



面向工业互联网的 5G 边缘计算发展与应用

张呈宇, 李红五, 屈阳, 魏进武

(中国联合网络通信有限公司研究院, 北京 100176)

摘要: 以 5G 为代表的现代通信网络技术, 以及随之而来的移动边缘计算技术在工业互联网领域起到关键的连接作用, 将生产要素紧密地结合在一起, 发挥协同作业价值。通过描述 5G 边缘计算的基础发展现状和技术特点, 阐释了面向工业互联网领域的应用方式以及与传统模式的对比, 并且提出一种面向行业服务的可参考实现方案, 总结了可预期的应用场景。

关键词: 5G; 工业互联网; 边缘计算

中图分类号: TP311

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021026

5G edge computing development and application for industrial internet

ZHANG Chengyu, LI Hongwu, QU Yang, WEI Jinwu

Research Institute of China United Network Communications Ltd., Co., Beijing 100176, China

Abstract: The modern communication network technology represented by 5G and the accompanying mobile edge computing technology play a crucial role in the connection of the industrial internet, closely integrating production factors and exerting the value of collaborative operations. By describing the basic development status and technical characteristics of 5G edge computing, the application method for the industrial internet field and the comparison with the traditional model were explained, a reference implementation solution for industry services was proposed, and the expected application scenarios were summarized.

Key words: 5G, industrial internet, edge computing

1 引言

当今, 我国建立了门类齐全的现代工业体系, 跃升为世界第一制造大国。近来, 智能制造及相关产业得到飞速发展, 迅速壮大成全新的产业, 逐渐成为我国制造业转型升级的主推力^[1]。工业

制造发展经历了自动化、信息化、网络化和智能化的阶段。自动化主要包括数控机床、机器人、PLC、DCS、SCADA 的发展。信息化主要是工厂的财务、办公 ERP、MES、CAD、CAE、CAM、PDM 的发展。网络化主要包括工业内网、外网、有限、无线连接、移动通信的发展。在智能化领



域, 云计算、大数据、人工智能等新一代应用也在快速发展^[1]。

5G 技术作为新一代移动通信技术, 形成了许多围绕着物联网和垂直行业的热门使用场景, 尤其是工业互联网。5G 在工业互联网中的应用取决于其高速率、低时延、大容量和移动性, 以及支持可扩展性、可编程性、多用户性的核心网, 能基于同一基础架构以明确的服务水平协议支持不同使用场景。5G 技术的以上优势, 能够满足高可靠、低时延、抗干扰和高安全性的工业场景要求, 通过网络化、智能化实现降本增效, 推动经济产业结构升级, 增强工业制造领域的竞争力。其针对工业互联网的核心技术领域均能有较显著的增强效果, 成为各项信息技术的能力倍增器^[2]。

2 移动边缘计算发展趋势

5G 的出现为工业企业在现场级设施方面提供了一个新的业务机会——移动边缘计算 (mobile edge computing, MEC)^[3]。根据 5G 网络的部署方式 (5G 无线网络是否与运营商公网连接, 或有条件连接), MEC 边缘云可被认为是公网边缘侧的一个网元, 或用户侧无线局域网中的

一个私有云。5G MEC 边缘云不光是 5G 无线网络的接入, 也是企业其他网络的连接对象, 如现场级总线、工业以太网、企业外网等, 从而体现了“MEC”中的“M”是多接入 (multi-access) 而不仅是移动接入 (mobile-access) 的意义。5G 边缘云计算技术是将传统的云计算技术应用在边缘基础设施之上的创新, 其本质上是边缘基础设施的云计算系统, 通过边缘云计算技术, 能够实现边缘位置的计算、网络、存储、安全等能力全面的弹性平台基础设施能力, 真正实现“无处不在”的云。通过将网络转发、存储、计算等工作放置在边缘处理, 帮助用户把计算、转发、智能数据分析等业务下沉至边缘, 降低响应时延、减轻云端压力、降低带宽成本, 提升应用运算效率, 并完成全网调度和算力分发等云计算的能力, 适用于分布式架构下的各类业务。

3GPP 与 ETSI 对 MEC 的定义如图 1 所示。3GPP 标准组织定义了 C/U 分离的网络架构, UPF (user plane function) 是边缘计算的数据锚点; ETSI 标准组织定义了 MEC 的商业框架, 包含软件架构、应用场景和 API。UPF 是 ETSI 与 3GPP 网络架构融合的关键点。MEC 实施分为 3 个阶段开展, 具体如下。

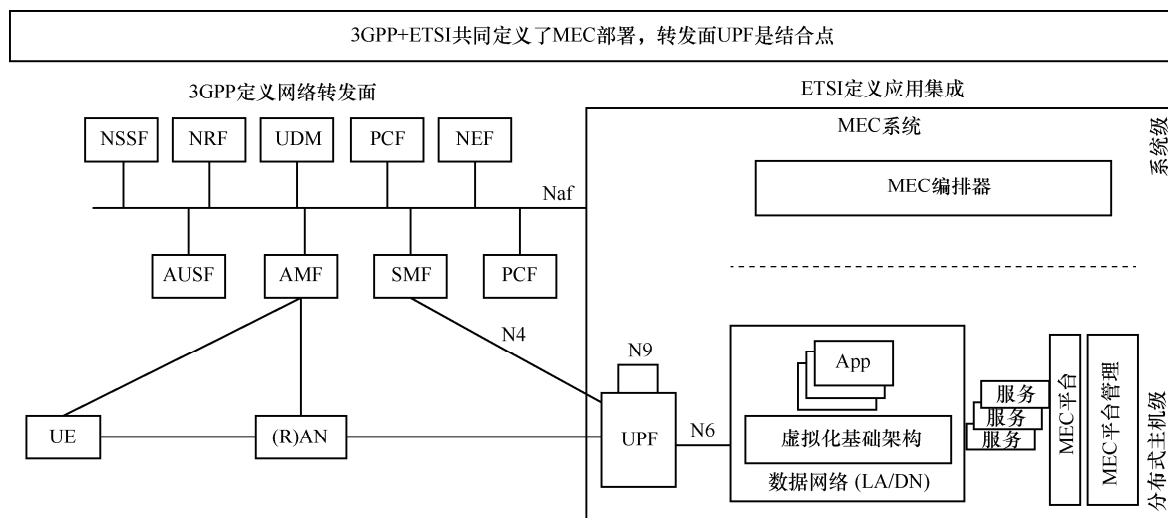


图1 3GPP 与 ETSI 对 MEC 的定义

- 阶段一：定义 MEC 基本架构，服务管理 API，无线信息开放北向 API。
- 阶段二：完成 MEC 架构与 NFV 架构融合，应用迁移机制研究，定义固网、Wi-Fi 接入 API，分析 MEC 与切片及 5G 网络的关系。
- 阶段三：与垂直行业组织合作（例如 5GAA、ITS 等），开展面向垂直行业的平台能力设计^[4]。

目前移动网络以 4G 和 5G 非独立（NSA）组网为主，当前 MEC 已具备与 4G 和 5G NSA 融合的能力，实现平台和网关分布式部署，支持静态 LBO 策略、静态低时延，后期可平滑向 5G 独立组网（SA）演进。5G SA 架构天然支持 MEC，UPF 支持多种模式，可灵活部署，支持动态本地业务分流和移动性低时延边缘业务。

MEC 多层次部署策略如图 2 所示。MEC 支持多层次部署策略选择：根据时延性能要求、本地分流要求、安全需求、业务特性，可制定不同的 MEC 部署策略，如园区级、边缘接入级、区域汇聚级、城域中心级等。MEC 支持数据融合：将网络独有的位置数据、用户数据、终端数据、设备标识数据与工业数据相结合，形成创新业务应用。适用于智能巡检、故障定位、风险预警、机器视觉质量检测、远程移动型机械控制等多种业务场景^[5]。

3 5G 边缘计算如何应用于工业互联网

受人口红利减弱、智能手机市场饱和等因素的制约，中国消费互联网行业狂飙猛进的时代已经结束，发展放缓。互联网下半场属于工业互联网，互联网助力产业形成更具开放的新型连接生态，重点行业产值巨大。工业互联网从概念性的意见和政策开始转变为具体实施，持续释放政策红利，标志着产业互联网进入了新的发展阶段。“工业场景+互联网能力”从传统工业要素“人员、机器、原料、方法、环境”各个环节切入，寻求全面互联网化升级。通过“大数据”“物联网”“人工智能”等技术降低工业制造业直接成本、间接成本和人力成本，为工业制造业寻找新的利润空间。

5G 技术的发展，其技术优势将推动万物互联。当前工业企业内网主要以工业以太网和现场级工业总线为主，受限于 Wi-Fi、蓝牙、ZigBee 等技术的稳定性、传输速率、安全性以及移动性的限制，如今无线技术难以在工业互联网领域得到广泛应用。目前无线技术只占企业内网的 6%，且应用具有局限性，如：网络无法满足智能制造海量设备连接的问题、带宽服务难以实现如高清视频的传输、时延高于智能制造的基本要求、工业级 Wi-Fi 的分组丢失断网问题在第六代 Wi-Fi

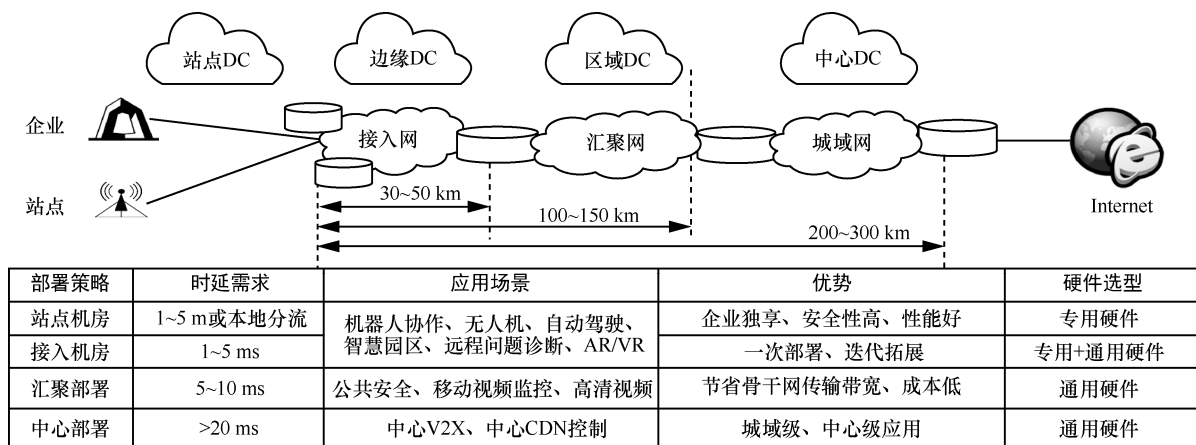


图 2 MEC 多层次部署策略



技术中依然没有完全解决,无法保障智能制造持续生产。5G 时代的到来,可以实现海量数据同步传送,传输全息影像 3D 视频信号,在交互性上实现质的飞跃;5G 可以实现低时延高可靠数据传送,使很多远程控制成为现实;5G 能以较低成本连接更多设备,满足大量生产环节联网需求。5G 适用于 70%以上的传统工业场景,可以有效地解决传统工业场景中受限于有线连接方式的问题,衍生出一系列新型的工业应用与场景。

5G 核心网的集中式部署不能满足新业务需求,网络随业务流向边缘迁移是产业趋势,实现应用本地化、内容分布化和计算边缘化。其中,应用本地化实现园区、企业、场馆等自己的应用在本地闭环,可应用于智能工厂、智能办公、智能城市,降低应用成本;内容分布化实现运营商高带宽内容从中心到区域分布式部署,可应用于 AR/VR (augmented reality/virtual reality, 增强现实/虚拟现实)、移动视频监控,满足大带宽需求;计算边缘化实现新型超低时延业务,可用于自动驾驶、机器人协作、远程医疗,满足超低时延场景需求。

5G 与边缘计算可共同助力工业互联网发展。

5G 体现其网络价值优势,包括以下几点。

(1) 无线/移动连接:无须布线,工厂和生产线的建设施工更加便捷,减少大量维护工作,降低成本;机器设备活动区域不受限,方便在各种场景实现工作内容的平滑切换。

(2) 大宽带:承载高清视频监控、AR/VR、操作维护等大量指数级增长的数据。

(3) 低时延:控制信息等虽少量但对实时性、可靠性、安全性要求很高。

(4) 大连接:支撑了海量的设备联网需求。

边缘计算释放企业数据价值,具备如下特性。

(1) 降成本:有效降低数据传输成本和云存储成本,通过边缘侧计算,只将所需结果数据同步至云端。

(2) 低时延:小于 10 ms 的时延,一触即达,保证关键和精准的精细操作。

(3) 高安全:5G 与边缘计算的特性共同确保了信息安全,私密数据可不出厂区完成计算。

整体来说,5G 边缘计算可根据图 3 所示,完全嵌入现有工业体系之中,发挥其不可替代的特

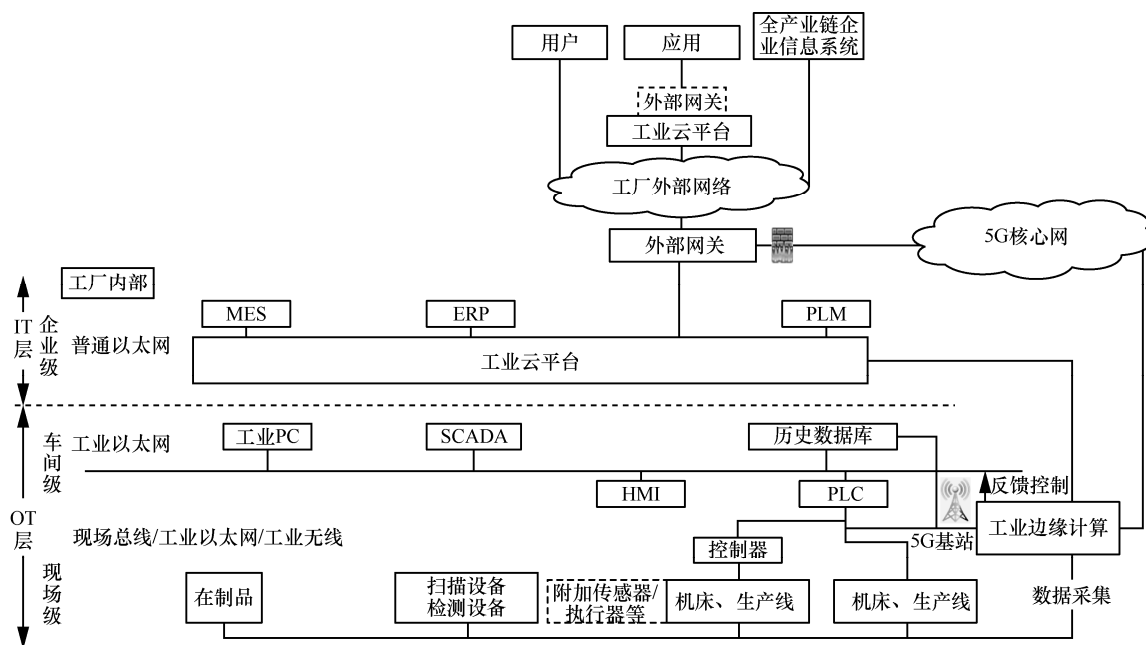


图3 5G 边缘计算嵌入工业体系架构

性与作用。工业互联网 5G 边缘计算技术就是 5G、云计算、物联网、大数据、人工智能等基础技术相互结合,构建或优化大量通用技术,结合垂直行业场景,实现生产能力协同,形成应用平台对接终端用户。

传统的智能网关、传感器、工控机、盒子等厂区内贴近设备的边缘计算形式,计算能力与承载能力较弱,受极限业务承载能力限制,无法统一管理;而传统的中心云模式面向多种行业服务,受网络传输限制,无法满足超低时延场景要求,且由于必须在中心节点完成数据处理,对商业机密数据的保护性较差。相对而言,工业互联网边缘云计算具有横向的线性扩展能力,满足厂区内所有设备数据的高速率、低时延的接入、计算、处理、传输的需求,可降低传输与存储成本,节约网络资源。同时保证私密数据不出厂,提高工业数据的安全性。

4 工业边缘计算应具备的服务能力

工业边缘计算服务同样需要一套平台来构建,从大方向上划分,南向通过 5G 基于内置云化驱动连接工业设备,实现数据采集与反馈控制,北向为工业应用赋能并承载工业应用。为实际项目实施给出如图 4 所示的参考模型。现场级“边缘计算云平台”实际上是台“工业终端”,包括硬件、工业操作系统、工业 App 3 个部分,其核心是“工业操作系统”。工业操作系统主要可由应用商店、应用运行环境、用户管理、数据服务、安全服务、通信管理、网络驱动、外设驱动、多云管理这几部分组成。其中,应用商店承载第三方 App 提供方企业自主研发的 App。数据服务主要包括数据可视化、时序数据库、行业数据服务、行业模型服务、区块链等。网络驱动主要有 5G、Wi-Fi、工业以太网等。外设驱动主要包括 CNC、PLC、显示器、传感器等。多云管理主要是对私有云、公有云、混合云的管理。

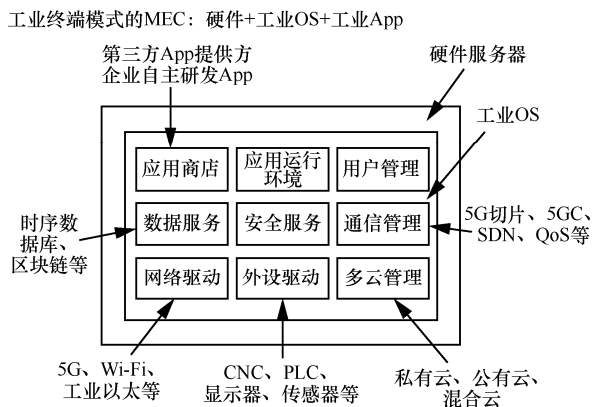


图 4 工业终端模式 MEC

其中,两大重点功能如下,如图 5 所示。

(1) 数据采集及协议解析功能

外设驱动(数据采集及协议解析功能)中要满足用户的设备联网、数据采集、云端控制等需求。通过云化协议网关技术实现数据上传,指令下达,互联互通。支持采集工业控制器、传感器、仪器仪表、数控机床及现场信息化系统对接,支持丰富工业协议,可作为大规模的分布式设备的接入节点,将工业数据与工业应用无缝集成,完成工业 OT 数据向 IT 数据的转换,并统一以 TCP/IP 形式向上输出。支持协议按需动态加载,自定义映射转换功能,支持云端设备管理。通过云化 PLC(可编程逻辑控制器)技术实现软件定义控制系统,允许用户更换或添加组件而不影响系统的其他部分,实现轻松的可扩展性和系统模块化;用户可以灵活地选择不同的供应商,无供应商锁定;软件定义的控制系统、桌面系统、组态和编程套件等,集成了传统工控机和 PLC 的全部功能;可实现 PLC 轻松连接至互联网、系统实现智能化和自我意识、无须更换 PLC 硬件即可改变和升级 PLC 设备功能,并可以通过软件升级来提高生产效率。

(2) 工业大数据 PaaS 功能

数据服务(工业大数据 PaaS 功能)包含基础工具、数据可视化、图形组态、3D 孪生、行业数据服务、行业模型服务和能力开放等。基础工具

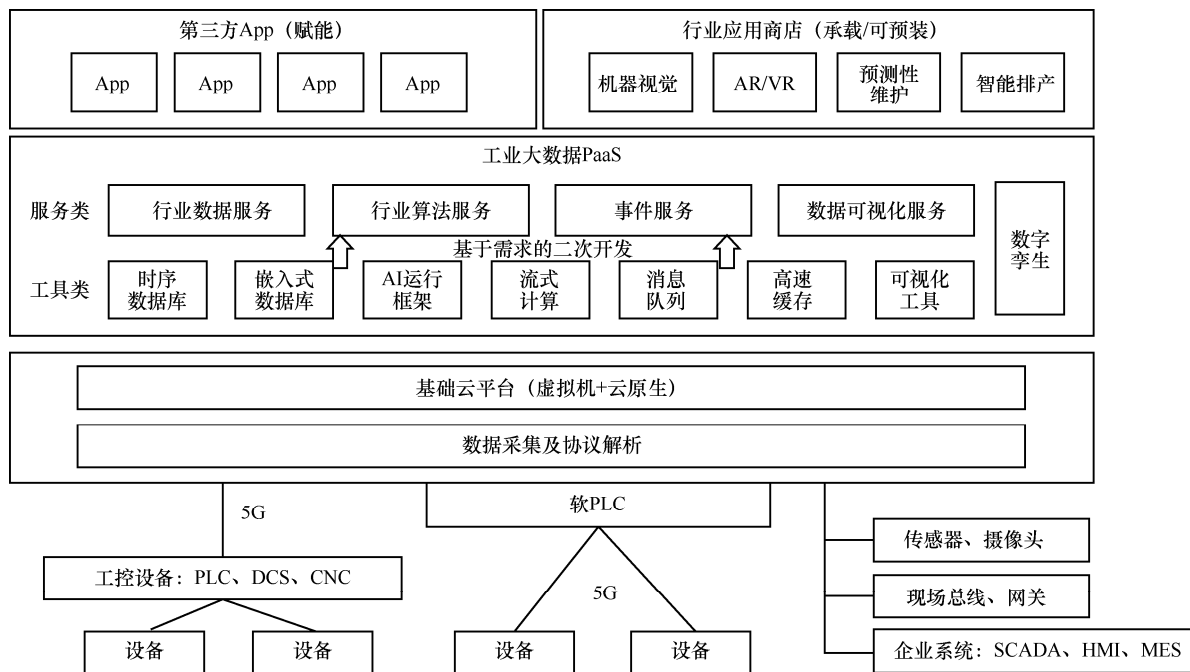


图5 工业边缘云架构

提供 AI 运行库框架、关系型数据库、时序数据库、流式计算、嵌入式数据库、缓存数据库等多种数据微服务；数据可视化和图形组态使用灵活易用的拖拉拽的可视化和组态方式，完全基于 Web 的开发和访问，为用户提供快速构建工业自动控制系统监控功能；车间、设备、流程通过 3D 技术，对工业生产厂房、制造设备、工艺流程进行真实展现，并对设备的结构、工段进行动态展示，基于数据驱动，接入实时采集数据程序进行仿真；行业主题数据库将网络运营商独有的位置数据、终端数据、设备标识数据等与工业业务数据相结合，丰富数据维度，形成新型业务应用，适用于智能巡检、故障定位、风险预警、机器视觉质量检测、远程移动型机械控制等多种业务场景，建立不同维度的专题库；行业人工智能模型算法库基于工业的实时数据和历史数据，对工业生产进行统计分析、可视化指导生产、设备故障预警、表面质检和产品性能预测分析等工作。模型库支持模型存储、云端模型下发、模型部署，规范模型技术框架、运行框架、输入输出数据格式等标准，实

现模型自动化匹配运行；能力开放统筹能力分发；聚合应用能力，统一能力入口，降低维护成本，统一鉴权/监控/编排，协议标准化。

整体边缘云平台还需支持与中心云的资源、数据、AI、应用等方面的云边协同，实现云边资源的统一调度、集中管理，数据的云边间实时同步，AI 的中心云训练、边缘云运行，应用的中心云向边缘下发，统一生命周期管理^[6]。

通过多功能、多层次的设计，将普适的 5G 边缘计算打造成面向工业互联网的智能工业终端。类似消费者领域的智能手机，工业终端最终通过 5G 联网，将工业设备封装为服务为工业应用开发者赋能，同时提供应用商店，承载以此标准开发的工业应用。随着工业 5G 边缘计算的发展，5G 工业终端或类似概念也将得到广泛关注与应用。

5 工业创新应用场景

5G 打破了制造业有线网络的局限性，解决了复杂工厂环境下或移动式设备布线的问题，解除了设备区域限制，实现跨区平滑切换，使柔性制

造成为可能,同时降低了工厂建设、改造、维护成本。在无线通信领域 5G 依托其特性与优势成为现阶段的优势移动连接技术。

在 5G 为代表的新技术推动下,当前以网络、数据、算法、算力构建的以科技为核心工业互联网,有机地将传统要素紧密地结合起来,发挥更大的价值。5G 凭借其高速率、低时延、大连接的特性起到了关键的连接作用。同时,云化网络的 5G 原生拥有的边缘计算能力,为 5G 所接入业务提供了敏捷高效的算力支持。5G+边缘计算结合 AI、AR/VR、机器人、自动化等先进技术对生产运营、仓储运营、库存跟踪、质量管理、维护分析、生产环境等关键制造流程起到变革性作用。以下列举一些重点应用场景。

- 物联网与实时控制: 5G 能满足海量低功耗嵌入式传感器的网络连接与数据传输,以及机器、设备和人之间前所未有的互动和协调,并使工业自动化闭环控制应用通过 5G 网络连接成为可能。边缘计算则承载了数据模型算法、自动化控制器等,共同赋能物联网与实施控制。场景包括 3D 可视化、预测性维护、数字孪生等设备管理应用以及工程机械、港口岸桥吊、园区运输车、开采设备等远程操控应用。
- 视频监控与机器视觉: 对于现代制造企业而言,此类应用越来越普及,如质量检测、操作维护、基于安全管理行为类的监控等。通过基于 5G 与边缘侧人工智能模型的机器视觉分析,满足海量的数据传输要求。机器视觉 AI 应用主要包括产品识别、产品检测、物体测量、物体分拣、物体定位等方面。
- 工业 AR/VR: 在智能制造过程中,通过 AR 等技术实现人机协作、监控生产流程、生产任务分步指引,5G 带来的高带宽连接加上边缘计算提供的 AI 指导、辅助算力,为 AR/VR 提供了更广阔的应用空间,包括

远程协助、辅助装配、在线监测、虚拟装配、虚拟展厅、虚拟培训、样品展示等。

- 云化机器人与无人驾驶: 无线网络摆脱线缆束缚,使机器人的移动应用成为可能,工厂可以迅速且低成本地在不同种类的产品生产线之间转换生产;云化机器人通过 5G 连接到云端的控制中心,通过边缘侧大数据和人工智能对生产制造过程进行实时运算控制,由自组织和协同机器人满足柔性生产。无人驾驶的应用场景主要包括车路协同、无人机、机器人巡检、AGV (automated guided vehicle) 小车^[7]。
- 物流追踪: 5G 满足从仓储管理到物流配送对于广覆盖、海量连接、低成本的网络连接需求,并提供产品全生命周期的跟踪定位,包括连接分布广泛的已售出商品,动态跟踪更广泛的在途商品。

5G 网络化后的智能应用旨在进一步提升优化“自动化”和“信息化”系统的能力,进一步将“两化”进行融合。如无线远程操控、计算机视觉识别、云化机器人、柔性生产线等自动化方面的应用^[8],智能动态排产、数字孪生、设备预测性维护等信息化方面的应用,车路协同、无人驾驶、第二代 AGV 等自动化与信息化融合后的应用。

6 结束语

数字经济的发展已经从第一阶段的消费领域,进入第二阶段的产业领域^[2]。5G 边缘计算与工业融合之后,逐步成为支撑工业生产的基础设施。5G 边缘计算与工业生产中既有的研发设计系统、生产控制系统及服务管理系统相结合,以其移动性、高速率、低时延,全面推动垂直行业的研发设计、生产制造、管理服务生产流程的深刻变革,为工业企业赋能,实现制造业向智能化、服务化转型^[9]。



在可以预见的将来,随着技术成熟度的增高以及更多创新应用的出现,面向工业的 5G 边缘计算技术可以覆盖的潜在客户越来越多,支持的场景将不断演进,该领域方向必将获得更大的发展。

参考文献:

- [1] 工业互联网产业联盟. 工业互联网平台白皮书[R]. 2019.
Alliance of Industrial Internet. Industrial Internet platform white paper[R]. 2019
- [2] 沈洲, 安岗, 余明明. 5G 在工业互联网中的探索和应用[J]. 信息通信技术, 2019, 13(5): 17-22.
SHEN Z, AN G, YU M M. The exploration and application of 5G in the industrial internet[J]. Information and Communications Technologies, 2019, 13(5): 17-22.
- [3] 阿里云技术有限公司, 中国电子技术标准化研究院. 边缘云计算技术及标准化白皮书[R]. 2018.
Alibaba Cloud Computing Co., Ltd., China Electronics Standardization Institute. Edge cloud computing technology and standardization white paper[R]. 2018.
- [4] 吕华章, 陈丹, 王友祥. 聚焦 MEC 边缘云, 赋能 5G 行业应用[J]. 信息通信技术, 2018, 12(5): 22-30, 39.
LV H Z, CHEN D, WANG Y X. Edge-cloud platform architecture and exploration of business practice[J]. Information and Communications Technologies, 2018, 12(5): 22-30, 39.
- [5] 孔令义, 武俊芹. MEC 在移动网中的部署及应用[J]. 邮电设计技术, 2020(5): 79-82.
KONG L Y, WU J Q. Deployment and application of MEC in mobile network[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2020(5): 79-82.
- [6] 崔羽飞, 张云勇, 张第, 等. 基于云边协同的工业互联网实践[J]. 电信科学, 2020, 36(2): 109-116.
CUI Y F, ZHANG Y Y, ZHANG D, et al. Analysis and development suggestions of operators in the field of industrial internet identification analysis system[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(2): 109-116.
- [7] YAO H P, JIANG C X, QIAN Y. Developing networks using artificial intelligence[M]. Heidelberg: Springer, 2019.
- [8] ETSI. 网络人工智能需求标准[R]. 2019.
ETSI. Experiential networked intelligence(ENI), ENI requirements[R]. 2019.
- [9] 工业互联网产盟. 5G 与工业互联网融合应用发展白皮书[R]. 2019.
Alliance of Industrial Internet. 5G and industrial internet integration application development white paper [R]. 2019.

[作者简介]



张呈宇 (1988-), 男, 中国联合网络通信有限公司研究院工程师、系统开发研究室主任, 主要研究方向为大数据、云计算、云原生、工业互联网等。



李红五 (1966-), 男, 中国联合网络通信有限公司研究院院长、高级工程师, 主要研究方向为移动互联网、大数据运营、工业互联网等。



屈阳 (1985-), 女, 中国联合网络通信有限公司研究院工程师, 主要研究方向为容器、大数据、云计算、工业互联网等。



魏进武 (1978-), 男, 博士, 中国联合网络通信有限公司研究院大数据研究中心负责人, 主要负责大数据及 IT 架构设计、规划、实施方案工作。