



研究与开发

5G 行业无线专网技术与业务需求模型

张学智, 赵婧博, 赵慧杰

(中国电信股份有限公司研究院, 北京 102209)

摘 要: 5G 行业无线专网已成为运营商基于 5G 技术赋能垂直行业的最重要产品服务之一。虚拟化、多接入边缘计算、网络切片等技术的逐渐成熟为 5G 行业无线专网的发展提供了关键技术保障。介绍了 5G 行业无线专网的发展现状、关键技术、需求模型、面临挑战和发展建议。对 5G 行业无线专网的概念和分类进行归纳, 对实现 5G 行业无线专网的关键技术进行分析, 并针对业务需求模型提出了设计思路和主要参考指标, 最后对运营商开展 5G 行业无线专网类业务当前面临的挑战进行了总结并给出发展建议。

关键词: 专网; 网络切片; 虚拟化; MEC

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021194

5G industry wireless private network technology and business requirement model

ZHANG Xuezhi, ZHAO Jingbo, ZHAO Huijie

Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Beijing 102209, China

Abstract: 5G industry wireless private network has become one of the most important services for operators enabling the vertical industry. The gradual maturity of virtualization, multi-access edge computing, network slicing and other technologies have provided a key technical guarantee for the development of 5G industry wireless private network. The development status, key technology, requirement model, challenges and development recommendations of 5G industry wireless private network were introduced. The concept and classification of 5G industry wireless private network were introduced, the key technologies were generalized, and the design ideas and the main reference index were put forward aiming at business requirement. Finally, the challenges faced by operators when developing 5G wireless private network services were summarized and development suggestions were given.

Key words: private network, network slicing, virtualization, MEC

1 引言

5G 行业无线专网已成为运营商基于 5G 技术赋能垂直行业的最重要产品服务之一。区别于为

社会公众提供服务的公网通信, 专网通信以特定部门和群体为对象, 为满足其进行组织管理、安全生产、调度指挥等需要所建设的通信网络。两者在运营主体、业务类型、客户类型、技术发展

阶段、主要供应商等方面均有较大不同。本文对5G行业无线专网发展趋势、技术实现方案、需求模型等进行了分析介绍,并对运营商如何开展5G行业无线专网产品运营提出了建议。

第三代合作伙伴计划(3rd Generation Partnership Project, 3GPP) 5G标准从R15开始系统地针对带宽、时延和连接数进行了持续优化和迭代升级,后续版本还针对通用的安全等方面持续补充增强方案。这种大容量、低时延、海量连接的能力吸引了行业客户希望将现有的业务迁移,但又希望与公网客户进行不同程度的资源隔离和差异化,5G行业无线专网应运而生。

5G行业无线专网有不同的分类维度,可以从行业客户使用范围、关键技术组合、部署方式等不同角度分类。

- 5G行业无线专网从行业客户使用范围的角度可以分为:广域专网和局域专网。广域专网主要为客户提供大范围区域生产经营联网支撑,能简单复用运营商5G公网的空闲资源,做到按需租用,避免广域专网建设投资过大,5G的切片技术能够保障基于5G公网共享资源的5G行业无线专网通过切片能力提供定制化的网络指标需求、差异化业务特征和不同级别的安全隔离要求。局域专网主要为客户特定生产区域提供联网支撑,可以更平滑地实现本地行业应用技术的迭代升级。例如现有的工业软件运行在私有云上,但是由于组网的影响,时延较高,使用局域专网中的多接入边缘计算(multi-access edge computing, MEC)本地分流能力可以有效降低时延,可以更好地实现本地化定制要求。
- 5G行业无线专网从关键技术组合的角度可以分为:5G+切片模式(可按设备资源能力进行切片,如空口、核心网、传输;也可按业务特征进行切片,如增强型移动

宽带(enhanced mobile broadband, eMBB)、低时延高可靠通信(ultra-reliable and low latency communications, uRLLC)、大连接物联网(massive machine type communication, mMTC));5G+边缘计算模式(边缘计算可以分为通用MEC和专用MEC);5G+切片+边缘计算混合模式。

- 5G行业无线专网从部署方式的角度可以分为:运营商独建型、共建共享型、企业独建型。运营商独建型部署方式是在运营商公网资源的基础上独立部署专用于企业的5G行业无线专网设备;共建共享型部署方式是将运营商和行业企业的基础设施资源整合用于部署5G行业无线专网设备;企业独建型部署方式是在企业客户自有的基础设施空间部署5G行业无线专网设备。

当前,5G行业无线专网已应用于制造、能源、医疗、文娱、交通、港口、园区等领域,其中工业类企业(制造、矿山等)应用最为广泛。据中国信息通信研究院2020年11月数据,应用于工业互联网的5G基站已达3.2万个。

2 5G行业无线专网的关键技术

5G行业无线专网的实现涉及众多技术,如软件定义网络(software defined network, SDN)、网络功能虚拟化(network function virtualization, NFV)、服务质量(quality of service, QoS)、网络切片、MEC、无线带宽增强、本地数据分流等。限于篇幅,本文主要对虚拟化、网络切片、MEC进行简要分析和介绍。

2.1 虚拟化

虚拟化最早源于信息技术(information technology, IT)行业,目标是通过软件和硬件解耦,用户能以单个物理硬件系统为基础创建多个模拟环境或专用资源。通信技术(communication technology, CT)行业引入虚拟化后,目标是可基



于一个原始网络创建多个虚拟网络，最早成功推出了 NFV 技术，并最先成熟用于 5G 核心网（5G core network, 5GC），随着软硬件技术和能力的不断增强，以及虚拟化带来的用户和运营商共赢的市场价值，也推动了业界进一步深入研究无线基站等更多网元的虚拟化方案。

- 行业终端虚拟化：当前行业终端形态多样，且单终端数据无法直接给多个业务系统共享，进而难以实现资源的灵活共享，这与终端和传统专网技术常常是封闭系统且存在多种烟囱式业务有关。但随着虚拟化技术的发展，行业终端的发展可能会有两个方向，其一是具备更强计算能力的超级终端，例如手机和无线网关，同时可以部署多个业务系统，或者通过不同通道接入多个业务系统；另一种是只具备感知和显示能力的超简终端，例如一个大型加工设备上的多个传感器，将多个同类或不同类型的传感器终端虚拟化成不同终端，并可接入多个业务系统。
- 射频单元虚拟化：射频单元是 CT 设备厂商的核心阵地，虚拟化一直是 IT 厂商进攻传统 CT 厂商的主要技术路线。例如以英特尔支持的 x86 架构为基础，运营商可以从一家设备商购买硬件，从另一家设备商购买软件，即常说的白盒化，目前海外多家运营商已经宣称进行了少量部署。或者从一家设备商购买射频拉远单元（remote radio unit, RRU），从另一家设备商购买室内基带处理单元（building base band unit, BBU），从而实现模块化组站。
- 承载网虚拟化：近年来增加灵活性一直是承载网技术发展的主要推动力之一，尤其在 5G 时代，5G 端到端切片业务需要承载网切片能力支持。当前主要通过对承载网设备的接口、路由、控制器等资源的虚拟

化逐步实现灵活的资源共享和差异化业务传输。例如实现介质访问控制层和物理层接口收发器的解耦，从而大大增强了以太网组网灵活性的灵活以太网（flexible ethernet, FlexE）技术、满足 5G 泛在灵活连接的分段路由（segment routing, SR）优化技术、基于网络切片的软件定义网络架构和控制技术都已经成为了实现承载网切片的关键技术。

- 核心网虚拟化：对多业务承载的需求要求 5G 核心网能根据业务量的动态变化相应地调整资源使用，优化运行和管理。如出于对网络安全或稳定性的考虑，不同业务或同一业务的不同类型数据流要求与其他业务数据逻辑隔离或网络资源专用。通过虚拟化技术，网络演进为软件，可在虚拟资源上直接加载、扩容、缩容和灵活调度，从而满足上述需求。3GPP 定义的基于服务化架构的 5G 核心网架构，支持不同虚拟化网络功能（virtual network function, VNF）进行重新组合成为不同容量和功能的 5G 核心网，也更易于分级部署和分布式部署，进而支持灵活多样的场景和业务需求。核心网虚拟化各个 VNF 可以分配的资源有两种方式，一种是静态的，即在该网络功能部署到网络时所需使用的固定资源；另一种是动态的，即该虚拟网络功能在实际运行过程中由于业务量发生变化需要增加或减少平台资源。

虚拟化既可以更好地实现资源灵活共享，还可以实现资源使用的差异化。在 5G 时代，运营商商业模式向多量纲演进就需要逐步加深全网端到端的虚拟化程度。

2.2 网络切片

根据 3GPP 定义，网络切片是提供特定网络能力和网络特征的逻辑网络，是网络虚拟化后的

重要产品服务形态之一。从网络角度看,网络切片是端到端的,即 5G 网络必须从核心网络、承载网、无线网以及终端方面进行端到端的技术保障。核心网网络切片在规范和产品实现上都相对完善,主要技术包括网络切片的选择、切片会话管理、切片漫游等。承载网对网络切片的支持分为两类方案,一类是软切片,另一类是硬切片。软切片主要指虚拟专用网络(virtual private network, VPN)技术,例如多协议标记交换(multi-protocol label switching, MPLS) VPN。硬切片主要指 IP 网络的灵活以太网(flexible ethernet, FlexE)技术和光网络的光通路数据单元(optical channel data unit, ODUk)技术。在无线网络方面,3GPP 规范了无线网络对网络切片的感知、网络切片的选择、用户级的 QoS 保障机制等,目前没有定义无线网络如何针对网络切片进行资源调度和资源预留。无线侧对切片业务支持主要基于 QoS 机制保障网络切片服务。在终端方面,规范规定终端最多可以支持 8 个网络切片并发,终端上的应用与网络切片的对应关系取决于 UE 路由选择策略(UE route selection policy, URSP)。当用签约多个网络切片服务时,终端需要支持多切片,确保不同业务使用不同切片。

从部署而言,可采用传统的专有硬件,也可采用 NFV 方式实现。基于网络切片技术所实现的按需组网改变了传统网络规划、部署和运营维护模式,对网络发展规划和网络运维提出了新的技术要求。通过网络切片技术,可以实现业务需求和网络资源的灵活匹配,虚拟出多张满足不同业务应用场景和差异化需求的 5G 切片网络,并能充分共享物理网络资源。在同一个切片内部,通过数据网络名称(data network name, DNN)配置,可以实现不同业务流的路由隔离。

2.3 多接入边缘计算

多接入边缘计算(multi-access edge compu-

ting, MEC)是 5G 行业无线专网的关键技术能力,是云、网、端的融合点,在 5G 网络能力基础上,可为客户提供“连接+计算+能力+应用”的灵活组合,进一步提升 5G 专网的边缘智能水平。

MEC 技术通过对传统无线网络增加 MEC 平台功能网元,使其具备了提供业务就近部署及本地化处理等能力。MEC 平台面向固定、移动等多种接入网络,按需就近提供流量引导等网络能力、边缘计算及存储能力、AI 识别等业务原子能力、编排部署及自服务等平台能力,支持用户全面定制化,满足用户低时延、大带宽、高算力、数据安全等差异化需求。MEC 平台支持通过提供 API 面向 MEC 应用进行能力开放,主要包括流量引导、QoS 保障、固移融合等。流量引导指支持在 MEC 平台配置分流策略,通过与 5G 核心网传递分流规则,实现边缘节点特定业务分流,保障用户就近访问边缘应用。QoS 保障指通过策略控制功能(policy control function, PCF)的策略授权服务接口,支持对特定业务流实现带宽、资源优先级等 5G 接入服务质量保障。固移融合指支持灵活路由,实现固定、移动等多网络协同管理。MEC 平台一般支持自有和第三方业务原子能力加载、统一开放、多量纲计费、按需调用,并可根据客户需求灵活定制开发。

3 业务需求模型

5G 行业无线专网将满足行业客户的高中低速数据业务组合。运营商需要与客户一起将需要联网的行业业务应用对网络的需求转化成 5G 行业无线专网的容量和质量要求。当前行业客户的需求与公众客户需求相比是不统一的,因此针对碎片化的需求需要运营商先根据服务能力(网络、云、应用等)构建典型的业务模型库,之后再结合行业客户需求进行微调后形成定制的行业客户专网业务模型。随着 5G 行业无线专网的普及,后续将由定制化的业务模型进一步简化和抽象出各



种行业套餐，便于更多行业和企业客户容易理解和采购。

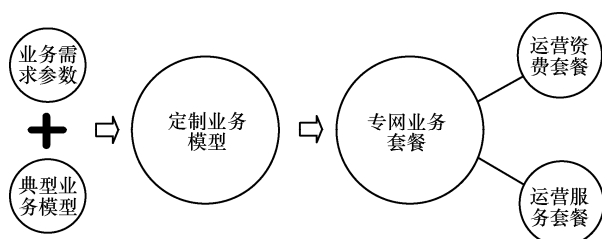


图1 业务模型定义方法

其中业务需求参数需要充分考虑业务本身特性以及信息传输规律，表1是一个示例，以“物和流程”为核心来收集信息。

构建典型业务模型需要重点考虑以下几点。

(1) 业务模型的构建要符合商业模式的逻辑，才能保证后续行业套餐广泛推广后的商业可持续性。例如2G时代主要是语音业务，最初的商业模式核心是月租费，因此业务模型就主要考虑覆盖率、信号强度指标，后续商业模式的核心主要根据通话时长套餐收费，因此业务模型主要考虑并发用户数、接通率等指标。3G/4G时代有了数据业务，商业模式中增加了按照数据流量收费，因此数据业务模型主要考虑平均业务时长、平均连接次数等指标。但不论语音还是数据业务，都是资源受限的，即边际成本有天花板。到了5G时代，商业模式向互联网看齐，要向定制化、多量纲、提供服务型能力转变，就需要结合虚拟化技术的

表1 业务需求参数参考示例

业务需求参数（可选择性收集）	举例
解决的问题	问题具体描述，当前解决办法，预期达到效果等
设备类型	传感器、模组（含CPU和存储）、电路板（含存储）、摄像机、网关、手机等
设备是否冗余和可靠性机制	间隔重发两次、无响应时重发、不接收响应信息、保存2h内数据等
现有的网络连接模式	无网络连接能力、Wi-Fi、蓝牙、UWB、2G、4G、Lora、有线等
设备运行区域	仓库内、仓库外、某角落、地面、半空有遮挡、低空等
设备运行高度	地面、10 m、10~120 m、120~300 m等
设备移动速度	15 km/h、100 km/h等
设备在线时长	永远在线、每次2 h、每次5 min等
同时运行的同类设备数量	1台、100台、1 000台等
每个消息数据包大小	32 bit、8 KB、1 MB等
每个消息数据包所需上行速率	1 Mbit/s、10 Mbit/s、100 Mbit/s、500 Mbit/s等或1 080 P、4K视频等标准业务
每个消息数据包所需下行速率	1 Mbit/s、10 Mbit/s、100 Mbit/s、500 Mbit/s等或1 080 P、4K视频等标准业务
每个消息数据包发送频率	不确定触发式、3次/s、1次/min等
消息数据包接收上行时延	5 ms、20 ms等
消息数据包接收下行时延	1 s、10 s等
消息数据包允许丢包率	1%、0.001%等
消息数据包误码率	1%、0.001%等
独享资源需求	软切片、硬切片
应用平台部署位置	边缘云、私有云、公有云

深度,尽量在资源型业务的基础上,叠加更多的服务型维度,让边际成本进一步降低。

(2) 与业务相关的指标和参数很多,业务模型应该主要考虑商业模式下的必要指标。例如当只按照数据流量收费时,上下行速率指标就不是必要指标。而考虑按照高中低数据速率收费时,业务模型就要重点考虑上下行速率指标。

(3) 如果对速率、时延等多量纲进行收费时,需要明确主要指标和次要指标。在特定空间,网络资源和终端能力有限的情况下,上行速率、下行速率、用户数、时延指标、移动速度等是互相制约的,如果以上行速率为主要指标,则下行速率、时延和并发用户数等指标需要妥协。终端、基站、承载、MEC、核心网、云计算、应用程序的端到端配置参数决定了一个基站所覆盖范围内可提供资源的限制性条件。

(4) 需要区分限制型和增值型指标,一般限制型指标都是主要指标,来源于网络的资源型能力,限制型指标限制了系统整体提供资源的上限,例如上下行速率、并发用户数、时延、丢包率等。增值型指标一般与网络的资源之间没有显性关系(边际成本较低),更多体现的是定制化和增值服务差异,来源于网络的服务型能力,例如边缘速率、移动性、连接频率、总用户数、定位、分流等。

(5) 需要区分业务体验指标和网络指标的差异。体验指标一般是应用层指标,一般可由一组网络指标反映,但很难直接从数值上对应。因为体验指标一般需要从应用层监控和维护,体验指标的改善往往需要应用软件、网络、终端硬件、流程、管理等多维协作,作为行业无线专网运营商往往很难独立完成,因此不建议以体验指标作为业务模型的指标。

根据以上原则给出的几类电信业务模型库参考示例见表2,主要针对的是无线接入和核心网的限制型和增值型指标。

更多针对与互联网专线、MEC和公有云相关

的指标以限制型和服务型做区分,可以与表2的指标一起构成端到端的业务模型,但由于这3类原有业务模型已较成熟可以继续沿用(MEC除UPF外可看作边缘的云),因此可以与表2形成叠加组合关系。其中MEC的南向出口带宽指标可与上述典型业务库的本地分流带宽指标混用,MEC北向出口带宽指标与本地互联网专线带宽一致。但一般公有云网络出口带宽不等于核心网出口带宽,而是与互联网专线带宽一致。

4 面临的挑战

垂直行业对于利用5G技术实现转型升级的需求愈发迫切,而不同行业的信息化特征差异明显,行业间的业务场景信息化需求程度各不相同,5G公共网络无法很好地满足行业内不同应用场景的差异化需求。客户亟须可定制的5G专用网络满足安全隔离等级、低时延、云网融合等不同层面的行业数字化转型所需信息基础设施需求。5G专网技术能否切实助力企业创造价值将成为下一步发展的关键。当前5G行业无线专网的发展主要面临以下挑战。

(1) 专网需求与公网差异大,需按第一性原理重新设计

专网业务模型以上行为主,且精确度要求高,而公网用户以下行为主,包容性强。公网是先使用后优化,专网需要精准优化后才能投入使用。专网项目小而散,多专业协作定制化要求高,而公网项目由多部门大规模水平分工,因此成熟且成功的大批量公网建设和采购模式,会拖拽专网创新所需的快速迭代速度。

(2) 创新技术孵化缺少机制保障,对公网影响的风险造成保守障碍

5G专网与公网的关系和定位,是确定组织流程和考核推进的关键。5G专网的创新型产品本质使得应该以行业客户为中心重组资源,提高快速响应能力和灵活性。当前公网以稳定为主的运营



表 2 业务模型指标参考示例

典型业务 模型库	典型业务 模型序号	典型业务 模型名称	必要指标													
			主要指标 (必选)				次要指标 (必选)									
			资源型指标							增值型指标						
资源型指标			上行速率/ (kbit·s ⁻¹)	下行速率/ (kbit·s ⁻¹)	单扇区并发 用户数	端到端时延/ ms	丢包率	移动速度/ (km·h ⁻¹)	切片类型	连接时长	本地分流 带宽/ (Mbit·s ⁻¹)					
上行高速 长连接	(1)	4K 临控摄 像机 (固定)	30	1	1	1.5	0.001%	0	软切片	永远在线	30					
	(2)	4K VR 摄 像机 (移动)	端到端时延/ ms	上行速率/ (kbit·s ⁻¹)	单扇区并发 用户数	下行速率/ (kbit·s ⁻¹)	丢包率	边缘上行速 率/(kbit·s ⁻¹)	边缘下行速 率/(kbit·s ⁻¹)	切换时延 /ms	移动速度 (km·h ⁻¹)	切片类型	连接时长			
		20	12	1	1	0.001%	12	1	100	15	软切片	永远在线				
上行高速 短连接	(3)	8K 机器视觉 检测 (固定)	丢包率	上行速率/ (kbit·s ⁻¹)	单扇区并发 用户数	下行速率/ (kbit·s ⁻¹)	端到端时延 (ms)	边缘上行速 率/(kbit·s ⁻¹)	边缘下行速 率/(kbit·s ⁻¹)	切换时延 /ms	移动速度/ (km·h ⁻¹)	切片类型	连接时长/ s	本地分流 带宽/ (Mbit·s ⁻¹)		
		0.001%	100	10	1	100	30	1	100	0	硬切片	0.5	100			
	(4)	4K 直播 (移动)	下行速率/ (kbit·s ⁻¹)	上行速率/ (kbit·s ⁻¹)	单扇区并发 用户数	端到端时延/ ms	丢包率	边缘上行速 率/(kbit·s ⁻¹)	边缘下行速 率/(kbit·s ⁻¹)	切换时延/ ms	移动速度/ (km·h ⁻¹)	切片类型	连接时长			
下行高速 长连接	(5)	4K VR 直播 (移动)	30	1	3	30	0.001%	1	30	100	15	软切片	4 h			
		端到端时延/ ms	下行速率/ (kbit·s ⁻¹)	单扇区并发 用户数	上行速率/ (kbit·s ⁻¹)	丢包率	边缘上行速 率/(kbit·s ⁻¹)	边缘下行速 率/(kbit·s ⁻¹)	切换时延/ ms	移动速度/ (km·h ⁻¹)	切片类型	连接时长				
	(6)	高精度定位 地图 (移动)	20	12	8	1	0.001%	1	12	100	15	软切片	2 h			
下行高速 短连接	(6)	高精度定位 地图 (移动)	移动速度/ (km·h ⁻¹)	下行速率/ (kbit·s ⁻¹)	单扇区并发 用户数	上行速率/ (kbit·s ⁻¹)	丢包率	边缘上行速 率/(kbit·s ⁻¹)	边缘下行速 率/(kbit·s ⁻¹)	切换时延/ ms	端到端时延/ ms	切片类型	连接时/ s	定位精度		
		200	100	3	1	0.100%	1	5	100	100	100	软切片	1	1 m		
	(7)	云化AGV (移动)	端到端时延/ ms	上行速率/ (kbit·s ⁻¹)	单扇区并发 用户数	下行速率/ (kbit·s ⁻¹)	丢包率	单扇区 用户数	边缘上行速 率/(kbit·s ⁻¹)	边缘下行速 率/(kbit·s ⁻¹)	切换时延/ ms	切片类型	切换时延/ ms	移动速度/ (km·h ⁻¹)	连接时长/本地分流带宽 s/(Mbit·s ⁻¹)	
		10	200	100	200	0.001%	1 000	200	200	200	硬切片	1	30	0.5	20	

方式和组织流程,无法为5G专网客户做快速定制化。

(3) 深度融合行业的能力不足,缺乏通信+行业融合型人才

经过了近两年的5G技术试点,积极参与的行业企业对5G的认知已经到了5G能用的层面上,但从5G能用到5G好用的转变是规模化的前提,也促使电信运营商推出5G专网,但是电信运营商既懂5G又懂行业,可支持跨界联合研究的人才相对缺乏。

(4) 频谱政策风险

随着各行业信息化水平的持续推进和加深,行业信息化壁垒逐渐降低,分工进入了进一步细化阶段。特别是工业互联网平台的出现,推动大批行业信息化集成商进一步向行业信息化运营商升级,且由于公网虚拟运营商的发展困难,促使行业信息化的网联技术路线优选独立专网模式,海外部分国家已发放可在限定区域/局域场景中使用的行业频谱,对电信运营商发展行业无线专网提出了挑战。

5 结束语

电信运营商归属于服务业,服务行业的数字化转型路线是大同小异的,都要从生产工具(即网络设备)的虚拟化起步进而过渡到智能化。因此可虚拟化程度就决定了可提供数字化服务的丰富度、灵活性和创新性。网络设备的虚拟化技术路线从SDN/NFV起步,到现在的云化白盒化等仍然在逐步深入中。设备的虚拟化程度和服务的多量纲能力开放程度是互相促进而且互相影响的。目前看,电信运营商在加快设备虚拟化的同时更需要完善服务能力的多量纲变现机制和商业模式的构建。

5G行业无线专网市场相对5G公网市场是全新的市场,新的商业模式,新的用户需求,同时也应尽快制订新的技术体系和服务体系。可以以

公网指标体系为基础,构建典型业务模型库,然后根据行业用户需求调整,进而生成行业专网定制的差异化指标,并以此作为套餐资费和运维服务等级协议(service level agreement, SLA)的基础。

在政策方面,建议鼓励电信运营商及行业信息化集成商统筹考虑应用场景、服务对象、安全可控和运营成本等因素,充分发挥5G技术和产业优势,优先使用公众移动通信网络承载专网业务应用,并与客户单位联合开展专网创新实践,共同促进5G行业无线专网的业务发展。

参考文献:

- [1] 陈长怡, 陆钢, 周丽莎, 等. 基于云原生的轻量级5GC产品及关键技术[J]. 电信科学, 2020, 36(12): 89-95.
CHEN C Y, LU G, ZHOU L S, et al. Lightweight 5GC products and key technologies based on cloud native[J]. Telecommunications science, 2020, 36(12): 89-95.
- [2] 邢燕霞. 5G网络切片技术发展现状与展望[J]. 移动通信, 2020, 44(10): 38-42.
XING Y X. The development and prospect of 5G network slicing technologies[J]. Mobile Communications, 2020, 44(10): 38-42.
- [3] 聂衡, 邢燕霞. 5G非公共网络技术与应用场景研究[J]. 电子技术应用, 2020, 46(11): 41-44.
NIE H, XING Y X. Research on technologies and application scenarios of 5G non-public network[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(11): 41-44.
- [4] 中国电信5G定制网产品手册[Z]. 2020.
China Telecom 5G Customized Network product manual[Z]. 2020.
- [5] 中国联通5G行业专网白皮书[R]. 2020.
China Unicom 5G industry private network white paper[R]. 2020.
- [6] 中国移动5G行业专网技术白皮书[R]. 2020.
China Mobile 5G industry private network technology white paper[R]. 2020.
- [7] 沈军, 刘国荣, 何明. 5G专网安全需求分析及策略探讨[J]. 移动通信, 2021, 45(3): 35-39.
SHEN J, LIU G R, HE M. Analysis and strategy discussion of 5G special network security requirements[J]. Mobile Communications, 2021, 45(3): 35-39.
- [8] 3GPP. 3rd generation partnership project; technical specifica-



tion group services and system aspects; system architecture for the 5G system stage 2; (Release 16): TS23. 501 V16. 3.0[S]. 2019.

- [9] 3GPP. 3GPP 3rd generation partnership project; technical specification group services and system aspects; procedures for the 5G system stage 2(Release 16): TS23. 502. V16. 3. 0[S]. 2019.

[作者简介]



张学智（1983—），男，中国电信股份有限公司研究院研究员，主要研究方向为 5G 在垂直行业的技术与应用创新。



赵婧博（1981—），女，中国电信股份有限公司研究院解决方案经理，主要研究方向为 5G 专网的关键技术、商业模式和架构设计。



赵慧杰（1989—），女，中国电信股份有限公司研究院解决方案经理，主要研究方向为 5G 数字工厂和企业园区专网的场景应用、网络规划和商业模式。