



VoNR 语音解决方案应用研究

李贝¹, 刘光海¹, 肖天¹, 胡煜华², 郑杭波³, 成晨¹, 伍一帆⁴, 黄秀珍⁵

(1. 中国联合网络通信有限公司研究院, 北京 100048;

2. 中国联合网络通信有限公司浙江省分公司, 浙江 杭州 310051;

3. 杭州萧山国际机场有限公司, 浙江 杭州 310051;

4. 杭州中威电子股份有限公司, 浙江 杭州 310051;

5. 浙江理工大学科技与艺术学院, 浙江 绍兴 312369)

摘要: 5G 时代, 为了提升用户感知、缩短呼叫建立时延、增强实时语音通信的清晰度, 3GPP 标准引入了 5G 新通话 (voice over new radio, VoNR)。VoNR 是让语音、视频和数据业务都承载在 5G 网络上, 让用户体验到 VoNR 带来的更加高清优质的音/视频通话服务, 并且能在拨打电话的同时畅享 5G 高速数据上网业务。从语音通信技术发展历程、VoNR 技术特点等方面, 对 VoNR 语音解决方案和实施效果进行了深入剖析, 并指出了 VoNR 语音解决方案当前面临的挑战, 为后继 VoNR 语音全国实施提供了技术借鉴。

关键词: 5G; 3GPP; VoNR

中图分类号: TP393

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022100

Research on VoNR solution application

LI Bei¹, LIU Guanghai¹, XIAO Tian¹, HU Yuhua², ZHENG Hangbo³,

CHENG Chen¹, WU Yifan⁴, HUANG Xiuzhen⁵

1. China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China

2. Zhejiang Branch of China United Network Communication Co., Ltd., Hangzhou 310051, China

3. Hangzhou International Airport, Hangzhou 310051, China

4. Joyware Electronics Co., Ltd., Hangzhou 310051, China

5. Keyi College of Zhejiang Sci-Tech University, Shaoxing 312369, China

Abstract: In the 5G era, in order to improve user perception, shorten call setup delay, and enhance the clarity of real-time voice communication, 3GPP standard introduces the VoNR solution. VoNR is to allow voice, video and data services to be carried on the 5G network, let users experience the high-definition and high-quality audio and video call services, and enjoy 5G high-speed data Internet services while calls. The VoNR technical characteristics and the VoNR solution implementation effect were deeply analyzed. The current challenges faced by the VoNR solution were presented, which provided technical reference for the subsequent nationwide implementation of VoNR.

Key words: 5G, 3GPP, VoNR



0 引言

数据业务需求是移动通信网络向 5G 演进的主要推动力,但语音业务仍然是不可或缺的业务需求。移动通信网络的语音业务经历了 2G、3G、4G 到 5G 不同的解决方案,3GPP 确定了 5G 沿用 4G 的语音架构仍基于 IP 多媒体子系统 (IP multimedia subsystem, IMS) 提供语音业务,5G 独立组网 (5G SA) 主要有演进的分组系统回落 (evolved packet system fallback, EPS Fallback) 和 5G 新通话 (voice over new radio, VoNR) 两种方案。VoNR 语音呼叫建立时长更短、语音质量更好,且用户在语音通话的同时能享受畅快的 5G 网速,用户体验质量大幅提升。此外,随着 VoNR 规模部署,更多的语音业务向 4G/5G 网络迁移,这有利于加速淘汰老旧的 2G/3G 电路交换 (circuit switching, CS) 的语音方案,重耕 2G/3G 优质频段。

1 语音通信技术发展历程

移动通信网络的语音业务解决方案,2G 和 3G 采用 CS 语音方案,4G 采用电路域语音回落 (CS fallback, CSFB) 和长期演进语音承载 (voice over long-term evolution, VoLTE) 的语音方案^[1],CSFB 即终端在 4G 网络语音呼叫时从 4G 网络回落到 2G/3G 网络的电路域进行语音通话结束后返回 4G 网络,VoLTE 即长期演进 (long-term evolution, LTE) 网络直接提供基于 IP 的语音业务;5G 网络有非独立组网 (NSA) 和 SA 两大选项,对应采用 VoLTE、EPS Fallback (即终端在 5G 网络语音呼叫时从 5G 网络回落到 4G 网络进行基于 IP 的语音业务通话结束后返回 5G 网络)、VoNR 3 种语音方案^[2];从 2G、3G、4G 到现在的 5G 时代,为了增强实时语音通信的清晰度,语音编码技术从自适应多速率 (adaptive multi-rate, AMR) 语音、宽带自适应多速率编码 (adaptive multi-rate-wi-

deband, AMR-WB) 演进到增强型语音服务 (enhanced voice service, EVS)^[3]。

2 语音通信现状及面临的挑战

语音技术演进方面,5G SA 网络初期采用 EPS Fallback 到 LTE 网,SA 网络成熟后采用 VoNR 方案^[4],VoNR 和 EPS Fallback 共用一套 IMS 架构,4G 核心网分组核心网 (evolved packet core, EPC) 和 5G 核心网 (5G core, 5GC) 分别作为分组语音的承载。EPS Fallback 与 VoNR 方案结构比较如图 1 所示^[5],EPS Fallback 与 VoNR 方案理论性能差异比较见表 1^[6],VoNR 较现网 EPS Fallback 具有无须系统间操作、呼叫时延短、高清晰高保真语音体验等优势^[7],待现网中验证后应用。

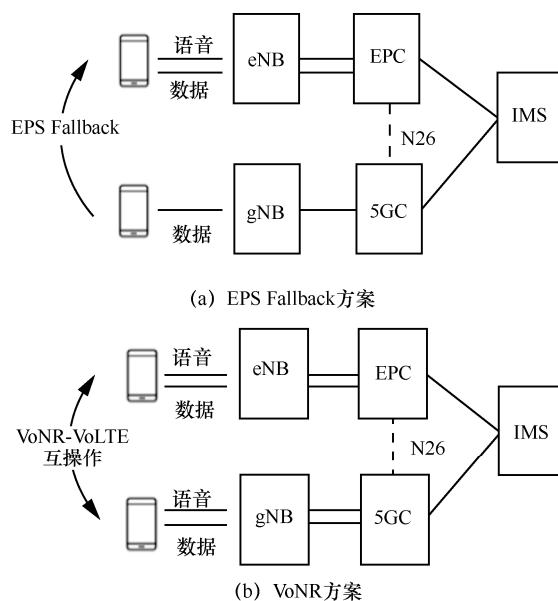


图 1 EPS Fallback 与 VoNR 方案结构比较^[5]

网络方面,随着 4G 网络不再大量建设、5G 共建共享后网络规模不断扩大,NR 覆盖不连续的场景需要向 VoLTE 切换保障语音业务连续,5G 网络全覆盖后可不依赖 4G 网络使网络建设更独立、灵活。

终端方面,截至 2021 年年底,高通、三星等主要芯片厂商已支持 VoNR,华为、小米、三星等主流终端厂商软、硬件均必选支持 VoNR 并默认

表 1 EPS Fallback 与 VoNR 方案理论性能差异比较^[6]

性能	EPS Fallback	VoNR
无线网语音承载	LTE	NR
网络要求	4G/5G 须重叠覆盖	无
呼叫时延	2.5~5 s	1.2~2 s
语音编码方式	AMR-WB 编码速率: 6.6~23.85 kbit/s; 覆盖音频带宽: 50 Hz~8 kHz	EVS 编码速率: 5.9~128 kbit/s; 扩展音频带宽: 50 Hz~16 kHz, 支持人类听觉的全带宽、高娱乐品质的音乐编码
视频编码方式	H.264/高级视频编码 (advanced video coding, AVC)	H.265/高效视频编码 (high efficiency video coding, HEVC) 演进到 H.266/新一代国际视频编码 (versatile video coding, VVC), 相比上一代视频大小大幅减少
VR 应用结合	—	3GPP Release 16 定义集成视觉增强系统 (integrated visual augmentation system, IVAS) 语音编码标准, 支持更好的抗丢包能力, 可面向 VR 应用带来沉浸的效果, 还能在 EVS 的基础上进一步提升抗丢包能力

开启 VoNR 功能, VoNR 产业链进展可以满足商用需求, 须推动端网适配。

用户感知方面, 用户净推荐值 (net promoter score, NPS) 提升对用户语音感知需求提出了更高要求。

3 VoNR 与 VoLTE 方案趋同性和差异性

VoNR 信令流程、信令中包含消息内容、语音包状态及周期均与 4G VoLTE 相似, VoNR 与 VoLTE 方案比较见表 2^[8], VoNR 较 VoLTE 支持更多编码方式、语音体验更佳, 终端功耗增加专用带宽部分 (bandwidth part, BWP) 节电性能提升。VoNR 所使用的承载包括信令承载 (signaling radio

bearer, SRB) 和业务承载 (data radio bearer, DRB)^[9]。3GPP 协议定义了 5G 服务质量等级标识 (5G QoS identifier, 5QI)^[10], 描述了服务质量 (quality of service, QoS) 流在用户设备 (user equipment, UE) 和用户面功能 (user plane function, UPF) 之间端到端接收分组数据处理特性。确认模式 (acknowledged mode, AM)、非确认模式 (unacknowledged mode, UM) 为无线链路控制 (radio link control, RLC) 层的传输模式。5QI 对应 4G 的服务质量等级标识 (QoS class identifier, QCI)。

3GPP 定义了终端可配置最多 4 个上行/下行 BWP, 但同一时刻只能激活一个上行/下行 BWP, 终端在激活的 BWP 范围内接收/发送信息^[11]。多

表 2 VoNR 与 VoLTE 方案比较^[8]

语音方式	5G VoNR				4G VoLTE
编码方式	窄带增强型语音 音通话服务 (EVS-NB)	宽带增强型语音 音通话服务 (EVS-WB)	超宽带增强型语音 音通话服务 (EVS-SWB)	全频带增强型语音 音通话服务 (EVS-FB)	宽带自适应多速率编码 (AMR-WB)
支持的语音 编码速率/(kbit·s ⁻¹)	5.9/7.2/8.0/9.6/ 13.2/16.4/24.4	5.9/7.2/8.0/9.6/13.2/ 16.4/24.4/32/48/64/96/128	9.6/13.2/16.4/24.4/ 32/48/64/96/128	16.4/24.4/32/48/ 64/96/128	6.6/8.85/12.65/14.25/15.85/ 18.25/19.85/23.05/23.85
语音业务承载 组合	SRB1+SRB2+1×AM DRB+1×UM DRB				SRB0+SRB1+SRB2+ 2×AM DRB+1×UM DRB
视频业务承载 组合	SRB1+SRB2+1×AM DRB+2×UM DRB				SRB0+SRB1+SRB2+ 2×AMDRB+2×UM DRB
QoS 承载	5QI=1: 语音承载; 5QI=2: 视频承载; 5QI=5: SIP 信令承载; 5QI=6/8/9: 一般上网业务承载				
终端功耗	BWP+C-DRX				DRX



BWP 有利于根据运营商的可用带宽以及 UE 能力支持的带宽综合配置以满足不同需求, 支持多专用 BWP 的终端可以通过不同带宽的 BWP 之间的转换和自适应, 将 UE 切换到所需带宽运行以降低终端能耗。

连接态下的非连续接收 (connected discontinuous reception, C-DRX) 可以让 UE 周期性地进入睡眠状态而不监听物理下行控制信道, 监听时则从睡眠状态中唤醒, 以节省 UE 电力消耗^[12]。C-DRX 对应 VoLTE 采用 DRX (discontinuous reception, DRX)。非连续接收长周期的长度 (DRX-Long Cycle)、上行/下行 BWP 传输块中接收到的符号数 (DRX-HARQ-RTT-timer UL/DL)、DRX 持续定时器的长度 (DRX-onDuration Timer)、DRX 非激活定时器的长度 (DRX-inactivity Timer)、混合自动重传请求 (hybrid automatic repeat request, HARQ) 重传时需监听的最大的物理下行控制信道 (physical downlink control channel, PDCCH) 的子帧 (DRX-retransmission Timer DL)、DRX 非激活定时器的长度、HARQ 重传时需监听的最大的物理上行链路控制信道 (physical uplink control channel, PUCCH) 的子帧数 (DRX-Retransmission Timer UL) 等参数组合共同影响 DRX 操作机制。

4 VoNR 方案实施效果

某运营商在某市对 VoNR 性能表现、VoNR 业务中终端差异性以及 VoNR 语音通话终端功耗

进行研究。

4.1 VoNR 性能平稳时延改善明显

SA 基站下不同语音能力终端分场景配置语音码率为 AMR-WB 23.85 kbit/s 进行 VoNR 与 VoNR 终端/非 VoNR 终端互通各 10 次拉网测试, VoNR 互通性能测试统计见表 3, 其中面场景指市区道路、居民区道路为代表的面上的覆盖。不同语音能力终端用户均能正常起呼实现互联互通, 性能稳定, 语音接通率达 100%, 整体看 VoNR 互通平均意见得分 (mean opinion score, MOS) 均值、呼叫建立时延均优于非 VoNR 业务。面场景 3.5 GHz 网络的 VoNR 路测 (driving test, DT) 数据秒级采集如图 2 所示, 去除异常采样点 RSRP 约 -110 dBm 时 MOS<3.5, 5G 不同频率下 RSRP、SINR 与 MOS=3.5 关系需要深入研究并进一步定标。另外, 异设备厂商边界目前 Xn 接口还没有互通, 因此均须通过共享基站核心网实现通信, 造成时延较长。在切换速度快的高速场景、

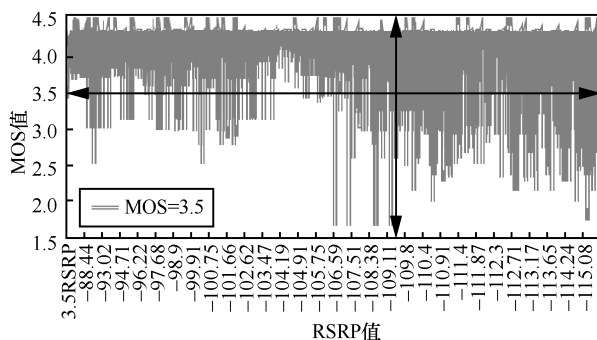


图2 面场景 3.5 GHz 网络的 VoNR DT 数据秒级采集

表3 VoNR 互通性能测试统计

测试业务	测试场景	语音接通率	呼叫建立时延/ms	MOS 均值	掉话率
VoNR 互通	面场景 DT 测试	100%	1 642.03	3.96	0%
	4G 与 5G 边界切换	100%	2 932	3.94	0%
	机场高速	100%	3 067.16	3.83	0%
	异设备厂商边界	100%	3 480.36	3.76	0%
VoNR 与非 VoNR 终端互通	面场景 DT 测试	100%	3 244.53	3.91	0%
	4G 与 5G 边界切换	100%	3 871.88	3.85	0%
	机场高速	100%	4 069.5	3.68	0%
	异设备厂商边界	100%	4 432.72	3.64	0%

SA 覆盖区域和 4G 覆盖区域边界移动时异系统切换判决门限设置合理性对该些场景的语音业务质量有影响,从而导致时延及 MOS 值劣于面场景的整体测试指标。

4.2 端网适配已逐渐完善

目前高通、海思等主要芯片厂商理论上已支持 VoNR,但需要进行端网适配,在实际网络应用中,有 6 款终端已完成网络和路测工具适配(例如目前华为 P40 适配华虎路测软件、三星 S21 适配鼎利路测软件等,适配终端数量在不断增加中),可以通过路测进行现网中 VoNR 性能评估,在某运营商承建的 SA 3.5 GHz 网络共享站某市区道路场景同一测试区域进行不同芯片 5G 终端对比测试,配置语音码率为 AMR-WB 23.85 kbit/s 时主被叫进行 VoNR 连接态互拨的拉网测试,芯片 X 的终端型号 A 和芯片 Y 的终端型号 B 两款终端存在 SSB 测量的差异性,试点区域不同芯片测试终端路测网络感知对比如图 3 所示,本轮测试芯片 X 质量优于芯片 Y。对编码速率比较发现芯片 X 的编码速率可自适应变化、芯片 Y 的编码速率保持 23.85 kbit/s。由于目前试点城市 VoNR 开通终端数量有限,建议终端厂商紧跟 VoNR 开通步伐,联合芯片厂商采集 log 分析终端性能,及时进行差异化分析,适时进行提升性能的版本升级。

为了对比不同终端的性能差异,在某运营商承建的 SA 3.5 GHz 网络共享站办公室场景进行 5G 终端型号 D(芯片 Y)和终端型号 E(芯片 X)对比的相同场景弱覆盖场景的定点测试,测试方法为 D、E 均为主叫在办公楼宇内 RSRP=-100 dBm、-105 dBm、-110 dBm、-115 dBm 的点位分别向被叫(固定在同一个 5G 好点)拨打 VoNR-EVS24.4 kbit/s 语音呼叫,呼叫保持 45 s 挂断,间隔 15 s 后重新发起,每个点位重复 50 次。测试结果表明 EVS24.4 kbit/s 较 AMR23.85 kbit/s 整体 MOS 偏高,这与两者算法差异有关,需要进一步

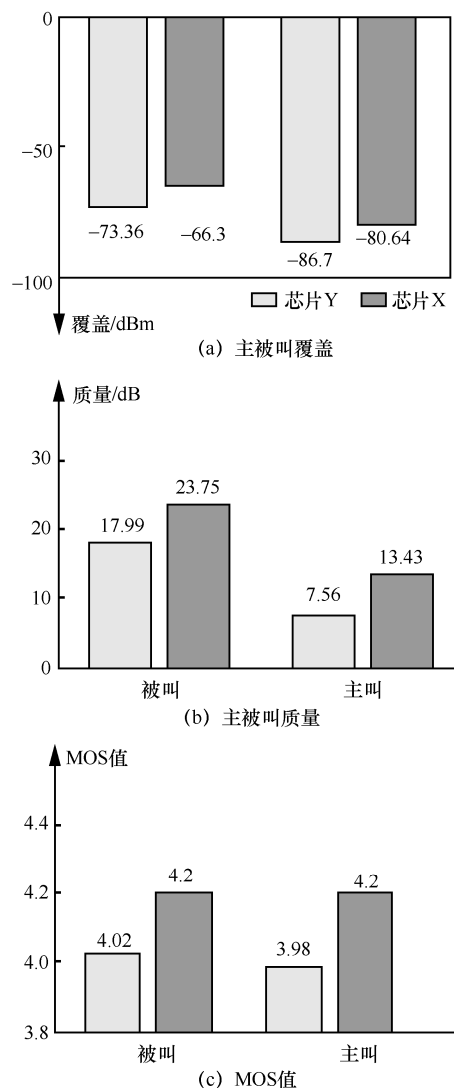


图3 试点区域不同芯片测试终端路测网络感知对比

进行算法差异分析,4 个点位两款终端呼叫成功率为 100%、掉话次数 0 次、掉话率 0%,两款终端在 4 个点位主要路测指标对比见表 4,终端 D 部分 MOS 采样点在语音文件感知清晰的情况下打分明显过低,存在异常,初步定位为路测音频口松动、路测时云 MOS 服务器异常、终端异常过热导致,建议后继全国大范围路测时关注该问题。另外,路测 RSRP 为-115 dBm 点位两款终端 RSRP 采样点对比如图 4 所示,在 RSRP 为-115 dBm 点位,一定比例终端 D 的采样点 RSRP 下降至-130 dBm 以下、终端 E 性能较稳定 RSRP 在-120 dBm 以上。

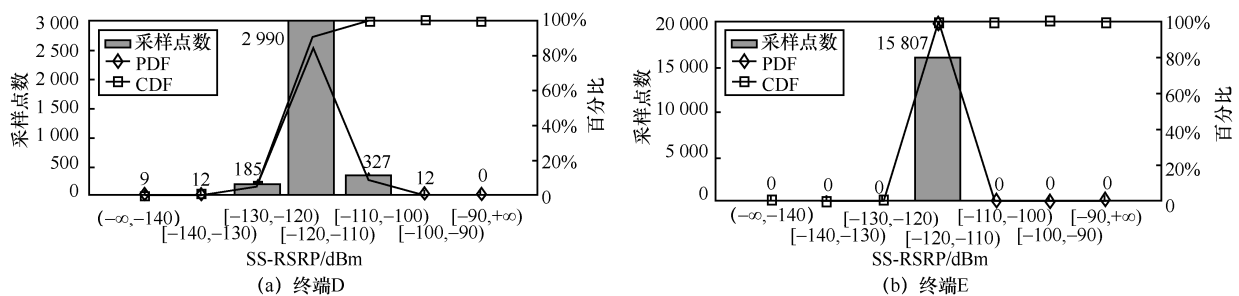


图4 路测 RSRP 为-115 dBm 点位两款终端 RSRP 采样点对比

表4 两款终端在4个点位主要路测指标对比

位置	测试终端	平均 RSRP/dBm	平均 SINR/dB	平均 MOS	叫建立时延/ms
-100 dBm 点位	终端 E (芯片 X)	-98.91	3.44	4.26	2 691
-105 dBm 点位		-105.5	-0.07	4.21	2 648
-110 dBm 点位		-109.7	-3.78	4.03	2 984
-115 dBm 点位		-115.1	-2.93	4.1	2 640
-100 dBm 点位	终端 D (芯片 Y)	-101.01	3.46	4.03	2 273
-105 dBm 点位		-104.32	-0.81	3.05	2 436
-110 dBm 点位		-108.39	-3.11	3.16	2 884
-115 dBm 点位		-115.46	-2.81	3.18	2 459

4.3 终端功耗改善等配套优化措施成效初显

为降低 VoNR 终端功耗进行参数优化, 相同终端设置 BWP 与数据业务下的配置相同, 配置 BWP1=100 MHz, BWP2=20 MHz。为了达到最优功耗效果, C-DRX 设置了 3 套参数, 3 套 CDRX 验证参数见表 5, 对比每组参数下的功耗节省效果

以及兼容性情况。VoNR 语音通话终端功耗对比分析如图 5 所示, 开启 C-DRX 后功耗有显著降低, 平均降低 21.3%, 配置 BWP 后, VoNR 功耗降低 22.3%, 同时配置 BWP 和 C-DRX2 的功耗节省效果最优, 相比不配置 BWP 及 C-DRX 终端 VoNR 功耗节省 32.2%, 且未发现兼容性问题, 推荐配

表5 3套 CDRX 验证参数

C-DRX 参数名称	CDRX1	CDRX2	CDRX3
DRX-Long Cycle/ms	40	40	40
DRX-onDuration Timer/ms	10	8	5
DRX-inactivity Timer/ms	10	8	3
DRX-HARQ-RTT-Timer DL/symbol	56	56	56
DRX-HARQ-RTT-Timer UL/symbol	56	56	56
DRX-Retransmission Timer DL/slot	16	8	8
DRX-Retransmission Timer UL/slot	16	8	8

置该参数并进一步开展 VoNR 端网兼容测试。其中平均降低功耗计算方法为 $1 - (C-DRX1 + C-DRX2 + C-DRX3) / \text{关闭 } C-DRX$ 。

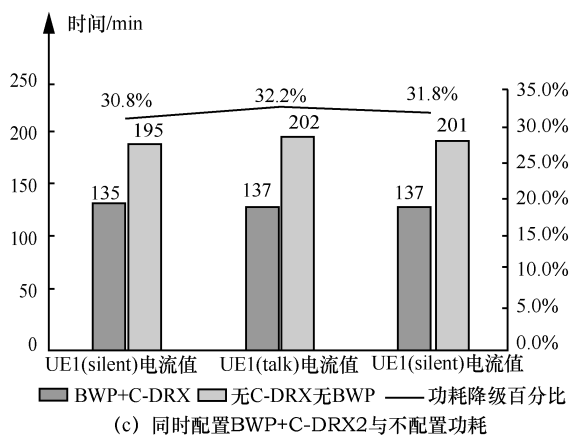
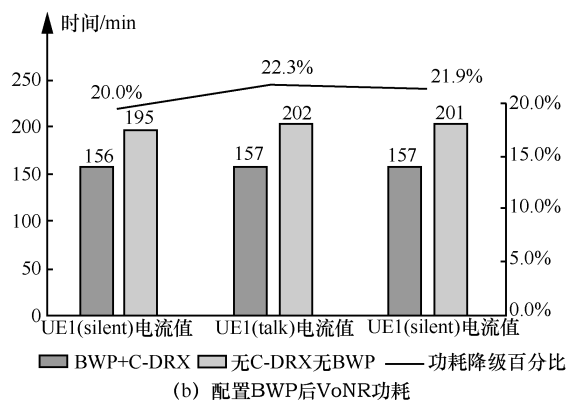
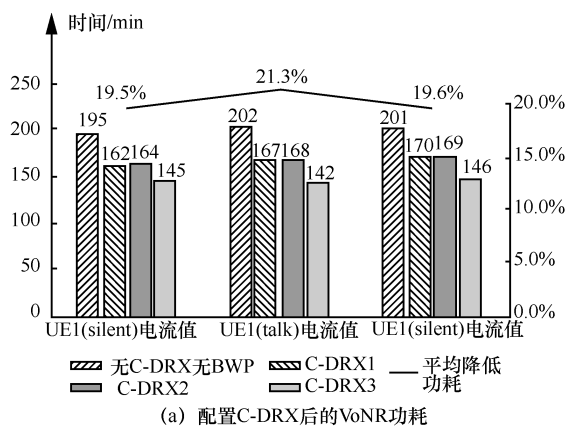


图5 VoNR 语音通话终端功耗对比分析

5 挑战及展望

VoNR 语音解决方案的挑战及展望具体如下。

(1) 5G 深度覆盖不足

VoNR 不依赖 4G 网络进行语音业务,目前 5G

网络部分重点场景宏基站、室内重点场景(如楼宇)垂直覆盖不足^[13],而随着 5G 用户发展和终端 VoNR 适配性提高^[14],在 5G 覆盖不足区域存在 VoLTE、VoNR 互操作问题,当 5G 覆盖满足一定标准下可考虑全面进行 VoNR 商用,建议一方面加大 5G 网络共建、共享力度和进度,一方面采用微基站、天线权值调整等手段提升 5G 网络覆盖,同时尽快完成 VoNR 商用标准确定。

(2) 2.1 GHz 引入及多频多网协同风险

目前部分 5G 采用 2.1 GHz 覆盖,与 3.5 GHz 的 VoNR 互操作策略部署建议比较,VoLTE、VoNR 互操作存在 4G 和 5G 不同设备厂商而参数配置匹配不一致风险,建议统一考虑,目前短期看 VoLTE 仍是语音承载主要方式,而 LTE 2.1 GHz 退频影响 4G 覆盖连续性,建议加强多频多网协同,语音频谱策略需要网络共建、共享各方协同推进。

(3) 多语音场景并存下运维复杂性增加

2G、3G、4G、5G 联合组网,跨网络、跨厂商,多频段多制式互操作复杂^[15],尤其是异设备厂商、异运营商、5G 与 4G 区域边界,须加强移动性策略研究(如语音切换策略确定),提升运维优化能力。

(4) 端网协同待完善

终端方面,目前与 VoNR 测试工具适配的测试终端种类较少,难以完全评估每款终端在现网中的 VoNR 实际性能,须加快终端与网络、路测软件的适配,且在 VoNR 实际测试使用中,不同终端敏感度有一定差异,EVS24.4 kbit/s 与 AMR23.85 kbit/s 算法存在差异,对不同编码算法、多种类型终端的差异性须尽快展开研究验证,加快推进 VoNR 产业链发展;无线网方面,须进一步进行 VoNR 的 RLC 层分片限制等增强功能的研究和验证用以提升 VoNR 业务感知和覆盖能力,同时为了保障 VoNR 商用,须进行 VoNR 试点城市典型优化问题梳理和指导,总结



优化中的问题为全国商用提供借鉴, 协同友商、设备厂商制定并全国发布 VoNR 无线关键参数配置建议, 为 VoNR 商用后评估做好保障; 网管方面, 需要协同友商制定 VoNR 无线侧指标规范为 VoNR 商用后性能评估打好基础; 承载网方面, 需要进行容量及传输质量优化解决抖动、丢包等问题; 核心网方面, 需要制定 EVS 开通对增值业务的影响的标准解决方案, 并为计费系统增加 VoNR 开网核心网包括与 VoLTE 区分等的计费参数。

6 结束语

本文基于语音通信技术发展历程、VoNR 技术特点等方面, 对 VoNR 语音解决方案进行了深入剖析, 对 VoNR 语音解决方案实施效果进行了分析, 并对当前面临的挑战和展望做了进一步探索, 为后继 VoNR 语音全国实施提供了技术借鉴。VoNR 语音解决方案具有无须系统间操作、呼叫时延短、高清晰高保真语音体验、视频画质不变前提下数据量减少、可与虚拟现实应用结合等优点, 具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 刘智德, 马金兰. VoNR 语音解决方案探讨[J]. 广东通信技术, 2021, 41(7): 28-32.
LIU Z D, MA J L. Discussion on VoNR voice solution[J]. Guangdong Communication Technology, 2021, 41(7): 28-32.
- [2] 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.
SHI H X, LIU J, QIAN H. Research on voice evolution scheme of 5G core network VoNR[J]. Telecommunications Information, 2021(11): 27-30.
- [3] 吴滨, 张剑寅, 周越, 等. 面向 5G Advanced 网络的话音业务演进研究[J]. 移动通信, 2022, 46(1): 46-50.
WU B, ZHANG J Y, ZHOU Y, et al. Research on voice service evolution for 5G advanced networks[J]. Mobile Communications, 2022, 46(1): 46-50.
- [4] 庄晓明. 5G 语音解决方案探讨[J]. 电信技术, 2019(12): 106-108, 112.
ZHUANG X M. Discussion on 5G voice solution[J]. Telecommunications Technology, 2019(12): 106-108, 112.
- [5] 3GPP. IP multimedia subsystem (IMS); multimedia telephony; media handling and interaction: TS 26.114[S]. 2021.
- [6] 3GPP. NR; base station (BS) radio transmission and reception; technical specification group radio access network: TS 38.104[S]. 2021.
- [7] 付艳. 5G 语音业务解决方案[J]. 通讯世界, 2019, 26(7): 105-106.
FU Y. 5G voice service solution[J]. Telecom World, 2019, 26(7): 105-106.
- [8] 3GPP. NR; physical channels and modulation; technical specification group radio access network: TS 38.211[S]. 2021.
- [9] 3GPP. Physical layer procedures for control; technical specification group radio access network: TS 38.213[S]. 2021.
- [10] 3GPP. NR; physical layer procedures for data; technical specification group radio access network: TS 38.214[S]. 2021.
- [11] 3GPP. NR; radio resource control (RRC) protocol specification; technical specification group radio access network: TS 38.331[S]. 2021.
- [12] 3GPP. NR; user equipment (UE) radio access capabilities; technical specification group radio access network: TS 38.306[S]. 2021.
- [13] 刘博士, 董丽华, 桂霖. 5G 用户语音业务解决方案[J]. 电信工程技术与标准化, 2019, 32(3): 55-60.
LIU B S, DONG L H, GUI L. Exploration of voice service solution for 5G user[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2019, 32(3): 55-60.
- [14] 马洪源, 肖子玉, 卜忠贵. 5G 网络语音及短信解决方案研究[C]//5G 网络创新研讨会(2018)论文集. 广州: 移动通信, 2018.
MA H Y, XIAO Z Y, BU Z G. Research on 5G network voice and SMS solutions[C]//Proceedings of 5G Network Innovation Seminar (2018). Guangzhou: Mobile Communications, 2018.
- [15] 张秀成. 4G/5G 网络互操作部署策略研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2019, 32(10): 38-41.
ZHANG X C. 4G/5G networks coexist and interoperate[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2019, 32(10): 38-41.

[作者简介]



李贝(1983-), 女, 中国联合网络通信有限公司研究院高级工程师, 主要研究方向为网络智能运营。



刘光海（1972- ），男，中国联合网络通信有限公司研究院高级工程师，主要研究方向为智能运营。



肖天（1991- ），男，中国联合网络通信有限公司研究院工程师，主要研究方向为网络智能运营。

胡煜华（1973- ），男，中国联合网络通信有限公司浙江省分公司高级工程师，主要研究方向为无线网络规划建设。

郑杭波（1985- ），男，杭州萧山国际机场有限公司高级工程师，主要研究方向为软件系统集成、网络智能优化。

成晨（1990- ），女，中国联合网络通信有限公司研究院工程师，主要研究方向为网络智能运营。

伍一帆（1982- ），女，杭州中威电子股份有限公司工程师，主要研究方向为高清智能数字视频联网监控、网络智能优化。

黄秀珍（1984- ），女，浙江理工大学科技与艺术学院讲师，主要研究方向为物联网传输、网络智能优化。