

# 5G 国际漫游网络架构解析及部署 Research on Architecture and Deployment Scheme of 5G International Roaming Network 方案研究

许元波,刘 为(中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司,河南 郑州 450007)

Xu Yuanbo,Liu Wei(China Information Technology Designing & Consulting Institute Co.,Ltd. Zhengzhou Branch,Zhengzhou 450007,China)

## 摘要:

随着全球运营商5G SA网络的规模部署,实现全球范围内5G SA网络的漫游与互通已成为运营商急需解决的问题。相比于5G初期的NSA组网,5G SA作为5G的目标网络架构,其漫游服务具有更高的实用价值。分析了当前5G SA国际漫游业务概况、网络架构、接口协议、互通方案,并对未来5G国际漫游网络部署方案提出建议。

## 关键词:

5G 漫游;网络架构;互通方案;SEPP;N32;IPUPS  
doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2023.03.004  
文章编号:1007-3043(2023)03-0015-07  
中图分类号:TN915  
文献标识码:A  
开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Abstract:

With the large-scale deployment of 5G SA networks by global operators, realizing roaming and interoperability of 5G SA networks worldwide has become an issue that operators need to address. Compared with NSA networking in the early stage of 5G, 5G SA, as the target network architecture for 5G, has a higher practical value for its roaming services. It analyzes the overview of 5G international roaming services, network architecture, interface protocols, and interworking solutions, and provides suggestions on the deployment scheme of 5G international roaming networks.

## Keywords:

5G roaming; Network architecture; Interworking scheme; SEPP; N32; IPUPS

引用格式:许元波,刘为. 5G 国际漫游网络架构解析及部署方案研究[J]. 邮电设计技术,2023(3):15-21.

## 0 前言

5G是第5代移动通信技术,相较于4G方案,5G在峰值速率、流量密度、频谱效率等各项关键能力上均有大幅度的改善和提高。5G将通信行业与其他行业相互连接,为工业互联网、智慧医疗、智慧家居、智慧出行提供了技术基础,并带来了全新的体验。在全球范围内,移动网络运营商正在加大5G基础设施投资,扩大5G网络部署。

本文研究了5G国际漫游网络架构及关键技术要

求,并提出了5G国际漫游部署方案建议。

## 1 5G 国际漫游网络架构解析

### 1.1 5G 国际漫游标准进展概况

根据3GPP国际漫游标准进展情况,5G独立组网(Stand Alone, SA)国际漫游还需要进一步完善。

a) 3GPP R15定义了国际漫游2个架构(漫游地路由和归属地路由);基本定义了非切换、非安全相关的业务流程;初步定义了基于QoS计费的触发器(QoS flow Based Charging, QBC)计费;定义了部分国际漫游相关的计费字段。

b) 3GPP R16中未定义数据面安全流程,只定义

收稿日期:2023-01-05

了安全架构;定义了用于2个PLMN对账的字段,如ChargingID。

### 1.2 5G网络国际漫游场景分析

在3GPP 5G网络架构标准化进程中,根据是否与4G网络存在双连接关系,提出了非独立组网(Non Stand Alone, NSA)与SA 2种组网方式。NSA即4G与5G联合组网,SA则是5G独立组网。5G漫游网络由HPLMN和VPLMN组成,需要考虑5G网络、4G网络互通,国际漫游互通架构如表1所示。

### 1.3 5G漫游网络架构及建议

根据VPLMN和HPLMN使用情况,3GPP R15定义了2个5G SA国际漫游架构,分别是漫游地路由(Local Breakout, LBO)和归属地路由(Home Routed, HR)。

参考3GPP TS 23.501,5G采用基于服务接口的LBO网络,业务由拜访地接入。LBO的5G漫游系统架构和业务回归属地网络接入网络架构分别如图1和图2所示。

5G漫游网络涉及的接口和对LBO和HR的部署方案的比较分别如表2和表3所示。

结合现有4G网络国际漫游的使用情况,预计5G网络将采用HR作为国际漫游互通方案,HR方案具有如下特点。

- a) 采用与4G网络一致的成熟的HR国际漫游方案,可借鉴4G的成熟运营经验。
- b) 用户通过集中的UDM统一放号。
- c) 用户所有业务都回归属地接入。
- d) 只能支持时延不敏感类业务,如上网、下载类业务。
- e) 无法就近访问漫游地的专网业务,无法支持短时延业务,需要先经过归属地专网,才能访问漫游地专网业务。

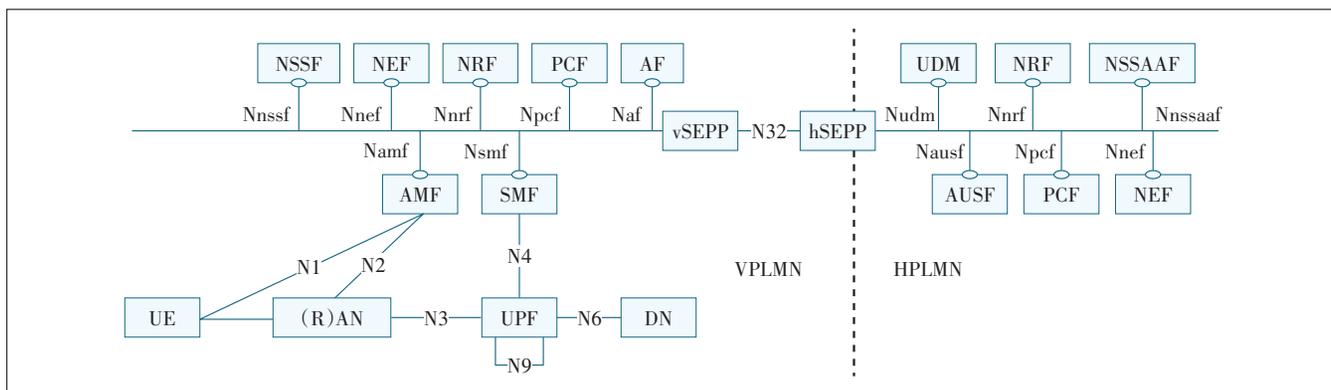
## 2 关键能力说明

### 2.1 SEPP和N32接口

在国际漫游网络中设置了安全边缘保护代理(Security Edge Protection Proxy, SEPP),为了保证跨PLMN之间的传输安全,所有跨PLMN的信令都需要通过SEPP转发,SEPP支持以下功能。

表1 5G网络国际漫游场景分析

用户终端	归属地网络	拜访地网络	可接入的方式	漫游互通架构(归属地→拜访地)	备注
4G终端	4G	SA	4G	EPC→EPC	-
	4G	NSA	4G	EPC→EPC	-
NSA单模终端	SA	SA	4G	EPC→EPC	终端不支持5G SA
		NSA	4G或5G NSA	EPC→EPC,或5GC→EPC	依赖用户在归属地的5G签约属性
	NSA	SA	4G	EPC→EPC	终端不支持5G SA
		NSA	5G NSA	EPC→EPC(NSA-NSA)	-
NSA/SA多模终端	SA	SA	5G SA	5GC→5GC(SA-SA)	-
		NSA	4G或5G NSA	5GC→EPC(SA-NSA)	依赖用户在归属地的5G签约属性
	NSA	SA	4G	EPC→EPC	3GPP规范不支持EPC→5GC使用5G SA接入
		NSA	5G NSA	EPC→EPC	-



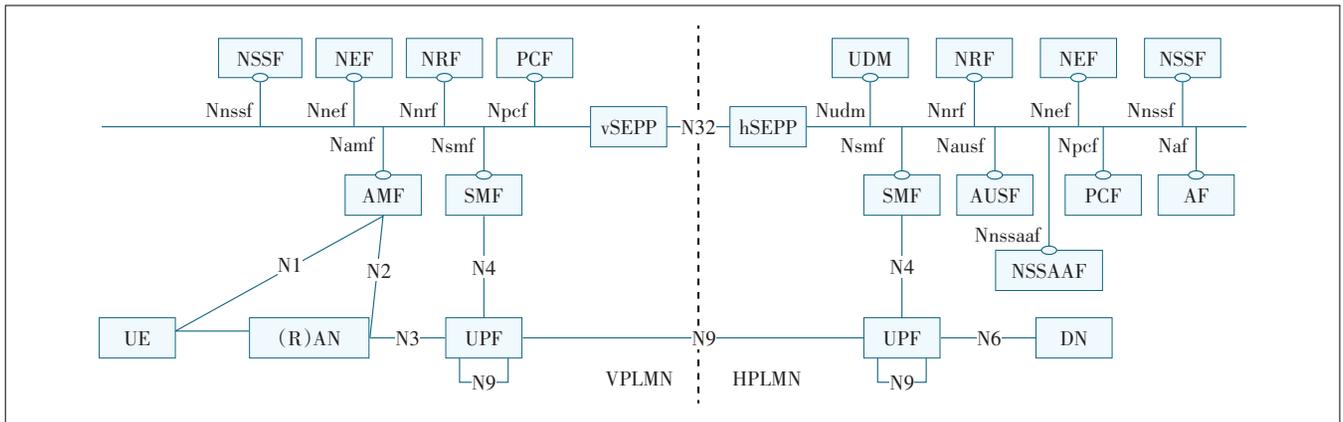


图2 5G 漫游系统架构(HR)

表2 5G 网络漫游接口

网络功能	参考点	协议	LBO, HR, or LBO & HR
AMF - UDM	N8	3GPP TS 29.503 and 3GPP TS 29.518	LBO & HR
SMF - UDM	N10	3GPP TS 29.503	LBO & HR
AMF - AUSF	N12	3GPP TS 29.509	LBO & HR
vSMF - hSMF	N16	3GPP TS 29.502	HR
SMSF - UDM	N21	3GPP TS 29.503	LBO & HR
vPCF - hPCF	N24	3GPP TS 29.513	LBO & HR
vNRF - hNRF	N27	3GPP TS 29.510	LBO & HR
vNSSF - hNSSF	N31	3GPP TS 29.531	LBO & HR
SEPP - SEPP	N32-c N32-f	3GPP TS 29.573	LBO & HR
vUPF - hUPF	N9	3GPP TS 29.281	HR

表3 5G 网络国际漫游互通方案比较

对比	LBO	HR
方案说明	VPLMN: 基本接入, 接入策略, 会话锚定; HPLMN: 用户签约, 会话锚定	VPLMN: 基本接入, 接入策略; HPLMN: 用户签约, 会话策略, 会话锚定
计费	仅拜访地具备计费能力, 无法进行拜访地和归属地之间的计费对账	拜访地和归属地均具备计费能力
监测	仅拜访地具备合法监测能力, 归属地无法对漫出用户进行合法监测	拜访地和归属地均具备合法监测能力
传输	用户传输路径较短, 跨 PLMN 仅信令带宽, 无数据带宽需求	用户传输路径较长, 需要较多跨 PLMN 的用户带宽
体验	体验更好	体验一般
适用性	预计少数运营商适用	多数运营商适用

a) 漫游运营商与归属运营商分别部署 SEPP, 负责超文本传输协议 (Hyper Text Transfer Protocol, HTTP) 的信令安全保护。

b) 拜访 SEPP 和归属 SEPP 之间采用静态配置, 网络内所有与漫游相关的 HTTP 信令均送往 SEPP。

c) SEPP 实现网络拓扑隐藏, 将 HTTP 信令中各 NF 的 FQDN 替换为 Telescopic FQDN, 再转发至其他 PLMN。

d) 根据部署场景方式的不同, SEPP 可通过 2 种方式实现信令安全保护。

(a) 通过安全传输层协议 (Transport Layer Security, TLS) 实现传输层的安全加密传输, 适用于 SEPP 间直连、无 IPX 转接的场景。

(b) 通过安全应用层协议 (Application Layer Security, ALS) 实现应用层信令参数加密, 适用于 SEPP 间通过 IPX 转接的场景。

3GPP TS 29.573 定义了用于 VPMN 和 HPMN 的 SEPP 之间的 N32 接口, 包括 N32-c 和 N32-f, N32 接口如图 3 所示。

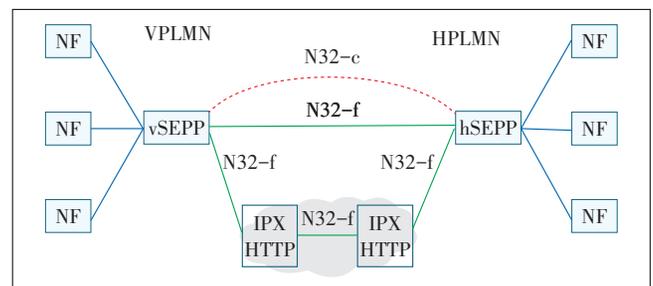


图3 N32 接口介绍

N32 接口说明如下。

a) N32-c。

(a) SEPP 控制平面的接口。

(b) 协商 N32-f 转发面连接的安全传输方式及相关参数。

(c) Short-lived的HTTP连接,一旦初始HTTP/2握手完成,N32-c连接就会断开。

(d) N32-c连接是SEPP间端到端的HTTP连接,不通过IPX来解析。

b) N32-f。

(a) 转发HTTP信令。

(b) long-lived的HTTP连接。

(c) N32-f连接可经由IPX节点网络或不经IPX节点网络。

## 2.2 5G与4G网络互通

3GPP允许5G网络与4G网络互通,UDM+HSS(Home Subscriber Server)支持S6a,SMF+PGW C和UPF+PGW-U分别支持S8-C和S8-U,能够支持用户漫游到基于4G网络的vPLMN。5G与4G互通的漫游架构(HR)如图4所示。

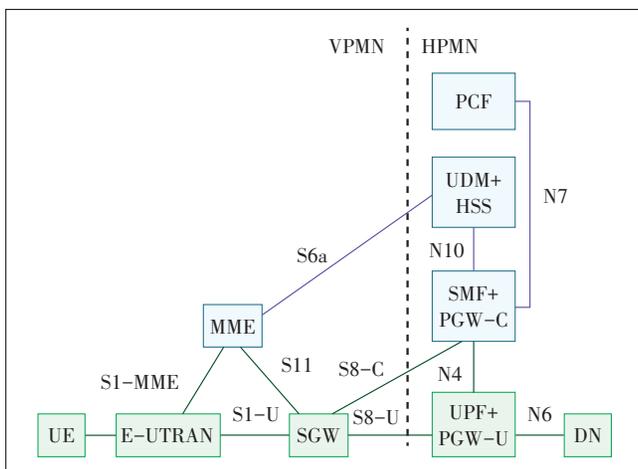


图4 5G与4G互通的漫游架构(HR)

a) S6a/Namf是MME/AMF与HSS之间接口。在国际漫游时,通过国际关口I-DRA/I-SEPP接入GRX/IPX网络实现互通。

b) N9接口是漫游地UPF和归属地UPF之间的接口,类似2G/3G网络的G<sub>p</sub>接口。在国际漫游时,SMF/UPF及PCF采用回归属地接入方式,与拜访SMF/UPF、PCF通过GRX/IPX网络实现互通。

c) S8接口是S-GW和P-GW之间的接口,类似2G/3G网络的G<sub>p</sub>接口,信令面采用GTPv2协议。在国际漫游时,P-GW采用回归属地接入方式,与拜访S-GW通过GRX/IPX网络实现互通。

d) NSA架构下,5G网络与其他国际运营商的分组网的互通与4G网络一致。

## 2.3 NRF功能

网元服务管理功能(NF Repository Function, NRF),支持服务发现功能,维护NF注册的服务信息。NF实例首次上线时根据配置到默认的NRF进行注册,注册成功后,NRF将此NF标记为可用、可以被其他NF发现。已注册的NF实例同时可以在NRF上注册其可提供的NF服务。NF实例的个别NF服务实例激活/去激活时也需要通知NRF。图5给出了5G跨PLMN服务发现示意。

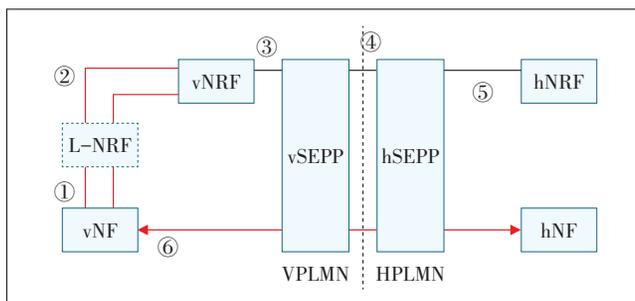


图5 5G跨PLMN服务发现

国际漫游的注册流程如下。

a) vNF基于用户SUPI中的PLMN信息,发起服务发现请求。

b) (可选)L-NRF基于PLMN信息,转发服务发现请求至vNRF。

c) vNRF基于PLMN信息,构造对端NRF FQDN,转发服务发现请求至vSEPP。

d) vSEPP转发服务发现请求至对端hSEPP,hSEPP基于FQDN信息,将服务发现请求发送至hNRF。

e) hNRF返回hNF信息。

f) vNF基于发现结果,经SEPP与hNF通信。

## 2.4 5G网络切片

网络切片由单个网络切片选择辅助信息(Single Network Slice Selection Assistance Information, S-NSSAI)进行定义,由切片/业务类型(Slice/Service Type, SST)和切片区分符(Slice Differentiator, SD)2个部分组成。SST代表网络切片的功能和业务类型,SD为可选项,可辅助区分具有相同SST的多个网络切片。网络切片的选择由网络切片选择功能(Network Slice Selection Function, NSSF)进行实施。UE国际漫游时必须包含1个或多个S-NSSAI。S-NSSAI格式如图6所示。

SST的0~127值保留由标准定义,128~255可由运营商定制。SD全国范围内统一规划,保证全国唯一

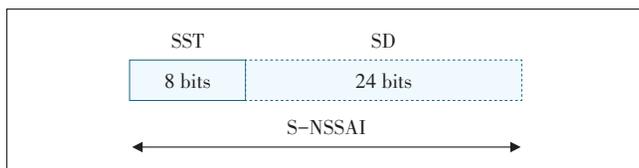


图6 S-NSSAI 格式

性,SD 包含<省份编号><切片流水号>,SD 省份编号采用 6 bit,切片流水号采用 18 bit,省内统一规划,建议切片流水号的前 4 bit 规划为省内业务类型字段。标准的 SST 取值如表 4 所示。

表 4 SST 取值

切片/业务类型	SST 取值	特性
eMBB	1	适用于处理 5G 增强移动宽带业务的网络切片
URLLC	2	适用于处理超高可靠性低时延通信业务的网络切片
MIoT	3	适用于处理大规模 IoT 业务的切片
V2X	4	适合处理 V2X 服务的切片
HMTC	5	适合处理高性能机器类型通信的切片

结合国际漫游开展情况,建议采用如下方式进行网络切片的部署。

a) 初期 NSSF 不跨 PLMN 通信组网,适用于标准国际切片国际漫游场景(标准切片无需映射)场景。

(a) 优点:业务流程简单,无需国际局部署 NSSF。  
(b) 缺点:对于非标准国际漫游场景,需要根据对接的 PLMN,不断增加 NSSF 的切片映射配置。

b) NSSF 跨 PLMN 进行切片发现,适用于非标准切片国际漫游场景。

(a) 优点:业务流程复杂,国际局部署 NSSF 进行跨 PLMN 切片发现请求。

(b) 缺点:目前协议定义不完善,切片流程无法适配。

## 2.5 网络安全

### 2.5.1 信令面安全

5G 漫游信令面安全架构由 SEPP 实现。SEPP 是一个非透明代理,允许不同 PLMN 中的 NF 之间进行安全通信。信令面安全实现方案如图 7 所示。

信令面安全实现流程如下。

a) SEPP 间通过 N32-c 协商安全策略为 PRINS,需要 2 个 SEPP 之间直连,不经过 IPX。

b) cSEPP 与 cIPX, cIPX 与 pIPX, pIPX 与 pSEPP 分别建立 TLS 链路。

c) cNF 发送 HTTP 请求至 cSEPP。

d) cSEPP 使用 JWE (JSON Web Encryption) 对 HTTP 消息进行保护。

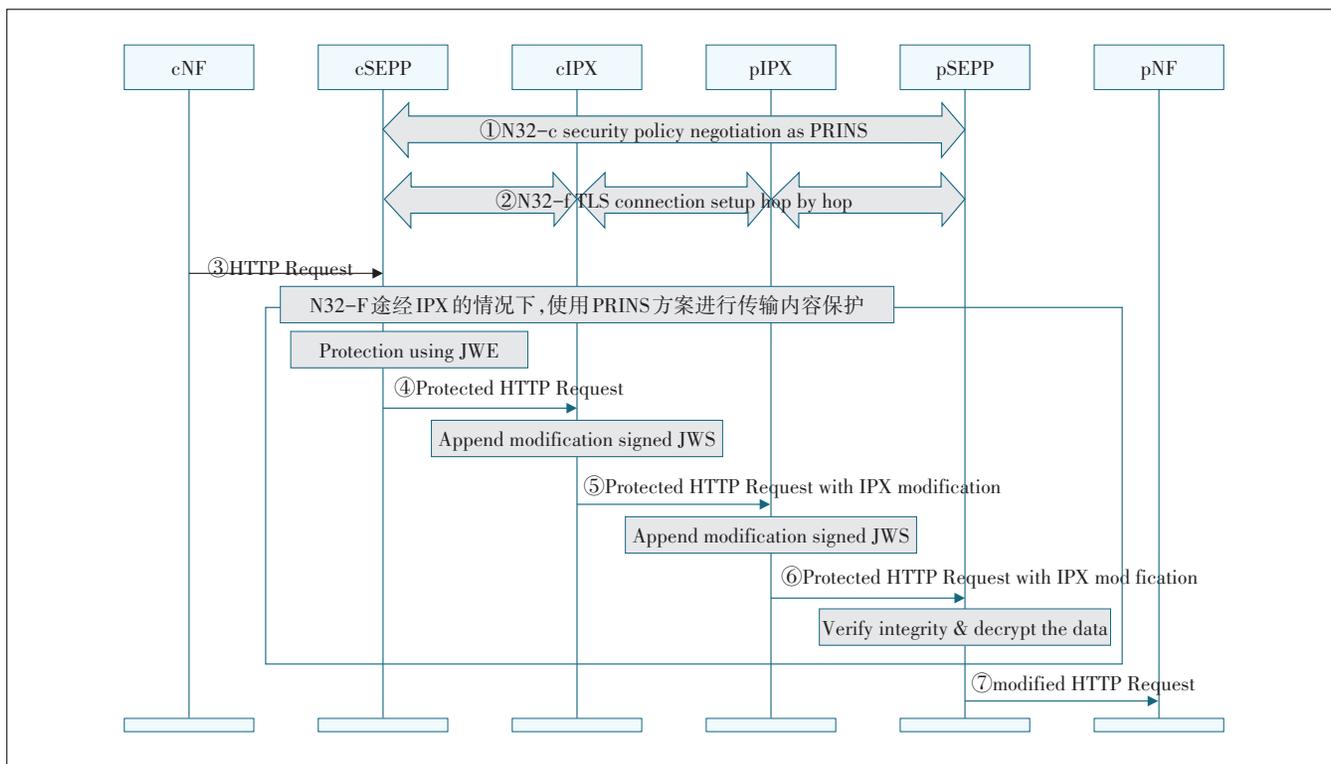


图7 信令面安全实现方案

- e) IPX 对修改的参数进行 JWS 签名, 防止恶意篡改。
- f) pSEPP 对消息进行 JWE 验证, 校验 JWS (JSON Web Signatures) 签名中的修改内容。
- g) pSEPP 转发 HTTP 请求至 pNF。

### 2.5.2 用户面安全

用户面安全路由方案如图 8 所示。

- a) 在 5G 安全架构中, 在 Home Routed 场景下, 引入 PLMN 间的用户面安全协议 (Inter PLMN User Plane Security, IPUPS) 作为数据面安全网关, 主要进行 GTP-U 数据包的校验。
- b) 运营商可以在其网络边界部署支持 IPUPS 功能的 UPF 或作为独立于 UPF 的网络功能的 IPUPS, 保护 HR 漫游场景不受无效的 Inter-PLMN N9 流量的影响。
- c) UPF 内的 IPUPS 功能将 N9 参考点上的用户平

面会话与 SMF 控制平面会话相关联, 如果不匹配, 则丢弃无效的用户平面会话。

## 3 主要业务流程

5G 国际漫游用户注册和会话建立流程见图 9。

### 3.1 国际漫游用户注册流程

- a) UE 在漫游地接入 AMF, AMF 向 V-NRF 发起 UDM 发现请求。
- b) V-NRF 收到请求后, 若判断为非本 PLMN UE, 则经 SEPP 通过 IPX/GRX 网络寻址到 H-NRF (通过归属地 PLMN 构造 hNRF 的 FQDN), 向 H-NRF 转发发现请求。
- c) 如 H-NRF 上已有 UDM 的注册信息, H-NRF 根据 SUPI 或 GPSI 等属性获得可用 UDM 列表, 并向 V-NRF 返回应答。
- d) V-NRF 收到可用 UDM 应答后返回给 AMF, 完

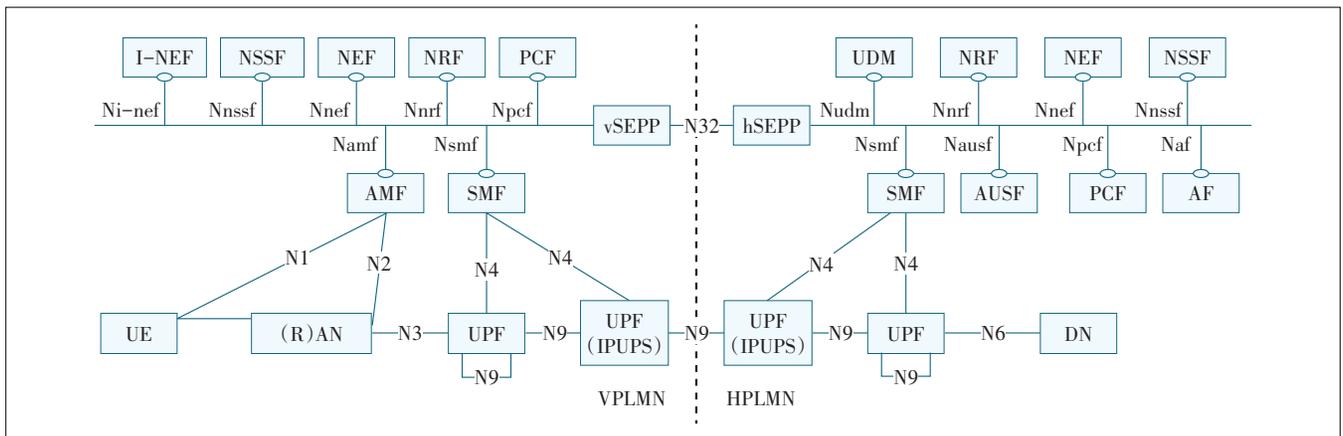


图 8 用户面安全路由方案

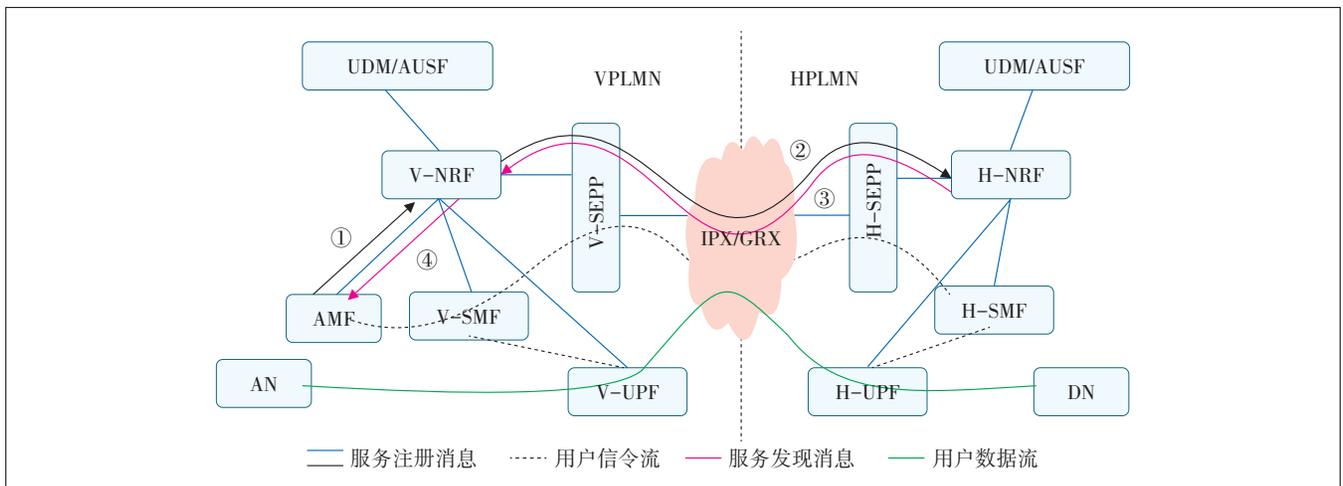


图 9 注册和会话业务流程

成 UDM 发现。

### 3.2 国际漫游用户会话建立流程

a) 会话建立时, AMF 向 V-NRF 发起 SMF 发现请求, 既需发现 V-SMF (TAI, NSSAI), 同时也要发现 H-SMF (NSSAI, DNN), AMF 需向 NRF 发起 2 次发现请求。

b) H-SMF 的发现, 需跨 PLMN 经 V-NRF, 到 H-NRF 发现后返回给 AMF。

c) AMF 根据 NRF 返回的 V-SMF/H-SMF 列表进行选择后, 首先向选择的 V-SMF 发送会话建立请求, 在 V-SMF 上进行 V-UPF 发现。

d) V-SMF 经 N16 接口, 调用 H-SMF 服务, H-SMF 收到后再进行 H-UPF 发现。

## 4 5G 国际漫游网络部署建议

目前主流运营商尚未部署 5G SA 国际漫游, 仅有部分运营商在考虑 SA 国际漫游的试点建设。对于未来 5G SA 国际局网元设置, 笔者的建议如下。

a) 在 5G 国际局部署采用虚拟化设备、云化部署方式。

b) 在国际局所在地建设专用国际 DC 做国际关口局, 新建部署国际漫游设备。

c) 在国际局所在地成对建设国际 SEPP, 实现 5G SA 国际漫游的安全防护和拓扑隐藏。

d) 在国际局所在地成对建设国际漫游专用 SMF 和 UPF, 实现对 5G SA 漫游业务的会话管理和业务路由的连接, 集中处理全网用户的国际漫游业务。

e) 在国际局所在地成对建设国际 NRF (可复用一级 NRF), 负责归属地和拜访地运营商之间 5G SA 国际漫游网元的发现和选择。

f) 在国际局所在地成对建设 NEF, 集中负责本运营商外部和内部的网络能力开放, 这一对 NEF 之间采用 1+1 互备方式。

g) 初期不涉及跨 PLMN 私有切片映射, 无需部署国际 NSSF; 后期有涉及跨 PLMN 私有切片映射的场景时, 部署独立国际 NSSF。

h) 初期不涉及多切片漫游, 不部署国际 NSSF, 开通基于 S8HR 的 VoLTE 语音漫游。后期部署多切片漫游, 部署国际 NSSF, 开通 VoNR 漫游业务。

## 5 结束语

放眼全球, 5G 建设如火如荼, 由于新冠疫情的大

流行, 2020 年 5G 的推出速度有所放缓, 但后期有加快趋势。目前 113 个移动运营商已在 48 个国家/地区启动了 5G 网络建设。预计在未来 5 年内, 运营商会将投资的 55% (约 8 900 亿美元) 用于 5G 网络设施的建设 (来源: GSMA)。中国的 5G 发展也已经进入快车道, 根据工信部发布的数据, 截至 2021 年底, 我国移动电话用户规模为 16.43 亿户, 其中 5G 手机终端连接数达 3.55 亿户。

运营商将逐步启动国际漫游网络建设, 初期提供基本数据漫入和漫出业务, 后期结合标准的进展和业务的需求引入切片业务漫游、VoNR 漫游业务等 5G 新业务。

### 参考文献:

- [1] GSMA. 5G roaming guidelines; GSMA PRD NG.113[S/OL]. [2022-05-28]. <https://hardware.iot.telekom.com/LoadDocument/4527/GSMA%205G%20Deployment%20Guide%20v2.pdf>.
- [2] GSMA. Guidelines for IPX provider networks; GSMA PRD IR.34[S/OL]. [2022-05-18]. <https://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads/NG.113-v2.0.pdf>.
- [3] 3GPP. System architecture for the 5G System (5GS); 3GPP TS 23.501[S/OL]. [2022-05-18]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [4] GSMA. LTE and EPC roaming guidelines; GSMA PRD IR.88[S/OL]. [2022-07-02]. <https://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads/NG.113-v2.0.pdf>.
- [5] GSMA. DNS/ENUM guidelines for service providers and GRX/IPX service providers; GSMA PRD IR.67[S/OL]. [2022-11-10]. <https://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads/NG.113-v2.0.pdf>.
- [6] GSMA. GPRS roaming guidelines; GSMA PRD IR.33[S/OL]. [2022-11-10]. <https://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads/NG.113-v2.0.pdf>.
- [7] GSMA. IMS Profile for voice, video and SMS over untrusted Wi-Fi access; GSMA PRD IR. 51[S/OL]. [2022-11-10]. <https://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads/NG.113-v2.0.pdf>.
- [8] 文旭桦, 吕振华, 李雪馨. 5G 国际漫游网络实现方案研究[J]. 移动通信, 2018, 42(10): 100-105.

### 作者简介:

许元波, 高级工程师, 学士, 主要从事国际移动核心网咨询和设计工作; 刘为, 毕业于北京邮电大学, 教授级高级工程师, 硕士, 主要从事电信交换网研究、咨询、规划和设计工作。

