

## 5G 公网与专网融合场景的关键技术研究

赵婧博<sup>1</sup>, 张学智<sup>1</sup>, 邹礼宁<sup>2</sup>

(1. 中国电信股份有限公司研究院, 北京 102209; 2. 北京邮电大学, 北京 100876)

**摘要:** 介绍了 3GPP R16 标准中提出的非公共网络技术(Non-Public Network, NPN)的两种组网方式和应用现状, 分析了企业对 5G 专网的需求以及公专融合的趋势。结合 NPN 与公共陆地移动网(Public Land Mobile Network, PLMN)部署的关系, 提出了两种典型的 5G 公网和专网融合部署模式: 连续模式、重叠模式。并针对两种模式下需要重点解决的业务连续性和并发连接问题, 介绍了 3GPP R17 标准中提出的两种技术方案。

**关键词:** NPN; SNPN; 业务连续性; 并发连接

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.211410

中文引用格式: 赵婧博, 张学智, 邹礼宁. 5G 公网与专网融合场景的关键技术研究[J]. 电子技术应用, 2021, 47(10): 68-72.

英文引用格式: Zhao Jingbo, Zhang Xuezhi, Zou Lining. Research on key technologies of 5G public and private network integration scenario[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(10): 68-72.

### Research on key technologies of 5G public and private network integration scenario

Zhao Jingbo<sup>1</sup>, Zhang Xuezhi<sup>1</sup>, Zou Lining<sup>2</sup>

(1. Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Beijing 102209, China;

2. Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

**Abstract:** This paper introduces the non-public network technology put forward in 3GPP R16 and two networking methods as well as application status. It analyzes the enterprises' demand for 5G private network and the trend of integration of NPN and public land mobile(a public land mobile network, PLMN). Based on the relationship between NPN and PLMN, two typical 5G public-private integrated deployment modes are proposed: continuous mode and overlapping mode. In order to solve two typical problems in these two modes: service continuity and connection connection, two technical solutions of R17 are discussed.

**Key words:** non-public network(NPN); stand-alone NPN(SNPN); service continuity; simultaneous connection

#### 0 引言

随着数字化转型成为各行各业的发展共识, 行业对于利用 5G 等新技术助力数字化转型的需求愈发迫切。而不同行业的业务特征迥异, 业务网联化和安全性等需求程度各不相同, 一张 5G 公共网络(以下简称 5G 公网)无法在满足公众业务的同时提供性价比更高的的差异化能力, 5G 专网应运而生。3GPP 在 R16 标准中提出了 NPN 技术, 结合 5G 技术的多维度组合和演进, 能够使 5G 专网成为千行千面的数字化信息基础设施底座<sup>[1-3]</sup>。同时, 为了能够更好地利用 5G 公网的广覆盖和低成本特性, 提高 5G 专网的性价比和普及速度, 公网与专网融合(以下简称公专融合)部署将逐渐成为关注的重点。本文针对 5G 专网的 NPN 技术的对比, 针对当前企业更关注的 SNPN 方案, 分析其在两种公专融合部署场景中面临的挑战, 并提出相应的技术方案。

#### 1 5G 专网技术发展现状

3GPP 在 R16 标准中提出的 NPN 技术是利用 5G 技术构建的独立于服务大众的 PLMN 网络的 5G 专网, 用于企业业务(例如: 企业生产控制等)。NPN 包括两种技术方案: 独立的非公共网络(Stand-alone NPN, SNPN)和公共网络集成的非公共网络(Public Network Integrated NPN, PNI-NPN)<sup>[4-7]</sup>。

利用 SNPN 技术可以部署一张完全独立的 5G 专网, 不依赖于 PLMN 提供的网络功能。SNPN 可以通过 3GPP 定义的技术手段与 PLMN 互通。在 SNPN 网络注册的 UE (User Equipment) 可以通过 SNPN 网络以非受信任的非 3GPP 方式接入 PLMN 网络, 使用 PLMN 提供的服务; 在 PLMN 注册的 UE 可以以非受信任的非 3GPP 方式通过 PLMN 接入 SNPN 网络, 使用 SNPN 提供的服务<sup>[2-3]</sup>。SNPN 由 PLMN ID 和网络标识符(Network Identifier, NID)的组合来标识。提供对 SNPN 的访问权限的下一代无线接

入网节点(Next Generation Radio Access Network node, NG-RAN)广播一个或多个 PLMN ID 以及每个 PLMN ID 的 NID 列表,用于标识 NG-RAN 提供的非公共网络访问。NG-RAN 节点也可以广播用于无线资源控制的信息等其他信息,以防止不支持 SNPN 的用户访问小区。用户被设置为以 SNPN 接入模式运行时,用户从 NG-RAN 广播系统信息中读取可用的 PLMN ID 和可用的 NID 列表,用于网络选择。

而 PNI-NPN 技术是通过 PLMN(例如:通过专用 DNN)或通过为 NPN 分配的一个(或多个)PLMN 网络切片实例来提供的 NPN。此时 UE 签约为 PLMN 用户。在该类型网络下,用户具有对 PLMN 网络的订阅能力。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,因此可以选择闭合接入组(Cell Access Group, CAG)用于接入控制。CAG 用于 PNI-NPN 网络,以防止 UE 通过自动选择接入关联的小区,进而接入 NPN。

由于 PNI-NPN 必须基于运营商 PLMN 的网络来部署,且运营商的 5G 公网部署策略和进度与企业专网需求之间存在较大差异。在当前阶段,很多企业客户已使用 PDT (Professional Digital Trunking)、B-Trunc (Broadband Trunking Communication)、Wi-Fi 等传统无线专网技术构建企业专网,且由于业务特殊性和安全等方面的原因,大多采用独立部署的模式<sup>[18-15]</sup>。因此,曾经有过专网部署和运营运维经验的企业客户更加关注 SNPN 技术,并且更加关注 5G 专网相对传统无线专网技术所不具备的公专融合优势。以下将重点关注基于 SNPN 技术的 5G 专网与 5G 公网融合场景下的挑战和技术方案。

## 2 5G 公专融合部署模式及挑战

从企业客户需求角度来看,5G 专网相对传统专网,希望能满足 5 大升级需求:(1)以更高性价比承载多类业务,尤其是对带宽要求更高、时延要求更低的移动性业务和普通通信业务的差异化承载;(2)可提供差异化的数据安全隔离与保护;(3)可动态提供差异化独享的网络资源,且成本足够低;(4)可以部分自主进行网络运维;(5)借助 5G 公网扩大 5G 专网业务的应用范围,帮助企业突破地理区域经营的瓶颈,为不同区域提供差异化业务能力。借助 5G 公专融合的天然差异化特性,可以更高性价比地满足这 5 大升级需求,因此 5G 公专融合场景将成为 5G 专网技术研究的热点领域。相比组网架构固定的 4G 网络,5G 支持面向服务的 SBA 网络架构,能够更加灵活地定制,有利于 5G 赋能众多行业差异化需求,且由于公网和专网采用相同的 3GPP 标准架构,能够更加容易地实现业务的漫游和切换。

以智能化社会缩影的园区为例,园区是工作与生活的载体,但园区内企业的专网和运营商公网各自独立建设和运营维护,且传统企业的数字化和网联化建设往往会形成多个孤立的子系统建设,数据不互通、业务难融

合,长期面临着运营效率低和管理成本高等痛点。引入 5G 公专融合部署有助于把运营商的基础网络服务和企业定制业务深度融合,打造定制化园区专网,满足园区内企业多样化通信需求。基于 5G 的园区公专融合方案一般呈现为如图 1 所示的两种部署模式:一种是园区非核心区域部署公网,园区内核心区域部署专网的连续模式;另一种是公网覆盖整个园区,同时园区内仍部署专网的重叠模式。这两种模式对应着运营商 5G 公网部署策略和企业 5G 专网部署的协同机制。

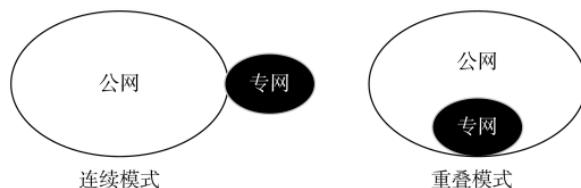


图 1 基于 5G 的园区公网与专网融合部署的两种模式

5G 公网和 5G 专网之间的协同将是 5G 公专融合部署的长期挑战,随着专网客户对移动性专网业务范围的逐渐扩大,终端(UE)由固定式向移动式转换,相应对 UE 的移动性要求是速度更快且范围更大。而往往限于企业投资规模和成本原因,企业使用 SNPN 技术独立部署的 5G 专网所能覆盖的范围都比较小,这就导致 UE 的业务需要在 5G 公网与 5G 专网之间进行切换,因此保证切换前后业务的连续性就尤为关键。另外,随着 UE 向通用化和智能化发展,智能手机公私合用的场景越来越多,企业为员工定制的智能机往往既需要通过 5G 公网保持私人业务连接,也需要通过 5G 专网执行企业的高机密高安全性的业务,同时还要保证两个业务之间的高隔离度。因此,需要 UE 能够并发连接公网与专网也将成为公专融合网络部署的关键。

以下将重点讨论 5G 公专融合场景下当前最紧迫的两个挑战:随着移动终端所处位置的变化,既需要支持同一业务在两种网络间切换时保证更高质量的业务连续性,又需要支持 5G 公网和 5G 专网上的两种业务并发。

## 3 业务连续

在连续模式和重叠模式下,在公网和专网交界的边缘地带 UE 会出现频繁移动的场景。例如物流企业的货车在运输过程中连接 5G 公网,将行车监测视频通过 5G 公网发送到统一的监控系统,而进入园区或仓库内则需要使用 5G 专网传输实时的监测数据,从而降低流量费用并提高监测数据的安全保密性。如果公专网的覆盖区域是连续不重叠的,就会极易导致网络连接中断一段时间才能传输监测视频数据,或者引入更高的切换时延,影响了车辆调度控制指令的及时下发,导致货车入园前后调度效率的降低。因此需要在 UE 移动到公网和专网覆盖的边缘区域时提供更优的业务连续性方案,以实现业务体验的流畅。

目前 5G 公网部署使用的业务连续性解决方案是基于移动期间锚点保持不变的原则。但是当 UE 移动至 5G 公网覆盖区域之外时,维持这一原则会带来额外的时延。例如,当 UE 从 PLMN 移动到 SNPN,为了保持业务连续性,UE 需要断开现有的 PLMN 连接并注册到 SNPN 上,在 SNPN 中建立 PDU 会话,随后 UE 需要再重新注册到原来的 PLMN 连接中,通过 SNPN 与 PLMN 建立 PDU 会话(经过 UE 和 PLMN 非 3GPP 互通功能(N3IWF)之间的 IPSEC 隧道)保持业务的连续性,这个重复注册的过程会带来额外的时延。

因此,3GPP 在 R17 中提出允许锚点的变化的技术方案:当 UE 从 PLMN 移动到 SNPN 时,为了保证其业务连续性,首先在 UE 离开 PLMN 覆盖之前,UE 在 PLMN 上注册到 SNPN(通过 UE 和 SNPN N3IWF 之间的 IPSEC 隧道实现非 3GPP 接入),并在 SNPN 中建立 PDU 会话。此步骤不会导致额外的时延,因为用户仍然保持连接到 PLMN 并接收业务。然后当 UE 移出 PLMN 覆盖范围时,UE 注册到 SNPN 上(通过 SNPN 3GPP 接入),将之前建立的 PDU 会话转移到 3GPP 访问上。以上过程中,UE 首先基于应用层中的业务连续性机制将业务从 PLMN 中的 PDU 会话移动到 SNPN 中的新 PDU 会话,并在之后通过非 3GPP 接入和 3GPP 接入之间的切换过程恢复业务连接<sup>[1]</sup>。

假设 UE 从 PLMN 移动到 SNPN 的具体切换过程如图 2 所示,当 UE 从 SNPN 移动到 PLMN 或其他 SNPN 时,切换机制类似。

(1)步骤 1 是 PLMN 基于网络中 UE 位置、网络部署、

服务等级协议(Service-Level Agreement,SLA)、来自应用功能(AF)的请求等可用信息发送激活信号指示 UE 通过 PLMN 激活非 3GPP 访问 SNPN,激活信号中指示了连接到 SNPN 的 UE 行为信息(例如注册、PDU 会话建立和相应参数(参数包括目标网络标识符、访问类型、SSC 模式、UE 行为的适用区域等))。

(2)步骤 2 到步骤 3 是 UE 基于在步骤 1 中接收到的激活信号和其他本地信息,在 UE 移出 PLMN 覆盖到 SNPN 之前,通过 SNPN N3IWF 对 SNPN 执行注册。并通过 SNPN N3IWF 在 SNPN 中建立 PDU 会话。

(3)当 PLMN NG-RAN 覆盖仍然可用,但信号强度减弱时,UE 可以通过应用层机制将业务从 PLMN 网络中的 PDU 会话(即图 2 中步骤 0 中的 PDU 会话)移动到 SNPN 网络中的 PDU 会话(即图 2 中步骤 3 中的 PDU 会话),作为向 SNPN 切换的准备。

(4)当 UE 检测到 PLMN NG-RAN 的覆盖丢失且进入 SNPN NG-RAN 的覆盖时,它通过 SNPN NG-RAN 注册到 SNPN。UE 使用 SNPN 3GPP 访问建立一个新的 PDU 会话并把步骤 3 中建立的现有 PDU 会话切换到 SNPN 3GPP 访问。从步骤 3 到步骤 5,通过 3GPP 访问和非 3GPP 访问之间的切换过程来确保 UE 业务的连续性。

4 业务并发

在重叠模式的中心地带,UE 有支持 5G 公网与 5G 专网上两种业务并发连接的需求。例如,企业为员工定制的智能手机,在企业园区内对生产和生活方面的联网需求是同时存在的,既需要在生产作业时能够安全地通过 5G 专网接入企业内网系统,也希望通过 5G 公网保持

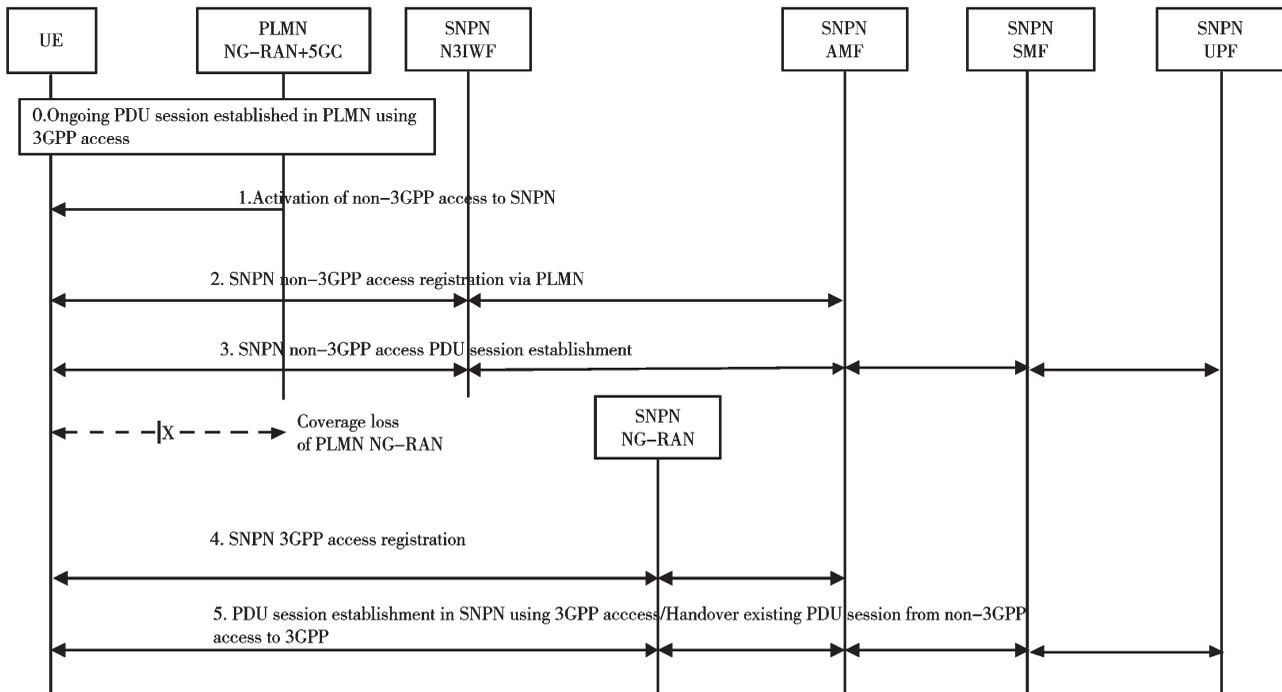


图 2 保持业务连续性的切换过程<sup>[1]</sup>

生活类业务的畅通。但由于生产和生活业务使用都可能会非常频繁,如果采用根据不同业务需求在5G公网和5G专网之间切换的技术方案,势必会给业务带来更大的时延,因此需要重点考虑UE能够并发连接到两个网络来同时收发数据的技术。由于一般重叠模式下PLMN的范围较SNPN更大,且SNPN资源更加有限和宝贵,需要并发连接的专网业务很可能非企业核心业务,因此本文仅探讨基于UE初始注册在PLMN的NG-RAN上,且5G公网业务不占用5G专网资源的情况。

3GPP的R16和R17中根据当前UE收发天线常见的配置1Tx/1Rx、2Tx/2Rx、2Tx/1Rx分别提出了技术方案<sup>[1]</sup>。在可以预见的未来可能会出现更多的天线配置,此技术方案将随之持续演进。

(1)UE的天线配置只有1Tx/1Rx,可以用R16中给出的“未信任的非3GPP访问”的解决方案,如图3所示,UE在驻留在PLMN上时,同时通过N3IWF使用IPSec隧道发送或接收来自SNPN网络的数据。

(2)UE的天线配置是2Tx/2Rx,UE可以用其2Tx和2Rx信道同时对两个网络发送和接收数据,实现机制与1Tx/1Rx类似。UE需要具备将业务路由到不同的路径的能力,如图4所示。

(3)UE的天线配置是2Tx/1Rx,R17中提出UE的1Tx可为两个网络(SNPN和PLMN)共享UL流量,并将2Rx拆分接收每个网络的DL用户平面流量,如图5所示。

在UE的Tx连接到PLMN的情况下,UE通过PLMN将SNPN的UL流量发送到SNPN的N3IWF,而UE使用

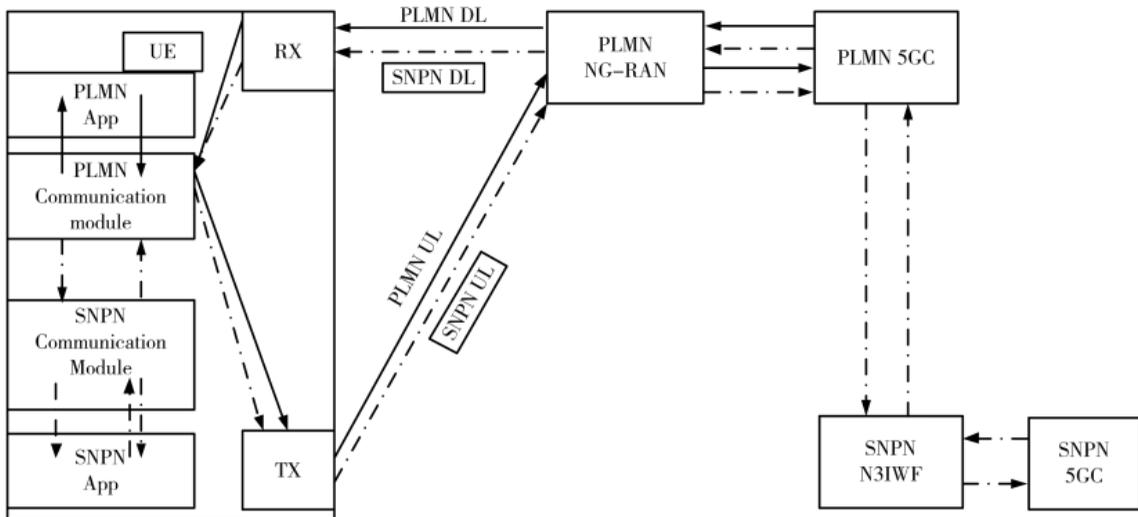


图3 1Tx/1Rx UE同时连接到SNPN和PLMN的结构

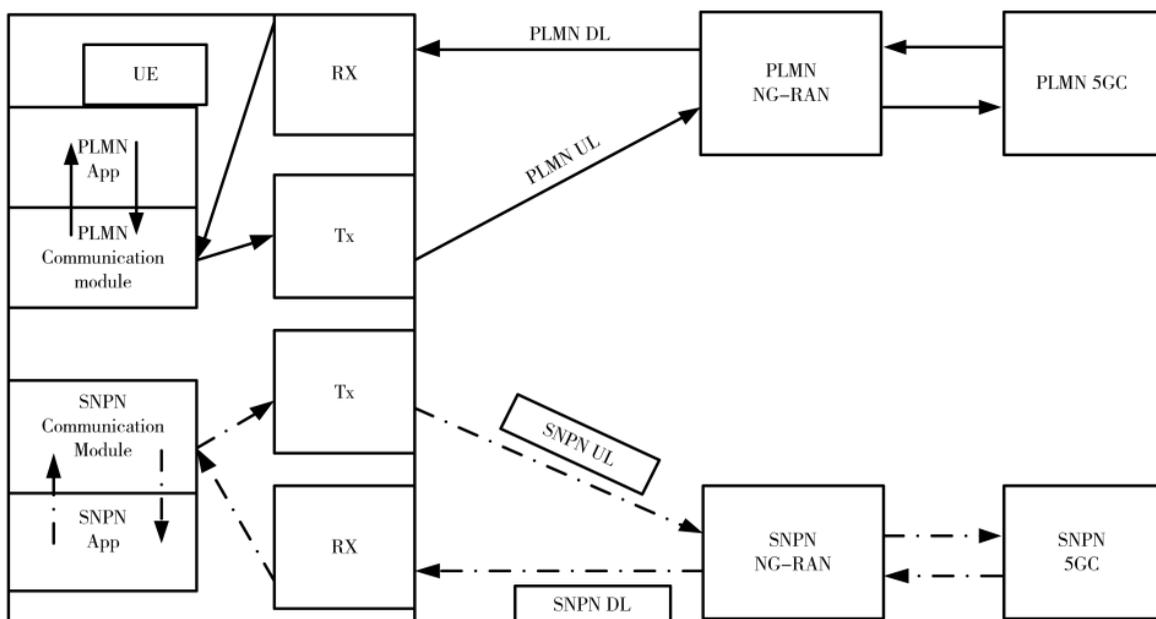


图4 2Tx/2Rx UE同时连接到SNPN和PLMN的结构

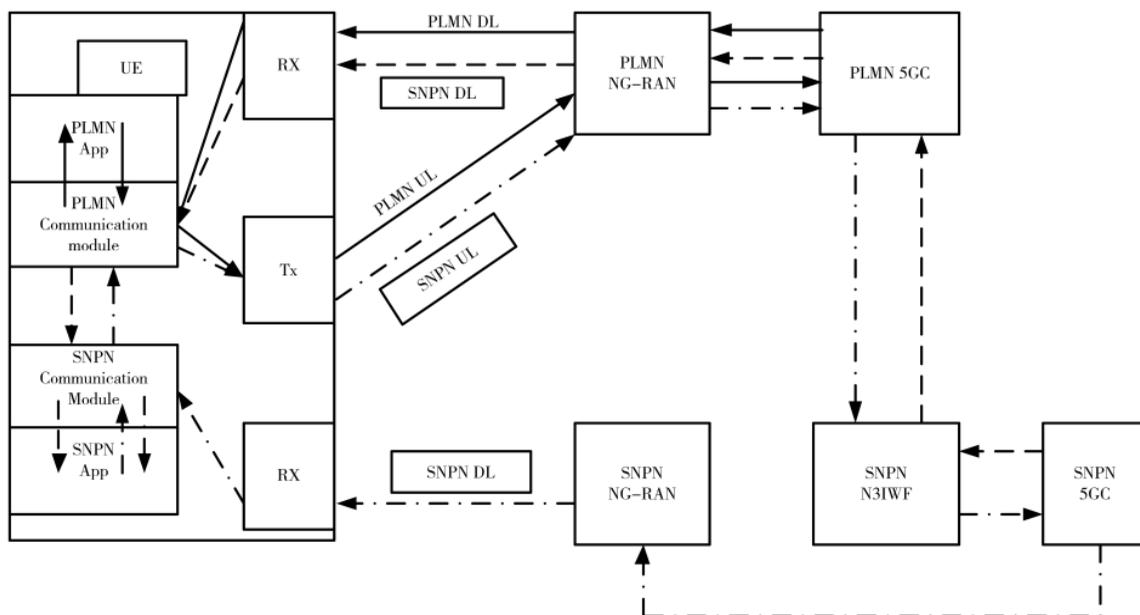


图5 2Rx/1Tx UE同时连接到SNPN和PLMN的结构

1Rx 直接从 SNPN NG-RAN 接收 SNPN DL 用户面流量。同时还允许 UE 在需要时通过 SNPN 的 N3IWF 从 PLMN 的 NG-RAN 接收 SNPN DL 用户面流量。另外, UE 可以使用另一个 Rx 以及共享 Tx 来接收和发送 PLMN 的用户流量。UE 需要具备基于终端的能力和 PLMN/SNPN 运营的策略来实现流量分割的能力。

## 5 结论

5G 专网的部署需要根据网络和终端能力、产业发展情况、客户惯性等因素综合选择技术方案, 当前应聚焦在当前企业客户更加关注的 SNPN 技术演进上, 尤其需要关注 5G 公专融合部署的两种模式下的技术方案。除了本文介绍的的业务连续性和并发连接技术方案之外, 还需加强研究漫游注册、鉴权认证、Qos 协同、资源协调等一系列技术方案。从 5G 专网的发展中深刻地意识到场景刺激技术、技术支撑场景, 公专融合的场景优势将会成为 5G 专网的差异化核心竞争力, 因此需要加快推进其在 3GPP 标准的演进和完善, 并尽快推动终端和网络设备商的能力实现。

## 参考文献

- [1] 3GPP. Technical specification group services and system aspects: TR 23.700-07 V1.2.0. Study on enhanced support of non-public networks (Release 17) [S]. 2020.
- [2] 3GPP. 3GPP TS 23.501: Technical specification group services and system aspects; system architecture for the 5G system; stage 2 [S]. 2020.
- [3] 3GPP. 3GPP TR 23.740 V0.5.0: Technical specification group services and system aspects; study on enhancement of network slicing (Rel16) [S]. 2018.
- [4] 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.
- [5] 刘洁. 面向工业园区的 5G 垂直组网类服务探讨 [J]. 移动通信, 2020, 44(1): 38-43.
- [6] 黄震宁, 李爱华, 张昊, 等. 3GPP R16 5G 核心网技术综述 [J]. 移动通信, 2021, 45(1): 85-89.
- [7] 马瑞涛, 王光全, 任驰, 等. 3GPP R16 5G 核心网标准及关键技术研究 [J]. 电子技术应用, 2020, 46(11): 30-35, 40.
- [8] 张力航, 翟恒, 罗锋. 公安宽窄带融合应急通信方案研究 [J]. 数字通信世界, 2019(3): 25, 42.
- [9] 吉启云. 电力通信专网中无线通信技术的应用研究 [J]. 卫星电视与宽带多媒体, 2020(13): 101-102.
- [10] 吴桂琴. 基于 230 MHz 福建电力无线专网规划 [J]. 科技与创新, 2020(22): 31-32, 34.
- [11] 袁路花. 无线专网管理现状及政策研究 [J]. 中国无线电, 2020(2): 31-33.
- [12] 宋得龙, 徐杨. 宽带集群通信产业发展现状及特点 [J]. 信息通信技术与政策, 2020(8): 72-74.
- [13] 刘佳. 应急无线专网通信发展与研究 [J]. 信息通信技术与政策, 2019(11): 27-30.
- [14] 蒋笑冰, 胡福强, 李赞. 铁路无线 WiFi 接入安全防护技术方案的研究 [J]. 铁道通信信号, 2017, 53(3): 49-53.
- [15] 郑健智, 魏茂林, 郭子健. 警用无线宽带专网建设的必要性及其发展方向浅析 [J]. 数字通信世界, 2020(5): 27-28.

(收稿日期: 2021-02-20)

## 作者简介:

赵婧博(1981-), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 5G 专网、5G 行业应用。

张学智(1983-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 5G 技术与应用创新。

邹礼宁(1997-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 无线通信。



扫码下载电子文档

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所