

SSB 寻优在5G无线网络规划和优化中的应用

Application of SSB Optimization in 5G Wireless network Planning and Optimization

王晓刚¹, 杜健¹, 李婵婵², 张水斌³(1. 中国联通山西分公司, 山西太原 030006; 2. 中国联通太原分公司, 山西太原 030002; 3. 中国联通长治分公司, 山西长治 046100)

Wang Xiaogang¹, Du Jian¹, Li Chanchan², Zhang Shuibin³(1. China Unicom Shanxi Branch, Taiyuan 030006, China; 2. China Unicom Taiyuan Branch, Taiyuan 030002, China; 3. China Unicom Changzhi Branch, Changzhi 046100, China)

摘要:

Massive MIMO 作为5G的关键特性之一, 支持多种覆盖场景, 支持调整天线权值改变小区的水平和垂直覆盖, 也支持传统RF调整手段。在大规模部署 Massive MIMO 的情况下, 单纯依靠人工经验进行覆盖优化对人员技能要求高, 工作量较大, 且难以保证调整结果最优。5G SSB 波束寻优工具结合站点工参、电子地图、路测log等数据, 按照最优算法给出小区广播波束调整建议, 优化后覆盖水平整体大幅提升, 提升了优化效率, 降低了上站调整率, 提升了5G网络覆盖质量及路测速率。

Abstract:

As one of the key features of 5G, Massive MIMO supports multiple coverage scenarios, supports adjusting the antenna weights to change the horizontal and vertical coverage of cells, and also supports traditional RF adjustment methods. In the case of large-scale deployment of Massive MIMO, relying solely on manual experience for coverage optimization requires high personnel skills, the workload is large, and it is difficult to ensure optimal adjustment results. 5G SSB beam optimization tool combines site parameters, electronic maps, DT logs and other data to give cell broadcast beam adjustment suggestions according to the optimal algorithm. After optimization, the overall coverage level is greatly improved, the optimization efficiency is improved, and the station adjustment rate is reduced, 5G network coverage quality and DT rate is also improved.

Keywords:

Massive MIMO; Pattern; Search for optimization; Beam management

引用格式: 王晓刚, 杜健, 李婵婵, 等. SSB 寻优在5G无线网络规划和优化中的应用[J]. 邮电设计技术, 2020(8): 21-26.

1 概述

1.1 5G介绍

随着通信技术的不断发展, 为适应未来海量移动数据的爆炸式增长以及加快新业务新应用的开发, 第五代移动通信技术(5G)应运而生。相比于4G, 5G聚焦大带宽、低时延、多连接、高移动性等多业务场景。在性能和场景应用上相比之前的移动通信技术有大幅提升, 无论面向普通消费者还是商业产业应用领域, 5G都能够真正构建起万物互联的智能世界, 实

关键词:

Massive MIMO; Pattern; 寻优; 波束管理
doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2020.08.005
文章编号: 1007-3043(2020)08-0021-06
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):



现智慧城市、智能自动化工厂、远程医疗等一系列应用。

1.2 5G Massive MIMO概念

作为移动通信中最为重要的功能组件, 面向5G通信的手机天线和基站天线成为近年来的研究与设计重点。纵观5G天线研究现状以及大规模天线阵列(Massive MIMO)的技术要求, 面向5G移动通信的天线应具有高增益、小型化、宽频带以及高隔离度等技术特征。Massive MIMO是多天线技术演进的一种高阶形态, 是5G网络的一项关键技术。Massive MIMO站点的天线数显著提升(64天线)。通过使用大规模天线阵列对信号进行联合接收解调或发送处理, 相对于传统多天

收稿日期: 2020-06-22

线技术, Massive MIMO 可以大幅提升单用户链路性能和多用户空分复用能力, 从而显著增强了系统链路质量和传输速率。此外, Massive MIMO 的多天线阵列系统增加了垂直维的自由度, 可灵活调整水平维和垂直维的波束形状, 基站的三维覆盖能力显著提升。基于 5G Massive MIMO 对于空间维度的自由度大幅提升, 引出了立体覆盖波束 Pattern 这一概念, 在此提出并总结了优化 Pattern 参数以提升 SSB 覆盖的原理和方法。

2 广播波束 Pattern

2.1 波束管理介绍

波束管理主要分为小区级广播信道波束管理以及用户级静态波束管理。

用户级静态波束设计成了多个窄波束, UE 需要对这些窄波束进行扫描以获取最优波束集合。gNodeB 针对 UE 扫描上报的最优波束集合进行维护, 从而选择给这些信道使用最优的波束集合。

而对于小区级波束管理, 5G NR 的广播波束为 N 个方向固定的窄波束, 相较于 LTE TDD 用一个宽广波束覆盖整个小区, NR 能够通过在不同时刻发送不同方向的窄波束完成小区的广播波束覆盖。UE 扫描每个窄波束来获得最优波束, 完成同步和系统消息解调。图 1 为 NR TDD 广播波束扫描范围。

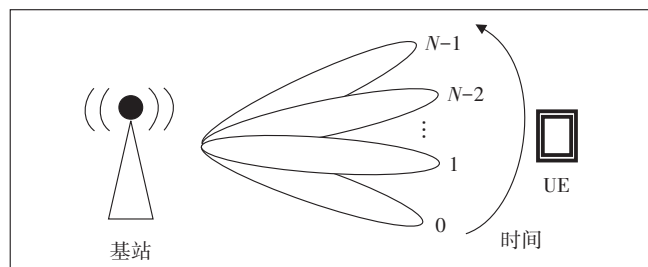


图 1 NR TDD 广播波束扫描范围

对于广播信道的波束管理, 支持针对不同的覆盖场景配置不同的波束场景。

2.2 立体覆盖波束

2.2.1 概念与原理

5G Massive MIMO 天线的一个显著特征是通过天线权值调整与波束赋形技术来调整广播波束的水平波宽、垂直波宽、方位角和下倾角, 以此来得到特定的覆盖效果。基本波束管理特性使 gNodeB 只支持一种广播波束覆盖, 即默认覆盖场景。立体覆盖波束相比于基本波束管理, 能够使 gNodeB 支持更多的广播波束覆盖场景。立体覆盖波束除了默认覆盖场景, 还支持多

种典型覆盖场景。在不同的覆盖场景下, 广播波束有不同的倾角、方位角、水平波宽、垂直波宽。

表 1 示出的是典型覆盖场景的广播波束, 表中数据仅供参考, 实际中不同厂家和不同设备型号可能支持不同的覆盖场景和参数, 以具体的设备支持为准。

表 1 典型覆盖场景的广播波束

覆盖场景 ID	水平 3 dB 波宽/ $^{\circ}$	垂直 3 dB 波宽/ $^{\circ}$	数字倾角可调范围/ $^{\circ}$	数字方位角可调范围
默认	100	6	-3~9	0
1	110	6	-3~9	0
2	90	12	-1~6	0
3	60	24	0~6	0

3 种不同波束宽度组合天线波形示意图 2, 第一种: 水平波宽较大、垂直波宽小, 对平面有较广的覆盖, 第二种: 水平波宽小、水平面覆盖窄, 第三种: 水平和垂直波宽较大, 对于水平和垂直面都有较好的覆盖。通过改变水平波宽与垂直波宽可以实现特定的覆盖。

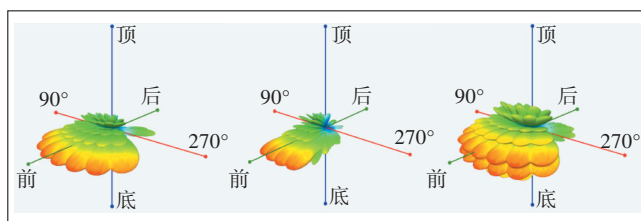


图 2 天线波形示意图

2.2.2 覆盖场景与选取原则

NR 广播波束可以支持多类场景的覆盖, 主要为广场类场景和楼宇类场景(以表 1 为例)。

a) 一般情况下, 推荐配置为默认, 适合典型三扇区组网。

b) 当水平覆盖要求比较高时, 推荐水平波宽最宽波束, 远点可以获得更高的波束增益, 提升远点覆盖。

c) 当小区边缘存在固定干扰源时, 可以考虑适当降低水平波宽, 缩小水平覆盖范围, 避开干扰。

d) 当只有孤立的建筑物时, 推荐配置水平波宽较窄波束, 可以获得水平面覆盖较小, 此种情况不适合连续组网, 尤其是对于路面的覆盖。

e) 当区域中存在不同高度的建筑物时, 通过选取合适垂直波宽的场景进行配置。

具体如图 3 所示, 第一种场景为广场场景, 近点使用宽波束, 保证接入, 远点使用窄波束, 提升覆盖; 第二种场景为高楼场景, 使用垂直面覆盖比较宽的波束, 提升垂直覆盖范围; 第三种场景为既有广场又有高楼, 采

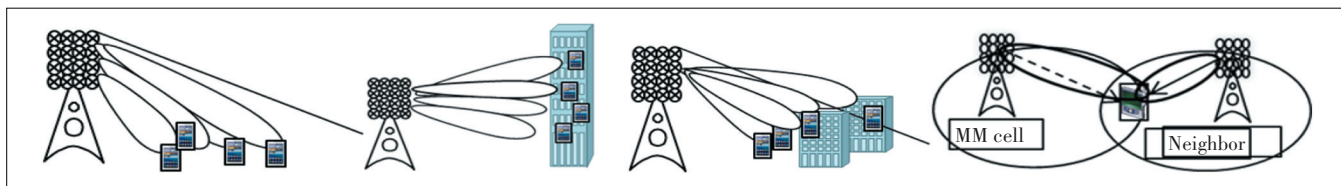


图3 不同场景波束示意图

用水平垂直覆盖角度都比较大的波束;第四种场景为小区间干扰场景,可以使用水平扫描范围相对窄的波束,避免强干扰源。

如图4所示: D 为基站到建筑物的水平距离, h 为天线的高度, H 为建筑物高度, B 为建筑物面对基站侧的宽度, b 为站点相对建筑物一侧的映射距离, α 和 β 分别为水平波宽和垂直波宽,则式(1)和式(2)可表示为:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{h}{D} + \tan^{-1} \frac{H-h}{D} \quad (1)$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{b}{D} + \tan^{-1} \frac{B-b}{D} \quad (2)$$

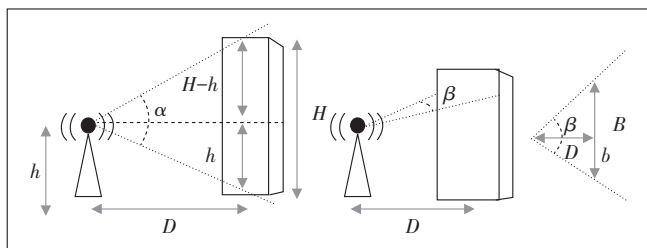


图4 基站与建筑物模拟图

对于单个楼宇场景,通过三角函数运算可计算出水平波宽和垂直波宽应选取的范围,再根据计算结果选取设备所支持的最优模式。

3 Pattern 特性验证

3.1 验证方案与内容

3.1.1 传播模型原理

5G 高频信号受到建筑物遮挡影响相比 4G 更大,需要采用更高效更精确的传播模型。这里采用一种基于光束追踪的传播模型进行仿真,图5所示,该传播模型主要考虑3种传播路径:直接路径(Direction Path)、反射路径(Reflection Path)、衍射路径(Diffraction Path)。

将3种路径合并为式(3)。

$$L_{\text{multi-path}} = C_4 \times L_{\text{dir}} + \beta \times L_{\text{ref}} + \gamma \times L_{\text{dif}} \quad (3)$$

式中:

C_4 ——垂直 Deygout 衍射因子修正值

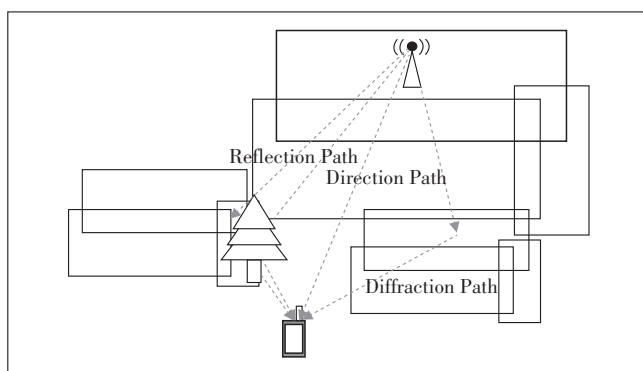


图5 光束追踪传播模型的3种传播路径

β ——反射路径信号强度权重项

γ ——绕射路径信号强度权重项

$L_{\text{dir}} \setminus L_{\text{ref}} \setminus L_{\text{dif}}$ ——3种路径的信号强度值

如图6所示,相比于普通的射线追踪模型只能一次性计算多个楼层单点,光束追踪可以一次性计算多个楼层的可覆盖区域。

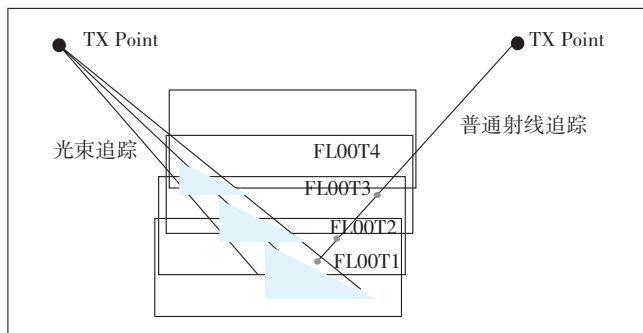


图6 光束追踪传播模型与普通射线追踪传播模型对比

3.1.2 测试方案与内容

选取某市某局点中高层和低层2种不同的区域场景,每隔固定层数进行多次打点记录下 SSB RSRP 数据以反映出实际楼层的覆盖情况。在这里定义 0~20 m 为低层,20~40 m 为中层,40 m 以上为高层。具体内容为中高层楼宇每隔 5 层进行记录,低层楼宇每隔 2 层进行记录。之后根据所选取的场景以及选取原则改变默认的立体波束场景覆盖模式,再次按照上述原则进行测试以及数据的记录。最后将前后的数据进行总结和对比呈现。

3.2 仿真结果呈现

以下基于光束追踪的覆盖仿真,覆盖站点默认水平波宽为 105°,垂直波宽为 6°。

中高层场景,首先对划定区域进行 3D 仿真,设置 50 层切片,每层 3 m,改变垂直波宽为 25°,可以看出调整后整栋楼 SS-RSRP 有明显提升(见表 2)。

低层场景,首先对划定区域进行 3D 仿真,设置 6 层切片,每层 3 m,改变垂直波宽为 120°,可以看出调整后部分区域 SS-RSRP 有提升(见表 2)。

表 2 中高低层场景寻优前后仿真对比

		调整前/dBm	调整后/dBm	变化值/dB
中高层	中层区域	-106.03	-105.02	1.01
	高层区域	-107.28	-104.98	2.30
	总体	-108.38	-106.37	2.01
低层	低层区域	-108.59	-104.75	3.84
	总体	-113.87	-109.24	4.63

表 2 中各场景的整体覆盖情况是基于所有楼层平均覆盖值得到的。

3.3 测试结果

根据实际的楼层打点测试,结果如表 3 所示。

表 3 中高低层场景寻优前后测试对比

		调整前/dBm	调整后/dBm	变化值/dB
中高层	5	-104.19	-102.86	1.33
	10	-108.28	-103.24	5.04
	20	-106.15	-100.61	5.54
	总体	-106.21	-102.24	3.97
低层	1	-114.30	-110.98	3.32
	3	-112.43	-109.79	2.64
	5	-108.89	-107.21	1.68
	总体	-111.87	-109.32	2.54

表 3 中各场景的整体覆盖情况是基于所有测试楼层平均覆盖值得到的。

在中高层场景中,楼高 100 m 左右,根据实际场景的计算和现有可供选择的场景模式,水平波宽保持为 105°,将垂直波宽改为 25°,无论是在 3D 仿真还是实际的楼层测试中 SSB RSRP 都有一定的提升。其中将仿真楼宇切片数据按照定义的层区划分,可以看到低中高层 SSB RSRP 分别提高了 2~3 dB,对于特定楼层改善较为明显。实测数据中,选取的楼层覆盖也改善明显。对于高层楼宇,增大垂直波宽对于提升楼宇覆盖具有良好的效果。

在低层场景中,楼高 20 m 左右,根据实际场景计

算和现有可供选择的场景模式,此楼水平宽度较大,将水平波宽改为 25°,垂直波宽不变为 6°,同样在 3D 仿真还是实际的楼层测试中 SSB RSRP 都有一定的提升。可以看到在仿真中 SSB RSRP 整体提升了 4 dB,而在实际的楼层测试中,各楼层分别提升了 2~3 dB。对于低层楼宇,其高度较低但楼宇宽度较大可以降低垂直波宽以及增大水平波宽来达到良好的覆盖提升效果。

4 Pattern 迭代寻优

在测试场景下,常见的覆盖问题包括弱覆盖、重叠覆盖和越区覆盖。从成本和效率方面考虑,应减少不必要的天馈机械参数调整,优先考虑通过调整 Pattern 及电子倾角等参数解决覆盖问题。

4.1 规划阶段的 Pattern 参数优化

在站点规划阶段,对于 Pattern 参数的规划,可以通过覆盖预测仿真迭代运算来获得最优的结果。如图 7 所示,主要步骤为确定规划目标和候选站点、O2O 迭代选站、O2I 迭代选站、RF 参数/MM Pattern 参数迭代寻优、迭代增加选站、规划站点建设优先级排序、规划结果统计和 GIS 呈现,其中第二到第五环节进行了覆盖预测。

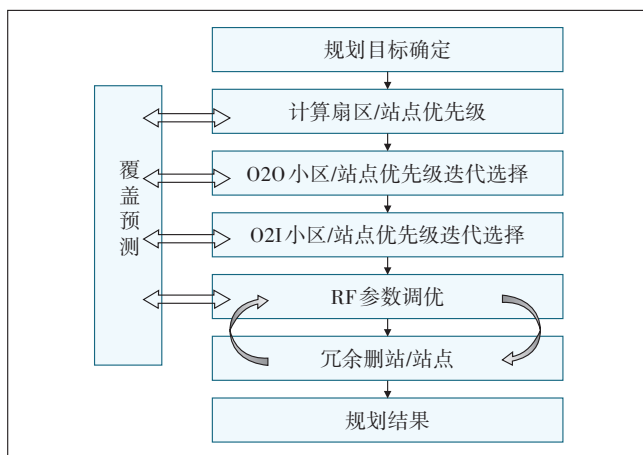


图 7 迭代寻优流程图

4.2 基于路测数据的迭代寻优

4.2.1 迭代寻优原理

基于路测数据和设定的任务目标,能够对 SSB 弱覆盖、SINR 质差和重叠覆盖路段进行识别,然后通过 Pattern 和 RF 参数迭代寻优提升覆盖。主要分为网络评估和迭代寻优 2 个部分。

在网络评估阶段,首先以不同精度(例如 5 m)对路测数据进行栅格化处理,建立栅格的路损模型。然

后根据设定的优化类型以及目标来对问题栅格进行识别,包括弱覆盖栅格、重叠覆盖栅格和 SINR 质差栅格。之后再根据问题栅格的类型和分布将其他汇聚为小的 Polygon 多边形并自动生成 Polygon 边(见图 8)。

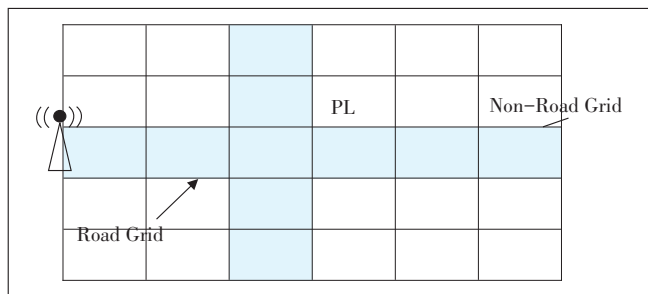


图 8 路测数据栅格化示意图

在迭代寻优阶段,首先基于问题类型包括弱覆盖、重叠覆盖、越区覆盖来判断垂直波宽、数字倾角和机械倾角的调整方向,按照参数设定的调整步长进行覆盖寻优。然后根据路损矩阵和天线文件计算出调整后问题 Polygon 的变化情况,最终结合设定的权重计算出与优化目标的满足度 Fitness,如式(4)所示。

$$Fitness = w_{rsrp} \times SSB_{RSRPf} + w_{overlap} \times Overlap_f + w_{sinr} \times SSB_{SINRf} \quad (4)$$

其中 w_{rsrp} 、 $w_{overlap}$ 、 w_{sinr} 为权重值, SSB_{RSRPf} 、 $Overlap_f$ 、 SSB_{SINRf} 分别为 SSB 覆盖、过覆盖和 SSB SINR 的强度值。对比寻优前后的 Fitness,即可得出预期增益值,如式(5)所示。

$$Gain_{forecast} = Fitness_{new} - Fitness_{current} \quad (5)$$

其中 $Gain_{forecast}$ 为预期增益值, $Fitness_{new}$ 和 $Fitness_{current}$ 分别为调整后的满足度和原先的满足度。

整体的流程如图 9 所示。

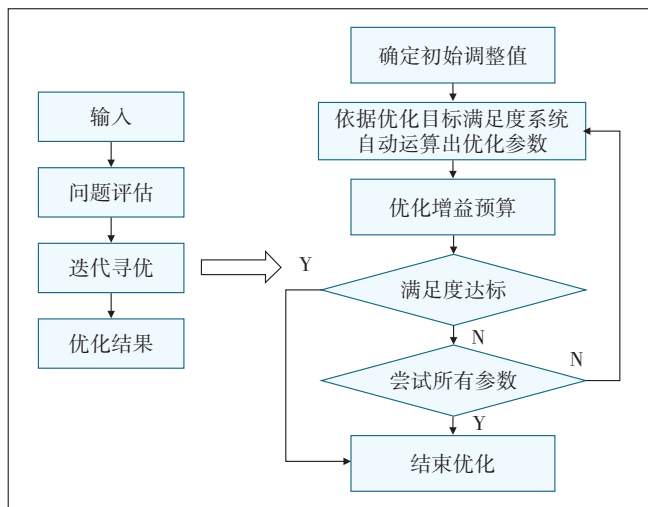


图 9 迭代寻优流程图

4.2.2 测试方案与内容

选取某市某局点 2 个簇区域进行验证,第一步对两区域进行拉网测试得到区域内整体 SSB RSRP 覆盖结果。第二步进行 Pattern 迭代寻优,将多轮迭代运行后的结果输出并进行实际修改,再次对区域进行整体测试得到 SSB RSRP 的覆盖情况。最后记录调整前后数据以及对比呈现。

4.2.3 基于路测优化内容与结果

对于要进行优化的 2 个区域,由于站点开通率较低,设置任务目标时覆盖优先权值较大,具体的任务目标设置以实际情况为准。

区域 1,导入路测数据,划定任务目标区域以及站点参数修改区域(后者一般包含前者),预测仿真结果如表 4 所示。

表 4 区域 1 寻优前后仿真对比

优化前/dBm	优化后/dBm	变化值/dB
-89.30	-88.57	0.73

同时获得所需要修改站点小区及参数结果,如表 5 和表 6 所示。

表 5 需修改站点名单

站点名	小区名	优化参数
Site1	Site1_1	E-Tilt/D-Tilt
Site2	Site2_1	Beam Scenario
Site3	Site3_3	Beam Scenario;D-Azimuth
Site4	Site4_2	Beam Scenario
Site5	Site5_2	E-Tilt/D-Tilt
Site6	Site6_3	E-Tilt/D-Tilt

表 6 修改具体参数表

原场景波束	建议场景波束/°	原下倾角/°	建议下倾角/°	原方位角/°	建议方位角/°
0	0	6	-2	0	0
1	12	6	6	120	120
1	7	6	6	320	320
1	6	6	6	120	120
0	0	6	0	150	150
1	1	6	0	220	220

按照上述结果修改具体站点及小区参数,进行复测可得表 7 所示结果。

区域 2,导入路测数据,划定任务目标区域以及站点参数修改区域,结果如表 8 所示。

同时获得所需要修改站点小区及参数结果,如表 9 所示。

表7 区域1寻优前后实测对比

优化前/dBm	优化后/dBm	变化值/dB
-89.88	-87.06	2.82

表8 区域2寻优前后仿真对比

优化前/dBm	优化后/dBm	变化值/dB
-88.25	-87.22	1.03

表9 需修改站点名单及参数

站点名	小区名	优化参数	原下倾角/°	建议下倾角/°
Site1	Site1_1	E-Tilt/D-Tilt	6	1
Site2	Site2_1	E-Tilt/D-Tilt	6	2
Site3	Site3_1	E-Tilt/D-Tilt	6	-2
Site4	Site4_2	E-Tilt/D-Tilt	6	0
Site5	Site5_2	E-Tilt/D-Tilt	6	2
Site6	Site6_3	E-Tilt/D-Tilt	6	3
Site7	Site7_3	E-Tilt/D-Tilt	6	-1
Site8	Site8_3	E-Tilt/D-Tilt	6	1
Site8	Site8_2	E-Tilt/D-Tilt	6	1

按照上述结果修改具体站点及小区参数,进行复测可得表10所示结果。

表10 区域2寻优前后实测对比

优化前/dBm	优化后/dBm	变化值/dB
-89.51	-88.09	1.42

基于场景为道路的实际测试结果 Pattern 迭代寻优。首先通过路测结果根据设定的任务类型识别出问题区域再根据算法进行处理,基于预设的目标和经验参数不断去迭代计算出最优的 Pattern 参数,包括场景模式、数字下倾角以及数字方位角,修改对应站点的参数后再进行复测可以发现整体的路面覆盖都得到了一定提升,提升幅度为 1~2 dB,而对于修改参数站点区域覆盖提升较为明显。

5 总结

5.1 SSB寻优验证总结

本文通过 Pattern 特性和迭代寻优 2 个部分来总结并验证了 SSB 覆盖的优化。在 Pattern 特性的验证中,选取了 2 种场景,分别为中高层、低层。对于覆盖这 2 个区域的站点,通过场景模式选择原则以及实际设备的支持情况,调整了 Pattern 场景模式来实现各自场景类型的覆盖最优。在人工计算调整之外,可以借助工具算法进行基于路测数据的 Pattern 参数迭代寻优来获得更优的 SSB 覆盖。无论是通过仿真模型进行仿真

还是实地测试都能获得一定的提升,且仿真模型所获得的结果与实际测试的整体结果之间的误差在可接受的范围之内。

5.2 SSB寻优推广经验

在对 SSB RSRP 寻优的验证中,仅仅进行了路测验证,由于测试的场景与次数较少,获得的数据与得出的结论具有一定参考价值,但仍需要通过规模场景去验证。具体可实施的步骤,首先需要对选取的仿真模型通过不同的场景进行多次验证,拟合出仿真结果与实际结果的曲线,在这里需要注意欠拟合和过拟合的情况出现,如若经过系统验证可以具体实施。其次需要选取更多同场景类型不同地点进行多次测试,改变场景模式记录下对于 SSB 覆盖的影响,得出具有可推广的经验参数。而对于 Pattern 迭代寻优,也需要进行多次测试验证,同时目前支持基于路测数据以提升道路场景的覆盖,后续可以基于 MR 数据的迭代寻优来实现更多场景更加多元且精细化的覆盖优化,不仅局限于道路场景。

参考文献:

- [1] 颀斌. 大规模天线技术在 5G 中的应用[J]. 电信工程技术与标准化, 2019, 32(7): 88-92.
- [2] 史彦军, 韩俏梅, 沈卫明, 等. 智能制造场景的 5G 应用展望[J]. 中国机械工程, 2020(2): 227-236.
- [3] 谢春平. 3D MIMO 天线权值自适应调整研究[J]. 电信技术, 2019(4): 27-30.
- [4] 李瑛. 5G 多天线技术链路级仿真研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2018.
- [5] 麻鹏程. 5G 大规模移动通信阵列天线高效仿真分析[J]. 通讯世界, 2019, 26(9): 193-194.
- [6] 宋巍, 郑志刚, 吴端法, 等. 5G 广播波束场景化规划研究[C]// 5G 网络创新研讨会(2019)论文集, 2019.
- [7] 吴俊华. 5G Massive MIMO 系统波束管理分析[J]. 中国新通信, 2019, 21(15): 88-89.
- [8] 朱立雷, 许建涛, 王鹏颖. 基于 5G MIMO 特性的场景化小区波束研究[J]. 数据通信, 2019(4): 1-5+10.
- [9] 许森, 张光辉, 曹磊. 大规模多天线系统的技术展望[J]. 通信技术, 2013(12): 25-28.

作者简介:

王晓刚, 高级工程师, 硕士, 主要从事移动网络优化、NB-5G 新技术领域应用和推广工作; 杜健, 工程师, 硕士, 主要从事 5G 应用研究工作; 李婵婵, 工程师, 硕士, 主要从事移动网络优化和 5G 新技术应用工作; 张水斌, 工程师, 主要从事移动网络优化和 5G 网维护等工作。