

双智协同网络:理念与技术



Conception and Technology of Dual Intelligence Collaborative Network

顾军/GU Jun, 张宏涛/ZHANG Hongtao, 顾健/GU Jian

(中兴通讯股份有限公司, 中国 深圳 518057)
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202204008

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20220722.1513.006.html>

网络出版日期: 2022-07-25

收稿日期: 2022-06-12

摘要: 提出一种多频多制式移动网络中基于双层智能化互操作的新型协同方案, 以满足网络发展不同阶段及不同场景下的多目标优化要求。一方面, 基于业务体验的用户级智能编排与基于网络关键绩效指标 (KPI) 的小区级参数智能优化相结合, 实现4G/5G多制式协同下的用户体验和5G分流能力的联合最优; 另一方面, 用户级智能编排与小区级智能负载均衡相结合, 实现多频5G协同下的用户体验与5G容量联合最优。总体上, 在网络不同阶段用户级智能与网络级智能相结合而形成的双智矩阵, 可精准满足商用网络下的差异化业务体验需求, 最大化网络总体收益。

关键词: 双智协同; 用户编排; 负载均衡; 流量压抑; 体验预测

Abstract: A new collaborative scheme based on dual-layer intelligent inter-operability in multi-frequency and multi-standard mobile networks is introduced, which meets the multi-objective optimization requirements in different stages of network development and in different scenarios. On the one hand, the combination of user-level intelligent orchestration based on service experience and intelligent optimization of cell-level parameters based on network key performance indicators (KPIs) realizes the joint optimization of user experience and 5G offload capability under 4G/5G multi-standard coordination; On the other hand, the combination of intelligent orchestration and cell-level intelligent load balancing realizes the joint optimization of user experience and 5G capacity under multi-frequency 5G collaboration. In general, the dual-intelligence matrix formed by the combination of user-level intelligence and network-level intelligence at different stages of the network realizes the precise satisfaction of differentiated service experience in commercial networks and maximizes the overall network revenue.

Keywords: dual intelligence collaboration; user orchestration; load balance; payload suppression; experience prediction

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^[1], 在精准保障差异化用户体验的同时提升5G网络资源效率、容量和收益, 逐步成为网络优化、演进与发展的核心命题。这是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的核心基础, 同时也对多频多制式复杂网络下的资源管理策略及性能、用户体验保障机制提出极大挑战。作为蜂窝网络技术的关键组成部分, 基于覆盖、质量、负载等网络指标的移动性管理和资源均衡, 在保持网络连接连续性、提升资源效率等方面发挥关键作用^[2], 并在第3代合作伙伴计划 (3GPP) 5G-Advanced的标准演进中进一步优化, 持续提升网络性能^[3]。然而, 这在理念和技术上与网络发展的核心价值诉求仍然存在一定差距。

在理念上, 传统技术目标与网络收益目标存在差距的局面需要被打破。综合移动网络流量经营的现实要求、向体验经营转型的内在趋势, 以及实现网络收益和用户体验协同最优网络 (BE-Net) 的理念, 都将成为网络演进和技术发展的引擎。我们应以用户体验为导向打造适应多样性业务需求

的优质网络, 以服务质量的提升带来用户和业务的可持续增长; 基于差异化的体验需求及场景化的效能评估, 实现有限资源的精准投放与分配, 在保障用户感知的基础上获得最佳的投资收益, 以促进网络进化的良性循环和可持续发展。

在技术上, 传统以网络指标为准则、以平均关键绩效指标 (KPI) 为目标的网络中心化^[4]一刀切互操作策略, 无法适应不同基站和小区的差异化场景, 更无法满足高清直播、扩展现实 (XR) 等不同业务的差异化需求, 严重阻碍新业务的发展, 不利于网络效率的提升。因此, 我们需要通过用户中心化的范式迁移^[5-7]和基于无线网络内生智能的服务能力^[8-9], 结合网络级的场景优化^[10]、用户级智能感知和服务能力拓展, 更加系统性地满足移动网络在网络效率与收益、用户体验方面的提升要求。

本文立足 BE-Net 的基本思想, 面向多频段多制式网络层间协同场景, 提出集用户级智能和网络级智能于一体的双智协同网络, 以实现在不同网络发展阶段用户体验和网络效率的双优价值目标。

1 网络需求与双智矩阵

在4G和多频段5G共存的多层次复杂网络中,移动性管理除了要保证基本的移动性性能外,还需要满足更加差异化的业务需求,包括更加多元化、场景化的系统要求。传统基于网络一刀切策略的层间互操作面临越来越大的挑战。具体来看,网络在不同发展阶段、不同场景中存在不同的体验和效率双优目标,需要定制化的双智矩阵能力组合来实现不同时空坐标下的网络价值,如图1所示。

1.1 双智体验协同

在5G发展初期,5G网络部署和优化的核心诉求有两个方面:一是在4G/5G双层网下最大化5G终端在5G网络的驻留,实现4G流量向5G网络的迁移,增加5G分流比(5G流量占4G和5G总流量的比值),并通过5G的大带宽能力进一步激发用户的流量消费,进而提升5G的网络效率和投资回报;二是确保不同要求的用户体验(如大上行速率的高清直播、大下行的高速流媒体/XR等)及时得到保障,并在总体上实现用户体验与5G分流比和流量的双优,持续促进5G业务和网络的发展。

如图2所示,为满足差异化用户体验与5G分流比和流量的双优需求,小区级互操作参数自优化智能用户编排需要被引入,以形成网络级与用户级一体化的双智体验协同解决方案。其中,小区级参数自优化通过对异频切换/重选门限的智能下探(如5G到4G的异频切换门限从-110 dBm下调至-120 dBm),在不影响网络基本KPI的基础上扩大5G网络层的覆盖范围,吸收更多用户,增加5G业务流量及分流比。同时,更大的覆盖范围会引发更大概率的体验不佳问题,尤其是在边缘区域难以满足高清直播等大速率业务需求。智能用户编排^[1]以用户为单位,基于源侧体验评估、目标侧体验预测以及智能栅格驱动下的免测量将用户快速导引到体验更

优的频层和小区中,精准感知并满足个性化业务体验需求。通过用户体验保障的两级解耦,在完成从以KPI为中心的互操作到网络级智能互操作参数优化后,基本连接体验与用户级智能编排下的业务体验进行双智协同优化,可带来用户体验和网络效率的双重收益。

1.2 双智网络均衡

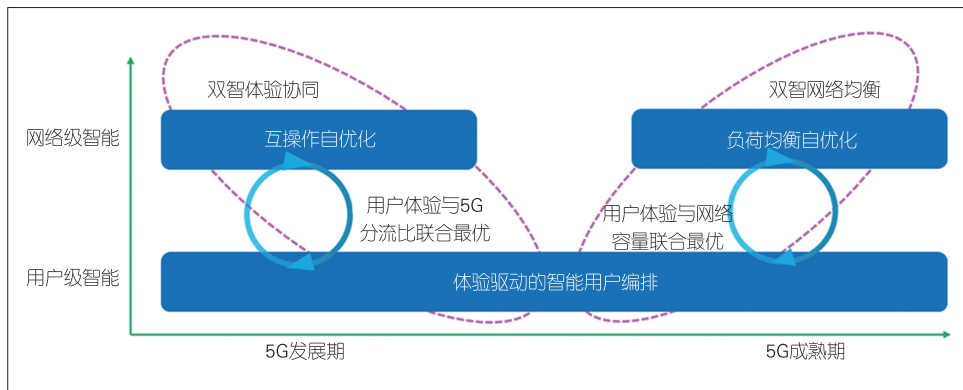
该阶段5G网络从单频走向多频协同,不同频点之间互操作以及协同的主要目标逐步转变成在保障业务需求的同时最小化用户消耗的网络资源,并通过层间资源使用的均衡性降低用户的拥塞、冲突以及业务被压抑的概率,总体上实现用户体验以及多频5G网络容量的双优;进一步地,当总体资源出现瓶颈时,优先保障高价值用户以及高价值业务需求是持续提升网络价值运营能力的基础,通过体验与效率的最优协同最大化网络的投资回报。

如图3所示,在多频5G网络中,为了实现用户体验与网络容量的双优,并使网络收益达到最高,传统以网络负荷为中心的负载均衡机制需要进行双智重构:一是引入前文所述的用户级智能编排,在及时感知与保障差异化用户体验的基础上,确保用户被导引到资源消耗最低、拥塞和容量抑制风险最小的频层和小区中,从而在用户层面间接促进多层网之间实现均衡;二是在智能化负荷评估、流量压抑预测以及用户选择、个性化小区偏置等方面对负载均衡的关键环节进行增强,进而提升负载均衡的及时性与准确性。整体上来看,智能用户编排与智能负载均衡协同下的双智网络均衡,能够充分实现用户体验和多层5G网络总体频谱效率/容量的共同提升。

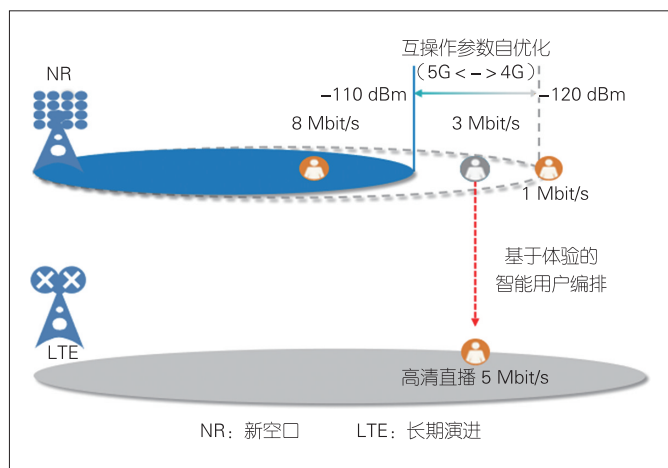
2 智能用户编排

在双智体验协同和双智网络均衡中,双优目标中的用户级体验需要通过智能用户编排来实现。整体来看,智能用户编排与传统互操作机制有两点不同:一是从参考信号接收功率(RSRP)、信号与干扰加噪声比(SINR)等网络指标触发到用户体验触发,二是在切换目标上从连续的移动性连接到连续的业务体验及资源效率保障。

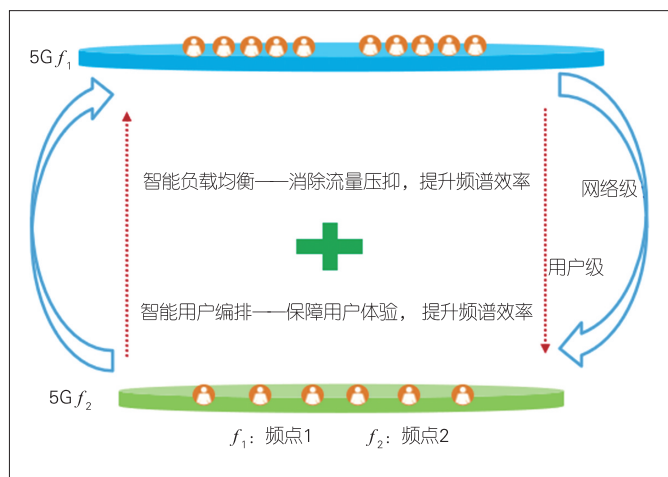
智能用户编排包括源侧体验评估、目标侧性能预测(如图4所示)以及基于虚拟栅格的知识学习。



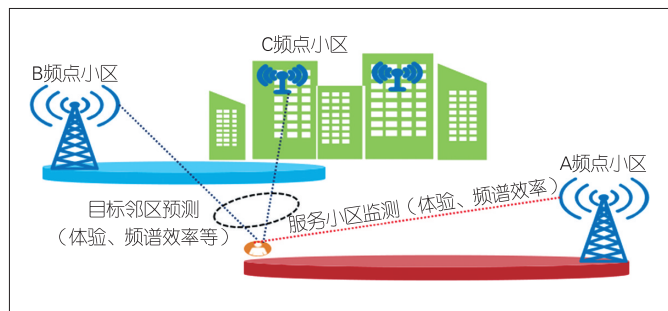
▲图1 网络收益与用户体验协同最优理念下的双智矩阵



▲图2 双智体验协同



▲图3 双智网络均衡



▲图4 源侧/目标侧近实时监测

2.1 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,因此我们需要借助近实时的性能监测及时感知业务体验和网络能力的变化。

(1) 体验状态评估

体验状态评估包括间接评估和直接评估两种。

(a) 基于调度阻塞率的间接体验评估: 调度阻塞率 $B = \text{调度缓存数据量} / \text{当前调度数据量}$;

(b) 基于业务感知的直接评估 (以视频为例):

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

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。

(2) 体验风险评估

服务小区可达速率与速率余量评估: 基于小区负载和用户负载两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, 如公式 (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; $Load_1$ 为小区整体资源负载, $Load_2$ 为当前用户资源负载。根据可达速率, 我们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:

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

若 R_{GAP} 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。

2.2 目标侧性能预测

对于达到基本电平要求的异频邻区, 我们会对频谱效率、可达速率、压抑距离进行预测, 并计算用户导引优先级。

(1) 频谱效率与可达速率预测

上行频谱效率为:

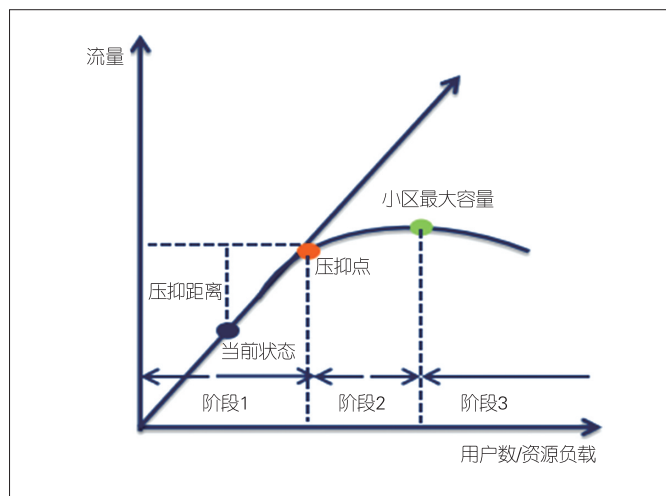
$$SE_{UL} = \alpha \times \log_2(1 + \beta \times SINR), \quad (4)$$

其中, 根据邻区下行接收 RSRP 和发射功率计算获得的路损, 并结合基站间接口获取的干扰信息, 可以计算出 SINR。下行频谱效率 SE_{DL} 通过本文 2.3 节描述的栅格知识库获得。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, 我们能够获得可达速率 R_A 。

(2) 压抑距离预测

随着用户数及资源利用率的增长, 由于存在资源挤压、干扰加大等因素, 网络流量的升高过程为: 首先呈现线性,

随后到达压抑点并达到最大值,最后逐步下降,如图5所示。其中,压抑距离 $D_s = P_s - P_a/P_s$ 。



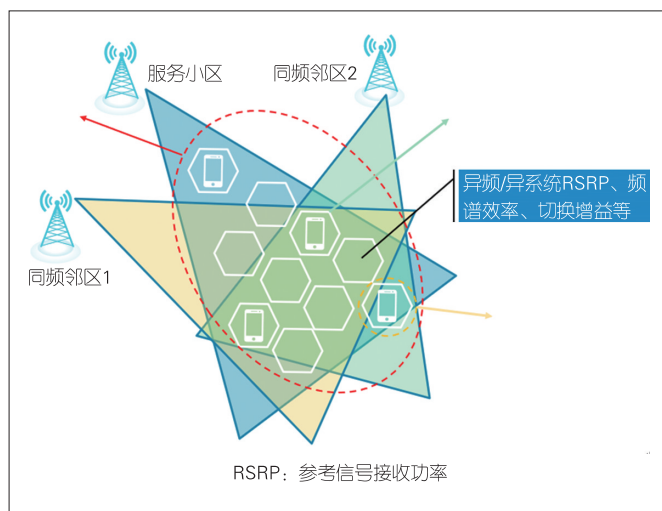
(3) 用户导引优先级计算

根据候选小区的可达速率、频谱效率以及压抑距离,我们计算目标小区选择优先级 $P = \{\text{Max}(R_A, 0)\}^\beta \times \text{SE}_{\text{scale}}^\theta D_s^\phi$, 其中 β 、 θ 为加权因子。将用户切换至优先级最高的目标小区,有助于实现用户体验与资源效率的平衡。

2.3 基于虚拟栅格的知识学习

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,我们可以将覆盖区域划分为若干个虚拟栅格。进一步地,我们也可以通过增加终端类型、最小化路测(MDT)等维度信息来提升栅格的划分精度,如图6所示。对于划分好的空白栅格库,每个栅格的索引信息包括:服务小区身份信息(ID)和 RSRP 最大/最小值、同频邻区1的ID和 RSRP 最大/最小值、同频邻区2的ID和 RSRP 最大/最小值。也就是说,根据UE的同频测量报告(服务小区ID和 RSRP 值、两个同频邻区的ID和 RSRP 值)理论上系统就能定位出该UE当前处于哪个栅格位置。

在空白栅格划分之后,根据周期性的UE同频测量报告,系统能够近实时地定位出UE当前所处栅格位置,并将该UE在当前位置发生的信息记录所属栅格中,这就是一次有效样本统计。信息记录主要有两种(都是针对异频和异系统邻区的):一是在当前栅格位置上收到的异频/异系统测量报告信息,包括频点信息、测量报告小区ID以及测量结果 RSRP/RSRQ/SINR 值;二是在当前栅格位置上向某个邻小区的切



▲图6 基于本邻小区覆盖电平的智能栅格划分

换成功率信息,以及在该邻区上统计获得的频谱效率信息。当一个栅格内统计的样本数量达到一定门限时,这个栅格就可以被其他功能查询所使用。

3 互操作参数自优化

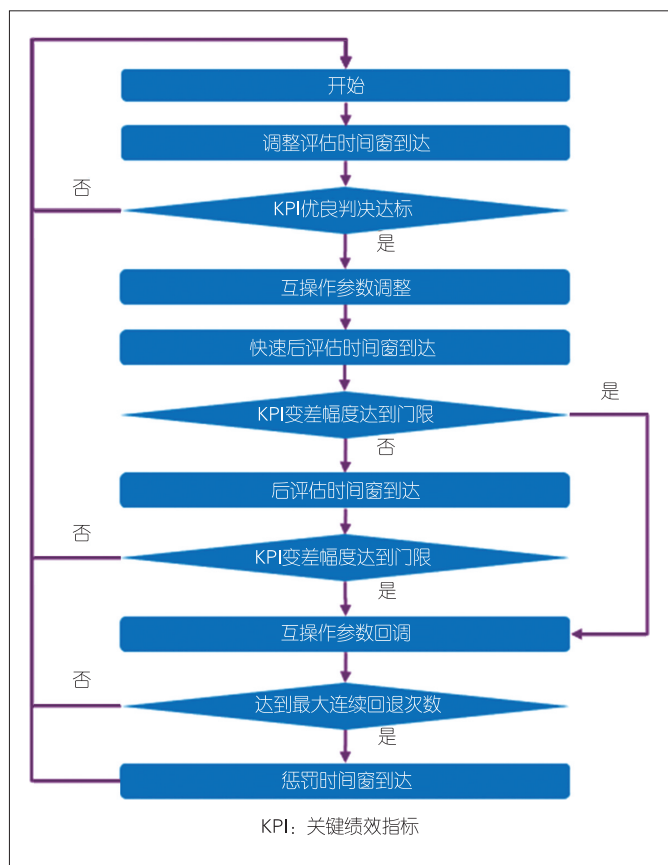
随着5G网络的逐渐成熟,运营商希望UE能够更多驻留在5G网络以提升用户体验。现网通常采用下调5G到4G互操作门限的方法来扩大5G小区的覆盖范围,提升5G驻留比。传统的人工调整难以做到一站一策,而一刀切的调整方式在不同站点和不同网络环境下,其效果可能存在巨大差异,从而难以保障较好的用户感知和网络性能指标。

基于对5G小区各项基础指标和用户感知指标的评估,在不影响网络性能指标前提下,自动调整5G到4G的互操作参数,如连接态A2事件门限和时间触发(TTT)、空闲态非同频小区重选起测门限,可使5G小区的覆盖范围和容量得到尽可能的扩大,网络服务能力上限得到提高,同时5G驻留比和分流比也将得到提升,如图7所示。

4 智能负载均衡

(1) 空分因子学习

在5G网络中,由于广泛引入大规模多输入多输出(MIMO)技术,在进行资源块(RB)利用率的统计时,我们需要借助空分因子 β 。空间复用能力的引入能够更加真实地体现资源的使用情况,有利于精细化计算上下行业务信道的资源利用率。PDSCH的物理资源块(PRB)利用率 = $\sum \text{UE} (\sum \text{流数} \times \text{RB}) / \text{小区 PDSCH 可用 RB 数} \times \beta_1$; PUSCH的PRB利用率 = $\sum \text{UE} (\sum \text{流数} \times \text{RB 数}) / \text{小区 PDSCH 可用 RB 数} \times$



▲图7 互操作参数自优化

β_2 。由于受到业务类型、干扰特性等因素的影响,不同小区在不同时间的实际空分能力存在差异,因此需要通过自动统计学习来实现 β 的更新优化。PDSCH的RB复用因子 $\beta_1 = \Sigma UE (\Sigma \text{流数} \times \text{RB数}) / \text{小区 PDSCH 可用 RB数}$; PUSCH的

RB复用因子 $\beta_2 = \Sigma UE (\Sigma \text{流数} \times \text{RB数}) / \text{小区 PUSCH 可用 RB数}$,如图8所示。

(2) 智能无线资源控制(RRC)容量因子学习

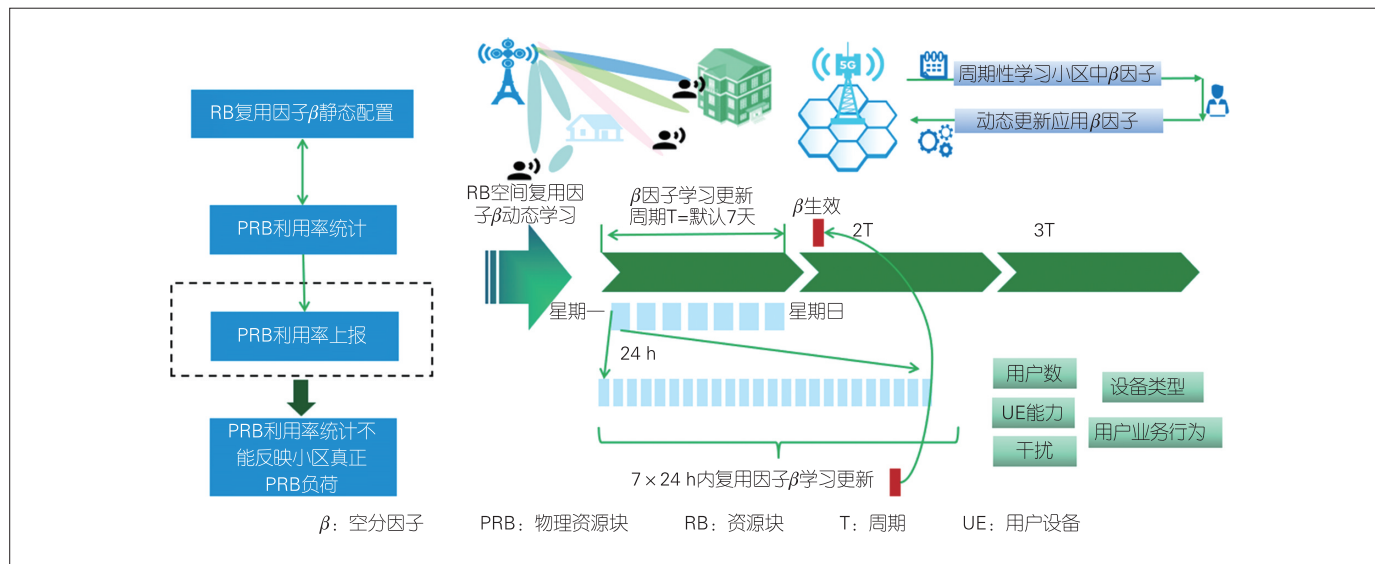
同样地,考虑到业务类型、用户分布、干扰特征、移动性特征等因素的影响,我们需要在计算RRC连接负荷时需要引入 e 因子,以便更加真实地反应RRC的连接容量,如图9所示。RRC连接负荷=在线用户数/(系统最大RRC连接数 $\times e$)。其中, e 可以根据图5的拐点用户数进行学习更新,且 $e = \text{拐点用户数} / \text{系统最大RRC连接数}$ 。

(3) 智能负载优化

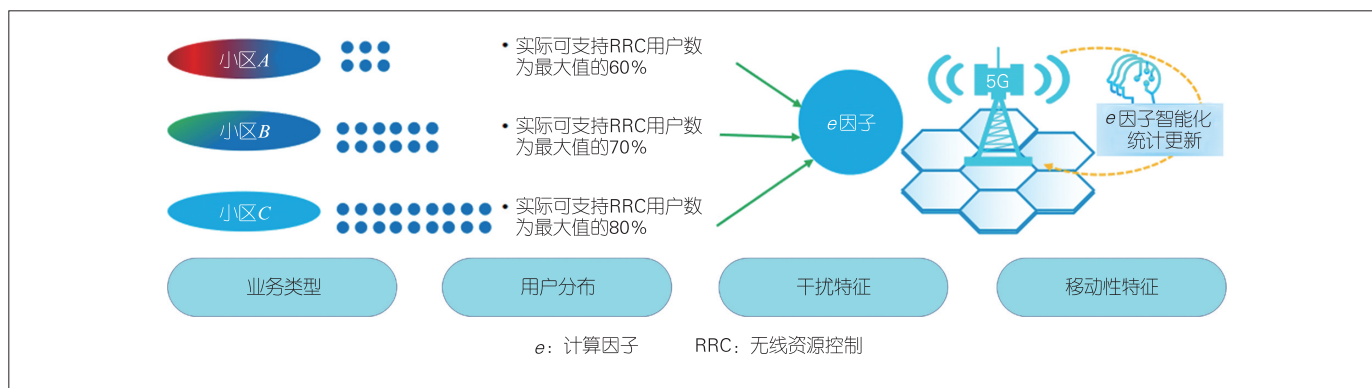
根据上述RB利用率、RRC负载以及流量压抑距离的学习和更新,主动式与被动式相结合的方式能够对不同频层间的负载进行智能优化。其中,主动式优化通过学习交叠区域用户分布对小区间的个性化切换偏置(CIO)进行优化(如图10所示),自动实现用户分布在不同频层/小区间的重组;当资源负载和流量压抑距离达到目标阈值时,被动式优化能够识别并优先挑选覆盖中远点资源效率较低的用户(规避由于各种原因刚切入本小区的用户),并根据本文2.2节所述原则将用户引导到能够满足用户体验需求且资源效率最高的目标频点和小区中。

5 结束语

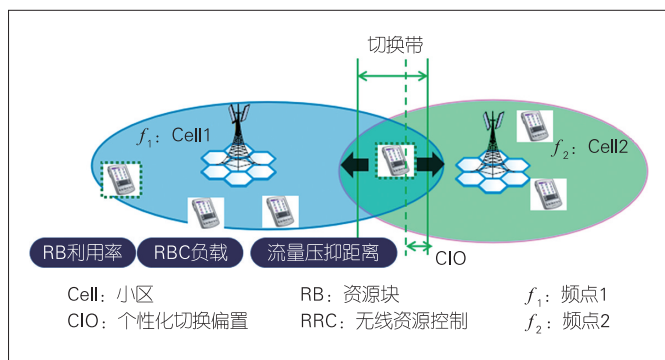
本文提出一种用户级智能与网络级智能相结合的新型双智协同机制,在网络发展不同阶段实现用户体验与网络效率及收益的双优,充分挖掘和释放5G网络价值,为面向6G的服务化网络演进奠定理念和技术基础。



▲图8 智能空分因子学习



▲图9 智能RRC容量因子学习



▲图10 智能个性化小区偏置学习

致谢

本研究得到中兴通讯股份有限公司王新台、詹勇、李群、张健健、郑玲霞、白炜、孙英、聂国涛、牛康、李建国等的帮助，谨致谢意！

参考文献

- [1] GSMA. The mobile economy 2022 [EB/OL]. [2022-06-16]. <https://www.gsma.com/gsmadeurope/resources/the-mobile-economy-2022/>
- [2] KASIM A N. A survey mobility management in 5G networks [EB/OL]. [2022-06-16]. <https://arxiv.org/abs/2006.15598>
- [3] LIN X Q. An overview of 5G advanced evolution in 3GPP release 18 [EB/OL]. [2022-06-16]. <https://arxiv.org/abs/2201.01358>
- [4] KUO P H, MOURAD A. User-centric multi-RATs coordination for 5G heterogeneous ultra-dense networks [J]. IEEE wireless communications, 2018, 25(1): 6-8. DOI: 10.1109/MWC.2018.8304382
- [5] MONSERRAT J F, ALEPUZ I, CABREJAS J, et al. Towards user-centric operation in 5G networks [J]. EURASIP journal on wireless communications and networking, 2016: 6. DOI: 10.1186/s13638-015-0506-z
- [6] ABDULZIZ M, MOHAMMED A, AHMAD R. An energy-efficient user-centric approach high-capacity 5G heterogeneous cellular networks [J]. International journal of advanced computer science and applications, 2018, 9 (1). DOI: 10.14569/ijacsa.2018.090155
- [7] SAAD W K, SHAYEA I, HAMZA B J, et al. Handover parameters optimisation techniques in 5G networks [J]. Sensors, 2021, 21(15): 5202. DOI: 10.3390/s21155202
- [8] STRINATI E C, BARBAROSSA S, CHOI T, et al. 6G in the sky: on-demand intelligence at the edge of 3D networks [J]. ETRI journal, 2022, 42(5): 643-657
- [9] 中国移动通信有限公司研究院. 6G无线内生AI架构与技术白皮书 [R]. 2022
- [10] SHAYEA I, ERGEN M, HADRI AZMI M, et al. Key challenges, drivers and solutions for mobility management in 5G networks: a survey [J]. IEEE access, 2020, 8: 172534-172552. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3023802
- [11] 张宏涛. 智能用户编排: 千变万化, 随您而变 [EB/OL]. [2022-06-16]. <https://www.zte.com.cn/china/about/magazine/zte-technologies/2021/9-cn/3/4.html>

作者简介



顾军, 中兴通讯股份有限公司RAN产品团队研发规划无线总工; 主要研究领域为无线资源管理、网络智能化及未来网络演进; 发表论文8篇, 申请专利20余项。



张宏涛, 中兴通讯股份有限公司RAN产品团队研发规划无线总工; 主要研究领域包括5G无线网络移动性和多层网协同等; 主持和参与创新性功能规划10余项, 申请专利4项。



顾健, 中兴通讯股份有限公司网络技术研发中心无线网优总工; 主要研究领域为5G无线网络优化和组网创新; 主持和参与重点5G优化研究和创新项目10余项, 多次获得中兴通讯创新竞争超越奖。