



专题：5G 组网与 6G 展望

5G 无线优化面临的挑战及应对策略

周俊, 权笑, 马建辉

(中国移动通信集团设计院有限公司, 北京 100080)

摘要: 5G 将进入网络融合化、终端和业务多样化的时代, 无线网将出现 GSM/TDD/FDD/NB/pre5G/5G 多制式共存、900 MHz/1 800 MHz/F/D/E/A6 频段 15 频点并存的局面。由于业务分层承载, 现有的 4G 和 5G 相互影响、需要兼顾, 网络结构前所未有的复杂, 无线优化工作形势严峻。分析了 5G 无线优化工作面临的困难和挑战, 提出了 5G 无线优化的应对策略。

关键词: 5G; 无线优化; 大规模 MIMO; NSA; SA; 锚点; 人工智能

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020013

Challenge and strategy of 5G radio optimization

ZHOU Jun, QUAN Xiao, MA Jianhui

China Mobile Group Design Institute Co., Ltd., Beijing 100080, China

Abstract: The era of network convergence, terminal and business diversification in 5G stage is coming. The radio network will have the situation of coexistence of GSM/TDD/FDD/NB/pre5G/5G/WLAN multi-mode and 900 MHz/1 800 MHz/F/D/E/A6-band 15 frequency points. Due to the layered service carrying, the existing 4G and 5G interact with each other, which needs to be taken into account. The network structure will be unprecedented complex, and the wireless optimization work situation will be severe. The difficulties and challenges of 5G radio optimization were analyzed, and the strategies to deal with 5G radio optimization was put forward.

Key words: 5G, radio optimization, massive MIMO, NSA, SA, anchor, artificial intelligence

1 引言

随着 5G 牌照的正式发放, 5G 网络已正式商用, 5G 将成为数字社会经济增长的新引擎, 是新一轮信息科技革命的主角。但是 5G 网络建设并非一蹴而就, 5G 建网初期采用 NSA 架构, 5G 与 4G 紧耦合, 带来异厂商互通难、互操作配置复杂等问题, 后续向 SA 演进还需多次网络大规模调

整, 同时高密度组网、应用场景多、业务需求差异大带来网络架构的空前复杂, 无线网络将出现多制式、多频段、多频点共存的局面。因此开展 5G 无线网络优化方法的研究, 做好 4G/5G 协同优化, 是确保 5G 网络质量领先的关键。

2 5G 无线网络优化面临的挑战

5G 无线优化工作涉及 4G 退频、锚点优选、

4G/5G 协同、参数继承、天面规整、室内外同频干扰等一系列问题,因此保障网络稳定、减少对现网影响是 5G 网络优化工作面临的新任务和新挑战。

2.1 网络结构进入前所未有的复杂期

5G 商用是一个基于现有系统重耕、升级和演进的过程。无线网经过 2G 至 5G 的 4 代演进,多厂商、多站型并存,网络结构将前所未有的复杂,5G 部署将对现网产生影响,需要相互兼顾,优化工作难度将成倍增加。分层异构网的实现需要依靠大量的互操作参数的设置,这对无线优化工作提出了非常高的要求,涉及精准驻留、不同优先级的重选和切换、业务均衡等多种优化算法。另外终端能力也不尽相同,终端与网络协同也是无线优化中需要考虑的因素。无线接入网全景演进策略示意如图 1 所示。

2.2 2.6 GHz 频段重耕面临较大挑战

5G NR 与 4G LTE 共享 2.6 GHz 的 160 MHz 带宽,开通 5G NR 100 MHz 需要 LTE 现网 D 频段退频 40 MHz (D1+D2),D 频段重耕“牵一发

而动全身”,需要有序开展,如图 2 所示。

2.6 GHz 频段是 4G 现网主要的容量承载及局部打底资源,D1+D2 承载了全网 30%、城区 45% 的流量,40 MHz 退频将对 4G 现网带来容量压力。同时 D 频段小微站和 D 频段 3D-MIMO 站,在 D1、D2 退频后仅能使用 D3 频点,承载能力将受到较大影响。

部分 D 频段打底且 F 频段未形成连续覆盖的城市问题更加突出。考虑现网存在不支持 D3 频点 RRU 和终端的情况,这些城市在 D 频段重耕后面临 4G 覆盖不连续风险。

D 频段退频涉及 4G 邻区、移动性、负载均衡等多项参数配置调整,大范围调整需要过程和优化沉积,退频及设备替换过程将对 4G 网络性能带来冲击。

2.3 异厂商组网将影响 5G 网络性能

NSA 组网场景,异厂商 4G/5G 间采用 3a 接口方案,4G 分流 5G 业务的能力不具备或性能差,上下行速率损失分别约为 30%和 10%。同厂商/异厂商 NSA 组网架构如图 3 所示。

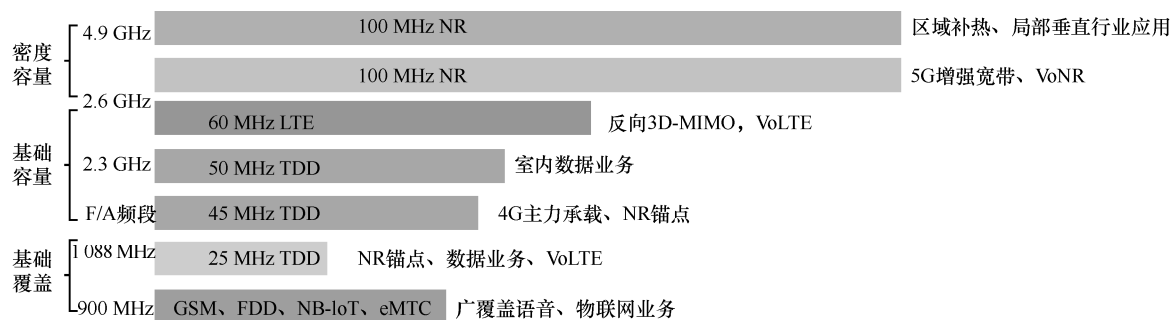


图1 无线接入网全景演进策略示意

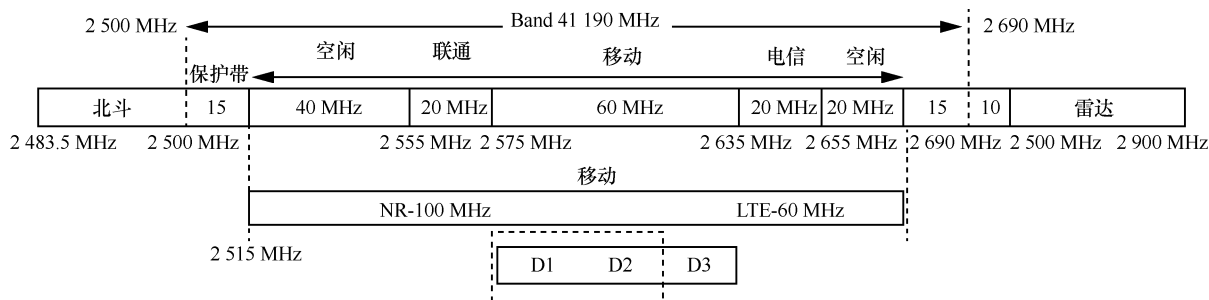


图2 D频段重耕示意图

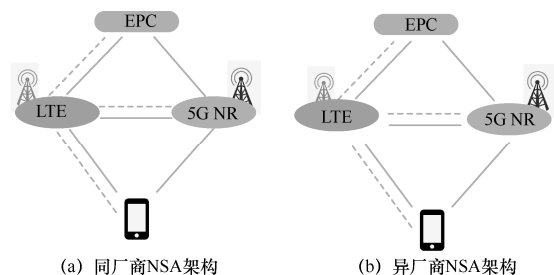


图3 同厂商/异厂商 NSA 组网架构

5G 与现网 TDD 异厂商，也将对现网带来较大网络结构问题。5G 采用 160 MHz AAU 设备，反向开启 60 MHz LTE 具备天然 3D-MIMO 能力，与 TDD 异厂商不利于 4G/5G 协同，同时带来 4G 容量极大损失。

2.4 4G/5G 协同要求高、难度大

2.6 GHz NSA 组网 5G 与 4G 频段和设备深度耦合，需要更加全面兼顾 4G 网络性能，优化难度大幅增加。NSA 组网协同优化要求见表 1。

表 1 NSA 组网协同优化要求

NSA 优化	4G/5G 协同内容
移动性及互操作	需设计 NR 小区与 LTE 小区的锚定关系和邻区关系
优化 NR 覆盖	需要协同优化 NR 小区与锚定小区的覆盖关系
优化 NR 容量	LTE 锚定小区的高负荷对 NR 小区的性能有影响，需合理选择锚点小区和锚点优先级
ENDC 参数优化	要对 ENDC 参数进行优化，使 NSA 用户更有效地使用 NR 支路

为实现 4G 和 5G NR 上下行转换点对齐，避免上下行时隙干扰，2.6 GHz 子帧配比要求 5G NR 帧头需向后偏移 3 ms，并采用 5 ms 周期。2.6 GHz NR 与 LTE 帧结构对齐示意如图 4 所示。

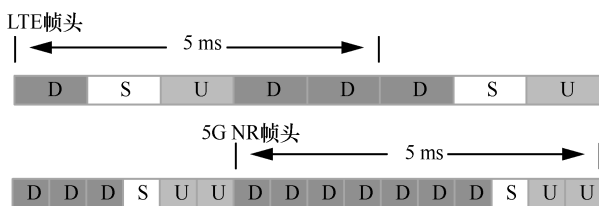


图4 2.6 GHz NR 与 LTE 帧结构对齐示意

2.5 5G 室内外同频干扰

据估计 5G 将有超过 70% 的数据业务发生在室内场景，高价值商务客户 80% 时间都位于室内，室内覆盖是 5G 网络建设的重点，也是 5G 的新痛点。

与 4G 室内外采用异频组网方式不同，5G 采用同频组网，同频干扰不可避免。因此避免室外强信号进入室内，防止室分信号外泄，是解决同频干扰的根本，这对 5G 宏基站和 5G 室分建设提出了更高的要求。5G 需要针对室内外同频干扰采取一系列的手段，包括综合利用参数、Blanking 时隙配置（如图 5 所示）、室内外错频等手段，抑制室内外同频干扰，保障室内覆盖性能。

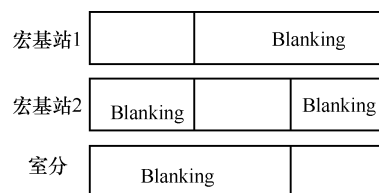


图5 5G 室内外 Blanking 时隙配置

2.6 天面改造影响现网质量

与 4G 宏基站“RRU+天线”的安装方式不同，5G 宏基站通常采用 AAU 形态，即 RRU 与天线集成在一起，内含 192 根或 128 根天线阵子，组成二维平面阵列有源天线。

由于 5G AAU 中 RRU 与天线不可拆分，且不兼容 1.8 GHz/2.1 GHz 等其他频段，与现网无源天线相互独立部署，一个三扇区的 5G 宏基站需要增加 3 副体积庞大的 AAU，尤其是 3 家运营商共享的站址，很容易出现天面空间不足而导致站点不可用的情况，这极大地增加了 5G 网络选址和建设难度。运营商的调研结果显示，28% 的站点有天面整合的需求。5G 天面整合示意如图 7 所示。

工程上可以考虑天面改造，比如采用多端口天线整合 2G/3G/4G 天线。天线改造除了导致成本上升，还由于 2G/3G/4G 多制式网络的紧耦合，

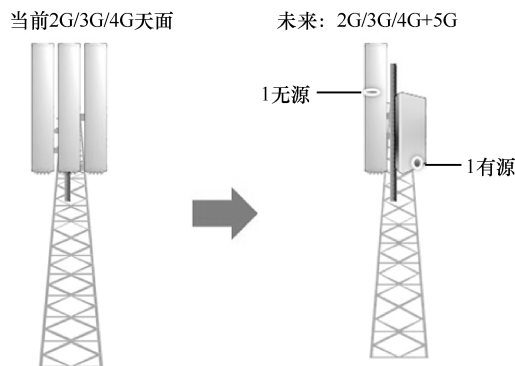


图7 5G 天线整合示意图

天线方向角不再能够独立可调,在2G/3G/4G网络拓扑差异较大的情况下,必然会难以协调各网的覆盖,导致多网覆盖质量下降。

3 5G 网络优化相关技术变化、影响及对策

5G 业务多元,系统架构多样(SA+NSA),采用大规模天线技术,组网更加复杂,5G 网络优化工作将面临更大挑战。

3.1 5G 大规模 MIMO

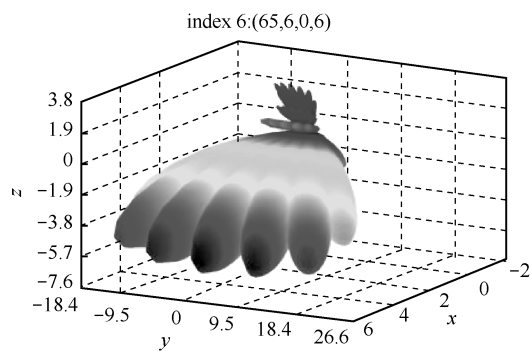
大规模 MIMO (massive MIMO, 大规模天线技术)是5G 提高系统容量和频谱利用率的关键技术。与4G 广播信道单一波束的覆盖方案相比,5G 提供了广播信道波束成形/扫描手段,水平和垂直维度均提供了动态窄波束。5G 广播波束水平垂直扫描图如图8所示。

广播多波束可以精准强覆盖,通过不同权值生成不同成形波束,满足更精准的覆盖要求,大幅降低广播信道干扰;同时方位角、下倾角可以通过权值优化来调整,为后续天馈自优化打下基础。

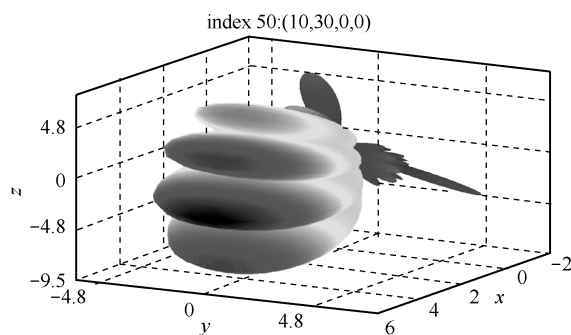
5G 大规模 MIMO 广播权值灵活度更高、数量更多,给5G 无线优化工作带来了新内容。建议通过人工智能算法进行权值优化,以提高优化效率。

3.2 5G RSRP/ SINR 的测量

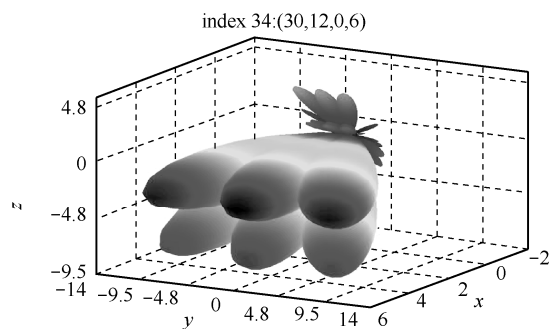
LTE 测量是基于 CRS 进行的, NR 不再有 CRS,取而代之的是 SSB 和 CSI。SSB 和 CSI-RS 用于 RSRP/SINR 测量比较见表2。



(a) NR水平方向扫描



(b) NR垂直方向扫描



(c) NR水平&垂直方向扫描

图8 5G 广播波束水平垂直扫描图

SSB 测量主要用来反映网络接入和驻留能力, CSI-RS 测量可作为业务性能评价指标。

3.3 SA/NSA 不同架构对网络优化的影响

NSA 和 SA 应采用不同的网络优化策略。

NSA 覆盖性能由4G 锚点和5G 共同决定。NSA 架构5G 网络连续覆盖不是必须的,可以不涉及切换,因此优化时可以缩小重叠覆盖区,减少邻区干扰,提升用户边缘速率,保障用户感知。NSA 优化需要重点关注4G/5G 协同,做好4G 锚点的连续覆盖及5G 载频的合理添加、删除。



表 2 SSB 和 CSI-RS 用于 RSRP/SINR 测量比较

测量对比	SS-RSRP/SS-SINR	CSI-RSRP/CSI-SINR
测量对象	SSS	CSI-RS
应用条件	空闲态和连接态均可用	仅连接态可用
资源开销	系统必须的开销	与 SSB 相比，额外占用系统开销
测量带宽	窄带	可配、宽带或窄带
上报方式	按 beam 测量上报： • 小区测量结果可配置为多个 beam 的最强值或大于门限的 N 个 beam 的均值； • 可配置各 beam 均上报	

SA 组网应保证 5G 连续覆盖，需要一定的 5G 重叠覆盖区域保证切换成功率，同时尽可能减少 4G/5G 互操作。5G 优化以覆盖为优先，在能够保证 5G 覆盖的基础上进行业务性能优化。

4 5G 优化方法

4.1 5G 建网初期的优化思路

5G 建网初期，继承 4G 网络的优化思路、方法和成果，可以快速地开展 5G 优化，同时积累 5G 优化经验。

工程参数方面，可以继承原有 LTE-D 频段天线方位角和下倾角，确保覆盖连续性和网络的稳定性；无线参数方面，邻区、测量配置、切换参数、功率控制参数可以考虑继承；NR 的初始广播权值，可参考 3D-MIMO 最优权值设置；4G 网络问题点和热点区域也将是 5G 重点关注的对象。

基于 4G/5G 协同的 5G 网络优化工作包括以下几点。

- 基础优化：包括覆盖优化、干扰优化、容量优化。
- 多层网联合优化：包括双连接、互操作方面的优化。
- 算法优化：实现自动计算最优权值，波束对准价值用户分布。
- AI 智能优化：通过 AI 开展网络性能优化（天馈调整/网络预警/载波调度等）。

4.2 基于 4G 开展 5G 网络预评估

LTE 现网有大量的运行数据可以采集和分析，LTE-D 与 5G 共频段（甚至共 AAU），运用 LTE 现网的 MR 数据，通过全量因素分析和修正算法，可以精准地预测 5G 小区建成后的覆盖情况，开展 5G 的最优覆盖规划和部署。

基于 4G 工程参数的分析，可以进行 5G 不合理站址的过滤，最佳配置 5G 工程参数；基于 4G 现网的网管和业务统计数据，可以开展 5G 流量预估和高价值区域识别；基于 MR 数据的定位和分析，结合 RS 功率配置、波束增益、传播路损、穿透损耗差异，可以开展 5G 覆盖预测，在 5G 建网前就能准确评估建成后的网络覆盖和质量，指导后续的 5G 建设和优化工作。基于 4G MR 进行 5G 覆盖预评估如图 9 所示。

4.3 5G RF 优化

覆盖是 5G 网络质量保障的基础和关键，而 RF 优化是覆盖优化的重要抓手。5G RF 优化应该充分利用 5G MM 广播权值灵活度高的优势，通过对每个子波束的合理配置，以适应不同场景对水平、垂直覆盖的要求，达到最佳的覆盖效果。

为充分发挥 MM 的性能优势，通过 DOA（direction of arrival）的用户分布统计评估，确定用户集中方向，然后通过现场 RF 优化调整或后台权值优化调整，使 AAU 对准用户集中方向，以提升用户感知。5G 广播权值场景优化如图 10 所示。

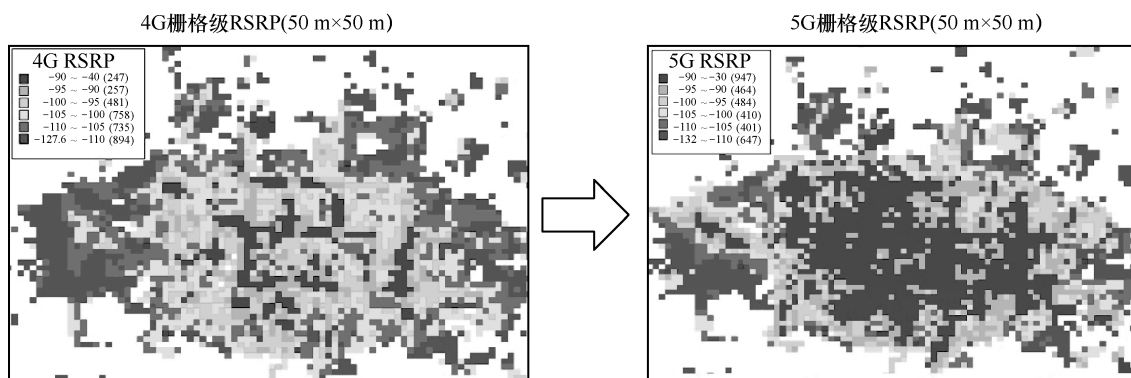


图9 基于 4G MR 进行 5G 覆盖预评估

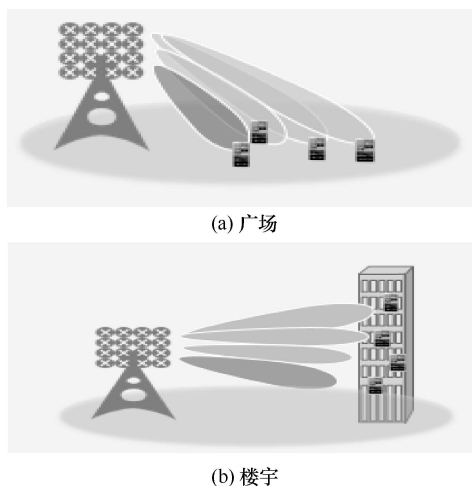


图10 5G 广播权值场景优化

4.4 5G 移动性优化

移动性优化包括邻区优化和移动性参数优化。由于架构不同,因此 NSA/SA 应采用不同的移动性优化策略。

对于邻区优化,在 NSA 组网下,需要合理配置 NR-NR、LTE-LTE 邻区,4G 根据锚点关系添加 NR 邻区,而 NR 则无需添加 4G 邻区关系。对于 SA 组网,则需同时考虑系统内及系统间的邻区配置,系统内邻区添加以最大化为原则,根据重叠区域内实际小区进行邻区添加,如超出范围则根据实际覆盖强度进行排序添加;系统间邻区以重叠覆盖为准则,综合考虑终端的测量能力,合理添加对象频点。

对于移动性参数优化,在 NSA 组网下,空闲态

仅需进行 4G 的重选配置;连接态则重点关注 4G 锚点的切换成功率并抑制乒乓切换,对于 SN 添加/删除策略,SN 添加门限对标 NR 最小接收电平,SN 变更点与 LTE 切换点尽量一致。对于 SA 组网,5G 空闲态配置的重选参数尽量满足重选点与切换一致,配置合理的起测门限于终端节电;连接态则配置合理的移动性测量事件,保障切换成功率。

4.5 5G 锚点优化

NSA 组网下,5G 网络质量的好坏首先取决于锚点的性能,因此 5G 优化要从锚点优化开始。

锚点配置的基本要求是尽量使用单一频点单层网,考虑到 FDD 1 800 MHz 在覆盖和上行方面的优势,优选 FDD 1 800 MHz 作为锚点,保证锚点的连续覆盖。

锚点优化主要从 4 个方面着手,首先要开启锚点优选功能,确保 NSA 用户及时驻留锚点;其次基于网管统计和网络拓扑结构合理配置锚点邻区和 X2,保证 4G/5G 邻区的完备性;另外优化 SCG 增删门限,保障占用 5G 感知优于 4G;最后要精准 ULI 功能的开启,最大程度规避“假 5G”风险。

4.6 5G 工程优化

5G 网络已正式投入商用,需要形成一套规范的 5G 网络工程优化方法,确保建网质量、用户感知和 5G 网络性能领先,5G 工程优化关键节点如



图 11 所示。

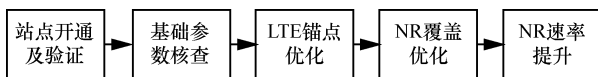


图 11 5G 工程优化关键节点

站点开通及验证包括：站点建设及开通、单站验证（基础业务验证和移动性验证）、簇优化、分区优化。

基础参数核查包括：LTE 参数核查、NR 参数核查、互操作参数核查。

LTE 锚点优化包括：锚点配置及优化、LTE 切换优化、互操作参数优化。

NR 覆盖优化：场景化波束优化、覆盖及 RF 优化、覆盖增强功能应用。

NR 速率提升：参数调优、5G 占网时长优化、RANK 优化、终端网络适配、性能调优。

案例：同时进行 5G 扫频测试和路测发现，全程扫频测试 5G 覆盖良好，5G 扫频覆盖率达到 100%，但同车路测的 5G 终端占网时长仅为 72.43%，路测明显存在 3 个路段未占用 5G 信号。5G 路测与 5G 扫频结果对比分析如图 12 所示，5G 路测信令分析如图 13 所示。

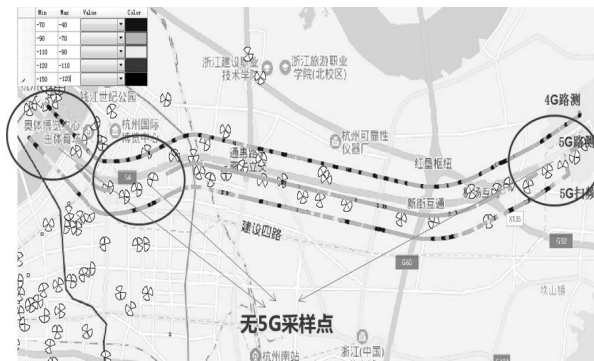


图 12 5G 路测与 5G 扫频结果对比分析

分析：异常脱网时间 19:31:06—19:31:24，脱网时长 18 s。发生跨基站的 NR 小区变更，源小区 PCI: 153，RSRP=-112 dBm，测量报告显示，目标小区应为 PCI: 649，RSRP=-76 dBm，切换本应指向 649 小区，怀疑漏配 NR649 邻区，导致

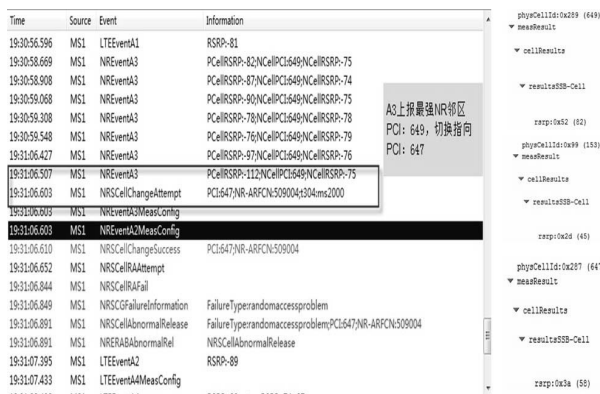


图 13 5G 路测信令分析

变更指向同站的 647 小区，且当时该小区 RSRP 低于 -100 dBm，并在 647 小区下发起 5G 随机接入时发生失败，后续触发 A4 切入非 4G 锚点小区，导致脱网。

结论：NR 邻区漏配及 LTE 锚点邻区漏配，异常原因归属 NR 问题和 LTE 问题。

5 结束语

5G 要面对新架构、新空口、新频段和新业务以及网络越趋复杂的全新挑战，对 5G 网络优化工作提出了新要求。一方面 5G 优化应继承 4G 已经形成的优化经验和参数配置成果，实现 5G 的快速建网；另一方面，从规划入手，以终为始，结合 5G 无线技术的特点总结新思路和新手段，形成 5G 网络结构、深度覆盖参数、性能、参数等优化方法，大力推进 4G/5G 网络协同优化。同时应积极推动 5G 网络优化变革，将 5G 网络优化、人工智能和网络大数据紧密结合，加快 5G 网络优化工作智能化和自动化。

参考文献：

- [1] 王志勤, 徐菲. 关于 5G 组网技术路线的分析与建议[J]. 电信科学, 2019, 35(5): 3-7.
WANG Z Q, XU F. Analysis and suggestion on 5G networking technology route [J]. Telecommunications Science, 2019, 35(5): 3-7.
- [2] 杨旭, 肖子玉, 邵永平, 等. 5G 网络部署模式选择及演进策略[J]. 电信科学, 2018, 34(9): 138-146.

- YANG X, XIAO Z Y, SHAO Y P, et al. Deployment mode selection and evolution strategy of 5G network[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(9): 138-146
- [3] 3GPP. Technical specification group radio access network; NR; NR and NG-RAN overall description: TS38.300[S]. 2017.
- [4] 3GPP. NR: physical layer; general description: TS38.201. V15.0.0[S]. 2018.
- [5] 3GPP. Way forward on the overall 5G-NR Embb: workplan, RP-170741[S]. 2017.
- [6] 张平, 陶运铮, 张治. 5G 若干关键技术评述[J]. 通信学报, 2016, 37(7): 15-29.
- ZHANG P, TAO Y Z, ZHANG Z. Survey of several key technologies for 5G[J]. Journal on Communications, 2016, 37(7): 15-29.
- [7] 杨峰义, 谢伟良, 张建敏, 等. 5G 无线网络及关键技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2017.
- YANG F Y, XIE W L, ZHANG J M, et al. 5G wireless network and key technologies[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2017.
- [8] 尤肖虎, 潘志文, 高西奇, 等. 5G 移动通信发展趋势与若干关键技术[J]. 中国科学: 信息科学, 2014, 44(5): 551-563.
- YOU X H, PAN Z W, GAO X Q, et al. The 5G mobile communication: the development trends and its emerging key techniques[J]. SCIENTIA SINICA Informationis, 2014, 44(5): 551-563.

[作者简介]



周俊 (1970—), 男, 中国移动通信集团设计院有限公司教授级高级工程师, 主要研究方向为无线网络优化。



权笑 (1985—), 男, 中国移动通信集团设计院有限公司网络规划与设计优化研发中心高级工程师, 主要研究方向为无线网络优化。



马建辉 (1980—), 男, 中国移动通信集团设计院有限公司网络规划与设计优化研发中心高级工程师, 主要研究方向为无线网络优化。