

5G 行业专网应用研究进展

刘海鹏, 周淑秋*

中国劳动关系学院应用技术学院, 北京 100048

摘要 梳理了国内外5G行业专网相关规范、标准及政策,列举了国外专网服务主要提供方式和平台、国内典型行业应用案例及解决方案;综述了组网方式、频谱策略、安全保障、运行维护4个领域的应用现状、代表性研究成果;阐述了网络切片、多接入边缘计算、增强上行、精准定位等主要关键技术原理及其在专网中应用现状,对主要潜在技术前景进行了前瞻;指出了面临的困难挑战,展望了未来的发展趋势,并给出了后续发展建议。

关键词 5G;行业专网;工业互联网;网络切片;多接入边缘计算;增强上行;数字化转型

现阶段企业专网多以有线以太网、无线 Wi-Fi、虚拟专网(virtual private network, VPN)等技术为主。有线以太网移动和协同性差、布线困难;无线 Wi-Fi 具有无线访问节点(access point, AP)间切换时延大、信号不够稳定、终端连接数量有限、同频干扰等问题。上述技术不能满足具有明显差异化特征的企业数字化转型需求。作为新基建基础的移动通信5G技术具有增强移动宽带(enhanced mobile broadband, eMBB)、高可靠低时延通信(ultra-reliable and low latency communication, uRLLC)、海量机器类通信(massive machine type communication, mMTC)三大基本特征,作为5G+工业互联网^[1]的典型用例,5G行业专网被视为赋能千行百业、促

进企业信息化、数字化、智能化转型的锚点,同时又是实现5G发展重点从民用消费互联网领域转向以降本增效、安全生产为主要追求目标的产业互联网领域的关键举措。5G行业专网是基于5G SA(standalone)网络为垂直行业打造的可柔性定制、安全可控、专属化的技术、网络和服务体系^[2],被视为夯实企业数字化转型的“基石”和“底座”,是企业加速实现OT(operation technology, 运营技术)+IT(information technology, 信息技术)+CT(communication technology, 通信技术)扁平化网络架构目标的重要抓手。5G行业专网日益引起学术界、产业界以及电信运营商、设备提供商、系统集成商及各行业龙头企业的极大关注。

收稿日期:2022-05-21;修回日期:2022-08-31

基金项目:中国劳动关系学院科研一般项目(22XYJS025);教育部第二批新工科研究与实践项目(E-XTYR20200608)

作者简介:刘海鹏,讲师,研究方向为移动通信技术及其在工业互联网、安全生产中的应用,电子信箱:huipuliu@163.com;周淑秋(通信作者),教授,研究方向为计算机仿真和虚拟现实技术,电子信箱:zhoushuqiu@126.com

引用格式:刘海鹏,周淑秋. 5G行业专网应用研究进展[J]. 科技导报, 2022, 40(23): 97-105; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2022.23.013

以下将从5G行业专网国内外相关标准政策、平台案例、设计运营(组网方式/频谱策略/安全保障/运行维护)、关键技术以及发展建议等方面进行分析。

1 标准政策

1.1 规范标准

2019年冻结的5G首版规范3GPP Release 15(R15)重点提供了对eMBB属性的支持,为后续5G行业专网建设奠定了坚实基础。2020年6月冻结的R16首次对非公共网络(non-public network, NPN)做出明确定义,NPN^[9]意指专门为特定用户/组织提供定制服务的ToB(to business)网络,区别于电信运营商为广大普通消费者提供日常电信服务的ToC(to consumer/customer)公网。3GPP根据专网部署的架构差异,在R16中同时定义了2种类型的非公共网络——独立专网(standalone NPN, SNPN)和集成于公网的专网(public network integrated NPN, PNI-NPN),为后续专网种类划分指明了方向。R16还对uRLLC属性进行了增强支持,对基于5G新空口的时间敏感网络TSN(time sensitive network) over 5G NR(new radio)、5G局域网LAN(local area network)、上行链路调度、精确时间同步等专网领域关键技术进行了明确定义和说明,使专网从仅能够满足高带宽和部分低时延场景的初级需求向更高目标迈出关键一步。3GPP R17已于2022年6月冻结,更多关键及增强技术、行业融合应用场景已被涵盖,5G三大特征的巨大潜力必将持续释放。

其他行业标准组织如国际电工协会(International Electrotechnical Commission, IEC)、工业互联网与自动化5G联盟(5G Alliance for Connected Indus-

tries and Automation, 5G-ACIA)、5G汽车协会(Automotive Association, 5GAA)等也在3GPP、ITU、GSMA、IEEE等国际标准组织制定的相关规范指导下,积极开展5G行业专网相关技术标准和应用规范的制定实施工作。

1.2 政策导向

2019年11月,工业和信息化部(工信部)办公厅印发《“5G+工业互联网”512工程推进方案》,目标是:打造5个产业公共服务平台,构建创新载体和公共服务能力;加快垂直领域“5G+工业互联网”的先导应用,内网建设改造覆盖10个重点行业;打造一批“5G+工业互联网”内网建设改造标杆、样板工程,形成至少20大典型工业应用场景。此方案成为国内企业展开大规模5G行业专网建设的标志性起点。随着5G技术的不断成熟和R16的冻结,2020年下半年,国内三大运营商相继推出与5G专网相关的白皮书、手册或产品,开始布局5G行业专网市场。2020年12月,工信部印发《工业互联网创新发展行动计划(2021—2023年)》,要求探索5G专网建设及运营模式,规划5G工业互联网专用频率,明确提出开展工业5G专网试点是未来3年工作的重点,为专网下一步发展指明了方向。2021年7月,工信部等10部门印发《5G应用“扬帆”行动计划(2021—2023年)》,目标是到2023年,建成超过3000张5G行业虚拟专网。2022年3月5日,李克强总理在政府工作报告中明确指出,要促进数字经济发展,建设数字信息基础设施,推进5G规模化应用,促进产业数字化转型,加快发展工业互联网,提升关键软硬件技术创新和供给能力,上述文件如表1所示。系列相关政策文件出台,明确了未来几年国内5G行业市场的发展方向,为5G行业专网融入千行百业铺平了道路。

表1 5G行业专网主要相关政策文件

时间	部门	文件
2019年11月	工信部	《“5G+工业互联网”512工程推进方案》
2020年12月	工信部	《工业互联网创新发展行动计划(2021—2023年)》
2021年7月	工信部等10部门	《5G应用“扬帆”行动计划(2021—2023年)》
2022年3月	国务院	《政府工作报告》

2 平台案例

国外,5G行业专网在美国、德国、日本等科技发达国家都已经有了规模化应用。同国内以三大电信运营商为引领角色不同,国外的云服务商和设备提供商都深度参与甚至主导5G行业专网建设。以AWS、Azure、Google Cloud等为代表的云服务商向以Verizon、Vodafone、Telefonica Germany、Swisscom等为代表的电信运营商提供了可以支持多接入边缘计算(multi-access edge computing, MEC) App灵活开放部署的IT底座平台产品(Outposts、Amazon Wavelength等)用于专网建设,AWS还推出了完全云化的独立5G专网产品AWS private 5G。以Ericsson、NEC、Nokia、西门子等为代表的设备供应商将5G网络模块(5G vCore、5G vRAN、MEC)部署于云服务商或者自由云平台,也可以提供独立的5G专网方案和服务。

国内在工业生产、矿山、电力、钢铁、港口、医疗、政务、教育、航空、园区、物流仓储等多个国民经济的重要行业和有关领域都有成功应用案例,例如:智慧矿山^[4]5G矿山专网结合工业万兆环网,实现智能采矿、高清监控、远程指导等操作,极大提升了矿山智能化、少人/无人化程度;华菱湘钢5G钢铁专网的加渣机器人、远控天车等应用,显著改善了作业环境,提高了企业安全生产水平^[5-6]。另外,政企专网^[7]、电力专网^[8-9]、铁路专网(5G-R)^[10]、物流

仓储专网^[11]、各类制造业园区专网^[12]、5G全连接智慧工厂等多个具备较强复制推广和应用示范价值的案例均已经成功部署实施。根据《通信信息报》2022年1月5日报道,截至2021年11月,中国5G行业专网已经建成超过2300张,为实现紧扣行业领域特点需求、挖掘更多应用场景、由ToB通用网络向各行业定制化专网稳步迈进的目标奠定了坚实基础。

3 设计运营

3.1 组网方式

根据与面向普通消费者的电信运营商公网(public land mobile network, PLMN)之间关联程度不同,将5G行业专网组网方式划分为3类^[13-16],如图1^[15]所示。

第一类专网与PLMN完全共用,包括接入网、承载网、核心网的底层硬件基础设施,通过服务质量(quality of service, QoS)、网络切片(network slice, NS)、软件定义网络(software defined network, SDN)、网络功能虚拟化(network function virtualization, NFV)等技术基于企业用户差异化需求,构造逻辑上独立、隔离保障的虚拟专网。此类专网具有节约成本、部署便捷、服务范围广等特点,以中国移动的“优享”、中国联通的虚拟专网、中国电信的致远方案为代表(图1(a))。

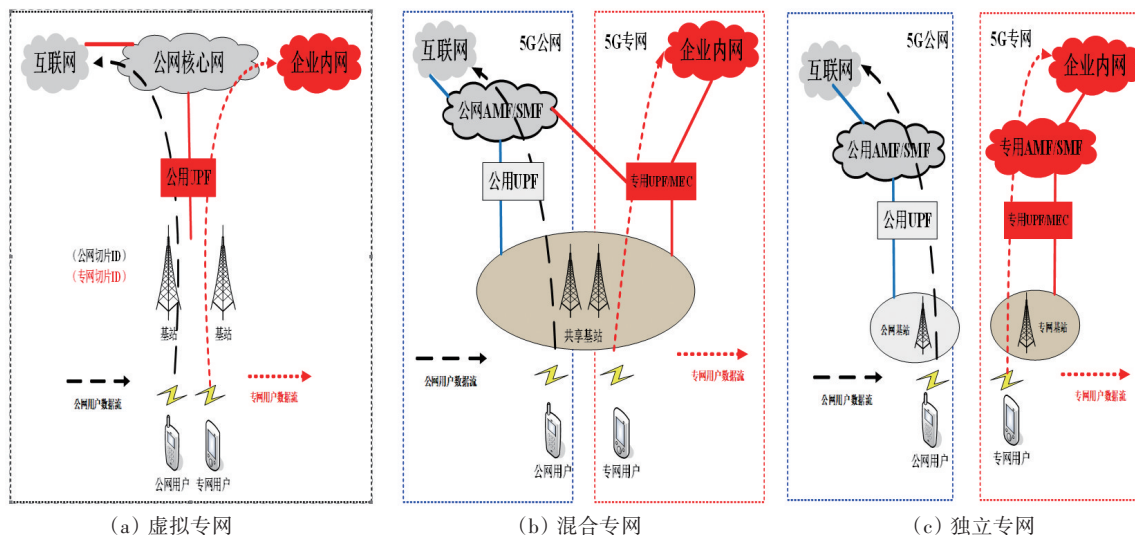


图1 5G行业专网组网方式划分

第二类专网中核心网部分用户面网元(如用户面功能(user plane function, UPF)/MEC)会下沉至企业内部,其他控制面网元(如接入和移动性管理功能(access and mobility management function, AMF)/会话管理功能(session management function, SMF)/统一数据管理功能(unified data management, UDM)等)以及5G基站与PLMN共享使用。此类专网具有数据不出园区、超低时延、上下行带宽增强等特点,以中国移动的“专享”、中国联通的混合专网、中国电信的比邻方案为代表(图1(b))。

第三类专网指企业拥有完全独立的接入、承载、核心网设备以及业务终端,专网与外界完全物理隔离,除具备以上2类专网的全部优点外,还具有灵活的自服务功能和极强的安全保障。代表方案包括中国移动的“尊享”、中国联通的独立专网、中国电信的如翼方案(图1(c))。

目前针对专网组网方式的研究主要集中在网元部署方式及功能定制化方面。周旻等^[17]基于不同企业差异化需求场景,提出了5种高可靠性核心网网元组合部署方案,解决了专网基站/UPF同运营商大网失联的连接保障问题;为满足教育、政务、文旅等行业客户同时访问内网及互联网等类似2B2C双域融合专网场景的需求,赵际洲等^[18]设计出了DNN方案和ULCL方案2种网元部署模式;针对抢险救灾、农业作业、演艺服务、现有专网扩容等地域性和地域性较强的行业领域需求,余海波等^[19]对核心网网元进行了定制化裁剪、轻量化设计等适配性操作,设计出可移动、可重组、投资少、可重复利用的移动专网。提供基于功能定制、性能裁剪、云化部署、一体化部署等特性的轻量级定制核心网的行业专网方案是未来组网方式的主攻方向。

3.2 频谱策略

对于移动通信技术,频谱是宝贵稀缺的核心资源,频谱策略很大程度上决定着产业发展节奏及前景。在国外,对企业专网进行专用频谱授权已经被广泛使用。德国和日本行业企业信息化水平要求较高,但是其国内电信运营商5G网络建设速度相对较慢,很多企业已经获得专用频段用于专网建设。德国在2019年11月和2021年2月分别为企业

预留了3.7~3.8 GHz和24.25~27.5 GHz 2个5G专网频段,奥迪、宝马、西门子、博世、巴斯夫等多家工业巨头均已申请和获批5G专网频谱。截至2021年12月15日,德国联邦网络管理局已经批准179家企业的专网频率申请。自2020年初以来,日本已经开放4.7和28 GHz 2个频段为专网授权频谱。截至目前,已有至少包括日立、东芝、丰田、NEC、富士通、NTT Com、东京都、国土交通省、东京大学等上百家机构获批使用。美国、英国、韩国等多个国家均已经为行业企业授权或者预留了专网频段。

2019年6月6日,工信部向中国移动、中国联通、中国电信及广电网络颁发了5G商用牌照。将2.515~2.675 GHz和4.8~4.9 GHz 2个频段授权给中国移动,3.5~3.6 GHz频段授权给中国联通,3.4~3.5 GHz频段授权给中国电信,广电网络则得到700 MHz频段。2020年2月10日,工信部又向中国联通、中国电信及广电网络颁发了5G室内运营牌照,并规定3家运营商在全国范围共同使用3.3~3.4 GHz频段,用于进行5G室内覆盖。中国目前对行业专网并没有分配单独频谱,总体上行业对是否向专网赋予专用频谱持观望姿态。

在前几代移动通信技术升级过程中,频谱占用是逐渐向更高频段演进的。受电磁波波长及衍射能力变化影响,低频段频谱信号对障碍物穿透性相对较强,基站间距离相对较大,可以节约网络部署成本,但是缺乏连续大带宽频段;高频段频谱信号虽然不乏大带宽频段,但是由于频率升高,波长变小,衍射能力降低,为保证覆盖效果,导致单位面积内基站数量增加,建网成本提高。预计5G频谱从R15/R16支持的52.6 GHz的毫米波频谱将会一直延伸到100 GHz附近乃至太赫兹范围,如何保障高频通信下的信号覆盖率、实现移动信号无缝切换是实现行业低碳发展、保障用户服务满意度所面临的最大挑战。

3.3 安全保障

在专网运行过程中,如何保障内部数据不被恶意篡改和窃取、设备不被定位跟踪、非法设备不能接入等是需要重点关注的问题。5G虽然相比4G在认证框架、服务域安全等方面有所增强,但仍然

沿袭以 QoS、软硬切片等系列技术为代表的 3GPP 策略思路,在以下环节存在先天不足:采用非国产加密算法,存在被留后门可能;终端漫游切换时,用户标识国际移动用户识别码(international mobile subscriber identity, IMSI)有可能被拜访域访问或者恶意冒充;MEC 开放接口的引入^[20]以及 UPF 下沉导致的接口数据暴露问题等。

为解决上述问题,邱勤等^[21]通过构建专用 SIM 卡、隐藏真实用户永久标识符(subscription permanent identifier, SUPI)、二次认证灵活定制等方式对核心网控制面进行了一定程度的改进;通过引入国家主管部门审批的自有加密算法对数据面端到端传输进行了增强;通过双域管理实现了终端数据有效隔离和安全提升。麦欢怡等^[6]通过对终端采用企业 AAA 服务器二次认证、数据面管道 IPSec 加密、云安全服务下发、UPF/MEC 数据阻断/微隔离、绑定 DNN/构建 DMZ 等方式实现了钢铁专网安全保障增强。吴忠平等^[22]将量子保密通信算法引入电力配网硬切片专网中,采用量子密钥分发和硬切片配合的方式,极大提升了配电网数据传输的安全级别。王俊等^[23]以自建核心网归属域协同部署增强 USIM 卡、专用 UDM 网元等第三方安全增强相结合的方式规避国外加密算法的后门隐患,实现了控制面、用户面、管理面安全增益一定程度的提升和保障。王梦晓等^[24]通过使用终端全球唯一标识(globally unique temporary UE identity, GUTI)/TMSI 替代 IMSI,支持 UE 终端初始接入时使用加密的用户隐藏标识(subscription concealed identifier, SUCI)、多重鉴权认证、引入白名单用户等方式增强专网安全保障。

伴随后续大量垂直行业差异化需求的引入以及更多核心网功能及算力的下沉,专网安全问题只会愈发严峻,距离实现可信内生安全、主动智能防御的安全专网目标面临艰巨挑战。

3.4 运行维护

5G 行业专网关联众多垂直行业,运维需求差异巨大。相对 ToC 组网模式,以 ToB 为主的组网架构更加灵活多变,导致专网监管范围和职责都发生很大变化。例如 MEC/UPF 下沉、网络切片及第三方加密算法的引入都需要指定端到端、定制化的运

维策略来保证业务全周期可管可控。钟橙对如何构建一套强有力、端到端的 5G 行业专网运维保障体系进行了比较详尽的阐述,但是缺少对专网自服务、自运维方面的支持和扩展^[25]。朱红绿等^[26]设计了一种虚拟专网自服务方案,通过在专网北向提供标准化 API 接口,实现对网络、设备、安全等方面能力的自动化运维,具备了统一视图管理、自主开卡激活、资源实时保障的能力,但是缺少对承载和交换设备管理的支持以及可大规模复制的能力。

随着更多垂直行业需求不断涌现以及对更多个性化生产场景的挖掘,5G 核心网功能必将愈加向边缘下沉,愈发难以形成统一的安全运维模式,专网运维面临更大挑战。距离打造具备“自配置、自修复、自优化、自决策、自演进”的全自治能力专网和实现不同专网间的自主跨域协同运维的目标任重道远。

4 关键技术

5G 行业专网是最新移动通信技术在垂直行业的落地应用,需要将诸多 5G 原生特征根据各行业差异化需求进行深度定制与融合。以下对 5G 代表性关键技术及其在专网领域应用现状进行论述,并对专网领域主要潜在技术及其应用前景进行分析和研判。

1) 网络切片(NS)技术。

以 SDN 和 NFV 技术为基础,网络切片技术是指基于底层相同基础网络设施映射出满足不同业务需求水平(service level agreement, SLA)的多张虚拟逻辑网络,每张虚拟网络对应一个切片,进一步又根据资源预留和优先级调度方式不同划分为软切片和硬切片 2 类。以 ID+5QI 以及 QoS 的优先级调度为基础划分的切片通常称为软切片;以物理资源模块(physical resource block, PRB)无线资源预留为主要划分方式的则称为硬切片。软硬切片两种方法各有优缺点,硬切片通常对高优先级业务需求保障力度更大一些,其代价是会产生资源利用率一定程度的损耗。在文献[22]中,为保障电力配网业务安全以及生产控制和管理信息大区业务之

间的隔离,在硬切片中引入FlexE技术,实现数据链路层和物理层的解耦。由于垂直行业需求差异化明显,如何提升预留资源实时利用效率、切片间隔离的安全性保障将是后续一段时期行业研究热点。

2) 多接入边缘计算(MEC)技术。

计算能力被认为是数字经济时代拉动经济增长的核心引擎,算力向网络边缘下沉也成为提升计算效率、降低能耗水平的关键举措。已经被吸纳为5G原生特征的MEC技术核心思想是在距离业务请求更近的网络边缘节点完成任务计算、数据存储和转发。在行业专网内部把具有用户面功能的UPF节点下沉至网络边缘同专门的MEC节点配合使用,最大化降低承载网数据流量、分担核心网处理压力、减小业务处理时延。在文献[27]中,建立了基于业务需求的矿山网络计算树模型,提出了一种智慧矿山网络MEC部署模型,为现有矿山网络智慧化改造及后续矿山网络算力提升指明了方向。基于章鱼仿生学的分布式算力部署策略及边缘计算节点间负载均衡将会成为持续关注焦点。

3) 增强上行技术。

在电信运营商面向普通消费者的ToC网络中,下行带宽需求通常是要远远高于上行需求的。而在行业专网中则会存在诸多差异甚至完全相反的需求场景,例如矿山专网中需要把井下大量的视频监控数据以及各类传感器采集到的井下实时状态数据及时回传到井上,上行带宽需求远大于下行带宽需求。为实现上行带宽、上行容量和峰值速率增强的目的,常采用的方法包括调整帧结构时隙配比和上行载波聚合2种方法。调整帧结构时隙配比就是对帧结构设计进行定制化调整,增大上行时隙所占比例,同时降低下行时隙所占比例,如3U(Up)1D(Down)帧结构可实现单用户最高760 Mbps上行峰值速率^[4];上行载波聚合方式则是将一路时分双工(time division duplexing, TDD)中频段载波和一路频分双工(frequency division duplexing, FDD)低频段载波实现时频双聚合,不仅实现了上行吞吐量的增益增强,而且由于引入了低频段载波,使得上行传输的覆盖增益也同时得到了一定程度的增强。另外,多频协同组网以及补充上行(supple-

mentary uplink, SUL)等方法也可以作为增强上行的补充手段。大规模多输入多输出(multiple input multiple output, MIMO)和通感一体化传输被视为未来可能会为增强上行提供更多解决方案的2个潜在技术。

4) 精准定位技术。

精准定位技术可以在任何时间、任何地点为用户提供基于定位信息的地理信息服务,对于满足生产指挥调度、节约网建成本具有重要意义。通常情况下,行业专网采用的定位技术主要包括北斗、GPS、5G基站、WiFi-AP、蓝牙、超宽带(ultra wide band, UWB)、射频指纹算法^[28]等方式。专网内室外定位可以选用以上若干技术的结合,技术难度不大。室内及井下由于无法有效应用卫星定位技术,采用的技术以后几类为主。Wi-Fi及蓝牙抗干扰能力较差,并且在目标移动场景下切换延迟较大。UWB和射频指纹算法也都具有各自应用局限性。5G基站定位核心技术思想主要是基于对终端的射频信号特征参数实时测量,调用相应定位解算核心算法并且与其他定位算法动态库协同,对目标终端所处的精确地理位置进行解算。与其他技术相比,5G定位具有穿透力强、抗干扰强、室内外通用等优势。按照3GPP R16的要求,5G室内定位能力应该达到室内3 m@80%的精度。目前,井下环境可以达到5 m的定位精度^[4]。北京联通协同华为通过5G室内小站LampSite+MEC+融合定位引擎的方案,利用上行达到时间差(uplink time difference of arrival, UTD OA)算法实现了室内2~3 m@90%的定位精度。在刚刚冻结的3GPP R17标准中室内定位精度、定位速度、连接密度、终端电池续航等方面的能力也得到了持续提升,5G-Advanced和6G时代的目标则是实现室内厘米级高精度定位。

5) 潜在技术。

关于行业专网领域潜在技术的研究主要集中在高频载波、通感融合、虚实一体、人工智能(artificial intelligence, AI)原生化等方面。5G-Advanced以及6G时代将继续向更高频谱迈进,毫米波和太赫兹将会成为主角。太赫兹频段具有非电离、非入侵和光谱指纹识别能力,尤其在医疗、工业、食品质

量和环境感知等领域的应用前景十分看好。为进一步降低资源浪费、提升频谱效率,通信与感知两者的功能融合成为必然。通感一体化网络中,资源利用率更高,通信性能更优,感知更加高效,功耗更小,针对行业专网中对感知的超高精细度要求,超低时延要求具有非常意义^[29]。“灵”作为6G网络中在虚拟世界里人类意识的智能代理,可以部署于专网中更加需要对各类突发事件做出实时、快速反馈干预的场景,从而利用其自主学习积累的感觉、心理、意念、情感、规则等要素,对各种复杂危险状况快速及时做出最优决策^[30]。文献[31]探讨和分析了自适应优化AI算法、意图驱动的网络织造等AI在5G行业专网中的使能技术,为后续行业专网的智能化升级提供了可行思路。另外,TSN、非陆地网络(non-terrestrial networks, NTN)、Wi-Fi7^[32]、数字孪生、工业元宇宙^[33]等技术进展将时刻对行业专网产生积极影响。

5 建议

5G行业专网虽然取得了一定应用和研究成果,但是由于频谱策略以及后续发展方向还不够清晰,工业网关模组、5G芯片和终端产业化能力仍然不足,实现低碳绿色发展极具挑战,以上因素都导致了专网与千行百业真正深度融合距离尚远,决定了行业专网必将经历一个螺旋式演进的过程^[2]。为了加强战略引领、促进质量提升,学习和汲取发达国家行业专网成功经验及教训,对中国行业专网后续发展提出如下建议。

1) 决策监管层面。(1) 参考国外云服务商、设备提供商提供部分或者完全专网服务的成功案例,中国也可以适当考虑允许利用和整合云服务商、设备提供商的技术资金优势,同电信运营商配合协作,在组网和服务模式方面为企业用户提供更多选择的可行性。(2) 鉴于德国、日本、韩国等发达国家对企业专网频谱授权的成功实施,建议尽早对中国专网专频必要性、可行性和具体实践模式进行充分调研和趋势研判,加快细化相关许可模式和管理规则。可以考虑允许部分区域、部分重点行业先行先

试。(3) 基于对5G行业专网关键技术及潜在技术发展趋势的分析研判,建议尽快对R16、R17、R18中新技术引进专网乃至整个专网未来演进路线及时间表制定详细规划。

2) 技术研发层面。(1) 为实现可信内生安全、主动智能防御的全自治能力专网目标,在安全是第一生产要素思想引领下,扎实推进专网安全和自动化运维的技术研发及资金投入。(2) 为更加深入挖掘5G技术在行业专网中应用的巨大潜能,应该继续加大关键及潜在技术研发投入,重点加强芯片、网关、模组、客户前置设备(customer premise equipment, CPE)、无线摄像头、自动导引运输车(automated guided vehicle, AGV)、小基站、定制核心网等技术攻关,向R16和R17规范靠拢。(3) 为配合实现双碳目标、助力行业企业可持续发展,务必加强对基站终端节能降耗方面重视,加速低能耗器件、智能能效提升领域研发,实现专网低碳运转。(4) 在国内已经实现的5G全连接工厂、先导区的示范下,进一步深度挖掘更多典型行业应用场景,覆盖更多主要生产环节,提高柔性生产效率,打造更多可推广复制、具有辐射拉动效应的行业标杆和样板。

6 结论

作为最新移动通信技术赋能工业互联网的锚点,5G行业专网已经成为助力工业柔性化生产变革、促进数智化转型、加速数字经济飞速发展的重要引擎。在国际标准领域,以TSN、精确时间同步等技术为代表的增强及新技术不断引入专网,持续推动移动通信技术与垂直行业发展深度融合;区别于国外以云服务商和设备提供商深度参与专网建设模式,当前国内三大电信运营商引领下的专网建设无论在质量还是数量方面,在国民经济各个行业领域都收获了巨大成功,为后续更多应用场景的深度定制化、规模化拓展奠定了坚实基础;在组网方式、频谱策略、安全保障、运行维护研究及应用方面,都取得了相当的研究成果,同时由于对行业生产需求的深度挖掘,无论是决策监管还是技术研发

创新方面,未来都会面临更加严峻的挑战;通过对当前专网关键技术及未来潜在技术分析,明确了后续技术演进趋势及路线,同时指出了当前需要重点发力的关键技术领域和方向。上述研究不仅对于企业制定切实可行的5G行业专网发展策略提供重要依据,同时为监管部门拟定5G行业专网后续规划路线提供重要参考及借鉴,为更好促进最新移动通信技术与垂直行业深度融合、加快数字经济助力国民经济发展添砖加瓦。

参考文献(References)

- [1] 付宇涵,王丹,柴雯,等.中国工业互联网发展历程与展望[J].科技导报,2021,39(12):116-120.
- [2] 中国通信学会.5G专网前沿报告(2021年)[R].北京:中国通信学会,2022.
- [3] 蒋峥,刘胜楠,田树一,等.5G非公共网络技术分析[J].移动通信,2020,44(4):12-18.
- [4] 中兴通信.5G智慧矿山网络解决方案白皮书[EB/OL].[2021-09-10].https://res-www.zte.com.cn/mediares/zte/Files/PDF/white_book/202010140913.
- [5] 文华.5G+智慧钢铁解决方案助力华菱湘钢转型升级[J].通信世界,2021(2):48.
- [6] 麦欢怡,黄晓弟.5G智慧钢铁专网的安全分析与策略研究[J].电信快报,2022(1):18-20.
- [7] 张冬青,何志贤.面向垂直行业的广电5G政企管控专网建设研究[J].广播电视信息,2021,28(9):70-74.
- [8] 邱兰馨,王彦波,卢杉,等.基于5G电力虚拟专网的秒级可中断负荷快速响应系统[J].电力信息与通信技术,2021,19(9):51-56.
- [9] 王甜甜,杨鸿珍,毛秀伟,等.基于5G电力虚拟专网的电力业务典型应用[J].电力信息与通信技术,2021,19(9):38-44.
- [10] 刘寅生,孙宵芳,胡光祥,等.MIMO技术演进及其在铁路5G专网应用展望[J].中国铁路,2021(10):93-99.
- [11] 董石磊,赵婧博,黄鹏.物流智能仓储的5G专网性能[J].电信科学,2021,37(9):153-158.
- [12] 刘佳,石红晓,钱华.工业互联网5G核心专网部署模式及方案探索[J].电信快报,2021(10):40-43.
- [13] 5G ACIA.5G Non-Public Networks for Industrial Scenarios White Paper[EB/OL].[2021-11-24].<https://5g-acia.org/resources/whitepapers-deliverables/>.
- [14] 中国移动.中国移动5G行业专网技术白皮书[EB/OL].[2021-09-10].<https://wenku.baidu.com/view/6bf2cb6ea-01614791711cc7931b765ce04087a19.html>.
- [15] 中国联通.中国联通5G行业专网白皮书[EB/OL].[2021-09-10].https://wenku.baidu.com/view/b7a50a88a-4c30c22590102020740be1e640ecc13.html?fr=income1-wk_app_search_ctr-search.
- [16] 中国电信.中国电信5G定制网产品手册[EB/OL].[2021-09-10].https://wenku.baidu.com/view/a941071f7-20abb68a98271fe910ef12d2bf9a976.html?fr=income1wk_app_search_ctr-search.
- [17] 周畅,吕艳芳,傅俊锋,等.5G专网核心网高可靠组网设计与研究[J].邮电设计技术,2021(9):977-981.
- [18] 赵际洲,周欣,谷群,等.5G双域专网解决方案浅析[J].移动通信,2022,46(1):20-26.
- [19] 余海波,金志坚,秦二民.5G移动专网技术方案探讨[C]//推动网络演进 促进应用创新——5G网络创新研讨会(2021)论文集.北京:中国电子科技集团公司第七研究所《移动通信》杂志社,2021:346-350.
- [20] 邢冰冰,梁冰,路冬星,等.面向垂直行业的5G专网网络安全部署方案[C]//推动网络演进 促进应用创新——5G网络创新研讨会(2021)论文集.北京:中国电子科技集团公司第七研究所《移动通信》杂志社,2021,10:263-266.
- [21] 邱勤,张峰,何明,等.5G行业专网安全技术研究与应用[J].保密科学技术,2021(4):41-46.
- [22] 吴忠平,王路杰,许佳诺,等.基于量子保密通信及5G硬切片专网的配网应用研究[J].电信科学,2022,38(1):159-169.
- [23] 王俊,田永春.一种面向关键行业应用的广域5G安全专网设计[J].中国电子科学研究院学报,2021,16(10):964-972.
- [24] 王梦晓,方琰崴.5G ToB行业专网建设方案和关键技术[J].移动通信,2021,45(2):48-52.
- [25] 钟橙.5G行业应用专网的运维方案浅析[J].数据通信,2021(6):21-23.
- [26] 朱红绿,孙丽楠.5G行业虚拟专网自服务方案研究[J].电子技术应用,2021,47(11):6-10.
- [27] 刘海鹏,周淑秋.多接入边缘计算在智慧矿山网络中应用分析[J].工矿自动化,2022,48(3):26-31.
- [28] 张平,陈昊.面向5G的定位技术研究综述[J].北京邮电大学学报,2018,41(5):1-12.
- [29] 童文,朱佩英.6G无线通信新征程:跨越人联、物联,迈向万物智联[M].北京:机械工业出版社,2021.
- [30] 张平,李文璟,牛凯,等.6G需求与愿景[M].北京:人民邮电出版社,2021.
- [31] 牛娇红,方琰崴,何伟,等.AI在5G行业专网的应用场景和使能技术[J].移动通信,2022,46(2):61-66.

[32] 高通. 以 Wi-Fi 7 突破 Wi-Fi 性能极限[EB/OL]. [2022-02-15]. https://mp.weixin.qq.com/s/_8sHgsoGgssUleA8T-tlwCg.

[33] 李正海. 工业元宇宙白皮书(2022年)[EB/OL]. [2022-03-04]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=172633913978-8438124&wfr=spider&for=pc>.

Advances of research and application of 5G industry private network

LIU Haipeng, ZHOU Shuqiu*

School of Applied Technology, China University of Labor Relations, Beijing 100048, China

Abstract 5G industrial private network is the anchor point to meet the differentiated needs of enterprises and enable thousands of industries, and is the important grasp in helping enterprises realize informatization, digitization and intelligent transformation. In this article, the domestic and abroad specifications and policies of 5G industry private network are sorted out; the main modes and platforms of foreign private network services, application cases and solutions of typical domestic industries are also listed. The application status and representative research outcomes in the four fields of networking mode, spectrum strategy, security guarantee, and operation/ maintenance are summarized and analyzed. Network slicing, multi-access edge computing, enhanced uplink, precise positioning, as well as several potential technologies are elaborated and looked forward separately. The difficulties and challenges faced are pointed out, the future development trend is prospected, and suggestions for follow-up action are given.

Keywords 5G; industrial private network; industrial internet; network slicing; multi-access edge computing; enhanced uplink; digital transformation ●



(责任编辑 傅雪)