

# 基于PIN-NPN的 5G专网解决方案研究

Research on 5G Private Network Solutions Based on PIN-NPN

梁健堂,陈嘉明,许小婉(中国移动通信集团有限公司江门分公司,广东 江门 529000)

Liang Jiantang, Chen Jiaming, Xu Xiaowan (China Mobile Communications Group Co., Ltd. Jiangmen Branch, Jiangmen 529000, China)

## 摘要:

在5G专网的建设中,专网与专网的隔离、专网与公网的隔离是必须要面对的一个难题。通过PNI-NPN技术实现在同一PLMN的2个独立专网之间的物理隔离。PNI-NPN等5G非公共网络技术已成为垂直行业进行数字化转型的关键点,可以满足不同行业的专网建设需求。同时,5G专网也为电信网络提供了新的商业模式,PNI-NPN技术在5G专网的应用使得公网资源可在同一PLMN下帮助企业按需部署安全的5G专网,可以节约大量的专网投资。

## 关键词:

PNI-NPN;非公共网络;5G;应用场景

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2023.09.006

文章编号:1007-3043(2023)09-0026-07

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:

In the construction of 5G private network, the isolation between different private networks, as well as the isolation between private network and public network, is a challenge that must be faced. Through PNI-NPN technology, physical isolation is achieved between two independent private networks using the same PLMN. 5G non-public network technologies such as PNI-NPN have become the key points for vertical industries to carry out digital transformation, which can meet the construction needs of private networks in different industries. At the same time, the 5G private network also provides a new business model for the telecommunications network. The application of PNI-NPN technology in the 5G private network enables public network resources to help enterprises deploy a safe 5G private network on demand under the same PLMN, which can save a lot of private network investment.

## Keywords:

PNI-NPN; Non-public network; 5G; Application scenarios

引用格式:梁健堂,陈嘉明,许小婉. 基于PIN-NPN的5G专网解决方案研究[J]. 邮电设计技术,2023(9):26-32.

## 0 引言

5G时代,无线通信系统随着5G技术和标准的持续演进,将进一步发展并深入到垂直行业,加快企业数字化转型。随着ToB垂直行业业务需求的多样性,也为通信运营商和设备供应商带来了巨大挑战和机遇,如果运营商遵循传统网络(如:GSM、TD-SCDMA、LTE)的建设思路,仅通过一张网络来满足行业间差异巨大的业务需求,对于通信运营商来说投资预算巨大且效率低下,对于设备供应商来说,设备复杂化,成本

居高不下。因此,为了更好地满足不同行业对网络能力的差异需求,5G专网应运而生。

在5G专网的建设中,企业对网络的安全性提出了高要求,其中主要包括专网的隔离,如何做到专网与专网的隔离、专网与公网的隔离是必须要面对的一个难题。通常的网络隔离方案就是采用物理隔离,物理隔离需要依托公共陆地移动网(Public Land Mobile Network, PLMN)或者切片进行隔离。而当前受限于终端无法预置切片ID,基本上都采用了PLMN隔离,通过PLMN隔离就需要不同的专网使用不同的PLMN,这就增加了公网的PLMN的资源消耗。

NPN是在3GPP R16中引入的新特性,是一种用于

收稿日期:2023-08-16

构建垂直行业专用网络的技术。NPN可以和工业互联网进行很好的融合,实现端到端的资源隔离,为垂直行业提供专属接入网络,保障垂直行业客户资源独享。同时NPN可以为LAN服务提供支持,满足一些企业、住宅、学校等对于可靠且稳定的私有网络的需求。根据部署方式的不同NPN被分为2种类型:独立的非公共网络(SNPN)和非独立的非公共网络(PNI-NPN)。本文重点探讨PNI-NPN在工业互联网中的部署方案和优势,并以某园区实际应用为例,说明PNI-NPN的应用效果。

## 1 5G 专网技术

5G 技术可以提供 ToC 和 ToB 等服务,随着个人通信消费能力饱和,ToC 市场增长放缓,ToB 企业用户逐步成为 5G 市场的主角。如果 ToC 和 ToB 网络合一建设,实际是建设公网而不是专网,因两者服务对象、业务内容等差异化较大,合建会有很多不利之处,单独建设 5G ToB 行业专网,能更好为行业用户提供差异化的服务,进一步拓展 5G 业务领域。ToB 和 ToC 业务的模式对比如表 1 所示。

表 1 ToB 和 ToC 业务的模式对比

对比项	ToC(传统通信及互联网)	ToB(行业/企业专网及互联网)
业务类型	单一,主要是 eMBB,满足消费者语音和上网需要	多样,包括 eMBB、uRLLC、mMTC、V2X 等多场景
用户	个人用户	企业、行业、政府等
业务开通	单个用户或者批量用户	组织架构型开通
用户规模	大,依赖于现网用户数量	小,初期处于磨合培育期,预期未来有较大发展
网络状况	业务统一,网络相对稳定	需求众多,网络随需而动,变化频繁
市场特点	成熟市场,需求稳定	蓝海市场,需求多变
标准状况	标准成熟,已基本收敛	标准继续(R16、R17)还待完善
与现网关系	大,和现网需要进行业务继承和互操作	小,相对独立,可不依赖现网独立建设与发展

### 1.1 NPN 网络技术概述

NPN 一般只供企业等私有实体使用,可以利用虚拟和物理实体将 NPN 部署在各种配置中。在 3GPP 协议 3GPP TS 23.501 的定义中,SNPN 和 PNI-NPN 具体的部署方式如下。

a) SNPN。SNPN 不依赖公共网络提供的功能,包括无线和核心网都独立部署,独立管理。一个 SNPN 可以是一个隔离的不与 PLMN 之间交互的 NPN 网络,NPN 和 PLMN 可部署在不同的网络基础设施上。

b) PNI-NPN。又称公共网络集成的非公共网络,即在 PLMN 基础上部署的 NPN。PNI-NPN 可以完全或部分托管在 PLMN 基础设施上,依赖于部分公共网络的网络功能。

(a) PNI-NPN 是公网网络的一个切片。

(b) 独立的数据网络名称(Data Network Name, DNN)+用户面功能(User Plane Function, UPF)。

(c) 通过封闭访问组(Closed Access Group, CAG)机制,对接入 PNI-NPN 网络的终端做接入控制。

SNPN 和 PNI-NPN 模型如图 1 所示。

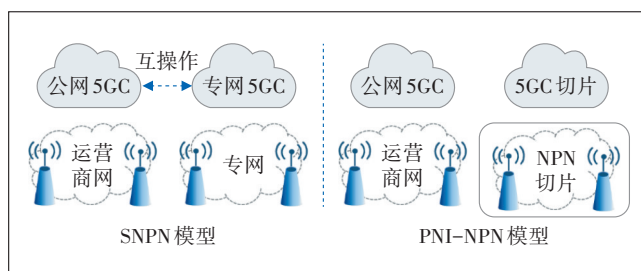


图 1 SNPN 和 PNI-NPN 模型

### 1.2 SNPN 与 PNI-NPN 的技术对比

SNPN 具有以下优势和劣势。

a) 投资和运维:SNPN 是完全独立的网络,与公网是完全隔离的,安全性是最好的,但网络投资巨大,部署、运维都是系统性难题。

b) 无线资源授权:SNPN 需要频点资源(需要无线管理机构审批)。

c) 安全互通:对接一个 SNPN 等同于对接一个新的公网系统,对接 SNPN 的工作量大,SNPN 数量多的话,对接就更加困难。

PNI-NPN 具有以下优势和劣势。

a) 投资和运营。接入公网进行网络部署和运维,无需企业自建 5G 网络,不存在频谱问题。

b) CAG 方式。实现公网用户和其他专网用户禁止接入、切换到专用小区,提供小区级的物理隔离保障。

c) 切片方式。终端、无线、网络侧需要支持切片相关功能,但切片方式可能会涉及切片选择流程,将增加信令消耗,影响接入时延。

传统切片专网和 NPN 专网模型的对比如表 2 所示。

### 1.3 PNI-NPN 技术解决方案

目前由于产业链暂未成熟且推广难度大,SNPN

表2 传统切片专网和NPN专网模型的对比

切片专网		NPN	
		SNPN	PNI-NPN
核心网网元	根据专网类别(软切/软硬切/硬切)部署有差异	AMF/SMF/N3IWF/PCF/UDM	AMF/SMF/PCF/UDM
NG-RAN	支持切片识别	支持接入SNPN的NG-RAN基站将广播PLMN ID和每个PLMN ID的NID列表,用于通知终端可接入的SNPN	初始接入和小区重选过程中,NG-RAN需要广播自身支持的CAG ID和相应的PLMN ID信息
UE	支持切片能力	UE支持SNPN功能,设置为以SNPN模式接入时,只能通过Uu接口接入SNPN并向其注册	支持CAG功能,可预配置在UE中,并可通过UCU流程进行更新
隔离	PLMN cell TAC 软切片专网<软硬切片专网<硬切片专网	SNPN可以和大网共享NG-RAN,也可部署非授权频谱,隔离度最高	PNI-NPN可以和大网共享或独立部署NG-RAN,可单独部署AMF/SMF等网元,隔离度高
与EPS互通	支持	不支持	支持
紧急服务	支持	不支持	支持
漫游或切换	支持	不支持SNPN之间的漫游和SNPN之间的切换	支持
网络标识	同大网标识,可针对特定行业分配特殊PLMN+NID,或者分配专用DNN等多种方式	PLMN ID+NID	为NPN用户分配专用DNN或者分配1个或多个网络切片实例
接入控制	网络切片无法识别限制UE在的园区接入,需要签约类似LADN等方式进行接入控制	用户签约信息包括了统一接入控制(Unified Access Control,UAC)信息	CAG来进行接入控制
非3GPP接入	支持	支持,但是SNPN接入大网需要单独配置N3IWF,双层N3IWF组网复杂	支持
标准成熟度	成熟	不成熟	一般
对比分析	切片端到端商用部署不成熟,但部署成本低,近期可通过签约DNN进行软切片专网部署,中长期进行软硬切片满足2B行业专网需求	可部署非授权频谱,不考虑与大网互联互通的前提下,可能是企业或行业选择	CAG按照小区级进行分组,UE根据CAG策略接入到CAG对应的基站,无论是终端、基站、核心网均需要感知,功能波及网元较多

不被采用。在5G专网的建设中主要采用PNI-NPN方案。

PNI-NPN依赖PLMN网络,一般部署CAG功能。该功能用于限定专网用户的接入区域,阻止未被NPN网络认证的终端用户接入集成NPN的公共网络,从而做到专网隔离。

基于PLMN网络部署的PNI-NPN,采用网络切片+封闭接入组CAG技术。先用网络切片进行资源隔离,行业终端专属基站或者频段,资源独享,核心网通过切片构建专属切片网络,然后通过CAG机制,基站广播PLMN+CAG ID,RAN/AMF基于CAG进行网络/小区选择和接入控制、移动性管理限制。

CAG技术原理包含接入控制、切换判决和寻呼。

a) 接入控制。专网通过小区SIB1系统信息广播,指示非CAG终端禁入和该小区的CAG ID列表;专网用户基于Allowed CAG ID选择匹配的专网小区接入,公网用户因专网小区禁入,不能接入专网。

b) 切换判决。对于配置了CAG-only指示的UE,当小区支持的CAG属于UE的allowed CAG list时,该

小区成为UE切换的目标小区。

c) 对于寻呼。基站根据字段PNI-NPN Restricted和Allowed CAG List per PLMN中的CAG information,确定发起寻呼的小区。

5G PNI-NPN网络架构如图2所示。

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主要共享方案分为3类: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。5G PNI-NPN的3种典型方案架构如图3所示。

a) 端到端共享方案。无需新建任何网元,依赖PLMN网络功能,但数据和信令出园,存在安全问题,时延取决于园区和公网UPF/MEC间的距离,全部共享公网资源,部署简单且成本低。

b) 共享无线网和控制面方案。园区需独立配置UPF、MEC,数据可以做到不出园,安全性相对较高,由于专用UPF、MEC下沉到园区,能够有效降低数据传输时延,但身份验证、移动性、与公网互通功能等仍需要公网网元执行,部分专网网元下沉到园区,部署成

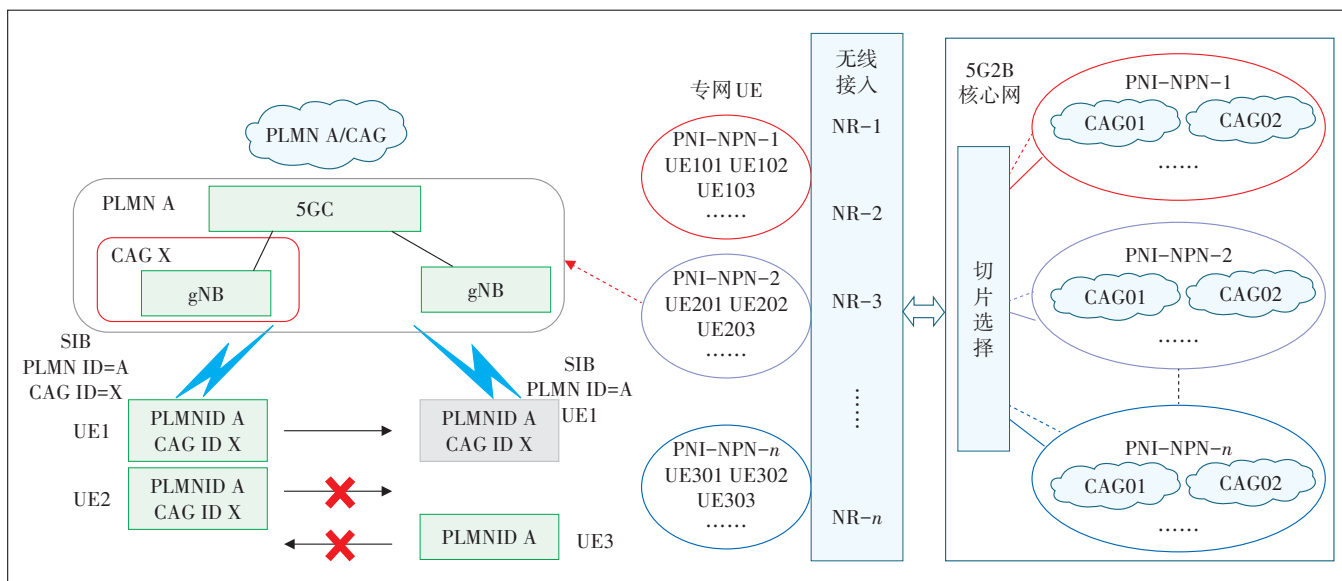


图2 5G PNI-NPN网络架构

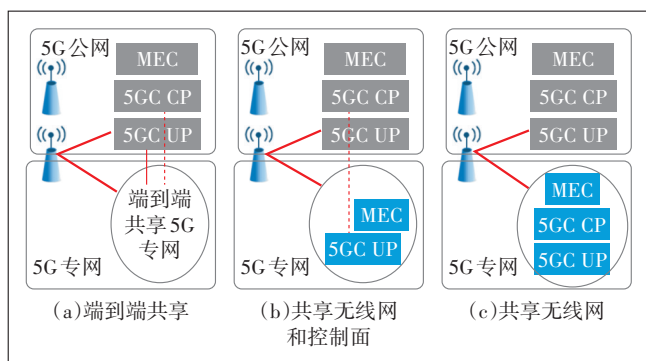


图3 5G PNI-NPN的3种典型方案架构

本较低。

c) 共享无线网方案。园区需配置UPF、5GC CP、MEC、UDM等,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,全部专网网元均下沉到园区,时延低,但部署成本高。

## 2 以某园区为试点案例说明PNI-NPN技术

### 2.1 某园区项目背景

某园区目前有3个基站,基站传输已经做了双路由保护,但由于地处偏远,传输接入环上需要经过好几个其他节点才能汇聚到汇聚机房,传输路由长故障概率大。而且由于地处海边,每年遭受台风袭击,台风期间由于传输中断(传输断缆、传输机房停电等)导致某园区的(无线/有线)通信中断时有发生,无法满足某园区极高的通信安全保障需求。

因此,客户需要一套应急通信保障方案,在因极

端自然灾害与外界的通信完全中断的情况下(相当于对外双路由传输或电力发生中断),可以通过应急通信保障系统(自生存网络系统),让园区内特定人员(自有员工)在指定保障区域内,在不更改手机号码不增加手机的条件下,仍然能与园区内的自有员工进行语音通信,通过手机或手持终端访问内网进行生产作业。

### 2.2 解决方案对比

结合PNI-NPN的技术解决方案有3种。

方案1:UPF+下沉。UPF+集成AMF、SMF、UDM的极简功能,作为大网5GC的备份,满足与大网断链时的应急接入能力。这种方案适合生产业务要求不中断场景。

方案2:定制化核心网下沉。在用户侧部署下沉AMF、SMF、UPF,UDM则根据是否需支持生产业务不中断而选择性部署。

方案3:全量核心网下沉。在用户侧部署下沉AMF、SMF、UDM、UPF,与大网无连接关系,网络全封闭、全隔离。

PNI-NPN解决方案对比如表3所示。

### 2.3 方案选择

本次研究采用方案2。正常状态下,园区所有基站仍采用大网5GC连接,也采用大网的UDM用户数据;应急状态下,基站需要在N2断链时支持应急5GC的重选,同时采用本地UDM的用户数据。通过在园区使用轻量化5GC建设独立专网,对接G城UDM的部署

表3 PIN-NPN解决方案对比

方案类型	专用方案	适用场景	断链时业务不中断	本地独立组网、高隔离	网络全封闭全隔离
方案1:UPF+下沉	应急方案	生产业务不中断类场景	满足	不满足	不满足
	UPF+集成AMF、SMF、UDM的极简功能,作为大网5GC的备份,满足与大网断链时的应急接入能力				
方案2:定制化核心网下沉	部分下沉-基础方案	网络高隔离类场景	部分满足(不支持新用户应急接入)	满足	不满足
	在用户侧部署下沉AMF、SMF、UPF无本地UDM备份,通过接口与大网UDM互联				
	部分下沉-增强方案	生产业务不中断、网络高隔离类场景	满足	满足	不满足
方案3:全量核心网下沉	全量下沉方案	网络全封闭、全隔离场景	不涉及	满足	满足
	在用户侧部署下沉AMF、SMF、UDM、UPF,与大网无连接关系				

方案,使用PIN-NPN进行接入控制,在简化网络规模的同时,拟使用PIN-NPN专网隔离方案,达到PIN-NPN在“专网隔离”上的需求。组网架构如图4所示。

在图4中,PIN-NPN是使用PLMN的基础结构资源部署的,在3GPP的文档中,该资源可称为主PLMN。部分RAN节点由PIN-NPN和PLMN共享,因此同时支持PIN-NPN和PLMN服务的UE可以通过这些共享的RAN节点访问这2个网络。除了共享的RAN节点外,PIN-NPN可能还有其专用的网络功能/资源,例如专用AMF、专用网络切片等。

#### 2.4 效果呈现

该园区从终端、无线、核心网端到端率先实现了基于CAG模式的NPN独立专网,运用下沉式5GC验证该模式的可落地性。实现不同园区内不同的用户签约不同的CAG,接入不同的基站,进而访问不同的业务。同时考虑到企业节省成本的需要,企业园区共享核心网,减少核心网侧的投资。实现公网和专网的完全隔离,在专网内部,通过CAG灵活地控制用户接入到不同基站。无线和核心网仅允许授权的行业终端接入专属网络,保障行业客户的资源独享。终端需支持CAG,并可配置CAG信息。基站小区则广播CAG指示和支持的CAG ID列表。核心网侧AMF根据小区

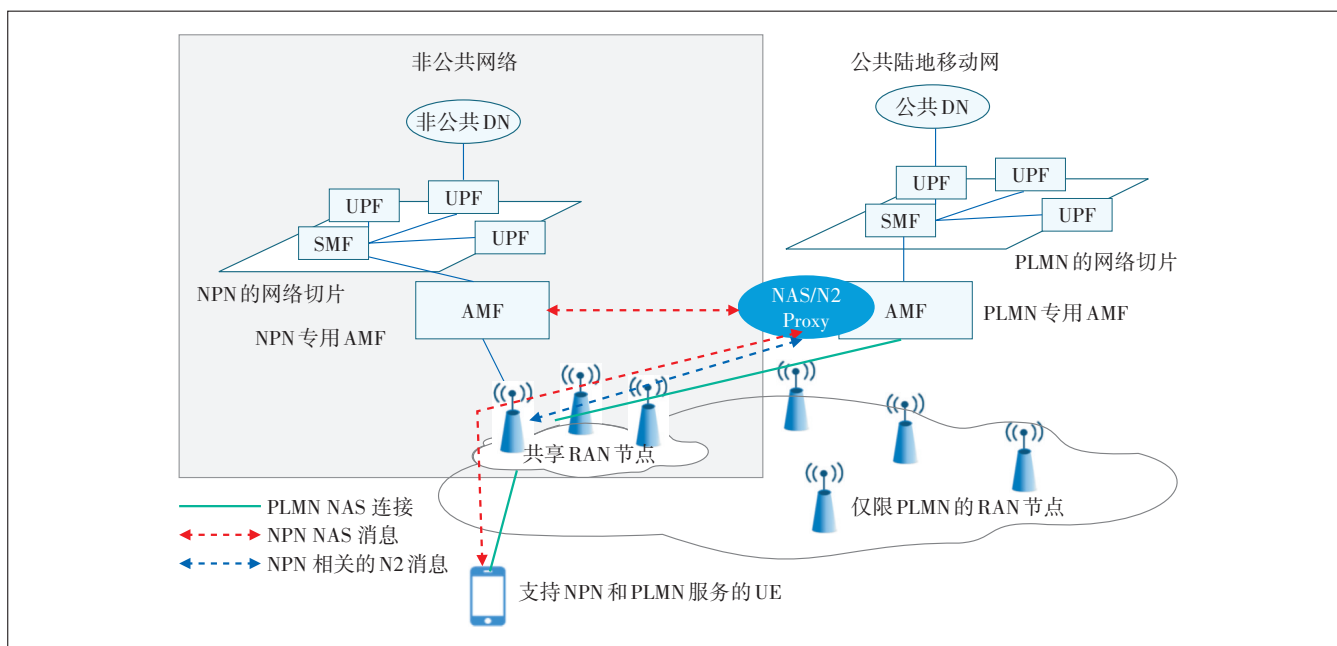


图4 基于PLMN基础结构托管PIN-NPN的网络架构

CAG能力和UE的CAG签约来进行UE接入控制和移动性管理。UDM需签约CAG能力。基于CAG的非公共网络覆盖结构如图5所示。

在公共网络覆盖范围内(使用相同PLMN和TA等)划分更小范围的园区子网覆盖,形成基于CAG的非公共网络,仅允许合法终端接入,未经授权的终端

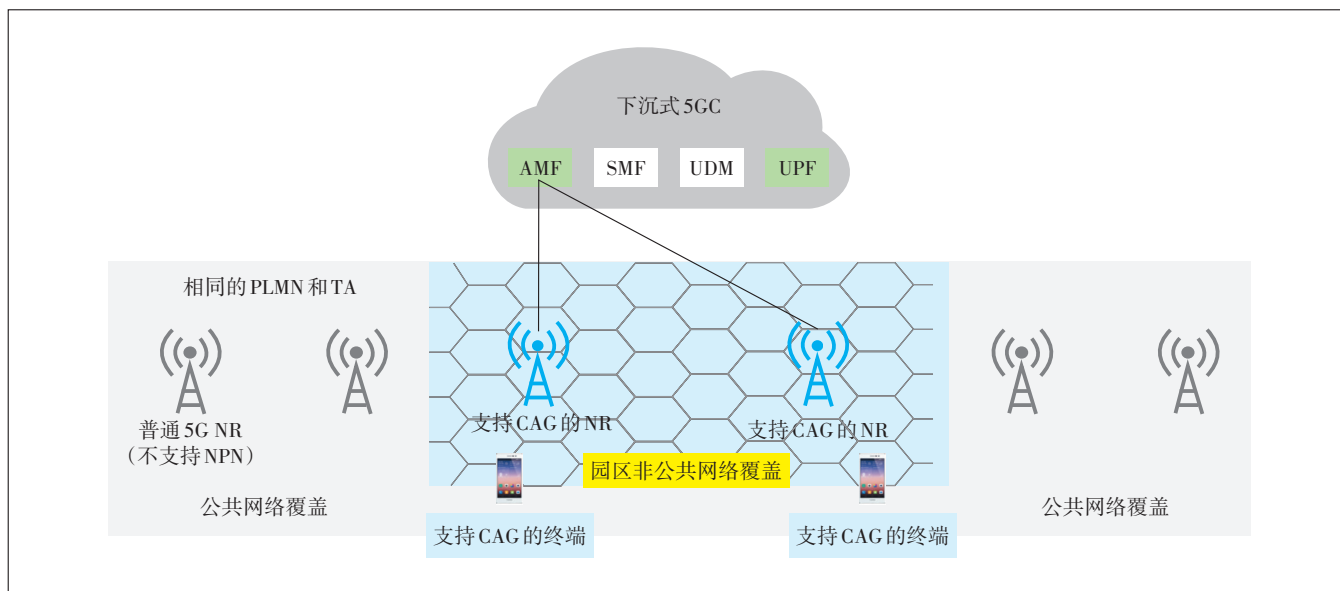


图5 基于CAG的非公共网络覆盖结构

无法接入。下沉式5GC网元功能描述如表4所示。

该园区部署PNI-NPN后的自生存5G应急通信保障系统结构如图6所示。

如果把自生存5G应急通信保障系统切分为3个部分,那么园区的网络可以看作是一个PNI-NPN,外面网络可以看作是PLMN,园区网络到G城的商用核心网通过城域网来承载。

在部署PNI-NPN后的架构中,园区的PNI-NPN

表4 下沉式5GC网元功能描述

网元	逻辑功能	网元功能描述
下沉式5GC	AMF	本地配置切片信息,减少通过系统信息块(System Information Block, SBI)到网络切片选择功能(Network Slice Selection Function, NSSF)的交互
		网元通过本地导址,代替网络存储功能(Network Repository Function, NRF)的服务发现方式寻址,简化流程
	SMF	SMF使用本地策略控制和计费(Policy Control and Charging, PCC)策略数据
	UDM	可选配置网元。如果专网5GC对接大网UDM,可以不配置 融合统一数据仓库功能(Unified Data Repository, UDR)和鉴权服务功能(Authentication Server Function, AUSF),认证过程在内部快速处理,简化了认证流程
UPF	UPF承担用户面数据转发处理等功能	

网络与公网可以共享RAN基站、频谱及传输网络,园区的PNI-NPN网络也可以独立运行。NPN网络用户既是NPN用户也是PLMN签约用户,PNI-NPN用户具备特殊接入标识符,即CAGID,基站通过CAGID区分公网用户和私网用户的网络接入权限。企业数据通过自身UPF管理,并存储在企业内部。下沉的SMF和AMF都是相对独立的,不受外部网络影响,这对于构建安全可靠的园区网络有着重要的参考意义。下沉式5GC支持5万用户,可以满足企业的部署需求,如果需要更大的容量,可以考虑部署多套5GC,工作在负荷分担的模式。同时,对于园区公众用户来说,网络的注册和控制均在5G公众网络,独立部署UDM网元,可使园区内部的公众用户在与G城核心网断开连接时,保持5G网络不中断。

公网和专网隔离以及专网之间的隔离是行业5G虚拟专网建设中的基本要求,试点中使用PNI-NPN技术完成了公-专网以及专-专网隔离的验证。充分验证了基于PNI-NPN技术的公网和专网隔离以及专网之间的隔离功能,证明PNI-NPN已经具备了商用能力,必将在5G行业专网建设中发挥其重要作用。

该项目证明了可以通过CAG模式PNI-NPN帮助企业快速灵活地搭建5G独立专网,实现企业数据不出

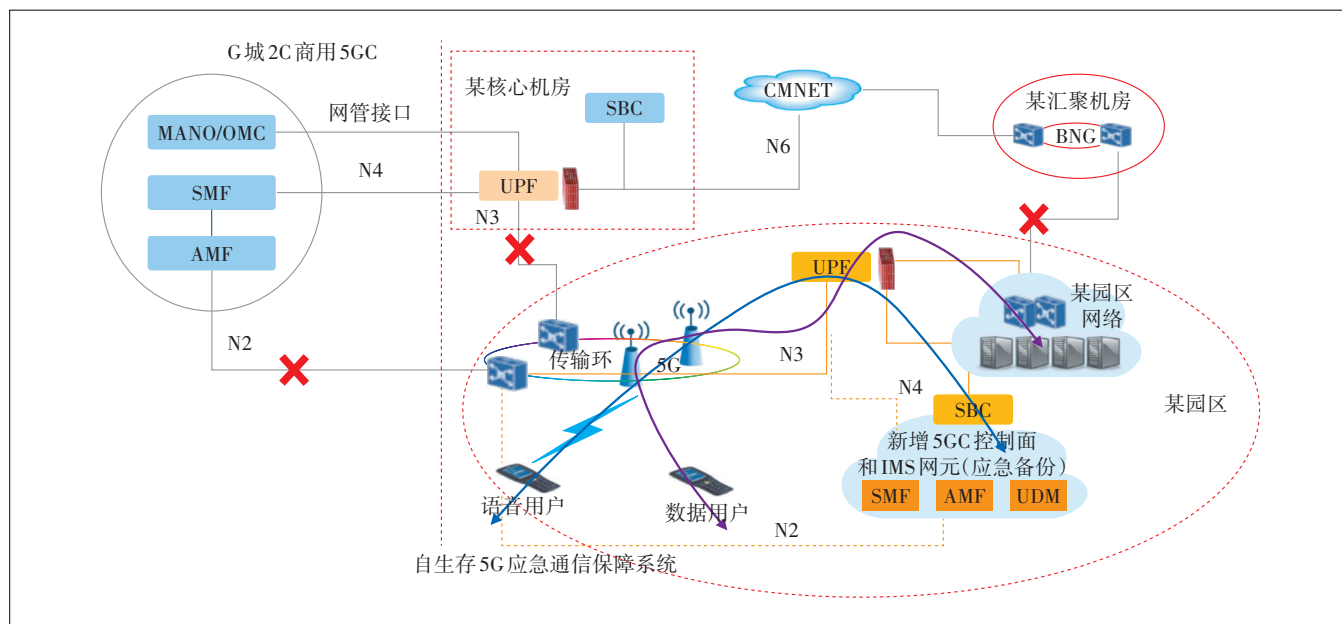


图6 基于PIN-NPN的自生存5G应急通信保障系统

园区,助力企业实现数字化转型。

### 3 结束语

随着5G网络建设的深入推进,在特定行业属性工业园区内享受便捷的5G网络服务将成为刚需,基于NPN的公专互通机制构建的智慧工业园专网,对解决园区内部对信号的安全、可靠带来的用户的漫游、切换管理机制等问题提供了一个很好的解决思路。

5G非公共网络技术已成为垂直行业进行数字化转型的关键点,可以满足不同行业的专网建设需求。PIN-NPN技术可帮助企业按需部署安全的5G专网,节约大量的专网投资。因此,需继续深入PIN-NPN等5G技术的研究,加强其在垂直行业领域内的创新应用,促进我国5G专网建设以及企业数字化转型。

#### 参考文献:

[1] 3GPP. System architecture for the 5G system(5GS):3GPP TS 23.501[S/OL]. [2023-06-19]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.

[2] 3GPP. Study on enhancement of 5G system(5GS)for vertical and local area network(LAN) services:3GPP TR 23.734[S/OL]. [2023-06-19]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.

[3] 3GPP. NR; NR and NG-RAN overall description; stage-2:3GPP TS 38.300[S/OL]. [2023-06-19]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.

[4] 3GPP. Study on enhanced support of non-public networks(NPN):3GPP TR 23.700-07[S/OL]. [2023-06-19]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.

[5] 3GPP. Study on security enhancements of 5G system(5GS)for verti-

cal and local area network(LAN) services:3GPP TR 33.819[S/OL]. [2023-06-19]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.

[6] 3GPP. Study on media production over 5G NPN systems:3GPP TR 26.805[S/OL]. [2023-06-19]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.

[7] 3GPP. Study on management of non-public networks(NPN):3GPP TR 28.807[S/OL]. [2023-06-19]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.

[8] 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.

[9] 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.

[10] 孙悦,龙彪,王庆扬. 非公用网络在工业互联网中的部署方案探讨[J]. 移动通信,2020,44(1):33-37.

[11] 方琰崑,陈亚权,李立平,等. 5G网络切片解决方案和关键技术[J]. 邮电设计技术,2020(3):70-74.

[12] 蒋峥,刘胜楠,田树一,等. 5G非公共网络技术分析[J]. 移动通信,2020,44(4):12-18.

[13] 祝咏升,魏长水,张骁. 5G公网铁路专用网络架构及安全部署方案[J]. 铁道通信信号,2023,59(1):13-18.

[14] 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.

[15] 张国新. 5G专网关键技术及定制服务实践[J]. 广东通信技术,2022,42(12):25-29.

#### 作者简介:

梁健堂,毕业于武汉理工大学,工程师,学士,主要从事网络规划、运维管理、新技术研究等工作;陈嘉明,毕业于华南师范大学,工程师,硕士,主要从事网络优化管理、网络优化、新技术研究等工作;许小婉,毕业于华南理工大学通信专业,工程师,硕士,主要从事家客、集客业务支撑管理工作。