

5G 专网选网策略研究

Research on Network Selection Strategy for 5G Private Network

陶伟宜, 陈 云 (华信咨询设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310052)

Tao Weiyl, Chen Yun (Huaxin Consulting and Designing Institute Co., Ltd., Hangzhou 310052, China)

摘 要:

随着 5G 技术深度赋能工业领域, 5G 行业专网正逐渐成为产业升级的关键抓手。5G 行业专网存在网络定制化和业务差异化的特点, 也造成了网络架构和业务模式的不同。主要介绍了不同的虚拟 5G 专网和独立 5G 专网的选网技术实现机制, 并给出了不同应用场景下的选网策略建议, 旨在为 5G 行业专网建设与应用过程提供科学、合理的决策参考。

关键词:

5G 专网; 数据网络名称; 公共陆地移动网络; 切片 ID

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2026.05.012

文章编号: 1007-3043(2026)05-0061-07

中图分类号: TN915

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

With the deep empowerment of the industrial field by 5G technology, 5G industry private networks are gradually becoming a key driving force for industrial upgrading. 5G industry private networks are characterized by network customization and business differentiation, which bring about differences in network architecture and business models. It mainly introduces the implementation mechanisms of network selection technologies for different virtual 5G private networks and independent 5G private networks, and provides suggestions on network selection strategies for different application scenarios, aiming to offer scientific and reasonable decision-making references during the construction and application of 5G industry private networks.

Keywords:

Private 5G network; DNN; PLMN; Slice ID

引用格式: 陶伟宜, 陈云. 5G 专网选网策略研究[J]. 邮电设计技术, 2026(5): 61-67.

1 概述

随着 5G 技术的快速发展和广泛应用, 5G 专网 (Private 5G Network) 逐渐成为企业和行业用户关注的焦点。截至 2024 年底, 中国 5G 基站总数达 425.1 万个, 5G 行业虚拟专网超 5.5 万个。5G 应用已融入 97 个国民经济大类中的 74 个, 应用案例数超 9.4 万个。5G 专网通过提供定制化的网络服务, 可以满足特定场景

下的高带宽、低延迟和高可靠性需求, 在工业互联网、智慧教育、数字政务、智慧矿山、智慧港口等领域有较广泛的应用, 催生了新应用、新业态、新模式, 为国民经济高质量发展注入了强大动力^[1]。然而, 如何在复杂的网络环境中高效、准确地选择合适的 5G 专网部署模式以更好地助力各行业数字化转型, 成为了当前研究的重要课题。

2 选网技术研究

5G 专网是指在特定区域或特定行业内, 为满足特

收稿日期: 2026-03-30

定业务需求而构建的专用5G网络。根据信通院定义的建设模式,5G专网可以分为“5G行业虚拟专网”和“5G独立专网”。其中,“5G行业虚拟专网”是基于5G公网向行业用户提供的能满足其业务及安全需求的高质量专用虚拟网络,由运营商在现有的公网基础设施上划分出专用的逻辑网络。而“5G独立专网”是企业基于专网频段,在非公共区域自主构建与管理的5G网络,其核心网、承载网、接入网等5G网络端到端基础设施均为企业自建,与公网完全隔离,只承载企业业务。

5G专网本质是根据行业场景的性能、安全、成本需求,选择独立专网、混合专网或虚拟专网等方案,弥补公网的通用性缺陷^[2]。在实际应用过程中,选择匹配需求的专网才能释放5G在各行业领域的核心价值,目前常见的5G专网选网技术主要有虚拟专有拨号网络(Virtual Private Dial-up Network, VPDN)、基于数据网络名称(Data Network Name, DNN)的5G专线、共享公共陆地移动网络(Public Land Mobile Network, PLMN)+定制切片/定制TAC的5G专网以及独享PLMN+共享基站/独享基站的5G专网。

通常,5G行业虚拟专网因与运营商共用基站或者频点,会选用5G专线模式或者共享PLMN的5G专网模式,而5G工业独立专网则有专用频率资源,选用独享PLMN的5G专网模式。

2.1 VPDN

在5G网络商用初期,为平滑迁移4G移动专网业务,采用VPDN作为过渡性组网方案。VPDN业务通过第二层隧道协议(Layer 2 Tunneling Protocol, L2TP)在公网上构建逻辑隔离通道,实现企业业务与公众流量的安全隔离。

VPDN的技术实现包含3个环节。首先,终端通过无线空口发起拨号请求,运营商网络基于接入点名称(Access Point Name, APN)、账户信息及SIM卡进行一级认证,核验VPDN业务使用权限。其次,在认证通过后,运营商L2TP接入集中器(L2TP Access Concentrator, LAC)与企业侧L2TP网络服务器(L2TP Network Server, LNS)建立加密隧道,完成网络层虚拟专网的构建。最终,用户需通过企业内网的二次身份验证,获取私有IP地址,实现内网通信。

VPDN组网策略主要适用于对网络性能要求中等(如远程抄表、移动办公等),且IT改造预算有限的小型企业专网建设。

2.2 基于DNN的5G专线

5G专线方式采用基于DNN的逻辑隔离机制,5G核心网UPF为各行业客户构建独立虚拟专用路由转发(Virtual Private Routing Forwarding, VRF)实例以实现业务隔离。针对行业客户差异化业务需求,UPF通过DNN关联的VRF实例提供定制化路由策略与QoS保障,结合路由策略及等价多路径(Equal-Cost Multi-Path, ECMP)哈希算法实现出口流量的智能调度与负载均衡。UPF的N6接口(连接外部数据网络DN)通过VRF实例强绑定机制实现流量分类处理,支持多外部网络接入,从而保证行业客户端到端业务逻辑隔离。

在行业客户对数据隔离度要求不高的场景中,可以采用UPF共享部署的方式来实现5G专线。核心网通过DNN识别会话,N6接口的不同VRF实例连接到不同的外部网络^[3](见图1)。

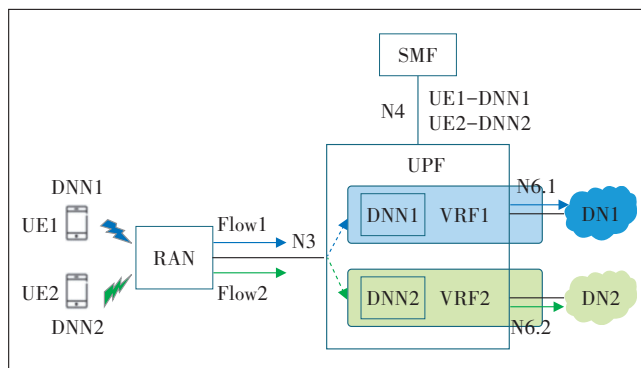


图1 基于DNN的共享UPF 5G专线选网实现示意

在行业客户对数据隔离度要求较高或时延要求更高的场景中,可以采用UPF下沉部署的方式来实现5G专线。当终端移动到不同UPF覆盖区域,核心网通过DNN识别会话,切换到下沉独享UPF,再通过N6接口访问外部网络^[4](见图2)。

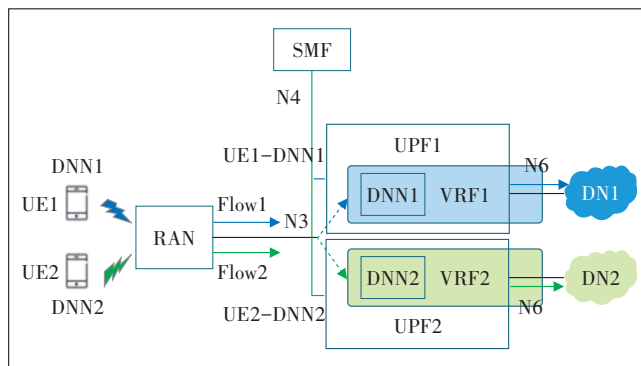


图2 基于DNN的独享UPF 5G专线选网实现示意

2.3 共享PLMN+定制切片/定制TAC的5G专网

在5G行业虚拟专网场景下,对于高隔离、高安全的场景,行业客户可共用运营商的频谱资源,下沉部署5GC核心网。在行业终端接入时,首先基于运营商的PLMN进行频率搜索、网络识别和选择注册,然后可以根据基站是独享或共享且有无共覆盖区等不同场景选择定制切片或定制TAC的方式进行网络选择。

2.3.1 独享基站+共享PLMN+定制切片

对于行业客户有封闭的业务区域(工业制造企业厂房、港口等)^[5]、对安全敏感、要求数据不出园区的场景,通常采用5GC核心网全量下沉并部署独享基站的方式^[6]。为保证信息安全,在行业客户封闭园区范围内只允许规定的终端连接下沉5GC网络,普通公众客户无法在园区范围使用数据业务。独享基站+共享PLMN+定制切片选网实现示意如图3所示。

该方案的实现机制如下。

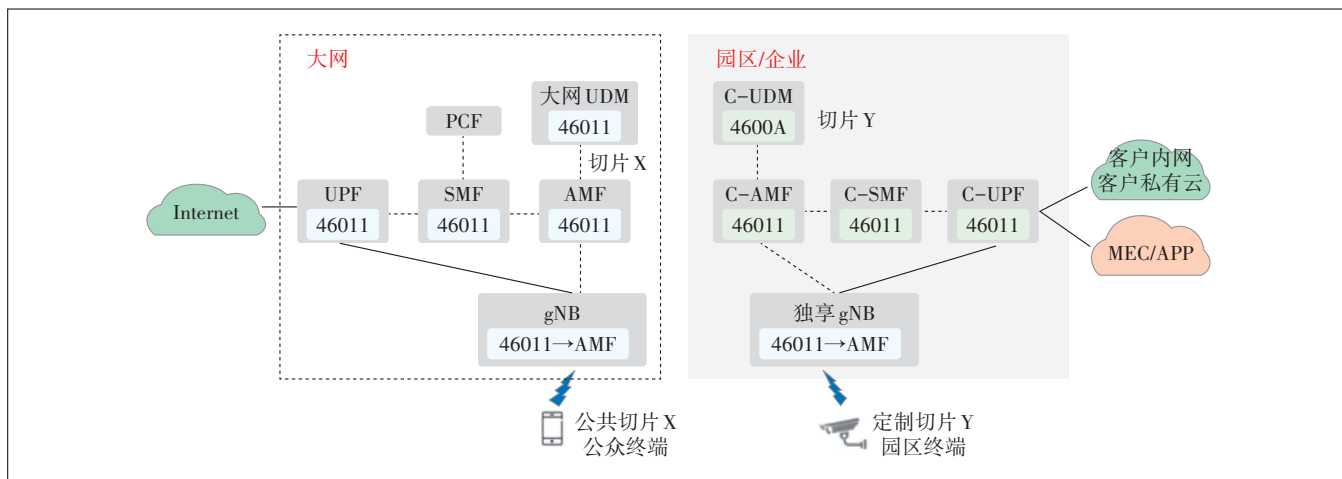


图3 独享基站+共享PLMN+定制切片选网实现示意

a) 首次注册,园区终端通过园区独享基站接入,默认接入专网AMF。

b) 专网AMF向专网UDM获取用户鉴权信息、签约数据等(如用户签约的切片),完成鉴权与注册,同时UE可获取签约的切片Y。

c) 后续接入时,园区终端携带切片Y接入专网AMF进行注册。

2.3.2 共享基站+共享PLMN+定制切片

共享基站+共享PLMN+定制切片方案适用于业务区域广域、用户接入数量规模较大、业务类型较为丰富的企业(如工业制造企业大型园区、港口、电力等),要求5GC核心网下沉,与大网共享基站,使用共享基站接入下沉专网5GC。共享基站+共享PLMN+定制切片选网实现示意如图4所示。

该方案的实现机制如下。

a) 园区终端初始上线请求不带网络切片标识,默认接入到运营商大网AMF,再到大网UDM进行鉴权,鉴权通过后UDM回复AMF的消息中携带园区定制切片标识Y。

b) 大网AMF上没有配置切片标识Y,向NSSF查

询获取AMF set ID,再向大网NRF查询获取目标AMF的服务地址。

c) 大网AMF发起N14接口(AMF之间)重定向请求,包含用户的切片标识Y、用户位置(TAI)及临时标识(5G-GUTI)等信息。

d) 重定向请求被转发到园区专属的C-AMF,园区终端被接入园区5GC核心网。

e) 终端通过用户设备路由选择策略(UE Route Selection Policy, URSP)预置切片策略,后续注册直接携带切片标识Y接入园区C-AMF,实现业务锚定在园区5GC核心网。

2.3.3 共享基站+独享基站+共享PLMN+定制切片

共享基站+独享基站+共享PLMN+定制切片方案适用于业务区域和用户接入规模较大、业务需求比较复杂的企业(如矿山、油田等),需要部署下沉专网5GC以及独享基站+共享基站相结合来实现,其中独享基站和共享基站之间没有共覆盖区域^[7]。共享基站+独享基站+共享PLMN+定制切片选网实现示意如图5所示。

根据定制终端所在的区域,可分为独享基站区域

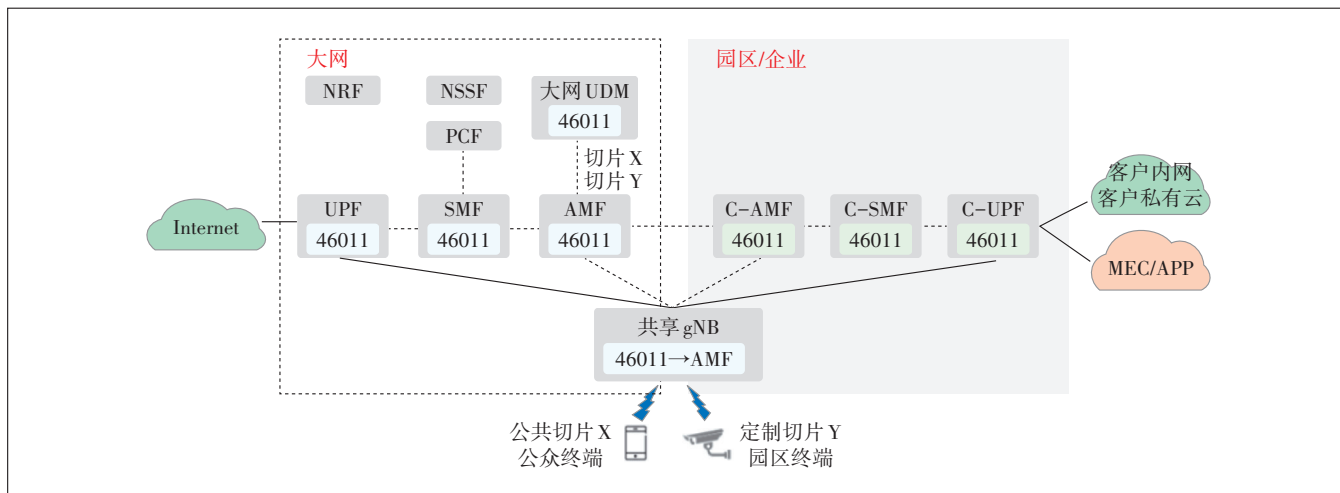


图4 共享基站+共享PLMN+定制切片选网实现示意

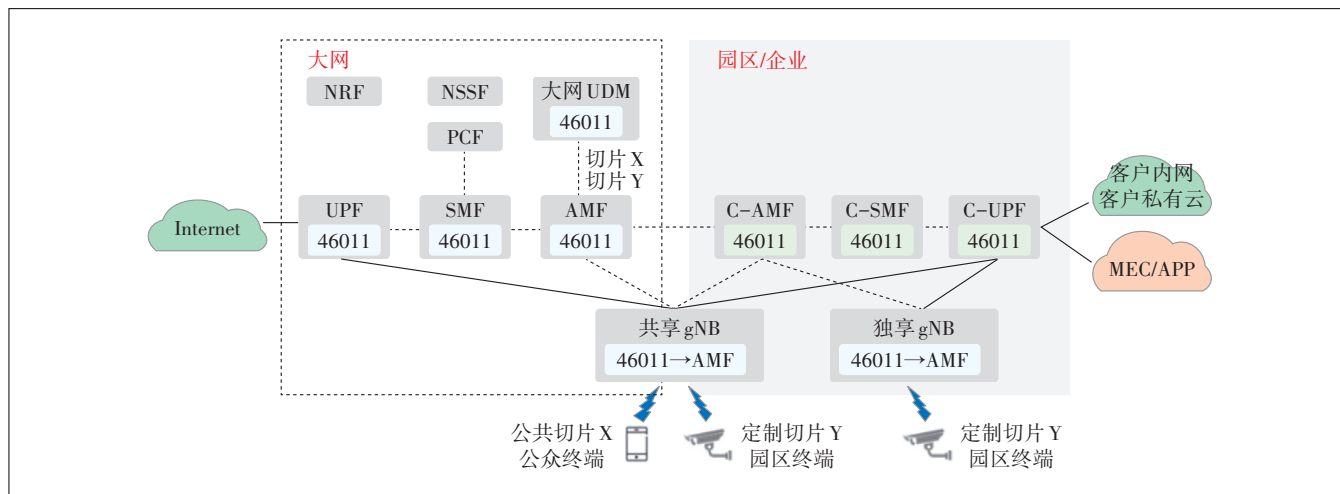


图5 共享基站+独享基站+共享PLMN+定制切片选网实现示意

以及共享基站区域,在各自的区域内,该方案的实现机制分别与第2.3.1节所述的独享基站+共享PLMN+定制切片以及第2.3.2节所述的共享基站+共享PLMN+定制切片场景类似。下沉专网5GC与2类基站均实现网络连接。

2.3.4 共享基站+独享基站+共享PLMN+定制TAC

对于业务区域分为核心区 and 外围区域^[8]且对数据安全性要求极高的企业(如核电站等),可采用共享基站+独享基站+共享PLMN+定制TAC方案。该方案需要部署下沉专网5GC,外围区域共享运营商基站、核心区部署独享基站,2个区域之间存在共覆盖区域。在进行网络设计时,需要解决误带入核心区的公众终端接入专网以及专网终端带出核心区域接入大网的安

全问题。共享基站+独享基站+共享PLMN+定制TAC选网实现示意如图6所示。

该方案的实现机制如下。

a) 在大网基站上,绑定小区对应的TAC2,将从TAC2连接的用户路由到大网5GC。

b) 新建专网独立基站区分与大网的频点,绑定小区对应的TAC3,将从TAC3连接的用户路由到专网5GC。

c) 大网5GC基于专网TAC配置专网用户黑名单,专网用户从TAC2接入后,大网5GC返回#15错误码拒绝。专网终端收到#15错误码拒绝后,将当前TAI记录为禁止TA(Forbidden TA List),并搜寻其他TAC(例如:TAC3)接入,之后专网终端正常接入专网5GC。

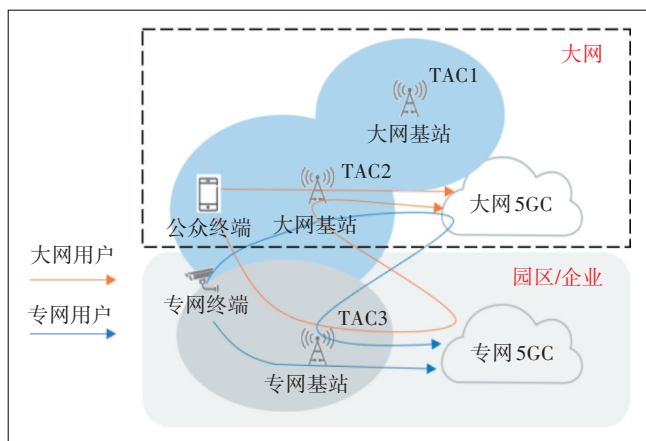


图6 共享基站+独享基站+共享PLMN+定制TAC选网实现示意

d) 专网5GC配置专网用户白名单,大网用户(非白名单)从TAC3接入后,专网5GC返回#15拒绝。大网终端收到#15错误码拒绝后,将当前TAI记录为禁止TA,并搜寻其他TAC(例如:TAC2)接入,之后大网终端正常接入大网5GC。

2.4 独享PLMN的5G专网

对于港口、电力、政务等对网络有特殊需求的大型行业客户^[9],在进行专网部署时,根据不同的组网方案和需求,会涉及到独立PLMN的部署。独享PLMN选网实现示意如图7所示。

该方案的实现机制为:专网终端上线请求携带专用PLMN,基站(共享或独享gNB)根据PLMN和AMF的对应关系,接入C-AMF,再到C-UDM进行鉴权。鉴

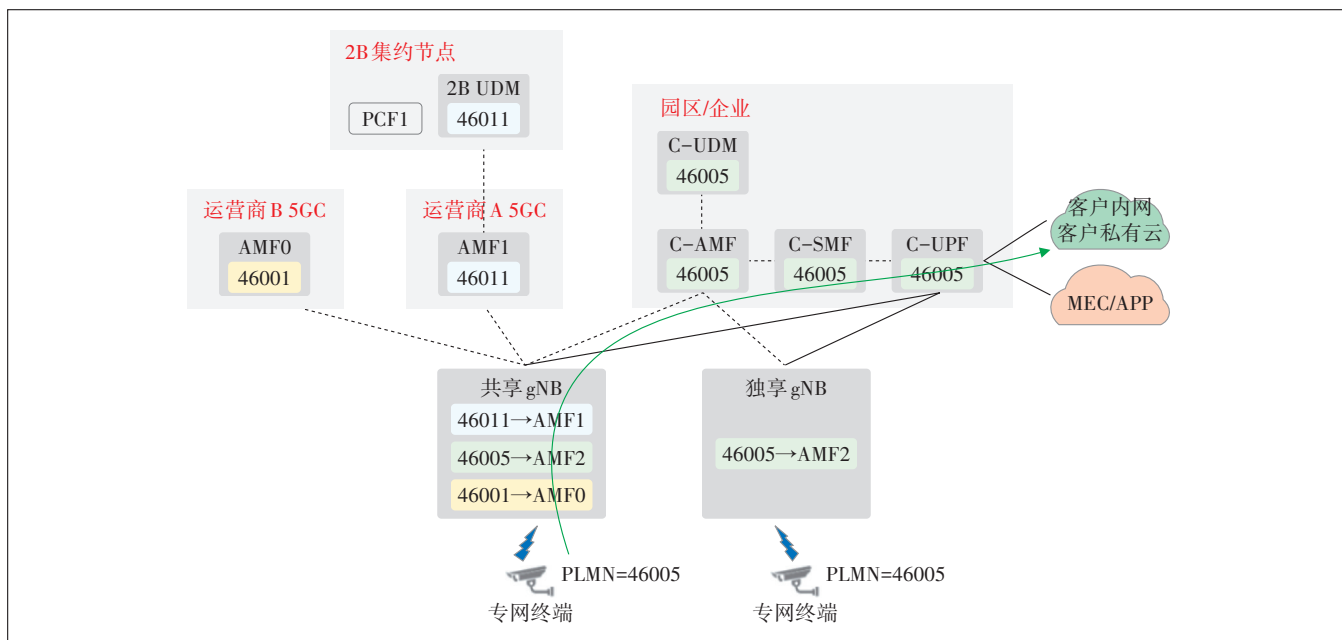


图7 独享PLMN选网实现示意

权通过后建立会话,接入客户平台。

2.5 选网技术总结

不同行业客户有不同的需求和场景,5G专网在现网的部署大致可分为广域优先型、区域内时延敏感型和区域内安全敏感型。针对上述的不同需求,运营商通常的网络部署策略和选网技术如表1所示,其中共享PLMN+定制切片/定制TAC的5G专网方式如第2.3节所描述的,由于区域内基站部署的不同,会细分为共享基站模式、独享基站模式及共享、独享混合的模式。

综上所述,为了满足行业客户的差异化需求,运

营商部署的同一张5G网络迭加了多种网络部署策略,不同行业的典型应用场景可选择不同的选网技术来满足低时延、高隔离等技术要求或者低成本等建设要求。

3 典型场景下的选网技术分析

5G专网建设应根据行业实际需求来选择合适的模式,本文选择几个典型场景进行阐述。

3.1 中小工业企业共享模式

针对中小工业企业网络改造预算受限、5G核心网UPF下沉企业园区建设周期较长等现实情况,通常可

表1 网络部署策略及选网技术分析

场景	需求	网络部署策略	选网技术
广域优先型	网络广覆盖,如 RSRP≥-105 dBm, SINR≥15 dB	基于大网UPF,叠加 QoS、网络切片技术	VPDN、基于 DNN的5G专线
区域内时延敏感型	低时延,如工业生产 领域,车间级应用 RTT时延需求从 20 ms@99.99%到 50 ms@99.9%	基于大网5GC,园区下 沉部署UPF	基于DNN的5G 专网
区域内安全敏感型	高隔离度,对安全、 性能、自管理要求 苛刻	与大网5G隔离,端到端 下沉部署专用5GC及 专用UPF,按需下沉专 用基站或专用频点	共享PLMN+定 制切片/定制 TAC的5G专网、 独享PLMN

以选择运营商机(市)下沉共享UPF或多园区共享UPF,采用基于DNN的5G专线的方式来进行5G+工业互联网业务的承载^[10-11](见图8)。

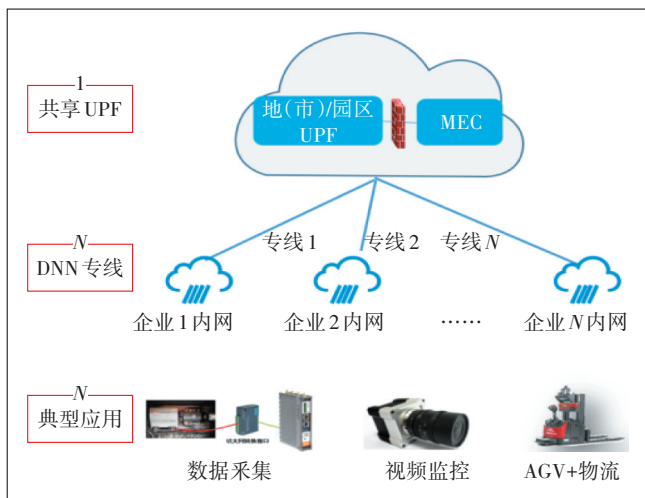


图8 中小企业共享模式示意

在这种共享模式下,企业内网应用只需与5G核心网的UPF开通基于DNN的专线,企业内的移动终端即可实现通过5G网络访问企业应用,而不需要像VPDN方式一样通过公网迂回绕转,从而保障内网数据安全。

3.2 电力行业专网模式

电力行业涵盖了从发电、输电、变电、配电到用电等多个环节,覆盖需求有广域覆盖的输电、配电场景,也有局域覆盖的发电、变电场景。在不同环节结合不同的覆盖需求,可以采用不同的专网模式来满足生产控制大区业务及管理信息大区业务不同安全等级的隔离度要求。目前应用在5G网络上的电力应用的主要接入需求如图9所示。

电力行业由于终端类型多样化、覆盖区域广域

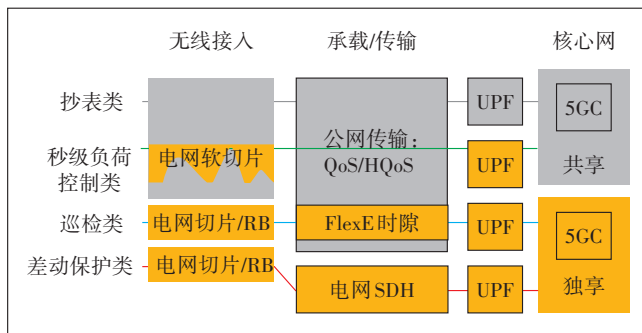


图9 电力各类应用接入示意

化,在选择电力5G专网时要根据不同的业务和应用场景选择不同的选网策略,以满足其安全隔离的要求^[12-13]。电力行业不同类型业务选网策略对比分析如表2所示。

表2 电力行业不同类型业务选网策略对比分析

典型业务	选网策略	网络性能	长期成本	运营维护
抄表类	VPDN	时延和带宽不保证,SLA不能满足电网智能化数字化要求	低	运营商承担维护责任,电力不涉及
秒级负荷控制类	基于DNN的独享UPF 5G专线	SLA可以保证,业务流程需要穿透电力和运营商,涉及5GC核心网多个网元配置,需求响应时间较长	较低	运营商承担维护责任,电力长期租赁UPF
变电站巡检类	共享基站+共享PLMN+定制切片的5G专网	SLA可以保证,通过定制切片ID与运营商业务隔离度较高,局限于园区内业务	较高	运营商承担维护责任,电力长期租赁5GC
差动保护类	共享基站+独享PLMN的5G专网	SLA可以保证,与运营商业务隔离度高,电力自主可控	高	电力需要自行建设及维护5GC

3.3 矿山行业专网模式

矿山通常由井上和井下2片无共同覆盖的区域组成^[14],为了统筹管理井上和井下业务并支持井上井下协同作业,在进行智慧矿山建设时会考虑下沉一张专网5GC网络来确保矿区内数据不出园区^[15]。矿山各类终端接入示意如图10所示。

对于矿区井上区域,无线覆盖除了满足矿山各类物联终端(如摄像头等)及定制防爆终端的接入需求,还需要同时满足矿山企业员工普通2C终端访问公网的需求;对于井下区域,无线覆盖仅需要考虑进入工作面的各类专用防爆终端的接入需求。因此,井上井下采用不同的选网方式接入下沉部署的专网5GC。矿山行业不同区域选网策略分析如表3所示。

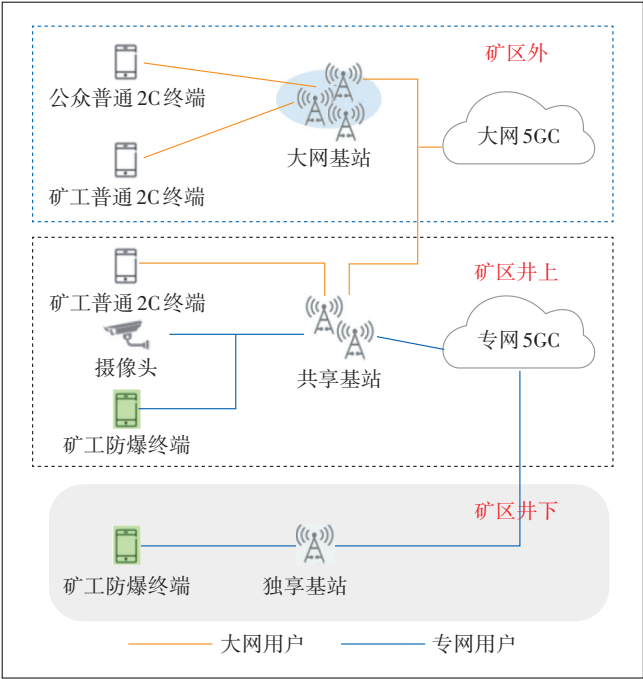


图 10 矿山各类终端接入示意

表 3 矿山行业不同区域选网策略分析

区域	选网策略	备注
矿区外	共享基站+共享 PLMN+大网切片	矿工普通 2C 终端与公众普通 2C 终端相同, 不允许矿工防爆终端出矿区接入大网 5GC
矿区井上	共享基站+共享 PLMN+定制切片	矿山定制终端(包括摄像头及矿工防爆终端等)通过定制切片接入专网 5GC; 矿工普通 2C 终端不允许接入专网 5GC
矿区井下	独享基站+共享 PLMN+定制切片	仅允许矿山定制终端(矿工防爆终端)接入无线网络

4 总结

工信部发布的《打造“5G+工业互联网”512 工程升级版实施方案》明确指出,到 2027 年“5G +工业互联网”广泛融入实体经济重点行业领域,网络设施、技术产品、融合应用、产业生态、公共服务 5 方面能力全面提升,建设 1 万个 5G 工厂,打造不少于 20 个“5G +工业互联网”融合应用试点城市。从实践经验来看,业务服务等级协议(Service Level Agreement, SLA)要求、数据安全等级及总拥有成本(Total Cost of Ownership, TCO)是行业专网建设的核心考量依据。研究表明,离散制造场景采用行业虚拟专网模式可降低 40% 的网络投资,而电网控制类业务采用独立专网可确保 99.99% 的可靠性。

选网策略的选择将推动网络架构的优化,提升重

点行业的生产效率,为数字经济与实体经济的深度融合提供核心技术底座支撑。5G 专网选网策略的深入研究和应用将会对行业专网的网络架构和业务模式产生深远的影响,更好地助力行业专网向高效、安全、智能的方向发展。

参考文献:

[1] 胡甜. 电子政务外网 5G 专网方案研究[J]. 中国新通信, 2025, 27(5): 20-23, 32.

[2] 方晓农, 宋开多. 面向 5G 专网的核心网部署策略研究[J]. 通信与信息技术, 2024(6): 105-108.

[3] 张芳, 伍林伟, 蒋永彬, 等. 基于专用 DNN 的 5G 双域专网校园网部署方案[J]. 移动通信, 2023, 47(1): 12-17, 76.

[4] 王恩鸿, 王潇骁, 孙煜. 基于 5G 专网的上海轨道交通智乘系统设计与研究[J]. 电气自动化, 2025, 47(1): 113-115, 118.

[5] 段树侠. 基于轻量化 5G 核心网的智能化码头网络架构设计与实现[J]. 长江信息通信, 2024, 37(12): 179-181.

[6] 陈云, 刘之光, 陶伟宜. 基于 5G SA 网络的智慧港口网络部署方案研究[J]. 邮电设计技术, 2023(9): 1-5.

[7] 张暄, 张路遥, 曹飞, 等. 基于异运营商的 5G 专网信号驻留方法研究[J]. 江苏通信, 2025, 41(1): 8-12, 17.

[8] 薛龙来, 李轲, 许长峰, 等. 特殊行业 5G 独立专网安全需求及解决方案研究[J]. 邮电设计技术, 2025(2): 42-47.

[9] 周想凌, 项树琛. 短切片短复用专网架构与通道安全可靠能力提升研究[J]. 电力信息与通信技术, 2025, 23(2): 77-85.

[10] 阎伟然. 5G 专网的工业互联网应用实践分析[J]. 中国宽带, 2025, 21(1): 118-120.

[11] 朱瑾瑜, 黄颖, 毕雅晴. 面向工业互联网的 5G 专网部署技术及组网研究[J]. 通信技术, 2025, 58(1): 1-8.

[12] 魏琪航. 电力无线专网 5G 关键技术分析[J]. 数字技术与应用, 2024, 42(12): 104-106.

[13] 周想凌. 切片分类下短切片/短复用电力无线专网的融合构建研究[J]. 电力信息与通信技术, 2023, 21(5): 69-75.

[14] 赵志建, 韩丹涛, 杨钧生, 等. 基于 5G 技术的智能巡检及在煤化工企业应用研究[J]. 煤化工, 2025, 53(1): 109-113.

[15] 邱巍, 孙逊, 马洪源, 等. 矿山行业专网部署关键技术方案[J/OL]. 电信科学, 2024(增刊 2): 1-9 (2024-12-17) [2025-06-08]. <https://link.cnki.net/urlid/11.2103.TN.20241217.1009.035>.

作者简介:

陶伟宜, 毕业于浙江大学, 正高级工程师, 硕士, 主要从事核心网网络规划设计及软课题研究工作; 陈云, 毕业于伯明翰大学, 高级工程师, 硕士, 主要从事无线网络规划设计及软课题研究工作。

