



# 基于云网融合的 5G 切片专网技术方案及应用

陈凯

(中国电信股份有限公司广东分公司, 广东 广州 510180)

**摘要:** 面对垂直行业多样化的业务需求, 5G 网络切片能够提供灵活、隔离、按需的服务, 结合 OTN、IPRAN/STN 资源、云资源以及云网融合、固移融合系统能力, 使客户终端、无线基站、承载、核心到内网业务平台之间通过专网隔离通道方式互通。介绍了 5G 端到端切片专网的架构方案和关键技术, 分析新一代运营体系下切片专网自动化开通所遇到的难点并提出解决方案, 助力运营商从流量经营迈向资源经营时代。

**关键词:** 5G 切片; 行业专网; 端到端; 云网融合

**中图分类号:** TP393

**文献标志码:** A

**doi:** 10.11959/j.issn.1000-0801.2022161

## Technical solution and application of 5G slicing private network based on cloud-network integration

CHEN Kai

Guangdong Branch of China Telecom Co., Ltd., Guangzhou 510180, China

**Abstract:** Facing the diversified and personalized business needs of vertical industries, 5G network slicing can provide customized, secure, and intelligent services. Combined with OTN, IPRAN/STN resources, cloud resources, cloud-network integration, and fixed-mobile integration system capabilities, 5G network slicing enables customer terminals, wireless base stations, bearers, cores and intranet service platforms communicate through private network isolation channels. The architecture scheme and key technologies of the 5G end-to-end private slicing network were introduced, the difficulties encountered in the automatic opening of private slicing networks under the new-generation operating system was analyzed, and solutions was proposed, which would promote operators from traffic management to resource management era.

**Key words:** 5G slicing, industry private network, end-to-end, cloud-network integration

## 0 引言

在传统网络运维中, 不同应用场景对网络需求不同, 一般选择为每一个需求建设一个专用的

服务网, 但是这会大大提高网络的建设成本和运维成本, 造成资源的严重浪费。随着 5G 时代的到来, 新频谱、大规模多输入多输出 (massive multi-input multi-output, Massive MIMO)、软件

定义网络 (software defined network, SDN)、网络功能虚拟化 (network functions virtualization, NFV) 等技术开始引入移动通信领域, 面向垂直行业, 推动颠覆性改革。

5G 具有三大切片属性<sup>[1]</sup>, 即增强型移动宽带 (enhanced mobile broadband, eMBB)、超可靠低时延通信 (ultra-reliable and low latency communication, URLLC) 和大连接物联网 (massive machine-type communication, mMTC)。满足垂直行业各类的业务需求, 如 eMBB 具有超高的传输效率, 使得 4K/8K 视频、VR/AR、远程教育和直播行业发展; URLLC 主要面向远程医疗、车联网、无人驾驶等应用, 目前还处于蓝海阶段; mMTC 支持海量连接、万物互联, 促进智慧城市、智能家居、农业牧业等多产业共同发展。

5G 切片专网精准支撑政企客户, 将个性业务需求和共享网络资源的灵活匹配, 虚拟满足不同业务应用场景和差异化需求的 5G 网络切片, 利用端到端切片的逻辑隔离性, 提供与公网隔离的 5G 切片专网服务。

## 1 切片专网关键技术

### 1.1 端到端切片技术

5G 网络切片是一个端到端的概念, 覆盖无线、承载和核心, 下一代移动网络 (next generation mobile networks, NGMN) 5G 白皮书<sup>[2]</sup>提到的端到端切片模型如图 1 所示。

无线侧切片根据切片 ID 映射不同的资源配置规则, 3GPP 协议的 Rel-15 版本定义了切片感知、资源管理和隔离、服务质量 (quality of service, QoS) 差异化等关键技术<sup>[3]</sup>。终端通过无线网络接入时, 根据终端支持的切片、签约的切片和 5G 网元支持的切片决定最终使用的切片信息, 无线侧按照最终的切片信息进行接入控制, 从而满足特定业务需求。

承载侧切片主要分为两大类: 硬切片和软切片<sup>[4]</sup>。

#### (1) 硬切片

采用灵活以太网 (flexible ethernet, FlexE) 技术, 以太网的多速率子接口在多物理层链路的

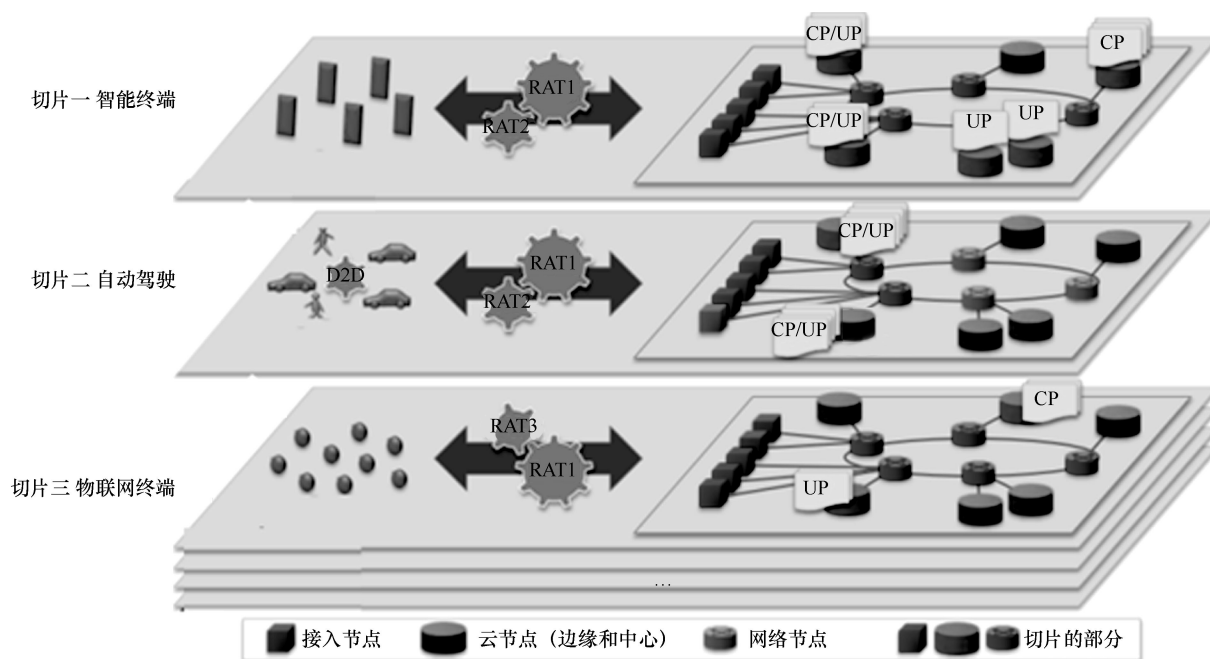


图 1 端到端切片模型



新技术, 将多个物理子接口按照带宽要求, 通过时分复用占用以太网物理层提供的以太网硬管道, 省去了 IP (Internet protocol) 转发的成帧、组包、查表、缓存等处理过程, 可以实现低时延低抖动转发。

## (2) 软切片

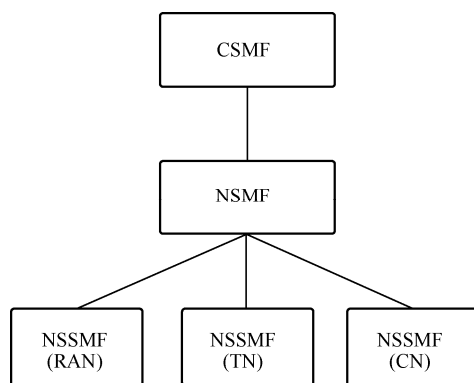
采用 SDN 等相关技术, 将网络设备控制面与数据面解耦, 从而实现网络流量的灵活控制。SDN 部署硬件可以采用硬件实现 VxLAN 封装, Leaf 交换机作为网络虚拟边缘 (network virtualization edge, NVE) 设备, 通过配置 VTEP (VxLAN tunnel endpoint) 连接 VNF 网元。硬件 SDN 转发性能高, 支持 SR-IOV (single root I/O virtualization) 接入, 缺点是需要安装指定型号的交换机实现硬件 SDN 功能。SDN 部署可以采用软件实现 VxLAN 封装, vSwitch 作为 NVE, 通过配置 VTEP 连接 VNF 网元。优点是对交换机型号没有要求, 一般部署在通用服务器上。

核心侧的切片主要由 5GC 网络虚拟资源动态组合而成, 根据不同的需求, 利用网络切片构造技术和虚拟资源管理技术, 在同一物理网络建立多个端到端的逻辑网络, 可以对 VNF 进行统一的动态编排、部署和调度, 在通用的硬件基础设施或者 NFVI 切分多个网络切片。因此, 网络切片可以看作一个针对特定需求提供定制化服务并独立运维的虚拟网络<sup>[5]</sup>, 适用于各种不同特征的服务, 网络切片除了提供基本业务功能外, 还应该包括计费、管理、运维等多种功能, 为 5G 多场景的业务需求提供了解决方案。

## 1.2 切片管理架构

第三代合作伙伴计划 (3rd Generation Partnership Project, 3GPP) 组织定义了接入网 (access network, AN)、核心网 (core network, CN) 的切片以及切片的管理架构。欧洲电信标准组织 (European Telecommunications Standards Institute,

ETSI) 描述了网络切片如何与网络服务进行部署映射。标准已经定义切片管理系统与切片管理对象的关系。协议定义由网络切片管理功能 CSMF (communication service management function)、NSMF (network slice management function) 和 NSSMF (network slice subnet management function) 组成一个管理系统, 实现跨无线、传输和核心的端到端网络切片的协同和全生命周期管理, 网络切片管理架构如图 2 所示。



其中, CSMF 负责通信服务管理功能, 负责将通信业务服务需求转化为网络切片需求; NSMF 网络切片管理功能, 负责网络切片实例 (network slice instance, NSI) 的管理和编排, 以及从网络切片需求中衍生网络切片子网要求; NSSMF 负责网络切片子网管理功能, 负责网络切片子网实例的管理和编排。

NSSMF 管理网络切片子网, 包括无线子切片、承载子切片和核心网子切片, 将网络切片子网模板定义为 NSST (network slice subnet template), 网络切片子网实例定义为 NSSI (network slice subnet instance)。一个网络子切片可包含  $0 \sim N$  个内嵌子切片。一个网络切片包含  $1 \sim N$  个网络子切片, 涉及的虚拟资源信息最终可映射为  $1 \sim N$  个网络服务进行部署。NFVO (network functions virtualisation orchestrator) 管理网络服务, 将网络服务模型定义为 NSD

(network service descriptor), 将网络服务实例定义为 NS (network service) [5]。

基于统一编排和管理的系统架构, 具备网络切片的按需定制、切片自动化部署、切片端到端监控和协同、切片智能运维等能力支持切片的快速部署、协同工作和全生命周期管理。

### 1.3 切片的端到端 QoS 保障

端到端 QoS 保障, 客户业务的 QoS 参数主要由 PCF (policy control function)、SMF (session management function) 及 UDM (unified data management) 3 个网元决定, 决定 IP 流特征与 QoS 等级关系, 其中, PCF 拥有 QoS 参数的最高决策权, SMF 保存最终决策的 QoS 参数。用户面功能 (user plane function, UPF) 配置 DNN (data network name) 流量与外部网络间路由策略, 在客户终端建立 PDU session (packet data unit session) 时, PCF 会把 QoS 策略下发给终端, 后续接入网、承载网、核心网均按照客户签约的 QoS 等级实现差异化调度, QoS 流主要分为以下 3 类, 端到端 QoS 映射如图 3 所示。

- 默认 QoS 流。SMF 从 UDM 获取 QoS 后, 根据本地配置, 得到 SMF 处的协商 QoS 值, 将该值上报给 PCF。如果 SMF 本地未

配置 QoS, SMF 将从 UDM 获取用户签约的 QoS 作为本地决策的 QoS。如果 PCF 下发新的 QoS, 则 SMF 以 PCF 下发的 QoS 为准。

- 网络侧发起的专有 QoS 流。网络侧专用 QoS 流由 PCF 直接下发相应的 QoS 参数。
- 终端发起的专用 QoS 流, 终端可以在请求消息中携带请求的专有 QoS 流的 QoS 参数, 最终以 PCF 下发的 QoS 参数为准。

### 1.4 切片专网分类

#### 1.4.1 按照专网类型分类

以 5G 核心网为枢纽点, 5G 切片专网一端或两端是 5G 接入, 根据专网类型可以分为 4 类专网[6], 常见专网类型如图 4 所示。

- 5G-STN (smart transport network) 专网, 一端由 5G 设备接入, 经过基站、承载网到达核心网, 另一端是二层或三层的 STN 专网到达企业内网。
- 5G-入云专网, 一端由 5G 设备接入, 经过基站、承载网到达核心网, 另一端是通过云专网到达企业在云端部署的服务器。
- 5G-OTN (optical transport network) 专网, 一端由 5G 设备接入, 经过基站、承载网到达

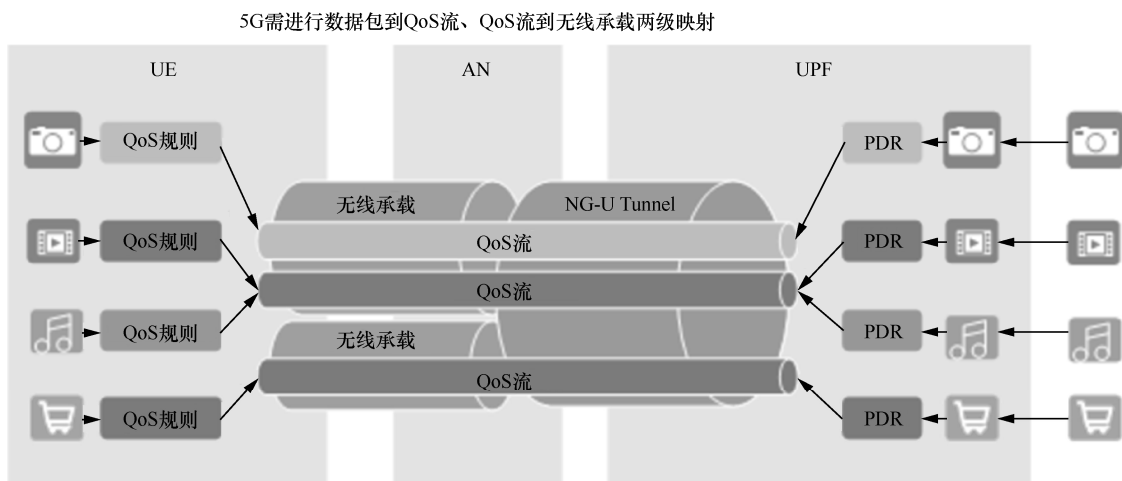


图3 端到端 QoS 映射



核心网,另一端是 OTN 专网到达企业内网

- 5G-5G 专网,两端都是 5G 终端,通过定制 DNN 在安全隔离的环境实现终端互访,以上专网类型都可以按垂直行业需求进行灵活定制,形成多样化差异化 5G 服务。

#### 1.4.2 按照控制面和转发面相对位置分类

##### (1) 集中部署

控制面和转发面都在省中心或者边缘集中部署,若控制面和转发面部署在中心,对应 5G 定制网的致远模式,适用于对时延不敏感的用户;若控制面和转发面就近部署在用户园区或者地市,对应 5G 定制网的如翼模式,适用于对时延和安全都敏感的用户。

##### (2) 分布部署

转发层依据用户需求和业务要求,按需下沉到地市级和园区级,形成转发面与控制面分离的结构,这种切片专网的组网方案对应 5G 定制网的比邻模式,适用于对时延敏感的用户,一般要求尽量靠近用户,缩短路由上的耗时,端到端的时延较小。

#### 1.4.3 按照服务保障能力分类

##### (1) 带宽保障型

通过软参(软件触发参数)调整为用户提供

特定的资源,如 TDD(time division duplex)和 FDD(frequency division duplex)协同、高频和低频互补、时域和频域聚合、签约 GBR(guaranteed bit rate)类的 QoS 参数。

##### (2) 时延保障型

通过下沉 UPF 到客户所需的园区,流量经过本地直接到达客户服务器,减少传输路径上的耗时,一般端到端时延能缩短 8~10 ms。

##### (3) 安全隔离保障型

通过独立的基站、承载网 FlexE 切片、独立核心网切片等硬件或软件切片技术,构建独享的 5G 切片组网架构,为客户提供专用网络。

其中,下沉 UPF 的方案可以结合 MEC 应用,面向 5G 接入场景,按需就近提供流量本地分发及 QoS 等网络能力、边缘计算及存储能力、业务原子能力调用、边缘应用部署开通等自服务,支持客户全面定制化,满足低时延、大带宽、本地部署、数据安全等差异化需求。

## 2 切片专网端到端业务自动化开通

基于新一代云网运营架构,切片专网端到端业务自动化开通架构分为:业务层、编排层、控制层和基

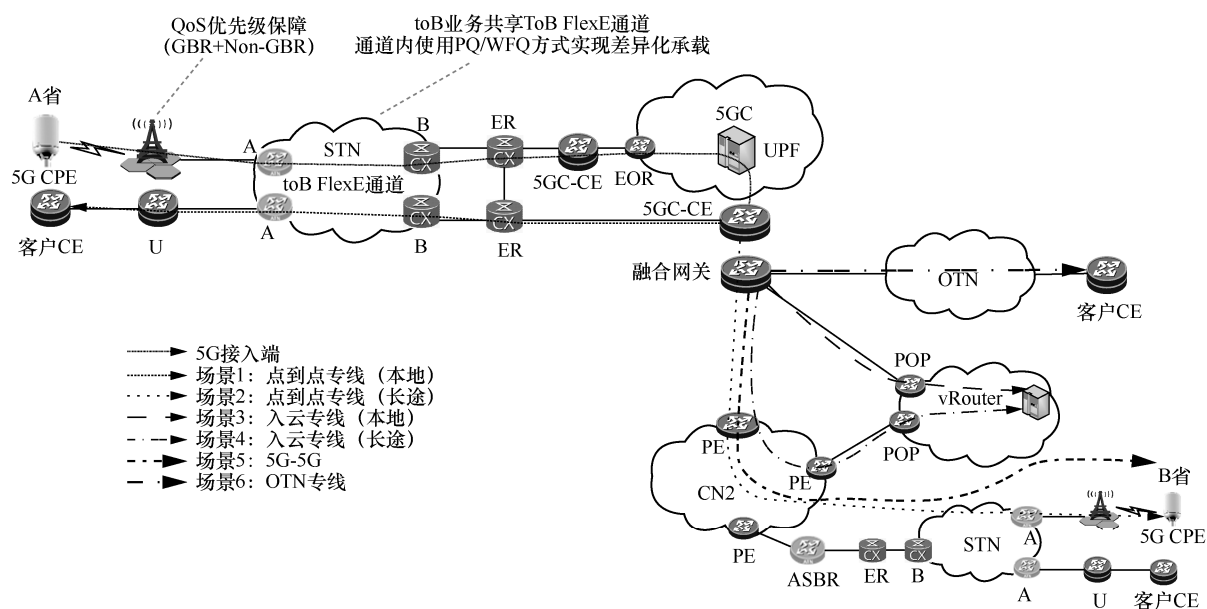


图4 常见专网类型

础网络层。切片专网自动化开通架构如图 5 所示。

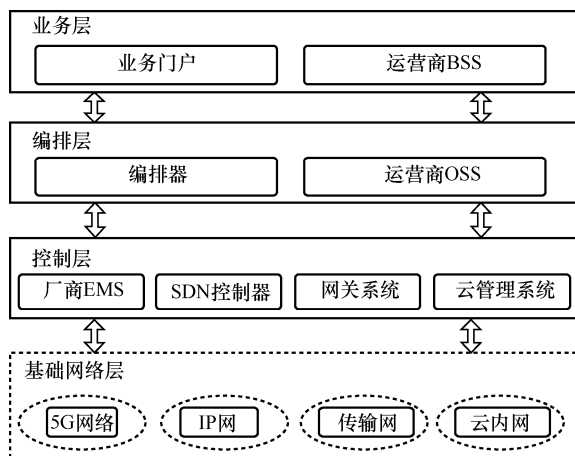


图 5 切片专网自动化开通架构

- 业务层指面向客户或业务开通人员进行业务订购操作的系统，如 CRM（customer relationship management）系统。
- 编排层是实现云网统一切片的核心系统，负责端到端业务配置的分解和协同。
- 控制层包括 SDN 控制器、网管系统、云管理系统以及一些厂商 EMS（element management system），控制层系统根据编排层下发的配置要求进行基础网络的配置。
- 基础网络层包括客户业务配置所涉及的各种网络，如 5G 网络、IP 网、传输网、云内网等<sup>[7]</sup>。

相对于切片管理架构，业务层对应 CSMF，编排层对应 NSMF 和 NSSMF，控制层是无线/承载/核心的网管系统，共同控制基础设施层。NSSMF 根据负责范围细分为 RAN NSSMF（radio access network NSSMF）、TN NSSMF（transport network NSSMF）和 CN NSSMF（core network NSSMF）。

## 2.1 无线子切片自动化开通

无线子切片由 RAN（radio access network）NSSMF 进行管理，现网中是无线的 EMS 承担该角色，新一代云网运营架构对接无线 EMS 控制无

线的 CU/DU（centralized unit/distributed unit）。

无线侧切片能力更多体现在不同的参数配置和调度上。参数配置可以体现在无线资源配置、策略配置、协议栈功能配置等方面。不同的无线切片对应不同的无线的原子能力。

对于资源要求高的需求，可以提供专用基站、独享无线资源和专用频率定制等优化等手段，避免干扰、提升速率、按需定制。对于对速率有要求的用户，可以提供专属上行、专用帧结构、资源预留和资源隔离等手段。

## 2.2 承载子切片自动化开通

承载子切片由 TN NSSMF 进行管理，现网中是 IPRAN（IP radio access network）网管承担该角色，新一代云网运营架构对接 IPRAN 网管，对网络的拓扑资源（如链路、节点、端口）及网元内部资源（如转发、计算、存储等资源），进行虚拟化形成虚拟资源，按照客户要求，分配相应需求资源。

承载切片分为硬切片和软切片两类。硬切片基于 FlexE 技术实现，软切片基于 VLAN 和 VPN 等技术实现。

## 2.3 核心网子切片自动化开通

核心网切片由 CN NSSMF 进行管理，现网中是 5G 核心网 EMS 承担该角色，新一代云网运营架构对接 5G 核心网 EMS 或者直接对接网元，下发核心网相关切片配置指令，对 VNF 的资源进行调度<sup>[8]</sup>。

配置网元包括：AMF（access and mobility management function）、SMF、NSSF（network slice selection function）、NRF（network repository function）、UPF、UDM、PCF 等。所涉及的网元要配置本端切片信息，支持切片选择辅助信息（network slicing selection assistant information, NSSAI）标识，UDM 增加相应用户号码的切片签约信息，华为核心网产品的切片配置和选择过程如图 6 所示。

一个网络切片由单网络切片选择辅助信息

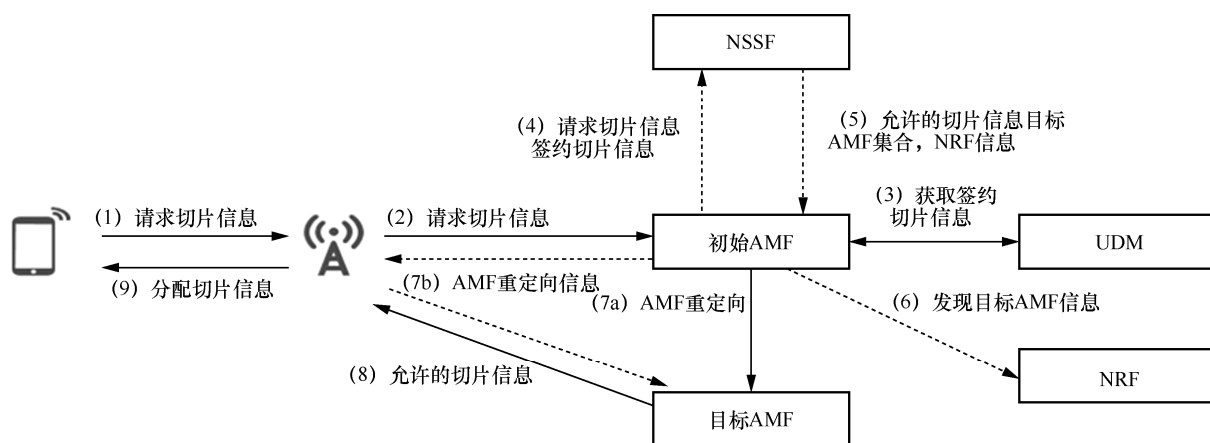


图6 华为核心网产品的切片配置和选择过程

(single network slice selection assistance information, S-NSSAI) 标识<sup>[9]</sup>。根据用户签约的切片信息, 一个 S-NSSAI 可以关联一个或多个网络切片实例, 一个网络切片实例可以关联一个或多个 S-NSSAI。以注册环境为例, RAN 首先根据本地存储信息及终端注册请求消息为终端选择一个 AMF (即初始 AMF) 提供服务。但是初始 AMF 可能不支持终端使用的网络切片, 例如初始 AMF 只支持 mMTC 类型网络切片, 但是终端请求的是 eMBB 类型的网络切片。如果初始 AMF 无法为终端提供服务, 则初始 AMF 向 NSSF 查询和选择能支持终端网络切片的目标 AMF, 然后将终端的注册请求消息通过直接或间接的方式发送给目标 AMF, 由目标 AMF 处理终端的注册请求进而为终端提供网络服务<sup>[10]</sup>。根据用户签约切片信息,

5G 核心网选择相应资源进行服务, 从而实现核心网逻辑切片。

切片专网自动化开通涉及无线、承载网、核心网、专线接入等网络段落, 由统一的业务层、编排层、控制层进行资源调配, 搭配不同类型的专网, 从而实现端到端切片专网实例<sup>[11]</sup>。切片专网端到端架构如图 7 所示。

## 2.4 现网实施难点及解决方案

现网切片专网自动化配置系统实施难点诸多。业务层需要覆盖所有的切片专网应用场景, 编排层需要适配各类应用场景的配置变化, 控制层需要纳管无线、承载和核心侧的所有设备, 包括周边的网络设备和网管设备。范围覆盖切片专网经由的全程网络、厂商涉及华为/中兴/电信自研等、接口协议涉及 SNMP/MML/SOAP/RESTful

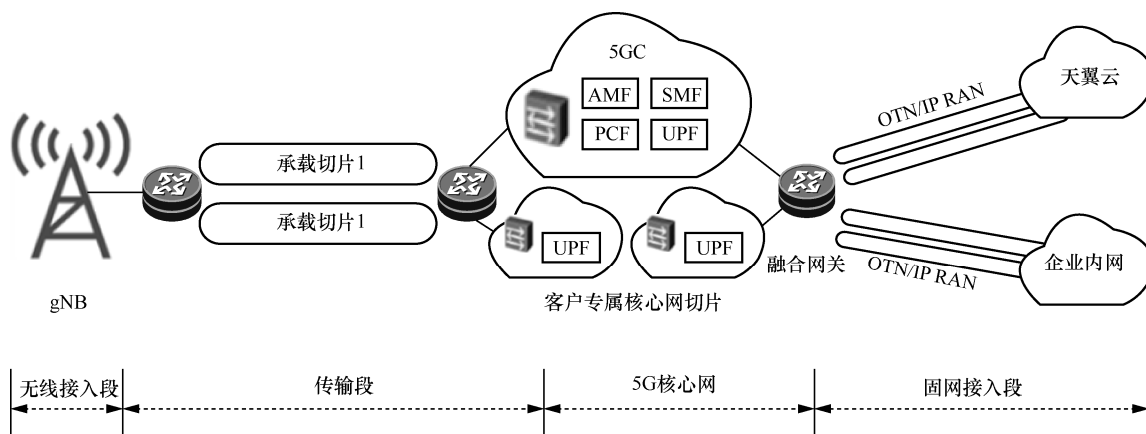


图7 切片专网端到端架构

等多类协议,实际落地对接过程中遇到重重阻碍。

经过实践总结的解决方案要点如下。

### (1) 资源纳管

原则是全面且规范,将涉及的所有硬件和软件资源信息全部录入统一资源池。对于硬件资源使用规范九段式命名(CT 云编号+“-”+“网元类型”+“-”+资源用途+“-”+厂商标识+“-”+网元标识+序号+“-”+网元属性)规范所纳管网元名称,通过网元/网管的北向与统一平台对接。对于软资产如 IMSI 号段、带宽、license 等资源,都按照统一格式纳管<sup>[12]</sup>。

### (2) 参数定义

原则是独属统一,参数独属确保切片专网业务与现网不冲突,参数统一通过明确网元配置指令、规划细节参数等方式规范切片专网的配置,涉及特定参数或者段落如切片 ID、VLAN、地址池等,有助于切片专网快速开通。

### (3) 灵活变动

原则是预留和适配,在架构设计上预留业务变化、设备变化、带宽资源变化空间,适配垂直行业多样化需求。

## 2.5 应用案例

面对垂直行业需求,运营商发挥 5G 云网融合

优势,推出多样化 5G 专网服务,通过 5G 加强与产业链上下游企业的合作,2019 年至今先后落地多个切片专网应用,覆盖工业、政务、物流、交通、石化、科研和医疗等行业<sup>[13]</sup>。

以 5G+远程医疗为例,已落地切片专网案例涉及远程手术、紧急医学救援、移动卒中单元、MR (magnetic resonance) 术前规划和远程测温等应用,减少医护人员工作时间,提高诊疗效率及水平,让患者有更好的健康服务获得感,在抗击新冠肺炎疫情中起到重要作用。

以 5G+智慧园区为例,对工业园区的物流效率、质量检测、设备运维到安全监控的客户需求,落地实现机器视觉、叉车调度、云化 PLC (programmable logic controller) 等多个 5G 应用场景案例。警务的应用方面,无线侧采用 QoS 资源,承载侧使用 FlexE 硬切片,核心侧根据切片指向到特定 UPF,通过 STN 到达客户内网,打造端到端与公众网络隔离的专用警务切片专网<sup>[14]</sup>。

以 5G+特定行业场景为例,类似电力、化工、矿山等行业,对数据安全隔离有明确要求的客户。需要部署专属基站和专属 5G 核心网,满足客户提供高隔离、高安全、高可靠的特殊需求。图 8 为某电力公司高隔离、高安全、高可靠的切片专网

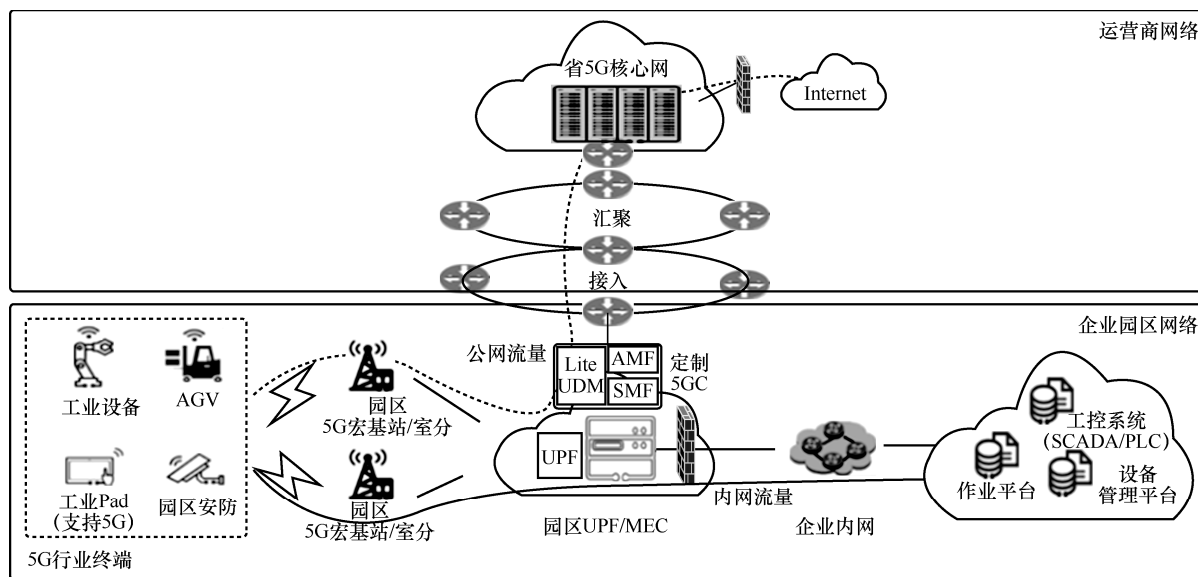


图 8 高隔离、高安全、高可靠的切片专网架构





架构,实现智能分布式 FA(馈电自动化)、差动保护、配网态势感知、高清视频监控。

### 3 结束语

5G 作为推动社会经济高质量发展的新引擎,5G 切片专网特有的资源共享、按需定制和逻辑隔离等属性,可以契合不同行业生产、运营和服务全流程,加速全行业的融合数字化创新进程。本文主要介绍了切片专网整体架构、关键技术和实现过程,总结现网实施经验和案例,具有很好的推广和参考价值。端到端 5G 网络切片专网解决方案使同一硬件基础设施上切分多个的端到端网络,为不同类型的 5G 场景提供不同的通信业务和网络能力。对电信运营商来说,要抓住 5G 专网发展的新风口,通过专网+终端+平台+应用的 5G 专网一体化解决方案,创新合作模式,拓展 5G 专网“新蓝海”,智领千行百业发展。

### 参考文献:

- [1] 3GPP. Services and system aspects; (Release 15): TS 28.530 V15.1.0 [S]. 2018.
- [2] NGMN. Alliance publishes second 5G white paper; pushing the 5G ecosystem[EB]. 2020.
- [3] 3GPP. Technical specification group radio access network; NR and NG-RAN overall description; stage 2 Release 15: TS 38.300[S]. 2019.
- [4] China Telecom 5G bearer network specification (V2.2)[EB]. 2021.

- [5] LIU Y L, LI X, BO K T. End-to-end network collaboration in 5G networks[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(3): 144-155.
- [6] China Telecom 5G customized network service specification (V1.0)[EB]. 2021.
- [7] 孙颖, 李若朋, 邓超, 等. 基于云网统一切片技术的 5G 专线业务设计与实现[J]. 移动通信, 2019, 43(9): 57-61.  
SUN Y, LI R P, DENG C, et al. Design and implementation of 5G private line based on the unified slicing technology of cloud-networks[J]. Mobile Communications, 2019, 43(9): 57-61.
- [8] WANG X L. Research on virtual resource management technology of 5G network slice[D]. Zhengzhou: Information Engineering University, 2018.
- [9] 3GPP. Study on evolution of cellular Internet of things (CIoT) security for the 5G system (release 16):TS33.861 V16.1.0[R]. 2020.
- [10] 3GPP. 5G; Study on self evaluation towards IMT-2020 submission: TR 37.910[S]. 2020.
- [11] 3GPP. Services and system aspects; (release 16). 3GPP TS 28.531 V16.0.0[S]. 2019.
- [12] China Telecom 5G customized network business specification master book[EB]. 2021.
- [13] Ministry of industry and information technology[EB]. 2021.
- [14] 5G+ smart manufacturing application security white paper[EB]. 2021.

### [作者简介]



陈凯(1976-),男,中国电信广东公司智能云网调度运营中心总经理,长期从事网络通信、云计算、网络安全、数字化运营等专业的网络运营管理工作。