

提升 5G 用户边缘速率感知的研究

冀金英

(中国移动通信集团河北有限公司雄安新区分公司, 河北 雄安新区 071000)

【摘要】5G 网络商用至今, 网络覆盖建设实现从城市向农村延伸, 基于 5G 网络的直播、高清回传、“云会议”等多种应用广泛普及, 5G 网络流量得到快速激发, 多种端对端的需求对 5G 网络速率的要求也越来越高, 城区高层建筑、农村边远海岛等网络边缘地带, 由于覆盖差异及干扰等原因用户可能体验不到 5G 网络的极致速率, 为给用户提供更高性能体验, 需要基于客户感知对 5G 边缘速率进行研究, 分析现网影响 5G 边缘速率的因素, 总结 5G 网络速率提升有效的优化方法, 为提升端到端客户感知打下良好基础。

【关键词】边缘感知速率; 载波聚合; 重叠覆盖; 功控参数

一、研究背景

目前, 我国的 5G 建设仍处于高速发展期: 截至 2022 年底, 累计建成并开通 5G 基站 231.2 万个, 比 2021 年底增加 88.7 万个; 5G 网络覆盖范围从城市向乡镇和农村延伸, 实现了“县县通 5G”; 5G 个人用户规模持续扩大, 5G 移动电话用户达 5.61 亿户, 占移动电话用户比例达 33.3%。5G 已经成为影响人们日常通信行为的主要因素。

5G 的三大类应用场景, 即增强移动宽带、超高可靠低时延通信和海量机器类通信。增强移动宽带主要面向移动互联网流量爆炸式增长, 为移动互联网用户提供更加极致应用体验; 超高可靠低时延通信主要面向工业控制、远程医疗、自动驾驶等对时延和可靠性具有极高要求的垂直行业应用需求; 海量机器类通信主要面向智慧城市、智能家居、环境监测等以传感和数据采集为目标的应用需求。

由于 5G 频段较高, 穿透损耗高, 高层住宅用户在依赖宏站覆盖的情况下, 5G 深度覆盖不足, 存在边缘用户体验速率低的现象。为了保障边缘用户感知, 需深挖网络潜力, 提升弱覆盖情况下的边缘速率。

二、提升方案

(一) 边缘用户体验速率探究

边缘用户问题聚类探究: 对比各区域, 问题区域聚类上行边缘用户占比高、体验差问题比较突出, 三个抽样片区上行覆盖边缘用户占比均值 8.63%, 是县城区域的 1.9 倍, 同时问题区域上行边缘用户

速率只有 0.16 ~ 0.24Mbps, 仅为县城区域速率的 46%。

(二) 边缘用户体验速率影响因素

重叠覆盖的影响: 根据 MR 采样数据分析, 雄安三大安置区重叠覆盖率比较高, 分别是 18.40%、16.87%、19.14%, 远高于县城及全网水平, 接近影响性能的拐点。由于安置区的站点建设在顶层, 站址比其它区域的平均站高高 6 ~ 11 米, 且站间距小, 容易造成重叠覆盖问题, 同时天线仓内天馈调整空间小, 也是造成重叠覆盖率高另一原因。整体重叠率高, 已经不是单点问题, 需要从面及点进行优化。

功能参数的影响: NR 上行支持 CP-OFDM 和 DFT-S-OFDM 两种波形。CP-OFDM 的优点是可以使用不连续的频域资源, 资源分配灵活, 频率分集增益大; 其缺点是 PAPR 峰值平均功率比较高。DFT-S-OFDM 则刚好相反, 优点是 PAPR 低, PAPR 水平可以接近单载波, 可以发射更高的功率; 其缺点是对频域资源有约束, 只能使用连续的频域资源。通过上行调度的上行波形自适应功能, 一般情况下用户选择 CP-OFDM, 在弱覆盖场景, 上行波形自适应切换至 DFT-S-OFDM, 可提升处于小区边缘的单用户的吞吐率。终端和基站的上行功控: 5G 上行功率控制是针对每个 UE 的不同信道分别进行调整的, 不同信道的算法略有不同。5G 上行功率控制涵盖了上行的所有的信道及探测参考信号。与 4G 类似, 5G 的上行

功率控制包括开环功率控制和闭环功率控制两种。顾名思义，开环功率控制是指在功率控制过程中，基站没有任何的反馈，所有的控制由 UE 自行完成；而在闭环功率控制场景下，基站需要下发相应的功率控制命令指示 UE 改变上行功率。

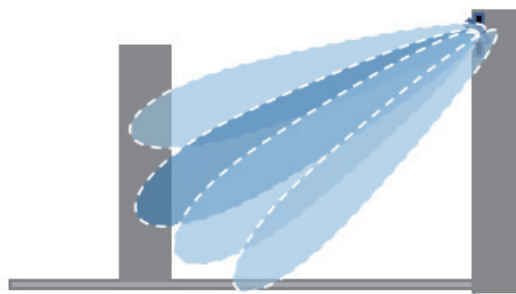
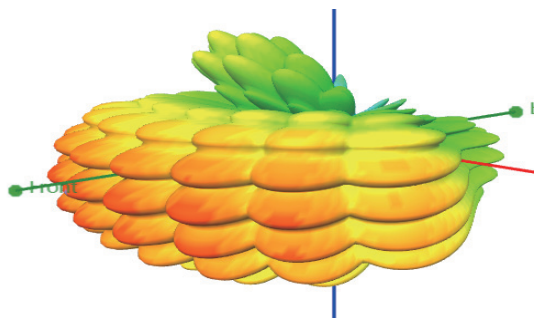
高负荷站点影响：设定客户群体占比为 60% 及 40%，抽取 4 个样本，设定不同载频数量配比，测试记录观测不同载波配比下 4G 上下行体验速率与载波配置、客户群体的关系。通过实验观察可知，客户受众为 60% 高负荷时，上下行体验速率与载波资源配比呈正相关关系，即载波资源配置越高，边缘感知速率越高。受众为 40% 的感知速率高于受众 60% 感知速率，客户负荷越低边缘感知速率越高。观察另一维度 60% 受众日流量高于 40% 受众日流量，可知感知速率不影响最终流量激发，受众越多最终流量激发越高。

（三）边缘用户体验速率提升方案

1. SSB 重叠覆盖优化提升

对于具有模拟波束管理的 MIMO 系统，可以在多个窄波束上发送第一级参考，以覆盖广角方向，并使用宽波束接收，以进行粗波束选择。第二级参考可以在预先选择的方向上发送到较窄的波束上，并与较窄的波束一起接收，以实现波束的精细对齐。雄安天线仓的建设方式，因部分天面受墙面阻挡，安装的扇区夹角小于 90° ，带来较大的重叠覆盖问题。优化时，根据扇区间的夹角，选择宽窄不同的波束场景。基于 CSI 次外层波束对齐的原则，探索天线倾角调整对重叠覆盖的解决方案。

CSI-RS 下倾角是从上往下的次外层波束下倾，5G-NR 的 32T 设备次外层波束倾角为 3° ，5G-NR 的 64T 设备次外层波束倾角 4° ，如图所示：



基于 CSI 次外层波束对齐的原则，按照如下公式进行倾角计算，给出倾角调整的优化方案：

2. 相关参数功能调整

功控参数：PRACH 信道是 UE 初始接入过程中使用到的第一个上行信道，所以 PRACH 的功率调整只能是 UE 根据相关参数自行调整，此方式称为开环功率控制^[1]。PUCCH 功率控制：在业务的持续过程中，gNodeB 会跟踪大尺度衰落（如路径损耗、阴影衰落），并周期性地采用闭环功率控制动态调整发射功率，以满足信道质量的要求。SRS 功率控制主要用于上行信道估计和上行定时，以保障其精度。SRS 功率控制复用 PUSCH 功率控制参数和命令。根据传输带宽和 PUSCH 功率控制相关参数，通过计算可以确定 SRS 发射功率。

弱场用户解除节电限制：弱覆盖 UE 退出 DRX 和 BWP2 等节能功能，可改善弱场用户感知；

中点用户解除发功限制：中远点用户上行发功不受限，可提升中远点上行用户的发射功率，改善上行速率；

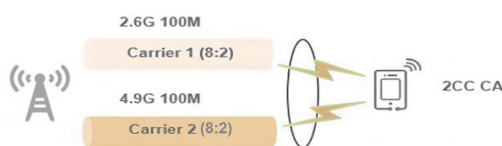
上行波形自适应功能：当用户从近点向原点移动时，基站根据上行链路测量自适应指示终端从 CP 切换到 DFT 波形，减少 MPR，提高终端的实际发送功率。



3. 双载波配置缓解基站高负荷

3GPP R15 协议提出了 NR 用户支持最大带宽到 1GHz 的要求。针对运营商可能没有完整频谱资源

和运营商频谱大于协议定义的单载波带宽能力的场景, 3GPP 引入载波聚合 (Carrier Aggregation, 简称 CA) 功能, 通过将多个连续或非连续的分量载波 (Component Carrier, 简称 CC) 聚合成更大的带宽, 以满足 3GPP 的要求, 提升用户的上下行峰值速率体验。通过在实验基站配置 4.9G+2.6G 的双 100M 载波聚合: 采用 2.6G 的时隙配比为 8:2, 与 4.9G 100M 的时隙配比为 8:2, 组成 CA 下行载波聚合, 载波 CSI 波束扫描功能原理如下: gNodeB 在 SCell 上执行载波 CSI 波束扫描, 获得 UE 在 SCell 中的最优波束, 并在这些波束上发送 CSI-RS。UE 基于 SCell 的 CSI-RS 资源, 测量 CQI/RI/PMI。UE 通过 PCC 的 PUCCH 上报或 PUSCH 随路上报 SCell 的 CQI/RI/PMI 测量结果。



在极好点 CQT 测试, 载波聚合下边缘下载速率可达 2Gbps, 边缘上传速率可达 350Mbps, 实验可知在高负荷区域, 通过引入载波聚合新技术对边缘感知速率有很大提升。

三、应用效果

根据扇区间的夹角, 选择宽窄不同的波束场景: 对于重叠覆盖高夹角小于 60 度的两扇区间选择波束场景 8, 对于重叠覆盖高夹角在 60 度至 90 度的两扇区间选择波束场景 7, 对于重叠覆盖高夹角大于 90 度的两扇区选择默认波束。同时依据站间距天线高度设定重叠覆盖高相关小区的下倾角。通过打开上行调度的上行波形自适应功能, 一般情况下用户选择 CP-OFDM, 在弱覆盖场景, 上行波形自适应切换至 DFT-S-OFDM, 相比于采用 CP-OFDM 波形, 当采用 DFT-S-OFDM 波形时, 终端发射功率增大可提升处于小区边缘的单用户的吞吐率 0 ~ 25%。

2.6G+4.9G 载波聚合提升边缘感知速率: 伴随 5G 用户的不断发展, 4G 用户逐步向 5G 迁转, 通过载波聚合进一步提升用户感知体验速率需求, 在热

点场景推出 2.6G 100M+4.9G 100M 下行载波聚合, 可实现峰值速率 3.2G 左右^[2]。2.6G+4.9G CA 下行载波聚合, 同时可使用 PCC 和 SCC 下行资源。试点 4.9G 站点安新三台 -HSH 和共站 2.6G 站点安新三台 -HWH 做站间载波聚合, 安新三台 -HSH-2 小区和新三台十一站 -HWH-2 小区做站间载波聚合, 三台 C 小区定点 CQT 测试当前可达 2Gbps, 效果明显。

问题区经过波束、倾角及相应的参数优化后, 前台测试 5G 覆盖率提升 1.84pp, 吞吐率提升 144Mbps, 下行 SINR 提升 0.7dBm; 后台各项 KPI 指标改善比较明显: 平均干扰从 -110.58dBm 降低至 -112.76dBm 下降 2dB; RRC 接入成功率从 99.88 提升至 99.92%; 在总用户数和流量不变的情况下, 上行边缘用户数从 1.93 降至 1.19, 下降 39%; 区域 1 的边缘速率从 0.24Mbps 提升至 0.47Mbps, 提升 95.83%; 区域 2 的上行边缘速率从 0.16Mbps 提升至 0.37Mbps, 增加 131%; 区域 3 从 0.21Mbps 提升至 0.55Mbps, 增加 162%。区域 1 的边缘用户占比从 9.63% 降至 4.98%; 区域 2 的边缘用户从 6.52% 下降至 4.34%; 区域 3 的边缘用户占比从 6.91% 降至 5.59%。

四、总结

5G 网络的发展进一步促进了移动互联网流量爆炸式增长, 为移动互联网用户提供更加极致的应用体验, 对于 5G 网络的短板进行探索提升, 将进一步增进 5G 应用的开发, 促进行业的不断创新。本文探讨了 5G 边缘用户速率的提升方案, 在重叠覆盖优化、功能参数配置以及负荷双载波等创新手段的加持下, 边缘感知速率可以得到有效提升, 对提升 5G 网络的深度覆盖及客户满意提出了有效的改进方案。今后 5G 网络在与垂直行业的深度融合中, 将进一步助力数字经济的高质量发展, 潜移默化地改变着社会, 支撑人民对美好生活的向往。

参考文献:

- [1] 王卿, 于洋, 谷俊江, 等. 5G 网络感知速率提升“三步走”方案研究 [J]. 江苏通信, 2023, 39(3):6-9, 15.
- [2] 朱立雷. 5G 用户感知优化速率提升及应用研究 [J]. 数据通信, 2021(2):11-16.