



研究与开发

基于大数据的 5G 流量驻留比极限值研究

刘宏嘉¹, 李贝², 赵伟¹, 许国平³, 王鑫炎¹

(1. 中国联合网络通信有限公司浙江省分公司, 浙江 杭州 310051; 2. 中国联合网络通信有限公司研究院, 北京 100048; 3. 中国联合网络通信集团有限公司, 北京 100033)

摘要: 5G 流量驻留比是目前通信运营商普遍采用的评估 5G 网络覆盖能力的重要指标, 也是牵引网络规划优化、维护运营工作的重要抓手。基于网络侧、用户侧大数据分析, 综合考虑实际无线传播影响因素、现有网络结构、网络协同策略、用户行为等因素, 对 3.5 GHz 频段 5G 网络驻留能力进行评估、分析, 计算得出 5G 流量驻留比的极限值, 诠释了用户感知与驻留比的正向关系, 为 5G 流量驻留比目标值的合理设定提供了理论依据。

关键词: 大数据; 5G; 驻留比; 用户感知; 极限值

中图分类号: TP393

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2023119

Research on theoretical ultimate value of 5G flow residence ratio based on big data

LIU Hongjia¹, LI Bei², ZHAO Wei¹, XU Guoping³, WANG Xinyan¹

1. Zhejiang Branch of China United Network Communications Co., Ltd., Hangzhou 310051, China

2. Research Institute of China United Network Communications Co., Ltd., Beijing 100048, China

3. China United Network Communications Group Co., Ltd., Beijing 100033, China

Abstract: The 5G flow residence ratio is an important indicator used by communication operators to evaluate the coverage capacity of 5G networks, and it is also an important starting point for the networks' planning, optimization, maintenance and operation. To ensure user perception, the actual wireless transmission influencing factors, existing network structure and network coordination strategy, etc., need to be considered. The resident capacity of a 5G network in the 3.5 GHz frequency band was evaluated, analyzed and calculated, and the theoretical ultimate value of the 5G traffic resident ratio based on the analysis of network and users' big data was put forward, which explained the positive relationship between user perception and residence ratio, and provided a reference for the reasonable theoretical ultimate value of 5G traffic resident ratio.

Key words: big data, 5G, resident ratio, user perception, theoretical ultimate value

收稿日期: 2022-12-13; 修回日期: 2023-05-30

通信作者: 赵伟, zhaow24@chinaunicom.cn

基金项目: 国家重点研发计划项目 (No.2020YFB1806704)

Foundation Item: The National Key Research and Development Program (No.2020YFB1806704)

0 引言

5G 流量驻留比是指占用 5G 网络的活跃用户所产生的 5G 流量在 5G 活跃用户所产生 4G 流量与 5G 流量的总和中的占比。5G 流量驻留比是反映 5G 网络覆盖和用户感知的宏观性指标,该指标值越高,代表 5G 网络覆盖能力越强,用户使用 5G 网络的概率越高。开展 5G 流量驻留比目标值如何确定指标的探索,有利于指导 5G 网络规划和网络优化,通过 5G 网络分流,可以快速缓解 4G 网络高负荷问题。目前,通信运营商将 5G 流量驻留比作为 5G 网络覆盖能力的主要评价和考核指标。

中国联通、中国电信的 5G 主力频段为 3.5 GHz,较传统 4G 的 1.8 GHz 的损耗大,且由于终端能力问题,上行覆盖受限问题较为突出,在 5G 与 4G 在基站站址上按照 1:1 规划的情况下,5G 网络存在驻留能力弱的问题。随着通信运营商 5G 网络建设规模和 5G 用户规模的不断增长,这种情况下,一味地追求 5G 流量驻留比的提升,用户感知将在一定程度上受损,并可能导致用户主动关闭终端 5G 开关,反而对 5G 流量驻留比造成负向影响。因此,探索并设定基于目前网络现状的合理的 5G 流量驻留比提升目标值,有利于促进网络规划、建设、维护、优化工作的有效开展,实现 5G 网络驻留能力与用户感知的均衡提升。

1 5G 驻留比技术原理

5G 驻留比通常有两种定义方式,分别是时长驻留比和流量驻留比^[1]。目前 5G 网络已基本实现独立组网(standalone, SA)覆盖^[2],以下定义以 SA 网络为例阐述。

(1) 5G 时长驻留比反映了 5G 用户占用 5G 网络的时长情况,体现了 5G 网络持续为 5G 用户提供服务的的能力,目前通常采用连接态时长。时

长驻留比定义见式(1)。

$$\text{5G时长驻留比} = \frac{\text{驻留5G时长}}{\text{驻留5G时长} + \text{驻留4G时长} - \text{语音回落时长}} \quad (1)$$

(2) 5G 流量驻留比指标反映了 5G 用户流量在 4G/5G 网络上分布的比例,流量驻留比定义见式(2)。

$$\text{5G流量驻留比} = \frac{\text{5G网络承载的流量}}{\text{5G网络承载的流量} + \text{4G网络承载的流量}} \quad (2)$$

以运营商 A 为例,5G 业务流量驻留比指报告期内 5G 业务网上用户使用数据业务产生的 4G 和 5G 总流量中在 5G 网上承载的流量占比。5G 业务网上用户指报告期末向前追溯一定时间内使用过运营商 A 的 5G 网络的移动业务在网用户^[3]。

2 5G 驻留比关键因素及本研究思路

由上述 5G 驻留比定义可知,5G 网络覆盖能力,尤其是与 4G 网络的覆盖能力的对比是影响驻留比的关键因素,如果当地 5G 网络与 4G 网络覆盖能力一样,那么 5G 驻留比有望达到 100% 的理论极限值。同时,根据 5G 驻留比的统计方法,5G 业务网上用户是向前追溯一定时间内来统计 5G 登网用户,那么用户对终端 5G 开关的操作也会对驻留比统计数值产生影响^[4-5]。因此,以保障用户感知的目标,立足 5G 与 4G 覆盖能力差异评估,重点考虑 5G、4G 网络覆盖规模差异、终端 5G 开关影响因素,理论上可实现 5G 驻留比极限值的预测。

目前,我国的 5G 网络已基本实现连续覆盖,4G 网络覆盖全境,当前的 4G、5G 大量网络数据具备推导、测算合理的 5G 驻留比的条件。5G 流量驻留比理论极限值预测流程如图 1 所示,包含 3 个方面、7 个过程,首先评估 4G 与 5G 网络覆盖能力差异,再将 5G 流量还原到 4G 网络,最后从用户感知保障的角度出发,将还原到 4G 网络的总流

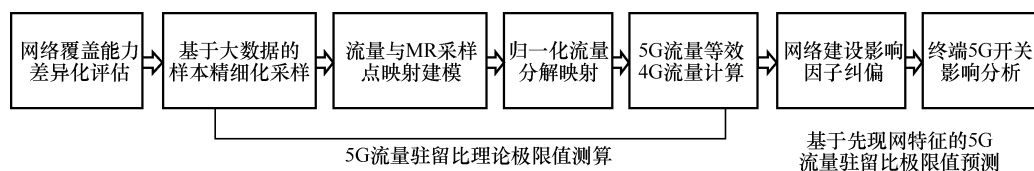


图1 5G 流量驻留比理论极限值预判流程

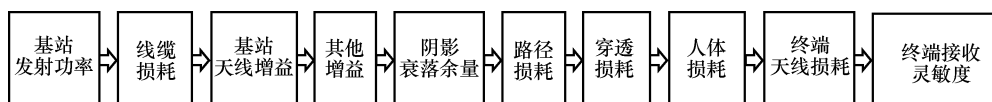


图2 下行链路预算模型

量合理进行 5G、4G 网络分配,进而预测在保障用户感知前提下的 5G 流量驻留比的理论极限值。

3 网络覆盖能力差异化评估

移动网链路预算是对发射端、通信信道、传播环境和接收端中所有增益和衰减的核算,获得保持一定通信质量下链路所允许的最大传播损耗(MAPL)^[6-7]。MAPL 常用式(3)表示,它可以用来估算信号能成功从发射端传送到接收端之间的最远距离^[8]。下行链路预算模型如图 2 所示。

$$G = G_{\text{发射功率}} - G_{\text{最小接收信号电平}} + G_{\text{增益}} - G_{\text{其他损耗}} - G_{\text{其他余量}} \quad (3)$$

其中, G 代表允许的最大传播损耗,其他损耗包含线缆损耗、穿透损耗、人体损耗。其他余量包含阴影衰落余量、干扰余量、噪声系数余量。增益包含基站天线增益、终端天线增益、其他增益。

以运营商 A 某地市 A1 覆盖为例,目前 4G 网络以 L1800 为主,5G 网络以 NR3500 为主,依据式(3)对 4G、5G 不同网络制式的损耗、天线增益、基站/终端发射功率、基站/终端接收灵敏度进行分析,评估 4G、5G 在室内、室外的覆盖能力差异^[9],L1800 和 NR3500 链路预算参数见表 1。

在地市 A1 中,其网络规模(含共享异运营商基站)共计 14 649 个 5G 基站。基站当前能够设置的最大发射功率为 320 W,设置的档位为 200 W 和 320 W^[10],在 64TR 和 32TR 中,基站发射功率主要为 320 W,占比分别为 68.26%和 95.69%。结合式(3)

和表 1, 4G/5G 电平差异 Gap 如式(4)所示。

$$\text{Gap} = G_{\text{频段}} + G_{\text{穿损损耗}} + G_{\text{发射功率}} + G_{\text{接收灵敏度}} + G_{\text{天线}} \quad (4)$$

例如天线选用 64TR,基站发射功率为 200 W,室内的下行覆盖切换时 $G_{\text{穿损损耗}} = 10$ 、 $G_{\text{频段}} = 5.7$ 、 $G_{\text{发射功率}} = -7$ 、 $G_{\text{接收灵敏度}} = 8$ 、 $G_{\text{天线}} = -7.5$ 、代入式(2)后 Gap=9.2。根据上述的计算和现网的实际基站设置情况,得到 4G/5G 覆盖电平 Gap 见表 2。

4 5G 流量等效 4G 流量以及归一化建模

现网流量还原是基于大数据统计现网 4G、5G 网络的室内、室外的测量报告(measurement report, MR)分电平强度区间的采样点数量,完成采样点数量与流量的映射,结合 4G/5G 覆盖 Gap 计算结果,统计没有 5G 网络的情况下,需要 4G 网络承载的所有流量。现网流量还原包含基于大数据的样本精细化采集等 4 个过程。

4.1 基于大数据的样本精细化采样

以地市 A1 为例,其网络规模(含共享异运营商基站)共计 14 649 个 5G 基站和 16 424 个 4G 基站,市区、县城、重点乡镇基本实现 5G 连续覆盖,4G 网络基本覆盖全境,目前网络运行正常、网络质量稳定。本文首先定义了覆盖栅格(RSRP 电平强度区间),再基于室内、室外分场景对 MR 大量数据统计 4G 和 5G 的不同栅格下采样点数量,不同电平强度区间的 4G、5G 网络分场景的 MR 采样点数量见表 3。

表 1 L1800 和 NR3500 链路预算参数

分类	参数	1.8 GHz UL	3.5 GHz UL	1.8 GHz DL	3.5 GHz DL
频段/GHz		1.8	3.5	1.8	3.5
穿损损耗	穿透损耗/dB	19	26	19	26
	身体和路径损耗/dB	7	7	7	7
	阴影衰落/dB	8	11	8	11
发射功率	UE 功率/dBm	23	26	46	53
					55
接收灵敏度	噪声系数/dB	2.3	3.5	7	7
	干扰余量/dB	2	3	6	7
	接收灵敏度/dBm	-106	-99	-106	-99
天线	天线增益/dBi	18	64:10:00	18	64:10:00
			32:11.8		32:11.8
	多进多出增益/dB	0	64:15:00	0	64:15:00
			32:12:00		32:12:00
	馈线损耗/dB	0.5	0	0.5	0

表 2 4G/5G 覆盖电平 Gap

天线	基站发射功率 200 W		基站发射功率 320 W	
	室内 Gap/dB	室外 Gap/dB	室内 Gap/dB	室外 Gap/dB
64TR	9	2	7	0
32TR	11	3	9	2

表 3 不同电平强度区间的 4G、5G 网络分场景的 MR 采样点数量

RSRP 电平区间	$(-\infty, -120]$	$(-120, -115]$	$(-115, -112]$	$(-112, -110]$	$(-110, -105]$	$(-105, -100]$	$(-100, +\infty)$
4G 室内采样点数	63 056 100	181 688 261	223 774 033	476 692 981	1 424 359 077	1 763 633 778	9 945 225 584
4G 室外采样点数	12 915 090	37 213 291	45 833 236	97 635 900	291 736 171	361 226 195	2 036 973 946
5G 室内采样点数	3 891 759	99 539 022	347 255 737	577 144 198	631 840 730	868 399 317	1.111×1 010
5G 室外采样点数	797 106	20 387 507	71 124 660	118 210 259	129 413 157	177 864 929	2 275 538 223

4.2 流量与 MR 采样点映射建模

用户使用移动数据业务的行为主要取决于个人需求,但在不同的无线环境下,用户流量释放程度存在差异^[11],例如,在信号良好的区域,用户流量释放非常充分,但在无线环境较差的情况下,用户即使有业务使用需求,但流量也无法充分释放。

利用大数据技术获取用户级流量数据^[12]、MR 号码回填技术获得的用户级 MR 数据^[13],通过流量分布与 MR 覆盖强度映射,以此来探索在不同

的无线环境下 MR 采样点数量与用户流量的关系。本文用 Re_{ε} 来表示不同网络制式的等效流量与 MR 映射因子,其定义见式 (5):

$$Re_{\varepsilon} = \frac{T_{\varepsilon/\text{区间1}}}{Mr_{\varepsilon/\text{区间1}}}, \frac{T_{\varepsilon/\text{区间2}}}{Mr_{\varepsilon/\text{区间2}}}, \dots, \frac{T_{\varepsilon/\text{区间n}}}{Mr_{\varepsilon/\text{区间n}}} \quad (5)$$

其中, T_{ε} 表示不同网络制式下流量, $T_{\varepsilon/\text{区间}i}$ 表示不同网络制式下不同覆盖栅格的流量, Mr_{ε} 表示不同网络制式下的 MR 采样点数量, $Mr_{\varepsilon/\text{区间}i}$ 表示不同网络制式下不同覆盖栅格的 MR 采样点数量。4G、5G 不同 RSRP 电平区间的等效流量与



MR 映射因子见表 4, 可见, 例如 4G、5G 网络在 RSRP 电平区间 $(-120, -115]$ 时等效流量与 MR 映射因子接近, 在 RSRP 电平区间 $(-100, +\infty)$ 时 Re_{5G} 约为 Re_{4G} 的 2 倍。

4.3 归一化流量分解映射

基于该地市现网全域基站的大数据统计, 同时, 为了便于计算, 本文对 4G、5G 网络流量进行归一化处理, 定义了不同网络制式归一化后的流量 X_e , 即 4G 流量与 5G 流量之和为 1 的情况下 4G 流量和 5G 流量对应值, 4G、5G 网络归一化后的流量见式 (6)。

$$X_{4G} = \frac{T_{4G}}{T_{4G} + T_{5G}}, X_{5G} = \frac{T_{5G}}{T_{4G} + T_{5G}} \quad (6)$$

网络共建共享场景下, 网络资源的统计及网络优化等工作对共享各方都非常重要, 需要满足约定共识等执行过程中的可信管理, 从而提高协作效率, 借助区块链技术的共建共享平台可实现参与方间可信协作, 本文通过共建共享区块链平台进行网络全域 (含共享网络业务量) 流量的采集、提取, 计算 5G 归一化流量、4G 归一化流量为 0.27、0.73, 总流量为 1。通过等效流量与 MR

映射因子 Re , 将归一化的 4G、5G 流量分解到不同场景的不同覆盖栅格上, 4G、5G 的室内、室外的分电平强度区间的流量见表 5。

4.4 5G 流量等效 4G 流量计算

5G、4G 在室内、室外的覆盖能力存在差异, 所以 5G 区间的流量无法直接归一化至相同的 4G 栅格, 需要引用表 2 的 4G、5G 覆盖电平 Gap 计算结果。例如 4G、5G 的 Gap 因子取值为 8 dB, 则对于 $(-105, -100]$ 的 5G 区间范围流量, 归一化后所处的 4G 流量区间为 $(-97, -92]$ 。

根据上述的流量分解以及现网互操作策略, 定义 Y_e 为还原后的不同网络制式的归一化流量, 5G 流量归一化还原到 4G 网络情况见表 6。

5 基于现网特征的 5G 流量驻留比理论极限值预测

5.1 网络建设规模影响因子纠偏

不同网络制式下需要结合覆盖差异性、用户感知需求进行协同优化, 并结合当前的终端 5G 开关是否开启、5G 与 4G 网络规模配比等主要客观因素影响, 推导出受客观条件影响的 5G 流量驻留比理论极限值

表 4 4G、5G 不同 RSRP 电平区间的等效流量与 MR 映射因子

RSRP 电平区间	$(-\infty, -120]$	$(-120, -115]$	$(-115, -112]$	$(-112, -110]$	$(-110, -105]$	$(-105, -100]$	$(-100, +\infty)$
Re_{4G}	2.72	12.35	15.85	16.87	19.53	21.24	22.03
Re_{5G}	4.04	12.45	18.06	25.38	31.72	36.52	43.88

表 5 4G、5G 的室内、室外的分电平强度区间的流量

RSRP 电平区间	$(-\infty, -120]$	$(-120, -115]$	$(-115, -112]$	$(-112, -110]$	$(-110, -105]$	$(-105, -100]$	$(-100, +\infty)$
$X_{4G\text{室内}}$	0.000 129	0.001 686	0.002 663	0.006 039	0.020 896	0.028 138	0.164 549
$X_{4G\text{室外}}$	0.000 026	0.000 345	0.000 545	0.001 237	0.004 280	0.005 763	0.033 703
$X_{5G\text{室内}}$	0.000 017	0.001 338	0.006 769	0.015 811	0.021 629	0.034 227	0.526 110
$X_{5G\text{室外}}$	0.000 003	0.000 274	0.001 386	0.003 238	0.004 430	0.007 010	0.107 757

表 6 5G 流量归一化还原到 4G 网络情况

RSRP 电平区间	$(-\infty, -120]$	$(-120, -115]$	$(-115, -112]$	$(-112, -110]$	$(-110, -105]$	$(-105, -100]$	$(-100, +\infty)$
$Y_{4G\text{室内}}$	0.001 004	0.002 892	0.003 562	0.010 07	0.043 519	0.057 249	0.641 999
$Y_{4G\text{室外}}$	0.000 229	0.001 194	0.002 835	0.004 271	0.014 626	0.015 665	0.114 147

区间。为了重新进行 5G 话务吸收测算，建模如下。

根据目标网规划方案，该城市 5G 基站与 4G 基站同址建设，即建设规模一致，基于用户感知考虑，考虑同位置 4G 和 5G 电平 Gap。

基于还原后的、不同覆盖电平区间的 4G 网络流量分析，以不同场景 5G、4G 同位置 Gap 为基准，结合 5G、4G 的互操作策略，可以得出，4G 室内 RSRP>-100 dBm、4G 室外 RSRP>-105 dBm 的流量，本文定义可被不同网络制式吸收的流量 Z_{ε} ， Z_{ε} 分覆盖区间见表 7，可被 5G 吸收的室内外流量 $Z_{5G\text{室内}}$ 、 $Z_{5G\text{室外}}$ 见式 (7)~式 (8)。

$$Z_{5G\text{室内}} = Y_{4G\text{室内}} = 0.641\ 999 \quad (7)$$

$$Z_{5G\text{室内}} = Y_{4G\text{室内}} = 0.114\ 147 + 0.015\ 665 = 0.129\ 812 \quad (8)$$

将上述数据应用于 5G 流量驻留比 $RR_{\text{理论}}$ 测算中见式 (9)。

$$RR_{\text{理论}} = \frac{D_{5G/5G}}{D_{5G/4G} + D_{5G/5G}} \quad (9)$$

其中， $D_{\varepsilon/\delta}$ 表示 ε 用户占用 δ 网络的流量，那么 $D_{5G/5G}$ 表示 5G 用户产生的 5G 流量，见式 (10)， $D_{5G/4G} + D_{5G/5G}$ 表示 5G 用户产生的 4G 和 5G 流量之和，见式 (11)。

$$D_{5G/5G} = Z_{5G\text{室内}} + Z_{5G\text{室外}} = 0.771\ 8 \quad (10)$$

$$D_{5G/4G} + D_{5G/5G} = 1 \quad (11)$$

上述测算可得到结论一：假设 5G 与 4G 同址建设情况下，该地市理论上的 5G 流量驻留比极限值约为 77.2%。此时未考虑终端 5G 开关的影响。

不同城市因地制宜，4G、5G 实际建设不一定满足 5G 与 4G 同址，以城市 A2 为例，目前 4G 与 5G 建站比例约为 1:0.89，通过当前对 5G 终端分布分析，在现有 5G 网络覆盖区域内的 5G 终端

占比（即 5G 终端覆盖率）为 97%，再次计算此种情况下的 5G 流量驻留比 $RR_{\text{规模影响}}$ ：

$$RR_{\text{规模影响}} = RR_{\text{理论}} \times 5G\text{终端覆盖率} = 77.2\% \times 97\% = 74.9\% \quad (12)$$

上述测算可得到结论二：在考虑 4G、5G 网络规模影响因素的情况下，5G 流量驻留比理论极限值不同，当 5G 终端占比为 97% 时，5G 流量驻留比理论极限值约为 74.9%。

5.2 终端 5G 开关影响分析

通常情况下，5G 用户在受到感知、资费、耗电等因素的影响下，会主动关闭 5G 开关。本文定义 $K_{\text{开关}}$ 表示连续 7 天 5G 终端开关影响因子见式 (13)。

$$K_{\text{开关}} = L_{5G\text{开关开}} - L_{5G} \quad (13)$$

其中， $L_{5G\text{开关开}}$ 表示连续 7 天 5G 开关全开用户的驻留比， L_{5G} 表示连续 7 天所有用户的驻留比。

利用大数据技术统计城市 A2 网络侧的 5G 流量驻留比得出，连续 7 天开启 5G 开关用户的驻留比 $L_{5G\text{开关开}}$ 为 75.9%，该 7 天内所有用户的驻留比 L_{5G} 为 71.6%，依照式 (13) 的方法，得出结论：在不考虑终端 5G 开关影响的情况下，5G 流量驻留比与受终端 5G 开关影响情况的 5G 流量驻留比大约相差 4.3%。因此，考虑终端 5G 开关的影响，5G 流量驻留比进一步修正为式 (14)。

$$RR_{\text{开关影响}} = RR_{\text{规模影响}} - K_{\text{开关}} = 74.9\% - 4.3\% = 70.6\% \quad (14)$$

上述测算可得到结论三：在考虑 5G、4G 网络规模以及终端 5G 开关的影响情况下，当 5G 终端占比为 97%、并考虑该地市用户终端 5G 开关影响时，5G 流量驻留比理论极限值为 70.6%。

表 7 Z_{ε} 分覆盖区间

RSRP 电平区间	$(-\infty, -120]$	$(-120, -115]$	$(-115, -112]$	$(-112, -110]$	$(-110, -105]$	$(-105, -100]$	$(-100, +\infty)$
$Y_{4G\text{室内}}$	0.001 004	0.002 892	0.003 562	0.010 070	0.043 519	0.057 249	0.641 999
$Y_{4G\text{室外}}$	0.000 229	0.001 194	0.002 835	0.004 271	0.014 626	0.015 665	0.114 147



6 挑战与展望

由上述研究可知, 5G 流量驻留比不但与基站频段和 5G 网络规模有关, 还受终端开关的影响, 用户考虑感知、资费、节电等方面, 会主动关闭 5G 开关。为了提升 5G 流量驻留比, 需要系统性地开展如下工作。

(1) 补充完善 5G 网络覆盖

持续性开展 5G 基站和室分的规划建设, 增强广度覆盖和深度覆盖能力^[9], 分场景推进 NR2.1 进行补点, 弥补 3.5 GHz 频段的覆盖劣势。

(2) NR3.5 上行链路增强

终端侧采用全功率 (26 dBm) 发射, 并开启上行双通道发射, 基站侧启用上行宏分集功能, 提高基站接收能力。

(3) 多策略全方位提高终端 5G 开关开启率

市场营销部门适时加大流量营销、流量补贴和用户引导, 提高终端 5G 开关开启率; 客户服务部门利用服务触点开展用户引导; 网络优化部门借助大数据、区块链等新技术、多策略多维度地加大 5G 感知优化力度, 增强用户对 5G 网络的信心。

7 结束语

本文基于网络侧、用户侧大数据分析, 分场景精细评估了 4G 与 5G 的覆盖能力差异, 对现有网络分场景进行 4G、5G 流量还原; 综合考虑实际无线环境影响因素、现有网络结构、网络协同策略等, 以保障用户感知为首要目标, 对 3.5 GHz 频段 5G 网络驻留能力进行评估、分析和计算, 基于当前网络规模、终端 5G 开关等现状, 预测得出最大可能保障用户感知的 5G 流量驻留比极限值, 为 5G 流量驻留比提升目标值的合理设定提供了依据, 也为网络规划、4G、5G 协同优化提供了指引。在分析过程中, 本文重点考虑了 5G 网络规模、终端 5G 开关两个主要影响因素, 但 5G 网络速率高于 4G 网络, 该

因素也会对 5G 流量驻留比造成微小影响, 将在下一阶段研究中进一步完善。

参考文献:

- [1] 童波. 浅谈 5G 驻留比提升方案[J]. 电子世界, 2021(20): 16-17.
TONG B. Discussion on the improvement scheme of 5G residency ratio[J]. Electronics World, 2021(20): 16-17.
- [2] 许国平, 刘宏嘉, 李贝, 等. 基于 NSA 架构的 4G/5G 协同优化研究[J]. 邮电设计技术, 2021(3): 37-41.
XU G P, LIU H J, LI B, et al. Study on 4G/5G cooperative optimization under NSA architecture[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2021(3): 37-41.
- [3] 李萌, 李纪华, 赵晨昊. 5G 流量驻留比统计规则建议及提升举措[J]. 邮电设计技术, 2022(1): 58-62.
LI M, LI J H, ZHAO C J. Suggestions and improvement measures for 5G traffic resident ratio statistics rules[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2022(1): 58-62.
- [4] 连毅. 5G SA 驻留能力提升研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2022, 35(9): 54-59.
LIAN Y. Study of improving residence capability of 5G SA network[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2022, 35(9): 54-59.
- [5] 徐建林, 刘岚. 5G 驻留比的优化提升策略研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2020, 33(12): 85-88.
XU J L, LIU L. Research on 5G resident optimization strategy[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2020, 33(12): 85-88.
- [6] 张传福, 赵立英, 张宇, 等. 5G 移动通信系统及关键技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2018.
ZHANG C F, ZHAO L Y, ZHANG Y, et al. 5G mobile communication system and key technologies[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2018.
- [7] 埃里克·达尔曼, 斯特凡·巴克浮, 约翰·舍尔德, 等. 5G NR 标准: 下一代无线通信技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2019.
DAHLMAN E, PARKVALL S, SKOLD J, et al. 5G NR standard: next generation wireless communication technology[M]. Beijing: China Machine Press, 2019.
- [8] 文森特·黄, 罗伯特·施韦尔, 德里克·吴, 等. 5G 系统关键技术详解[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2019.
WONG V W S, SCHÖBER R, NG D W K, et al. Detailed explanation of key technologies of 5G system[M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2019.
- [9] 李爱华, 吴晓波, 陈超, 等. 1.5G 网络大数据智能分析技术[J]. 电信科学, 2022, 38(8): 129-139.

- LIA H, WU X B, CHEN C, et al. Intelligent analysis technology of big data in 1.5G network[J]. Telecommunication Science, 2022, 38(8): 129-139.
- [10] 胡煜华, 赵伟, 李贝. 5G 网络地铁场景覆盖方案研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2020, 33(8): 40-44.
- HU Y H, ZHAO W, LI B. Research on metro 5G network coverage[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2020, 33(8): 40-44.
- [11] 刘宏嘉, 赵伟, 谷俊江, 等. Cloud VR 业务感知评估与优化[J]. 江苏通信, 2022, 38(1): 100-104.
- LIU H J, ZHAO W, GU J J, et al. Cloud VR service perception evaluation and optimization[J]. Jiangsu Communication, 2022, 38(1): 100-104.
- [12] 李贝, 刘光海, 许国平, 等. 自动邻区优化技术共享网络中应用研究[J]. 电子技术应用, 2022, 48(10): 69-71, 77.
- LI B, LIU G H, XU G P, et al. Research on ANR function in network co-build & co-share[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(10): 69-71, 77.
- [13] 赵伟, 王勇, 刘宏嘉. 基于隐马尔科夫模型的 LTE 室外指纹定位研究与实践[J]. 邮电设计技术, 2019(11): 20-23.
- ZHAO W, WANG Y, LIU H J. Research and practice of LTE outdoor fingerprint-location based on hidden Markov model[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2019(11): 20-23.

[作者简介]



刘宏嘉(1982-) 男, 中国联合网络通信有限公司浙江省分公司云网优化室主任、高级工程师, 主要研究方向为无线网络优化与大数据分析。

李贝(1983-) , 女, 中国联合网络通信有限公司研究院高级工程师, 从事无线网络规划优化方面的工作。

赵伟(1982-) , 男, 中国联合网络通信有限公司浙江省分公司工程师, 主要研究方向为网络优化、大数据及人工智能在移动通信中的应用。

许国平(1978-) , 男, 博士, 中国联合网络通信集团有限公司正高级工程师, 主要研究方向为网络优化与数字化技术。

王鑫炎(1982-) , 男, 中国联合网络通信有限公司浙江省分公司工程师, 主要从事无线网络规划优化、端到端优化、系统性优化方面的工作。