



# 工业互联网技术洞察

## Insights into Industrial Internet Technologies

沈彬 /SHEN Bin, 李海花 /LI Haihua, 高腾 /GAO Teng

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

DOI: 10.12142/ZTETJ.202006008

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20201124.0914.001.html>

网络出版日期: 2020-11-24

收稿日期: 2020-10-26

**摘要:** 5G、时间敏感网络 (TSN)、边缘计算、工业智能、数字孪生、区块链、虚拟现实 (VR)/增强现实 (AR) 等技术正在与工业互联网加速融合应用, 不断拓展工业互联网的能力内涵和作用边界。这些技术已经成为影响工业互联网后续发展的核心技术, 为产业数字化转型和经济高质量发展提供关键支撑。

**关键词:** 工业互联网; 5G; TSN; 边缘计算; 工业智能; 数字孪生; 区块链; VR/AR

**Abstract:** 5G, time sensitive network (TSN), edge computing, industrial artificial intelligence, digital twin, blockchain, and virtual reality (VR)/ augmented reality (AR) are accelerating the integration and application of industrial Internet, and constantly expanding the capability connotation and function boundary of industrial Internet. These technologies have become the core technologies and indispensable components that affect the follow-up development of industrial Internet, providing key support for industrial digital transformation and high-quality economic development

**Keywords:** industrial Internet; 5G; TSN; edge computing; industrial intelligence; digital twin; blockchain; VR/AR

### 1 工业互联网技术概述

作为新一代信息通信技术与工业经济深度融合的全新工业生态、关键基础设施和新型应用模式, 工业互联网通过人、机、物的全面互联, 实现了全要素、全产业链、全价值链的连接<sup>[1]</sup>, 正在全球范围内不断颠覆传统制造模式、生产组织方式和产业形态。这将推动全新工业生产制造和服务体系的形成, 成为企业数字化转型和经济高质量发展的重要途径。工业互联网产业联盟 (简称“联盟”) 自2016年起, 快速推动工业互联网的发展, 并在每季度召开的工作组全会上, 深入探讨工业互联网最新发展情况。通过联盟2020年第3季度工作组全会, 我们观察到, 5G、时间敏感网络 (TSN)、边缘计算、人工智能、数字孪生、区

块链、虚拟现实 (VR)/增强现实 (AR) 等新型技术, 已成为大家广泛探讨的焦点。这些新技术正在与工业互联网加速融合, 不断拓展工业互联网的能力内涵和作用边界。

工业互联网技术体系由制造技术、信息技术以及由这两大技术交织形成的融合性技术组成。其中, 制造技术构建了专业领域技术和知识基础体系, 是工业数字化应用优化闭环的起点和终点。制造技术贯穿于设备、边缘、企业等各层工业互联网系统的实施落地。以5G、TSN、边缘计算为代表的信息技术, 可直接作用于工业领域, 支撑工业互联网的通信、计算、安全基础设施。以人工智能、数据孪生、区块链、VR/AR 等为代表的融合性技术, 构建符合工业特点的数据采集、处理、分析体系, 并重新定义工业知

识积累和使用方式, 以提升制造技术优化发展的效率和效能, 同时推动信息技术不断向工业核心环节渗透。

### 2 工业互联网关键技术

#### 2.1 5G 技术

5G 技术作为移动通信技术的典型代表, 具有大带宽、低延时、高可靠的特性。5G 技术弥补了通用网络技术难以完全满足工业生产要求的技术短板, 并通过灵活部署, 帮助工业企业加快工厂生产内网的网络化改造<sup>[2]</sup>。

5G 与工业互联网的融合发展, 已拓展至航空、矿业、港口、医疗、冶金、汽车、家电、能源、电子、交通等 10 余个重点行业, 已初步形成 5G+ 超高清视频、5G+AR、5G+VR、5G+ 无人机、5G+ 云端机器人、5G+ 远程控制、

5G+ 机器视觉以及 5G+ 云化自动导引车 (AGV) 等 8 大典型应用场景。与此同时, 这些应用场景对 5G 网络也提出了新的需求。其中, 5G 与超高清视频的融合应用已进入应用成熟期, 成为第一批典型应用场景; 5G+AR、5G+VR 以及 5G+ 机器视觉等应用已进入高速发展期, 所产生的经济价值正在逐渐显现, 在未来 1—2 年内将成为工业互联网的主流应用场景; 5G+ 云化 AGV、5G+ 无人机等应用受限于与设备深度融合的需求, 需要等待相关产品发展成熟, 在未来 2—3 年内将有较快发展; 5G+ 远程控制和 5G+ 云端机器人等应用由于涉及工业核心控制环节, 目前还处于探索期, 有待进一步的测试验证。

联盟工业无线特设组正在开展工业 5G 的相关研究, 具体包括: 网络质量指标体系现状、典型的工业互联网业务场景分析、终端对 5G 网络质量评价方法、5G 无线网络质量评价指标、工厂内 5G 网络覆盖配置标准参考等。

## 2.2 TSN 技术

TSN 技术用以太网物理接口实现工业有线连接, 并基于电气和电子工程师协会协议 (IEEE 802.1) 实现工业以太网数据链路层传输<sup>[3]</sup>。TSN 技术遵循标准以太网协议体系要求, 打破原有封闭协议模式, 提高了工业设备的连接性和通用性, 具有良好的互联互通能力。在提供确定性时延、带宽保证等能力的同时, TSN 技术实现标准、开放的二层转发, 提升了互操作性, 为传统运营技术 (OT) 与互联网技术 (IT) 网络向融合扁平化的架构演进提供了技术支撑。由于 TSN 的互操作架构是基于 SDN 体系架构的, 因此 TSN 技术可实现设备以及网络的灵活配置、监控、管理及按需调优。TSN 技术的时间片调度、抢占、流监控以

及过滤等一系列网络流量调度特性, 有效支撑二层网络, 为不同等级的数据业务流提供了差异化的承载服务, 有助于工业数据在工业设备和工业云之间的传输和流转能力的提升。

联盟网络组正在进行 TSN 产业测试, 以加速推动 TSN 芯片、模组、操作系统等产品的应用。同时, 联盟已经启动 TSN 产业链名录创建计划, 以更好地推动 TSN 的产业落地, 加速产业链的成熟发展。

## 2.3 边缘计算技术

边缘计算技术是指, 通过靠近物或数据源头, 实现计算、网络、存储等多维度资源的统一协同调度及全局优化<sup>[4]</sup>。通过云计算、网络协同联动, 边缘计算技术打通云、边、网、端等关键环节, 实现了工业互联网数据的纵向集成, 可满足工业在敏捷连接、实时业务、数据聚合、应用智能等方面的关键需求。作为工业互联网数据的第一入口, 边缘计算基础设施是各类工业应用的重要载体。

当前, 由于在工业现场存在 40 多种工业总线技术, 工业设备之间的连接需要边缘计算提供“现场级”的计算能力, 以实现各种制式的网络通信协议相互转换、互联互通, 同时又能够应对异构网络部署与配置、网络管理与维护等方面的挑战。边缘计算技术可提高工业数据计算的实时性和可靠性。在工业控制的部分场景中, 计算处理的时延要求在 10 ms 以内。如果数据分析和控制逻辑全部在云端实现, 则难以满足业务的实时性要求。同时, 工业生产要求计算能力具备不受网络传输带宽和负载影响的“本地存活”能力, 以避免断网、时延过大等意外因素对实时性生产造成影响。

目前, 边缘计算技术已应用于工业现场数据采集与处理、基于边缘视

频技术的缺陷检测系统、马达类震动物器本地管理系统、智慧物流运输管理、智慧安监等典型场景。联盟边缘计算特设组已经于 2020 年上半年启动“边缘计算标准件计划”, 以解决边缘计算在实际部署应用过程中存在的突出问题, 比如产业碎片化、供给侧研究方向分散、需求侧建设选型困难、设备及平台标准缺失、可信开放测试机制不完善等。

## 2.4 工业智能技术

工业智能 (亦称工业人工智能) 技术是人工智能技术与工业融合发展形成的, 贯穿于设计、生产、管理、服务等工业领域的各个环节, 实现了模仿甚至超越人类感知、分析、决策等能力的技术、方法、产品及应用系统<sup>[5]</sup>。工业智能技术包括专家系统、机器学习、知识图谱、深度学习等, 已在工业系统各层级、各环节广泛应用, 并且其细分应用场景已达到数十种。

在工业生产现场, 对于库存管理、生产成本管理等流程清晰、机理明确、计算复杂度较低的问题, 可通过专家系统沉淀大量专业知识与经验, 进行推理和判断, 使问题得到有效解决。对于设备运行优化、制造工艺优化、质量检测等场景, 这类问题的工业机理相对复杂, 但不需要大量的数据和复杂计算, 可以通过机器学习进行处理, 就能够提升预测准确率, 降低成本, 并减少故障率。产品需求分析、风险预测等场景, 需要依靠大量数据的推理作为决策支持。尽管这类场景计算复杂度相对较高, 但其问题原理或对象间的关系相对清晰; 因此可利用知识图谱技术来解决。复杂产品质量检测、设备复杂控制、生产安全等场景, 则需要通过深度学习技术对以图像、视频类为主的数据, 进行深度分析挖掘, 从而解决工业领域的“疑难杂症”。

而产品智能研发、无人操作设备等更为复杂的问题，通常需要多种方法组合进行求解。

通过联盟工业智能特设组，我们了解到，目前基于视觉识别与分析类的工业智能技术最为成熟。联盟对基于数据分析的智能类应用在设备制造等环节中进行了初步探索，认为基于数据分析算法类应用的必要性和有效性有待进一步研判。

## 2.5 数字孪生技术

数字孪生技术是指通过数字空间实时构建物理对象（包括资产、行为、过程等）的精准数字化映射，基于分析预测以形成最佳综合决策，进而实现工业全业务流程的闭环优化。数字孪生技术以数据与模型的集成融合为核心，是由制造技术、信息技术及融合性技术交织形成的新产物、新模式，覆盖产品全生命周期及生产的全过程。在产品的设计阶段，使用数字孪生可以提高设计的准确性，并可以验证产品在真实环境中的性能；在产品的生产制造阶段，使用数字孪生可以缩短产品生产周期，提高设计质量，降低生产成本；在产品服务阶段，使用数字孪生可以提高设备远程维护的效率，减少宕机时间，降低整体的维护成本。建设面向产品与生产线感知、仿真分析、运行决策和执行优化等过程的物理实体模型层、虚拟空间模型层，有助于构建虚实相互关联和映射的数字孪生对象模型。通过各种开放工控协议和规范与现场自动化集成，可实现产品与生产线的孪生对象数据同步和交换，以实现面向产品全生命周期的产品设计与仿真、数字化工艺设计与仿真、生产线建模与仿真、生产过程建模与控制及设备故障诊断与远程运维的应用。

目前，数字孪生技术尚处于发展

初期。联盟中已有部分成员单位进行相关应用探索，例如组织开展中国技术供应商征集工作、不断完善正在编制的《工业数字孪生白皮书》等，以加快推动数字孪生技术的应用探索。在未来，数字孪生技术的成熟发展，能够驱动生产方式和制造模式的变革。

## 2.6 区块链技术

区块链是由多种技术集成创新而成的分布式网络数据管理技术<sup>[6]</sup>。该技术利用密码学技术和分布式共识协议，保证了网络传输与访问安全，实现了数据多方维护、交叉验证、全网一致和不易篡改。区块链技术在工业互联网中能够解决高价值制造数据的追溯问题，充分发挥促进数据共享、优化业务流程、降低运营成本、提升协同效率、建设可信体系等方面的作用，有助于打通数据孤岛，加速工业企业内部的生产流程管理和设备安全互联。此外，区块链技术还能够辅助制造业在不同主体间进行高效协同，例如，在工业企业之间实现产业链协同，在工业企业和金融机构之间构筑可信互联的新型产融协同生态。

目前，工业区块链技术也处于发展初期。为此，联盟成立了工业区块链特设组，以加紧区块链技术在工业领域应用的研究。此外，联盟还发布了《工业区块链应用白皮书》，开展了典型应用案例征集活动。这对加快推动工业区块链基础核心技术研发和行业应用落地具有重要意义。

## 2.7 VR/AR 技术

VR 技术是指以计算机、电子、信息和仿真技术为核心，利用各种现代科技手段来生成包括视觉、听觉、触觉、嗅觉和味觉在内的一体化的虚拟环境。VR 可为用户提供沉浸式、无边界的虚拟体验，并具备自主性、构

想性和多感知性等多种能力。AR 技术是将真实世界和虚拟世界的信息综合在一起，为用户提供特定感官体验的人机接口的技术。AR 技术的本质是用计算机和信息处理技术，将原本现实世界中不存在的目标进行模拟仿真处理，并将这些虚拟信息叠加在真实世界当中被用户感知，从而实现超越现实的特殊体验效果。其中，VR 技术发展较早，相关产业链最为成熟。随着 5G 和边缘计算的发展，AR 技术逐渐从概念走向成熟，大大加速了终端轻量化的进程。目前，AR 在工业领域的应用已有赶超 VR 的趋势。

VR/AR 技术在工业领域中有诸多应用场景。例如，工程师和设计师可以使用 VR/AR 技术，以新的动态方式协作、审查 3D 模型和数字原型。此外，AR 技术还能够实现产品可视化，增强显示产品操作说明，改善现场机械和产品的操作水平等。VR/AR 技术在产品开发、设计、制造、销售、服务、物流、培训、产品体验等多个环节均可进行部署应用，其可视化和增强功能指示将会对工业生产带来较大的影响。

目前，联盟 VR/AR 特设组联合有关单位，开展了工业 VR/AR 的技术研究，并征集到了一批应用案例。通过研究分析，联盟发布了《工业 VR/AR 白皮书》。在未来，联盟拟开展虚实融合实验室建设和新一代虚拟现实终端设计，以加快推动工业 VR/AR 产业的发展。

## 3 结束语

工业互联网技术是工业互联网发展的关键动能。工业互联网技术形成的技术体系是工业互联网体系架构落地实施的重要支撑。由于工业互联网技术已经超出了单一学科和工程的范围，因此需要将各个独立的技术联系

起来,以构建一个相互关联、各有侧重的新技术体系。该体系的核心在于推动重点技术率先嵌入工业互联网实施系统中,进而发挥整体技术体系的赋能作用。

#### 参考文献

- [1] 工业互联网产业联盟. 工业互联网体系架构(版本 2.0) [EB/OL]. (2020-04)[2020-10-26]. [http://www.aii-alliance.org/static/upload/202004/0430\\_162140\\_875.pdf](http://www.aii-alliance.org/static/upload/202004/0430_162140_875.pdf)
- [2] 工业互联网产业联盟. 5G应用产业方阵. 5G与工业互联网融合应用发展白皮书 [EB/OL]. (2019-10)[2020-10-26]. [http://www.aii-alliance.org/static/upload/202002/0226\\_155231\\_117.pdf](http://www.aii-alliance.org/static/upload/202002/0226_155231_117.pdf)
- [3] 工业互联网产业联盟. 时间敏感网络(TSN)产业白皮书(V1.0版) [EB/OL]. (2020-08)[2020-10-26]. [http://www.aii-alliance.org/static/upload/202009/0901\\_165010\\_961.pdf](http://www.aii-alliance.org/static/upload/202009/0901_165010_961.pdf)
- [4] 边缘计算产业联盟, 工业互联网产业联盟. 边缘计算参考架构 3.0 [EB/OL]. (2020-08)[2020-10-26]. <http://www.eccconsortium.org/Uploads/file/20190225/1551059767474697.pdf>
- [5] 工业互联网产业联盟. 工业智能白皮书

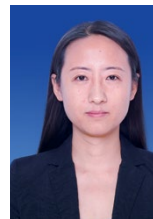
书 [EB/OL]. (2020-04)[2020-10-26]. [http://www.aii-alliance.org/static/upload/202004/0430\\_161537\\_192.pdf](http://www.aii-alliance.org/static/upload/202004/0430_161537_192.pdf)

- [6] 工业互联网产业联盟, 可信区块链推进计划. 工业区块链应用白皮书(1.0版) [EB/OL]. (2019-02)[2020-10-26]. [http://www.aii-alliance.org/static/upload/202003/0302\\_110455\\_445.pdf](http://www.aii-alliance.org/static/upload/202003/0302_110455_445.pdf)

#### 作者简介



**沈彬**, 中国信息通信研究院技术与标准研究所工业互联网研究部副主任、工业互联网产业联盟副秘书长; 主要研究领域为工业互联网, 负责工业互联网产业联盟工作; 先后参与工业互联网发展战略重大课题、工业互联网体系架构、工业互联网标准体系框架、5G+工业互联网等研究工作。



**李海花**, 中国信息通信研究院工业互联网与物联网研究所副所长、工业互联网产业联盟总体组主席、中国仪器仪表学会理事、中国仪器仪表学会智能制造推进工作委员会委员; 主要从事与信息通信相关的政府支撑、战略咨询、新技术跟踪研究、标准研制工作, 目前聚焦工业互联网及标识解析体系相关研究与推动工作。



**高腾**, 中国信息通信研究院技术与标准研究所助理工程师; 主要研究领域为工业互联网, 主要从事工业互联网体系架构、标准化、新技术等研究工作。

## 专题预告

### 《中兴通讯技术》2021年专题计划

期次	专题名称	策划人
1	视频技术和用户体验评测	华中科技大学教授 江涛 中兴通讯股份有限公司副总裁 陆平
2	6G 愿景及技术挑战	中国工程院院士 张平 北京邮电大学教授 张建华
3	边缘计算与算力网络	工信部通信科技委信息通信网络专家组组长 赵慧玲
4	高铁智能通信技术与应用	北京交通大学教授 艾渤
5	低轨卫星通信技术与应用	哈尔滨工业大学教授 郭庆
6	触觉通信技术	南京邮电大学教授 周亮