

# 基于数字化运营的 5G 效能提升研究

## Research on Efficiency 5G Improvement Based on Digital Operation

何明<sup>1</sup>,许建新<sup>2</sup>,袁鹏<sup>2</sup>,韩纬禧<sup>1</sup>(1. 中国联通广东分公司,广东 广州 510627;2. 中讯邮电咨询设计院有限公司广东分公司,广东 广州 510627)

He Ming<sup>1</sup>,Xu Jianxin<sup>2</sup>,Yuan Peng<sup>2</sup>,Han Weixi<sup>1</sup>(1. China Unicom Guangdong Branch,Guangzhou 510627,China;2. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co.,Ltd. Guangdong Branch,Guangzhou 510627,China)

### 摘要:

5G网络已初具规模,但5G流量占比仍较低。在数字化运营的背景下,如何提升5G网络效能和通过5G分流解决4G负荷是当前的重要课题。落实数字化运营要求,通过O+B联合分析,从终端、网络 and 用户等维度剖析影响5G终端渗透率、终端登网率和流量驻留比的原因,并提出对应的提升举措,实现5G网络感知和效能双提升。

### 关键词:

5G;效能;渗透率;登网率;流量驻留比

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2023.03.010

文章编号:1007-3043(2023)03-0051-07

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:

5G network has began to take shape, but the ratio of 5G traffic is still low. In the context of digital operation, how to improve the efficiency of 5G network and solve the high load of 4G through migrating traffic to 5G network are currently important issues. According to the requirements of digital operation, through O+B joint analysis, it analyzes the reasons that affect 5G terminal penetration, terminal login rate and traffic residence ratio from the dimensions of terminal, network and user, and puts forward corresponding improvement measures to realize the improvement of 5G network awareness and efficiency.

### Keywords:

5G; Efficiency; Penetration rate; Network login rate; Traffic residing ratio

**引用格式:**何明,许建新,袁鹏,等. 基于数字化运营的5G效能提升研究[J]. 邮电设计技术,2023(3): 51-57.

## 1 概述

### 1.1 5G网络已具规模但利用率较低

自2019年5G牌照发放后,经过几年的大力建设,中国联通5G网络覆盖快速提升。但当前5G利用率较低,以某省为例,2021年3月5G平均每小区日流量仅为4G的1/3,PRB利用率为5.2%,全网5G总流量占4G/5G总流量的6.6%。

### 1.2 4G负荷高

随着移动网络向5G演进,网络投资向5G倾斜,

4G容量投资受到严控。但截至2021年第1季度,4G流量仍保持缓慢增长势头,4G网络处于高负荷运行,4G PRB利用率为40%,高负荷低感知小区占全网3%。

### 1.3 数字化运营赋能

在数字化转型的背景下,充分运用O+B联合大数据分析能力(见图1),实现5G效能提升,并通过4G/5G容量协同降低4G高负荷,提升用户感知,实现网络效能最大化。

## 2 5G效能提升分析框架

### 2.1 5G流量占比提升分析框架

提升5G流量占比是提升5G网络效能的重要抓

收稿日期:2023-01-18

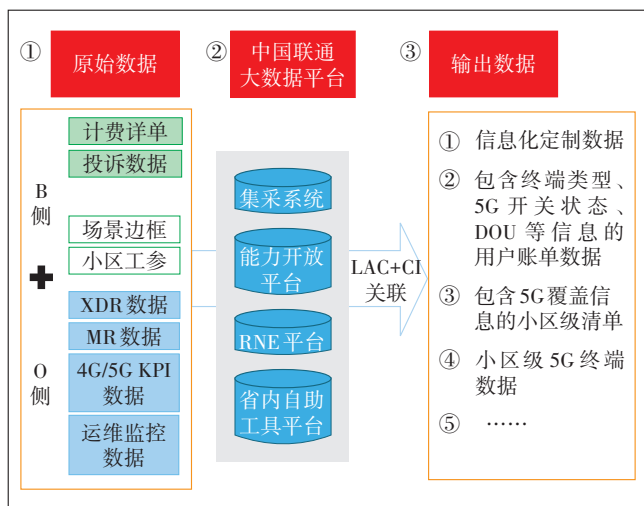


图1 无线网大数据分析赋能

手。通过解构5G流量占比因子,进一步分解提升5G流量占比的具体工作。解构后5G流量占比计算公式如式(1)所示。

$$R_{5G} = \frac{D_{5G}}{D_{all}} = \frac{N_{user} \times P_{5G} \times L_{5G} \times DOU_{5Guser} \times R_{5Gresid}}{N_{user} \times DOU_{user}} = \frac{P_{5G} \times L_{5G} \times R_{5Gresid} \times P_{DOU}}{1} \quad (1)$$

式中:

$D_{5G}$ 、 $D_{all}$ ——5G流量、所有流量

$P_{5G}$ ——5G终端渗透率,5G终端占移动网终端的比例

$L_{5G}$ ——5G终端登网率,当月登录过5G网络的5G终端占5G终端的比例

$R_{5Gresid}$ ——5G流量驻留比,登录过5G网络的终端在5G网络产生的流量占4G/5G流量的比例

$DOU_{5Guser}$ ——5G登网用户DOU

$DOU_{user}$ ——移动网用户DOU

$P_{DOU}$ ——5G登网用户平均每月上网流量(DOU)系数,5G登网用户DOU与移动网用户DOU之比

## 2.2 4G/5G容量协同解决4G高负荷

面向5G演进,通过4G/5G容量协同为4G网络减负,通过解构4G负荷因子,找到降低4G负荷的抓手,4G负荷解构后的计算公式如图2所示。

面向未来网络演进,通过提升5G终端渗透率、5G终端登网率和5G流量驻留比等,充分发挥5G分流效果,降低4G网络负荷。

## 2.3 小结

提升5G效能是解决当前5G效能低和4G负荷高两大问题的关键,本文将围绕5G效能提升的相关因子

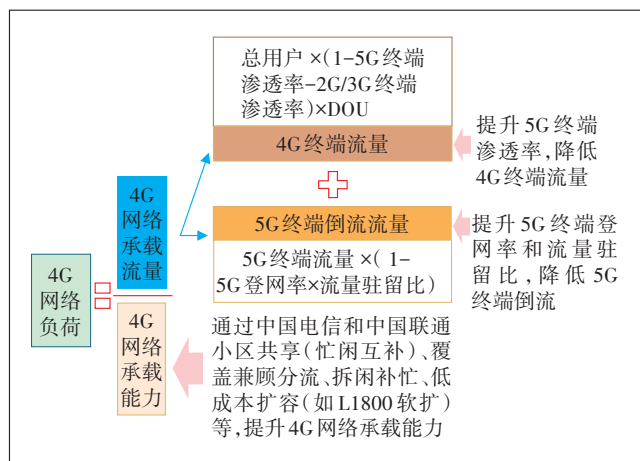


图2 4G负荷解构图

展开原因剖析,并提出建议。

## 3 5G效能提升举措

从5G终端渗透率、5G终端登网率、5G流量驻留比、5G登网用户DOU系数4个方面分析原因,并提出提升5G效能的举措。

### 3.1 提升5G终端渗透率

#### 3.1.1 5G终端渗透率现状

如图3所示,2021年3月,按中国联通网络终端类型口径统计,某省联通的5G终端用户达到409万,占比15%,同比提升14%,低比5G套餐用户占比低12%,5G终端渗透率仍具有较大提升空间。

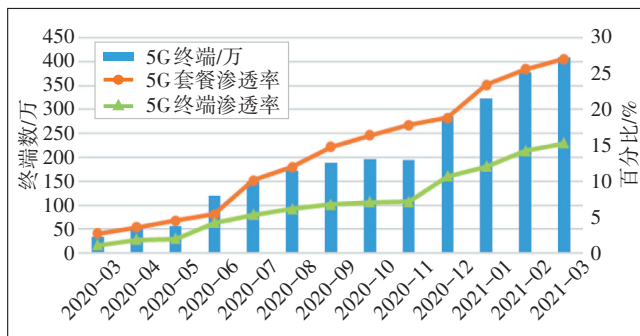


图3 某省5G终端发展趋势图

#### 3.1.2 5G终端画像

如图4所示,随着终端价格的下降,5G终端更换逐步普及到普通用户,用户更换终端后高ARPU值和高DOU用户占比略有增加。

迁转后MOU与用户套餐占比基本保持不变:迁转后MOU集中在25min以下(占比44%)、用户使用“腾讯大王卡”套餐最多(占比28%)。

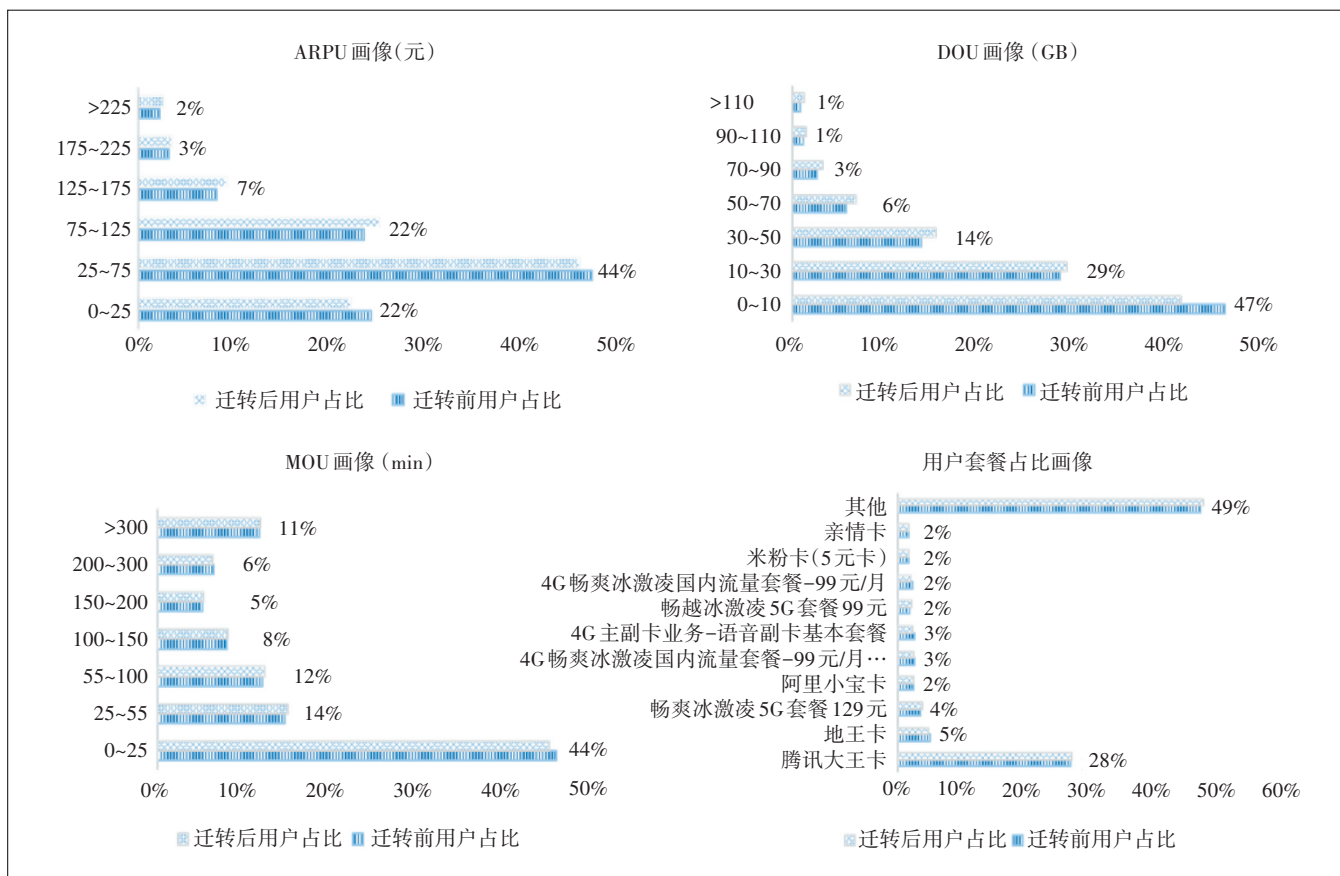


图4 5G终端用户画像

迁转后 ARPU 与 DOU 略有提升:迁转后 ARPU 提升主要集中在 75~175 元(占比 31%),DOU 提升集中在 30~70 GB(占比 22%)。

### 3.1.3 引导 4G 终端换机

通过 O+B 联合分析,获取用户常驻地址已实现 5G 覆盖的 4G 终端用户名单,然后通过短信推送引导用户换机。同时,针对 5G 终端用户 DOU 和 ARPU 值更高的特点,锚定 ARPU 值高、DOU 超高的 4G 终端用户,推出合适的合约机优惠套餐(ARPU 值提升与营销成本抵消),定向引导用户换机。

## 3.2 提升 5G 终端登网率

### 3.2.1 5G 终端登网率现状和分析维度

以某省为例,2021 年 3 月 5G 登网率为 57.4%,比年初制定的登网率目标低 17 个百分点。从用户、网络、终端匹配等维度,通过 O+B 联合分析定位影响 5G 终端用户登网的原因,并提出针对性的提升举措(见图 5)。

### 3.2.2 5G 终端登网率低的原因分析和提升举措

#### 3.2.2.1 网业协同推动 5G 普及,降低 5G 开关关闭比例

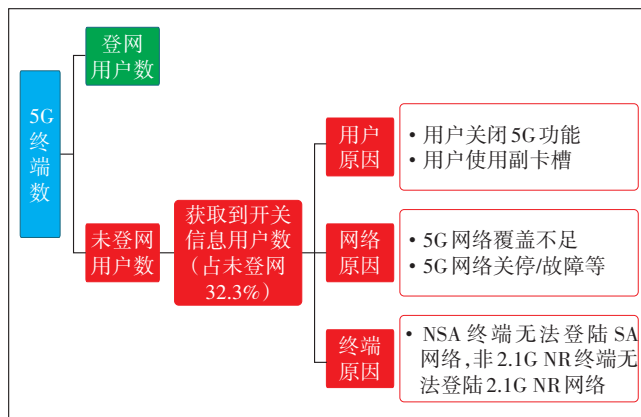


图5 5G终端登网率分析框架

通过某省内自助工具平台获取数据分析,发现未登网用户中有 73% 的用户 5G 开关关闭。根据某市客服部调研,100 位用户不登网原因为资费原因(33%)、5G 网络覆盖不完善原因(29%)、4G 网速够用(12%)、不会打开 5G 开关(10%)、耗电(8%)、其他(8%)。

用户关闭 5G 功能是影响 5G 终端登网率的首要原因,可通过网业协同等多手段推动 5G 终端用户使用

5G。

a) 加强5G业务宣传力度,消除用户的速率高费流量的顾虑。

b) 通过市场多渠道向用户推送5G开关开启指引。

c) 联合终端厂家优化终端节电性能,推动终端关闭基于功耗的5G抑制功能。通过智能预调度、智能功控、BWP自适应、DRX等功能,降低5G终端功耗。

d) 加强网络优化,提升网络感知。

### 3.2.2.2 引导用户使用主卡槽

目前支持双卡的5G终端只有主卡可以登陆5G,副卡槽用户一般使用流量相对较少,按DOU<30 MB统计,某省2021年3月未登网5G终端中研判为副卡槽用户的比例为5.1%。针对这种情况,可向市场部推送副卡槽用户清单,由市场部通过加强营销,引导5G终端用户将中国联通卡设置为主卡。

### 3.2.2.3 完善终端聚集区的网络覆盖

对5G开关打开的5G未登网用户进行O+B联合分析,如果用户的工作地、常住地小区按场景覆盖距离(市区100 m、县城200 m、乡镇300 m、农村500 m)判断无5G开通小区,则初步判定用户无网络覆盖。某省全网打开5G功能开关的用户中因无5G网络覆盖导致未登网用户占比为5.0%。

从承建区来看,无覆盖导致用户未登网的情况集中在共享区,占比达81%;主要原因为共享区5G站点与中国联通4G站点共址率略低,导致部分区域5G网络覆盖与共享方5G终端用户分布的匹配度略低。

表1给出了某省5G未覆盖用户分布统计。

表1 某省5G未覆盖用户分布统计表

| 区域  | 3.5 GHz NR已部署区域/% | 外围区域/% | 合计/% |
|-----|-------------------|--------|------|
| 承建区 | 9                 | 10     | 19   |
| 共享区 | 26                | 55     | 81   |
| 合计  | 35                | 65     | 100  |

从场景来看,无覆盖导致用户未登网的情况集中在一般乡镇、农村等外围区域,占比达65%;主要原因为外网区域5G网络覆盖率仍较低(见图6)。

因此,需要持续完善5G网络。加大困难站点的攻坚,使3.5 GHz NR部署区域实现连续覆盖;加强与中国电信合作,充分发挥共建共享红利,通过2.1 GHz NR扩大外围5G覆盖,优先完成5G终端聚集区域的站点建设。

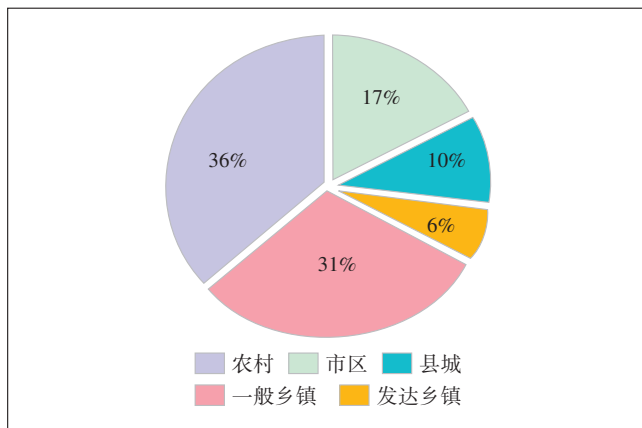


图6 无5G覆盖的未登网用户场景分布图

此外,需进一步加强联合规划。以中国电信和中国联通5G终端用户为主要参照,优选双方最优的站址建设5G,提升中国联通4G/5G共址率。

### 3.2.2.4 加快2.1 GHz/SA终端升级适配

对5G开关打开的5G未登网用户进行统计,如果用户的工作地、常住地小区按场景标准(市区100 m、县城200 m、乡镇300 m、农村500 m)判断仅有5G纯SA或2.1 GHz NR小区,则初步判定为端网不匹配造成用户未登网。对某省用户进行分析后,发现终端不支持2.1 GHz NR或终端软件未升级至SA无法登录纯SA网络的用户占2.0%。

从承建区来看,端网不匹配用户主要分布在共享区,占比达到98%;主要由于一些历史客观因素使得部分区域4G/5G异厂家而暂不部署NSA网络,其中有2个地(市)纯SA网络占比较大,导致纯NSA终端无法登网。

因此需推动SA和2.1 GHz NR终端软件版本升级,提升5G终端对SA和2.1 GHz NR软件的支持率。

### 3.2.3 小结

影响5G终端登网的首要因素是用户关闭5G功能,其次是网络覆盖。建议网业协同推动5G网络完善和培养用户使用5G的习惯。

## 3.3 提升5G流量驻留比

### 3.3.1 5G流量驻留比现状和分析维度

2021年3月,某省5G流量驻留比为35.9%,同比提升16.6%,环比提升11.6%。从终端、网络、用户等维度,通过O+B联合分析定位影响5G终端用户驻留比低的原因,并针对性地提出提升举措(见图7)。

### 3.3.2 5G流量驻留比原因分析和提升举措

#### 3.3.2.1 提高5G终端SA软件支持率



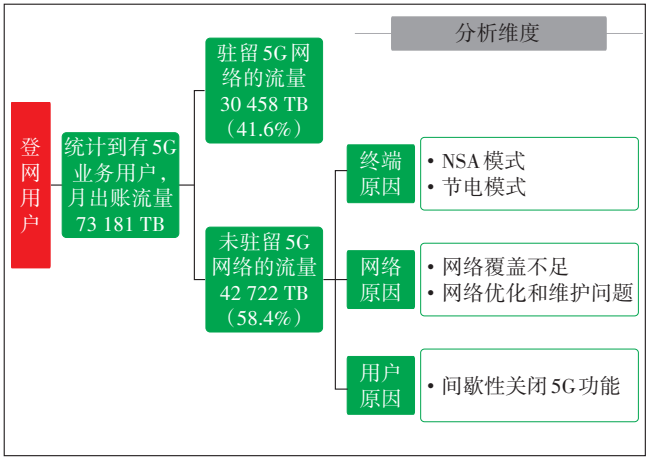


图7 5G流量驻留比分析框架

根据某省2021年3月的数据统计,SA登网用户的

流量驻留比为44.2%,比NSA登网用户高11.6%。通过跟踪发现,NSA模式下,数据业务先登4G锚点,4G网基于业务流的大小设置预留缓存资源,结合可调度资源,统计需求时延,判定是否在5G承载。如表2所示,NSA模式下小包业务承载在4G上,对流量驻留比影响较大。

针对这种情况,可推动终端厂家加快SA默开版本推送,减少4G承载;升级SA后终端支持2T发送,还可以提升上行覆盖,带来额外增益。

### 3.3.2.2 推动终端厂家优化终端能力

终端厂家为保障终端性能,对终端设定保护机制,包括省电模式下会自动回退4G,温度过高会关闭5G控制整机耗电(见表3)。

针对这种情况,可联合终端厂家优化终端省电性

表2 NSA模式下启用5G情况跟踪统计表

| 参数设置                           | ①微信收/发送文字消息<br>(20 B、40 B) | ②微信收/发送表情消息          | ③微信收/发送文字图、消息(128 KB、500 KB、1 MB)  | ④微信收/发送小视频消息<br>(2 MB、5 MB) | ⑤手机进行抖音视频播放           | ⑥手机进行网页视频(播放网<br>址bilibili) | ⑦手机观看直播(斗<br>鱼、虎牙) |
|--------------------------------|----------------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------|
| ①RLC缓存门限:50 KB<br>首包时延门限:10 ms | 20 B:未添加<br>40 B:未添加       | 1个表情:未添加<br>5个表情:未添加 | 128 KB:未添加;500 KB:<br>未添加;1 MB:未添加 | 2 MB:未添加<br>5 MB:未添加        | 正常播放:未添加<br>快速刷视频:未添加 | 已添加                         | 已添加                |
| ②RLC缓存门限:35 KB<br>首包时延门限:10 ms | 20 B:未添加<br>40 B:未添加       | 1个表情:未添加<br>5个表情:未添加 | 128 KB:未添加;500 KB:<br>未添加;1 MB:未添加 | 2 MB:未添加<br>5 MB:未添加        | 正常播放:已添加<br>快速刷视频:已添加 | 已添加                         | 已添加                |
| ③RLC缓存门限:20 KB<br>首包时延门限:10 ms | 20 B:未添加<br>40 B:未添加       | 1个表情:未添加<br>5个表情:未添加 | 128 KB:未添加;500 KB:<br>未添加;1 MB:未添加 | 2 MB:未添加<br>5 MB:未添加        | 正常播放:已添加<br>快速刷视频:已添加 | 已添加                         | 已添加                |
| ④RLC缓存门限:50 KB<br>首包时延门限:5 ms  | 20 B:未添加<br>40 B:未添加       | 1个表情:未添加<br>5个表情:未添加 | 128 KB:未添加;500 KB:<br>未添加;1 MB:未添加 | 2 MB:未添加<br>5 MB:未添加        | 正常播放:已添加<br>快速刷视频:已添加 | 已添加                         | 已添加                |
| ⑤RLC缓存门限:35 KB<br>首包时延门限:5 ms  | 20 B:未添加<br>40 B:未添加       | 1个表情:未添加<br>5个表情:未添加 | 128 KB:未添加;500 KB:<br>未添加;1 MB:未添加 | 2 MB:未添加<br>5 MB:未添加        | 正常播放:已添加<br>快速刷视频:已添加 | 已添加                         | 已添加                |
| ⑥RLC缓存门限:20 KB<br>首包时延门限:5 ms  | 20 B:未添加<br>40 B:未添加       | 1个表情:未添加<br>5个表情:未添加 | 128 KB:未添加;500 KB:<br>未添加;1 MB:未添加 | 2 MB:未添加<br>5 MB:未添加        | 正常播放:已添加<br>快速刷视频:已添加 | 已添加                         | 已添加                |
| ⑦RLC缓存门限:5 KB<br>首包时延门限:1 ms   | 20 B:未添加<br>40 B:未添加       | 1个表情:未添加<br>5个表情:未添加 | 128 KB:未添加;500 KB:<br>未添加;1 MB:未添加 | 2 MB:未添加<br>5 MB:未添加        | 正常播放:已添加<br>快速刷视频:已添加 | 已添加                         | 已添加                |
| ⑧RLC缓存门限:1 KB<br>首包时延门限:1 ms   | 20 B:未添加<br>40 B:未添加       | 1个表情:未添加<br>5个表情:未添加 | 128 KB:未添加;500 KB:<br>未添加;1 MB:未添加 | 2 MB:未添加<br>5 MB:未添加        | 正常播放:已添加<br>快速刷视频:已添加 | 已添加                         | 已添加                |
| ⑨RLC缓存门限:0 KB<br>首包时延门限:0 ms   | 20 B:未添加<br>40 B:未添加       | 1个表情:未添加<br>5个表情:未添加 | 128 KB:已添加;500 KB:<br>已添加;1 MB:已添加 | 2 MB:已添加<br>5 MB:已添加        | 正常播放:已添加<br>快速刷视频:已添加 | 已添加                         | 已添加                |

表3 某些终端保护机制统计

| 终端类型                                                       | 维度       | 当前机制                                |
|------------------------------------------------------------|----------|-------------------------------------|
| Mate系列、iPhone系列、Vi-<br>VOiQOO5G等、荣耀30等、<br>小米K30等、OPPOA96等 | 省电       | 开启省电模式后终端限制进入<br>5G                 |
| 三星S系列<br>Mate系列                                            | 过温<br>保护 | 手机使用过热,温度接近安规门<br>限(43~45℃)时会主动释放5G |

能,推动终端关闭基于功耗的5G抑制功能。通过智能预调度、智能功控、BWP自适应、DRX等功能,降低5G终端功耗。合理配置SCG业务缓存门限及UE不活动定时器,控制SCG添加和释放功能,以实现终端节能

与用户体验平衡。在某地(市)进行试验后发现,添加SCG业务量缓存时延门限设置为10 ms,SCG业务量缓存长度门限设置为256 kB时,可实现终端节能与用户体验平衡。以华为Mate20终端为例,可以节电90%。

### 3.3.2.3 完善网络覆盖

与4G相比,当前5G网络覆盖仍存在不足,由于无5G网络覆盖导致用户倒流4G,从而影响流量驻留比。下面从区域角度和室内外角度分析5G网络覆盖存在的问题。

一是3.5 GHz部署区域存在覆盖空洞。截至2021

年2月底,某省联通3.5 GHz部署区域仍有较多4G站未开通5G,其中室外站址5G/4G占比(开通在网口径)仅为68%,导致5G浅层覆盖不连续(存在空洞),引起37.5%的流量倒流。

二是3.5 GHz部署区域深度覆盖不足。根据链路预算,3.5 GHz的覆盖半径约为1.8 GHz的80%(面积约为65%),3.5 GHz覆盖能力弱于1.8 GHz,导致5G网络深度覆盖不足,引起36.9%的流量倒流。

三是2.1 GHz部署区域5G网络覆盖率较低。截至2021年3月底,某省联通2.1 GHz部署区域室外站5G/4G占比仅为29%,外围5G覆盖率较低,导致5G终端无法驻留在5G网络,引起13.1%的流量倒流。

四是室分楼宇5G覆盖率仍较低。截至2021年3月底,某省有5G终端的4G小区仅有10%建设5G室分,大部分4G室分未覆盖5G,引起13%的流量倒流。

针对上述情况,可加快3.5 GHz部署区域的困难站点攻坚,通过名单制管理严控变更,实现网络浅层连续覆盖。结合MR、网管话统、投诉等多维度准确定位覆盖问题,有针对性地进行深度覆盖建设和网络优化。通过2.1 GHz NR建设提升边缘覆盖和上行覆盖;利用Massive MIMO+波束赋型,基于不同场景覆盖特点完成场景化波束优化;开展端网协同优化,配置合理的终端最大上行发射功率,满足接入及覆盖要求。围绕5G终端用户聚集站点(区域)和5G终端业务次数聚集站点(区域)拓展外围覆盖。此外,应同步加大5G室分建设力度,完成5G终端业务次数聚集站点的建设。

#### 3.3.2.4 加强优化和维护力度

优化方面主要影响因素是4G/5G互操作门限,与4G相比,当前5G网络覆盖仍有差距,为保障SA终端体验,NR终端从4G重选到5G和从5G切换到4G的电平设置较高,NR终端在边缘时驻留在4G的概率增加。

维护方面主要影响因素包括故障断站和节能关站。据统计,某省小区在服率约为90%,对网络覆盖能力造成一定影响。为了节约5G能耗,在01:00—06:00对低业务的小区采取智能关站策略,一周的统计数据显示,某地(市)智能关站时间段的5G流量占比比其他时间段低2.5%,智能关站对流量驻留造成一定影响。

针对这种情况,中国电信和中国联通应联合加强系统优化,提升5G流量驻留比。一方面优化4G/5G互操作策略,如图8所示,NR终端移动性策略下探;另一

方面通过版本升级及新功能应用提升5G网络性能。

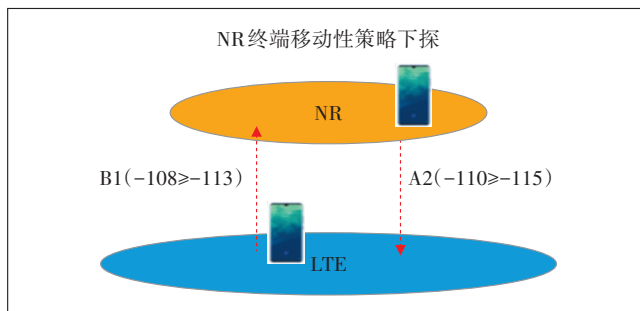


图8 4G/5G互操作优化示意图

以提升AAU在服率为抓手,通过加强基站监控,及时完成故障恢复,同时提升网络健壮性,减少故障高发站点,从而提高5G网络生产供给能力。

#### 3.3.2.5 网业协同培养用户的5G使用习惯

通过大数据分析,对某省用户关闭5G功能情况进行跟踪分析,日锁网(关闭5G开关)用户占比高达47.5%,远高于24.5%的月锁网比例。

针对这种情况,终端、网络、业务部门应协同培养用户使用5G的习惯。优化终端性能,使用户的5G终端能力时时在线;完善网络体验,使用户处处有5G网络可用;完善业务体验,使用户愿意使用5G。

### 3.4 提升5G登网用户DOU系数

#### 3.4.1 提升5G机套比

如图9所示,通过大数据分析,5G机套一致(持有5G终端使用5G套餐)用户的DOU更高,提升5G机套比[5G终端5G套餐用户/(5G套餐5G终端用户+5G套餐4G终端用户)]可以提升5G登网用户的DOU系数。

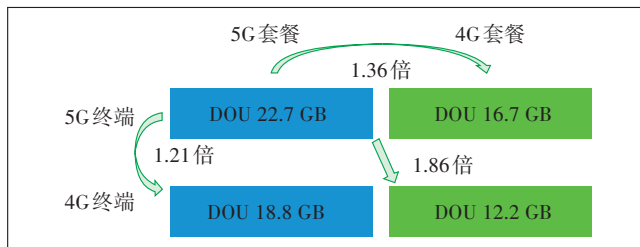


图9 DOU对比图

#### 3.4.2 推动超高DOU用户迁转5G

通过大数据分析,某省超高DOU用户以14%的用户消耗了56%流量。通过迁转超高DOU用户使用5G,可以极大地提升5G登网用户的DOU系数。通过测算,某省现网超高DOU用户若全部5G化后,5G登网用户DOU系数可提升50%,5G流量占比可提升15.7%。

3.5 小结

终端、网络、业务协同,依托数字化运营能力,在全方面分析定位问题的基础上,以问题清单为抓手(见表4),推进5G效能提升和4G负荷下降,提高4G/5G用户满意度。

表4 重点工作清单列表

| 序号 | 分类 | 重点工作清单             |
|----|----|--------------------|
| 1  | 网络 | 5G终端及业务聚集TOP N小区清单 |
| 2  |    | 超高DOU用户聚集小区清单      |
| 3  |    | 5G终端倒流次数TOP N小区清单  |
| 4  | 市场 | 5G锁网用户清单           |
| 5  |    | 未升级SA的TOP N终端类型清单  |
| 6  |    | 超高DOU的4G终端用户清单     |

4 5G效能提升效果

以某省为例,网业协同,经过几个月的数字化运营实践,各项工作指标持续改善(见图10)。

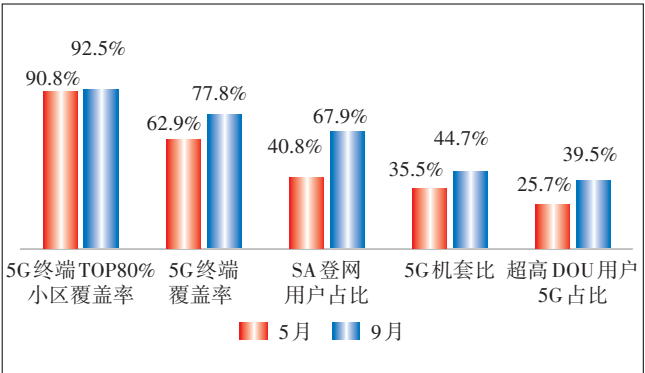


图10 工作指标改善统计图

5G流量占比各因子指标均取得改善,推动5G效能持续改善。截至2021年9月底,5G流量占比达到15.9%,比2021年5月提升5.7%。同时,4G负荷也得到缓解,截至2021年9月底,某省4G高负荷低感知小区占比下降至0.9%,比2021年5月下降0.9%(见表5)。

5 总结和展望

本文从提升5G终端渗透率、5G登网率、5G流量驻留比、5G DOU系数等方面提出针对性的提升举措,为推动5G效能提升具有重要意义。

面向未来网络演进,5G效能提升既是提升5G投资效益的重要举措,又是改善4G高负荷问题的重要手段。通过提升5G效能,有望实现投资效益和用户感知

表5 5G效能提升效果统计表

| 指标             | 2021年5月 | 2021年9月 |
|----------------|---------|---------|
| 5G终端渗透率/%      | 17.0    | 26.3    |
| 5G登网率/%        | 70.6    | 73.9    |
| 5G驻留比/%        | 41.3    | 49.4    |
| 5G登网用户DOU系数    | 1.87    | 1.90    |
| 5G流量占比/%       | 10.2    | 15.9    |
| 4G高负荷地感知小区占比/% | 1.8     | 0.9     |

双提升的目标。

参考文献:

[1] 朱国滨. 大数据分析在移动通信网络优化中的应用研究[J]. 科技创新与应用, 2019(3): 96-97.

[2] 蔡森, 沈俊良. 面向5G的移动网络用户感知大数据分析体系研究[J]. 中国新通信, 2019, 21(8): 34.

[3] 李治国. 面向5G的移网用户感知大数据分析体系研究[C]//面向5G的LTE网络创新研讨会(2016)论文集. 北京: 移动通信杂志社, 2016: 111-115.

[4] 彭丽恩. 基于网络大数据的4G用户投诉精准定位模型[J]. 电信工程技术与标准化, 2019, 32(8): 58-63.

[5] 董慧, 盛凌志. 基于用户感知的移动网络优化体系及关键技术[J]. 电信工程技术与标准化, 2011(11): 1-4.

[6] 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.

[7] 赵志明. 大数据给5G通信行业带来的挑战[J]. 数字化用户, 2018, 24(34): 12.

[8] 刘毅, 刘珂, 孔建坤. 基于大数据挖掘的LTE网络规划研究[J]. 通信技术, 2015, 48(2): 194-198.

[9] 谭仕勇, 倪慧, 张万强, 等. 5G标准之网络架构: 构建万物互联的智能世界[M]. 北京: 电子工业出版社, 2020.

[10] 张传福, 赵燕, 于新雁, 等. 5G移动通信网络规划与设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2020.

[11] 孙松林. 5G时代: 经济增长新引擎[M]. 北京: 中信出版社, 2019.

[12] 达尔曼, 巴克浮, 舍尔德. 5G NR标准: 下一代无线通信技术[M]. 朱怀松, 王剑, 刘阳, 译. 北京: 机械工业出版社, 2019.

[13] 张建国, 杨东来, 徐恩, 等. 5G NR物理层规划与设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2020.

[14] 张传福, 赵立英, 张宇. 5G移动通信系统及关键技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2018.

[15] 李含华, 张国光, 黎越. NSA场景下切换成功率提升研究[J]. 邮电设计技术, 2021(3): 50-54.

作者简介:

何明, 高级工程师, 硕士, 主要从事无线网规划和建设工作; 许建新, 高级工程师, 学士, 主要从事无线网规划和设计工作; 袁鹏, 教授级高级工程师, 学士, 主要从事网络规划和设计工作; 韩伟禧, 助理工程师, 硕士, 主要从事无线网规划和建设工作。