



关注边缘计算机产业联盟
请扫二维码

边缘计算在智能制造中的解决方案

★中国科学院沈阳自动化研究所 李栋

1 从智能制造的发展认识边缘计算

一谈到智能制造，我们就会提到三个集成，即在生产制造领域的纵向集成，在价值链领域的横向集成，以及产品全生命周期的数字化端到端集成。我们在这里主要关注生产制造领域的纵向集成，即如何使现在的生产制造系统适应未来大规模的定制化生产的需求。

在生产制造领域，目前的传统方式是采用分层的架构，其核心思想是：把复杂的问题逐一分层，每个部分解决一部分问题，最后构建一个整体的系统。传统方式的特点是简洁高效，但同时也会带来信息孤岛等很多其他的问题。现在有了更强大的通讯和计算的能力，有了云计算和人工智能，我们能够通过更丰富的信息手段和计算能力来提升跨层次、跨领域的更深层次的优化。

基于以上观点，我们认为未来的工业控制系统将会是一个以物联网、云计算、大数据分析为技术核心的开放平台。在该领域的发展过程中，边缘计算可以在工业控制系统中的IT与OT系统的融合方面得到充分的价值体现。

2 新一代自主可重构工业控制系统关键技术

我们利用边缘计算水平解耦的思想构建了新一代

自主可重构的工业控制系统的技术架构，如图1所示。主要分为四个部分：最下层是泛在化感知层，利用物联网的技术进行广泛的数据采集；上一层是将IT与OT融合的全互联的制造网络；再向上，我们提出了一个叫做语义化信息集成层，意义在于将大量的信息和设备高效集成；下面三层的工作都是为了最终的制造应用来服务的，因此最上层也就是服务化制造应用层。

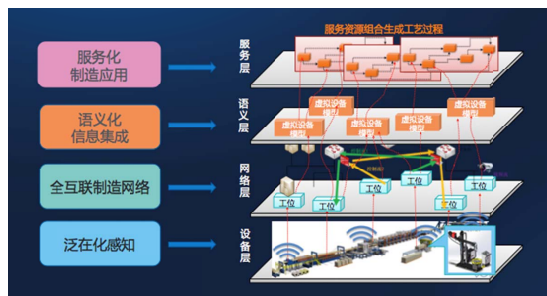


图1 新一代自主可重构的工业控制系统的技术架构

2.1 泛在化感知

泛在化感知层的主要作用是采集现场的信息并且进行控制。目前，工业应用面临的主要挑战：抗干扰、高实时、低功耗。

2.1.1 泛在化感知的新技术方向

(1) WIA-PA

在这方面中国科学院沈阳自动化研究所（以下简称沈自所）在流程行业已经做出了一定的成绩，建立了

流程工业低速、低功耗的工业无线的标准WIA-PA。在802.15.4物理层基础上,实现自适应跳频、多跳高实时传输技术、高精度同步技术,使得数据传输可靠性达99%以上,网络功耗在微安级。目前,WIA-PA已成为IEC国际标准。基于这项技术我们研制的相关产品在已经石油石化、电力、冶金等领域得到了广泛的应用。

(2) WIA-FA

在离散领域,面向离散加工行业,沈自所研制了传感器、控制器、执行器之间互联互通的高速无线网络技术WIA-FA。在802.11物理层基础上,实现频域轮询、动态信道调度、聚合Ack技术,使得百点规模的数据传输时延低于10ms,可靠性达99.99%以上。目前,WIA-FA也已成为了IEC国际标准。

(3) NB-IoT

同时,我们也注意到像NB-IoT这样的窄带物联网(Narrow Band - Internet of Things),具有低成本、低功耗、广覆盖等特点,定位于运营商级、基于授权频谱的低速率物联网市场。市场研究公司Machina预测,NB-IoT未来将覆盖25%的物联网连接。NB-IoT已经于2016年6月成为3GPP正式标准。NB-IoT作为NB-CIoT和NB-LTE两种标准的融合,平衡了各方利益,也将会成为泛在化感知层非常重要的技术力量。

2.2 全互联制造网络

在全互连制造网络这一层,主要提供的是在IT与OT网络融合的基础之上形成的一个融合网络。这个网络将同时承载IT与OT的业务,它的主要特点就是能够满足各种不同实时性要求的流量的混合传输。

2.2.1 全互联制造网络的新技术方向

(1) IEEE802.1 Time-Sensitive Networking

IEEE802.1 Time-Sensitive Networking能够基于以太网实现管理业务与控制业务的混流传输,能够保障控制业务流的同步低时延通信;标准对802.11的MAC机制进行改进,借鉴PROFINET的全网调度方法,通过对传输任务截止期的精细化调度保障传输时延。同时,IEEE802.1 Time-Sensitive Networking提出了802.1Qbu帧优先级和802.1Qbv传输调度两个标准补充,已经通过项目授权(PAR),正在技术研究阶段。

(2) ISA100.15 Wireless Backhaul Network

ISA100.15无线回程网是基于远距离宽带无线技术

实现现场传感网与工厂骨干控制网的互联,支撑现场感知数据回传到控制中心的回程网架构。网络中设计了回程网络的标准接口和管理架构,研发了多种无线网络共享频谱下的共存技术。2013年8月巴西油田Rio de Janeiro开展了面向油井远程测量的回程网络现场验证,70余家企业参与其中。

(3) 工业软件定义网络(SDN)技术

工业软件定义网络基于SDN技术支持工厂管理业务与控制业务的混流传输,支持一网到底。针对工厂管理业务和控制业务特征,我们设计了基于流交换的处理核心和基于SDN的协同调度机制,形成了混流传输模式下的确定性传输保障技术体系,并且已研制出工业SDN交换机原型。

2.3 语义化信息集成

网络作为系统整体的支撑,下一步要考虑的是如何将原来分层的ERP、MES、DCS之间,以及设计、工程、生产、维护、服务等不同生产制造环节高效地集成在一起?现在主流的一个发展方向是通过语义的方式进行高效融合。该方式主要面临的挑战是相关数据具有海量、多维、异构、时空关联的特性。

2.3.1 语义化信息集成的新技术方向

(1) FDI(Field Device Integration)

FDI指的是现场设备集成,通过建立一个跨协议的设备集成技术对EDDL和FDT/DTM技术的集成与整合,解决工厂范围内的智能设备,由于供应商不同,信息描述格式不同导致的异构问题,以及进而带来的现场设备全局管理问题。目前得到了5大自动化基金会和主要供应商的认可,正在进行起草标准征求意见稿工作,开发套件及相关工具正在积极研发中。

(2) eCl@ss

eCl@ss是划分和描述产品与服务类别的国际标准,采用通用的数据模型把不同的系统结合在一起,提出了一套完整的产品描述与分类系统,其中包括精细的等级分类结构、多语种针对产品和服务的等效定义及目录,目前已形成IEC、ISO国际标准,定义了超过三万个类型的产品与服务、超过五千个的产品属性,具有覆盖品类全面、精细的特点,eCl@ssOWL本体库于2003年开始构建,现可提供语义化支持。

(3) 数字工厂语义化信息集成平台

沈自所在这方面研发了一个数字工厂语义化信息集成平台。这个平台为工厂提供自底（现场设备）向上（综合应用）的统一信息语义化描述与集成服务。通过构建工业信息统一语义模型，工厂多层次关联关系本体库，攻克工厂信息语义存储与关联检索关键技术，完成数字工厂语义管理云平台，进而缩短工厂各环节信息集成时间、降低集成复杂度，对柔性、智能制造提供支撑。目前已初步完成统一语义模型、多层次关联本体库以及信息语义化存储与检索关键技术攻关，构建出原型系统。

2.4 服务化制造应用

2.4.1 服务化制造应用

沈自所提出了以模块化、服务化的模式，实现制造应用的动态自组织，实现设备服务封装、注册、查询、管理与组合技术。

2.4.2 服务化制造应用的新技术方向

(1) OPC-UA

OPC-UA标准是基于Web Service框架实现自动化设备数据与操作的封装，提供开放服务。以统一的Web Service描述，兼容了工业领域原有的数据存取、报警事件、安全约束、历史访问等多种数据交换标准，实现了跨平台、跨应用的不同厂商设备的互操作。OPC-UA标准受到了众多工业设备制造商支持，西门子、Matrikon、Softing等多家厂商提出了软件解决方案，并正在研发硬件连接网关产品。

(2) 智能工厂服务合成引擎

基于OPC-UA开放服务的功能，我们制作了一个针对工厂生产中的动态需求，能够对自动化设备Web服务进行基于场景的自适应组合，从而形成动态工作流，能够实现设备服务建模，动态场景建模，以及综合考虑设备占空比和效用优先原则的设备选择与服务组合机制。目前，我们已经完成了该技术原型系统的开发。

3 工业4.0产线实验床

为了实现工业4.0时代订单客制化并支持单件生产，SIA与SAP联合打造了一条示范产线，这是一个从企业IT系统到车间控制OT系统的垂直集成解决方案。示范产线以车型、颜色等配置供客户自由选择的定制化模型车的装配过程为例，模拟了从消费者下单到制

造商生产交付的全过程，展现工业4.0下的智能工厂的理念。

如图2所示的传统产线的生产模式是按照不同的管理域和业务域进行划分，在这个过程中，如果想构建一个生产线的系统，需要大量I/O的配置，进行各种逻辑的编辑。

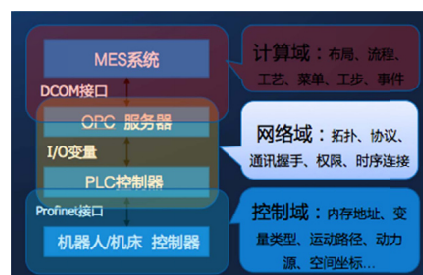


图2 传统产线的生产模式

如果要在同一条生产线中生产不同型号的产品，所有生产需求都要经过程序员实现，在进行配置设定切换的过程中，很多参数都需要重新进行配置，将会消耗大量时间。基于前文提到的四层架构，我们构建了一个新的生产模式。该模式支持根据用户的需求，根据生产场景的变化，根据订单的变化，生产线能够自动灵活地调配资源，进而形成一套个性化的智能生产制造的系统。

基于新模式的生产线能够实现以下的场景：

- (1) 车型、颜色等选项自由组合的定制化模型车全自动单件生产；
- (2) 生产系统根据订单变化动态调整结构；
- (3) 基于预测性维护的生产系统动态调整和快速维修服务。

这个新的产线模式具备以下几个方面的价值：一是实现大规模定制化生产；二是支持混线、柔性生产；第三点是能够提高生产系统快速响应能力，缩短系统重构周期。

4 行业典型案例

4.1 智能油田全流程优化管控系统

在石油化工领域，针对中石油全流程优化、降低开采成本的重大需求，沈自所为中石油提供了针对石油化工领域的智能管控系统，该系统能够实现跨地质、工

程、生产、维修全流程优化。该系统能够完成以下几个方面的具体工作：一是能够完成油井生产状态实时感知，智能诊断；二是实现了抽油机实时优化控制；三是对于地质、油藏、生产数据等方面进行的综合性优化。该系统目前已在辽河、胜利、新疆、松辽油田推广应用，其效果非常显著，一方面能够及时准确地诊断出油井发生油杆断脱故障，有效延长检泵周期；另一方面，能够实现生产管理的智能化、自动化，减少人工投入达40%；此外，使得产液量计量准确率高达90%以上，抽油机有效节能高达30%以上。

4.2 石化生产过程参数在线监测与优化管控系统

针对石化工厂物料、能源计量与过程参数优化需求，沈自所实现了通过设备能源安全的全面感知结合生产工艺参数，进行多维度优化的整体优化系统。该系统能够及时判断出石化现场一些设备的故障，同时可以提高计量精度，提高现场操作工的工作效率。该系统能够提供以下三个方面的功能：一是设备运行状态监测与故障诊断分析；二是能源在线实时计量与优化调控分析；三是移动作业安全监测与闭环管控。

目前该系统已在抚顺石化、兰州石化、安庆石化、齐鲁石化、茂名石化、天津石化等大型石化厂进行推广应用，效果主要体现在：首先能够及时准确诊断出机泵轴承故障，缩短停机检修周期60%；其次是提供更加准确的计量，减少计量误差达86%；另外支持移动终端作业，提升现场维护效率达30%。

4.3 离散行业柔性生产管控系统

离散制造的企业对于生产线的需求主要是三个方面：一是减人：自动化率偏低，有较大的人力成本压力，需要减少生产线上的工人数量；二是增效：批量定制模式下工艺调整频繁，导致生产效率低下，产能不足；自动化产线普遍柔性程度不足，难以满足快速工艺调整需求，需要支持柔性制造的生产线，实现快速转产；三是品控：检测力度不足，产品质量难以严格把控，良品率波动较大。普遍采用抽检模式，质量追溯能力有限，缺乏有效的全检技术手段，需要细粒度的品质控制手段，对产品质量进行追溯。

目前自动化生产线普遍存在柔性不足的问题。虽然通过自动化生产线能够实现减人、增效和品控的目的，但柔性程度还是相对不足的，因此难以满足快速工艺调

整时对生产线快速转产的需求。

所以，我们对传统模块化生产线的制造方式进行了升级，提出了针对工艺过程解耦的动态优化过程工艺。该工艺的特点是生产工序松耦合，能够进行产线级动态重构，工序分解重排。

对此，我们设计了面向生产流程的动态服务编程技术以及支持在线命令执行的服务适配器，分别可以解决基于Web服务的生产工艺与设备资源在线重构问题和设备即插即用自动化配置与互操作命令动态执行的问题。

该系统能够实现生产线的产能增加30%，人员减少65%的显著效果；实现装配过程分钟级动态切单、转产；产品质量问题检测时间达到秒级，工艺缺陷追溯时间达到分钟级。

5 总结


在智能制造的背景下，随着终端与连接规模的极速扩展，传统集中式信息处理与管理的模式不再适用，将逐步演进为集中式管理与分布式自治相结合的模式。边缘计算就是充分利用物端的嵌入式计算能力，以分布式信息处理的方式实现物端的智能和自治，并与云计算结合，通过云端的交互协作，实现系统整体的智能化。

边缘计算在制造业的核心价值是OT与IT的融合，从技术方面主要关注以下三点：

（1）要构建统一的技术架构，推进水平解耦和平台化，实现IT技术与OT技术的融合；

（2）高效地利用嵌入式计算资源实现智能化的决策控制；

（3）保障系统的安全性，包括物理安全和信息安全。

在产业链方面，边缘计算是一个长尾产业：环节多，应用体量小而分散，应该注意构建开放的产业生态，形成合力，将新的蛋糕做大，在为客户解决实际问题的过程中实现联盟成员的商业价值。

（本文根据作者在边缘计算产业联盟成立暨2016首届边缘计算产业峰会上所作报告整理）