

5G 边缘 UPF 专网钢铁智造应用研究

叶会标, 沈国强, 樊忠文

(中国电信股份有限公司浙江分公司, 浙江 杭州 310020)

摘要: 传统钢铁制造行业信息化转型对超低时延、超大带宽上行业务、高效稳定网络质量需求越发明显。局域无线 Wi-Fi、蓝牙、工业 AP、光缆在抵抗干扰、丢包稳定性、业务扩展性、超低时延、接入终端数已无法持续满足业务转型需求。在 5G 网络时代通过灵活部署 UPF 以及拓宽 UPF 功能来满足传统钢铁制造业各种类型网络业务能力需求, 通过专网部署优化实现一张网络满足多种业务使用需求, 能够有效实现业务效率提升。

关键词: UPF; 灵活部署; 工业应用

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.211944

中文引用格式: 叶会标, 沈国强, 樊忠文. 5G 边缘 UPF 专网钢铁智造应用研究[J]. 电子技术应用, 2021, 47(11): 11-15, 19.

英文引用格式: Ye Huibiao, Shen Guoqiang, Fan Zhongwen. Research on the application of 5G edge UPF network in steel intelligent manufacturing[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(11): 11-15, 19.

Research on the application of 5G edge UPF network in steel intelligent manufacturing

Ye Huibiao, Shen Guoqiang, Fan Zhongwen

(China Telecom Zhejiang Branch, Hangzhou 310020, China)

Abstract: The information transformation of traditional iron and steel manufacturing industry has more and more obvious requirements for ultra-low delay, ultra-wide bandwidth uplink services, efficient and stable network quality. Local wireless Wi-Fi, Blue-tooth, industrial AP and optical cable are unable to meet the needs of business transformation in resisting interference, packet loss stability, service scalability, ultra-low delay and the number of access terminals. In the 5G network era, through flexible deployment of UPF and broadening the function of UPF to meet the needs of various types of network business capacity of traditional steel manufacturing industry, through the optimization of private network deployment to achieve a network to meet the needs of a variety of business use, it can effectively improve business efficiency.

Key words: UPF; flexible deployment; industrial application

0 引言

工业信息化是当前我国由传统工业制造大国向工业制造强国转变的关键举措, 中国钢铁产量长期占据全球 50% 以上产能, 但是生产效率低于行业平均水平, 伴随 5G 新基建起步, 以 5G 布局助力工业智能制造发展逐渐清晰。传统钢铁制造业通信网络构建严重依赖固网专线、无线工业 Wi-Fi、蓝牙短距通信等多制式网络, 但随着钢铁行业各个生产设备接入环网需求量增加, 传统拉网布线已经难以满足苛刻生产环境下设备接入需求的快速增长^[1]。因此, 钢铁制造领域极需能够满足大数据传输、稳定可靠、海量接入、生产数据可控的网络信息化方式来实现一体化信息布局, 增强工业制造实力。第五代通信技术(5G)凭借其增强移动宽带、海量机器类通信、超可靠低时延通信功能特性, 将极大地适配当前生产需求, 5G 新网元 UPF 通过灵活部署方式实现当前超低时延业务可行性, 同时进一步延伸边缘计算业务, 来达到生产办公数据通信统一化^[2]。

1 钢铁行业通信需求

数字透明化生产是当前传统制造业改造方向, 随着人力综合成本抬升、产能和环保平衡发展需要、高架空、高危险源作业环境(高温/粉尘/噪音/有害气体)等实时监控、远程控制需求对网络带宽需求在短期内急剧增长。以传统钢铁锻造区域为例, 废钢吊运天车作业等重点作业流程自动化、信息化严重不足, 危险区域管控不足; 高温/蒸汽等危险源多, 监管不够或者设备老化导致监管危险源视频质量差, 监管效果不足。传统无线 AP 仅支持单向认证安全性差且加密算法简单易破解, 频谱是公共资源, 受外界干扰下性能衰减快, 同时安全问题频发。AP 间干扰严重速率和接入用户数没有保证, 难以达到大带宽接入, 没有切换保证机制, 经常源 AP 掉死后在新 AP 重新连接时延过长。同时企业自己部署 Wi-Fi 专网, 在性能上无法满足高可靠、低时延需求。光缆专线虽然有高稳定性特性, 但是面对多终端接入, 移动性业务场景下业务支持度较低。蓝牙短距通信在面对

大带宽业务场景明显支撑能力不足,同时传输距离受终端收发能力限制,应用范围极为有限。如表 1 所示冶炼区域远程天车针对不同业务实际下对网络带宽、时延需求,精确的网络带宽时延设计才能保证金属冶炼的准确性和可靠性,同时随着自动控制技术的发展,对控制精度和控制品质提出了较高的要求,需要对大型冶炼信息化控制系统进行改进设计,实现实金属冶炼过程的信息化处理、远程管理控制和信息加工。

2 5G UPF 专网功能实现

2.1 UPF 定义与功能

UPF 是 3GPP 协议定义下 5G 核心网的用户面,承载数据流量,负责在无线接入网和 Internet 之间转发流量、报告流量使用情况、QoS 策略实施等,相当于 4G 时代 SGW-U 和 PGW-U 角色。在 5G 网络架构中,应用 CUPS (Control and User Plane Separation) 架构将核心网的 C 面和 U 面实现彻底分离,U 面功能由 UPF 独立担当,用户面功能实现去中心化。随着用户面网关功能独立,可根

据业务场景需要为其选择部署位置,实现业务分布式部署,既可以部署于中心 DC,也可以部署于本地 DC,甚至部署在更靠近用户的边缘 DC。这取决于垂直行业对网络的要求,如时延、带宽、可靠性等。譬如在低时延场景中(如自动驾驶),用户面 UPF 需要更靠近用户,部署在边缘位置,实现下沉式部署。

2.2 UPF 替换 MEC 降低成本

如图 1 所示,UPF 作为 5G 网络和多接入边缘计算(MEC)之间的连接锚点,所有核心网数据必须经过 UPF 转发才能流向外部网络,因此 MEC 业务实现必须是以 UPF 分流为基础。而 MEC 是 5G 业务应用面向更加广泛的标志。MEC 解决方案通过 UPF 实现与 3GPP 数据面的集成,通过 NEF 实现与 3GPP 控制面的集成。MEC 属于一种超前商业概念,ETSI 定义了 MEC 的商业框架,包含软件架构、应用场景和 API 接口。MEC 出现的目的是满足云应用在本地闭环、移动网络分布式下沉以及终端算力提升所形成的连接+计算的融合汇聚节点^[3]。

表 1 冶炼区天车对网络能力需求

业务类型	业务特征	典型应用实例	影响因素		入门级体验网络能力要求		
			典型码率	摄像头数	网络时延/ms	带宽需求/(Mb/s)	速码比
远程天车 业务-PLC	远程天车操控工作人员通过视频监控远程操作天车完成工作	协议 S7 com 移动速度<1.2 m/s 控制精度<1.0 m 控制周期 400 ms 逃生时延 1 200 ms 每年故障时<0.9 h 可靠性>99.99%	2 Mb/s/H.265	10	RTT 抖动<12.5 ms 最大传输时延<1 200 ms	>70	>10
远程天车 业务- 视频监控	合理 I 帧速率码率比是保障视频不卡顿的关键: (1)摄像头实时编码,以固定周期传输 I 帧 (2)I 帧等待时间过长会导致卡顿 (3)I 帧速率大小决定带宽需求	远程天车业务视频 监控—2K 远程天车业务视频 监控—4K	2 Mb/s/H.265 2 Mb/s/H.265 2 Mb/s/H.265 4 Mb/s/H.265 4 Mb/s/H.265	5 10 20 5 10	<25 <25 <25 <25 <25	>30 >40 >70 >92 >148	>6 >6 >6 >10 >10

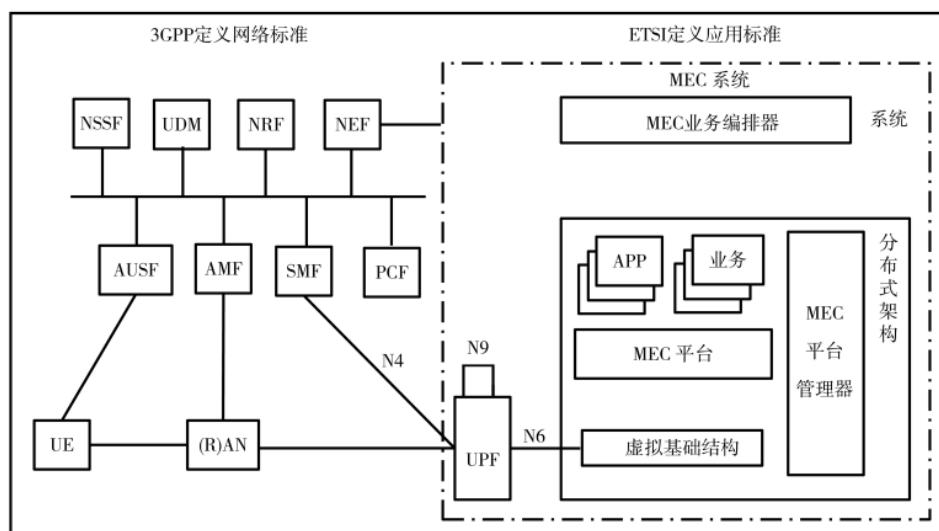


图 1 UPF 与 MEC 架构连接示意图

UPF 是 ETSI 与 3GPP 网络架构融合的关键点, MEC 由 ETSI 和 3GPP 共同制定标准, 5G 是 MEC 发展的先决条件, 因此 5G UPF 可以独立存在同时也可以做到数据本地分流实现超低时延、上行大带宽业务能力满足垂直行业对网络超低时延、超高带宽以及安全等方面的需求。并且当前 MEC 产业链不成熟, 成本相比 UPF 过于高昂, 盈利模式不清晰, 各项业务提供、业务运营和业务使用对象均尚处于初始状态, 突破当前低效盈利尴尬状态决定着 MEC 产业未来的发展^[4]。

3 5G UPF 专网搭建

3.1 业务需求设计

实现钢铁冶炼区域无人化生产需要, 整体端到端时延根据不同的业务类型被限制在 10 ms~50 ms 之间, 业务上行带宽设计需求在 500 Mb/s~900 Mb/s。在空口方面, 5G 网络通过灵活帧结构实现上行抢占性调度、上行免授权调度等一系列新技术减少空口传输时延。而在后端网络架构侧, 降低端到端时延的最主要方法就是减少信号的传输距离、路由跳数, 相应的技术方案为网关下沉^[5]。而下沉的 UPF 与本地服务器相连通, 直接达到降低通信时延的目的。冶炼区域属于复杂危险的作业环境, 造成工厂劳力成本急剧增加, “增产降耗”已经作为此类企业智慧化升级的第一需求。改变在噪声、粉尘、高温的现场进行人工三班倒操作, 以及职工工作环境和工作时延、工作状态、效率无法保障现状, 企业目标在于人力替换, 实现毫秒级操作时延, 完成对人力的替代, 杜绝因人为事故引发的停产。并且在钢铁企业机房部署 UPF 服务器, 同时通过定制化 5G 基站形成生产区域 5G 网络覆盖, 实现远程操控、精准操控。如图 2 所示, 当前钢铁

冶炼生产区域天车系统由采集器(扫描仪、测距仪、编码器、摄像头)+5G 网络+PLC 控制器三部分组成, 通过扫描仪采集水平方向信息、编码器采集垂直方向信息、测距仪采集距离信息, 获取周边物料、坑料、车辆、车斗高度及装卸位置信息和画面, 通过 5G 定制基站实时将采集数据传输至 UPF 本地服务器端进行数据处理(时延低至 10 ms)。会话流程(PDU Session)由目标终端发起创建请求, 目标终端向 AMF 发送的 NAS 消息中包含 PDU Session 的基础数据, 同时无线基站侧(RAN)在目标终端发送给 AMF 的 NAS 信息中插入用户位置信息和访问类型信息用于用户面 UPF 锚点的选取。AMF 接收到 PDU Session 创建请求后, 对携带数据进行分析, 基础数据中不包含 S-NSSAI 时, 选择默认切片; 当携带数据中包含 S-NSSAI, 不包含 DNN 时, 且此时用户签约信息中对应 S-NSSAI 有默认 DNN, 根据用户签约信息中选择默认 DNN; 否则 AMF 为 S-NSSAI 选择本地配置 DNN。如果携带 DNN 是网络不支持的 DNN, AMF 对会话建立请求拒绝服务。AMF 根据 PDU Session 创建请求中的 DNN、S-NSSAI 信息从备选的 SMF 列表中选择对应的 SMF。SMF 接收 PDUSession_CreateSMContext 请求后, SMF 使用 PDU Session 创建携带基础数据和所关联企业本地 UPF 作为锚点建立数据链路进行数据传输。其中 5G 对于 PDU Session 选择锚点最重要的是 PDU Session 所指向的 DN 的 APN 和用户签约信息中 APN 权限访问数据^[6]。工厂部署边缘一体式增强 UPF 包含 UPF PSA1、UPF PSA2、ULCL UPF 功能, 其中 UPF PSA1 为主锚点, 专网目标终端(5G 采集器)注册创建会话分配目标终端 IP(分为固定 IP、动态 IP)地址, 通过 N6 接口对接公网。在 ULCL UPF

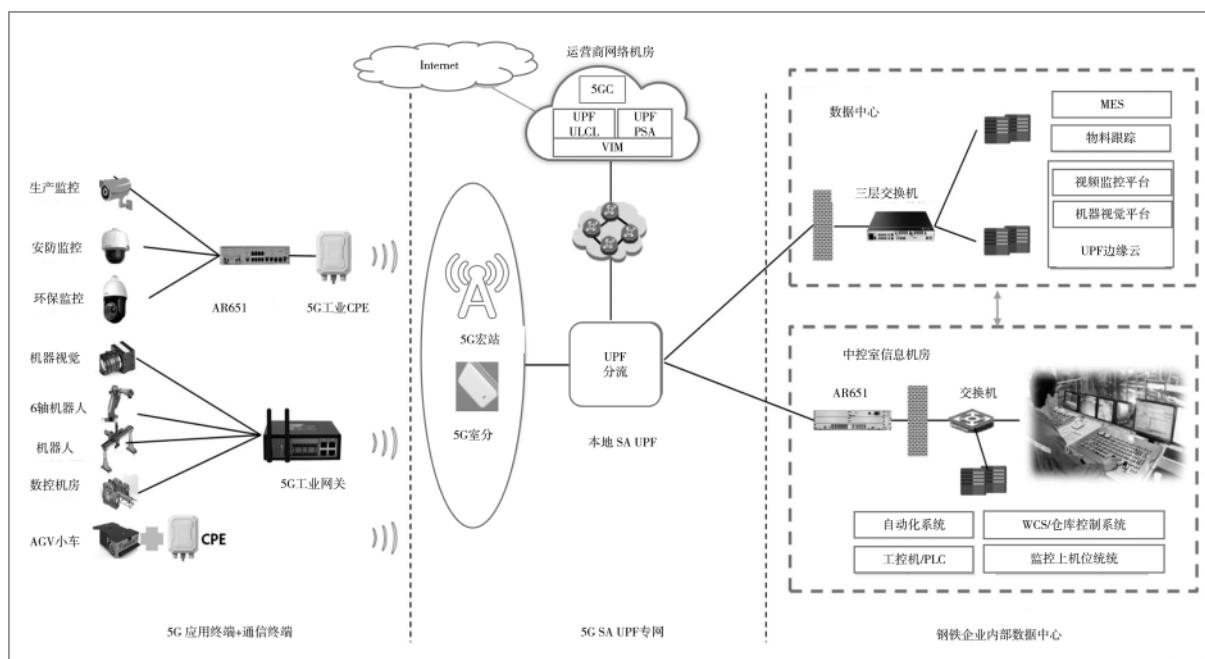


图 2 5G UPF 专网示意图

环节,通过 N9 接口接收来自 ULCL UPF 上行报文。UPF PSA2 为辅锚点,通过 N6 接口对接厂区网络,实现采集器数据与本地园区内网数据互通^[7]。ULCL UPF 本职实现上行数据分流,对分流后的下行数据进行聚合,通过 N9 和 N6 接口对接本地数据库,同时所有公网和工厂园区下行数据都汇总到 ULCL UPF 发给目标终端。其中厂区所有数据以 IP 为匹配规则,固定段 IP 默认为专网,非固定 IP 默认为公网业务,专网数据传输路径如下:

(1)上行 5G 采集器数据:目标终端->RAN->ULCL UPF->UPF PSA2->本地园区。

(2)下行公网、本地网络下发数据:目标终端<-RAN<-ULCL UPF->UPF PSA2->本地园区。

(3)非专网数据传输路径如下:

①上行办公网络数据:目标终端->RAN->ULCL UPF->UPF PSA1->公网;

②下行办公、日常业务数据:目标终端<-RAN<-ULCL UPF->UPF PSA1->公网。

厂区所有定制 SIM 卡用户附着激活后由 SMF 根据独立 DNN 选择厂区 UPF 为主锚点,对边缘业务进行厂区本地流量卸载。专网 SIM 卡采用固定 IP 和动态 IP 相结合的 IP 地址分配方式。固定 IP 用户 IP 地址由 UDM 分配,动态 IP 地址用户 IP 地址由 UPF 分配,能够满足天车群控、加装机器人调控动态 IP 分配,高清数据监控、智慧照明等固定 IP 分配,实现生产车间所有联动组网,一套网络整合降低运维成本,提高各个应用场景的部署灵活性。如表 2 所示,对比传统 Wi-Fi、蓝牙、专线通信在低时延、切换、容量方面的不足,5G 专网实现同一覆盖区域内所有设备超低时延接入来完成远程控制,同时辅助高精度视频采集与 AI 数据同步分析系统实现同一区域内高精度生产,钢铁生产质量更高。钢铁制造厂高温危险作业区域多,实现生产区域内实现多设备无线接入,降低人员工作巡检面临安全风险、避免安全生产事故、减少人员现场作业,通过 5G 专网无线接入实现高清实时视频监控,同时通过云技术协同进行 AI

预测,确保实时准确掌握生产现场关键动态,提前干预,避免安全事故。

3.2 业务成本控制

如图 3 所示,随着国内各个 5GC 和本地数据中心建设逐步完善,UPF 作为实现超低时延业务关键一环,已经延伸出 4 种模式,总体部署方式分为大区中心 UPF、区域中心 UPF、城市 UPF、企业园区 UPF。根据目标行业实质性需求,选择低成本、可靠的专网分流方案实现运营成本最低化,初期可通过共享式,最大化覆盖 2B 用户,在初期确保投资效率,部署在运营商机房,硬件以及运维条件都已具备,有利于业务快速展开。边缘增强型一体化 UPF 同时具备计算和连接能力满足企业诉求,实现极简运维一站式服务。后期随着业务模型固定以及高质量企业客户需求进行入园式部署,进一步强化 UPF 专网体验。

大区级、区域级 UPF 通常部署于省会城市或者地市级区域,主要承载地市区域范围的用户面业务,包括互联网访问、音视频以及本地企业业务等。区域级 UPF 与现网 5G 核心网融合,运营商通过 QoS、DNN 定制和切片等技术,为行业客户提供端到端差异化保障的网络连接、行业应用等服务。同时,基于 5G 专网原子能力进行了行业属性的封装预置,适用于为行业客户提供该行业专属化服务的场景。此类 UPF 部署模式具有广域跨省、业务加速、公专协同、业务隔离的差异化特征,通过切片、DNN 定制来区分数据网络和路由隔离,通过高质量的专线隔离保障用户体验,同时支持单卡多 DNN 定制、支持定向访问的在线编排^[8]。

边缘级 UPF 通常部署于区县边缘,应对高带宽、时延敏感、数据机密性强等业务。将 UPF 下沉到移动边缘节点,可基于数据网络标识(Data Network Name, DNN)或 IP 地址等识别用户,并根据分流策略对用户流量进行分流,对需要本地处理的数据流进行本地转发和路由,避免流量迂回,降低数据转发时延,提升用户体验。此类 UPF 主要面向中小型企业用户同时对网络信息化需求

表 2 UPF 专网下生产效率提升对比

环节	通信需求	5G 专网、Wi-Fi、蓝牙、光缆对比大并发和高可靠性业务
远程天车	天车移动速度<1.2 m/s,控制精度<1.0 m,控制周期为 400 ms,逃生时延为 1 200 ms,每年故障时<0.9 h,整体可靠性>99.99%	生产区域 11 台 PLC,控制信令 500 次/min 的并发,5G 专网实现时延低至 10 ms,移动切换时延不得高于 15 ms,Wi-Fi 和蓝牙不支持无缝切换,光缆专线无法满足移动业务
AI 机器视觉	现场 75 个高清摄像头,同时以 4 Mb/s~8 Mb/s 码率进行上行业务并发通信	满足 AI 智能生产以及安全监管需求,生产线有 75 个高清摄像头,2 万平方米有最大 900 Mb/s 上行带宽并发需求,Wi-Fi、蓝牙通信当前因其带宽有限,并发数据易被限制;专线对于新增业务场景以及移动设备场景支持度不足
AGV 运动	钢卷货运 AGV 状态上报 400 ms 周期,150 次/min,AGV 跨厂区通信切换	生产区域 80 辆大型 AGV 进行生产货运,需要实现移动跨越多个生产区域,5G 专网切换通信时延低至 20 ms;蓝牙、Wi-Fi 出入库门移动期间切换失败,Wi-Fi 信息丢失,引发系统混乱
远控 PTL	自适应移动无人天车移动,时延需求低至 10 ms 以内,无缝切换	高危区域实现远程控制时延需求低至 10 ms,当前 Wi-Fi 移动场景下时延无法达到 50 ms 以内,蓝牙数据传输距离有限,专网在移动性上缺失,5G 专网实现 UPF 分流时延,空口有限调度等手段实现时延低于 10 ms

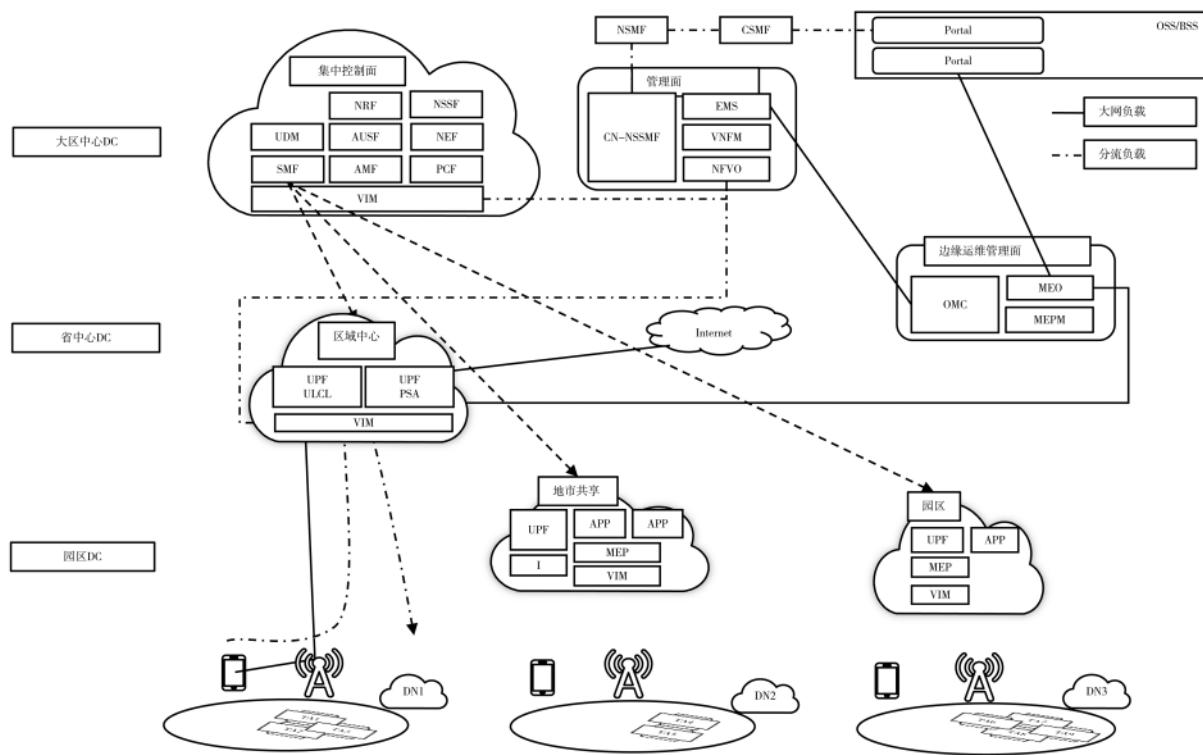


图 3 5G UPF 部署方式示意图

较高且需要分担成本问题, UPF 部署在运营商邻近机房^[7]。根据客户需求和业务特征, 可以选择独享或与其他企业共享 UPF。在同一切片内, 通过定制 DNN 来区分数据网络和路由隔离, 提供差异化的 SLA, 保障用户业务安全。边缘级 UPF 在部署运维上可通过软硬件预装、自动纳管、配置自动下发等方式实现设备即插即用。在正常运维中, 可通过 EMS 进行集中配置下发和运维管理, 边缘级 UPF 下沉部署, 通过 N4 接口对接中心的 SMF, 需要考虑 N4 接口安全, 一般可以通过将 N4 接口划分成独立的网络平面, 或者通过部署防火墙/IPSEC 进行安全策略增强。

企业级 UPF 部署于企业机房, 充分利用超级上行、干扰规避、5G 网络切片和边缘计算等技术, 按需定制专用基站、专用频率和专用园区级 UPF 等专用网络设备, 为企业客户提供一张隔离的、端到端高性能的专用接入网络, 同时可以按需定制 MEC 与行业应用, 对专网提供专属运维支撑服务。同时, 生产数据能够在园区内闭环, 与公众网数据安全隔离, 确保生产的安全可靠^[9]。总体而言, 企业级 UPF 需要解决起步成本高、设备功能复杂、部署和运维难度高等问题, 还需要满足轻量化的最简部署, 功能更有针对性, 可以根据场景需求灵活搭配, 并且实现出厂预安装、现场开箱即用, 同时支持本地运维和远程运维等特性。因此, 针对特殊行业如钢铁冶金、港口、煤矿等综合立体型制造企业, 利用 5G 专网实现信息化改造越级式发展, 有利于传统作业模式实现自动化生产。

4 结论

根据企业实际业务需求定制化 5G 专网能够快速缩短信息化改造时效, 第四次工业革命是我国由工业大国转向工业强国的重要转折点, 而新一代信息通信技术演进是实现企业转型避免市场淘汰的关键。UPF 专网下沉极大加快当前 5G 与工业生产融合创新发展, 进而推动制造业从单点、局部的信息技术应用向全行业、生产面数字化、网络化和智能化转变, 为建设制造强国、网络强国提供有力支撑。本研究通过经验复制, 针对不同产业实现网络定制一体化, 可快速实现 5G 与工业互联网融合创新, 强化生产制造核心环节智能化、安全化, 不断释放市场迭代效应。

参考文献

- [1] 王东, 张龙, 程锦霞, 等. 基于运营商专网的 5G 智慧港口解决方案[J]. 移动通信, 2019, 43(9): 53–56.
- [2] 王渤茹, 范菁, 单泽, 等. 5G 移动通信组网关键技术研究综述[J]. 通信技术, 2019, 52(5): 1031–1040.
- [3] 马培勇, 吴伟, 张文强, 等. 5G 承载网关键技术及发展[J]. 电信科学, 2020, 36(9): 122–130.
- [4] 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.
- [5] YAO H P, JIANG C X, QIAN Y. Developing networks using artificial intelligence[M]. Heidelberg: Springer, 2019.
- [6] 段宏, 郭昌华, 刘文钊. FlexE 技术及其在 5G 承载网中的应用探析[J]. 邮电设计技术, 2020(3): 80–85.
- [7] 王鑫, 韩振东, 严斌峰. 基于安全隔离度的 5G 专网部署

(下转第 19 页)

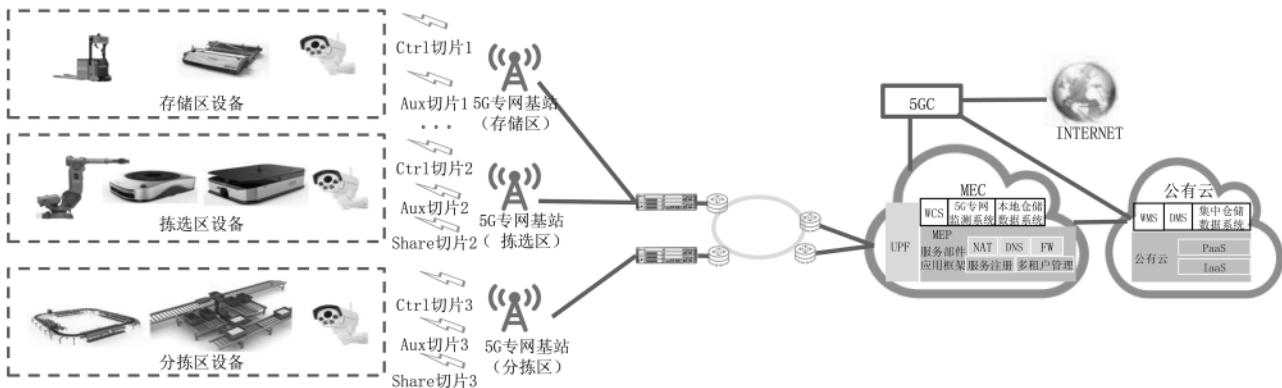


图 4 基于 5G 私网的物流智能仓储架构图

向,加强 5G 在仓库等场所的应用创新,推动 5G 在智能分拣、无人仓储等场景应用落地,推进端边云协同的物流自动化智能装备和基础设施建设,助力物流行业实现智能仓储。根据全球物流行业发展的最新趋势,无人仓储、云仓等创新模式已成为重要方向,同时新冠疫情防控也推动了仓储作业的少人化、无人化和冷链产品的溯源需求。5G 作为构建数字物流基础设施的关键技术之一,将与大数据、人工智能、区块链等技术深度融合,推动物流仓储的智慧化升级和创新。

参考文献

- [1] 李彦林.解读《国家物流枢纽布局和建设规划》[J].物流时代,2019(2):36–39.
- [2] 王媛媛.智能化仓储的发展启示[J].中国邮政,2017(3):56–59.
- [3] 尤肖虎,潘志文,高西奇,等.5G 移动通信发展趋势与若干关键技术[J].中国科学:信息科学,2014,44(5):551–563.
- [4] 尤肖虎,张川,谈晓思,等.基于 AI 的 5G 技术——研究方向与范例[J].中国科学:信息科学,2018,48(12):1589–1602.
- [5] 赵亚军,郁光辉,徐汉青.6G 移动通信网络:愿景,挑战与关键技术[J].中国科学 F 辑,2019,49(8):963–987.
- [6] 王响雷.5G 时代的智慧物流发展与物流技术变革[J].物流技术与应用,2021,26(6):90–94.
- [7] 王坤,张皓琨,荆彦明.我国物流仓储装备产业发展趋势[J].起重运输机械,2018(2):59–64,101.

(上接第 15 页)

- 模式[J].移动通信,2020,44(1):44–47.
- [8] 陈斌,陈武军,樊忠文,等.5G+MEC 私网智能制造工厂[J].通信技术,2021,54(1):215–223.
- [9] 赵远,辛冰,马洪源,等.边缘计算商业模式及落地部署关键方案[J].电信科学,2020,36(9):160–171.

(收稿日期:2021-07-16)

- [8] 梁睿.“智能物流”助力我国物流装备行业转型升级[J].起重运输机械,2017(11):43.
- [9] 中国电信,京东物流.5G 赋能未来物流[Z].2020.
- [10] 中国物流与采购联合会,苏宁物流,江苏移动,等.5G 智慧物流创新示范白皮书[Z].2020.
- [11] 董石磊,赵婧博,黄鹏.物流智能仓储的 5G 私网性能[J].电信科学,2021,37(9):153–158.
- [12] 沈云,丁鹏,薛裕颖,等.基于 5G 边云协同的柔性智能制造技术方案[J].移动通信,2021,45(2):18–23.
- [13] 吴吉义,李文娟,曹健,等.智能物联网 AIoT 研究综述[J].电信科学,2021,37(8):1–17.
- [14] SONG Y,YU F,ZHOU L,et al.Applications of the Internet of Things(IoT) in smart logistics:a comprehensive survey[J].IEEE Internet of Things Journal,2020,8(6):4250–4274.
- [15] 肖子玉,吕红卫,赵存,等.面向垂直行业的 5G 网络规划设计方法论及产品化解决方案[J].电信科学,2021,37(6):143–149.

(收稿日期:2021-10-15)

作者简介:

赵婧博(1981-),女,硕士,工程师,主要研究方向:5G 私网的关键技术。

乔亚娟(1997-),女,硕士,助理工程师,主要研究方向:5G 私网。

张学智(1983-),男,硕士,工程师,主要研究方向:5G 在垂直行业的技术与应用创新。



扫码下载电子文档

作者简介:

叶会标(1973-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:5G 通信技术应用。

沈国强(1965-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:5G 技术的功能性。

樊忠文(1992-),男,硕士,主要研究方向:5G 通信技术优化与进展。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所