

3.1 无线网络优化概述

学习目标

- ◆ 熟悉无线网络优化的流程。
- ◆ 了解 5G 网络优化的主要特点。

3.1.1 无线网络优化基本概念

网络优化简称“网优”，是指通过各种硬件或软件技术使网络性能达到我们需要的最佳平衡点。移动通信网中，由于用户的移动性和电波传播的复杂性，无线信号常常随着用户数量和周围环境的变化而出现各种各样的问题，影响整个移动通信网的服务质量，因此移动通信网络优化的重心是无线网络优化。

无线网络优化工作是指对即将投入运行或运行中的无线网络，进行有针对性的参数采集和数据分析，找出影响无线网络运行质量的原因，并且通过参数调整和采取某些技术手段使无线网络达到最佳运行状态，使现有无线网络资源获得最佳效益，同时也对无线网络今后的维护及规划建设提出合理建议。优化调整过程往往是一个周期性的、长期的过程。

无线网络优化按时间阶段分为工程优化和运维优化两类。工程优化在首期建设和后期扩容完成后进行，保证新建站接入无线网络后的正常运行以及无线网络性能指标的达标。运维优化是对运营的现网进行运维优化，保证无线网络质量，提高用户体验。

1. 工程优化

无线网络工程优化的目标是确保建设完成的站点顺利入网，达到覆盖和业务等的验收标准。工程优化是一个从单站到全网优化范围逐步扩大、从基础覆盖到业务性能优化内容逐步深入的过程。

无线网络工程优化的流程如图 3.1 所示。

1) 单站验证

单站验证的目的是确保每个站点的基础业务功能正常，减少后续 RF 优化的盲目性，

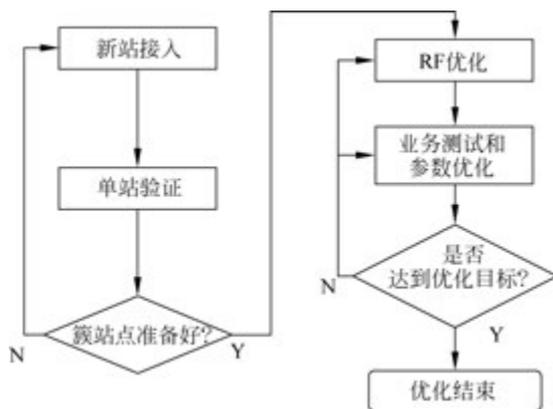


图 3.1 无线网络工程优化的流程

提高网络优化的工作效率。单站验证的主要工作内容有站点配置验证、站点覆盖验证、站点业务验证。

2) RF 优化

RF 优化也叫射频优化,目的是确立主服务小区,使各小区有合理的覆盖范围,保证下一步业务参数优化时无线信号分布和覆盖正常。RF 优化的主要工作内容有优化无线信号覆盖、优化邻区配置、控制干扰和均衡基站负荷。

3) 业务优化

业务优化的目的是解决网络中存在的业务问题,使网络性能 KPI(key performance indicator,关键绩效指标)达到验收指标。业务优化主要工作内容有接入性能优化、移动性能优化、速率性能优化等。

2. 运维优化

运维优化也叫日常优化,是对建设完成后投入运营的现网进行优化,其目标是确保网络运行的性能和质量。运维优化的主要的工作有投诉处理、专项性能提升、特殊场景优化等。

无线网络运维优化的工作方法如图 3.2 所示。

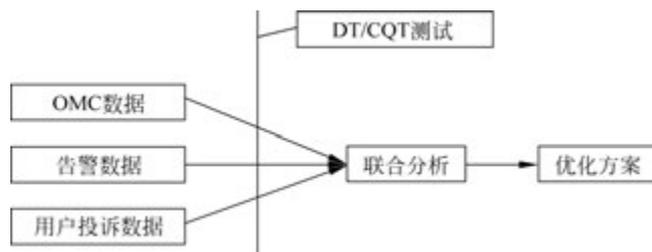


图 3.2 无线网络运维优化的工作方法

1) 数据采集

无线网络优化首先是采集无线网络运行的数据。在后台可以采集到 OMC(operation and maintenance center,操作维护中心)数据(如无线接通率、掉线率、数据流量、切换成功

率等)、告警数据和用户投诉数据。通过路测(DT)和呼叫质量测试(CQT)可以得到问题地点的无线网络质量数据(如覆盖指标、上/下行速率等)

2) 问题处理

对采集得到的数据进行联合分析,找到原因,最后制定优化方案,并进行优化调整。无线网络问题处理流程如图 3.3 所示。



图 3.3 无线网络问题处理流程

3.1.2 5G 无线网络优化的特点

5G 无线网络与其他无线网络一样,有常见的覆盖类问题、干扰类问题、事件类问题、感知类问题等。常规的无线网络优化流程、问题处理流程以及常用的优化措施都适用 5G 无线网络优化工作,除此之外,由于 5G 网络的组网方式和特性,在无线网络优化过程中还需要注意以下几点。

- (1) 无线覆盖优化: 5G 有更多波束覆盖场景,优化中需要结合不同场景。
- (2) 锚点关系的优化: 在 NSA 组网下,要关注 EN-DC 各类参数。

(3) 站址或天线位置优化: 5G 部署灵活, 且 5G 覆盖范围较小, 在优化过程中, 可以对 5G 站址或者天线位置提出更好的建议。

(4) 邻区关系优化: 邻区关系类型多样, 尤其要关注异系统互操作邻区。

(5) 上/下行速率的优化: 要满足 5G 高速率要求。

(6) 4G/5G 协同覆盖优化: 4G 与 5G 网络互为补充, 优先保证用户 5G 驻留。



思考题

1. 什么是无线网络优化?
2. 请说出无线网络工程优化的流程, 以及每个阶段的目的和主要工作内容。

3.2 覆盖优化



学习目标

- ◆ 了解覆盖优化的作用和目标。
- ◆ 理解 5G 无线覆盖指标。
- ◆ 掌握覆盖常见的问题及解决思路。

3.2.1 无线覆盖指标

1. 覆盖指标

5G 系统中覆盖类的关键指标主要是 RSRP 和 SINR。具体来说是对两种信号进行测量, 如表 3.1 所示, SS-RSRP/SINR 是对广播同步信号块(SSB)进行测量得到的指标, 体现广播信道的覆盖与可接入能力, 是小区级指标, 作为重选、接入、切换等重要参考依据, 也是衡量覆盖的重要指标。CSI-RSRP/SINR 是对信道状态信息参考信号(CSI-RS)进行测量得到的指标, 体现业务信道的能力, 是用户级指标, 影响用户的感知速率。

表 3.1 无线覆盖常用指标

SS-RSRP	CSI-RSRP	SS-SINR	CSI-SINR
空闲态	连接态	空闲态	连接态
表征广播信道的电平强度, 影响接入、切换性能	近似表征业务信道的电平强度, 影响用户的体验速率	体现小小区 SSB 的碰撞情况	确定 CQI、Rank 值的重要依据

2. 覆盖标准

针对不同目标, 覆盖标准有所不同, 如表 3.2 所示。

表 3.2 5G 覆盖标准

场 景	影 响 指 标	参 考 标 准
驻留、接入	SS-RSRP	驻留 S 准则: $SS-RSRP > -128\text{dBm}$
切换		目前系统内支持同频切换, A3 为相对门限, 对于切换接入 $SS-RSRP > -105\text{dBm}$
PBCH 解调	SS-SINR	$SS-SINR > -6\text{dB}$
PSS/SSS 解调		$SS-SINR > -6\text{dB}$
平均 1Gb/s 精品路线(4T8R)	CSI-RSRP	无邻区用户干扰, 平均 CSI-RSRP: -77dBm (经验值)
CPE 平均 400Mb/s(2T4R)		无邻区用户干扰, 平均 CSI-RSRP: -80dBm (经验值)

在对无线网络覆盖测试时,一般将测试点分为好点、差点等不同等级来表述覆盖的好坏。根据经验,一般按照以下分类。

极好点: $SS-RSRP \geq -70\text{dBm}$ 且 $SS-SINR \geq 25\text{dB}$ 。

好点: $-80\text{dBm} \leq SS-RSRP < -70\text{dBm}$ 且 $15\text{dB} \leq SS-SINR < 20\text{dB}$ 。

中点: $-90\text{dBm} \leq SS-RSRP < -80\text{dBm}$ 且 $5\text{dB} \leq SS-SINR < 10\text{dB}$ 。

差点: $-100\text{dBm} \leq SS-RSRP < -90\text{dBm}$ 且 $-6\text{dB} \leq SS-SINR < 0\text{dB}$ 。

当然,具体测试的结果不一定 SS-RSRP 和 SS-SINR 同时达到标准值,例如,在无主覆盖时,会出现 SS-RSRP 较好而 SS-SINR 较差的情况。

在路测中,覆盖合格的标准是 $SS-RSRP \geq -100\text{dBm}$ 且 $SS-SINR \geq -6\text{dB}$ 。达到该标准的采样点占比,也称为覆盖合格率。不同的运营商对覆盖合格率标准会有少许不同,通常覆盖合格率要在 90% 以上。

3.2.2 覆盖优化基本概念

1. 覆盖优化的重要性

无线网络覆盖优化是提高无线通信网络质量的关键。通过覆盖优化,能够确保无线网络在各个区域都有良好的覆盖,可以减少信号衰减和干扰,提高网络信号的传输质量和效率。

覆盖优化是工程优化的第一步,也是最重要、最基础的一步。在系统的覆盖区域内,通过调整天线、功率以及邻区关系等手段使最多地方的信号满足业务所需的最低电平的要求,尽可能利用有限的功率实现最优的覆盖,减少由于系统弱覆盖带来的用户无法接入网络或掉话、切换失败等。在覆盖能够保证的基础上再进行业务性能优化,最后过渡到整体性能优化阶段,保证无线网络优化工作有序高效地开展。

2. 覆盖优化的目标

- (1) 使每个无线小区都有一个均衡的合理的覆盖范围。
- (2) 保证小区与小区之间无覆盖盲点。
- (3) 小区衔接区域存在明显的切换带。

3. 覆盖优化的措施

可以通过路测了解整个覆盖区域的信号覆盖状况,对无线网络进行整体覆盖评估,确保达到规划设计要求的覆盖目标。大部分的覆盖问题能够通过调整如下站点工程参数加以解决(优先级由高到低排列):天线下倾角、天线方向角、天线功率、天线高度、天线位置、站点位置、新增站点。

4. 覆盖优化的原则

无线覆盖优化过程中,需要遵循以下原则。

- (1) 先优化 SS-RSRP/CSI-RSRP,后优化 SS-SINR/CSI-SINR。
- (2) 先优化越区覆盖,再优化重叠覆盖。
- (3) 优化切换带、控制重叠覆盖,保障 SS-RSRP/CSI-RSRP 的同时优化乒乓切换。
- (4) 先调整软参,后硬件调试或站点拓扑调整。

3.2.3 常见无线覆盖问题及优化措施

1. 弱覆盖问题及优化措施

1) 表现特征

一个区域的主导小区的信号较弱(SS-RSRP 低于 -100dBm),并且邻区信号也较弱(最强邻区的 SS-RSRP 也低于 -100dBm)。SS-RSRP 低于 -100dBm 的采样点数量占总采样数量比例大于 5%,该区域为弱覆盖区域。弱覆盖问题经常出现在凹地、山坡背面、电梯井、隧道、地下室、高大建筑物内部等。

如果 SS-RSRP 低于小区的最低接入门限,手机通常无法驻留小区、无法发起位置更新和位置登记而出现“掉网”的情况。如果 SS-RSRP 低于或者刚能满足全覆盖业务的最低要求,加上干扰的影响,使得 SINR 也很低,将导致全覆盖业务接入困难、掉话等问题。

2) 原因

造成弱覆盖的原因有很多,常见的有以下几种。

- (1) 建筑物引起阻挡。
- (2) 硬件设备故障导致。
- (3) 工程安装质量差,造成天线挂高、方位角、下倾角等工程参数与规划不一致。
- (4) 发射功率配置低,无法满足网络覆盖要求。
- (5) 网络规划考虑不周全,站点布局不合理。
- (6) 邻区漏配或者错配,造成路测数据显示弱覆盖假象。

3) 优化措施

优化的目的是在弱覆盖区域找到一个合适的信号并使之加强,从而使弱覆盖有所改善。弱覆盖问题通常可以采用以下应对措施。

- (1) 核查天线工程参数,通过调整天线方向角、下倾角、天线挂高等工程参数尽量保证天线主瓣方向能够对向弱覆盖区域。

(2) 调整天线发射功率,对弱覆盖区域进行有效的功率增强。

(3) 新增站点或者 RRU 进行补盲,从根本上解决问题。对于站间距过大(超过 800m)的两站点建议中间位置直接加宏站。周边存在阻挡,调整天线工程参数依然无法解决问题,且距离基站小于 100m 的弱覆盖区域,可采用微站方案解决。凹地、山坡背面等引起的弱覆盖区可用新增宏站,以延伸覆盖范围。电梯井、隧道、地下车库或地下室、高大建筑物内部的信号盲区可以利用 RRU、室内分布系统、泄漏电缆、定向天线等方案来解决。

2. 越区覆盖及优化措施

1) 表现特征

通常 UE 总是选择距离最近、信号最强的小区作为其服务小区。当 UE 检测到距离很远的某个小区的信号,且信号强度较强,说明那个小区在此地产生了越区覆盖(图 3.4)。越区覆盖区域干扰较大,并且会产生切换失败。

2) 原因

越区覆盖是指由于基站天线挂高过高或者下倾角过小,导致信号覆盖范围过远,从而超出了原本规划的服务区域,覆盖到了其他基站应该覆盖的区域,如图 3.4 所示。越区覆盖使得主小区受到较大干扰。

在某些复杂的无线环境下,经过密集建筑物的反射、折射后,在远离小区有效覆盖的区域外形成一个强场区域,也称“孤岛效应”。图 3.5 中,B 小区离 A 小区很远,原本这两个小区的信号不会有重叠和干扰,但是在某种巧合下,B 小区的信号出现在 A 小区,形成一个孤岛。移动台在“岛”上接入网络时,实际是接入了 B 小区信号。由于距离较远,本地的小区与这个“岛”一般在规划时不会配置邻区关系,因此导致移动台进出该“岛”时无法切换。

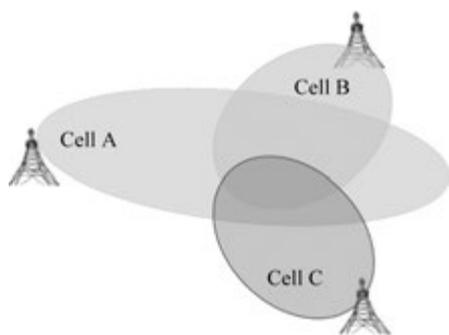


图 3.4 越区覆盖

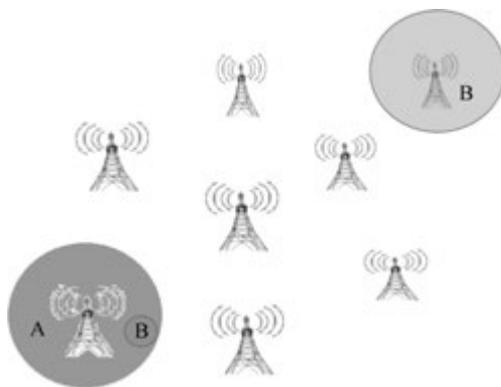


图 3.5 孤岛效应

3) 优化措施

这类问题通常采用以下应对措施。

- (1) 优先通过增大下倾角来压缩覆盖范围。
- (2) 对于美化盒等原因导致的天馈无法调整的,需推动运营商进行站点整改。

(3) 对于天馈和站点整改后依然无法解决的越区覆盖,可适当降低越区小区的发射功率,但也不能降低过多,否则会影响其本身的业务性能。

(4) 若越区覆盖产生了孤岛效应,又实在无法消除孤岛区域信号,则优化邻区配置,使业务能正常切换。

(5) 如果还出现同频 PCI 干扰,则需要修改频率或者 PCI。

在一些特殊场景,如狭窄的街道、江河的两岸,由于无线传播环境良好,信号可能沿特定方向传播得很远,在规划时要事先考虑越区覆盖的可能,在优化时也要重点关注。

3. 无主覆盖

1) 表现特征

在某个区域,存在多个小区的 RSRP 强度相当。当与最强小区 RSRP 相差 6dB 范围内的邻区个数在 3 个以上时,这样的地区称为无主覆盖区域。无主覆盖区域通常 RSRP 较好,但是 SINR 较差,重选、切换混乱,业务速率不高。

2) 原因

密集城区里站间距较小,很容易发生多个小区重叠的情况,如图 3.6 所示。在重叠区域每个小区的信号强度相当,UE 在连接到某个小区时,其他小区对其造成较大干扰,导致速率不高。同时由于该区域没有一个主导信号,导致 UE 频繁进行小区重选或切换,增加掉话风险。

3) 优化措施

解决无主覆盖问题,其根本目的是在重叠覆盖的地方产生一个足够强的主导小区信号,同时削弱其他弱信号小区,以提高网络性能。基于距离原则同时结合现场测试,选出此区域的主覆盖小区,通过调整下倾角、方位角和增大发射功率等措施提升主小区覆盖。对于无覆盖需求的非主覆盖小区,通过方位角优化调整主覆盖方向,通过下压下倾角收缩覆盖范围。

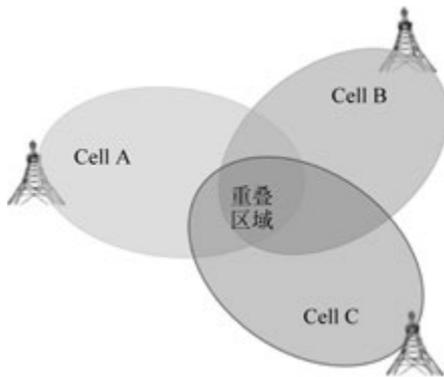


图 3.6 重叠覆盖区域

3.2.4 5G 波束覆盖优化

1. 5G 多波束覆盖场景

5G 全新的 massive MIMO 天线(MM 天线)采用“宽度+高度”双方向的空域维度覆盖方式,相比传统的天线,MM 天线权值配置在方位角和下倾角等调整上更为灵活,而且可以在后台实现。无论是天线的水平波瓣宽度、垂直波瓣宽度,还是方位角、下倾角,MM 天线权值均可自适应配置。5G 多波束覆盖场景如表 3.3 所示。

表 3.3 5G 多波束覆盖场景

覆盖场景 ID	覆盖场景	场景介绍	水平 3dB 波宽/(°)	垂直 3dB 波宽/(°)	倾角可调范围/(°)	方位角可调范围/(°)
SCENARIO_1	广场场景	非标准 3 扇区组网,适用于水平宽覆盖,水平覆盖比 SCENARIO_2 大,比如广场场景和宽大建筑。近点覆盖比 SCENARIO_2 略差	110	6	-2~9	0
SCENARIO_2	干扰场景	非标准 3 扇区组网,当邻区存在强干扰源时,可以收缩小区的覆盖范围,减少邻区干扰的影响。由于垂直覆盖角度最小,适用于低层覆盖	90	6	-2~9	-10~10
SCENARIO_3	干扰场景	非标准 3 扇区组网,当邻区存在强干扰源时,可以收缩小区的覆盖范围,减少邻区干扰的影响。由于垂直覆盖角度最小,适用于低层覆盖	65	6	-2~9	-22~22
SCENARIO_4	楼宇场景	低层楼宇,热点覆盖	45	6	-2~9	-32~32
SCENARIO_5	楼宇场景	低层楼宇,热点覆盖	25	6	-2~9	-42~42
SCENARIO_6	中层覆盖广场场景	非标准 3 扇区组网,水平覆盖最大,且带中层覆盖的场景	110	12	0~6	0
SCENARIO_7	中层覆盖干扰场景	非标准 3 扇区组网,当邻区存在强干扰源时,可以收缩小区的覆盖范围,减少邻区干扰的影响。由于垂直覆盖角度相对于 SCENARIO_1~SCENARIO_5 变大,适用于中层覆盖	90	12	0~6	-10~10
SCENARIO_8	中层覆盖干扰场景	非标准 3 扇区组网,当邻区存在强干扰源时,可以收缩小区的覆盖范围,减少邻区干扰的影响。由于垂直覆盖角度相对于 SCENARIO_1~SCENARIO_5 变大,适用于中层覆盖	65	12	0~6	-22~22

续表

覆盖场景 ID	覆盖场景	场景介绍	水平 3dB 波宽/(°)	垂直 3dB 波宽/(°)	倾角可调范围/(°)	方位角可调范围/(°)
SCENARIO_9	中层楼宇场景	中层楼宇,热点覆盖	45	12	0~6	-32~32
SCENARIO_10	中层楼宇场景	中层楼宇,热点覆盖	25	12	0~6	-42~42
SCENARIO_11	中层楼宇场景	中层楼宇,热点覆盖	15	12	0~6	-47~47
SCENARIO_12	广场+高层楼宇场景	非标准3扇区组网,水平覆盖最大,且带高层覆盖的场景。当需要广播信道体现数据信道的覆盖情况时,建议使用该场景	110	25	6	0
SCENARIO_13	高层覆盖干扰场景	非标准3扇区组网,当邻区存在强干扰源时,可以收缩小区的覆盖范围,减少邻区干扰的影响。由于垂直覆盖角度最大,适用于高层覆盖	65	25	6	-22~22
SCENARIO_14	高层楼宇场景	高层楼宇,热点覆盖	45	25	6	-32~32
SCENARIO_15	高层楼宇场景	高层楼宇,热点覆盖	25	25	6	-42~42
SCENARIO_16	高层楼宇场景	高层楼宇,热点覆盖	15	25	6	-47~47

在空闲状态下,UE通过测量小区的SSB最优波束进行波束选择(5G小区的SSB信号采用波束轮发方式)。在RRC连接状态下,UE通过测量小区为其配置的CSI-RS作为信道估计,并将信道质量信息反馈给基站,基站根据CSI-RS反馈信息,通过波束管理,针对终端的不同位置,从不同方位、倾角的多个波束中选择最优波束向UE发送数据,达到增强下行覆盖、减少干扰的目标效果。

2. 5G波束覆盖优化

5G采用调整多波束天线的权值,例如波束数量、方向角、水平波宽等参数,能够精确控制覆盖方向,提高覆盖质量。同时NR支持远程调整下倾角和方位角的功能,从而降低选站规划和站点优化难度及成本。

5G所有下行信道都是采用多个窄波束发送的,在进行5G无线RF优化时,需要专门针对massive MIMO的波束进行优化。

(1) 调整以 1° 为步进,整体调整广播信道窄波束的倾角和方位角。

(2) 针对邻区干扰比较严重的场景,可以调整倾角和方位角,让波束指向本小区用