



基于 5G MEC 的水泥智慧工厂解决方案研究与验证

高博¹, 马科², 张建敏³, 邓桂荣², 臧振瀚³

- (1. 中国电信股份有限公司研究院, 北京 102209;
2. 中国电信股份有限公司广西分公司, 广西 南宁 530028;
3. 中电信智能网络科技有限公司, 北京 102209)

摘要: 随着新型工业化进程不断推进, 5G 如何赋能工业数字化转型、助力企业实现产业升级受到越来越多的关注。根据水泥生产流程, 分析了行业的需求, 提出了基于 5G 多接入边缘计算(multi-access edge computing, MEC)的水泥智慧工厂解决方案, 并给出了典型的 5G 应用场景。结合实际商用案例, 介绍了详细的部署组网和安全防护方案, 验证了方案在助力企业降本增效方面的显著效果, 为水泥建材行业乃至流程工业的 5G MEC 场景化应用提供了参考。

关键词: 5G 专网; MEC; 智慧工厂; 水泥工业

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022296

Research and verification of cement smart factory solution based on 5G MEC

GAO Bo¹, MA Ke², ZHANG Jianmin³, DENG Guirong², ZANG Zhenhan³

1. Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Beijing 102209, China
2. Guangxi Branch of China Telecom Co., Ltd., Nanning 530028, China
3. China Telecom Intelligent Network Technology Co., Ltd., Beijing 102209, China

Abstract: With the continuous advancement of the new industrialization process, how 5G can empower industrial digital transformation and help enterprises achieve industrial upgrading has received more and more attention. According to the cement production process, the demand of the industry was analyzed, a cement smart factory solution based on 5G multi-access edge computing (MEC) was proposed, and typical 5G application scenarios were given. Combined with actual commercial cases, the detailed deployment networking and security protection solutions were introduced, and the significant effect of the solution in helping enterprises to reduce costs and increase efficiency was verified. It provided a reference for the 5G MEC scenario application in the cement building materials industry and even the process industry.

Key words: 5G private network, MEC, smart factory, cement industry



0 引言

随着 5G 多接入边缘计算 (multi-access edge computing, MEC)、人工智能 (artificial intelligence, AI)、工业互联网等技术不断发展成熟, 新型应用越来越多地渗透到工业生产的各个环节。作为基础支柱型产业的水泥工业, 也亟须利用新技术淘汰落后产能, 实现高质量发展。

水泥生产流程涵盖矿山开采、流程制造、园区管理等多个场景。矿车运输露天矿山开采的石灰石, 经碎石机破碎后由传送带运送到主厂区。石灰石和黏土、铁矿粉等原料按比例配合, 磨到一定细度后形成生料。生料经均化、预热、回转煅烧、冷却后进入熟料库。熟料再由传送带运送到粉磨厂, 配合其他混合材料粉磨至适宜的粒度, 形成成品水泥。成品由包装机包装, 或形成散装水泥成品, 然后装车、装船运出厂。由此可以看出, 水泥工业已经基本实现了装备自动化, 但在传统通信方式和技术下, 仍存在诸多问题^[1]。

- 生产设备维护难度大: 水泥产线中大型设备数量众多, 如果设备发生故障导致产线停产, 将会导致巨大的经济损失。传统网络下, 没有对大多数设备的运行状态进行实时监控, 可能导致设备检修不及时, 无法实现预测性维护。
- 生产管控精度低: 水泥生产中的石灰石预均化堆场、辅原料堆场、原煤堆场等料堆体积大、形状不规则, 传统的人工测量盘点方式受工人经验影响大, 盘库误差大、效率低。堆取料机虽可自动化堆取料, 但无法实现精细化控制, 影响了生产质量的进一步提升。
- 工人职业健康挑战: 在水泥工厂的露天矿山区域, 矿山爆破、矿车驾驶工作环境恶劣, 粉尘污染严重, 易发生落石等安全事故, 影响工人的健康和安全, 进而导致招工难、用工难等问题。

- 安全管理手段单一: 水泥工厂环境复杂, 为防止安全事故发生, 工厂制定了严格的安全管理规定。而传统的安全管理手段较为单一, 工人不按规定戴安全帽、穿防护服, 外来人员非法入侵危险区域的情况时有发生, 安全防护和安全检查的手段需进一步提高。

为了将 5G MEC 技术应用于垂直行业, 国内外研究机构对 MEC 架构、部署策略、分流方案等进行了研究^[2-6], 分析了其与物联网、工业互联网技术融合的应用场景及挑战^[7-9]。而在面向细分行业时, 由于企业的网络架构、生产系统、安全管理要求等都因行业特点而有所不同, 如何利用 5G MEC 技术赋能新型业务应用尚在探索中, 5G 智慧工厂规模化发展还存在一定的门槛。

本文研究了利用 5G MEC 技术构建水泥智慧工厂的解决方案, 提出了将 5G MEC 与企业生产系统、生产网络融合的业务架构, 分析了典型业务的流程及对专网的需求, 细化了组网部署和安全防护方案。最后在商用实践案例中验证了方案效果, 总结并提出了对未来发展方向的思考, 希望能为后续研究提供参考。

1 基于 5G MEC 的水泥智慧工厂解决方案

1.1 解决方案总体架构

传统模式下, 水泥工厂构建了生产专用网络和厂区数据中心, 承载了生产和厂区办公业务。运营商网络作为工厂外部网络, 只面向公众使用场景。5G MEC 技术的引入, 使得运营商的边缘云网具备承载工业应用的能力。一体化 MEC、边缘用户面功能 (user plane function, UPF)、基站等可为厂区专用建设, 构成 5G 专网, 作为工厂内部网络的延伸。5G MEC 为业务提供边缘高带宽、低时延网络, 以及弹性伸缩的边缘算力。水泥工厂 5G 业务数据就近处理, 厂内终结, 保障了生产核心数据的安全性。基于 5G MEC 的水泥智慧工厂解决方案总体架构如图 1 所示。

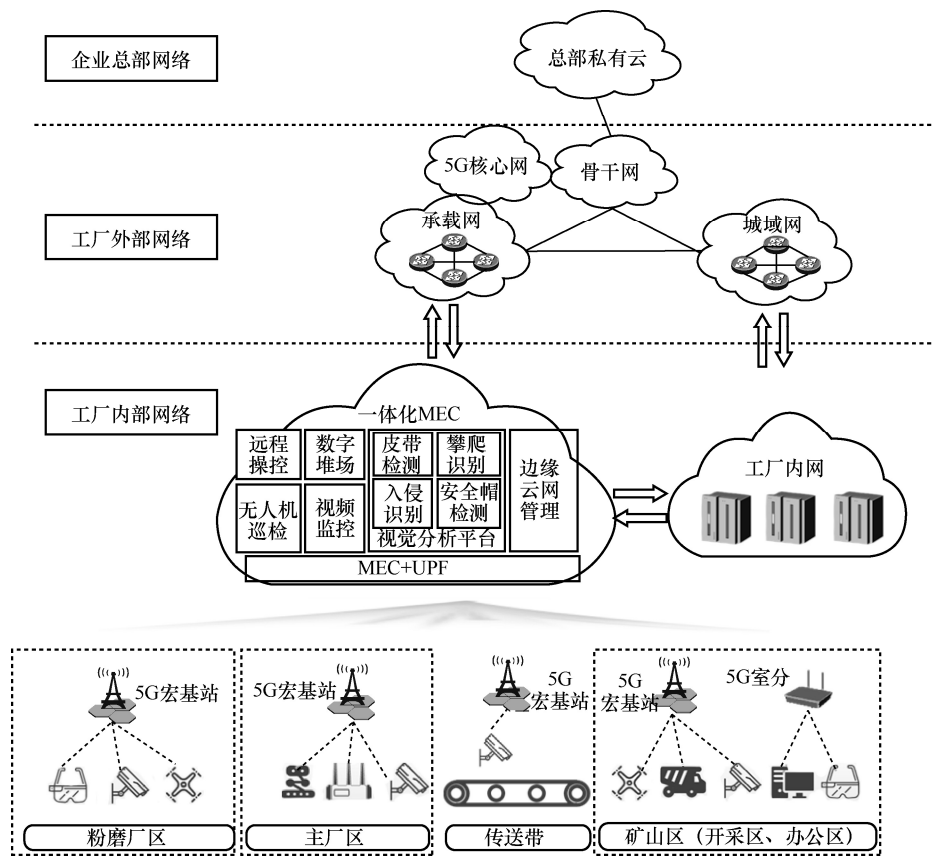


图1 基于5G MEC的水泥智慧工厂解决方案总体架构

MEC平台为水泥工厂提供独立的边缘云网基础设施，云化高算力和分布式存储，保障算力的高效利用和业务数据可靠性，资源可动态按需扩容。MEC支持虚拟机及容器形式业务的编排部署，具备自服务管理和运维监控等平台能力。MEC融合5G能力开放、边缘UPF分流管理、边缘终端管理等网络能力，与企业网融合可视化，并可供第三方应用调用。5G MEC水泥智慧工厂的组网方式如图2所示。

水泥工厂内以视觉分析、远程控制、巡检等为代表的典型场景，主要为物联网类型接入，只在工厂内接入，且只有访问MEC需求，因此选用专用数据网络名（data network name, DNN）的分流方案。对于同时访问公网/专网的业务需求，可选择上行分类器（uplink classifier, ULCL）等分流方案，本文不做重点讨论。为保障业务数据不出厂区，在厂区内新建承载网接入设备。

水泥工厂内采用5G SA组网，对矿山区、主

厂区、粉磨厂区以及地上地下的传送带区域全覆盖，无线侧专用基站配置跟踪区域（tracking area, TA），厂区终端及5G CPE签约工厂业务专用DNN。终端使用专用DNN发起会话时，接入和移动性管理功能（access and mobility management function, AMF）根据用户签约信息和接入策略选择会话管理功能（session management function, SMF），SMF根据DNN所在TA选择同局址下沉部署的边缘UPF，建立N4会话，边缘UPF将厂区业务流量经N6转发至MEC。

MEC对接厂区内网和数据中心，实现MEC与厂区内网应用的互通协同。厂区与总部通过政企专线组成企业专网，企业总部部署私有云，在云端建立数据标注和算法模型训练中心。将MEC的视频数据上传至云端进行在线编码、模型训练和自动测试封装，将训练好的模型能力下发到MEC，进行业务识别。

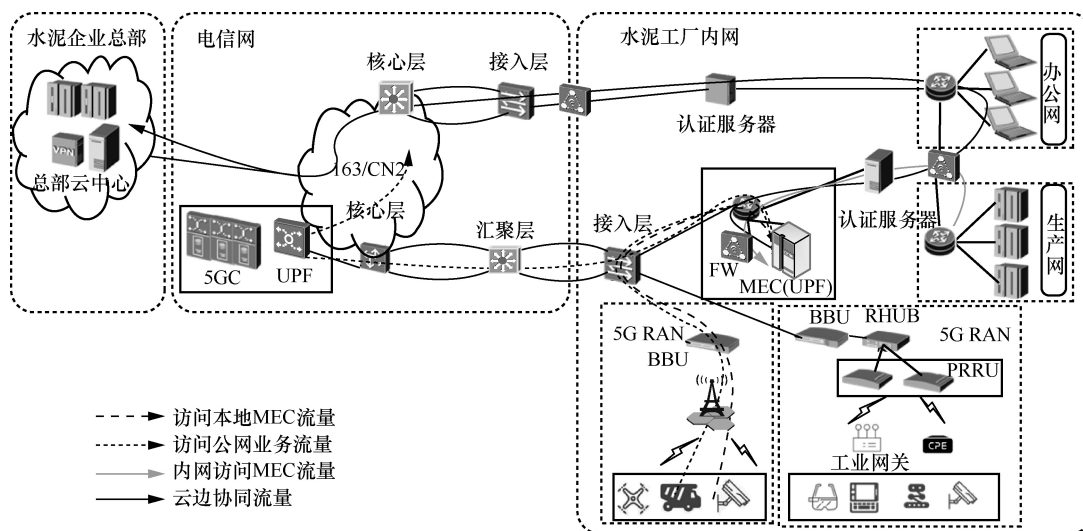


图2 5G MEC 水泥智慧工厂的组网方式

1.2 5G MEC 水泥生产业务架构

参照 ISA-95 标准,水泥工厂工业自动化系统分为 L0~L4 5 个层级构建^[10]。其中 L0 层为执行机构、传感器等现场设备,数据采集与监视控制(supervisory control and data acquisition, SCADA)系统、分布式控制系统(distributed control system, DCS)、可编程逻辑控制器(programmable logic controller, PLC)位于 L1~L2 层,制造执行系统(manufacturing execution system, MES)等位于 L3 层,企业资源计划(enterprise resource planning, ERP)等位于 L4 层。各层之间以工业以太网、现场总线等通信^[11]。

MEC 实际上利用 5G 云网能力,形成对水泥产线大型生产设备、生产网络 and 控制系统传统架构的补充和拓展,推动了信息技术(information technology, IT)、通信技术(communication technology, CT)、操作技术(operation technology, OT)的融合^[12-13]。5G MEC 与原水泥工业自动化系统形成了协同的业务架构^[14],水泥工厂 MEC 生产业务架构如图 3 所示,终端通过 5G、固网等多种方式接入,MEC 与水泥工厂工业自动化系统业务协同,MEC 与异地部署的企业私有云形成云边协同。DCS 与 MEC 视频监控平台协同,

实现产线告警区域的实时监控展示;制造运行管理(manufacturing operation management, MOM)与 MEC 视觉分析平台以及无人机系统协同,实现基于行为状态识别的 MOM 自动化调度管理;视频监控平台与设备生命周期管理(appliance lifecycle management, ALM)三维模型协同,实现设备状态、备件库存等信息同步管理;水泥罐车管理平台与视频监控平台、视觉分析平台协同,实现对车辆的进场验证、排队、计量、发货、收卡出厂全流程管理。MEC 的引入打通了 5 个层级的纵向集成,有利于工业软件的融合和数据共享。

2 水泥工业典型 5G 应用场景分析

2.1 水泥生产视频监控及 AI 视觉识别

AI 视觉识别能力可应用于水泥工厂的设备维护、产线检测、危险识别、物流管理等,以摄像头代替人工,结合 5G MEC 技术,可支持多路高清视频流的并行接入,降低施工成本,方便摄像头布设。MEC 上部署视频监控平台和视觉分析平台,分别实现视频监控和 AI 识别。其他业务系统可调取视频流并展示监控画面,典型业务如下。

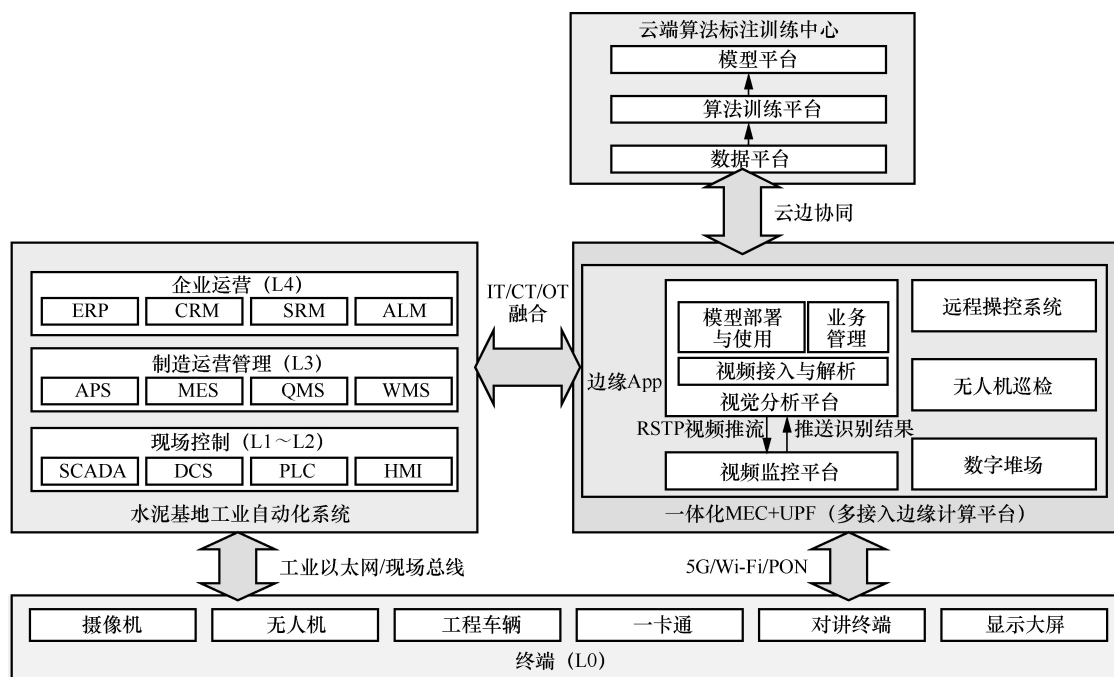


图3 水泥工厂 MEC 生产业务架构

- 当设备发生故障时，DCS 将告警设备信息推送给视频监控平台，平台向大屏推送监控视频。
- 在 ALM 三维模型中预定义监控视频的統一资源定位符（uniform resource locator, URL），当在 ALM 中展示三维模型时，用户可以在模型中调取监控视频。

视觉分析平台对接视频监控平台的实时流协议（real-time streaming protocol, RTSP）流地址，并进行实时分析。分析结果以接口形式推送给其他业务系统并触发告警。典型业务如下。

- 视觉分析平台将识别的告警信息推送到 MOM，包括安全、生产等告警，MOM 接收告警信息，并按照预定义 workflow 处理流程完成告警的自动化调度管理。
- 视觉分析平台识别散装车辆的开关盖状态、车牌号等，并将结果推送给一卡通系统。水泥罐车管理平台判断车辆是否符合进出场流程要求，如符合则对车辆放行。

MEC 提供边缘异构算力，整合皮带损伤、料

口堵料、冒灰扬尘、危险区域人员闯入、人员安全帽佩戴、危险作业规范操作、水泥灌装车状态、规范操作等识别原子能力，并与企业原有系统协同，可形成覆盖全厂区的智能监控与生产管理。

高清图像可以提升算法识别准确度，但同时也对网络的带宽提出了更高的要求。以 500 万像素彩色图片为例，单张图片大小约 15 MB，若每秒采集一张，则上行带宽需求为 120 Mbit/s。在水泥工厂场景复杂的情况下，为保障业务效果，还需开通 5G 超级上行特性。

2.2 矿山工程机械远程操控

5G 无线传输可以使工程机械与操作端分离。车辆端安装驾驶控制设备、激光雷达、数采模块和摄像头装备，完成对车辆的控制和对环境的感知，并将采集的数据经 5G 用户处所设备（customer premise equipment, CPE）回传到操作端。操作端分为控制台和操控显示系统，驾驶员依据车联网回传的数据，远程进行驾驶操控，操作端可部署在远离矿山的办公区域，提供较好的工作环境。控制信号和视频信号经 5G 网络接入，由本地 UPF



分流传输至操作端,视频编解码能力和视频存储部署在 MEC,为远程操控提供高速稳定的网络连接和高性能的计算能力。

远程操控业务对上行视频回传网络要求较高。在车辆前后左右 4 个方向各布置 1 个高清摄像头,采集驾驶舱视角视频数据并在远程操作端大屏展示。在作业场区布置 1 个高空摄像头,采集环境监控视频。5 个摄像头采集并回传 1080P、30 帧视频流至 MEC 及操作端,以 H.264 编码方式为例,5 路视频流共需 25 Mbit/s 的上行速率。单小区不超过 4 台工程机械同时操作,则需要上行速率不低于 100 Mbit/s。下行主要用于控制指令下达,带宽不低于 100 kbit/s。为确保矿山工程机械开采业务效果,要求网络时延不高于 20 ms,并提供 99.999% 的可靠连接。

2.3 厂区无人机巡检

5G MEC 作为支撑无人机平台的边缘云网基础设施,可以满足无人机巡检对高清视频传输、低时延控制和基站间巡飞快速切换的业务需求。水泥工厂面积大、分布广、环境复杂,人工巡检的方式费时费力,无人机巡检可以作为固定点位摄像头 AI 识别的补充,降低工人的劳动强度,实现对偏远的矿山区域、危险区域和传送带等进行巡检识别和告警。此外,对于矿山爆破的高危场景,无人机可以实现地形测绘的无人化,并指导矿车路线修改和爆破设计等。

对于 AI 视觉巡检和矿山测绘应用,结合采集视频的码流和控制要求,上行带宽不低于 100 Mbit/s 可以保障视频清晰度和识别成功率,下行带宽不低于 600 kbit/s、网络时延在 50 ms 以内可以保障较好的控制效果。水泥厂区的无人机巡检的飞行相对高度在 100 m 左右,对网络的覆盖提出了多维度的需求。

2.4 数字堆场

通过在堆取料机上安装激光雷达扫描设备、摄像头等,生成高精度点云扫描数据并由 5G CPE

设备回传。堆取料机对接现场分布式 I/O 模块,工业以太网协议与 5G 适配,并由 5G Dongle 回传至集中式 PLC,简化车间布线。基于 5G+超宽带 (ultra wide band, UWB) 获取堆取料机的高精度定位数据,UWB 基站复用 5G 室分有源以太网 (power over Ethernet, POE) 供电及走线,回传定位数据。采集的数据在 MEC 平台上集中处理,MEC 平台的高精度定位基站解算引擎为数字堆场平台提供位置服务,利用数字拟合技术建立堆场表面的数字模型,并根据数字模型绘制料场的三维模型,可以实时、快速地计算出堆料的体积和储量。为确保测量的精度,上行带宽不低于 100 Mbit/s,时延控制在 100 ms 以内。另外,堆取料机上的雷达及摄像头可以检测人员入侵,避免发生安全事故。此应用场景实现了堆取料和盘库的高度自动化、无人化。

3 商用实践案例分析

3.1 5G MEC 组网

某水泥工厂基于 5G MEC 构建其 5G 新业务系统,结合业务对计算、存储、网络等资源和性能的要求,设计了一体化 MEC 和边缘 UPF 在工厂全下沉部署的组网方案,某水泥工厂 MEC 组网案例如图 4 所示。

400 万像素枪式摄像机、800 万像素低照度智能球、5G 移动监控摄像机及全景摄像机共 165 路视频,按场景需求选择 5G 或工厂内网接入。边缘 UPF 和 MEC 均下沉部署在水泥工厂中心机房,一体化 MEC 按主机方式进行部署。MEC 分布式存储池满足 3 个月以上监控存储要求,保障数据可靠性存储。

MEC 侧两台架顶式 (top of rack, TOR) 交换机堆叠二层部署,口字型上联一对数据中心网关 (data center-gateway, DC-GW)。TOR 交换机旁挂两个防火墙,作为服务器的网关。每台 MEC 服务器以 6×10 GE 电路双上联 TOR 交换机,虚拟化、

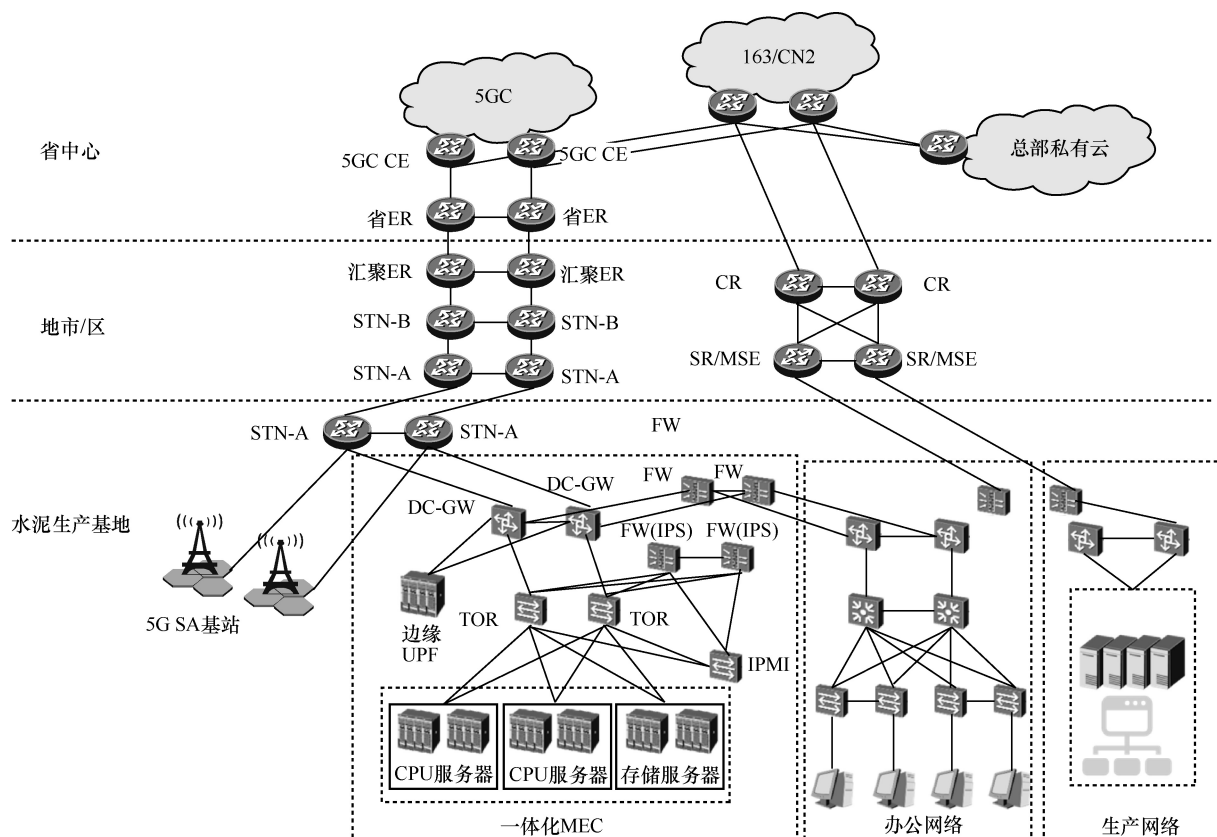


图4 某水泥工厂 MEC 组网案例

存储、业务平面隔离，带外管理以 GE 电路接入管理交换机。管理交换机以 2×10 GE 电路双上联两台 TOR 交换机。

MEC 专网出口防火墙与两台内网交换机以两条 10 GE 电路口字型互联，实现与内网的互通。

为满足业务的数据不出厂区需求，在工厂内新建一对智能传输网（smart transport network, STN）-A 设备，统一接入厂区基站、UPF 和 MEC。UPF 通过 DC-GW 上联一对新建的 STN-A 设备。

在新建的 STN-A 设备上部署本地虚拟路由转发（local-virtual routing forwarding, Local-VRF）实现基站与边缘 UPF、MEC 平台的互通。MEC 侧 TOR 交换机口字型上联 DC-GW，UPF 与 MEC 经 DC-GW 实现 L3 互通。

边缘 UPF 作为下沉的核心网元，接入 STN 经相应的承载通道，与接入网、5G 核心网（5G core，

5GC）及 MEC 实现互通。边缘 UPF 与 STN-A 设备之间部署 L3VPN，下沉 5G 相关虚拟专用网（virtual private network, VPN）。边缘 UPF 与 gNodeB 之间的 N3 接口由 CDMA-RAN VPN 承载，边缘 UPF 与 SMF 之间的 N4 接口由 CDM-EPC VPN 承载，边缘 UPF 与核心 UPF 之间的 N9 接口由 CDMA-EPC VPN 承载。边缘 UPF 与 MEC 之间的 N6 接口由同机房内部通道 L3 转发。

3.2 MEC 安全防护

由于 5G MEC 在水泥工厂中心机房下沉部署，运营商与厂区网络的边界泛化，暴露面增多，引入了新的安全风险。安全风险可分为电信网安全风险和 MEC 专网安全风险两类。电信网安全风险主要来自下沉网元被攻击、非法调用网络能力等。MEC 专网安全风险来自下沉 UPF 的安全漏洞风险、下沉 UPF 与 MEC 横向接口风险、下沉 UPF 与互联网边界风险、下沉 UPF 与企业内网边界风



险、虚拟层隔离风险、应用漏洞风险、开放能力风险等。

应对电信网安全风险的解决方案包括：5GC 公网和 5G 定制网 VPN 适度分割，引入信令互通网关、防火墙等实现公网信令面、数据面和管理面的隔离；网络开放功能（network exposure function，NEF）网元部署在 5GC 的非军事区（demilitarized zone，DMZ）区，MEC 只能访问 NEF 等。

应对 MEC 专网安全风险的解决方案包括：在各个边界部署防火墙，实现 MEC、边缘 UPF、企业网、互联网的安全隔离；在 MEC 出口部署入侵防御系统（intrusion prevention system，IPS）和 Web 应用防火墙（Web application firewall，WAF），分别提供高阶威胁防御、Web 应用威胁防御；MEC 主机系统安全加固，虚拟资源隔离并设置安全组；在 MEC 和边缘 UPF 主机内部署防病毒软件，提供防病毒能力；复用已有安全能力平台的基线核查、漏洞扫描能力，部署容器基线核查、镜像漏洞扫描能力等。

3.3 5G MEC 专网性能评估

5G 业务终端分别从工厂不同区域接入专用基站，测试终端到 MEC 资源池网关的端到端平均网络时延以及小区切换成功率，时延及小区切换成功率测试结果见表 1。

表 1 时延及小区切换成功率测试结果

点位	ping 时延/ ms		小区切换成功率
	32 byte	1 400 byte	
目标值	≤20	≤25	99%
主厂区	17	19	100%
主厂区传送带	17	19	100%
矿山办公区	17	19	100%
矿山采矿区	17	19	100%
粉磨厂传送带	19	21	100%
粉磨厂	17	19	100%

文件传输协议（file transfer protocol，FTP）服务器部署在 MEC 上，使用 5G 终端通过专用基站接入，访问 FTP 服务器。分别在各个覆盖区域，选取近点、中点、远点测试 FTP 的上传/下载平均传输速率，各选取一个接入小区，上传/下载平均传输速率见表 2。

综合来看，工厂各区域端到端网络时延为 17~21 ms，小区切换成功率为 100%，满足业务指标需求。在上传/下载平均传输速率方面，除矿山区和部分区域的山体遮挡部分外，其他业务区域上传平均速率大于 100 Mbit/s，可满足业务要求。将在山体遮挡部分继续评估业务场景，并进行覆盖优化。

3.4 水泥业务效果分析

以 AI 视觉识别业务为例，MEC 为 AI 视觉识别业务提供的边缘算力，使 10 余类识别算法的识

表 2 上传/下载平均传输速率

点位	FTP 上传/ (Mbit·s ⁻¹)				FTP 下载/ (Mbit·s ⁻¹)			
	极好点	近点	中点	远点	极好点	近点	中点	远点
目标值	170	80	50	17.5	800	700	300	150
主厂区	230.31	230.31	91.56	74.12	1 096.1	1 096.1	756.98	543.98
主厂区传送带	171.38	171.38	91.88	75.46	1 047.62	1 047.62	856.98	755.11
矿山办公区	185.1	185.1	112.45	92.99	1 064.98	1 064.98	844.65	765.76
矿山采矿区	162.69	162.69	93.11	67.37	1 028.4	1 028.4	863.12	566.89
粉磨厂传送带	207.22	207.22	112.98	78.99	1 059.15	1 059.15	823.14	537.87
粉磨厂	183.98	183.98	110.26	97.73	1 040.88	1 040.88	896.79	629.93

别准确率达到 93% 以上, 满足业务设计要求。设备监测的应用使得关键设备的在线监测率达到 100%, 人工巡检频次减少 30%, 备品备件线边库存的年资金占比降低 50%, 设备年平均维修时间降低 30%, 单位能耗的产出提高 3%。AI 识别与罐车管理系统的打通使得进出厂物流效率提升 30%。人员闯入预警、安全帽佩戴识别等各类安全监测类应用, 使得年安全事故发生次数降低 60%。各类算法应用有效地提升了企业的生产效率, 降低了成本。AI 视觉识别业务及效果分析见表 3, 视频监控业务效果和智能算法业务效果分别如图 5 和图 6 所示。

4 问题与挑战

本方案基本满足现阶段水泥工业智慧化的典型应用, 从未来发展和方案研究的角度来看, 5G MEC 要适配水泥生产的更多场景需求, 还存在以下问题与挑战。

(1) 5G 与工业无源光网络 (passive optical network, PON) 固移融合

5G 的接入方式仍难以完全满足传统工业以太网连接的现场级控制场景需求, 工业 PON 可以在超高带宽、超高可靠通信上与 5G 形成互补, 这也是

表 3 AI 视觉识别业务及效果分析

算法类别	功能简述	识别率
料口堵料识别	识别下料口积料趋势是否超过设定阈值	93%
签封识别	识别罐车 3 个角度的签封数量	94%
人员攀爬车辆识别	识别货运通道是否有人攀爬车辆	94%
水泥罐车开关盖识别	识别水泥罐车盖子开关状态	95%
车辆厂区速度监控识别	识别熟料、粉磨厂物流通道车速	96%
危险作业规范识别	识别水泥磨机区域和预热器清烟室区域的作业规范	93%
危险区域人员闯入识别	识别框选的危险区域是否有人员闯入	95%
安全帽佩戴识别	识别框选区域是否有工人未佩戴安全帽	93%
口罩佩戴识别	识别框选区域是否有工人未佩戴口罩	94%
人员防护服识别	识别框选区域是否有工人未穿防护服	93%

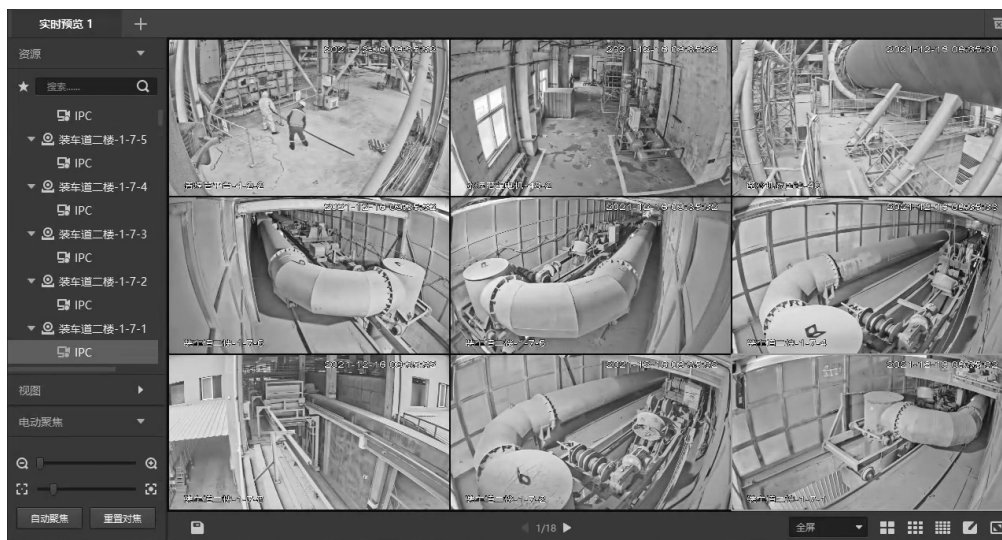


图 5 视频监控业务效果



图6 智能算法业务效果

工业场景下 MEC 的一种典型接入方式。通过工业 PON 融合网关的协议转换能力,兼容工业协议和接口,使 MEC 能力下探,适应更多的工业现场级场景。

(2) 边缘异构计算

MEC 当前能够提供 CPU+GPU 的异构计算能力,满足通用计算和 AI 加速的需求。而面向水泥工业的工程机械控制、深度学习、工业仿真等不同的计算场景,当前的异构计算能力也已经无法完全满足差异化的需求。MEC 需要更加灵活地提供边缘异构计算能力,包括支持不同的操作系统、不同的指令集、不同的硬件架构等。

(3) 网络能力开放融合

MEC 云网能力融合与开放的重要平台已初步实现了网络能力可视化与可管可控,网络能力开放接口的标准化将赋能更多的场景应用。以矿山场景为例,定位、V2X (vehicle to everything) 等技术与 MEC 的开放融合,将推动工程机械的无人化应用从远程操控向集群控制、自动驾驶推进。

(4) 多厂区管理与数据共享

大型水泥企业的制造基地分布在全国,通过构建多厂区统一管理的分布式 MEC 架构,可帮助企业对子厂的基础设施资源和应用进行统一管

理。同时,多厂区可共享云端数据标注和模型训练平台,边边协同-云边协同的架构有助于数据共享和行业知识的复制。

5 结束语

基于 5G MEC 的水泥智慧工厂解决方案为水泥业务提供了高算力、大带宽、低时延、强数据私密性的边缘云网环境,推动 IT/CT/OT 的进一步融合,为水泥行业的发展带来了新的机遇。本文引入 5G MEC 技术研究水泥工业解决方案,讨论了视觉识别、矿机远控、无人机巡检、数字堆场等典型业务和应用场景,结合商用案例介绍了组网、安全方案以及业务效果,最后总结并提出了未来的发展方向,可为其他水泥企业建设 5G 工厂提供参考,推动行业转型升级。

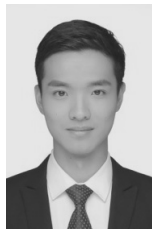
参考文献:

- [1] 中国电信集团有限公司,中国水泥协会,中国信息通信研究院技术与标准研究所,等.“5G+工业互联网”水泥行业报告[R]. 2020.
China Telecom Co., Ltd., China Cement Association, Technology and Standards Research Institute of China Academy of Information and Communications Technology, et al. “5G + industrial Internet” cement industry report[R]. 2020.
- [2] 张建敏,谢伟良,杨峰义,等.5G MEC 融合架构及部署策略[J].

- 电信科学, 2018, 34(4): 109-117.
- ZHANG J M, XIE W L, YANG F Y, et al. 5G mobile/multi-access edge computing integrated architecture and deployment strategy[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(4): 109-117.
- [3] 张建敏, 谢伟良, 杨峰义, 等. 移动边缘计算技术及其本地分流方案[J]. 电信科学, 2016, 32(7): 132-139.
- ZHANG J M, XIE W L, YANG F Y, et al. Mobile edge computing and application in traffic offloading[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(7): 132-139.
- [4] DINH H T, LEE C, NIYATO D, et al. A survey of mobile cloud computing: architecture, applications, and approaches[J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2013, 13(18): 1587-1611.
- [5] AHMED E. Application optimization in mobile cloud computing: motivation, taxonomies, and open challenges[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2015, 52: 52-68.
- [6] ZHOU Y Q, TIAN L, LIU L, et al. Fog computing enabled future mobile communication networks: a convergence of communication and computing[J]. IEEE Communications Magazine, 2019, 57(5): 20-27.
- [7] 李辉, 李秀华, 熊庆宇, 等. 边缘计算助力工业互联网: 架构、应用与挑战[J]. 计算机科学, 2021, 48(1): 1-10.
- LI H, LI X H, XIONG Q Y, et al. Edge computing enabling industrial Internet: architecture, applications and challenges[J]. Computer Science, 2021, 48(1): 1-10.
- [8] DATTA S K, BONNET C. MEC and IoT based automatic agent reconfiguration in industry 4.0[C]//Proceedings of 2018 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS). Piscataway: IEEE Press, 2018.
- [9] NKENYEREYE L, HWANG J, PHAM Q V, et al. MEIX: evolving multi-access edge computing for industrial Internet-of-things services[J]. IEEE Network, 2021, 35(3): 147-153.
- [10] ISA. Enterprise-control system integration. Part 1: models and terminology: ANSI/ISA-95.00.01-2000[S]. 2000.
- [11] 常洁, 王艺, 李洁, 等. 工业通信网络现有架构的梳理总结和未来运营商的发展策略[J]. 电信科学, 2017(11):123-133.
- CHANG J, WANG Y, LI J, et al. Summary of existing framework in industrial communication networks and future development strategies for communication operators[J]. Telecommunications Science, 2017(11):123-133.
- [12] 工业互联网产业联盟. 流程行业边缘计算解决方案白皮书[R]. 2022.
- Alliance of Industrial Internet. Process industry edge computing solutions white paper[R]. 2022.
- [13] 工业互联网产业联盟. 工业互联网标准体系(版本 3.0)[EB]. 2021.
- Alliance of Industrial Internet. Industrial internet standard system (Version 3.0)[EB]. 2021.
- [14] 卢扬帆, 王海东, 李海亮, 等. 基于 DCS/MES/ERP 集成系统在水泥企业的应用[J]. 中国水泥, 2013(3): 102-104.

LU Y F, WANG H D, LI H L, et al. Research and application of integrated system based on DCS/MES/ERP in cement enterprises[J]. China Cement, 2013(3): 102-104.

[作者简介]



高博 (1992-), 男, 中国电信股份有限公司研究院工程师, 主要研究方向为移动通信、边缘计算、5G 行业解决方案等。



马科 (1978-), 男, 现就职于中国电信股份有限公司广西分公司, 中国电信集团政企 5G 业务专家、工业行业专家, 主要研究方向为 5G、物联网等新技术在钢铁、水泥、港口、矿山、有色金属等行业的应用及拓展。



张建敏 (1983-), 男, 博士, 中电信智能网络科技有限公司教授级高级工程师, 市场部副总经理, 中国通信学会边缘计算委员会委员, 国家科技专家库入库专家, 国家科技重大专项《5G 网络边缘计算技术研发、标准化与验证》课题组长, 主要研究方向为移动通信技术、边缘计算等, 累计发表 SCI、EI 等收录期刊论文 26 篇, 申请发明专利 24 项, 出版与 5G 相关书籍 3 种。



邓桂荣 (1982-), 男, 中国电信股份有限公司广西分公司工程师, 主要研究方向为政企行业应用解决方案、5G、物联网、平台运营等。



臧振瀚 (1977-), 男, 中电信智能网络科技有限公司市场部总经理、信息系统项目管理师, 主要研究方向为项目管理、行业数字化等。