

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“智能联网闭环系统”。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

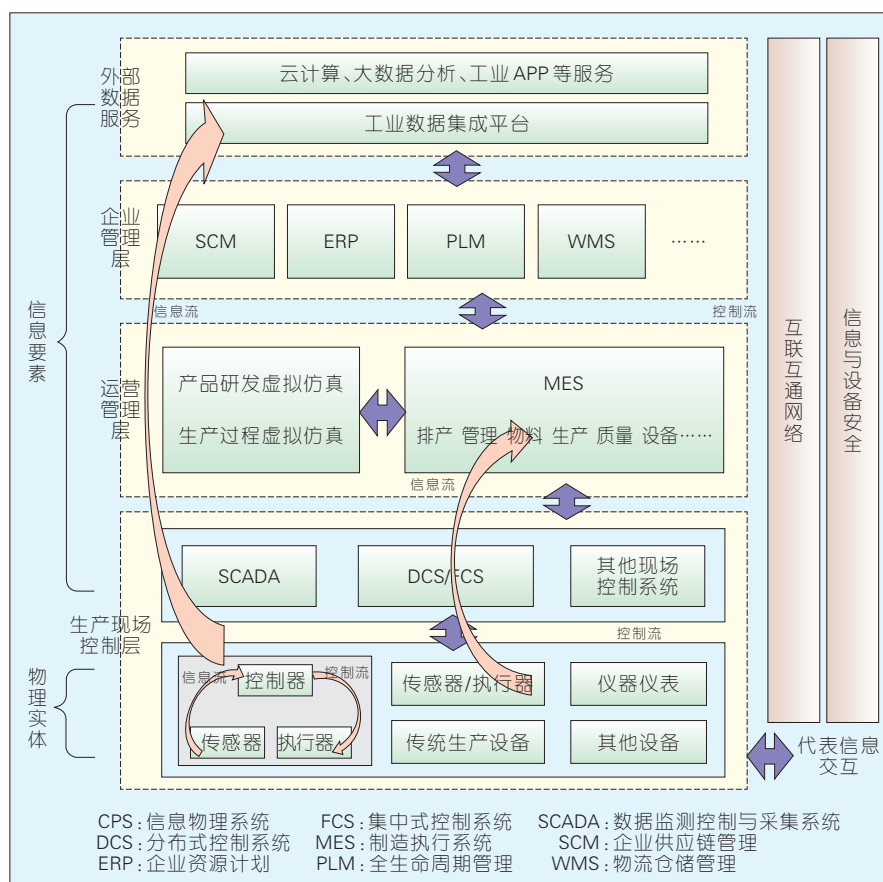
2.1 企业实施CPS的架构体系

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

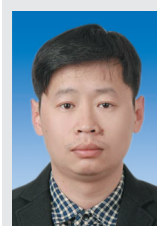
动成立信息物理系统标准推进联盟的方法来充分调动各方积极性,寻求标准“最大公约数”,加速相关成果的落地实施。

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-sgcps/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。