

基于智能用户编排的 5G网络感知提升方案

5G Network Awareness Enhancement Scheme Based on Intelligent User Orchestration

胡煜华¹, 汤滢琪¹, 朱吉成¹, 罗毅¹, 朱志勇¹, 沈文超² (1. 中国联通浙江分公司, 浙江 杭州 310051; 2. 中国联通杭州分公司, 浙江 杭州 310051)

Hu Yuhua¹, Tang Yingqi¹, Zhu Jicheng¹, Luo Yi¹, Zhu Zhiyong¹, Shen Wenchao² (1. China Unicom Zhejiang Branch, Hangzhou 310051, China; 2. China Unicom Hangzhou Branch, Hangzhou 310051, China)

摘要:

无线网络环境复杂,传统的小区切换无法准确匹配不同业务的体验要求,不能保障用户感知。提出基于智能用户编排的5G网络感知提升方案,能够根据用户实时业务体验,综合考虑终端能力、业务需求、网络能够提供的服务能力,使用户能够快速选择到体验最优的小区,保障了用户感知,充分挖掘和释放5G网络价值,为5G网络感知提升提供了一种新的方案。

关键词:

网络感知;用户编排;指纹栅格

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2024.09.009

文章编号:1007-3043(2024)09-0051-06

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:

The wireless network environment is complex, and traditional cross frequency layer cell switching cannot accurately match the experience requirements of different services, which cannot guarantee user perception. It proposes a 5G network awareness enhancement scheme based on intelligent user orchestration. According to the real-time business experience of users, comprehensively considering terminal capabilities, business needs, and the service capabilities that the network can provide, the scheme can enable users to quickly select the best experiencing community, so the user awareness is ensured, the value of 5G networks is fully mined and released, which provides a new approach for enhancing 5G network awareness.

Keywords:

Network awareness; User orchestration; Fingerprint grid

引用格式: 胡煜华, 汤滢琪, 朱吉成, 等. 基于智能用户编排的5G网络感知提升方案[J]. 邮电设计技术, 2024(9): 51-56.

1 概述

随着5G网络的规模商用和不同速率、时延、可靠性业务的爆发式发展,在精准保障差异化用户体验的同时,提升5G网络资源效率和收益,从传统基于比特传输量的流量经营向基于实际业务感知满足度的体验经营转型,对多频多制式复杂网络下的资源管理策略及用户体验保障机制提出极大挑战。本文面向多频段、多制式网络层间协同场景,提出一种智能用户

编排方案,通过实时监控基站下用户的业务体验,综合考虑终端能力、业务需求、网络能够提供的服务能力,结合AI无线指纹栅格库,在用户体验变差时,将用户快速迁移到最优的目标频层和小区。

2 传统切换机制

无线网络环境复杂,覆盖、干扰、上行受限、参数调整等会导致用户终端UE(User Equipment)在某些区域5G网络体验并不好,需要迁移到其他小区。而传统小区切换以网络指标为准则、以平均关键绩效指标为目标的切换互操作策略,基于UE测量报告,判决源小

收稿日期:2024-07-30

区和目标小区的下行参考信号接收功率(Reference Signal Receiving Power, RSRP),无法适应不同基站和小小区的差异化场景,无法满足高清直播、扩展现实等不同业务的差异化需求,也没有考虑邻区负荷、干扰等因素,不能保障用户感知。严重阻碍新业务的发展,不利于网络效率的提升。

通过基于无线网络智能内生的服务能力,结合网络级的场景优化、用户级智能感知和服务能力拓展,才能系统地满足移动网络在网络效率与收益、用户体验提升的要求。

3 智能用户编排原理

无线智能用户编排从全网全频段角度出发,基于人工智能(Artificial Intelligence, AI)技术底座建立自主进化的网络服务能力知识库,通过自学习的网络服务能力知识库,结合终端能力、业务类型、网络环境等信息,模拟用户真实的体验,主动、精准地将用户引导至体验最优的小区,保障用户级的体验感知。

智能用户编排与传统切换机制有2点不同。

a) 传统切换机制是网络指标(RSRP、SINR等)触发,智能用户编排是用户体验触发。

b) 传统切换机制的目标是连续的移动性连接,智能用户编排的目标是连续的业务体验及资源效率保障。

智能用户编排实时监控每个用户的业务体验,当判决体验变差时,综合考虑终端能力、业务需求、用户的时空位置、用户位置上的网络能够提供的服务能力(多频异构网络结构,各频层的覆盖、小区负荷、信道质量等信息),结合AI无线指纹栅格知识库,将用户引导到最优的载波和小区。

智能用户编排主要包括源侧体验评估、目标侧性能预测以及AI虚拟栅格免测量切换。这三者之间具有关联性,首先通过源侧体验评估来确定哪些用户存在感知体验变差问题,在确定了质差用户之后,需要将这些用户迁移至更优网络,因此需要明确哪些目标小区满足接纳这些质差用户的能力,有了目标小区后开始进行切换,但切换过程中会存在大量的异频和异系统测量,将占用UE数据传输开销,且测量报告不及时也会增加载波间的切换时延,影响UE性能和业务体验,所以通过AI虚拟栅格免测量切换来提升用户切换性能。

3.1 源侧体验评估

在移动网络中,由于用户位置、网络负载以及无线环境等具有时变性,并且这种时变性会对链路性能产生影响,可以通过无线信道质量和业务阻塞状态联合判决小区用户上、下行数据业务感知,并触发质量迁移。

3.1.1 体验状态评估

体验状态评估包括间接评估和直接评估2种。

a) 基于调度阻塞率的间接体验评估,调度阻塞率 B =调度缓存数据量/当前调度数据量。

b) 基于业务感知的直接评估,以视频为例,视频用户感知得分VMOS如式(1)所示:

$$VMOS=f(vQuality, vLoading, vStallingfreq, vStallingrec, W_n) \quad (1)$$

其中,VMOS为视频用户感知得分,vQuality为视频源质量(码率),vLoading为缓冲时长,vStallingfreq为卡顿次数,vStallingrec为卡顿恢复时长占比, W_n 为各个因素的权重占比。

3.1.2 体验风险评估

体验风险评估主要对服务小区可达速率与速率余量进行评估。基于小区负载和用户负载2级负载指标以及信道质量,可以计算和预测用户当前能够获取的可达速率上限,如式(2)所示:

$$R_A=\alpha \times BW \times (1-Load_1+Load_2) \times \log_2(1+\beta \times SINR) \quad (2)$$

其中, α 、 β 为效率因子,可通过对速率和各个参数之间的历史数据学习与拟合获得;BW为系统带宽;Load₁为小区整体资源负载,Load₂为当前用户资源负载。根据可达速率可以预测评估用户在当前小区可达速率 R_A 与业务需求速率 R_T (如1080P高清直播需要5~10 Mbit/s的速率)之间的速率余量,如式(3)所示:

$$R_{GAP}=\text{MAX}\{(R_A-R_T)/R_A, 0\} \quad (3)$$

若RGAP小于速率安全门限 R_{Margin} ,或者调度阻塞率/业务感知得分低于目标值,则系统触发和启动其他频层/小区的性能预测。

3.1.3 基于上行数据业务感知的迁移

上行数据业务按大包、小包业务分类,迁移判决如图1所示。

对于上行大包业务,轻度质差且严重阻塞或者中度质差且轻度阻塞时,应及时迁移到异频/异系统信号较好的小区,保障上行感知。

对于上行小包业务,它以下行业务为主,对上行业务需求较少,除上行高负荷情况,一般不会出现阻塞,当严重质差时,触发质量迁移。

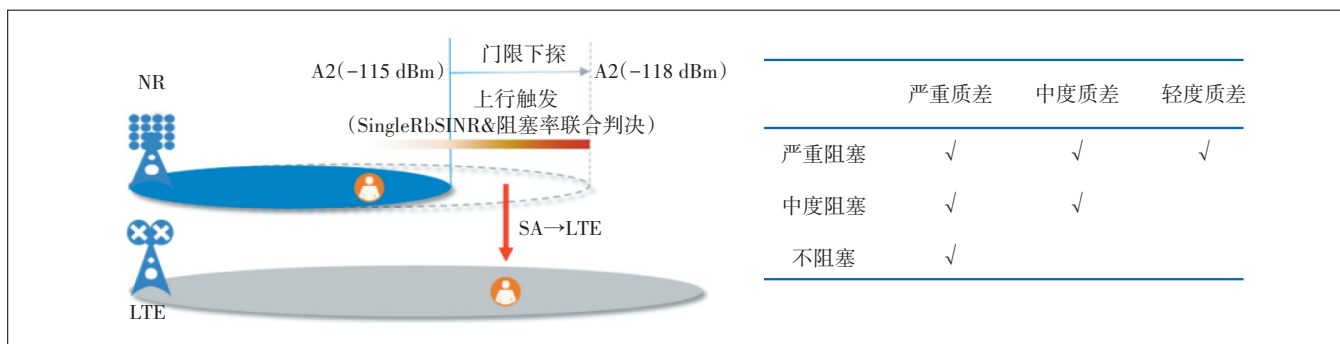


图1 基于上行数据业务感知迁移

3.1.4 基于下行数据业务感知的迁移

下行信道质量评估可选择: 频谱效率(Spectral Efficiency, SE)、参考信号接收质量(Reference Signal Receiving Quality, RSRQ)和SINR 3种方式。

当数据质量迁移下行质量评估方式配置为SE时, 如果UE的下行信道连续进入质量差的次数达到“下行进入质量差连续次数门限”时, 且全部小于等于“下行信道质量差的SE门限”, 则认为该UE为下行信道质量差; 如果UE的下行信道质量连续退出质量差的次数达到“下行退出质量差连续次数门限”时, 且全部大于“下行信道质量差的SE门限”, 则认为该UE为下行信道质量已恢复。

当数据质量迁移下行质量评估方式配置为RSRQ时, 如果UE上报对应的A2事件(服务小区差于绝对门限), 则认为该UE为下行信道质量差; 如果UE上报对应的A1事件(服务小区好于绝对门限), 则认为该UE当前信道质量已恢复。

当数据质量迁移下行质量评估方式配置为SINR, 但是UE能力不支持系统内SINR测量时, 下行质量评估的A2/A1事件的触发使用RSRQ。

对于下行信道质差要进行迁移的用户, 增加使用下行数据堵塞以及下行速率来对用户的下行感知状态进行评估判决。当用户下行质差并且下行感知差时, 才触发数据质量迁移功能。这样既保证了用户体验又有利于提升5G用户驻留比。

3.2 目标小区负荷和质量判决

通过5G站间Xn接口及4G/5G站间Xe接口交互邻区信息, 包括负荷、干扰、DC/CA协同关系等, 4G/5G站间信息交互如图2所示。

传统切换仅判断邻小区的覆盖, 智能用户编排结合业务匹配频点, 综合判决邻小区的覆盖、负荷及信道质量预估, 更加精准地选择目标频点和小区, 保障



图2 4G/5G站间信息交互

用户迁移过去之后的体验。

对于达到基本电平要求的异频邻区, 对其频谱效率、可达速率、压抑距离进行预测, 并计算用户引导优先级。

a) 频谱效率与可达速率预测。上行频谱效率的计算如式(4)所示:

$$SE = \alpha \times \log_2(1 + \beta \times SINR) \quad (4)$$

根据邻区下行接收RSRP和发射功率计算获得路损, 并结合基站间接口获取的干扰信息, 可以计算出SINR。归一化频谱效率 $SE_{scale} = SE / SE_{max}$, 其中 SE_{max} 为各个候选目标小区的最大频谱效率。根据频谱效率、带宽以及负载, 能够获得可达速率 R_A 。

b) 压抑距离预测。压抑距离预测是一种用于评估网络流量变化的方法, 它可以反映网络资源的利用效率和用户体验。压抑距离预测的基本思想如下: 当网络流量达到一定程度时, 会出现资源竞争和干扰增强的现象, 导致网络性能下降, 从而影响用户满意度。因此, 压抑距离预测的目的是找到一个合理的压抑点, 使得网络流量在该点之前保持线性增长, 在该点之后逐渐减少, 从而达到网络优化的效果(见图3)。压抑距离预测的公式为: $D_s = P_s - P_a / P_s$, 其中 D_s 表示压抑距离, P_s 表示压抑点, P_a 表示实际流量。

c) 用户引导优先级计算。为了实现用户体验与资源效率的平衡, 提出了一种基于可达速率、频谱效率和压抑距离的用户引导优先级计算方法, 具体步骤如下。

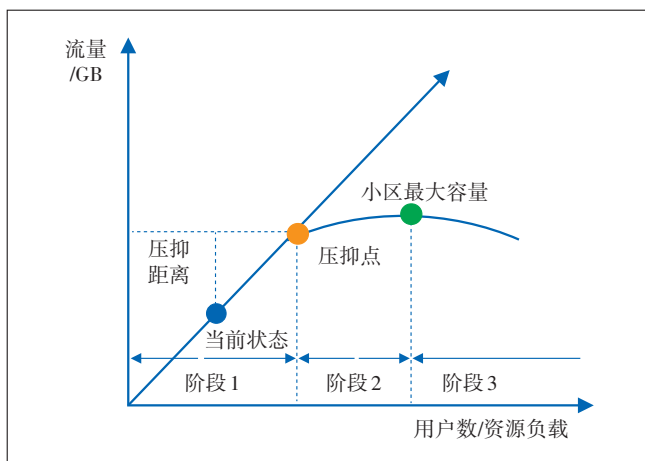


图3 流量抑制曲线

(a) 计算候选小区的可达速率RA,即用户在该小区能够获得的最大数据传输速率,由信道带宽、信噪比和调制编码方案决定。

(b) 计算候选小区的频谱效率SE,即单位频带内

能够传输的信息量,由信道容量公式给出。

(c) 计算候选小区的压抑距离 D_s ,即用户与该小区基站之间的距离,用于反映用户对其他小区的干扰程度。

(d) 综合考虑上述3个因素,根据式(5)计算得到候选小区的用户引导优先级 P ,其中 β, θ 为加权因子, SE_{scale} 为频谱效率的归一化系数, Φ 为防止优先级过小而设置的常数。

$$P = \{\text{Max}(R_A, 0)\} \times \beta \times SE_{scale} \times \theta \times D_s \times \Phi \quad (5)$$

(e) 将用户切换至优先级最高的目标小区。

3.3 AI虚拟栅格免测量切换

在多层网场景下,大量的异频和异系统测量将占用UE的数据传输开销,且测量报告不及时也会增加载波间切换时延,严重影响UE的性能和业务体验。

如图4所示,用户编排可基于AI虚拟栅格预测异频和异系统邻区的覆盖,避免测量Gap对用户性能的影响,减少用户在弱场的停留时间。

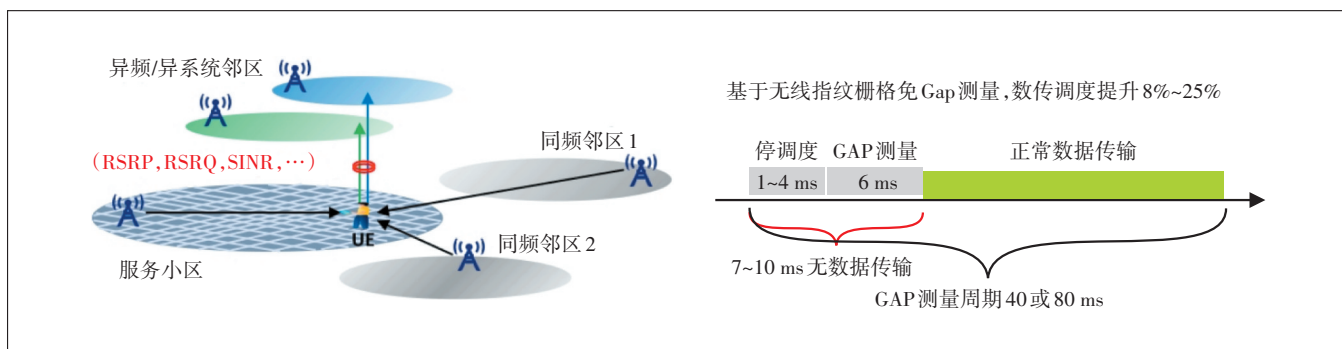


图4 切换邻区

3.4 基于无线指纹栅格切换流程

3.4.1 指纹栅格总体流程

基于K-means等非监督机器学习算法,利用服务小区和同频邻区的RSRP,将覆盖区域划分为若干个虚拟栅格;进一步通过增加终端类型、最小化路测等维度的信息来进一步提升栅格的划分精度,采集异频、异系统测量数据点亮栅格,被点亮的栅格支持免测量切换,总体流程如图5所示。

3.4.2 指纹栅格构建和点亮流程

射频指纹栅格的构建包含2个阶段:空白栅格划分和栅格内邻区信息统计。

第1阶段,打开小区指纹栅格功能开关,随机抽取小区内指定数量的UE发起周期性同频测量,当同频测量报告样本数达到要求时,划分索引组小区。索引

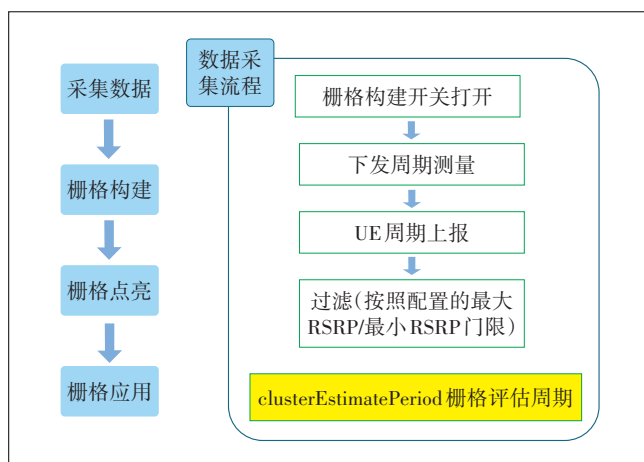


图5 指纹栅格总体流程

组小区是按服务小区和至多2个同频最强邻区的小区

ID进行划分,每个组合成为一个索引小区组。对索引组小区,基于每个样本“服务小区的RSRP和2个最强同频邻区的RSRP”进行聚类算法处理,完成空白栅格划分。

第2阶段,往每个空白栅格中填充异频和异系统邻区信息,目前填充的主要是异频和异系统测量报告信息,包括每个邻区的RSRP/RSRQ/SINR信息,当一个栅格内的邻区样本数达到一定数量时,该栅格被点亮,就可以被其他功能查询使用。

3.4.3 指纹栅格应用流程

如图6所示,UE上报服务小区和同频邻区RSRP后,搜索索引组小区,得到栅格信息,获取到栅格异频/异系统邻区信息预测服务,按照目标小区选择原则,直接输出异频/异系统邻区,避免不必要的UE测量和空口重配,减少信令开销和处理时延,实现精准快速的载波选择、切换及载波协同。

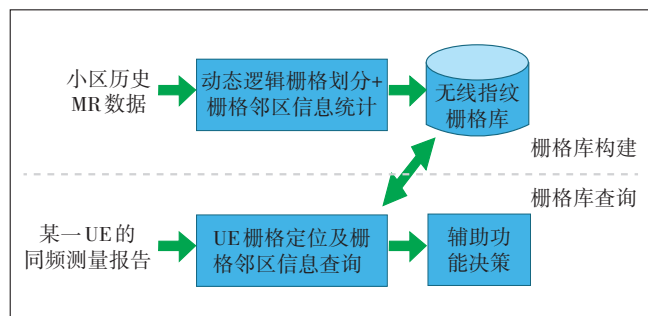


图6 指纹栅格应用流程

4 智能用户编排功能验证

4.1 基于用户感知体验判决切换

通过对不同的业务类型(如上行大流量的直播类业务、上行小流量的抖音和游戏类业务)进行对比测试,验证基站基于“信道质量+调度阻塞率”判决用户体验的情况,表1所示为测试结果。

传统切换:一刀切的信道质量判决,如果门限配置较低则无法满足直播业务的感知诉求,如果门限配置较高则会将抖音和游戏等上行小流量业务过早切换到LTE小区。

智能用户编排:基于“信道质量+调度阻塞率”准确判决用户体验,对于直播、视频通话等上行大流量业务,在上行数据出现堵塞时,可以及时迁移到LTE小区,保障了用户体验不变差;对于抖音和游戏等上行小流量业务,智能用户编排通过上行堵塞率准确判决

表1 基于用户感知体验判决切换的测试结果

业务类型	是否加扰	是否开启用户编排	质切门限	切换类型	是否卡顿	切换时平均下行RSRP/dBm	切换时平均上行SINR/dB
直播	否	否	低门限	传统切换	非常卡顿	-112	12
直播	否	是	低门限	用户编排	流畅	-107	25
王者荣耀	否	否	低门限	传统切换	流畅	-114	17
王者荣耀	否	是	低门限	传统切换	流畅	-107	17
抖音	否	否	低门限	传统切换	流畅	-110	18
抖音	否	是	低门限	传统切换	流畅	-108	18
直播	否	否	高门限	传统切换	流畅	-97	30
王者荣耀	否	否	高门限	传统切换	流畅	-96	24
抖音	否	否	高门限	传统切换	流畅	-98	28
直播	是	否	低门限	传统切换	非常卡顿	-113	17
直播	是	是	低门限	用户编排	流畅	-98	33
王者荣耀	是	否	低门限	传统切换	流畅	-113	14
王者荣耀	是	是	低门限	传统切换	流畅	-109	17
抖音	是	否	低门限	传统切换	流畅	-108	18
抖音	是	是	低门限	传统切换	流畅	-111	19

业务体验一直没有变差,因此可以一直留在5G小区,直到当信道质量严重变差时才切换到LTE小区。

高干扰场景:用户编排功能依然能够及时判决直播等大流量业务体验变差,与不加扰情况相比,触发切换的位置提前(不加扰触发切换时的RSRP为-107dBm左右,加扰触发切换时的RSRP为-98dBm左右)。对于抖音和游戏等上行小流量业务,由于此次加扰程度不足以影响到业务体验,因此测试结果跟不加干扰一样。

4.2 无线指纹栅格功能验证

某站点3个小区开启指纹栅格功能,设置构建周期为2h,构建栅格所需MR数目设置为6000,正常完成栅格构建和点亮过程。

301小区:构建栅格数为736,点亮数为631。

302小区:构建栅格数为248,点亮数为241。

303小区:构建栅格数为410,点亮数为379。

定义基于测量的切换时延为:切换完成时间到下发异频/异系统邻区测量的时间。

定义基于指纹栅格免测量切换时延为:切换完成时间到切换请求的时间。

指纹栅格免测量切换没有基站下发测控、终端上报测量报告过程。基于测量切换和指纹栅格免测试切换时延的平均结果如表2所示。

异频基于指纹栅格的免测量切换的切换时延降

表2 无线指纹栅格功能验证

时延	异频切换		异系统切换	
	基于测量切换	指纹栅格免测试切换	基于测量切换	指纹栅格免测试切换
时延平均值/ms	654.8	36.9	948.2	57.7

低94.36%,异系统基于指纹栅格的免测量切换的切换时延降低93.91%。对标结果如图7所示。

5 结束语

面向未来,无线智能编排方案将持续演进和发

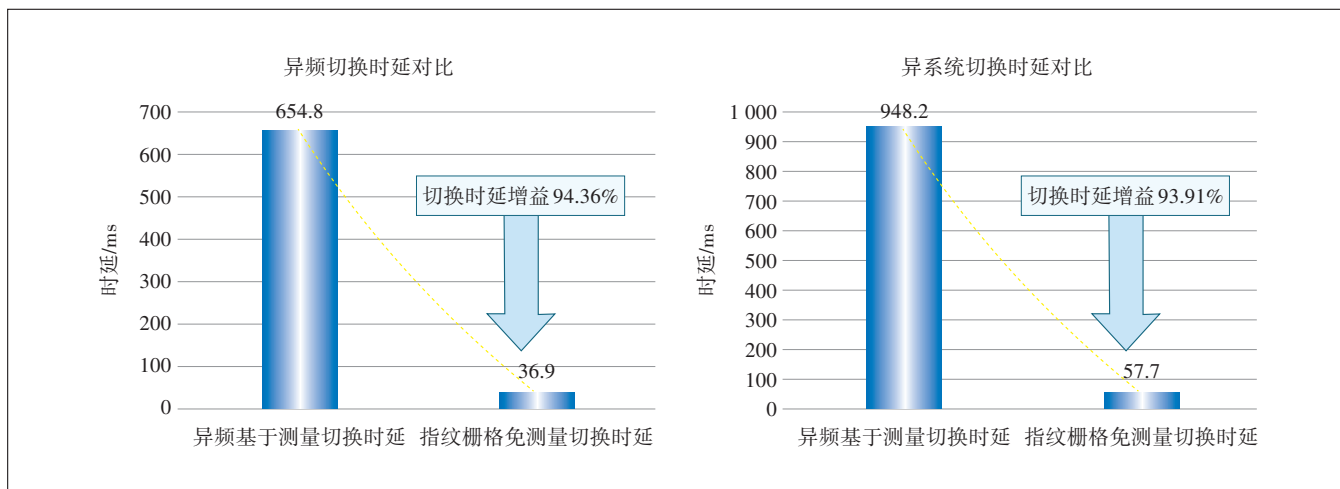


图7 切换时延平均值对比

展。全方位打造智能无线网络,有望成为后5G时代的标志性方案。针对网络发展的不同阶段及差异化价值诉求,无线智能编排方案可以实现基于不同意图的驱动,如面向双碳目标的节能意图、面向流量最大化的运营收入意图,或节能、改善用户体验、增加运营收入等的综合意图。随着跨域信息的引入,通过智能编排引擎进一步深化2B和2C的联合编排,可在一张网络中更好地提升实现用户体验与网络效率的灵活协同能力,让5G更好地助力全社会的数字化转型,同时借助数字孪生技术,实现物理网络与数字网络的精准镜像,从而实现更加精确和高效的编排。

参考文献:

[1] 高光辉,李勇,卫钰,等. DAS系统在5G室分建设中的融合与发展[J]. 电信工程技术与标准化,2019,32(10):10-15.
[2] 门少杰,刘博光,柳少良,等. 基于多通道联合收发技术的5G传统室分系统错层部署方案研究[J]. 电信工程技术与标准化,2021,34(10):47-50.
[3] 潘毅,李晖晖,曾磊,等. 5G室内场景多通道联合收发技术性能与关键问题[J]. 电信科学,2020,36(7):168-174.
[4] 龚戈勇,丁远. 浅析传统DAS室分系统在5G时代的应用[J]. 信息技术与信息化,2019(6):165-167.
[5] 何欣. 浅谈5G网络技术特点及无线网络规划分析[J]. 信息通信,2019(11):222-223.

[6] 叶辉,刘海玲. 5G时代室内分布系统发展趋势分析[J]. 通信世界,2018(18):46-47.
[7] 王海涛. 数字化室分系统应用研究及未来5G室内覆盖展望[J]. 电信工程技术与标准化,2019,32(2):64-69.
[8] 李贝,刘光海,肖天,等. VoNR语音解决方案应用研究[J]. 电信科学,2022,38(5):149-157.
[9] 李贝,胡煜华,王鑫炎,等. 5G网络SSB1+X波束技术应用研究[J]. 电信科学,2022,38(1):150-158.
[10] 赵伟,李贝,孟宁,等. 基于AI的全场景智能基站节电系统设计与实现[J]. 电信科学,2022,38(8):163-170.
[11] 胡煜华,王鑫炎,李贝. 5G网络上行覆盖增强研究[J]. 电信科学,2021,37(7):134-141.
[12] 胡煜华,汤滢琪,李贝. 5G网络共建共享模式[J]. 电信科学,2020,36(9):148-153.
[13] 李一,田元兵,龙青良,等. 5G共建共享网络下的无线切片技术研究[J]. 邮电设计技术,2021(11):16-22.
[14] 韩玮,江海,李晓彤. 5G网络设计与规划优化探讨[J]. 中兴通讯技术,2019,25(4):8.
[15] 宋伟. 人工智能在5G无线网络优化中的设计与实现[J]. 通讯世界,2022,29(2):163-165.

作者简介:

胡煜华,高级工程师,硕士,主要从事无线网络规划建设;汤滢琪,高级工程师,硕士,主要从事无线网络规划建设;朱吉成,工程师,博士,主要从事无线网络规划建设;罗毅,工程师,硕士,主要从事无线网络规划建设;朱志勇,工程师,学士,主要从事无线网络规划建设;沈文超,工程师,学士,主要从事无线网络规划建设。