感知优先度等人类视觉特性和其他颜色的相关性信息,以及颜色节点本身信息。通过最小化能量函数,获得需要提取的主题色。

针对纺织品颜色一致性的评估,现有的色差公式CIE2000有相对较小的色差,但和人类视觉观察结果仍存在明显差异。为了求取出的色差与人眼观察结果相近,拟在计算色差前加入可以去除图像中人眼视觉察觉不到信息的空间预处理函数(CSF),并对已经求得的色差进行池化操作,求得颜色一致性值,以实现与人类视觉复杂感知机制相匹配。

2.2 面向设备和面料无关的颜色

一致性度量学习算法

颜色的显示与呈现对设备有较强的依赖性,针对3种不同级别的用户(最终用户、产品设计师、纺织品制造商),提供相应的校准流程,使得显示器处于设定的标准状态,解决显示器设备的差异性。需要对每台数码喷印设备与布料分别进行颜色一致性度量学习,并生成对应的国际色彩联盟(ICC)文件。

以数码喷印机的ICC制作为例,通常在CMYK或CMYK多通道与设备无关颜色空间中会存在多种映射关系,直接进行深度神经网络模型的学习,学习出来的模型泛化性较差。作者提出了通过现有公式将设备相关颜色空间中的颜色转换到设备无关颜色空间,使得转换后的颜色空间与设备无关颜色空间处于同一空间,然后将颜色空间划分为若干个子空间。然后对每个子空间分别利用如图1所示的径向基函数(RBF)神经网络模型学习对应转换关系^[14]。图2为我们算法生成ICC文件将RGB色块集转换为CMYK色块集效果图,通过图2可以看出,RGB图转换为CMYK图并印染后,色差在人眼可察觉范围

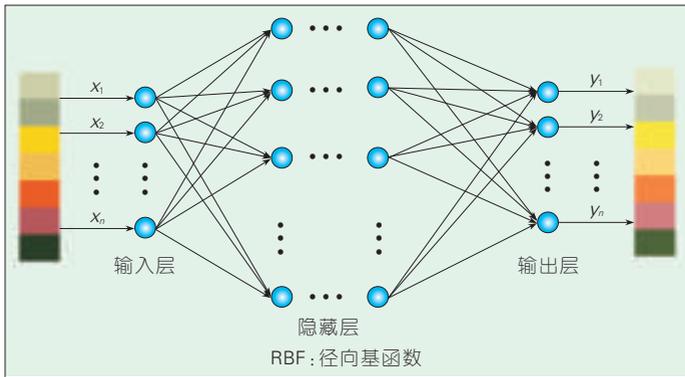


图1
RBF神经网络

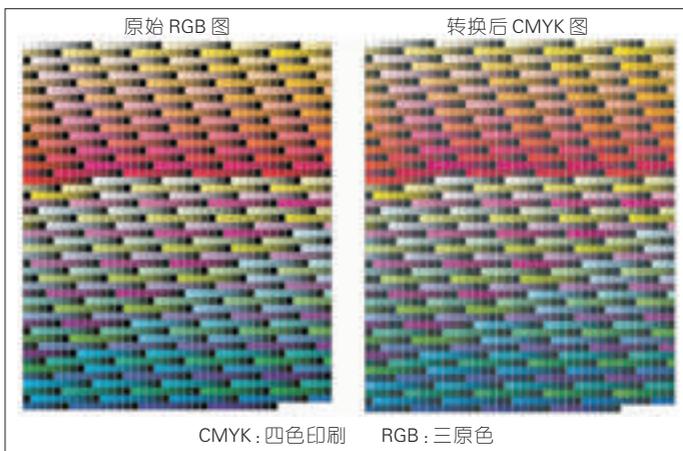


图2
原始 RGB 图与转换后 CMYK 印染效果图

内,满足用户较高的印染需求。

2.3 可伸缩的颜色一致性度量学习算法

不同的用户对颜色重现的效果需求是存在差异的。针对通用情况,利用数码喷印机-显示器组合采集数据,通过色差最小化求解不同面料和显示器以及不同面料之间的颜色一致性通用色彩变换函数,基于变换函数生成对应的 ICC 文件。

对于有个性化需求的用户,可以采用通用色彩变换函数与用户个性化颜色需求相结合的方式,通过色差最小化求解针对该用户需求的定制色彩变换函数,然后利用个性化变换函数,生成对应的 ICC 文件。用户个性化颜色需求从用户提供的图片中提取出主题色,用于优化颜色变换函数,图3为此算法提取出主题色与人类提取出主题色对比图,该算法可以较好的提取出人类视觉关注的主题

色,以满足用户个性化需求。

2.4 感知驱动的面料颜色增强

通过研究对色域内颜色感知的分布,获得颜色感知先验分布,在保持重现真实颜色的基础上,对重要的颜色进行增强处理,使得处理后的颜

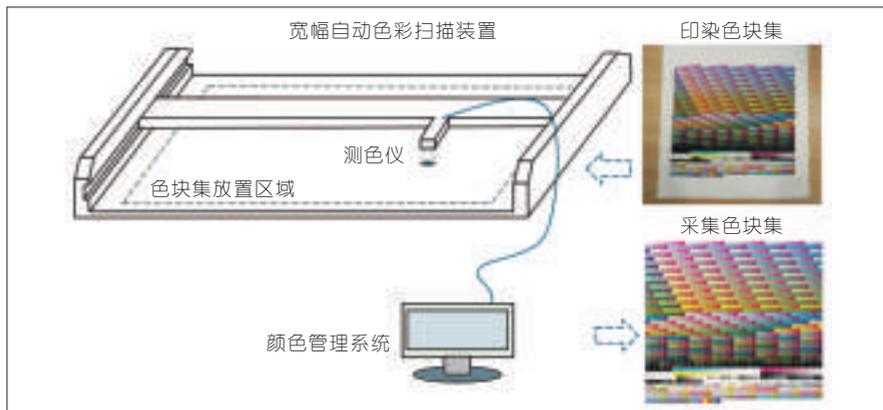
色效果满足用户的主观感受需求。对彩色图像进行感知的视觉暗示包括3个方面:颜色空间一致性、图像结构信息、图像通道感知优先度^[5]。颜色空间一致性描述了图像中颜色相对位置存在的关系,去除独立于颜色通道的亮度通道,在色调通道与色度通道上获得颜色空间的一致性;图像结构信息描述了图像中色调、色度、亮度在3个通道上的变化,通过整合在3个通道上的梯度差来获得图像结构信息;图像感知优先度描述了人类视觉在观察一幅图像时对色调、色度、亮度3个通道的感知次序,可以分别通过3个通道上的梯度差来获得量化的权重。基于这3方面的视觉暗示,构造出基于视觉感知的颜色增强概率图模型,并将提取出的视觉暗示最大化地应用于增强后的图像,以此来实现该模型。

3 宽幅自动色彩扫描装置

上述颜色管理关键技术均需要对家纺产品的实际色彩进行准确测量,为此,作者设计了宽幅自动色彩扫描装置。该装置主要由测色平台、自动滑轴、照相机、测色仪构成,结构如图4所示。在测色开始之前,通过照相机获得印染好的色块集在测色平台上的图片,利用图像处理算法获得色块集的位置信息,包含印染色块



图3 算法提取出主题色与人类提取出主题色对比



▲图4 宽幅自动色彩扫描装置

集拉伸与形变位置信息,根据位置信息,计算出测色仪的扫描路径,然后通过X、Y轴方向的移动自动获得被测样品上的所有色块值,测得数据自动输入计算机,进行色彩测量值的误差补偿后,保存用于颜色一致性度量学习的预处理数据。

4 结束语

随着家纺产品个性化、时装化、整体化发展趋势的日益凸显,依托互联网和数码喷印技术进行家纺产品云定制将对家纺行业的技术和商业模式产生革命性的影响。在互联网平台上进行家纺产品云定制,其主要核心是对产品的图案色彩进行管理,减小甚至消除由于显示器和数码喷印机成色原理不同导致的色差问题。本文从色彩一致性建模入手,提出了面向设备和面料无关的颜色一致性度量学习算法、可伸缩的颜色一致性度量学习算法、感知驱动的面料颜色增强等面向家纺产品云定制的颜色管理关键技术,并研制了宽幅自动色彩扫描装置采集产品的颜色信息作为色彩管理的基础数据。

应用本文研发的技术和装置,作者所在的国家数码喷印工程技术研究中心搭建了家纺产品在线云定制平台,探索了实现了家纺产品的在线大批量定制和设计、制造、商务、物流的一条龙服务模式。与相关企业合作,在江苏南通建成了年产量10 000

平方米以上的家纺大批量定制生产示范应用基地,提高了应用单位的产品附加值,促进了家纺行业的转型升级,取得了显著的社会经济效益。

致谢

本研究得到宋明黎教授和吴晓凡博士的帮助,谨致谢意!

参考文献

- [1] CIE. Technical Report: Industrial Color-difference Evaluation[R]. Vienna: Central Bureau of the CIE, 1995
- [2] ZHANG X, WANDELL B A. A Spatial Extension to CIELAB for Digital Color Image Reproduction[C]// Proceedings of the SID Symposiums, USA:SID, 1996(27):731-734
- [3] BERNIS R S, MOTTA R J, GORZYNSKI M E. CRT Colorimetry. Part I: Theory and Practice[J]. Color Research & Application, 1993, 18(5): 299-314. DOI:10.1002/col.5080180504
- [4] KATO H, DEGUCHI T, BERNIS R. An Accurate Characterization of CRT Monitor (I) Verifications of Past Studies and Clarifications of Gamma[J]. Optical Review, 2001, 8(5):305-314. DOI:10.1007/s10043-001-0305-0
- [5] SUN B, LIU H, ZHOU S, et al. Evaluating the Performance of Polynomial Regression Method with Different Parameters during Color Characterization[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2014, 20(3):1-7
- [6] CHO M S, KANG B H, LUO M R. Device Calibration of a Color Image Scanner Digitizing System by Using Neural Networks[C]// Neural Networks, 1995. Proceedings., IEEE International Conference on, USA:IEEE, 1995(1):59-62. DOI:10.1109/ICNN.1995.487877
- [7] CHAN J Z, ALLEBACH J P, BOUMAN C A. Sequential Linear Interpolation of Multidimensional Functions[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(9):1231-1245. DOI:10.1109/83.623187
- [8] BASTANI B, CRESSMAN B, FUNT B. Calibrated Color Mapping Between LCD and CRT Displays: A Case Study[J]. Color

- Research & Application, 2005, 30(6):438-447
- [9] WEEKS A, HAGUE G. Color Segmentation in the Hsi Color Space Using the K-means Algorithm[C]// Electronic Imaging. International Society for Optics and Photonics, USA: SPIE, 1997:143-154
- [10] BEZDEK J C. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms[M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1981
- [11] DELON J, DESOLNEUX A, Lisani J L, et al. Automatic color palette[J]. Inverse Problems and Imaging, 2005, 1(2):706-709. DOI:10.1109/ICIP.2005.1530153
- [12] LIN S, HANRAHAN P. Modeling How People Extract Color Themes From Images [C]// SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, USA:ACM, 2013: 3101-3110. DOI:10.1145/2470654.2466424
- [13] LIU X, SONG M L, TAO D C, et al. Random Geometric Prior Forest for Multi-Class Object Segmentation[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2015, 24(10):3060-3070. DOI:10.1109/TIP.2015.2432711
- [14] SONG M L, TAO D C, HUANG X Q, et al. Three-Dimensional Face Reconstruction From a Single Image by a Coupled RBF Network[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012, 21(5):2887-2897. DOI: 10.1109/TIP.2012.2183882
- [15] SONG M L, TAO D C, CHEN C, et al. Color to Gray: Visual Cue Preservation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 32(9):1537-1552. DOI:10.1109/TPAMI.2009.74

作者简介



金小团, 国家数码喷印工程技术研究中心主任、杭州宏华数码科技股份有限公司总经理; 主要研究领域为织物数码喷印技术及装备; 先后主持和参与多项科技项目, 获国家技术发明二等奖1项, 省部级科技进步一等奖2项。



陈刚, 国家数码喷印工程技术研究中心技术骨干、浙江大学计算机学院副院长; 主要研究领域为大数据智能计算、数据库管理系统等; 近五年先后主持国家级科技项目4项, 获国家科技进步二等奖1项, 省部级科技进步一等奖2项; 曾发表SCI/EI论文100余篇, 获VLDB 2014最佳论文奖。



陈纯, 国家数码喷印工程技术研究中心首席科学家、中国科学院院士; 主要研究领域为计算机图形图像、海量数据处理等; 先后共主持国家级科技项目10余项, 获国家技术发明二等奖1项, 科技进步二等奖1项、三等奖1项, 省部级科技进步一等奖2项; 曾发表高水平学术论文160多篇, 获AAAI 2012最佳论文奖。

面向智慧油田的工业物联网语义集成技术研究

Semantic Integration for Smart Field Based on Industrial Internet of Things

刘阳/LIU Yang
曾鹏/ZENG Peng
于海斌/YU Haibin

(中国科学院沈阳自动化研究所, 辽宁 沈阳 110016)
(Shenyang Institute of Automation,
Chinese Academy of Science, Shenyang
110016, China)

工业物联网可以实现对工业生产制造全流程的泛在感知与控制, 已经成为企业降低人工成本, 减少生产消耗, 保证设备可靠性, 提高产品质量, 以及增强核心竞争力的主要手段。

智慧油田是工业物联网技术在油田领域的延伸与应用, 其在数字油田的信息化和互联化等基础上, 进一步实现了信息管理的物联化以及智能化。

进入高含水后期开采阶段后, 中国油田产液量大幅度上升, 面临着液油比急剧增高, 地面工程难以适应, 维持油田稳产的措施工作量和费用明显增加等诸多困难。因此, 中国智慧油田的目标是依据油井工况、地下油藏变化及国际油价形势实时修正注采井作业参数, 优化调整采油过程, 实现节能运行, 提升油田采收率

收稿时间: 2016-07-15

网络出版时间: 2016-09-09

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA06020900)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 05-0051-005

摘要: 认为工业物联网技术在油田生产信息的实时获取和即时分析等方面具有重要作用。建议引入语义技术, 构建覆盖油田勘探、开发、生产、运营等全流程的语义集成平台, 实现对智慧油田的实时分析, 为油田生产运行参数实时优化调整提供支持。此外, 还详细介绍了工业物联网语义集成平台的架构及关键技术, 指出其将是未来智慧油田信息集成的重要发展方向。

关键词: 智慧油田; 语义技术; 工业物联网; 信息检索; 数据优化; 数据分析

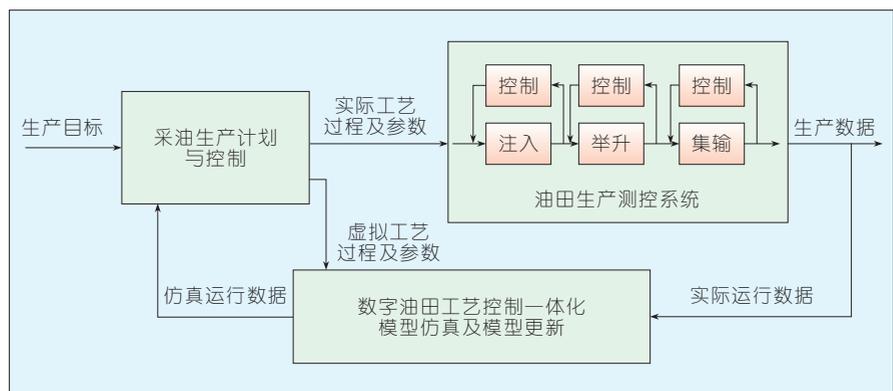
Abstract: Industrial Internet of things plays an important role in real time getting and analysis of the production information for the oil filed. By inducing the semantic technology, a semantic-based integrated platform can be built, including exploring, developing, producing and operating of the oil field. In this way, real time analytics of the smart oil field and real time optimization of the production parameters can be realized. Moreover, the framework and key technologies for industrial Internet of things semantic integration are detailed, and an important developing direction for information integration of the smart oil field is provided.

Key words: smart oil field; semantic technology; industrial Internet of things; information retrieval; data analysis; data optimization

与经济效益。

智慧油田的发展需要依托工业物联网对油田生产信息全面控制, 对覆盖油田勘探、开发、生产、运营及外

部环境因素等全流程的各类信息系统进行集成, 并统一分析与反馈, 形成闭环式智慧油田运行模式, 如图1所示。



▲ 图1 闭环动态优化的智慧油田生产运行新模式

当前,各类油田信息系统中的数据以不同形式存储。而语义作为数据含义和关联关系的表征技术,可实现对异构系统中数据的统一理解及深层关联的建立。因此,基于工业物联网的智慧油田数据语义集成具有广阔的研究前景。

1 语义集成架构

1.1 语义集成概念

语义集成,又称为语义互操作,强调在一定语义下实现信息的互操作。文献[1]提出了一种语义集成的定义:系统之间能够消除来自于不同信息源的语义异构,从而实现信息的共享与集成的机制。从语义集成的定义可知语义集成具有以下3个特点:(1)信息源多样性,互操作的信息可能会来自于两个或以上的信息源;(2)系统之间可以相互理解来自对方信息的含义;(3)系统之间可以共享和交换信息。语义集成的关键在于系统之间可以理解信息的含义。而信息源之间产生的异构可以分为语法异构(数据格式不同),结构异构(不同的信息源存储数据的结构不同),以及语义异构(同一概念在不同系统中有不同的语义,不同的概念在不同的系统中有相同的语义)。采用XML和Web Service可以很好的解决语法异构和结构异构的问题,至于语义异构的问题则可以通过本体来解决^[2]。

本体是一个领域中概念显示的形式化规约。本体主要是由类、属性、实例以及公理组成^[3],为不同实体之间信息的共享、重用和交互提供共同的理解。本体部署有3种不同的结构方法:单本体结构、多本体结构和混合本体结构^[4]。单本体结构方法只使用一个全局本体提供可共享的词汇表。不同来源的信息源都使用这个共同的全局本体获得信息的语义描述,从而解决了不同信息源语义异构的问题,实现了不同系统之间的

语义集成。利用该本体结构的一个比较显著的实例是多源单接口(SIMS)^[5],SIMS模型采用一个分层的术语知识库,用节点表示对象、动作和状态。但是单本体结构在使用时有很大的局限性,由于要使用同一个全局本体,这些信息源要提供相似领域的信息,并且不适合信息源动态变化的情况;多本体结构中,每个信息源的语义都是由自己本地的局部本体描述的,这些局部本体之间不一定共享相同的词汇表,信息源之间的语义异构是通过不同局部本体的映射解决的。如OBSERVER系统就是由多个局部本体描述系统内不同信息源的语义。对于多本体结构而言,本体间的映射是一项很繁琐的工作,尤其是在不同局部本体之间语义异构很严重的情况下。针对语义集成中单本体结构和多本体结构方法存在的缺点,又提出了混合本体结构的方法。与多本体结构相类似,混合本体结构中每个信息源的语义信息都是由他们局部本体描述的,为解决不同本体间语义异构的问题,混合本体结构又在局部本体上层构建了全局共享词汇表,共享词汇表也可以是一个本体^[6]。

1.2 面向智慧油田的语义集成架构

随着智慧油田的发展,油田开发的数据资源越来越丰富,已经成为一个巨大的信息仓库,各不同系统内数据具有半结构性、异构性以及分布性等特点,需要将数据提供统一的模式进行集成管理。为此,本文提出了面向智慧油田的语义集成的3层架构,如图2所示。

现场数据采集层是智慧油田中数据的来源,其综合考虑了国际油价、开采成本等外部因素,以及油藏结构、测井数据、注采工况等物理因素的影响。采集的数据包括了实时数据以及历史数据,数据类型上有文件数据以及关系型数据等。现场数据采集层是该架构的基础,为语义集

成提供了数据源。

语义集成层是实现智慧油田的关键技术,主要包括数据语义转换、语义关联检索引擎以及油田领域知识库这3个部分。其中,数据语义转换需要对异构的油田全流程信息进行统一语义建模,对数据的统一使用模式提供支持;语义关联检索引擎实现对具有关联关系的油田各系统数据进行统一检索功能,降低数据集成难度;油田领域知识库对油田既有工艺流程、设备关联、分析关系进行形式化描述,为语义关联检索以及后续应用提供支持。

应用层实现对覆盖油田勘探生产分析全流程的跨层跨域信息的综合应用。

2 智慧油田语义集成关键技术

2.1 异构数据语义建模

目前,针对物联网数据描述的语义模型主要有开放地理空间联盟(OGC)提出的SensorML、万维网联盟(W3C)提出的传感器网络接入(SWE)^[7]体系,又以SWE的应用范围最广泛。SWE对传感Web的语义描述仅包含时间、空间和主题3大类要素,其中主题涵盖范围较模糊,而对于工艺流程明确的工业生产全过程,对主题进行更明确的划分将有利于对数据的精准提取与使用。因此,可通过工业数据流使用模式与习惯的分析,结合热点挖掘技术,提取出互联生产元数据关键因素,具体包括时间、地点、使用者、操作对象、功能、操作类型以及操作描述(映射为when、where、who、which、what、how、do what)等7大类因素,实现全局生产异构元数据的语义封装。

2.2 油田领域知识库

针对油田数据海量、异构以及元数据信息语义不一致问题,在语义建模基础上,需要解决各系统信息语义

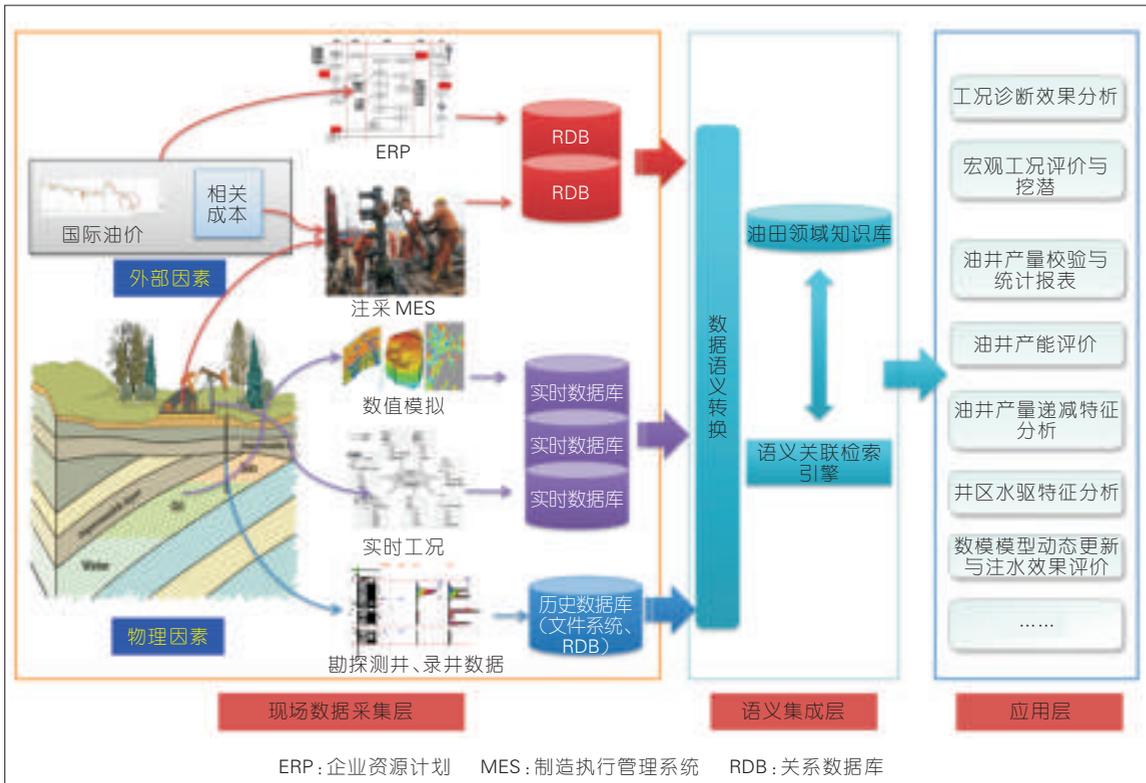


图2 基于工业互联网的智慧油田语义集成架构

歧义的问题。通过对工业处理过程的抽象,构建层次化语义本体库,构建异构数据与生产设备之间的时空与业务联系,并针对领域构建基于模型与经验的领域知识库,实现全局信息的共享与推理功能。

(1) 层次化语义本体库

层次化语义本体库采用手工、半自动和自动的方法进行,可以根据具体情况有所裁剪,层次化语义本体库的架构如图3所示。

其中,顶层是跨领域词汇表,作为各领域表达基准表;域层为语义域本体,在工业领域按照终端使用模式进行配置;设备层是面向应用的核心本体库,包括向上与应用的关联和向下与语义描述的映射;语义模型为语义描述标准化框架;消歧本体库则以完成各层次各实体的语义歧义消除工作。

(2) 领域知识库

领域知识库主要实现各工业装备领域内模式知识与经验知识基于本体的形式化表示。以油田油井注

采状态的计算模型为例,其注采知识库主要包括基于功图的单井产量计算模型、动液面计算模型、产液量计算模型、泵效计算模型、平衡度计算

模型等,经验知识方面主要包括油藏地质状态判断知识库。通过对全局中各不同领域知识库的建立,基于层次化本体实现生产全流程全局优化

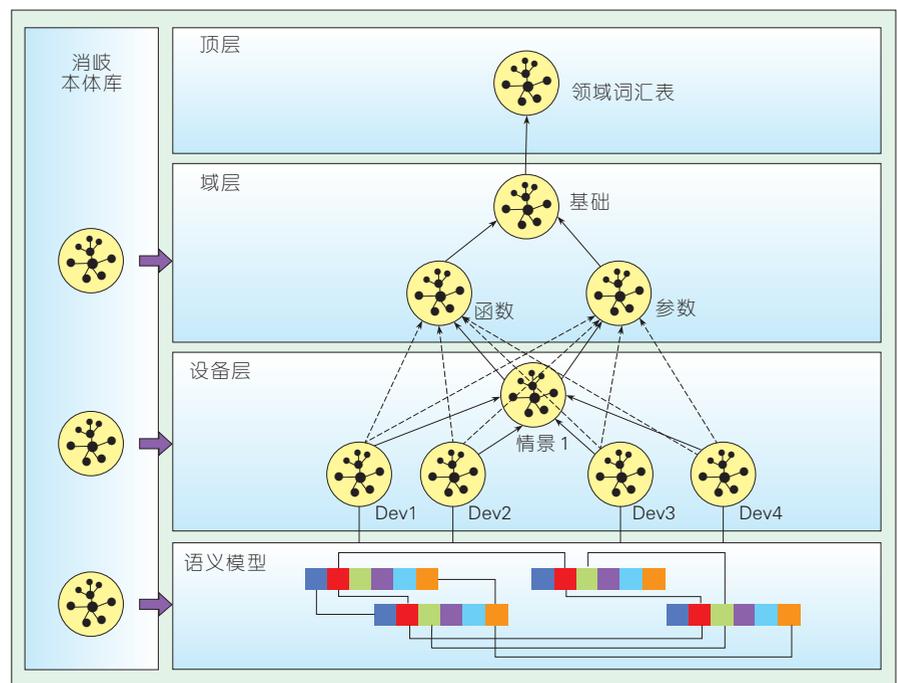


图3 层次化语义本体库架构

的推理能力。

2.3 时空数据流关联检索

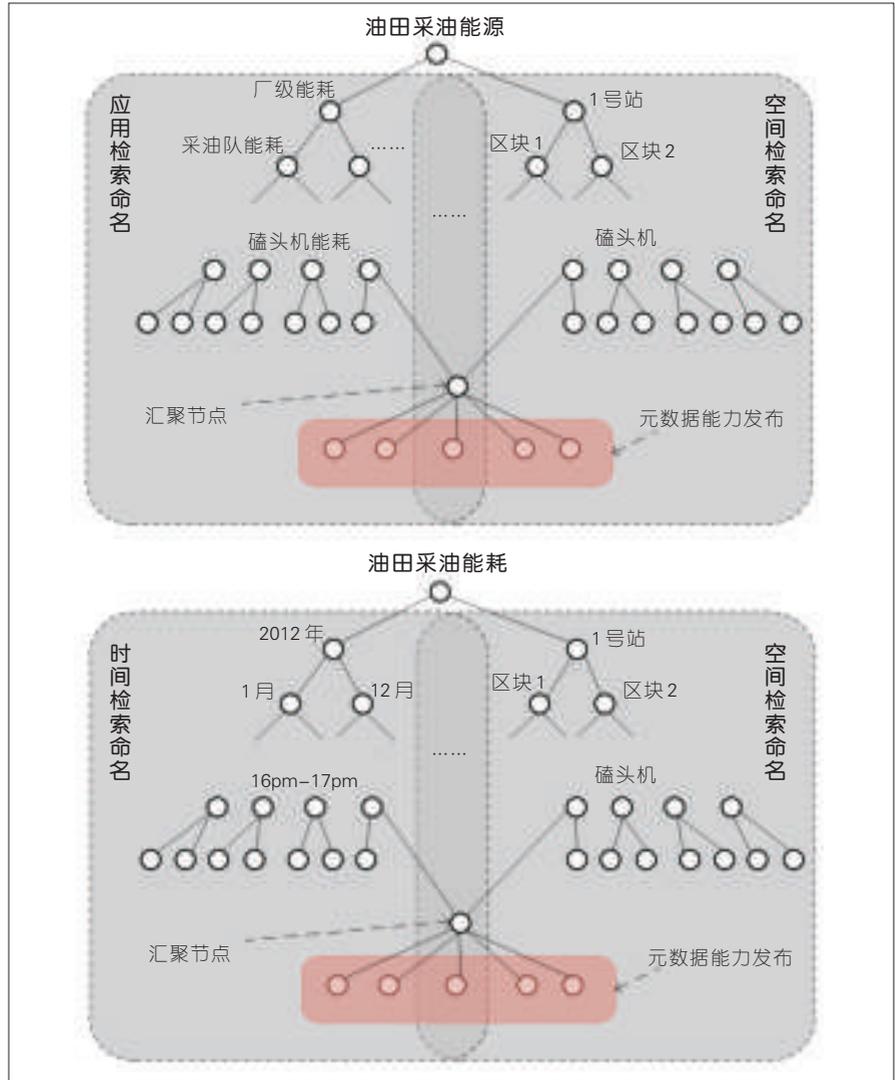
典型工业应用场景主要面向生产过程控制与分析人员,当出现特定生产场景时,需要综合各系统内相关信息作出相应反馈。以油田抽油井优化方案制定为例,当前的油田油井方案制定工程师需要分别到不同系统中手动调取油藏地质文件数据、数值模拟数据、单井小层数据以及单井实时动液面、示功图等信息,效率低下。因此,针对这类典型的具有业务关联的使用流程,需要开展面向关联的快速数据检索技术的研究。对于工业生产过程,主要表现为针对由于时空关系导致的具有上下游业务流程因果关系的关联,通过关联检索的实现,解决高效获取相关数据信息的问题。

关联模型的构建需要综合时间与空间视角。如图4所示,在时空转换关系中,传感器可作为连接两个空间的桥梁,通过构建基于传感器连接点的层次划分来实现两个空间之间的关联。

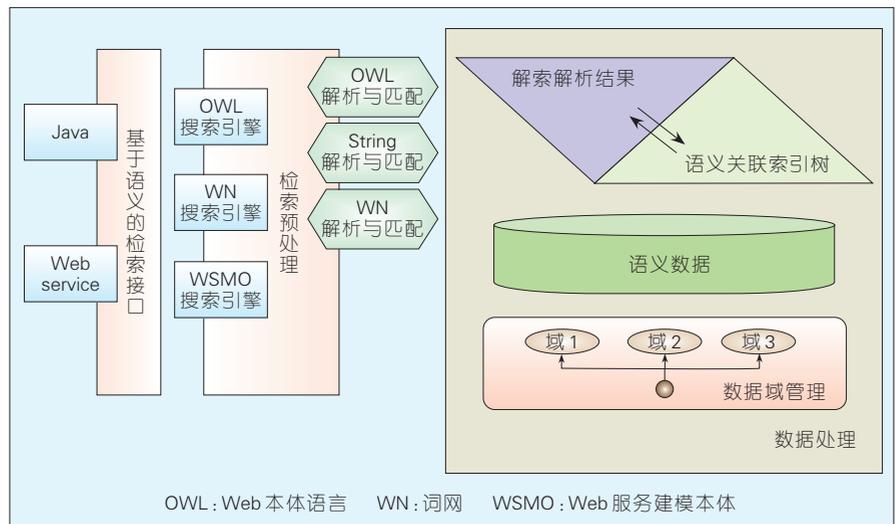
在图4中,对应用系统在时间、空间以及功能域上逐级划分形成语义关联索引树,通过生产过程信息汇聚节点的连接实现时空联合检索,并以元数据能力发布作为检索入口,实现时空关联检索。以油田注采互联生产过程为例,通过建立油田应用实体多层次本体命名体系来显式标明时空与应用的关联,包括空间检索命名、时间检索命名和应用检索命名体系等,继而提供了数据的查询与管理机制。

基于时空语义检索树的语义检索过程如图5所示。

数据的语义检索,需要首先对检索请求进行解析,可支持Web本体语言(OWL)、词网(WN)和Web服务建模本体(WSMO)解析,形成检索解析结果,与时空关联索引树进行匹配,最终从标准化的语义数据中进行检



▲ 图4 基于汇聚节点的语义关联树



▲ 图5 时空数据语义检索过程

索并返回检索结果。以油田注采装备检索为例,当作业井中某节点压力值发生突变后,可以通过时空关联检索对相同/临近作业区块同期抽油井、注水井的相关压力、温度等信息进行关联检索分析,进而为判断当前作业井压力突变的原因分析提供依据和解决方案支持。

3 展望

当前,中国相继推出了“工业化信息化两化融合”、“中国制造 2025”等一系列顶层设计方案,工业物联网的发展日益成为人们关注的焦点。同时智慧油田概念的提出将数字油田逐渐向智慧化、高效化的开发中转变。在工业物联网发展的基础上,通过语义技术,将跨层跨域的数据集成变成了可能,而将语义集成技术广泛应用在智慧油田的建设与推进中,又能够进一步促进油田的数据信息利用更加高效、更加合理。因此,对基于工业物联网的智慧油田语义集成技术体系进行更加全面与深入的研究,将促进油田生产运行新模式的实

现与发展。

参考文献

- [1] TERRASA A N. Semantic Integration of Thematic Geographic Information in a Multimedia Context[D]. Barcelona: Pompeu Fabra University, 2006
- [2] ZHOU J, YANG H, WANG M, et al. A Survey of Semantic Enterprise Information Integration [C]// International Conference on Information Sciences and Interaction Sciences. USA, IEEE:234-239, 2010. DOI:10.1109/ICICIS.2010.5534744
- [3] GRUNINGER M, USCHOLD M. Ontologies: Principles, Methods and Applications[J]. Knowledge Engineering Review, 1996, 11(2): 93-136. DOI:http://dx.doi.org/10.1017/S0269888900007797
- [4] WACHE H, VISSER U. STUCKENSCHMIDT H, et al. Ontology-Based Integration of Information—A Survey of Existing Approaches [C]// Ijcai'01 Workshop on Ontologies & Information Sharing, USA, IJCAI: 108-117, 2001
- [5] ARENS Y, HSU C N, KNOBLOCK C A. Query Processing in the SIMS Information Mediator [M]// Tate A Advanced Planning Technology Aaai Press Menlo Park Ca, 1997: 82-90
- [6] STUCKENSCHMIDT H, WACHE H, VISSER U, et al. Enabling Technologies for Interoperability[C]// Information Sharing: Methods and Applications at the 14th International Symposium of Computer Science for Environmental Protection, Bonn, TZI: 35-46, 2000
- [7] SHETH A, HENSON C. Semantic Sensor Web [J]. IEEE Internet Computing, 2008, 12(4):78-83. DOI:10.1109/MIC.2008.87

作者简介



刘阳,中国科学院沈阳自动化研究所副研究员;研究方向为工业物联网信息语义化处理与分析;已发表SCI/EI检索论文10余篇。



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、“863”项目、国家自然科学基金项目等10余项;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年度人物,曾获“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。



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、“973”、“863”项目等10余项;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检索论文100余篇,著作2部。

综合信息

2025年中国将成全球最大物联网市场

来自市场研究公司 Machina Research 的最新数据显示,全球物联网连接数量及物联网收入在 2015 年-2025 年之间将增长 3 倍,从而为电信运营商提供一个赚钱的机会,尤其是那些在企业 IT 服务领域具有经验的电信运营商。

2015 年,全球物联网连接数量为 60 亿个,根据预期,到 2025 年这一数字将增至 270 亿。同期,物联网收入将会从 7 500 亿美元增至 3 万亿美元,其中总收入中的 1.3 万亿美元将通过设备、连接和应用收入直接来自于终端用户。剩余部分则将来自于上下游资源,包括应用开发、系统集成、托管和数据货币化。

Machina Research CEO Matt Hatton 表示,虽然从纯粹连接性方面的收入相对比较少——预计 2025 年为 500 亿美元,但电信运营商在占据市场份额方面的表现,会远超许多行业观察家的预期。500 亿美元是“充满变化

的一大块市场”,Matt Hatton 同时也指出,电信运营商仍将把重点放在更广泛的机会上,例如提供实际的物联网应用。

根据 Machina Research 的预测,到 2025 年,所有物联网连接中的 72% 将使用 WiFi 和 Zigbee 这样的短距离传输技术。互联车辆将成为一个关键领域,2025 年 45% 的蜂窝物联网连接将会在这个领域。包括 Sigfox、LoRa 和 LTE-NB1 等在内低功耗广域覆盖技术,在 2025 年将占据 11% 的物联网连接。

中国将引领 2025 年全球物联网市场,美国在物联网连接数方面与中国不相上下——中国占据 21% 的全球物联网连接数,美国占据 20%;但是美国在收入份额方面却大于中国,美国为 22%,中国则为 19%。2025 年第三大物联网市场将是日本,届时日本将占据全球物联网连接的 7% 和物联网收入的 6%。

(转载自《C114 中国通信网》)

中国智能制造之路

Developing Road of Intelligent Manufacturing for China

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 05-0056-003

摘要: 认为智能制造是改进大批量多品种制造模式, 进一步提高人类生活水平的理想方案。介绍了智能制造的3大组成部分: 智能化产品设计、智能化生产制造和智能化服务支持。其中, 智能化产品设计是源头, 智能化服务是保障, 智能化工厂是基础, 三者缺一不可。指出中国应当坚持引进、消化、吸收、再创新的智能制造体系, 才能在较短时间内缩小与发达国家间的差距。

关键词: 智能制造; 智能化设计; 智能化生产; 智能化服务; 智能工厂; 工业革命

Abstract: Intelligent manufacturing is an ideal solution to improve the large quantities and variety manufacturing model, and it can improve people's living level. Intelligent manufacturing contains three parts: intelligent product design, intelligent production and intelligent service. Intelligent product design is the source, intelligent service is the guarantee, and intelligent factory is the foundation. For China, it's necessary to insist on the intelligent manufacturing system, which is composed of introduction, digestion, absorption and re-innovation. In this way, China can narrow the gap with developed countries within a short time.

Key words: intelligent manufacturing; intelligent design; intelligent production; intelligent service support; intelligent factory; industrial revolution

莫欣农/MO Xinnong

(清华大学, 北京 100083)
(Tsinghua University, Beijing 100083,
China)

- 智能制造的行动路线将决定未来中国制造业在国际的地位
- 仅有现代化的厂房和高精尖的设备构成不了智能制造, 高档工业软件是智能制造真正的灵魂
- 未来智能制造时代, 生产制造能力的差异化将大幅减少, 生产制造仍是制造业价值链中的最低端

1 工业革命的源动力

公元前的希腊和古埃及时代, 人们就利用蒸汽的力量来开关庙宇的大门。18世纪中叶, 资产阶级革命废除了封建制度, 资本主义开始大发展。首先发展起来的英国通过殖民扩张, 积累了大量资本, 获得广阔的原料来源地和海内外市场。传统手工业的生产力已不能满足巨大的市场需要, 社会急需提高劳动生产率。于是一场用机器代替手工劳动, 用工厂代替手工工场的工业革命轰轰烈烈地开展起来, 由此开创了机械化大规模单一品种的生产模式, 人类

进入了“蒸汽时代”^[1]。

随着新兴资本主义国家的出现, 为了争夺世界市场, 他们必须进一步提高社会生产力。19世纪中叶, 电力技术广泛地应用到制造业, 原来的机械化生产逐步被电气化流水生产线所代替, 开始出现大批量、少品种的生产模式, 即第二次工业革命。它增强了新兴资本主义国家的国防实力, 达到了扩大市场占有率的目的。

进入20世纪, 特别是两次世界大战后, 全球势力范围重新划分, 形成了东西对立的两大阵营。激烈的竞争要求加快提升社会生产力的速度。核能、电子、计算机、航天、生物等新技术应运而生, 推动第三次工业革命。先发展起来的国家广泛建立自动化流水线, 通过大批量、多品种

的生产模式, 快速增强国家经济实力, 提供更有竞争力的产品, 显著提高人类的生活水平, 同时占领更大的国际市场; 后发展起来的国家利用先进的科技力量, 迅速改变落后的生产模式, 奋起直追, 参与世界市场的竞争, 不断改变世界市场的格局。

社会生产力的快速提升, 大幅度改善了人类生活水平, 延长了人类寿命, 同时也带来了地球资源紧缺、环境污染、产能过剩、竞争加剧、人口老龄化等严重问题。进入21世纪后, 整个国际社会广泛意识到人类不能无节制地制造产品, 发达国家首先意识到需要用大批量定制的新模式来替代大批量、多品种模式, 创造一个节约资源、保护环境、满足需求、节省人力的新型制造模式, 并在新一轮工

收稿时间: 2016-07-15
网络出版时间: 2016-09-09

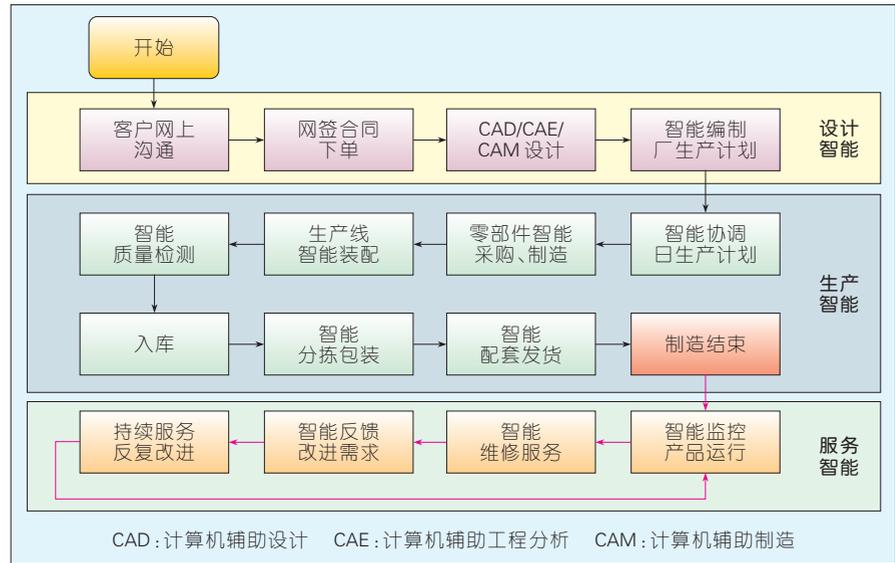
业革命中重新占据领导地位。由发达国家率先引导的新一轮工业革命就和第三次工业革命并行发展起来。20世纪末发展起来的互联网、物联网技术便成为新一轮工业革命的支撑技术。在新一轮工业革命中,发达国家和发展中国家都面临制造业格局重新洗牌的局面,相互之间既有竞争,又有合作。企业需要正确认识工业革命的源动力,把握住工业革命的方向,才能在新一轮工业革命中不被淘汰出局。

2 正确认识智能制造

传统的大批量、少品种的生产模式对管理要求较低,人工进行计划和调度便能实现。大批量、多品种的生产模式对管理提出较高的要求,单纯依靠人工已经无法完成,必须借助信息化技术(IT)进行辅助。到了大批量、个性化的生产模式,生产线上的每一个产品都可能不一样,人工几乎无法进行有效的计划和调度,必须完全依靠新一代的IT技术,有人称之为运行技术(OT)。人们事先在计算机的虚拟环境中根据大批量、个性化生产的需要,模拟OT技术的整个操作过程,包括遇到各种可能异常情况的主动决策处理,确认无误后再转到现实世界执行物理加工生产。这样的制造模式称之为智能制造。

完整的制造过程包括前、中、后3个阶段,见图1。

前期是智能化设计,采用高端工业软件设计智能产品,仿真产品性能,验证嵌入式软件的智能水平,为中期提供完整的虚拟产品数据。中期是智能化生产,采用高端工业软件识别生产对象和生产要素,自动适应产品、材料、环境等变化,保质保量完成个性化的制造任务,同时为后期提供完整的物理产品数据。后期是智能化服务,采用高端工业软件实时监测智能设备运行性能及其健康状态,根据该设备设计时的虚拟产品数据,提取相关知识指导,优化当前设备的



▲图1 智能制造的3个阶段

运行参数,安排精益维修计划,反馈设备持续创新需求,形成闭环的智能制造新模式。

有了前期高档工业软件设计的智能产品,才会有智能设备;有了后期高档工业软件提供智能设备实际运行参数和健康状态分析,才能形成智能化生产线;有了中期高档工业软件把生产线和上下游集成起来,才能构成智能工厂。智能工厂接收完整的智能产品数据才能执行智能生产,仅有现代化的厂房和高精尖的设备构成不了智能制造,前、中、后3个阶段的高档工业软件是真正的智能制造的灵魂,缺一不可。

在第三次工业革命中生产环节的利润率开始下降,设计和服务的利润率超过生产环节,即所谓的“微笑曲线”,见图2。

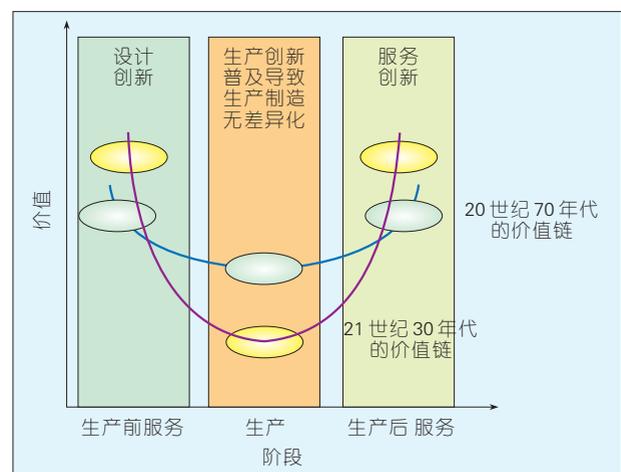
在未来智能制造全面铺开时代,生产制造的差异化将会大幅度减少,3D打印技术将会覆盖很多现有的制造工艺,替代很多现有的生产设备。因此,生产制造仍然是制

造业价值链中的最低端,甚至比非智能制造时代的价值还要低,“微笑曲线”就会变成“大笑曲线”。

3 中国企业应对策略

智能制造本身是一个巨大的市场,包括智能制造的建设和智能制造的服务两大类。智能制造建设市场分为前、中、后3个阶段的高档工业软件市场和中期高档智能设备市场两大部分。智能制造服务市场又分为前期智能产品设计和后期智能运维服务两部分。

中国作为发展中国家,在智能制造领域与发达国家存在不小的差距,



▲图2 制造业价值链

在智能制造的四类市场中缺乏处于领先地位的产品。为了构建中国智能制造体系,就得采用引进、消化、吸收、再创新的道路,用较短的时间缩短与发达国家的差距。

从制造大国走向制造强国不能长期依赖购买智能产品设计。为了设计智能化的产品必须引进高档的设计工业软件,培养高档的设计人才,形成具有特色的智能产品设计专业团队,掌握智能制造的源头,从而保证企业立于不败之地。目前很多企业依然采用中低档的工业软件进行低档产品开发,一旦市场发生突变就危险了。不久前的柯达、诺基亚等案例深刻揭示了跟上历史发展步伐的产品设计是何等的重要。

智能工厂是智能制造建设中投资最大的环节,既有硬件设备又有高档工业软件。发达国家大力推销智能工厂有利于其锤炼技术,增加收入,扩大市场,重新布局。然而,发展中国家单纯建设智能工厂不会获得高额的利润率,既不会快速提升企业的竞争能力,有时还会加重产能过剩的副作用。因此,中国在引进智能工厂的时候必须加强消化吸收工作,以便支持大量的中小企业能够顺利加入到智能制造的体系中来。

个性化产品的广泛普及必然推动个性化服务的发展。美国GE公司用一年的时间进行评估,测算出2020年全球工业互联网服务平台的业务

将达到5 000亿美元^[1],相当于当前全球高铁市场的一半。服务业逐渐和高端制造业并驾齐驱。智能运维服务收集智能产品使用过程的全部数据,利用智能产品设计、制造的核心知识给用户的技术咨询和维修服务,提高产品性能和完好率,同时还收集产品实际使用的数据,反馈产品改进和创新的知识。中国企业不应放弃如此大的智能服务市场,更应该重视产品使用数据对企业和国家安全的影响。

4 结束语

在商业互联网开始阶段,欧洲失去宝贵的机会。德国99.7%的中小企业,其中有很多被称为“隐形冠军”,产品行销世界。目前他们面临美国和中国两个强大的制造业竞争对手,还有人口老龄化的严重问题。通过分散式生产实现社会化大生产,将这些优秀的中小企业联合起来,形成拳头,共同参与全球竞争便是德国智能制造的战略选择。

金融危机过后,美国反思制造业“空心化”造成的制造业大国地位削弱,失业率上升,危及社会稳定等问题。通过建立“国家制造业创新网络”,消除本土研发活动和制造技术创新之间的割裂,重振美国制造业竞争力。同时,美国利用互联网和物联网的优势大力推动制造企业向软件企业转变,占领制造业价值链后端的

新市场,重新占据全球制造业的主动权,智能制造是其不二的选择。

中国智能制造的行动路线将决定未来国家制造业的地位。如果第一步放在建设智能工厂,就只能跟在别人后面,不仅不能解决产能过剩的问题,到头来还是继续为制造强国打工。如果第一步放在产品创新,彻底改变低端产品形象,掌握核心技术,打下智能制造的坚实基础,就能保持长期发展的能力。如果第一步放在服务创新,在产品创新基础上推动产品的智能化,在服务中加快产品更新换代速度,就能实现产品创新突破。在具备智能设计和智能服务的基础上,企业再开展智能工厂的建设,才能真正提升制造强国的地位。因此,中国企业需要根据自身的实际情况,选择恰当的路线,保证实现智能制造的目标。

参考文献

- [1] MARSH P. 新工业革命[M]. 北京:中信出版社, 2013
- [2] WINIG L. GE's Big Bet on Data and Analytics [R]. Cambridge: MIT Sloan Management Review, Case Study, 2016

作者简介



莫欣农,清华大学软件学院兼职教授;研究方向为产品全生命周期数据管理、大数据管理系统等;曾获2014年国家科技进步二等奖;已发表论文10篇。

综合信息

爱立信、高通、中兴通讯等成立 Avanci 专利授权平台 旨在加速物联网发展

KPN、爱立信、高通、中兴通讯和 InterDigital 等公司联合推出了一个新的无线专利授权平台——Avanci,旨在使物联网公司能够更容易在其连接设备中嵌入蜂窝技术。

Avanci 使设备制造商通过一个单一授权,只需支付一笔统一费用,便可依据 FRAND 条款获得上述公司所

持有的所有标准必要无线专利的使用权。

“通过 Avanci,以前需要大量时间与资源和多个技术专利持有者进行谈判的事情,现在可以在一个地方通过一次授权完成,从而使物联网制造企业能够轻松地使用全球最先进的无线技术,并使他们能够专注于把新产品带给市场。”Avanci 创始人和 CEO Kasim Alfalahi 在一份声明中表示。

(转载自《C114 中国通信网》)

工业互联网不是企业经营发展的 万能钥匙

Industrial Internet is not the Master Key for the Development of Enterprise

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 05-0059-002

摘要: 工业互联网为企业更好地经营发展, 适应未来经营模式提供了一种手段, 其概念已从生产现场的互联互通, 转向未来以产品生命周期为核心的产业价值链的整体协同。认为需要充分激发企业的原动力, 并结合企业自身情况及所处阶段, 循序渐进地完成工业互联网的实施。此外, 还指出了工业互联网并不是企业经营的万能钥匙, 只是企业发展道路上的又一个辅助工具或指导理念。

关键词: 工业互联网; 工业 4.0; 企业发展

Abstract: Industrial Internet helps the enterprise to better develop and adapt the business model. At present, the concept of industrial Internet has changed from the production site connectivity to overall synergy of the product life cycle. Driving force of the enterprise should be simulated and the industrial Internet process should be implemented step by step. However, industrial Internet is not the master key, but the auxiliary tool or guiding philosophy for the development of the enterprise.

Key words: industrial Internet; industry 4.0; development of the enterprise

赵维铎/ZHAO Weiduo

(中兴通讯股份有限公司, 江苏 南京
210012)
(ZTE Corporation, Nanjing 210012, China)

- 工业互联网简化的三要素为: 采得到, 传得出, 挖得准
- 应用软件是工业互联网的神经中枢和大脑, 复杂的应用系统集成将会是实施中最大的难题
- 企业应平衡考虑当期效益与长远发展, 中、小企业要打好自动化及数字化基础, 为实现更高层次的工业互联网做好准备

1 工业互联网的实施要求

随着先进制造技术理念的不断发展及世界各国对实体经济发展的重视, 工业互联网、工业 4.0 等概念也不断演绎发展, 尽管出发点及侧重点有所不同, 但其思想本质及发展框架体系逐步趋于一致, 为工业企业发展提供了一个参考框架及未来蓝图。

狭义的工业互联网侧重于生产现场人、机器、产品等互联互通, 机器与机器, 机器与人, 机器与产品间协同工作, 使得企业生产过程达到最优; 广义的工业互联网则是围绕产品全生命周期中不同企业资源的整合,

实现产品设计、生产制造、使用维护等产品全生命周期的管理和服务, 在为客户提供更有价值的产品和服务的同时, 重构产业链各环节的价值体系, 是制造及管理模式的转变。

其实, 工业互联网所隐含的部分先进制造技术及理念, 如网络制造, 智能制造、绿色制造、全球制造、精益/准时生产等在 20 世纪 90 年代或 21 世纪初就已提出, 只是部分理念受限于当时的科技水平无法完全实现。当前工业互联网的实施同样存在一个企业内部小环境与外部科技、经济发展大环境相匹配的问题。

(1) 从企业自身来说, 工业互联网的实施是一个循序渐进、不断优化的过程, 需要有与之相匹配的设施基础。一般来说是从局部的单元自动

化、数字化开始, 在此基础上通过联网集成逐步实现整体智能化。任何方案都不可能使企业一步跨入工业互联网, 特别是当前中国整个制造业水平比较低, 很多企业所处的阶段还是在半自动化层面, 有的传统产业还在手工阶段, 这如何能向工业互联网、智能化工厂转型? 因此, 企业首先要清楚的了解自己当前是否具备一定的基础条件, 实施工业互联网要达到什么样的阶段目标, 想一步到位、一劳永逸的实现“跨越式”发展是不现实的。

(2) 从外部环境来说, 工业互联网的实施不仅仅是一个企业的问题, 它与国家整个经济市场大环境、国民经济发展水平及人口素质等息息相关。即便纯粹从技术角度来说, 全面

收稿时间: 2016-07-15
网络出版时间: 2016-09-08

实施工业互联网也还存在着标准化、工业通信基础设施建设以及网络安全保障等技术难题^[1],不可能一蹴而就。首先,政府或科研机构、行业协会层面需要在理论概念、参考架构、商业模式、样板点建设及技术标准化等方面为企业提供指导蓝图;其次,联网为数据的流动提供了可能,为相关设备之间、企业之间,企业与用户、与产品之间等集成交互提供了管道,但随之而来是海量的市场、需求、研发、生产、物流、售后以及管理等数据的爆发性增长,现有的宽带基础设施还不足以完全支撑工业领域应用,需要为企业提供性价比较高的基础宽带服务;最后,工业网络中的数据中往往包含知识产权和商业机密等关键信息,以及联网设备的状态和控制信息等,安全形势严峻,需要在网络安全技术及法律法规上不断完善,为工业互联网平稳运行保驾护航。

2 工业互联网的实施考虑

(1) 先易后难,分步实施

笔者认为工业互联网简化的三要素就是:采得到,传得出,挖得准。

- 采得到,是指利用各类传感器,能够获取到想要得到的各类数据,作为上层应用分析的基础;

- 传得出,是指采集到的数据可以在设备间及上级应用系统间自由传递;

- 挖得准,是指在海量的数据中能够利用行业知识和数据模型,分析得出想要的结论或规律,指导相关系统联动。

连接只是工业互联网的第一步,数据是工业互联网要获得的内容,而应用软件则是工业互联网的神经中枢和大脑,复杂的应用系统集成将会是实施中最大的难题。建议工业互联网实施步骤如下:

- 首先实现产线、车间的设备联网,实现数据流的“小循环”,促进单元及车间自动化,数字化;

- 然后逐步扩展到整个工厂及

企业,实现数据在企业内部的“大循环”,实现工厂数字化、企业数字化,进一步集成各应用系统,实现企业内部的统一协调;

- 进一步,向价值链集成方向上下游延伸,促进外围相关企业联网,如供应链、物流、代理销售、售后、用户等,实现数据流的“价值链贯通”。

(2) 激发企业的原动力

试点样板点的树立是必不可少的,既可以提高重点企业的国际竞争力,又可以为其他摸索中的单位提供样板点和建设运营经验。但政府应尽量避免出现类似机器人产业粗放“概念补贴”的问题,对真正能够起到带头示范效应的行业企业可以适当补贴。不过任何技术革新都需要企业的原动力,只有企业在充分的市场竞争过程中认识到在其发展过程中已经或可能在不远的将来会遇到某些方面的瓶颈或威胁,需要采用新技术或理念来解决面临的问题时,才会投入资源,以确保自己的优势地位,也只有这样的技术革新才会最终取得成功,单靠政府热心推动和单方面补贴不一定会取得良好效果,要避免“上热下冷”的状态,最了解企业当前发展瓶颈的应该是企业自己。

(3) 有实力的企业先行

如前所述,工业互联网的实施需要企业具备一定的自动化或数字化基础,工业互联网要解决的也不仅仅是互联互通问题,更重要的是互联互通后,各单元产生的海量数据的挖掘处理,以及对分散的各应用系统的统一集成,这样才能使企业的各项生产经营活动统一协调管理。因此企业要有足够的资金和技术实力投入到网络安全,网络基础设施,应用系统集成和人才培养、储备等环节当中。

此外,由于行业间差异较大,样板点也只能用来参考,不同行业甚至是行业内不同企业的具体解决方案应该都是定制的。实施企业需要对自己的信息化有一定的规划能力,了解当前企业所处阶段及制约发展的

信息化瓶颈,有明确的阶段性实施目标,才可能有的放矢,完全依靠外部咨询公司的规划实施,最终很可能导致水土不服。

3 结束语

随着工业互联网概念的扩大及理论的填充完善,不断有新的内容会加入其中,使得目前的工业互联网概念同工业4.0类似,成为一个分层的复杂理论体系,即机器、车间、工厂、企业,乃至产业链协同的大系统,其理论概念体系也许会随着时代的发展而不断的补充完善,甚至可能在不久的将来,使用工业互联网的概念将不足以支撑这个体系。

因此,企业不必为概念所拖累,应结合自身实力及所处阶段,兼顾长期发展,在当期效益与长远发展中平衡考虑,优先解决当前自身发展瓶颈问题。特别是一些中小企业,要打好自动化及数字化基础,为实现更高层面的工业互联网做好准备,循序渐进,逐步实施,绝不能拔苗助长,白白浪费学费。

总之,工业互联网并不是当前阶段解决中国所有企业经营发展的万能钥匙,任何技术手段及理念只是一个辅助工具,最终还是要以用户需求及市场服务为导向,以产生经济效益为核心,绝不能为了联网而联网。

参考文献:

- [1] 保障德国制造业的未来——关于实施工业4.0战略的建议(一)[EB/OL]. (2014-04-17) [2016-07-10] <http://cietc.org/article.asp?id=5555>

作者简介



赵维铎,东南大学机械制造及其自动化博士、中兴通讯股份有限公司政企行业总监;曾先后从事移动核心网、油气行业信息化、物联网、工业互联网等相关研究;已发表论文9篇,授权发明专利6项。

M-ICT 时代 SDN 技术实践与创新

Practice and Innovation of SDN Technology in M-ICT Era

李光/LI Guang
王延松/WANG Yansong
范成法/FAN Chengfa

(中兴通讯股份有限公司, 深圳 518057)
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 04-0061-006

摘要: 软件定义网络(SDN)集中控制、控制和转发分离、网络能力开放的特点将使其成为未来网络的主要支撑技术,以应对万物移动互联网、业务复杂多变、带宽飞速增长等挑战。重点介绍了中兴通讯融合云计算和开放网络思想在SDN技术方面的实践和创新,相关场景包括数据中心网络、广域网、5G网络切片、云网融合的随选网络等,同时指出了未来需要进一步重点关注的技术方向。

关键词: SDN; 网络功能虚拟化; 网络重构; 数据中心; 广域网; 5G网络切片; 随选网络

Abstract: Due to the advantages of centralized control, forwarding and control separation, and open network capability, soft defined network (SDN) will be the main supporting technology of future network to deal with major challenges, such as Internet of everything, complex and various business, continuously increasing bandwidth, etc. ZTE focus on the practice and innovation of SDN technology which is combined with cloud computing and open network technology. Major related application scenarios such as data center network, wide area network (WAN), 5G network slices, on-demand network (fusion of cloud and network) are discussed. Meanwhile, we propose the key technology development direction in the future.

Key words: SDN; NFV; network reconfiguration; data center; WAN; 5G network slice; network on-demand

1 新时代网络面临的挑战

M-ICT时代是一个前所未有的巨变新时代,一个面向移动、万物互联、全面跨界融合的信息时代。随着物联网、5G的发展,将产生随时随地的海量连接,预计到2020年将超过500亿移动连接。生活与工作也会难分彼此,消费者和企业需要在日常生活和工作中即时按需接入应用和获取信息。虚拟现实(VR)/增强现实(AR)的兴起将使虚拟与现实合二为一,物理与数字世界的关联更加紧密,人工智能让数字世界变得更智慧。因此,要求互联网变得更加灵活、更加迅捷地服务于生活,需要帮助客户在信息的收集、分发、处理、存储、传输、消费等各环节挖掘更多的价值。

M-ICT时代是一个以“人”为本的时代。围绕着用户需求,业务层出不穷、复杂多变。随着丰富而便捷的各种互联网应用服务(OTT)对用户习惯的培养,用户要求的不断提高和多元化,对网络的管理也提出了严峻的挑战:当前的网络成为了业务的

管道,内容不可知、不可控、不可观。各类技术的不断叠加,大量独立网络和业务的“烟囱群”使得网络管理变得异常复杂。用户定制网络、业务快速开通的呼声愈发强烈^[1]。

M-ICT时代是一个宽带飞速增长、流量模型多样化的时代,互联网需要支持跨域和多样化的带宽、性能保证。过去7年,网络流量增长了10倍。预计未来2~3年城域网总流量将增长3~7倍,超过6000Gbit/s,未来5年将增长10倍或更多。各种业务对网络的带宽、时延、并发用户数提出了不同的要求。同时,业务的流量模型也在发生变化,淘宝“双11”抢购、春晚直播等产生的流量具有事件性、突发性,对网络带来了巨大的压

力。当前网络僵化、封闭的缺陷被逐渐放大。

2 SDN 技术综述

软件定义网络(SDN)的出现带来了新一轮的产业变革,它正逐渐成为解决未来网络发展问题的关键技术之一。

SDN的思想最早来自于学术界,2006年为了更好地实现控制与转发分离并加快网络创新,由斯坦福大学主导,在美国自然科学基金会(NSF)以及工业界的支持下启动了Ethane项目,这是SDN技术的雏形。2008年,Nick McKeown在SIGCOMM会议上首次提出了将OpenFlow协议用于校园网络的试验创新,SDN呼之欲出。

收稿时间: 2016-07-20
网络出版时间: 2016-09-08

2011年初,成立了开放网络基金会(ONF),并在2012年4月发布了SDN白皮书,其中网络三层架构模型获得了业界的广泛认同。2012年谷歌宣布其主干网络已经全面运行在OpenFlow上,通过10G网络链接分布在全球各地的12个数据中心,使广域网线路的利用率从30%提升到接近100%。SDN的快速部署引起了业界广泛关注,它向人们证明了SDN具有解决网络现存问题的能力,同时也增强了业界对于SDN技术可行性的信心。

SDN关键技术包括几个方面的内容:控制与转发解耦,实现控制集中化和网络能力开放化。其架构分为转发平面、控制平面和应用平面。控制平面即SDN控制器是整个架构的核心,进行集中的管理与控制,并提供网络能力开放接口。一个SDN控制器可以对转发平面多台设备进行控制,转发设备与控制器之间通过南向接口进行通信,转发设备仅仅进行数据的处理与转发。除了对下层转发设备进行控制外,SDN控制器还

提供了一系列的开放编程接口,提供给应用层对网络的业务灵活加载及控制。应用程序(APP)提供通过控制器北向接口,实现网络功能的定制与创新。

SDN商用部署明显加快。预计2016年,SDN在云服务提供商和通信服务提供商数据中心的部署比例将从2015年的20%提高到60%,同时,SDN的企业采用率预计将从6%提升至23%。预计至2019年,应用于数据中心和企业局域网SDN领域的以太网交换机和控制器收入将达到122亿美元,其中交换机占82亿美元,SDN控制器占40亿美元。

3 SDN 实践与创新

3.1 未来网络整体架构

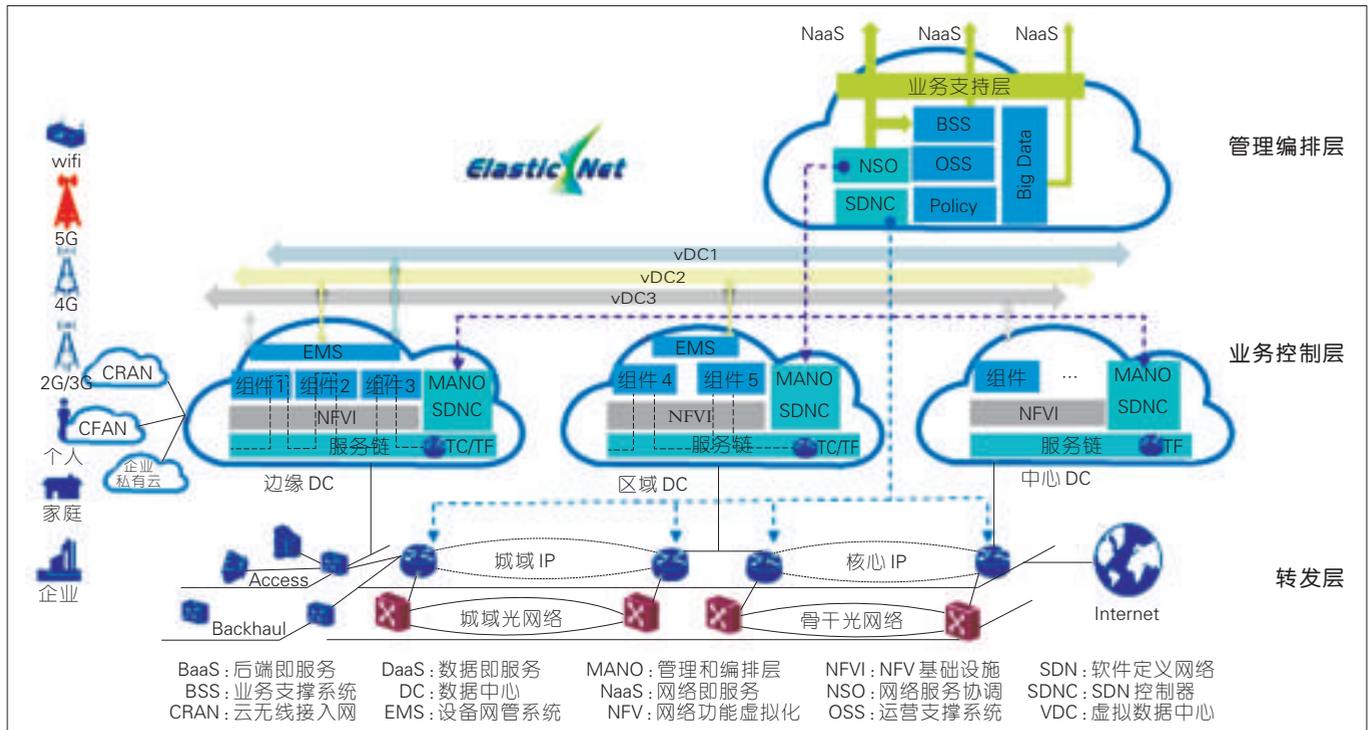
云时代基于“云”来构建全新的基础网络,突破传统垂直分割、封闭网元的刚性结构,引入水平分层的网络架构,重塑弹性开放、云网协同的一体化网络。SDN/网络功能虚拟化(NFV)为这个变革提供了技术支撑

和前进动力。中兴通讯创新性地提出了以“云”为中心的未来网络ElasticNet2020,如图1所示。总体思想是“一个中心,双轮驱动,三层重构”。“一个中心”是指将以虚拟数据中心(VDC)为中心重新构建网络,云将成为新网络基础设施的核心。“双轮驱动”是指SDN、NFV两种技术相互促进。“三层重构”是指网络重构、业务重构和运营重构^[2-3]。

SDN在ElasticNet中的位置在网络重构中,目的是改造传统电信网络的基础设施层,形成云网融合的新基础设施。网络重构后,云网融合的基础设施重点使能基础设施即服务(IaaS)云能力。以“云”为核心的网络可以分为云接入、云内网、云互联3个部分^[4]。

云接入是指终端到云的网络连接,其中包括宽带接入网、移动回传网等。5G BackHaul的SDN化已成为业界共识,用户定制业务的随选网络也离不开SDN技术,它将使接入网变得更加灵活、按需接入、用户可定制。

云内网对应数据中心网络,在边



▲图1 ElasticNet 架构

缘、区域、中心 3 级数据中心,云计算、SDN、NFV 等得到了充分的应用。通过将计算、存储、网络进行全方位的虚拟化改造,在 SDN 控制器和 NFV 协调层的统一调度下,流量不再经 L4~L7 层设备中转,避免了流量的迂回,大大降低了转发时延,虚拟机业务的添加、删除也变得异常灵活、快捷,网络的自动化管理、敏捷性和资源利用效率都将大为提升。

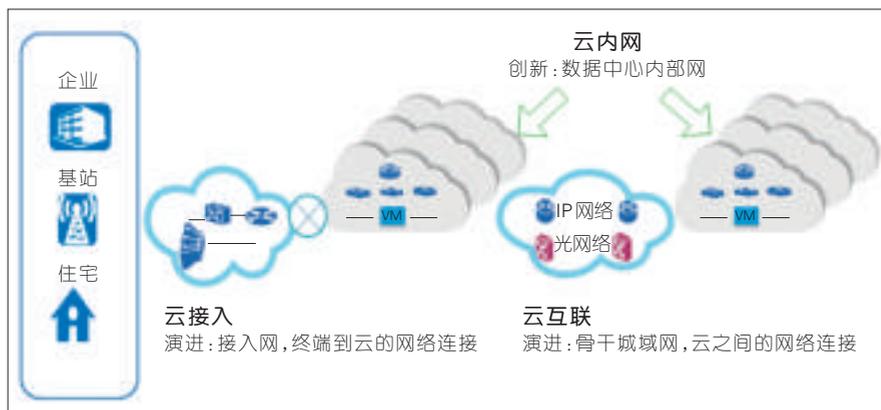
云互联对应传统互联网协议(IP)骨干网。随着数据中心逐步成为网络上的核心节点,骨干网的流量特点也发生了变化。数据中心分布式部署、虚拟机(VM)迁移等带来的东西向流量对骨干网带宽、时延、服务质量(QoS)等提出了更高要求。广域网 IP 和光的技术融合也对联合调度、路径选择提出了新的挑战。基于集中控制、控制和转发分离的 SDN-广域网(WAN)解决方案可以很好地解决上述问题。

随着网络的演进,将出现 3 类新兴的云网关:首先,基于 NFV 的虚拟化网络功能放置在数据中心,形成了业务增值网关。其次,进入数据中心的流量要有效地分配到每个 VM 上,以做到负载均衡、用户功能定制等,因此产生了分流网关的设备形态。另外,为了帮助客户获得云时代更好的体验,前端设备需要运用 SDN 和 NFV 最新技术,形成具有“智能”的微云网关。这 3 类云网关设备既有分工,又有协作,共同促进了网络的转变,用户体验的提升,如图 2 所示。

中兴通讯基于对 SDN 技术的深入理解,融合云计算和开放网络的思想,在 ElasticNet 架构下,开展了多项创新实践。

3.2 数据中心网络

随着云计算的兴起,云数据中心成为未来电信网络的核心节点,其承载各类 NFV 云化软件及 IT 系统,实现信息通信技术(ICT)融合,同时也成为网络的一个部分,实现了“云”和



▲图 2 基于“云”的网络层次

网络资源的统一规划部署和调度。云数据中心是 ElasticNet 架构应用的最典型场景,SDN/NFV 技术在其中充分融合,目前已经开始商用部署。

SDN 应用的优势首先体现在实现海量用户的支持。数据中心存在大量的租户,需要网络层唯一标识租户,并实现租户的安全隔离,保障用户的独立性和数据安全;同时,租户租用了 VDC 服务,需要与其内部网络组网,需具备自助管理功能。通过 SDN 的集中控制器,实现网络虚拟化,结合虚拟可扩展局域网(VXLAN)技术等,可以很好地解决上述问题。

其次,使用 SDN 可以实现多路径转发与负载均衡。SDN 控制器上有全局的网络视图、资源信息和利用率信息等,可以预设用户策略、负载均衡策略,通过统一计算和流表下发控制转发路径,显著提升了转发效率。

另外,SDN 可带来网络能力的开放。网络虚拟化后,网络资源可以作为一种基础资源进行开放和增值,用户可以编程来定制网络,并可以与计算、存储资源一起,形成完整的 IaaS 服务,增加收益,高效运维。当然,能实现网络的自动管理、诊断,及绿色节能等优点^[9],也是 SDN 在数据中心应用得到业界广泛认可的重要原因。

中兴通讯 VDC 解决方案基于 SDN 的 Overlay 架构,在 VXLAN 隧道端点(VTEP)/网关(GW)之间建立 VXLAN 隧道,无需升级原有硬件交

换机。Underlay 网络负责提供底层网络连通性。Overlay 网络在不改变底层网络的前提下实现多租户、大二层、按需自动化部署、配置等网络功能。SDN 控制器负责控制基础网络,以实现网络的自动化配置。VTEP 点可以选择在虚拟交换机(vSwitch)上或者架顶(TOR)交换机上。数据中心南北向流量和东西向流量在 VXLAN 网关统一分流,出数据中心的流量在网关处做 VXLAN 终结和网络地址转换(NAT)等。对于小型私有云,既可以采用服务器 VM 做网关,也可以采用交换机,以降低建网成本。对于大型私有云,推荐采用大型交换机做网关,单位成本流量最低。对于大型公有云,建议采用路由器形态的网关设备,支持和 NAT、VPN 的合一部署,大大提升了设备集成度,如图 3 所示。

中兴通讯实现了多项创新技术:支持分布式路由,同租户跨子网的流量就近转发;基于 Intel 数据面开发工具集(DPDK),实现了虚拟机出向的流量一次查表,零报文拷贝,可达到线速转发;SDN 控制器可以支持完善的分布式集群功能,支持数据切片;SDN 控制器基于高性能消息机制,组件之间完全隔离、异步并发;TOR 将 OpenFlow 流表映射为芯片流表,实现硬件级高性能流转发;通过 OpenStack 的 Ironic 技术和控制器配合提供裸金属服务器部署能力,实现虚拟化和非

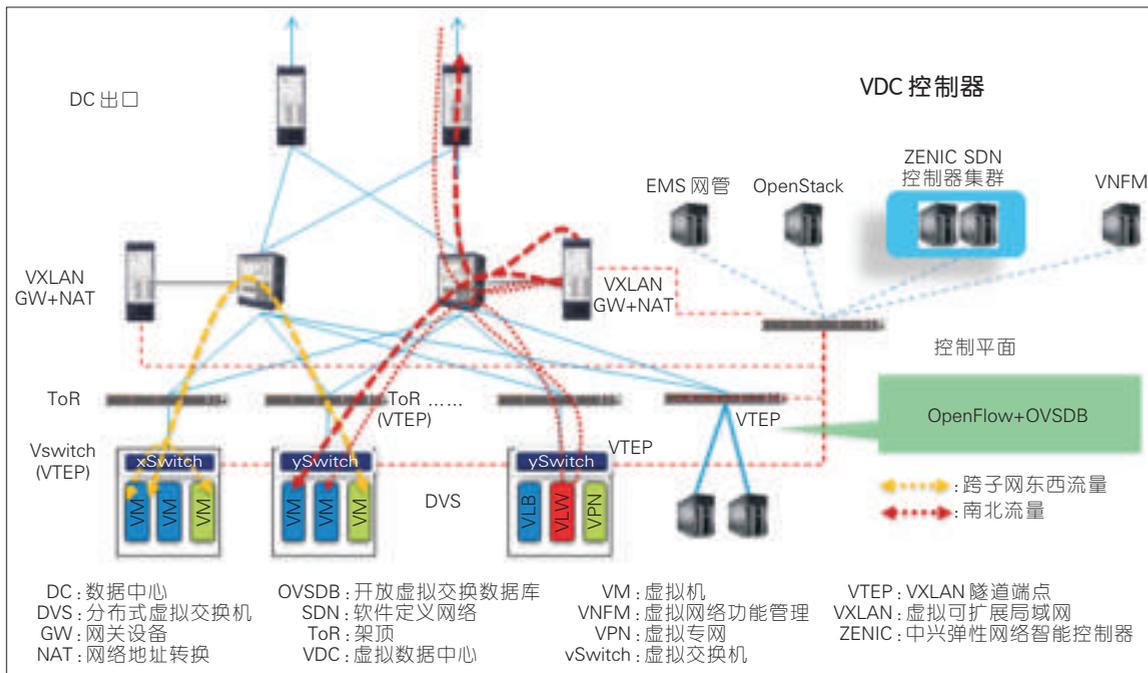


图 3 SDN VDC 解决方案

虚拟化环境统一管理。

3.3 广域网

广域网涉及多个网络层次,不同的网络层次和区域一般是独立的,处于不同的控制管理域。传统的广域网是封闭的,从应用和业务的角度来看,网络是一个黑盒子。使用 SDN 技术,通过北向接口实现网络能力对上层应用开放,让上层应用获得其所需的网络资源和服务,可以真正实现“网络即服务”^[6]。

广域网 SDN 应用涉及多个场景。有移动 BackHaul 的基于 IP 的无线接入网 (IPRAN) 虚拟化和软件定义的分组传送网 (SPTN),也有数据中心之间的互联网络 (DCI),还有光传输的软件定义 OTN (SD-OTN) 等。而最终,整个大网将统一为 SDN 化的 IP 和光协同的大网。

SDN IPRAN 实现了 IPRAN 网络的集中管理控制和接入虚拟化,海量的 IPRAN 接入设备被虚拟为汇聚设备的远端板卡进行管理。其中,网络拓扑的获取、路径的计算和选择、业务通道的建立均由 SDN 控制器完成,无需在 IPRAN 设备上运行复杂的 IP/无

缝多协议标记交换协议 (MPLS),降低了专业技术门槛。同时,IPRAN 虚拟化支持端到端、多段拼接的 L2 虚拟专网 (VPN)、L3VPN 业务以及 L2+L3 的 VPN 业务。在管理方式上,可采用 Web Portal,实现 IPRAN 接入层业务一键式部署,并提供扩缩环 APP 业务,可快速实现网络的弹性调整。整个系统采用标准化的南北向接口,利于互通和扩展。随着 SDN 技术的进一步发展,以 IPRAN 接入层为起点的技术逐渐被扩展延伸,增加了多层多域的概念,增加了对 MPLS 的管理,使其可以应用到 IP/MPLS 全网,实现全网的 SDN 化。

SPTN 是将 SDN 网络控制与分组传送网 (PTN) 转发面结合的技术,实现了集中化智能控制、网络可编程与 PTN 高效多业务传送能力。端到端操作维护管理和电信级高可靠性的结合,提升了 PTN 网络的资源利用率和开放性,打破了垂直组网架构,实现了网络智能、动态的重组,同时有利于跨域业务协同。PTN 网络虚拟化后,可感知网络和业务状态,实现精细化网络调优,打破网络资源电商化销售模式。控制器采用分层架

构,域控制器 D-Controller 负责一个管理域内的业务分发,跨域控制器 H-Controller 负责跨域业务分发,如图 4 所示。

随着数据中心逐渐成为网络流量的起点和终点,以及数据中心承载的业务类型增多,跨数据中心间流量交互(即东西向流量)快速增长。DCI 骨干网为上述流量提供快速、自动、多样化、差异化的承载服务,能够实现基于租户级别的流量调度和优化。目前 DCI 常用的是可以感知到租户流量的松耦合方案:业务编排器支持租户建立端到端的自定义网络;租户网络在骨干网边缘路由器和 GW 之间通过 VXLAN 标识隔离;在 DCI 边缘设备上,支持 VXLAN-虚拟 VPN (EVPN) 功能,并可以把租户流量映射到 IP/MPLS 网络,而对 DCI 核心设备无特殊要求。骨干网边缘路由器上只需支持通过边界网关协议传递域内链路状态 (BGP-LS)、路径计算单元通信协议 (PCEP) 和基于 XML 的网络配置协议 (NetConf),就可以和 SDN 控制器协同实现骨干网的流量调度和优化。

SDN 化光传送网 (SD-OTN) 的控

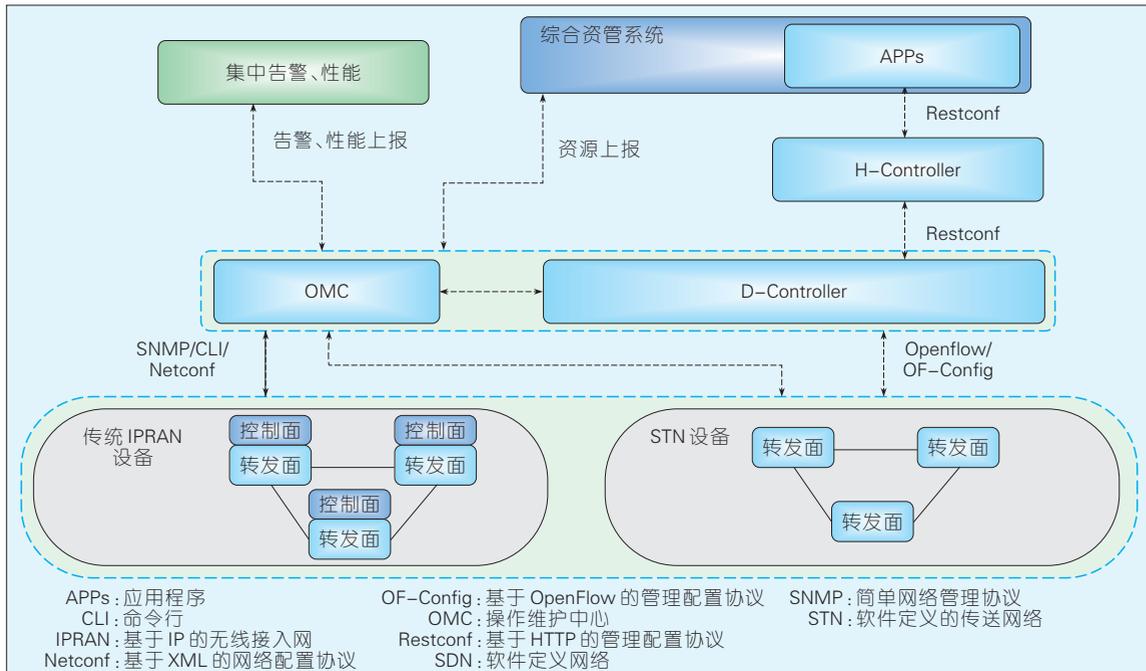


图4
移动 BackHaul
SDN 应用

制器采用层次化的设计,具有全局网络视图、转发状态等信息,并将传输资源虚拟化后开放给上层应用。通过SDN改造,实现了组件可编程、节点可编程、网络可编程,方便运营商业务开展和网络调度等。

中兴通讯在广域网SDN上大胆创新,取得多项先进成果:实现了IP和光的统一控制,实现多个场景的统一部署;基于路径计算单元(PCE)实现分组和光联合调度,实现跨层业务自动配置,降低了路由器投资;支持多种南向接口;支持多域分层控制,通过H-Controller实现跨域的路径计算、业务编排。

3.4 5G 网络切片

国际电信联盟(ITU)确定了5G的3个主要应用场景:一是面向4K/8K超高清视频、全息技术、增强现实/虚拟现实等应用,需要支持0.1~1 Gbit/s的用户体验速率,此场景下的主要需求是高带宽;二是面向大规模机器通信、物联网的海量传感器接入,每平方公里将有一百万的连接,此场景需要支持海量的并发连接;三是面向无人驾驶、远程机器人控制、

远程医疗手术等实时应用领域,要求超低的端到端时延,通常不能超过几毫秒,此场景的主要需求是高可靠、低延时。上述应用需要5G网络以灵活的方式构建,形成5G网络中的“三朵云”。运营商则可以对速率、容量和覆盖率等网络性能指标进行灵活动态的调整和合理的部署,从而满足不同应用的个性化需求。基于网络切片的5G将使运营商服务于小众定制化的需求成为可能^[7]。

中兴通讯采用SDN/NFV的平台技术实现新型网络架构,解决物联网等多样化场景的问题。新型“三朵云”5G网络架构通过引入NFV和SDN等技术,将未来移动网络的控制面与转发面分离,将作为上层应用的网络控制功能与底层网络基础设施分离,这是实现网络切片的基础。5G网络将呈现“一个逻辑架构、多种组网架构”的形态,通过网络切片,实现基于统一基础网络架构按需构建不同的逻辑网络实例。

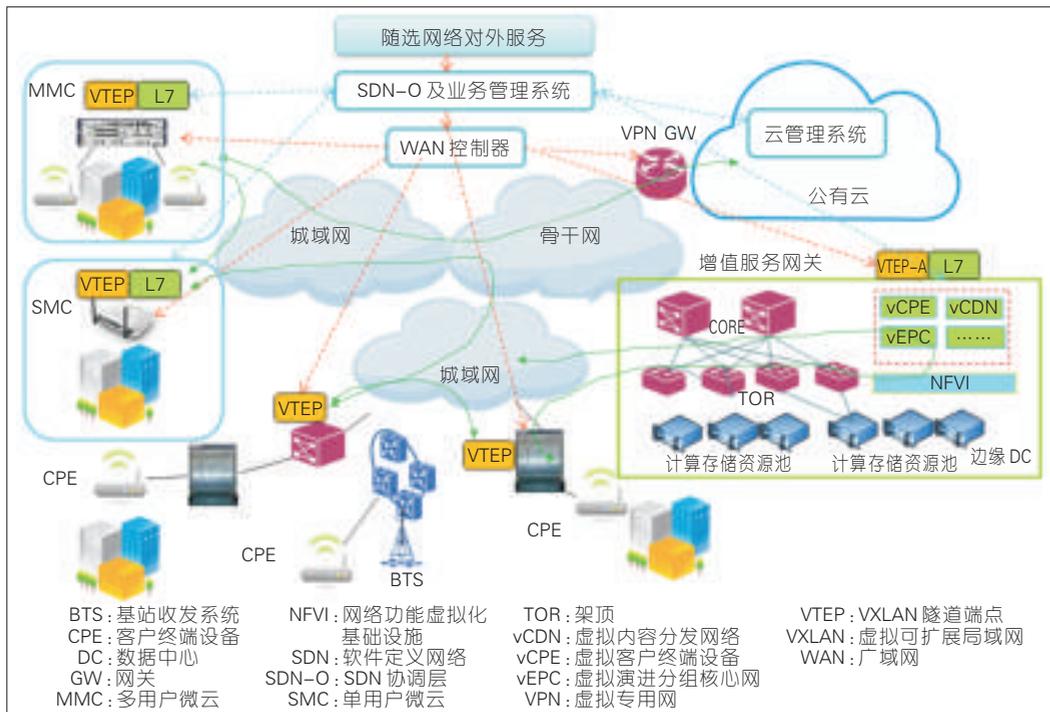
中兴通讯的5G网络切片方案采用统一控制平台,支持有线和无线的统一编排和调度,支持分组与光深度融合,联合调度,以适应5G高带宽、

低延时的要求。

3.5 云网融合的随选网络。

随选网络是SDN/NFV新的发展阶段。针对最终用户,随选网络可以让用户根据自身的需要进行灵活定制,可快速提供专线服务,可灵活调整业务套餐,更可按需增加相应的网络功能服务等,如图5所示。针对运营商,随选网络重构了运营商大量的基础设施及系统,如业务运营支撑系统(BOSS)、业务编排、网络控制、基础网络资源等,可更加有效地利用闲置资源。同时,随选网络也重构了运营商的业务提供模式,实现从运营商定义业务到用户自定义业务转变。

相比一般只重视连接随选的思路,中兴通讯创新性地把应用随选和连接随选放到同等重要的地位。利用SDN最新技术实现了点到点、点到互联网、点到数据中心三类专线服务。通过SDN的调度,可以实现站点、带宽、服务质量(QoS)的端到端保证,以实现用户定制网络。同时,通过NFV技术最新,构建微型虚拟化环境,基于此环境,用户可以定制NAT、防火墙、WAN加速等业务,提升



▲图5 随选网络组成

应用体验。上层通过业务编排层和SDN控制器实现业务和网络的自动化部署,快速提升用户感知。

在具体的演进过程中,可以结合城域网的中心机房(CO)重构,实现应用的协同。企业个体的应用,可以放在微云系统中,多企业可共享的大型的应用可放在云端。两者有机的配合可极大地提升用户的体验。

中兴通讯独有的微云一体机产品具有分布式智能,这些分布式智能是随选网络的必备功能。微云一体机和可作为企业级客户终端设备(CPE)设备,除了具有高性能转发的特点以外,支持本地虚拟化,支持云平台统一管理,可配合云平台和SDN控制器实现本地的防火墙、NAT和WAN加速等。

4 结束语

SDN作为一种新的网络技术与架构,其核心价值已经得到了学术界和工业界的广泛认可。中兴通讯在SDN应用方面做了大量的实践和创新,总体来看,SDN技术还在不断演

进^[8],以下几点值得重点关注。

(1)基于SDN和NFV融合的E2E业务链技术,成为电信网络全面开放化,业务部署敏捷化的杀手锏。

参考文献

- [1] 姚春鸽. “互联网+”来了,电信网怎么变 韦乐平解析电信网的“互联网+”战略[EB/OL]. (2015-12-15)[2016-07-10] http://www.cnii.com.cn/industry/2015-12/15/content_1665320.htm
- [2] 中兴通讯股份有限公司. SDN/NFV弹性网络技术白皮书[R/OL]. (2015-06-27)[2016-07-10] <http://www.zte.com.cn/china/solutions/network/20160627>
- [3] 中兴通讯股份有限公司. 弹性网络 ElasticNet 解决方案[EB/OL]. [2016-07-10] http://www.zte.com.cn/china/solutions/network/architecture_evolution/ElasticNet
- [4] 黄孙亮. SDN重构承载网络——中兴通讯弹性云承载解决方案[EB/OL]. (2015-12-11)[2016-07-10] http://www.zte.com.cn/cndata/magazine/zte_technologies/2015/2015_12/magazine/201512/t20151211_446667.html
- [5] 李晨,段晓东,陈炜,等. SDN和NFV的思考与实践[J]. 电信科学, 2014, 30(8): 23-27
- [6] 沈滢,李文宇,张俊霞,等. SDN/NFV专利态势与技术发展趋势[J]. 信息通信技术, 2016, 10(1): 17-21
- [7] 中兴通讯股份有限公司. 5G技术白皮书[R/OL]. (2016-04-22)[2016-07-10] <http://www.zte.com.cn/china/solutions/access/5g/424379>
- [8] 韦乐平. SDN的战略性思考[J]. 电信科学, 2015, 31(1): 1-6

(2)建立包含运营商、电信设备商、互联网公司、IT厂商、软件开发商、芯片和器件厂商在内的新型ICT产业链。

(3)开源平台也带来了一些全新的商业模式。OpenDayLight、ONOS等开源平台的崛起将重新定义设备厂商的角色,产生新的机遇和商业模式。

(4)新型路由优化技术(如BIER、分段路由等)帮助路由器向SDN的方式迁移。

2016年软件定义网络将仍然保持快速发展的态势,网络运营商、设备制造商等对SDN的探索与应用不会停止,随着越来越多的产业相关方参与到SDN

的发展中,将会带来整个SDN市场的繁荣。

作者简介



李光,中兴通讯有线研究院院长;先后主持程控交换机、IP语音网、3G平台、高端路由器、光传输、交换机等产品开发,承担省部级课题5项,获省部级奖励3项;已申请专利10余项。



王延松,中兴通讯承载网预研技术总工;主要研究方向为软件定义网络、网络功能虚拟化等;主持或参与省部级课题8项,获得省部级科技进步奖1项;已发表论文5篇,申请专利10余项。



范成法,中兴通讯承载网规划总工、有线产品首席架构师;负责产品系统架构设计,曾主持多种产品和方案的开创性研究,先后主持或参与省部级课题5项;已申请专利10余项。

《中兴通讯技术》杂志(双月刊)投稿须知

一、杂志定位

《中兴通讯技术》杂志为通信技术类学术期刊。通过介绍、探讨通信热点技术,以展现通信技术最新发展动态,并促进产学研合作,发掘和培养优秀人才,为振兴民族通信产业做贡献。

二、稿件基本要求

1. 投稿约定

- (1)作者需登录《中兴通讯技术》投稿平台: tech.zte.com.cn/submission,并上传稿件。第一次投稿需完成新用户注册。
- (2)编辑部将按照审稿流程聘请专家审稿,并根据审稿意见,公平、公正地录用稿件。审稿过程需要1个月左右。

2. 内容和格式要求

- (1)稿件须具有创新性、学术性、规范性和可读性。
- (2)稿件需采用WORD文档格式。
- (3)稿件篇幅一般不超过6000字(包括文、图),内容包括:中、英文题名,作者姓名及汉语拼音,作者中、英文单位,中文摘要、关键词(3~8个),英文摘要、关键词,正文,参考文献,作者简介。
- (4)中文题名一般不超过20个汉字,中、英文题名含义应一致。
- (5)摘要尽量写成报道性摘要,包括研究的目的、方法、结果/结论,150~200字为宜。摘要应具有独立性和自明性。中英文摘要应一致。
- (6)文稿中的量和单位应符合国家标准。外文字母的正斜体、大小写等须写清楚,上下角的字母、数据和符号的位置皆应明显区别。
- (7)图、表力求少而精(以8幅为上限),应随文出现,切忌与文字重复。图、表应保持自明性,图中缩略词和英文均要在图中加中文解释。表应采用三线表,表中缩略词和英文均要在表内加中文解释。
- (8)参考文献以20条左右为宜,不允许公开发表的资料不应列入。所有文献必须在正文中引用,文献序号按其在文中出现的先后次序编排。常用参考文献的书写格式为:
 - 期刊[序号]作者. 题名[J]. 刊名, 出版年, 卷号(期号): 引文页码. 数字对象唯一标识符
 - 书籍[序号]作者. 书名[M]. 出版地: 出版者, 出版年: 引文页码. 数字对象唯一标识符
 - 论文集中析出文献[序号]作者. 题名[C]/论文集编者. 论文集名(会议名). 出版地: 出版者, 出版年(开会年): 引文页码. 数字对象唯一标识符
 - 学位论文[序号]作者. 题名[D]. 保存地点: 保存单位, 授予年. 数字对象唯一标识符
 - 专利[序号]专利所有者. 专利题名: 专利号[P]. 出版日期. 数字对象唯一标识符
 - 国际、国家标准[序号] 标准名称: 标准编号[S]. 出版地: 出版者, 出版年. 数字对象唯一标识符
- (9)作者超过3人时,可以感谢形式在文中提及。作者简介包括:姓名、工作单位、职务或职称、学历、毕业于何校、现从事的工作、专业特长、科研成果、已发表的论文数量等。
- (10)提供正面、免冠、彩色标准照片一张,最好采用JPG格式(文件大小超过100kB)。
- (11)应标注出研究课题的资助基金或资助项目名称及编号。
- (12)提供联系方式,如:通信地址、电话(含手机)、Email等。

3. 其他事项

- (1)请勿一稿两投。凡在2个月(自来稿之日算起)以内未接到录用通知者,可致电编辑部询问。
- (2)为了促进信息传播,加强学术交流,在论文发表后,本刊享有文章的转摘权(包括英文版、电子版、网络版)。作者获得的稿费包括转摘酬金。如作者不同意转摘,请在投稿时说明。

编辑部地址:安徽省合肥市金寨路329号国轩凯旋大厦1201室,邮政编码:230061

联系电话:0551-65533356,联系邮箱: magazine@zte.com.cn

本刊只接受在线投稿,欢迎访问本刊投稿平台: tech.zte.com.cn/submission

中兴通讯技术

ZHONGXING TONGXUN JISHU

双月刊 1995年创刊 总第130期
2016年10月 第22卷第5期

主管:安徽省科学技术厅
主办:安徽省科学技术情报研究所
中兴通讯股份有限公司
编辑:《中兴通讯技术》编辑部

总编:陈杰
常务副总编:黄新明
责任编辑:徐焯
编辑:卢丹,朱莉,赵陆
排版制作:余刚
发行:王萍萍
编务:王坤

《中兴通讯技术》编辑部
地址:合肥市金寨路329号凯旋大厦12楼
邮编:230061
网址:tech.zte.com.cn
投稿平台:tech.zte.com.cn/submission
电子信箱:magazine@zte.com.cn
电话:(0551)65533356
传真:(0551)65850139

出版、发行:中兴通讯技术杂志社
发行范围:全球发行
印刷:合肥添彩包装有限公司
出版日期:2016年10月10日
中国标准连续出版物号: $\frac{\text{ISSN } 1009-6868}{\text{CN } 34-1228/\text{TN}}$
广告经营许可证:皖合工商广字0058
定价:每册20.00元,全年120.00元