

# 基于溯源的5G SA VoWiFi 解决方案研究

## Research on 5G SA VoWiFi Solution Based on Traceability

张 芳<sup>1</sup>,庄恒全<sup>1</sup>,李虓江<sup>2</sup>,陶伟宜<sup>2</sup>(1. 中国电信股份有限公司浙江分公司,浙江 杭州 310001;2. 华信咨询设计研究院有限公司,浙江 杭州 310052)

Zhang Fang<sup>1</sup>, Zhuang Hengquan<sup>1</sup>, Li Xiaojiang<sup>2</sup>, Tao Weiyi<sup>2</sup>(1. China Telecom Co., Ltd. Zhejiang Branch, Hangzhou 310001, China; 2. Huaxin Consulting and Designing Institute Co. Ltd, Hangzhou 310052, China)

### 摘 要:

VoWiFi语音业务是移动网语音解决方案VoLTE/VoNR的一个重要补充,可以解决室内弱覆盖情况下的语音业务需求问题。在当前家庭小区覆盖类投诉中语音投诉超过1/3的情况下,该方案显得尤为重要。在VoWiFi解决方案中引入精准溯源,保证给用户提供电信级安全标准的语音通话。在现网上对基于溯源网关的VoWiFi解决方案进行了组网部署,并对可能影响VoWiFi语音质量的因素进行了测试验证分析,最后对VoWiFi业务的部署提出了参考建议。

### 关键词:

VoLTE; VoNR; VoWiFi; 溯源; MOS

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2023.09.013

文章编号:1007-3043(2023)09-0069-06

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:

VoWiFi voice service is an important supplement to the mobile network voice solution VoLTE / VoNR, which can solve the voice service demand under the condition of weak indoor coverage. It is particularly important when the voice complaints in the current home cell coverage complaints exceed 1/3. In addition, the introduction of accurate traceability into the VoWiFi solution can ensure the provision of carrier level security standard voice calls to users. The VoWiFi solutions based on traceability gateways is conducted networking deployment on the current network, and the factors that may affect VoWiFi voice quality are tested, verified, and analyzed. Finally, reference suggestions for the deployment of VoWiFi services are put forward.

### Keywords:

VoLTE; VoNR; VoWiFi; Traceability; MOS

引用格式:张芳,庄恒全,李虓江,等. 基于溯源的5G SA VoWiFi解决方案研究[J]. 邮电设计技术,2023(9):69-74.

## 0 前言

根据统计,当前运营商的家庭小区覆盖类投诉占比在60%以上,其中VoLTE语音投诉占比40%左右。VoWiFi作为室内覆盖环境下移动语音类投诉的解决方案,可有效降低家庭语音、短信投诉等的赔补费用。

2017年国内运营商曾进行过VoWiFi的部署测试验证,测试结果表明,在一定的网络条件下VoWiFi能给用户带来良好的业务体验。但由于当时的解决方案不能解决用户的溯源问题,比如用户拨打紧急电话

时,无法准确提供位置信息,网络如果无法追溯到VoWiFi电话的拨出地点,则后续的紧急救援就无法开展。因此,VoWiFi功能一直未能在网络上部署应用。

随着国内运营商5G网络陆续部署在2.6 GHz、3.5 GHz、4.8 GHz等高频段,其信号穿透能力较弱,语音业务从VoLTE演进到VoNR后,对VoWiFi的诉求越来越强烈。中国电信自研了带有溯源功能的网关,可实现VoWiFi的溯源功能。

## 1 基于溯源的VoWiFi解决方案

3GPP明确了基于IMS提供语音业务,4G、5G均可作为IMS语音业务的一种IP接入方式。5G网络建设

收稿日期:2023-07-14

初期,采用从5G回落到4G网络的VoLTE语音解决方案;在5G网络发展到成熟阶段后,采用VoNR作为5G网络的目标语音解决方案。无论网络发展到什么阶段,VoWiFi都可以作为运营语音业务的有效补充,在无线网络覆盖不足的室内区域,利用Wi-Fi网络的覆盖解决用户的语音呼叫问题。

### 1.1 4G VoWiFi解决方案

4G VoWiFi主流采用3GPP标准的非信任域接入S2b方案,采用3GPP TS 23.402中的VoWiFi网络架构,沿用VoLTE的组网,在网络中新增ePDG作为非信任域Wi-Fi接入EPC的网关;VoWiFi与VoLTE共用核心网,采用原生态的终端,选择同一个PGW作为业务切换的锚点,实现VoWiFi与VoLTE之间的无缝切换,可保证语音连续性。系统中主要增加了3个主要接口。非信任域Wi-Fi接入VoWiFi网络架构如图1所示。

a) ePDG与UE间的SWu接口:SWu接口在控制面

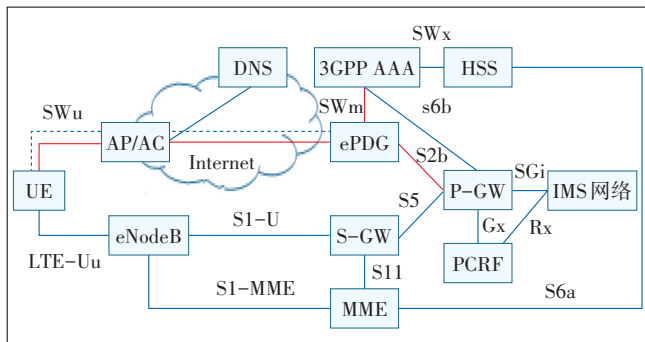


图1 非信任域Wi-Fi接入VoWiFi网络架构图

使用IKEv2消息,用户面封装在IPSec隧道中。

b) ePDG与P-GW间的S2b接口:S2b接口采用GTP隧道协议。

c) ePDG与3GPP AAA间的SWm接口:SWm接口采用Diameter消息。

### 1.2 5G用户基于溯源的VoWiFi解决方案

为了解决终端的溯源问题,中国电信基于运营商家宽的应用场景,结合家庭网关位置信息,在5G SA组网下,基于4G VoWiFi架构基础,新增ePDG到融合SMF+PGW-C的S2b-C接口、到融合UPF+PGW-U的S2b-U接口;3GPP AAA到融合SMF+PGW-C的S6b接口、到融合HSS+UDM的SWx接口;新增部署溯源网关,并增加其到ePDG的SWf接口、到固网AAA/溯源系统的PI接口,以实现5G SA用户的带溯源功能的VoWiFi业务。带溯源的VoWiFi网络架构如图2所示。

带溯源的VoWiFi具体实现机制如下。

a) VoWiFi用户附着流程中,新增的VoWiFi溯源网关与ePDG、固网AAA/溯源系统交互,完成家庭网关VoWiFi业务鉴权,并获取位置信息。

b) VoWiFi溯源网关与ePDG使用Diameter协议对接,进行位置查询。

c) VoWiFi溯源网关与固网AAA/溯源系统对接,通过用户Local IP和端口号(即家庭网关的出口IP地址和端口号)查询用户关联的账号、BRAS设备IP、PVC信息,并通过用户账号查询用户位置信息。

d) ePDG从VoWiFi溯源网关处获得用户位置信息,并将信息传递到UPF+PGW-U和SMF+PGW-C。

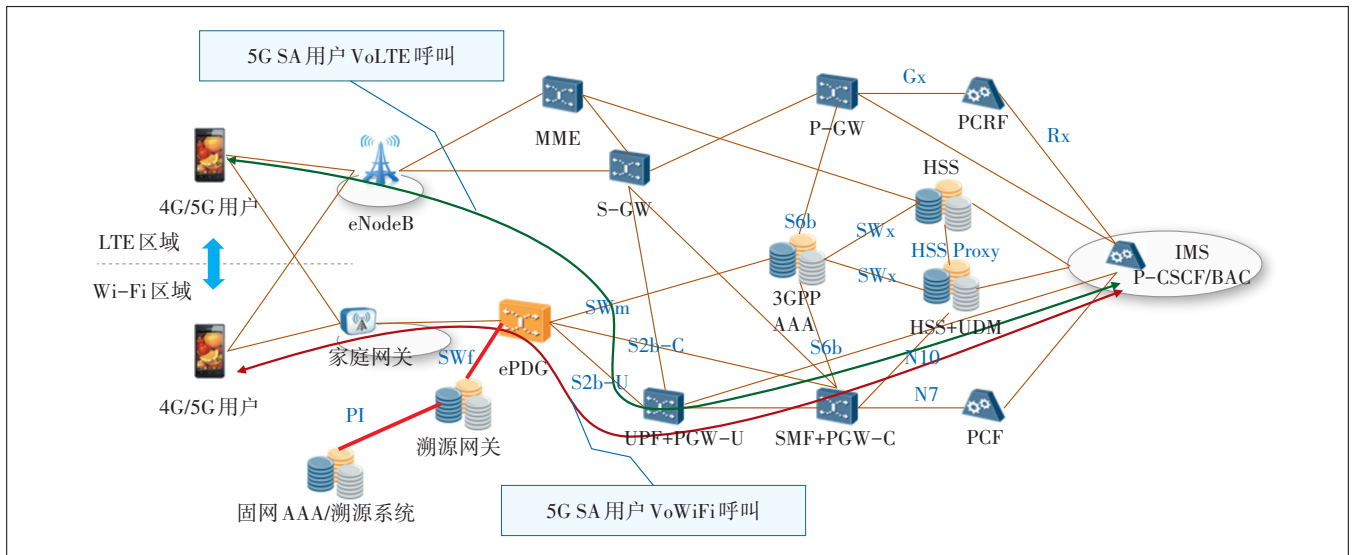


图2 带溯源的VoWiFi网络架构图

e) PCRF/PCF在VoWiFi呼叫进行位置查询时,通过N7接口从SMF+PGW-C获得用户位置信息。

f) P-CSCF/BAC通过Rx接口从PCRF/PCF获得位置信息,将从终端和网络获取的用户位置信息,生成新的PANI头域。

基于以上实现机制,网络可以精准溯源到终端发起VoWiFi呼叫时所处的家庭位置信息。

## 2 基于溯源网关的VoWiFi业务网络验证部署

### 2.1 现场试点组网架构

本研究采用的VoWiFi试点网络涉及网元如图3所示,蓝色部分为现网4G EPC核心网设备,黄色部分为现网5GC在网设备,绿色部分为测试新建设备。新建设备中,溯源网关为中国电信自研设备,PCF/PCRF、

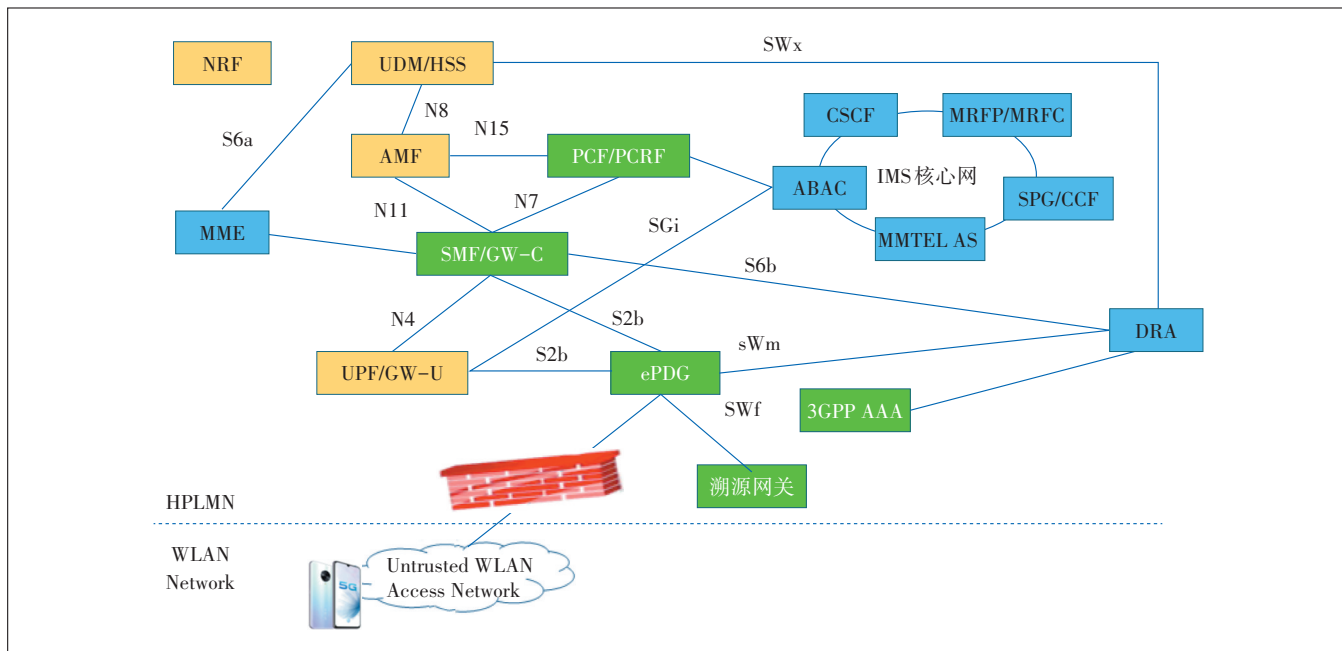


图3 带溯源VoWiFi试点网络逻辑架构图

SMF/GW-C、ePDG、3GPP AAA与5GC为同厂家设备。由于ePDG有公网暴露面,为保障网络安全需要隔离,到ePDG的访问先经过防火墙,在防火墙上配置白名单,仅允许测试AP接入。

网元部署资源池规划如图4所示。为避免对现网业务有影响,在现网资源池中新建PaaS来部署新建的PCF/PCRF和SMF/GW-C;ePDG和3GPP AAA部署在新建资源池中,采用独立HA部署的方式。

试点VoWiFi组网架构如图5所示。在现网5GC资源池内新增部署SMF和PCF;新增资源池部署ePDG和3GPP AAA,DCGW旁挂防火墙以隔离公网暴露面,

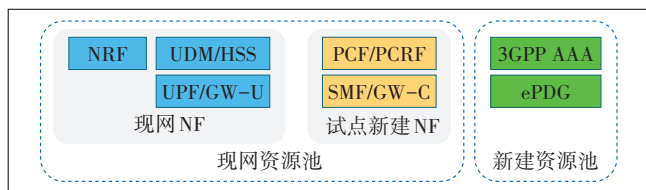


图4 资源池部署规划图

与现网5GC资源池共用5GC CE出口;新增溯源网关则部署在同机房的业务平台资源池内。

### 2.2 现场试点测试情况

#### 2.2.1 溯源流程测试

溯源网关通过SWf接口和PI接口实现用户溯源。其中,ePDG与溯源网关间的SWf接口通过Diameter协议交互位置溯源信息,溯源网关与固网AAA/溯源系统间的PI接口通过HTTP/HTTPS协议交互位置溯源信息。本研究通过信令跟踪的方式来分析溯源全过程是否完整。

a) ePDG通过SWf接口向溯源网关发送Query-Location-Request(QLR)消息,携带用户Local IP和端口号(即家庭网关的出口IP地址和端口号),查询用户位置信息。

b) 溯源网关通过PI接口向固网AAA/溯源系统发送HTTP/HTTPS GET请求,携带用户Local IP和端口号,查询用户当前接入的家庭网关是否开通VoWiFi业

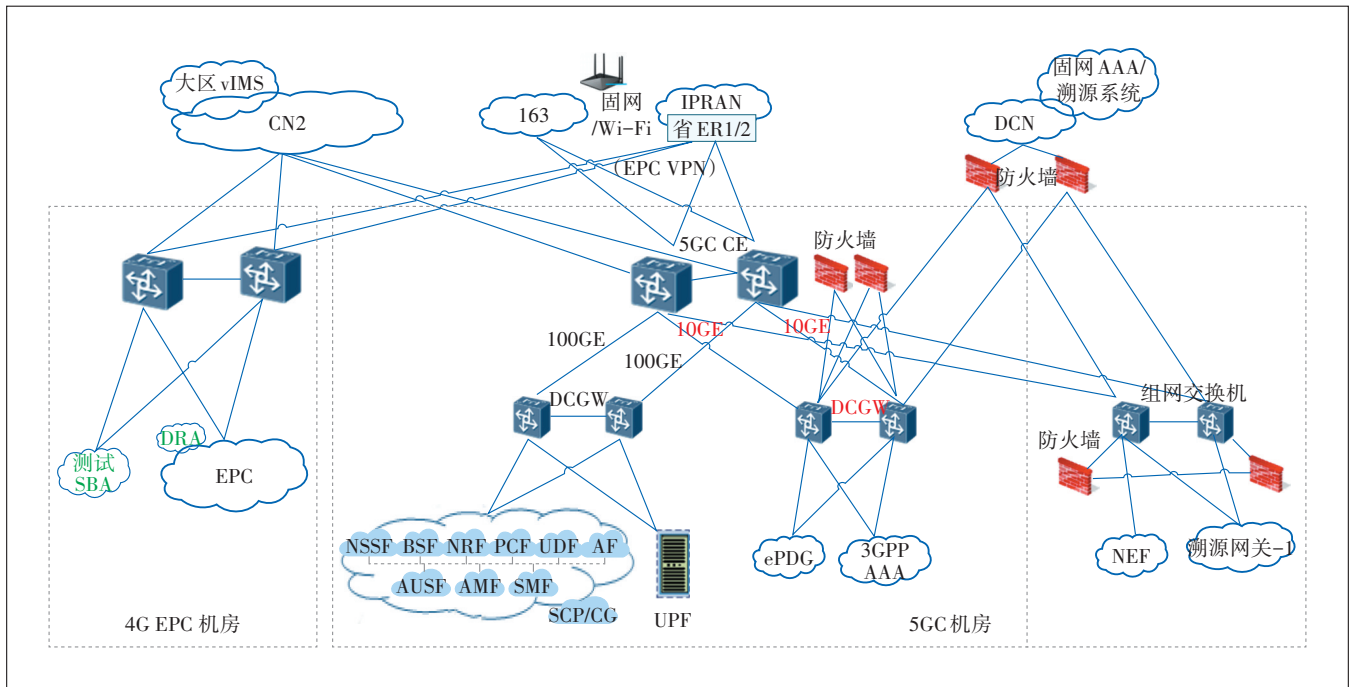


图5 试点VoWiFi组网架构图

务及用户位置信息编码、家庭宽带账号等信息。溯源网元应支持基于用户 Local IP 的判断,生成运营商与组网模式标识。

场景 1:家庭网关溯源成功,固网 AAA/溯源系统返回 200 消息,表示查询成功,并携带用户位置信息编码、家庭宽带账号等信息。溯源网关据此向 ePDG 返回查询成功的 Query-Location-Answer (QLA) 消息,携带用户位置信息。

场景 2:家庭网关未能成功溯源,固网 AAA/溯源系统返回 404 消息,表示查询失败。溯源网关据此向 ePDG 返回查询失败的 QLA 消息。

c) ePDG 收到固网 AAA/溯源系统发送的位置信息后,在发送到 SMF+PGW-C 的“Create Session Request”消息中,通过“WLAN Location Information (使用 Civic Address Information 信元存放‘行政区号+国家码+本地网区号+省份标签’+运营商标识+组网模式), UE Local IP Address, UE UDP Port”参数携带用户位置信息。

d) 融合 SMF+PGW-C 支持 IMS 呼叫流程中的位置查询,通过 UserLocation.N3gaLocation.ueIpv4Addr (或 ueIpv6Addr), UserLocation.N3gaLocation.portNumber 和 UserLocation.N3gaLocation.twapId 返回用户位置信息。

e) PCF 支持 IMS 呼叫流程中的位置查询,支持融

合 SMF+PGW-C 通过 UserLocation.N3gaLocation.ueIpv4Addr (或 ueIpv6Addr), UserLocation.N3gaLocation.portNumber 和 UserLocation.N3gaLocation.twapId 返回的用户位置信息,并支持通过 UE-Local-IP-Address AVP、UDP-Source-Port AVP 和 TWAN-Identifier AVP 将用户位置信息传递给 P-CSCF/BAC。

f) P-CSCF/BAC 从网络和终端获取用户位置信息后,填写 P-Access-Network-Info 头域并传递至其他 IMS 网元。IMS 网元在接收到包含 Wi-Fi 接入位置信息的 PANI 头域的消息时,按需对 Wi-Fi 接入位置信息进行相应的处理或直接透传。

基于上述现场测试情况判断,溯源结果实现了全流程精准传递。

### 2.2.2 家庭网关场景下切换测试

本次溯源的方案主要基于家庭网关提供位置信息来实现整个业务,因此本研究对家庭网关环境下进行了切换模拟测试验证。

a) 关闭移动数据开关,终端从 Wi-Fi 路由器 1 移动到 Wi-Fi 路由器 2。终端从 Wi-Fi 路由器 1 切换到 4G 再切换到 Wi-Fi 路由器 2,通过抓包分析判断在切入到切出 4G 的过程中通话有一小段中断。

b) 关闭移动数据开关,接通 VoWiFi 后切断 Wi-Fi 路由器上联链路。VoWiFi 通话先出现无声音的情况,然后通话中断。

c) 接通 VoWiFi 后打开移动数据开关,从 Wi-Fi 路由器 1 移动到 Wi-Fi 路由器 2。终端上网从 Wi-Fi 路由器 1 移动到 Wi-Fi 路由器 2。终端语音通话未中断,通过抓包分析判断 VoWiFi 通话在移动数据开关打开后即直接切换到了 VoLTE,即使移动到信号非常好的 Wi-Fi 路由器 2 也没有切回 VoWiFi。

d) 接通 VoWiFi 后打开移动数据开关,通话过程中切断 Wi-Fi 路由器上联链路,之后恢复 Wi-Fi 路由器上联。终端上网从 Wi-Fi 路由器切换到 4G,之后再切回 Wi-Fi 路由器。终端语音通话未中断,通过抓包分析判断 VoWiFi 通话在移动数据开关打开后直接切换到了 VoLTE,后续 Wi-Fi 路由器上联链路切断及恢复语音通话都一直保持在 VoLTE 下。

总体判断,家庭环境下无线信号良好的情况下,语音将一直保持在 VoLTE 下;在无线信号恶劣,Wi-Fi 信号良好的情况下,通话切换到 VoWiFi 后,能保证良好的用户业务体验。

在以上模拟测试验证的基础上,本研究还选取无覆盖、弱覆盖、高层信号杂乱 3 类场景的 6 个家庭进行了测试,发现在 VoWiFi 开通后,家庭可通话面积明显

增加,等效覆盖率从 53% 提升至 97%;语音质量 MOS 值从 2.49 提升至 3.77;且在家庭 Mesh Wi-Fi 情况下,VoWiFi 漫游切换几乎无感。

### 2.2.3 VoWiFi 语音质量测试

本次现场试验还重点测试了 Wi-Fi 网络质量对 VoWiFi 用户体验的影响。对于影响用户体验的 VoWiFi 语音通话质量、接通时间、切换时延等进行了测量。VoWiFi 语音质量测试记录如表 1 所示,VoWiFi ↔ VoLTE 切换测试记录如表 2 所示。

从上述测试结果,可以判断:

a) 在 Wi-Fi 网络质量良好的情况下,VoWiFi 语音质量用户体验良好。

b) LTE 和 Wi-Fi 网络质量均好的情况下,会优先选择 VoLTE 完成语音业务。

c) LTE 网络质量弱且 Wi-Fi 网络质量好的情况下,会从 VoLTE 切换到 VoWiFi。

根据综合分析,认为上述测试结果符合预期。

### 2.2.4 切换门限测试

在满足通话质量的前提下应尽可能减少通话中的切换,需要合理设置切换门限。本报告还对影响

表 1 VoWiFi 语音质量测试记录表

网络质量	VoWiFi 语音通话质量	VoWiFi 语音通话接通时间/s
Wi-Fi RSSI > -75 dBm	下行 MOS 值:最大值为 4.36,平均值为 4.26;上行 MOS 值:最大值为 4.39,平均值为 4.20	3.83
-81 dBm < Wi-Fi RSSI < -75 dBm	下行 MOS 值:最大值为 4.39,平均值为 4.08;上行 MOS 值:最大值为 4.38,平均值为 4.06	3.72
Wi-Fi RSSI < -81 dBm	下行 MOS 值:最大值为 4.39,平均值为 4.26;上行 MOS 值:最大值为 4.36,平均值为 4.21	3.51

表 2 VoWiFi ↔ VoLTE 切换测试记录表

场景	是否切换	用户面上行时延/ms	用户面下行时延/ms	控制面切换时延/ms	Wi-Fi RSSI	LTE RSRP	LTE SINR
LTE good → LTE available Wi-Fi good	否	-	-	-	-54	-111	2
LTE good → LTE poor Wi-Fi good	是	128	147	350	-45	-121	0
	是	115	187	192	-43	-116	-2
	是	156	200	200	-47	-120	1
	是	113	87	216	-50	-117	0
	是	238	301	665	-43	-116	-3
LTE poor Wi-Fi good → LTE good Wi-Fi good	是	127	98	130	-57	-100	-2
	是	120	93	150	-54	-101	3
	是	85	118	130	-54	-99	-2
	是	87	100	120	-54	-98	4
	是	95	127	130	-56	-97	-2
LTE poor Wi-Fi good → LTE available Wi-Fi poor	是	95	113	130	-81	-105	1
	是	106	87	160	-82	-106	-1
	是	105	113	151	-84	-105	1
	是	130	61	193	-81	-107	-2
	是	127	106	183	-86	-106	1

Wi-Fi 网络质量的接收电平 RSSI (Received Signal Strength Indication) 值以及影响 LTE 网络质量的参考信号接收功率 RSRP (Reference Signal Receiving Power) 与业务使用过程中的感知指标(语音 MOS 值)之间的关系进行了测试。VoWiFi 语音质量与 RSSI 关系测试记录如表 3 所示。VoLTE 语音质量与 RSRP 关系测试记录如表 4 所示。

基于上述现场测试情况看,为了保证用户良好的业务体验,切换门限的设置基于以下考虑。

a) 切出门限设置。在满足通话质量的前提下尽可能减少通话中的切换。

(a) 设置 Wi-Fi RSSI 切出门限至-81 dBm。Wi-Fi RSSI 低于-86 dBm 时语音质量在 3 分左右,考虑到家庭场景 Wi-Fi 信号跳变,为防止掉话,切出门限预留 5 dB 的余量。

(b) 设置 LTE RSRP 切出门限至-112 dBm。LTE RSRP 低于-117 dBm 时存在较高丢包率甚至掉话现象,考虑到 LTE 信号跳变,为防止掉话,切出门限预留

5 dB 的余量。

b) 切入门限和切出门限相差 6~7 dB 以避免乒乓切换,从而设置 LTE RSRP 切入门限至-105 dBm, Wi-Fi 切入门限至-75 dBm。

c) 终端处于空闲态时,由于对切换时延不敏感,为了保证终端尽量待机在最优的网络下,空闲态切出门限建议比业务态时抬高 3~4 dB。

### 3 总结

随着 5G 网络部署的逐渐推进,5G NR 将逐步实现连续覆盖,由 VoLTE 过渡到采用 VoNR 方案实现语音、数据在 5G 网络的端到端承载,这对高层建筑等场景下的家庭语音带来更加严峻的挑战。在某些区域室内弱覆盖无法通过无线基站建设得到明显改善的时候,通过 Wi-Fi 网络接入来给室内用户提供良好的 VoWiFi 语音是一个经济又高效的方案。

根据现场测试情况看,基于运营商家庭网关的溯源 VoWiFi 解决方案能满足室内弱覆盖场景下的语音业务需求。建议运营商在 5G SA 网络部署推进过程中,尽早考虑带溯源 VoWiFi 业务的部署,并持续跟进 VoWiFi 终端的进展;同时加强用户宣传,运用家庭 Wi-Fi 网络进行语音业务承载。

### 参考文献:

- [1] 稽夏. 基于非可信接入的 VoWiFi 网络部署研究[J]. 通信与信息技术, 2019(1): 56-58.
- [2] 李沛然, 贾传良, 刘少阳. 基于 VoLTE 网络的 VoWiFi 非信任域 EPC 接入技术研究[J]. 通信管理与技术, 2018(4): 29-32.
- [3] 田海建, 田薇. 运营商开展 VoWiFi 业务策略研究[J]. 广东通信技术, 2018(9): 34-40.
- [4] 陶伟宜, 陈云, 等. VoWi-Fi 业务解决方案及部署研究[J]. 邮电设计技术, 2017(6): 57-61.
- [5] 张丽. 5G 语音业务流程和典型问题分析[J]. 电信工程技术与标准化, 2021, 34(8): 76-81.
- [6] 石红晓, 刘佳, 钱华. 5G 核心网 VoNR 语音演进方案研究[J]. 电信快报, 2021(11): 27-30.
- [7] 陈俊明, 张洁, 王岱. 运营商语音业务发展探讨[J]. 广东通信技术, 2021(1): 41-46, 74.

表 3 VoWiFi 语音质量与 RSSI 关系测试记录表

RSSI/dBm	接入频率/ GHz	MOS 分				
		2.6	2.18	1.88	SILENCE	电话出现挂断情况
-90	2.4	2.6	2.18	1.88	SILENCE	电话出现挂断情况
-88	2.4	3.16	3.21	2.73	2.68	2.68
-86	2.4	3.08	3.28	3.19	3.14	3.12
-81	2.4	3.76	3.61	3.46	3.38	3.55
-80	2.4	4.06	3.81	3.86	3.68	4.23
-78	2.4	3.87	3.88	3.89	3.9	3.93
	5.0	3.9	3.86	3.89	3.73	3.88
-76	2.4	3.91	3.63	3.81	3.98	3.95
	5.0	3.94	4.01	3.83	4.06	3.88
-74	2.4	3.91	3.78	3.76	3.82	4.09
	5.0	3.93	4.01	3.97	3.85	4.04
-72	2.4	3.94	3.92	3.89	4.11	3.89
	5.0	3.97	4.11	3.92	3.94	3.85
-70	2.4	3.97	4.06	4.02	3.99	3.95
	5.0	3.95	4.11	4.12	4.03	4.01

表 4 VoLTE 语音质量与 RSRP 关系测试记录表

RSRP/dBm	MOS 分				
	3.22	3.80	1.27	SILENCE	电话出现挂断情况
-117	3.22	3.80	1.27	SILENCE	电话出现挂断情况
-105~-115	3.80	4.25	4.08	4.22	3.62
-100~-105	4.11	3.92	3.87	3.96	3.86
-95~-100	4.23	3.90	4.05	3.87	4.17
-90~-95	4.19	3.68	4.11	3.91	3.88
-85~-90	4.18	3.80	4.30	4.01	4.23

### 作者简介:

张芳,高级工程师,主要从事核心网网络规划建设工作;庄恒全,高级工程师,主要从事核心网网络运营维护工作;李斌江,正高级工程师,主要从事移动网络总体规划设计工作;陶伟宜,正高级工程师,主要从事核心网网络规划设计及软课题研究工作。