

工业互联网平台：发展趋势与挑战

王晨^{1,2}, 宋亮², 李少昆³

(1. 清华大学大数据系统软件国家工程实验室, 北京 100084; 2. 四川省工业大数据创新中心, 成都 610041;
3. 四川省经济与信息化委员会, 成都 610041)

摘要: 随着制造业和新一代互联网、信息化技术的融合, 工业互联网高速发展。无论是国际制造业的领先企业, 还是我国的制造业国家战略都明确了工业互联网平台研发的重要性。本文对工业互联网平台的发展趋势进行了阐释, 并对平台在用户生态、开发者生态和数据生态构建中的挑战展开了分析, 并有针对性地探讨了工业互联网平台在工业大数据系统与工业数据建模和分析方面所遇到的技术挑战。

关键词: 工业互联网平台; 工业大数据; 数据分析

中图分类号: TP31 **文献标识码:** A

The Industrial Internet Platform: Trend and Challenges

Wang Chen^{1,2}, Song Liang², Li Shaokun³

(1. National Engineering Laboratory for Big Data Software, Tsinghua University, Beijing 100084, China;
2. Innovation Center for Industrial Big Data of Sichuan, Chengdu 610041, China; 3. Sichuan Provincial
Economy and Information Commission, Chengdu 610041, China)

Abstract: The fusion of the manufacturing industry, next-generation Internet, and information technologies is catalyzing the development of industrial Internet. The importance of developing the industry Internet platform (IIP) is recognized not only by leading international manufacturers, but also by people involved in framing China's manufacturing strategies. In this paper, the development trends of IIP are elaborated and the challenges in building the client-ecosphere, developer-ecosphere, as well as the data-ecosphere of IIP are analyzed. Furthermore, the technical challenges of IIP in modeling and analyzing industry big data system and industry data are discussed in depth.

Keywords: industry Internet platform; industrial big data; data analytics

一、国内外产业发展现状

过去几十年, 互联网的影响主要在消费领域, 属于“消费互联网”。我国在消费领域的“互联网+”

已取得长足进展, 电子商务等技术和应用已进入世界前列, 百度网讯科技有限公司、阿里巴巴网络技术有限公司和腾讯计算机系统有限公司已经成为世界前十的大型互联网公司。一段时间以来, 由于消

收稿日期: 2018-04-03; 修回日期: 2018-04-08

通讯作者: 王晨, 清华大学大数据系统软件国家工程实验室, 总工程师, 主要研究方向为工业大数据、工业互联网、数据库与大数据系统;
E-mail: wang_chen@tsinghua.edu.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“‘互联网+’行动计划的发展战略研究”(2016-ZD-03); 国家自然科学基金项目“面向工业应用的大数据分析理论与关键技术”(U1509213)

本刊网址: www.enginsci.cn

费互联网在中国产生了极大的影响力，使得人们并没有重视互联网对产业领域的影响。在德国工业 4.0 战略公布后，国人开始密切关注工业领域与信息领域高度融合的急迫性和价值。现在，互联网正在向产业领域发展，被称为“产业互联网”或“工业互联网”。

工业互联网是构建现代工业生态系统、实现先进智能化发展的必由之路，是智能制造的关键基础，是充分发挥工业装备、工艺和材料潜能，提高生产效率，优化资源配置，创造差异化产品和实现服务增值的关键 [1]。工业互联网平台是全要素连接的枢纽，是工业资源配置的核心，呈现出跨领域、跨地区、全周期的新特性。

美国工业知识经验软件化、平台化能力处于全球领先地位，通过强化基于平台的网络、数据、软件、系统集成应用，推动制造与服务的松耦合，催生网络化、平台化、虚拟化等制造业新形态，孕育了以 GE Predix 为代表的工业互联网平台。德国工业积淀深厚，以制造业主导互联网为主流发展路径，主张利用互联网推进技术、工艺、流程、设备的效能优化，促进价值链体系重构和持续提升，西门子 MindSpere 工业互联网平台是其中的典型代表。我国工业互联网发展路径则孕育了众多商业模式创新，具有多元化的特色。国内工业互联网平台形成了以航天云网为代表的协同制造平台、以树根互联为代表的产品全生命周期管理服务平台和以海尔为代表的用户定制化平台等多类典型平台。

二、工业互联网平台面临的生态挑战

工业互联网生态包括：解决谁来用的问题，即业务生态；谁来提供应用服务的问题，即开发者生态；各环节如何打通实现跨界整合的问题，即数据生态。

工业互联网的生态构建是围绕工业企业的行业领域所涉及的业务展开的，用户对于平台的黏性取决于平台对于其业务所提供的价值。工业互联网平台的用户可以分为三类：企业内部用户、产业链上的企业与终端用户、同行业的其他企业。对于企业内部用户而言，平台的价值更多在于实现业务本身的提质增效，主要通过平台上的一系列数据或模型驱动的分析优化类软件应用来实现，例如，研发效率提升、能耗降低、周转周期缩短等。对于产业链

上的企业与终端用户，平台的价值通过协同类和服务类的应用来体现，通过研发协同、供应链协同优化、制造能力外包、物料集中采购等应用来提升上游供应商的效率并有效降低采购与生产成本，而对于下游的用户，价值更多体现在基于产品本身的运营维护服务以及围绕产品的增值类上，如金融服务、内容服务等应用。对于同行业的其他企业，尤其是缺乏信息技术能力和大规模建设资金的中小企业，工业互联网平台则更多需要扮演一种工业软件、制造资源、行业知识等能力输出的管道。由此可以看出，对于用户生态的构建，其挑战更多在于工业软件即服务（SaaS）的能力。

工业互联网平台的另一方则来自于平台上内容的提供方，既可以是企业内部的业务部门或软件服务提供商，也可以是第三方独立的开发者。对于开发者生态的构建，其重点一方面在于平台本身功能的完整性、开发的易用性、系统的稳定性；另一方面与平台的用户生态形成了一种正反馈效应，平台聚集了越来越多的用户和不断涌现的业务需求，这也为开发者提供了更多的市场机会。从能够开发工业类应用和模型的人才技能角度来看，工业 know-how 是核心，但工业领域人才对于信息化技术的掌握通常是一个巨大的挑战，因此对于现有的稀缺开发者资源的争夺更成为了建立工业互联网平台生态的重中之重。

数据生态的建设是工业互联网平台变“活”的关键，数据驱动就是要把数据理解为一种自然资源，既然是资源就要想办法来开采、利用。所以需要理清清楚平台的建设者已经拥有什么数据，未来会拥有什么数据，以及未来要拥有什么数据。数据生态建设的第一个层次是数据源的整理，这些数据有些是从企业现有的 IT 系统中来，有些是从企业的机器中来，有些是从供应链上下游来，有些是从互联网来。数据生态建设的第二个层次是数据源的打通，工业企业大数据具有多数据源特点，就决定了数据会从多个系统采集，需要考虑如何与其他系统同步数据，如何与其他系统交换数据，如何基于行业领域模型和其他系统产生关联、集成，包括和业务系统产生关联、集成。数据生态建设的第三个层次是数据集的整理，数据如何从源头抽取，以何种方式存储、分类管理，面向应用特点形成多个可用的数据集以及相应的数据资源目录和规范化接口。再往

上一层是数据的治理，工业数据可能由于设备、环境、传输等各种环节的原因导致数据缺失、重复、错误等各类问题，需要通过应用数据画像工具了解数据的质量，进而在数据清洗工具的辅助下修正存在质量问题的数据。

三、工业互联网平台面临的技术挑战

工业互联网平台的基础设施即服务 (IaaS) 层技术发展成熟度高，更新迭代周期短，短短十几年的时间，已经成长出亚马逊 AWS、微软 Azure、阿里云、腾讯云和华为云等。当前多数工业平台即服务 (PaaS) 在工业 know-how 和专业技术方面积淀不足，通用 PaaS 并未针对制造与消费领域之间专业性的巨大差异进行针对性的研发 [2]。因而，在现有的通用云计算平台上直接构建工业 SaaS，会导致开发成本高企、易用性差等问题，更容易导致企业对发展工业互联网战略方向和实施路径的误判。工业 PaaS 研发与建设的重点应放在面向工业领域的专业性方向。如图 1 所示的工业互联网平台架构 [3] 中工业 PaaS 层的两大核心部件是工业大数据系统与工业数据建模和分析，这两方面的技术因符合工业数据的数据特性和应用特点，在整体工业互联网平台的技术体系中有比较大的挑战 [4,5]。

(一) 工业大数据系统关键技术挑战

1. 多态性数据的采集技术

工业软硬件系统是整体性、封闭性极强的复杂系统，数据格式、接口协议等标准体制的差异带来巨大的技术壁垒，甚至同一工厂生产的同一型号的不同设备也常常因为元件、用材的不同造成其基础信息或生成信息的内容发生变化。因此，无论对于工业系统的数据采集与解析，还是数据存储系统对汇聚的数据进行结构化分解，都潜在着巨大的应用挑战。由于不同经济实体的本位主义或协议本身的封闭设计，有时甚至无法实现设备数据的采集；即便能够获取数据，在一个工业大数据实际项目实施过程中，往往也需要动辄数月的时间与大量人力资源的投入，才能开展对数据格式与字段的整理 [5]。更大的挑战来自于多样化、高可变的复杂非结构化数据的大量出现。由于工业系统在封闭性、敏感性和安全性等方面有高标准需求，其中的数据通常只有特定的软件才能兼容或处理，从而导致整体结构化信息工作面临更多困难。因此，这类挑战的解决需要借助系统化思路，通过与工业标准化、数据模型智能识别或匹配等大数据管理技术的综合运用，才能得到解决。

2. 高通量数据的接入技术

海量机器数据，特别是时间序列数据被大量接



图 1 工业互联网平台架构

入工业大数据系统。一般而言，大型制造类企业同时连结、在线接入的设备数量可达数十万台，数据的吞吐速率也轻松达到惊人的百万数据点/s~千万数据点/s。面对这样的应用需求，大数据平台必须具备与实时数据库类似的数据接入能力。然而由于大数据平台需要对数据进行长期、高可靠的存储，所以，高效的数据压缩编码方法以及低成本的分分布式扩展能力，也是工业大数据系统面临的重大挑战。另外，为了满足多条件复杂查询及高性能响应的要求，在数据接入过程中还必须设计完善的数据组织体系和索引结构，能够实施有效地辅助预处理和计算，针对高通量数据接入，实现读写系统的效率优化 [5]。

3. 低价值数据的分析技术

大数据技术需要解决的关键问题之一就是从小量庞大的低价值数据中提炼高价值的信息，用数量的大规模弥补信息的低密度。由于工业软硬件系统对应严格的机理模型，每个变量的定义均具备明确的物理含义。低质量数据会导致变量间函数关系发生变化，从而对工业大数据的分析带来灾难性的影响。事实上，制造业企业由于历史、技术和人为等因素，其信息系统的数据质量一直存在大量问题。例如，企业资源计划（ERP）系统中物料就存在“一物多码”等问题；物联网数据质量也不容乐观，无效、重名的工况数据，时标错误或不齐，时序紊乱等数据质量问题在实际应用中的比例可能高达30%以上。这些问题对数据分析的成果和评判造成巨大干扰，因此在数据分析之前必须对一手数据进行有效治理。

工业应用中有各种原因（时间/空间条件制约、物理环境工况恶劣等）导致大量关键信息没有被计量或没有被充分、精确计量，这就要求分析算法能够在“非完美”“非精确”的数据基础上工作。对于这个问题的解决思路，可以大力发挥基于工业大数据分析的“软测量技术”，即通过大数据分析，建立指标间的关联关系模型，通过易测、能测的计量参数来测算难以获取的过程量值，完善、补充生产过程的整体数据基础 [5]。

4. 复杂异构数据的管理技术

工业生产时产生大量多源异构数据，常见的有结构化业务数据、设备检测产生的时序数据、各类非结构化的工程数据等。每一种类型的数据

都需要高效的存储解决方案和异构的针对性存储模型。然而，现有的大数据技术还无法满足全部要求。以非结构化工程数据为例，各种海量计算机辅助设计（CAD）文件，测试仿真文件，图片、文档等小文件，需要按产品的生命周期、项目名称、层次化组织的物料清单（BOM）等不同维度进行高效、灵活、快速的组织与排列，同时需要具备对数据进行批量管理、建模和质控的能力，这些需求对于目前的分布式文件系统和对象存储系统均存在技术障碍。另外，从方便使用、降低开发与学习难度等角度出发，异构数据的内部处理差异又应当完全透明，确保暴露给用户的数据模型和查询接口尽可能统一。例如，在物联网（IoT）数据分析中，需要处理大量传感器部署信息等静态数据，而这一类操作往往需要将时间序列数据与结构化数据进行跨库映射，以建立连接关系，因此需要围绕多模态工业大数据提供一体化的查询协同优化 [5]。

（二）工业数据建模和分析关键技术挑战

1. 强关联数据的集成技术

工业大数据分析更加依赖数据基础的“完整性”，而非仅仅是数据规模。由于“信息烟囱”在工业生产中大量存在，导致工业大数据的数据源呈现“空间离散”和“时间异步”两个特点。工业大数据应用需要实现数据在物理信息、产业链、跨领域跨行业三个层次的融合 [5]。

物理信息融合：设计研发阶段主要管理数字产品，而在制造服务阶段主要管理物理产品，因此全生命周期管理需要融合数字产品与物理产品，从而构建工业信息与物理产品融合的系统。

产业链融合：在互联网大数据的背景下，以生产资源重组优化为目标的云制造生产模式得到迅猛发展，智能产业链必须打通传统企业业务范畴与边界，实现数据驱动的业务协同融合。

跨领域跨行业融合：在“互联网+”的产业环境中，需要实现上下游、周边生态等广域的信息集成。例如，美国一家农用机器公司将气象动态、水资源分布、种子情况等农资数据与自身农机产品数据进行综合利用，从而为农场生产提供更加优质、高效、精准的服务。这种融合方式更加复杂精密，因此需要将制造过程、BOM结构、运行环境等多

种类型的工业语意信息统筹起来综合分析，是对工业大数据更高层次的融合集成。

2. 强专业机理的分析技术

机理是现代工业的基本逻辑与运作原理，工业生产过程也是“强机理”的严格可控过程，即通过大量相关领域的专业理论模型，形式化描述现实世界中的物理、化学和生物等动态变化过程。另外，还存在大量闭环调节或控制机制，作为参数配置，使得工业生产过程中可能无限逼近甚至超过设计目标。传统的数据分析基本遵循“你打你的，我打我的”的孤立原则，很少结合机理模型（甚至完全采取数据驱动），也很少考虑闭环控制/调节机制的作用。强机理模型对于数据分析技术的挑战主要表现在以下三个方面。第一，实现机理模型与数据模型的有机结合。具体来讲，如何将机理模型体现在数据模型中（例如，机理模型为分析模型提供关键特征、分析模型为机理模型提供后处理支撑或多模型融合预测），又或怎样把数据模型作为机理模型输入（即提供 *parameter calibration*）。第二，计算模式融合，机理模型一般对应计算密集型操作（CPU 多核协同或计算集群并行化）或内存密集型操作（GPU 并行化），而数据分析通常是吞吐密集型操作（采用 *map-reduce*、*parameter server* 等机制）。两种计算模式针对主要矛盾不同，需要分析算法甚至分析软件有针对性地应对。第三，与领域专家的知识 and 经验的融合方法，弥补当前一线工作人员的知识缺陷，实现过程逻辑的可视化。例如，对于物理变化过程，需要重点针对知识的“自动化”，而非知识的重新“发现”。将不同领域的知识进行系统化处理，基于大数据分析技术开展信息检索与更新的操作优化；对于相对明确、能够形式化的领域知识，依托大数据建模工具提供的时空模式描述与解析识别技术，进行建模，通过海量历史数据开展验证与提质，不断提炼专家知识形成人工智能 [5]。

四、结语

工业互联网平台是制造业与云计算、大数据、人工智能等新一代信息技术高度融合的产物，也是先进制造业与互联网结合的新事物，需要广大科研人员和产业工作者在实践中一边摸索一边突破。作为制造业大国，我国拥有全球最多的工业设备，时刻产生着海量的工业数据，拥有丰富的互联网生态以及大量的工业与信息化人才。我们应该充分利用这一条件，创新管理思想，重构产业生态，提升中国制造在全球产业链分工中的地位。依托工业互联网平台，推进工业互联网的深度应用与制造业转型升级，力争在新工业革命时代实现“换道超车”。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国务院. 关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见 [R]. 北京: 中华人民共和国国务院, 2017.
The State Council of the PRC. Interpretation of guiding opinions on deepening “Internet + advanced manufacturing” to develop industrial internet [R]. Beijing: The State Council of the PRC, 2017.
- [2] 国家工业信息安全研究发展中心. 国内外工业互联网平台对比分析研究 [R]. 北京: 国家工业信息安全研究发展中心, 2017.
National Industrial Information Security Research and Development Center. Comparative analysis of industrial Internet platform at home and abroad [R]. Beijing: National Industrial Information Security Research and Development Center, 2017.
- [3] 工业互联网产业联盟. 工业互联网体系架构白皮书 [R]. 北京: 工业互联网产业联盟, 2017.
Industrial Internet Alliance. Industrial Internet architecture white paper [R]. Beijing: Industrial Internet Alliance, 2017.
- [4] 工业互联网产业联盟工业大数据特设组. 工业大数据技术与应用实践 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2017.
Industrial Big Data Special Unit of Industrial Internet Alliance. Industrial big data technology and application practice [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2017.
- [5] 王晨, 郭朝晖, 王建民. 工业大数据及其技术挑战 [J]. 电信网技术, 2017 (8): 1-4.
Wang C, Guo Z H, Wang J M. Industrial big data and its technical challenges [J]. Telecommunications Network Technology, 2017 (8): 1-4.