



专栏：5G 架构与部署

行业用户 5G 无线专网组网方案及其技术实现

李富强, 周华, 宋晓伟

(中国移动通信集团设计院有限公司, 北京 100080)

摘要: 5G 面向大众用户和垂直行业可以提供公网模式和专网模式。从业务连续性需求和行业用户需求出发, 研究了面向行业用户不同的场景和需求下的 5G 无线专网的 3 种部署模式, 探讨了 5G 无线专网实现的关键技术无线网络切片的标准现状、产业化能力、支撑 5G 无线专网的程度, 分析了目前 5G 无线专网所能实现的场景和应用, 最后对未来超低时延需求的 5G 无线专网技术实现做了展望。

关键词: 行业用户; 无线专网; 网络切片; 边缘计算

中图分类号: TN929

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020259

5G wireless private network scheme and its technical implementation for industrial users

LI Fuqiang, ZHOU Hua, SONG Xiaowei

China Mobile Group Design Institute Co., Ltd., Beijing 100080, China

Abstract: 5G can provide public network mode and private network mode for public users and vertical industries. Based on the requirements of service continuity and industry users, three deployment modes of 5G wireless private network for different scenarios and needs of industry users were studied, the standardization status, industrialization ability and supporting degree of 5G wireless private network was discussed, and the scenarios and applications that 5G wireless private network can achieve at present were analyzed. In the end, the future implementation of 5G wireless private network technology with ultra-low delay demand was prospected.

Key words: industry user, wireless private network, network slice, MEC

1 引言

行业用户的网络需求与公众用户差异明显, 更加强调某一个或几个网络性能指标。而公网作为给大众用户提供移动宽带服务的网络, 其网络规划指标通常难以支撑行业用户需求。另外, 公网用户与行业用户在建设模式、运维模式、商业

模式等方面也存在着显著的差异, 所以垂直行业应该通过专网模式提供服务。5G 面向公网用户和行业用户遵循保障基础需求、兼顾个性化需求、灵活组合有弹性的设计原则, 可以提供公网模式和专网模式。专网模式又分为物理专网模式、专网切片模式、公网切片模式, 其中物理专网也可以采用细切片提供更精细的业务需求。网

络切片是 5G 无线专网实现的关键技术。

2 服务质量 (QoS) 与网络切片的区别

2.1 网络切片技术

3GPP TS38.300 中, 网络切片的定义是: 网络切片可由运营商使用, 基于同客户签订的业务服务协议, 为不同垂直行业、不同客户、不同业务, 提供相互隔离、功能可定制的网络服务, 是一个提供特定网络能力和特性的逻辑网络, 逻辑的网络切片由网络切片实例承载, 包括一些网络功能实例及所需要的资源 (例如计算、存储及网络)。网络切片是一种特定的虚拟化形式, 允许多个逻辑网络在共享的物理网络基础设施之上运行。网络切片提供了一个不仅包括网络, 还包括计算和存储功能的端到端系统, 目标是允许移动网络运营商划分网络资源以允许不同的用户复用单个物理基础设施。

2.2 QoS 机制

QoS 机制主要用于在无线信道质量变化、网络负载情况变化等复杂条件下保障传输的时延、速率、可靠性等性能。5G QoS 为业务建立一个从 UE 到 UPF 的端到端逻辑通道, 并用一组 QoS 参数描述其业务需求, 端到端的设备基于 QoS 参数对数据流进行差异化的资源分配和调度处理。

2.3 QoS 机制代替不了网络切片

行业客户需求种类多, 与公网客户需求差异较大, 且各行业间的需求也各有侧重。QoS 机制是一种 one-fit-all 的业务保障机制, 通过 QoS 参数承载不同的业务流, 仅在终端与基站之间进行服务差异化保障, 业务之间隔离性差、功能扩展不灵活。网络切片不仅为业务建立了从终端到核心网的逻辑通道, 还包括其所需的物理资源和虚拟资源, 能够在端到端的层面上对物理网络进行逻辑划分, 并针对不同行业用户定制网络需求, 保证资源的可用性、可靠性及安全隔离 (不同切片间硬隔离, 互不影响), 实现最佳流量分组。

此外, 网络切片的服务体系除了提供流量隔离等连接服务, 还可以提供定制化及增值业务, 包括计算、存储、内容、位置等服务功能。

2.4 垂直行业业务的特殊性与 5G 方案的优势

5G 行业解决方案通常由基本诉求和支持业务开展的特殊网络需求构成: 行业用户的基本需求为高速率、大带宽、大连接数和高容量等, 但是千行百业有不同的特殊网络需求, 包括低时延、高可靠性、低抖动及连接的高性能、安全性、资源隔离、无线资源保障等。而 5G 网络采用网络切片可以赋能行业高速率、低时延、高可靠、大连接、电信级的可靠性和资源里的物理隔离。

3 5G 无线专网组网方案

5G 无线专网组网方案如图 1 所示, 从业务的连续性及网络覆盖上, 5G 专网可提供广域专网和局域专网两类解决方案; 从资源隔离上, 分为低成本虚拟专网和高性能物理专网。从共享程度上, 局域专网分为共享模式的专网切片与独立模式的物理专网解决方案。

3.1 广域专网采用公网切片模式

广域专网针对的需求场景主要是业务分散、需要广域覆盖; 需要对业务提供 SLA 保障 (速率、可靠性、时延、连接数等); 客户需要端到端的虚拟化网络资源。出于对网络安全性、时效性、可靠性等因素的考虑, 以电力、政务为代表的重点客户需要广域专网来承载。之前这类客户往往具有自建的专网, 但频谱专用、产业链分散、设备投资和维护成本较高, 加上 5G 目前没有分配行业专用频谱, 所以这类行业专网要向 5G 网络演进, 必须借助于运营商网络来实现。5G 广域专网是基于公网资源的切片服务, 不需要企业本地部署硬件设备, 无线侧复用大网无线资源, 通过资源调度实现不同业务的 QoS 保障, 核心网侧使用通用行业切片提供网络服务, 根据客户需求配置不同切片, 通过切片实现数据隔

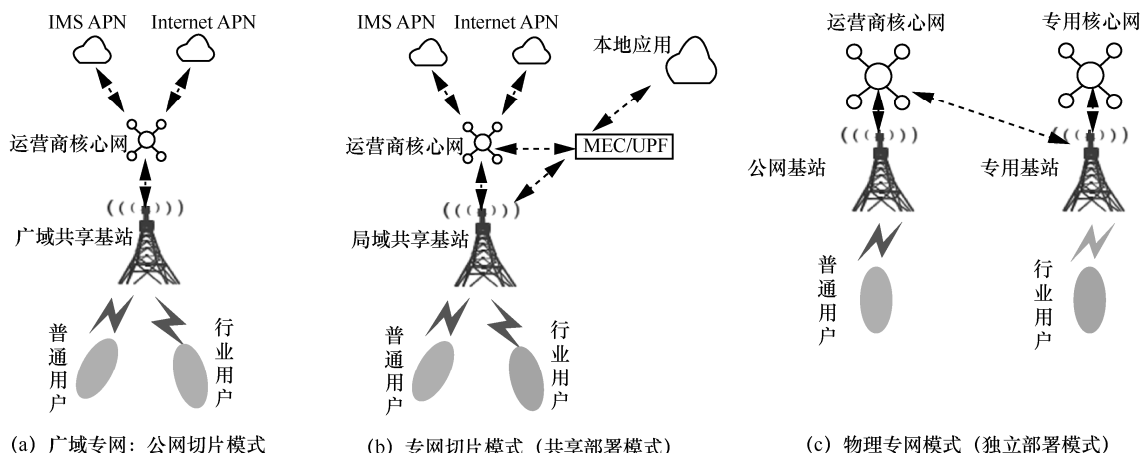


图1 5G 无线专网组网方案

离，设置独立的 PLMN 网号和码号，对数据安全要求不苛刻，是一种低成本专网模式。公网切片基于 5G 公网，将公网资源按需分配，网络能力灵活组合，虚拟出多个具备不同特性的逻辑子网络，可满足垂直行业端到端有隔离性的网络业务需求，支持行业客户对网络专用、功能定制、质量保证等要求，为消费用户提供更有保障的业务体验，为行业应用提供定制化的无线专网能力。

3.2 局域专网采用物理专网模式或专网切片模式

局域专网针对的需求场景主要是客户对生产和管理数据进行本地化处理、存储和分析，即“数据不出场”；生产控制节点位于网络边缘，需要网络提供可靠性及低时延能力；同时服务于生产和办公，专网与公网互通。局域专网按照与公网的设备共享程度又分为共享模式的专网切片方案和独立部署的物理专网。局域专网具有局域连接、数据安全敏感、数据总流量大、时延抖动控制要求高的特点，直接服务于生产现场，将网络能力、计算能力、存储能力、行业应用等在靠近客户的位置（即边缘计算节点）就近整合，满足用户“数据不出场”、超低时延、云办公等业务需求，承载了更多高价值业务，在工厂、园区、医院、港口等垂直行业中广泛应用，涉及行业的覆盖面广、场景多、需求大。行业局域专网内承载企业内私有化数据，可设置单独的网号和码号。

专网切片方案，无线侧公网与专网只在局部区域共享无线资源、MEC/UPF 根据企业私有云位置下沉到本地、核心网独立或共享、数据本地卸载、可在本地边缘云配置各类本地业务，适用对数据隔离有要求，且对数据安全要求本地管理的场景。

物理专网方案采用专有频段和专有基站、独立或共享核心网、所有网元均在企业本地部署、可在本地配置边缘云等服务、适用于对数据安全苛刻的政府部门或大型企业。

4 5G 无线专网技术实现分析

从网络规划上，5G 无线专网核心能力主要是协同化频谱（多频段协同，优势互补）、定制化服务需求（利用网络切片提供差异化服务）、等级化资源隔离（不同网络架构满足差异化隔离需求）。从技术上，广域专网的技术实现关键是网络切片，局域专网的技术实现关键是共享模式下如何保障无线专网资源。

4.1 网络切片是广域专网实现的关键技术

网络切片目前还无法真正的商用，其原因相当复杂。目前在标准化进展及技术上尚存在很多问题。

在标准化方面，网络切片的标准化组织比较多，不统一：有 NGMN（主要是从运营商的角度

提一些需求、功能架构)、ITU(主要对承载网做标准化)、3GPP(对切片整体标准进行制定,主要针对无线及核心网)、ETSI(主要针对切片资源管理,虚拟化方面);标准化还不成熟:网络切片标准化的主力军是3GPP,R15的标准已经冻结,eMBB已经在R15完成了。但是uRLLC只是在R15里完成了一些基础部分,增强的能力如超低时延还在R16标准制定中,要到2020年下半年才能冻结,mMTC现在还在研讨中,将会在R17中完成;另外,ETSI负责的端到端的切片管理相对滞后,影响了网络切片的商用进程。

其次,在技术实现方面,网络切片的实现有赖于NFV/SDN的部署进度。目前无线网、传输网、核心网都已经支持网络切片,但是支持并不代表可用。网络切片是一个端到端的复杂的系统工程,从终端到无线网络、传输网、核心网、业务网跨域的切片管理协同还有待于进一步的试验

调测。无线资源的切分方式如图2所示,关键问题是切片的弹性如何制定(大切片、小切片),5G切片到底能切到什么程度,是硬切还是软切,目前缺乏行业共识。过分精细的切片网络,会带来定制化成本和运营成本的激增。然而,简单切片依旧会带来网络浪费,且很难满足千行万业的垂直行业需求。

无线侧对于切片的支持,3GPP没有定义具体细节,主要基于厂商实现。目前无线侧的切片还只能基于5G QoS的业务保障,从空口速率、时延和可靠性3个维度对无线网络进行深度优化,实现定性或定量的空口性能保障。预计2020年年底可以实现切片的商用。

4.2 局域专网无线资源保障

局域专网无线资源保障如图3所示,共享模式的局域专网与独立模式的物理专网具有不同的无线资源保障方法。

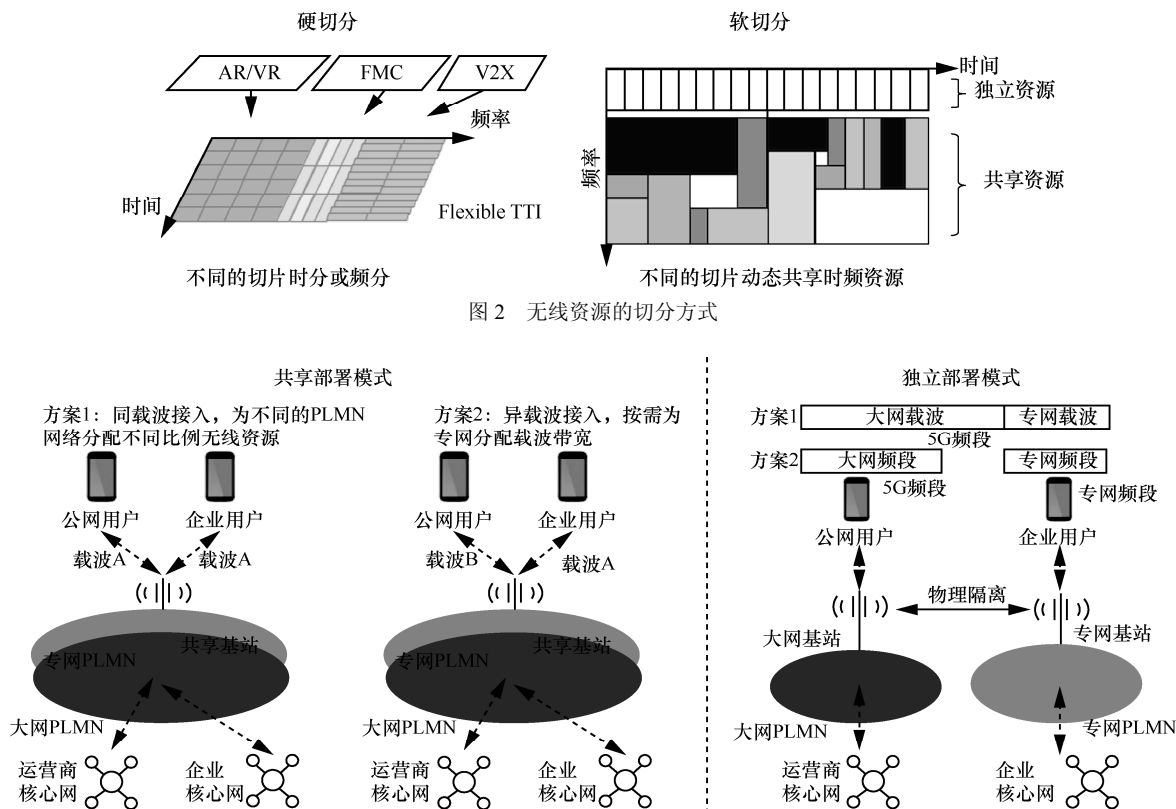


图3 局域专网无线资源保障



共享模式的无线资源保障分为两类，共同点是无线侧局域共享，核心网独立或共享，不同的是无线接入方案不一样。第一种方案，公网用户与专网用户同载波接入，共享频谱资源，但为不同的 PLMN 分配不同比例的无线资源。比如在智慧医院场景，根据历史大数据分析公网用户与医疗用户的资源需求，给公网用户分配 60% 的资源，给医疗用户分配 40% 的无线资源。这种方案的优点是专网资源调配灵活便捷，可按比例动态调整，但缺点是无法真正实现数据的隔离，无法保证专网用户的服务质量。第二种方案，公网用户与专网用户异载波接入，根据业务不同，为公网和专网进行不同的载波配置，按需为专网分配载波带宽。比如在智慧园区，5G 第一载波可为公网分配，第二载波可为园区分配。其优点是能够实现园区的数据隔离，缺点是专网扩容困难，且降低了频谱效率。

如图 3 所示，独立模式也有两种方案，共同点是无线侧不共享，需要为专网建设专门的基站，核心网可独立或共享，不同点是频谱使用策略不一样。方案 1 使用大网的其中一个载波实现无线接入，其优点是无线资源可以充分利用，节约频率资源，专网与公网可共站址部署，实现同覆盖，建设速度快捷便利，降低投资；缺点是频谱资源有限，且不能灵活配置上下行时隙。方案 2 使用专门的频段实现无线接入，其优点是另选频段作为专网的专用频段，实现与公网的频谱解耦，可按需进行时隙的配置，实现上行带宽增

强，且数据彻底隔离，不受外界干扰；缺点是成本较高，无法与大网共站址实现同覆盖，投资较大。2019 年 10 月 1 日北京长安街的 5G 阅兵直播，即采用了独立模式的方案 2，在长安街沿线部署 2.6 GHz+4.9 GHz 双层网，5G 直播作为专网用户通过 4.9 GHz 基站接入，在承载网中对直播设置了专有优先级，既能避免外部干扰，又可以有效保证速率和容量。且利用 4.9 GHz 的频段优势，调整时隙配比，视频回传通道扩展了 50%，得以让 5G 直播视频安全、可靠、高速进行。

4.3 无线专网的低时延技术实现分析

端到端网络时延构成如图 4 所示，端到端的网络时延包括空口、传输路径、传输设备处理、核心网、承载网的时延综合。其中传输时延、核心网时延、承载网时延可通过 MEC/UPF 下沉通过缩短传输时延，轻量级的核心网降低核心网和承载网时延来进行优化。

无线空口时延是从 UE 到 CU 的这一段时延，包括 UE 处理时延、基站处理时延、调度时延、重传时延、空口传输时延。其中可以优化调度时延、空口传输时延以及重传时延以降低总的无线空口时延。调度时延优化主要是降低等待时延，可以通过提升调度优先级缩短多用户排队时延，引入上行预调度节省上行调度授权流程，优化帧结构节省上下行传输机会等待时延。在不开启预调度的情况下空口时延的统计平均值为 11~13 ms，开启预调度后，空口时延的统计平均值缩短为 5~10 ms。

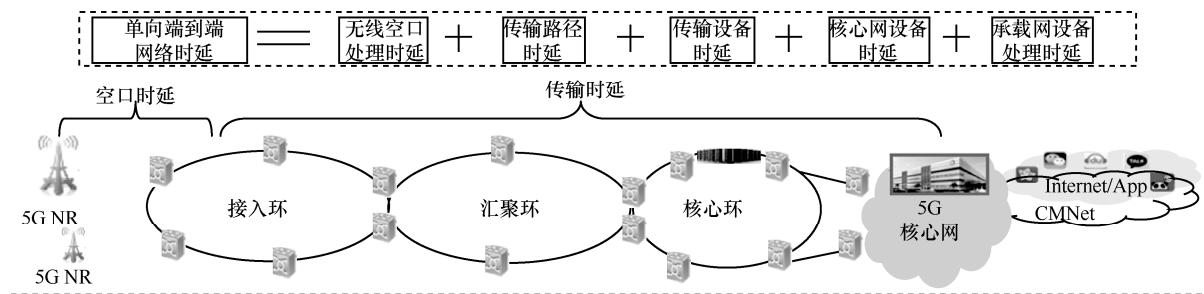


图 4 端到端网络时延构成

空口传输主要是缩短数据传输的时间单元, 可以通过采用更大的子载波间隔, 甚至是 mini slot, 降低空口传输时延。HARQ 则主要是通过更快重传和减少重传来实现, 通过调度策略优化, 减小重传概率, 通过 HARQ 时序优化缩短反馈时延。无线侧的空口时延采用这些技术可以进一步降低到 1~5 ms。

端到端业务时延与信道质量、负载情况、服务期部署位置等密切相关。对于公网业务, 不可控因素较多, 主要考虑提供定性的时延登记保障; 对于局域专网用户, 可结合 MEC 本地分流、无线空口优化、无线覆盖优化等手段尽量排除外界因素影响, 一定程度上提供定量的时延保障。

5 结束语

由于网络切片技术产业化能力尚未成熟, 所以基于公网切片的广域专网距离商用还有一段距离, 目前只能提供 eMBB 场景下基于 QoS 的粗略简单切片服务。局域专网方案中, 物理专网性能最高, 成本也最高, 但目前 4.9 GHz 设备已经可以实现商用; 共享模式的局域专网可以通过切片技术来实现, 也可以通过灵活的频谱使用方案实现。对低时延的场景, 目前可以通过 MEC/UPF 下沉到重要汇聚机房或普通汇聚机房来缩短传输路径和传输设备处理时延, 降低核心网和承载网的时延, 无线侧时延目前只能做一些简单优化, 更完善的时延优化方案将在 2020 年的 R16 中完成。

参考文献:

- [1] 3GPP. Study on architecture for next generation system (release 14): TR23.799 V14.0.0[S]. 2016.
- [2] 朱浩, 项菲. 5G 网络架构设计与标准化进展[J]. 电信科学, 2016, 32(4): 126-132.
ZHU H, XIANG F. Architecture designing and standardization progress of 5G network[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(4): 126-132.
- [3] 3GPP. System architecture for the 5G system; stage2 (release 15): 3GPP 23.501[S]. 2019.

[作者简介]



李富强 (1980-), 男, 博士, 中国移动通信集团设计院高级工程师, 主要研究方向为 5G 无线网架构演进、5G 垂直行业无线网规划、无线网切片资源保障策略等。



周华 (1986-), 男, 中国移动通信集团设计院有限公司工程师, 主要研究方向为 4G/5G 混合组网、5G 在垂直行业中的应用等。



宋晓伟 (1986-), 男, 中国移动通信集团设计院有限公司工程师, 主要研究方向为面向 5G 信息能源产品研发与应用设计、新型绿色数据中心电源咨询设计等。