

CPS技术及在 航空工业中的应用

张伦彦

(中航工业信息技术中心, 北京 100028)

[摘要] 从系统的视角分析 CPS 的演进和发展,提出 CPS 呈现出系统之系统的架构新趋势;对 CPS 的 5C 架构进行了逐层分析,剖析 CPS 的内涵和特征;从系统要素和业务分层两个维度分析航空 CPS 的架构,指出提炼业务智能和制造智能是实施航空 CPS 的核心;提出架构方法和系统工程方法是实施航空 CPS 的核心方法;基于对航空 CPS 应用现状的分析,对航空工业 CPS 云的架构和规划进行了展望。

关键词: CPS; 智能制造; 架构; 系统工程

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2016.13.062



张伦彦

中航工业信息技术中心副总工程师,中航工业智能制造专家组成员,主要从事智能制造、企业信息化、数字化制造等方面的研究工作。

航空制造业具有技术密集度高、产业关联范围广、两化融合程度深的特点,处于装备制造业的高端位置。在新一轮工业革命浪潮下,各国普遍将航空制造行业列入重点应用领域^[1]。赛博物理系统(Cyber-Physical Systems, CPS)技术作为新一轮工业革命的核心技术,正在有力地推动在协同开发、智能生产、敏捷服务等领域形成新型集成化应用范式,引起了工业界的广泛关注和研究。在这种大背景下,加强 CPS 技术在航空工业应用的分析和研究显得尤为重要。

CPS 是工业 4.0 的核心技术

从工业 1.0 到工业 4.0,每次工业革命的背后都有一项核心使能技术:

第 1 次是蒸汽机;

第 2 次是电气化;

第 3 次是电子和信息技术;

第 4 次则是 CPS 技术^[2]。CPS 技术本质上是一种集成创新技术:多项新兴技术融入到 1 个复杂系统后,系

统产生了新的技术特征,具备了更强大的创新驱动动力。互联网+的应用、智能产品和服务等都是这种集成创新模式最先取得的应用成果。这种由从要素创新过渡到集成创新的发展方式,正是第 4 次工业革命和前 3 次工业革命的最大区别。

CPS 的演进和发展

CPS 的概念最早源自于几十年前的嵌入式系统^[3]。在工业 4.0 的背景下,用系统之系统的视角重新审视 CPS 的演进和发展,将会得到更加深刻的认识。

图 1 描述了 CPS 的演进过程:从嵌入式系统到机械系统、机电一体化,再到现在的网络化 CPS。在 CPS 的每次演进中,系统都增加了新的元素,这使得系统产生了新的特征,带来了生产力的巨大提升。如今的 CPS 呈现出了网络化的新趋势,这些 CPS 可能是异域、异类和异构的,多个 CPS 通过网络连接为 1 个新的 CPS,形

成了系统之系统(Systems of Systems, SoS)的全新架构,使得系统具备了网络通信、全部或部分的自治能力。

CPS的5C架构和特征分析

CPS是使技术系统具有智能特征的核心所在。智能本来是人的固有特征,技术系统如果要具备智能特征,就必须具有辨识、适应和执行的能力。围绕技术系统的智能化特征,结合如图2所示的CPS的5C架构^[4],对CPS的内涵进行如下分析。

连接层(Connection):着重突出灵巧的特点,能够按照SOA的思想,实现设备的即插即用;被连接的对象包括设备、人、物料和软件服务等,能够借助无线和传感网络,实现对它们的自动连接和自动感知。

转化层(Conversion):能够从大量的制造数据中,分析和提取出有价值的信息,其背后的支撑技术是数据挖掘和数据分析技术;可以建立起万物的信息关联模型,用于分析和预测设备健康、产品性能等。

赛博层(Cyber):最重要的是建立系统中每个组件的数字双胞胎,其核心技术是基于模型的技术;当物理世界发生变化时,数字模型也能够跟随变化,这需要连接层和转化层提供支撑。

认知层(Cognition):能够基于仿真和综合推理,诊断出系统中的潜在风险环节,并提供决策支持和参考;能够通过远程可视化,提供协同工作环境,快速发现系统中的问题。

配置层(Configuration):系统和系统中的组件能够针对外界的变化做出快速和自主的调整,具体体现为面向弹性的自配置、面向变化的自调整、面向干扰的自优化。

航空工业CPS的架构分析

CPS由物理空间和赛博空间组成。从系统的组成来看,CPS必须依托1个物理实体(或业务层次)存在,

即在物理实体(或业务层次)上增加了一些新的要素。物理实体(或业务层次)是1个分层的结构,每个层次都对应1个CPS,上层的CPS由下层的CPS构成,这些CPS可以是异域、异类、异构的。从系统的组成元素来看,CPS包含4个基本要素:计算单元、总线单元、传感器、驱动器,其中计算单元和总线单元构成了赛博空间,传感器和驱动器构成了物理空间。

图3给出了航空工业CPS的详细解读。在中航工业智能制造的架构中,定义了企业联盟层、企业管理层、生产管理、控制执行层共4个层次,每个层次都可以看作1个CPS,前两层重点是要提取业务智能,后两层重点是要提取制造智能。

在企业联盟层,计算单元包括供应链管理软件、服务支持管理软件等,总线单元是基于互联网和内部网的云平台,传感器是企业消息通信服

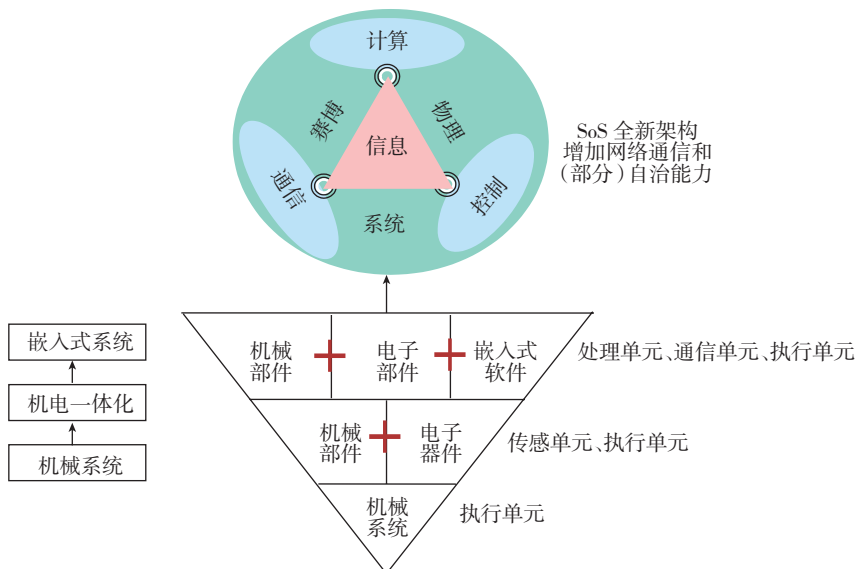


图1 CPS的演进路线
Fig.1 Evolution route of CPS

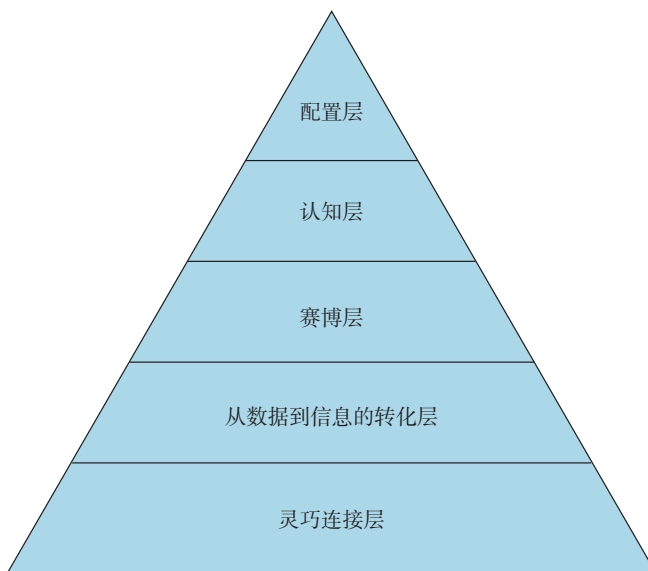


图2 CPS的5C架构
Fig.2 5C architecture of CPS

务,驱动器是流程引擎和服务调用;在企业管理层,计算单元包括产品生命周期管理软件、企业资源计划管理软件等,总线单元是基于内部网的企业服务总线,传感器是生产消息通信服务,驱动器是流程引擎和服务调用;在生产管理层,计算单元包括生产运行管理软件等,总线单元是基于内部网的制造服务总线,传感器是设备消息通信服务,驱动器是流程引擎和服务调用;在控制执行层,计算单元主要是嵌入式软件,总线单元是基于工业控制网络的现场总线,传感器是物理存在的传感器和标识器,驱动器是数字控制驱动器及其配套的机械动力装置。

应用 CPS 技术的工作方法

(1) 基于模型的系统工程。

系统工程是应对复杂系统或产品开发的最佳方法,能够理想地应对进化式开发和系统复杂性。近年来,中航工业在系统工程应用方面,基于逻辑开放式的标准体系和建模语言体系,以模型为中心,构建多专业多

学科的共同语言,实现连续的验证能力,从需求出发,走向正向工程创新驱动。

智能制造系统是更复杂的系统,基于模型的系统工程方法同样也适用于智能制造系统的规划和建设。需要按照系统生命周期4个阶段(需求、功能、逻辑和物理)开展工作,针对CPS在智能制造领域的应用,按照流程重点思考:需求是什么?必须怎么做?应该怎么做?如何能实现?按照系统工程的方法,建立航空制造智能的成熟度评价体系,已经成为当前实施航空工业CPS的首要任务之一。

(2) 复杂组织体架构。

复杂组织体架构方法也是应对复杂系统设计的一种科学方法,与基于模型的系统工程方法有很多相似和可结合之处。复杂组织体架构从业务架构入手,深入到应用架构、技术架构和数据架构,在充分分析现状的基础上,科学设计未来蓝图和演进路线图。

中航工业在CPS应用方面已经

设计了包括企业联盟层、企业管理层、生产管理层和控制执行层的4层架构,下一步应当继续深入采用复杂组织体架构方法,应对各层次的管理复杂性,面对CPS的所有应用场景,用“5W1H”的方式来描述完整概念,构建不同视角,解决企业战略、管理和执行各层面的完整性、系统性问题。

航空工业 CPS 应用状况分析

中航工业经过多年两化融合工作的推进,由IT工具的单项应用、全企业的综合集成应用迈向了跨地域和跨企业的协同创新发展。建设统一门户系统,通过统一的界面、整合的流程、集成的系统和共享的数据支撑包括集团公司、直属板块和成员单元的3级管理,提升管理和决策的效率;建设统一协同设计平台,从知识的嵌入、快速模型、工具集成到流程驱动以及基于组件的设计都实现了全局的统计和知识的共享,在飞机级实现了基于组件的虚拟原型机协同

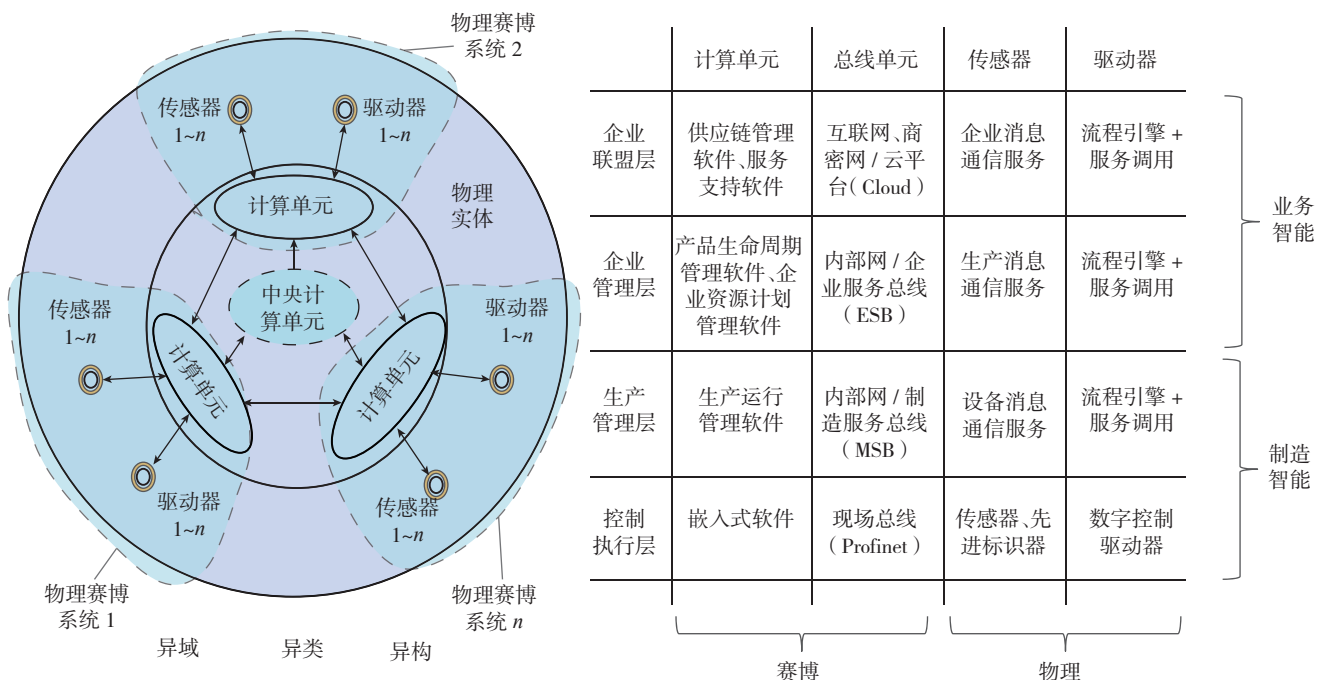


图3 航空工业CPS的分层结构和组成元素

Fig.3 Hierarchical structure and composition elements of CPS in aviation industry

设计;建设协同研制平台,解决设计、制造在跨厂所、跨地域的协同,在多个项目型号中成功应用;构建集团级多项目协同管理平台,有效管控项目计划、费用、质量和风险等,自顶向下牵引应用,形成了多层次、多地域、多厂所复杂型号项目的标准化协同管理;构建集团级人力资源、财务等管控平台,布局支撑多业务类型的网络架构和应用,并投资建设基于云技术的高性能计算中心、集团共享的基础数据库和公共软件资源。

中航工业深入推进了打通数字化生产线的建设工作。数字化生产线是数字化装备的形成过程所需要的环境、设备、各类资源、生产组织和人员的总称。打通数字化生产线就是利用数字化技术手段,以数字的形式描述产品及产品形成过程,并将各

阶段形成的数据统一管理起来,使各阶段形成的数据能够准确有效地在相关的生产下游或上游传递或反馈,通过数字化手段使相关阶段活动紧密联系起来。目前已经在沈阳、西安、成都、景德镇等地开展了相关建设工作。

“十三五”期间,中航工业将以两化深度融合为塑造航空工业竞争新优势的抓手,以智能制造和智慧院所推进为手段,建立以CPS为基础,架构、模型和流程为主线的两化深度融合框架,实现由综合集成向协同与创新的整体跃升,成为支撑国家创新体系建设的行业典范。中航工业也已经成立了智能制造创新中心,该中心统筹开展智能制造发展规划、架构设计、技术体系建设、关键共性技术研究和验证、试点示范项目的筛选和推

荐、解决方案开发、技术交流、国家合作和培训、服务实施以及最佳模式的总结、提炼与推广。

航空工业CPS云的架构和规划

中航工业针对智能制造的4层架构开展了很多基础性的工作,明确了基于云平台的协同技术是实施中航工业智能制造的3大关键技术之一,在中航工业智能制造的推进计划中也提出了建设面向CPS的工业云,其架构如图4所示。基于这种云平台的架构,能够实现基于云的分布式异构系统的过程自动化,基于云的业务组件化、流程标准化和服务集成化,支撑协同研制、协同制造、协同服务和协同供应等业务领域的工作,能够大幅降低各层次业务活动的管理

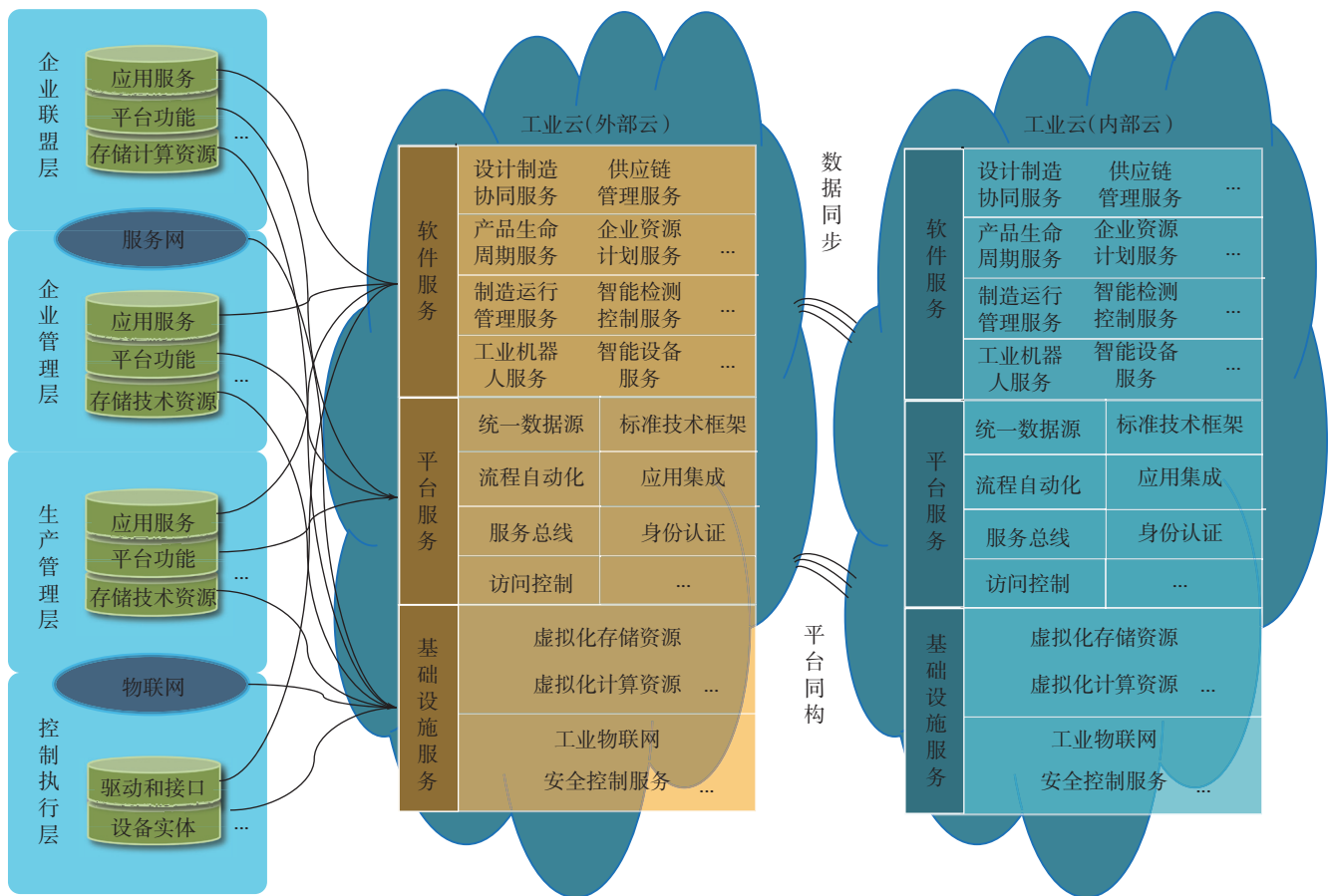


图4 面向CPS的工业云架构
Fig.4 Industrial cloud architecture for CPS

难度和技术实现成本。

由于新的云平台已经跨越出了纯软件领域,与物理实体(或业务层次)进行了融合,形成了具有新型协同系统范式特征的新工业形态和业务模式,因此被称为面向CPS的工业云。考虑到安全性的问题,将规划建设面向互联网的外部云和面向内联网的内部云,保证内外部云的平台结构和数据同步。

基于工业云的架构,可以实现航空工业资源的虚拟化,提高资源的综合使用效率。近期将实现计算资源、存储资源的虚拟化,服务网和物联网的联通,使得IT基础资源能够发挥集约化的效益;远期将实现设备、产品、人员等广义资源的共享和协同服务,使得整个产业资源能够得到共享和优化。

基于工业云的架构,实现所有应用的技术框架统一化和标准化,降低应用开发难度,使得应用快速接入成为可能,其核心是统一流程管理、唯一数据管理、应用集成标准框架、标准安全控制机制等。

基于工业云的架构,实现在企业联盟层、企业管理层、生产管理层、控制执行层的大型工业应用的统一规划和实施。

在企业联盟层,建设多项目协同

管理平台、基于模型的协同设计与制造平台、供应链管理平台、供应链物流服务平台、综合保障和客户服务平台。

在企业管理层,构建产品生命周期管理平台、工厂和生产线仿真设计平台、面向价值链的企业资源计划管理和综合运营管控平台。

在生产管理层,以智能生产运行管理系统建设为核心,实现制造数据的实时获取、生产调度的动态决策和执行。

在控制执行层,使用大量的嵌入式软件,基于工业控制网络的现场总线,通过传感器联通数字控制设备(如工业机器人、数控加工和装配设备)和自动化设备,实现面向生产线或生产单元的赛博物理生产系统(Cyber-Physical Production Systems, CPPS)^[5]。

结束语

航空工业是一个复杂的组织体,航空制造系统是一个复杂的系统,在航空工业应用CPS技术的工作需要使用架构方法进行指导,从系统之系统的视角剖析CPS的技术架构;务必坚持问题牵引、需求导向的方针,应用系统工程的方法开展各层次CPS的需求分析、规划设计和建设工作,

着重在生产管理层和控制执行层提取制造智能,在企业联盟层和企业管理层提取业务智能。

参考文献

- [1] 金卯. 聚集优势力量,推动航空工业智能制造发展[J]. 航空制造技术,2015(13):68-69.
- [2] JIN Mao. Gather strengths and promoting aviation intelligent manufacturing[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015(13):68-69.
- [3] 张新国. 新一轮工业革命与中国航空工业的发展[J]. 国际航空, 2014(1):16-19.
- [4] ZHANG Xinguo. A new round of industrial revolution and the development of Chinese aeronautics industry[J]. International Aeronautics, 2014(1):16-19.
- [5] 李实英,译. 嵌入式系统导论: CPS方法(从CPS视角看嵌入式系统)[M]. 北京:机械工业出版社,2012.
- [6] LI Shiyang, tran. Introduction to embedded system: a cyber physical systems approach[M]. Beijing: China Machine Press, 2011.
- [7] LEE J, BAGHERI B, KAO H A. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems[J]. Manufacturing Letters, 2015, 3:18-23.
- [8] 张新国. 对准工业革命制高点,构建战略转型新架构[J]. 国际航空,2015(9):16-21.
- [9] ZHANG Xinguo. Aimed at the commanding heights of the industrial revolution and build new architecture for strategic transformation[J]. International Aeronautics, 2015(9):16-21.

CPS Technology and Its Application in Aviation Industry

ZHANG Lunyan

(Information Technology Center of Aviation Industry of China, Beijing 100028, China)

[ABSTRACT] From the perspective of system, this paper is aimed to analyze the evolution and development of CPS, and present the new trend of the system architecture of CPS; Analyze the 5C architecture of CPS layer by layer, and give the connotation and characteristics of CPS; Analyze the structure of the aviation CPS from the dimension of system elements and the dimension of business layers, and point out that the core of the implementation of aviation CPS is to extract business intelligence and manufacturing intelligence; Propose that the architecture method and system engineering method are the core methods of implementing aviation CPS; Based on the analysis of the application situation of aviation CPS, prospect the architecture and plan of the CPS cloud in the aviation industry.

Keywords: CPS; Intelligent manufacturing; Architecture; System engineering

(责编 古系)