

5G 专网架构及建设策略思考

Study on 5G Private Network Architecture and Construction Strategy

彭雄根¹, 彭艳², 李新¹, 王浩宇¹ (1. 中通服咨询设计研究院有限公司, 江苏 南京 210019; 2. 绿地集团江苏事业部, 江苏 南京 210012)

Peng Xionggen¹, Peng Yan², Li Xin¹, Wang Haoyu¹ (1. China Information Consulting & Designing Institute Co., Ltd., Nanjing 210019, China; 2. Jiangsu Business Department of Greenland Group, Nanjing 210012, China)

摘要:

5G 专网提供 eMBB、uRLLC 和 mMTC 等多样化应用场景, 支持垂直行业差异化服务和灵活的服务定制能力, 通过 SNPN 和 PNI-NPN 部署模式为垂直行业提供与公网相互隔离的 5G 基础网络。首先介绍了 5G 专网的关键技术和组网架构, 然后对比分析了三大运营商关于 5G 专网的总体规划情况, 最后从工程实施的角度阐述了 5G 专网规划建设的主要思路和策略。

关键词:

非公共网络; 独立 NPN; 公网集成 NPN; 用户面功能

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2022.06.007

文章编号: 1007-3043(2022)06-0035-05

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

5G private network provides diversified application scenarios such as eMBB, uRLLC and mMTC, supports differentiated services and flexible service customization capability of vertical industry, and provides 5G infrastructure isolated from public network through SNPN and PNI-NPN. Firstly, the key technologies and networking architecture of 5G private network are introduced. Furthermore, the 5G private network planning of operators are analyzed and compared. Lastly, it expounds the main ideas and strategies of 5G private network planning and construction from the perspective of project implementation.

Keywords:

NPN; SNPN; PNI-NPN; UPF

引用格式: 彭雄根, 彭艳, 李新, 等. 5G 专网架构及建设策略思考[J]. 邮电设计技术, 2022(6): 35-39.

1 5G 专网概述

1.1 无线专网进入 5G 时代

无线专网技术的发展历经模拟集群、数字集群、宽带集群等阶段, 纵观无线专网几十年的发展历程, 模拟集群时代诞生了北美 APCO16 和欧洲 MPT1327, 窄带数字集群时代的 APCO25、iDEN、TETRA、DMR、GoTa 和 GT800 多家争雄, 宽带集群时代 MCPTT 和 B-TrunC 争分天下。3GPP 在 2020 年发布 R16 版本, 无线专网技术正式进入 5G 专网时代(见图 1)。

5G 专网提供 eMBB、uRLLC 和 mMTC 等更丰富的场景, 端到端网络切片支持垂直行业差异化服务, 可

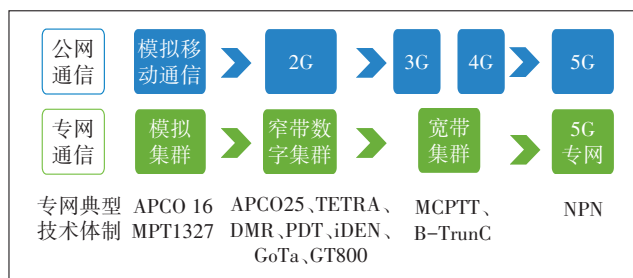


图 1 无线专网技术体制的发展

实现灵活编排的业务定制能力, 结合边缘计算、5G LAN、TSN 等先进技术构筑连接(Connection)、控制(Control)、融合(Convergence)的智慧社会基础。

1.2 5G 规模部署构筑 5G 专网网络能力

2020 年, 全球多国抢占 5G 制高点, 加速推进基础设施建设, 我国在 5G 建设方面已经走在了世界前列。

收稿日期: 2022-04-22

工业和信息化部统计数据显示,我国 5G 基站以每周 1 万多个的数量在增长,2020 年底,我国已建成全球最大的 5G 网络,5G 基站数量达 71.8 万个,占全球比重超过七成,独立组网模式的 5G 网络已覆盖全国所有地(市),5G 终端连接数超过 2 亿。

我国 5G 基础设施的逐步完善和 5G 网络能力快速提升,再加上各行各业都在深度挖掘 5G 红利,推进 5G 行业应用创新方案的落地,为 5G 专网的建设和发展奠定了基础,加快各行各业数字化转型进程。

1.3 行业应用需求助推 5G 专网发展

垂直行业是 5G 的主战场,从目前情况来看,我国垂直行业的 5G 应用已经开始快速起跑。随着 5G 网络覆盖的不断完善,5G 行业应用将会呈现爆发式增长。虽然目前 5G 行业应用多为示范项目,但应用场景正在不断丰富,特别是新冠肺炎疫情暴发以来,远程办公、智慧医疗、智慧教育、4K 直播等应用火线上阵,既为防疫抗疫、复工复产做出了贡献,也让 5G 在垂直行业中的应用积累了宝贵经验。5G 应用在医疗、防控、应急、物流等领域的重要性被充分验证,也为相关应用大规模普及拉开了序幕。

行业应用不同于个人应用,具有多样性和差异化特性,不同行业不同应用的业务模型、可靠性及安全性要求等往往差异巨大,运营商需要有真正适合行业需求的 5G 专网为各行各业提供服务,才能实现 5G 赋能行业变革的使命。

2 5G 专网技术及架构

2.1 5G 专网标准化

5G 的标准化是从 3GPP R15 开始的,R15 版本主要是为公网而定义的,在 R16 阶段,3GPP 重点开始了对垂直行业应用的标准化研究。在 5G 系统架构上,3GPP TS 23.501 等系列规范及研究报告首次定义了 5G 专网(Non-Public Network,NPN)架构,系统分析了垂直行业的通信业务需求、安全增强等关键问题。

5G NPN 通过独立 NPN(Stand-alone Non-Public Network,SNPN)和公网集成 NPN(Public Network Integrated Non-Public Network,PNI-NPN)2 种部署模式为垂直行业提供与公网 PLMN 隔离的 5G 基础网络,并通过与 PLMN 的互相访问,构建了在一张专网上满足多种应用网络需求的基础。SNPN 不依赖于 5G 公网,与 5G 公网相互独立部署,由运营商、企业或相关组织等运营,PNI-NPN 是在 5G 公网支持下部署的专网,由运

营商运营和维护。

目前,3GPP 对 5G 专网的标准化还处于初期阶段,对 5G 专网的安全增强、信道建模、SNPN 与 PLMN 互通等部分内容还有待在后续版本中进一步规范。

2.2 5G 专网网络架构

2.2.1 SNPN

SNPN 模式采用 5GS 系统架构(见图 2),在该模式下,独立部署从无线网、核心网到云平台的整个 5G 专用网络。SNPN 由 PLMN ID 和 NID 唯一确定,签约了某一 SNPN 业务的用户会配置相应信息,存储在终端和核心网侧。在网络侧,基站广播网络支持的 NID 和相应的 PLMN ID 信息,核心网根据用户的签约信息对用户的身份进行认证;在终端侧,签约用户需要配置 SNPN 接入模式,根据自己的签约信息选择可接入的 SNPN 小区,未配置为 SNPN 接入模式的只能接入 5G 公网。

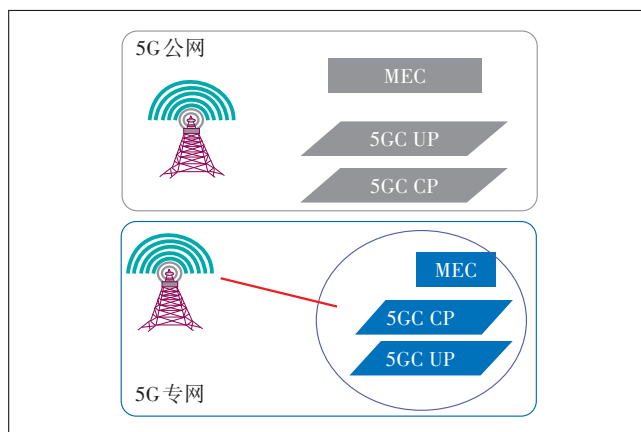


图 2 SNPN 采用 5GS 体系架构

SNPN 不支持与 EPS 互通,不支持 SNPN 之间的漫游以及 SNPN 之间、SNPN 与公网或 PNI NPN 之间的切换。用户可以基于 non-3GPP 互操作功能 N3IWF 的方式通过 SNPN 接入 5G 公网业务或通过 5G 公网接入 NPN 业务。

SNPN 组网与 5G 公网相互物理隔离,工厂或园区内的设备信息、控制面信令流量、用户面数据流量等都不会出园区,可满足工业领域严格的数据安全、低时延和高可靠需求。当然,对于园区内的语音、上网等非生产型业务,也可以通过防火墙与 5G 公网互联。

2.2.2 PNI-NPN

PNI-NPN 集成在 5G 公网中,由 5G 公网为垂直行业提供专网功能,并由 5G 公网运营商进行控制和维护。在 PNI-NPN 网络下,UE 同样签约 PLMN 网络,由

于网络切片不能限制终端在其未授权的网络切片区域中尝试接入网络,需开启 CAG 用于接入控制,其中, CAG 代表一组可以接入 1 个或多个 CAG 小区的签约用户组。由于 PNI-NPN 依赖于 PLMN 的网络功能,对于未配置只允许接入 PNI-NPN 的 CAG 相关信息的用户,支持 PNI-NPN 和 PLMN 网络间的切换。

为适应行业应用场景的多样化需求,根据 PNI-NPN 与 5G 公网的共享关系,可将 PNI-NPN 主要分为 3 类共享方案:端到端共享方案、共享无线网和控制面方案、共享无线网方案,如图 3 所示。

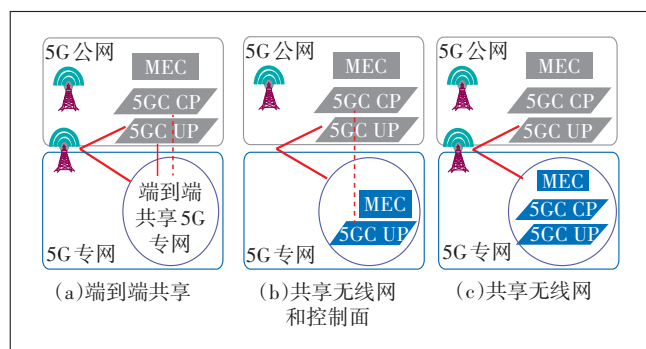


图 3 PNI-NPN 的 3 种典型方案架构

因与 5G 公网共享深度或层次的不同,PNI-NPN 的 3 类共享方案在安全性、端到端时延、工程实施、适用场景上有一定的差异,如表 1 所示。各垂直行业用户可以根据本行业通信业务的需求,灵活定制相适应的 5G 专网方案。

2.3 运营商 5G 专网部署模式

近期,各运营商相继发布了各自的 5G 行业专网白皮书,中国电信采用致远、比邻、如翼 3 种模式,中国移动采用优享、专享、尊享 3 种模式,中国联通采用虚拟专网、混合专网、独立专网 3 种模式。综合来看,各运营商的 5G 专网部署模式组合大致保持一致,都采用了 5G 专网典型方案中的 3 类:端到端共享、共享无线网和控制面和独立专网 SNPN,主要差异就在于核心网控制面网元部署的专用化节奏上略有不同(见表 2)。

3 5G 专网规划及建设策略思考

3.1 无线网

5G 专网无线网规划和建设主要聚焦于不同部署模式下的无线频率、基站站型、无线参数配置等方面,如表 3 所示。

行业应用有很多特殊的场景,5G 专网覆盖方式在不同的行业差异很大,如智慧矿山的井下覆盖、智能

表 1 运营商 5G 专网部署模式对比

| 项目 | PNI-NPN 典型方案 | | |
|------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| | 端到端共享 | 共享无线网控制面 | 共享无线网 |
| 网元 | 独立网元 | 无 | UPF、MEC |
| | 共享网元 | gNB、UPF、5GC、MEC、UDM 等 | gNB、5GC CP、UDM 等 |
| | 用户侧网元 | gNB | gNB、UPF、MEC |
| 性能 | 安全性 | 数据和信令不出园,存在安全问题 | 数据和信令都不出园,除 gNB 外,其他网元全部物理隔离,安全性高 |
| | 端到端时延 | 取决于园区和运营商 UPF/MEC 下沉到园区,能够有效降低数据传输时延 | 全部专网网元下沉到园区,时延低 |
| 工程实施 | 全部共享公网资源,部署简单,成本最低 | 需独立部署 UPF、MEC 网元,部署较简单,成本较低 | 需独立部署除 gNB 外的所有专网网元,部署较复杂,成本高 |
| 适用场景 | eMBB 类大视频、AR/VR 等应用场景 | uRLLC 等应用场景 | 自动驾驶、无人机控制、实时机器人等 uRLLC 应用场景 |

表 2 运营商 5G 专网部署模式对比

| 运营商 | 模式 | 主要网元部署情况 | 近似对应 NPN 架构 |
|------|------|---|---------------------|
| 中国电信 | 致远模式 | 通过 QoS、DNN 定制、切片等技术,提供端到端差异化保障的网络连接 | PNI-NPN (端到端共享) |
| | 比邻模式 | 园区 UPF 及 MEC 平台部署于临近企业园区的运营商机房内或企业园区的机房内,可以选择专享 UPF 与其他企业共享 UPF | PNI-NPN (共享无线网和控制面) |
| | 如翼模式 | 按需定制专用基站、专用频率、专用 MEC 和专用园区级 UPF 等设备,逐步按需独立 5GC 网元 | 如定制 5GC,是 SNPN |
| 中国移动 | 优享模式 | 共用基站、共用频率,基于 5G 公网端到端网络切片为用户部署虚拟专网 | PNI-NPN (端到端共享) |
| | 专享模式 | 共用基站、专用频率,MEC、UPF 下沉 | PNI-NPN (共享无线网和控制面) |
| | 尊享模式 | 专用基站、专用频率和专用核心网 | SNPN |
| 中国联通 | 虚拟专网 | 通过 QoS、切片等技术,端到端共用 5G 公众网络资源,提供具有特定 SLA 保障的逻辑专网 | PNI-NPN (端到端共享) |
| | 混合专网 | UPF 私有化部署,无线基站、核心网控制面网元根据用户需求灵活部署 | PNI-NPN (共享无线网和控制面) |
| | 独立专网 | 专用基站和核心网一体化设备 | SNPN |

电网的线路覆盖、近海湖泊等水域覆盖等,因此,5G 专

表3 5G 专网无线网规划和建设要点

| | |
|------|--|
| 无线频率 | 频率高低:高频、中频、低频、毫米波 频率使用:频率共用、预留资源、频率专用 |
| 基站站型 | 室外覆盖:64TR、32TR、8TR、4TR、微基站等 室内覆盖:数字室分、无源室分等 |
| 参数配置 | QoS配置、时隙配置、带宽配置等 |

网规划和建设的粒度比公网更细,要做到一行业一规划,一场景一规划。

3.1.1 无线频率

频率策略是5G专网规划首要考虑的因素,5G频率规划需要考虑产业成熟度、组网性能、已用频段的重耕难度等因素。运营商现有5G频率主要有4.9 GHz、3.5 GHz、2.6 GHz、2.1 GHz和700 MHz,5G专网频率规划综合考虑公网的频率规划和定位、行业应用的业务特征、覆盖的范围等,选择相适应的频率及使用方式。5G专网共享公网频率资源或预留频率资源时,需重点分析行业应用的业务模型、公网和专网业务间的容量协同策略等;5G专网在某些特定区域使用专用频率时,需重点考虑与公网之间的干扰隔离等问题。对于中远期的5G频率规划,高频mmWave频段(包括非授权频段)也是5G专网频率的一个重要方向。

a) PNI-NPN(端到端共享):遵循5G公网频率的规划和定位原则,专网共享5G公网频率。

b) PNI-NPN(共享无线网和控制面):遵循5G公网频率的规划和定位原则,专网共享5G公网频率,但应对5G专网需求进行频率资源预留,对高流量类业务可启动载波聚合或多频网络;在频率资源具备可用性时,也可以在重点区域使用专用频率,提高专网专用化程度。

c) SNPN:在国家未正式发放专网频率许可前,运营商结合5G公网频率的规划和定位,确定用于5G专网的专用频率。比如中国移动优选4.9 GHz作为专用频率,中国电信和中国联通优选3.4~3.6 GHz中空闲的100 MHz带宽以及3.3~3.4 GHz频段作为专网频率,其中,3.3~3.4 GHz用于室内覆盖。专用频率的选择要求尽量与同覆盖区及周边公网选用不同频率并利用工程手段保证有效隔离。

3.1.2 基站站型

基站站型不同,网络能力和工程实施条件也不同。以业务容量需求为主,工程实施条件为辅选择站型,是5G专网基站站型选择的主要原则。

在PNI-NPN模式下,将专网的覆盖、容量和质量

需求纳入公网综合考虑,参考5G公网建设原则,结合行业应用的差异化需求,合理选择室外覆盖和室内覆盖基站站型。对于室外覆盖规划,大容量场景主要选择高配置站型,如64TR/32TR,覆盖区域特殊时适当引入宏微协同覆盖,中低容量选择中低配置站型;对于室内覆盖规划,大容量需求场景以数字室分为主,中低容量场景以无源室分为主,对工程实施困难且流量较低场景,可考虑室外基站兼顾室内浅层覆盖方式。

在SNPN模式下,将专网的覆盖、容量和质量需求单独考虑,无线网和公网物理隔离,基站站型的选择不受5G公网约束。室外覆盖根据流量需求的大小,按需选择64TR/32TR/8TR/4TR等站型,室内覆盖优选数字室分系统,中低流量场景可选无源室分系统。

3.1.3 参数配置

基于行业业务模型、专网部署模式,合理确定QoS、时隙配比参数。如有必要选用不同于5G公网的时隙配比参数,必须在5G公专网协同规划中,考虑二者之间的有效隔离。

3.2 核心网

根据运营商的5G专网部署模式,5G专网核心网主要分为虚拟核心网、专网UPF和专用5GC 3种形态。

3.2.1 虚拟核心网

从5GC公网中虚拟出相应的资源组成企业专网,5G专网共享公网全部网元,面向有广域覆盖、通用需求的场景。5G专网核心网规划应侧重于制定不同的网络切片策略,根据业务需求采取合适的切片方式,如共用切片、独立的逻辑切片、独立的物理切片等。公专共享的UPF按照公网的原则和要求建设,一般不考虑下沉。

3.2.2 专网UPF

为企业专网建设物理独立的专网UPF,加上从公网中虚拟出的其他5GC资源组成企业专网,面向有低时延和数据不出园需求的场景。5G专网核心网规划应侧重于制定专用网元包括UPF的建设策略,包括网元的部署位置、设备选型、关键指标的评估等。

专网UPF按业务需求下沉(见图4),分为边缘机房专网UPF和园区级专网UPF 2类。边缘机房专网UPF一般对应到各地(市),通常为多个行业用户共享,部署在城域核心,可参照5G公网UPF组网方案。园区级UPF采用轻量级设备,通常为行业用户专享。以STN为例,为了降低时延,园区级UPF建议优选接入尽量靠近用户STN B设备。若在园区新建1对STN A设

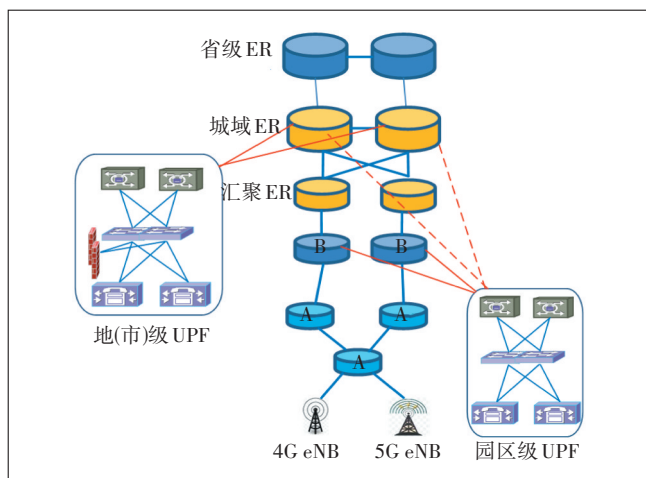


图4 专网UPF接入方案

备, 园区级UPF双挂该对STN A设备, 能够实现数据不出园区。

3.2.3 专用5GC

为企业建设物理独立的5GC专用网络, 面向有独立建网需求的场景。5G专网核心网规划应侧重于制定轻量化5GC核心网的建设策略, 包括网元的部署模式、设备选型、关键指标的评估、码号分配及用户数据管理等。

3.3 业务网

从垂直行业应用的需求来看, 不同的垂直行业应用对5G专网业务的数据管控要求不同, 可分为数据不出园区和数据出园区两大类; 从单终端访问需求来看, 又可分为仅访问内网、仅访问公网和同时访问公网和内网三大类。以此维度分类, 各场景下业务的典型具体数据路由方案如表4所示。

4 结束语

我国的5G网络基础设施建设走在了世界前列, 各行各业都在借着5G的东风, 深度挖掘5G技术红利, 积

表4 各场景下业务的典型数据路由方案

| 数据管控要求 | 访问类型 | 数据路由 |
|--------|-------------|---|
| 数据不出园区 | 访问企业内网 | 终端 → 基站 → 园区专网UPF → 企业内网 |
| | 同时访问企业内网和公网 | 终端 → 基站 → 园区专网UPF → $\begin{cases} \text{ULCL} \rightarrow \text{企业内网} \\ \text{公网UPF} \rightarrow \text{互联网} \end{cases}$ |
| | 访问公网 | 终端 → 基站 → 公网UPF → 互联网 |
| 数据出园区 | 访问企业内网 | 终端 → 基站 → $\begin{cases} \rightarrow \text{专网UPF(如已部署, 优选)} \rightarrow \text{企业内网} \\ \rightarrow \text{公网UPF} \rightarrow \text{企业内网} \end{cases}$ |
| | 同时访问企业内网和公网 | 终端 → 基站 → $\begin{cases} \rightarrow \text{专网UPF(如已部署)} \rightarrow \text{ULCL} \rightarrow \begin{cases} \rightarrow \text{企业内网} \\ \rightarrow \text{公网UPF} \rightarrow \text{互联网} \end{cases} \\ \rightarrow \text{公网UPF} \rightarrow \begin{cases} \rightarrow \text{企业内网} \\ \rightarrow \text{互联网} \end{cases} \end{cases}$ |
| | 访问公网 | 终端 → 基站 → 公网UPF → 互联网 |

极探索数字化转型道路。目前正处于5G专网发展初期, 从标准、设备、终端到业务的整个5G专网产业链正在快速发展但尚未成熟, 建议运营商做好5G专网的中长期规划, 根据产业链的发展情况, 适时引入新技术, 逐步部署相适应的专网模式, 分阶段提供行业应用服务能力。在垂直行业领域上, 5G专网行业应用从试点到规模化推广仍然有很长的路要走, 现阶段亟需要国家政策的引导和支持, 加快业务培育, 构建5G应用生态系统。

参考文献:

[1] System architecture for the 5G System (5GS) Stage 2: 3GPP TS

23.501[S/OL]. [2021-12-22]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.

[2] NR and NG-RAN Overall Description, Stage 2: 3GPP TS 38.300[S/OL]. [2021-12-22]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.

[3] 彭雄根, 何浩. 基于4G背景下的宽带专网建设方案研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2016, 29(9): 71-76.

作者简介:

彭雄根, 毕业于东南大学, 高级工程师, 硕士, 主要从事5G/6G关键技术、无线专网技术、无线通信网络规划研究等工作; 彭艳, 毕业于重庆大学, 工程师, 学士, 主要从事建筑电气、建筑智能化研究工作; 李新, 毕业于北京邮电大学, 高级工程师, 博士, 从事5G/6G关键技术、无线通信网络规划研究等工作; 王浩宇, 毕业于香港科技大学, 工程师, 硕士, 主要从事无线通信技术与网络规划及设计研究工作。