

基于AI的天馈自优化实现研究

Research on Implementation of Self Optimization of Antenna Feed with AI

汤泽琦,梁松柏,张 凯,胡东旭(中国联通河南分公司,河南 郑州 450008)

Tang Zeqi,Liang Songbai,Zhang Kai,Hu Dongxu(China Unicom Henan Branch,Zhengzhou 450008,China)

摘 要:

研究了下倾角动态迭代寻优算法、天馈最佳方向角定位算法和图像识别精灵算法。倾角寻优算法通过电子下倾方案迭代,遍历所有倾角组合,找出小区弱覆盖栅格占比、质差栅格占比与导频污染栅格占比综合得分最小的天馈倾角优化方案,与高斯分布模型算法得出的天馈最佳方向角,形成天馈调整脚本;进而驱动图像识别精灵机器人,实施网管远程天馈调整动作。构建天馈闭环管控系统,实施天馈自动化闭环评估优化。经验证,原有越区覆盖、质量得到有效改善。本方法快速、有效、便捷,适用于匹配5G权值快速优化的4G/5G网络覆盖质量联合优化。

Abstract:

It studies the dynamic iterative optimization algorithm of down tilt angle, the location algorithm of antenna and feed optimal direction angle and the image recognition algorithm. Through the iteration of the electronic down tilt scheme, the down tilt optimization algorithm traverses all the down tilt combinations and finds the antenna feed down tilt optimization scheme with the minimum comprehensive score of the cell weak coverage grid proportion, the poor quality grid proportion and the pilot pollution grid proportion, and then forms the antenna adjustment script with the best direction angle of the antenna obtained by the Gaussian distribution model algorithm, further more, combined with the image recognition wizard robot, it implements the remote antenna feed adjustment of network management. And the closed-loop evaluation are conducted to implement the closed-loop evaluation optimization of antenna feeder automatically. It is verified that the coverage and quality of the original cross-district are improved effectively. This method is fast, effective and convenient, which is suitable for the joint optimization of 4G/5G network coverage quality.

Keywords:

Electronic down tilt; MR; Image recognition; Rolling optimization

关键词:

电子下倾; MR; 图像识别; 滚动优化

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2022.02.006

文章编号: 1007-3043(2022)02-0033-07

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):



引用格式: 汤泽琦,梁松柏,张凯,等. 基于AI的天馈自优化实现研究[J]. 邮电设计技术, 2022(2): 33-39.

1 概述

日益增长的无线数据业务需求促使移动通信技术不断更迭^[1]。文献[2]以人工智能(AI)、边缘计算与物联网为基础,在人类社会、信息空间、物理世界的基础上,针对虚拟世界提出了6G中“灵”的概念,突出智

能化理念。为更好实现移动互联网运营,运营商以实现无线网络自主化、自动化、减少人工运营成本为目标,主导提出了自组织网络(SON)的概念。

目前基于5G网络部署AAU需求,进行3G、4G天线收编,通过整合实现3G、4G天线一体化,整合后的天线基本具备了远程调整天线下倾角的能力;借助AISC v2.0协议,通过后台电调实现天馈远程优化,打通了移网天馈自优化的最关键一环。移网优化覆盖、

收稿日期: 2021-12-16

质量、容量三大体系指标相互耦合与博弈。在复杂的无线环境中,增强覆盖,提升质量,优化容量一直是移网优化的核心与难点;同时原有网络如何适应5G网络天线权值的自动化,快速、有效实现5G/4G/3G协同优化是当下需考虑的重点。为提升覆盖、降低干扰,本文引入MR,落地栅格化策略、质差区域评估策略与天馈电子下倾寻优调整模型,通过Python实现MR数据统计分析、优化方案的输出、优化脚本制作、优化方案网管操作的执行自动化,优化效果评估自动化,并分权分域推送信息,从而构建了一种天馈自动评估、自动优化和自动反馈的闭环天馈自动优化管理系统,实现4G/5G天线快速、自动化、智能化、协同优化的目的。

2 天馈自优化流程及其原理

2.1 AI优化流程

优化过程包含MR栅格化算法、栅格统计评估算法、小区评估算法,栅格化覆盖模型修正算法。具体流程如图1所示。其中AI单元1作为专家系统通过自动化分析数据形成网管的执行脚本;AI单元2作为网管与跟踪管理的执行单元,模拟人工操作网络与工单系统形成问题执行跟踪与闭环管理,同时采用模拟人工执行有效隔离专网与公网,提高网管安全性,确保标准化操作动作。

2.2 优化核心算法确定

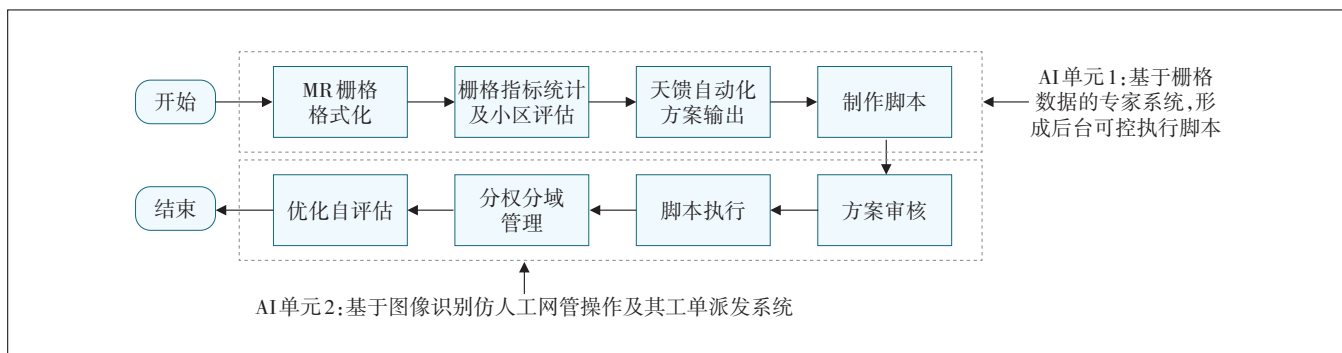


图1 优化主流程

引入核心算法——下倾角动态迭代寻优算法、天线最佳方向角定位算法和图像识别算法。其核心思想是通过小区评估弱覆盖栅格占比、质差栅格占比与导频污染栅格占比,根据栅格修正优化动作策略,确定小区天馈上抬与下压的动作,并根据当前工参约束单次优化各小区电子下倾,并遍历所有下倾角的组合和方式,找出综合得分最小的方案为优化方案。通过图像识别精灵技术,模拟人的操作动作,实施网管远程天馈调整,打破厂家设置的技术壁垒。

2.3 MR栅格化算法

2.3.1 行政区域栅格化

如图2所示,行政区面积对于地球表面可视为球面上的点,球半径为6 378.137 km。

则坐标AB间的最短球面距离 L 为:

$$L = 2R \times \arcsin \sqrt{\sin^2 \frac{W_A - W_B}{2} + \cos(W_A) \cos(W_B) \sin^2 \frac{J_A - J_B}{2}} \quad (1)$$

其中, $R=6\,378.137\text{ km}$, A, B 点经纬度分别为

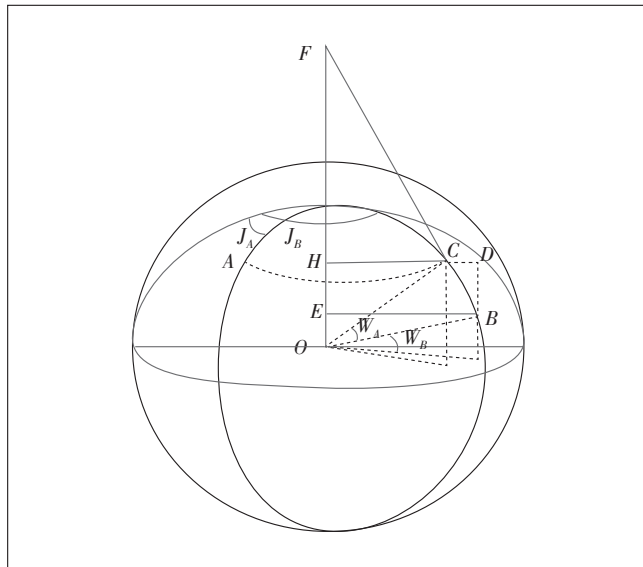


图2 地球模型示意图

$(W_A, J_A), (W_B, J_B)$ 。

栅格 $G \times G$ 的中心点经纬度 (W_g, J_g) ,计算栅格上下界的插值 $W_{g\Delta}$ 与 $J_{g\Delta}$ 。

$$W_{g\Delta} = \overline{W_{g\Delta}} - W_{g\Delta} \quad (2)$$

$$J_{g\Delta} = \overline{J_{g\Delta}} - J_{g\Delta} \quad (3)$$

$\overline{W_{g\Delta}}$ 、 $\overline{J_{g\Delta}}$ 分别为与 W_g 相差 $\pm G/2$ m 的纬度, $\overline{J_{g\Delta}}$ 、 $\overline{J_{g\Delta}}$ 分别为与 J_g 相差 $\pm G/2$ m 的经度。

2.3.2 栅格编码算法

如式(4)所示,栅格编码算法可表示为:

$$\text{mapid} = \text{int} \left[\text{str} \left(\left\lfloor \frac{W_g}{W_{g\Delta}} \right\rfloor \right) + \text{str} \left(\left\lfloor \frac{J_g}{J_{g\Delta}} \right\rfloor \right) \right] \quad (4)$$

以栅格构建元组 (mapid,id) 为键进行栅格化,其中 id 为工参中的 CellID。统计在 (mapid,id) 的采样点数、平均 RSRP、平均 RSRQ。

2.3.3 MR 栅格化

鉴于 MR 数据为 G/T 级粒度大数据,为防止计算内存不足,使用分片的办法处理数据。MR 数据以 10 000 行为一子表与工参表关联,在分表的过程中计算采样点与基站的距离,通过自定义的栅格化算法,将经纬

度修正为栅格经纬度,并对应标明栅格的编号,把栅格编号设定为栅格数据的唯一标识。在覆盖映射关系上除了栅格标识,还需引入 CellID 进行识别,以明确站址与栅格的映射关系。栅格编号可以作为栅格数据统计的识别,其保证了 MR 数据的完整性,将栅格遍历二维键降为一维,可加快数据统计、排序、聚合等的速度。

鉴于地理栅格必然具有经纬度,编码与栅格经纬度采用可逆计算的方式,既满足广域覆盖计算的需要又满足栅格推演的需求。运行时,统计 MR 中出现的小区,与工参小区做差集,获取未采集到 MR 的小区,整理并保存到问题小区中,以便核查小区故障。将基站与数据相距超过预定小区覆盖门限的采样点删除,并统计到问题栅格小区中,形成脏数据集。新数据集若出现主覆盖小区缺失,则可核查小区是否是搬迁后未更新工参,以便复查搬迁工单内容(见表1)。

表1 栅格数据实例

mapid	id	LteScRSRP	LteScRSRQ	LteNcRSRP	LteNcRSRQ	PoorCoverageCount	BadQualityCount	PilotPollution
20628778638	292596-51	35	22	27.00	11.0	3	0	0
20630578751	279477-51	42	16	0.00	0.0	0	0	0
20631178755	279477-51	46	17	42.11	11.5	0	0	1

2.4 栅格统计与小区评估

以栅格标识为键通过聚合运算,统计栅格平均 RSRP、RSRQ、主服务小区数量,分别为3个指标设定门限,将低于指标要求的设定为弱覆盖栅格(栅格平均 LteScRSRP<40)、质差栅格(栅格平均 LteScRSRQ<12)和导频污染栅格(PilotPollution>3)三大类。

小区评估以小区标识为键进行聚合运算,分别统计弱覆盖占比、质差占比与导频污染占比,同样设定响应门限,将指标不达标的小区分别定义为高弱覆盖占比小区、高质差面积小区和导频污染占比高的小区。

栅格数据以 mapid 为键统计采样点数、平均 RSRP、平均 RSRQ、主覆盖小区个数。

质差区域中心点 (W,J):

$$(W,J) = \left(\frac{\sum_i N_i W_i}{\sum_i N_i}, \frac{\sum_i N_i J_i}{\sum_i N_i} \right) \quad (5)$$

质差区域范围计算:

$$R = \max \left[r_i | r_i^2 = (W_i - W)^2 + (J_i - J)^2 \cap N_i > 3 \right] \quad (6)$$

式中:

N_i ——栅格内 i 小区的采样点数

W_i ——栅格内 i 小区的纬度

J_i ——栅格内 i 小区的经度

r_i ——采样点栅格到主服务小区 i 的距离

覆盖预估,如图3所示,令 S 为基站位置, G 为质差区域中心, R 为质差区域半径, $\overrightarrow{SA}$ 为天线方向角, BG 垂直于 AS , SG 长度为 d , $\angle ASC = 30^\circ$, $\angle ASG = \alpha$ 。考虑到水平波瓣宽度为 65° ,本文保守采用 60° ,天线优化最大辐射水平宽度为 120° ,以优化主波瓣为目的,预估天线覆盖距离 D 。

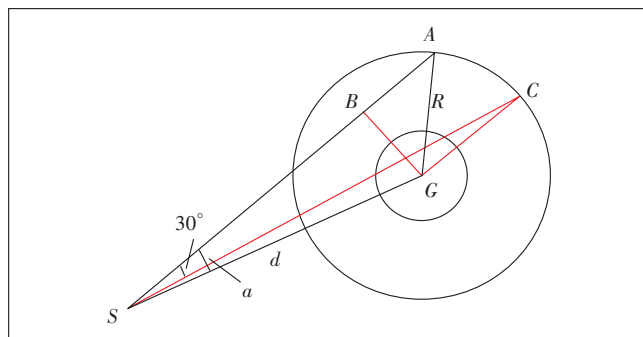


图3 站址与弱覆盖区域示意图

若 $|\alpha| \leq 60$:

$$D = d \cos(30^\circ - |\alpha|) + \sqrt{R^2 - d^2 \sin^2(30^\circ - |\alpha|)} \quad (7)$$

若 $|\alpha| > 60$:

$$D = d \quad (8)$$

2.5 倾角自优化方案制定

为保证网络运维的稳定性,寻优过程引入滚动优化模型。滚动优化模型采用半静态调度的方式,虽然得不到理想的全局最优解,但其可以反复求解,防止优化实体因工参不准和实体产生变化造成的最优解与计算所得全局最优解的误差不可控问题。此方法可反复矫正数据预测与处理过程中因地形、水面反射,信号放大器、无线回传、外部干扰、预测不足等因素引起覆盖求解问题。

2.5.1 天馈倾角优化模型

基于传统覆盖模型:

$$\tan(m + e - \theta/2) = H/D \quad (9)$$

引入滚动优化修正策略:

$$st. e = \begin{cases} \sum_{i=1}^t \varepsilon_j e_j + \varepsilon_t \bar{e}, \sum_t \varepsilon_j e_j > \bar{e} \\ \sum_t \varepsilon_j e_j \bar{e} > \sum_t \varepsilon_j e_j > \underline{e} \\ \sum_{i=1}^t \varepsilon_j e_j - \varepsilon_t \underline{e}, \sum_t \varepsilon_j e_j < \bar{e} \end{cases} \quad (10)$$

式中:

m ——机械下倾

e ——电子下倾

θ ——垂直波瓣宽度

H ——天线挂高

ε_j ——第 j 次优化的修正因子

$\bar{e}, \underline{e}$ ——电子下倾波动的上下界,由调整边界与单次动作边界整合而成

滚动优化记本次优化为动作 t ,优化前工参为状态为阶段 $t-1$,阶段 $t-x$ 为最近 x 次历史工参。

引入栅格数据修正策略如表2所示。

此外,滚动优化模型以事件为触发,比如发现基站工参错误,修改后,可再次遍历优化;MR采集不完整时,待数据补充完整后,再遍历优化。

2.5.2 覆盖拟合及模型遍历

每次求解前,读取现有工参,存入机械电子下倾,设定电子下倾动作约束、实际电子下倾的约束和小区问题类型进行操作动作约束。采用最小二乘法求解基站的平均传播覆盖拟合模型,对比最远覆盖点与理

表2 栅格修正策略

RSRP与阈值	RSRQ与阈值	主服务小区个数与阈值	栅格筛选动作	天馈倾角优化动作
+	+	+	保留	下压
+	+	-	删除	无
+	-	+	保留	下压
+	-	-	保留	无
-	+	+	保留	下压
-	+	-	保留	抬升
-	-	+	保留	下压
-	-	-	保留	抬升

注:“+”表示超阈值,“-”表示低于阈值。

论最远覆盖点的距离,选择距离小的点为拟合切换点,求解出拟合切换门限(拟合曲线中的实际主覆盖距离。这个距离是由切换门限与迟滞决定的,但实际数据可能因为延时、等待某计数器造成MR切换的平均值与切换参数设置不符。故称其为“拟合切换门限”)。求解时,通过求解动作后的理论最远覆盖距离与拟合切换门限形成最远覆盖点,并与原拟合曲线中RSRP最大的点构建覆盖曲线,将栅格采样点到基站距离小于最远覆盖距离的栅格,按新拟合曲线进行修正,上个采样点到基站距离小于RSRP最大点距离的采样点保持原有覆盖。通过统计最远覆盖区域内的采样点弱覆盖占比与质差占比的综合指标,选取综合指标最小的电子下倾方案(见图4)。

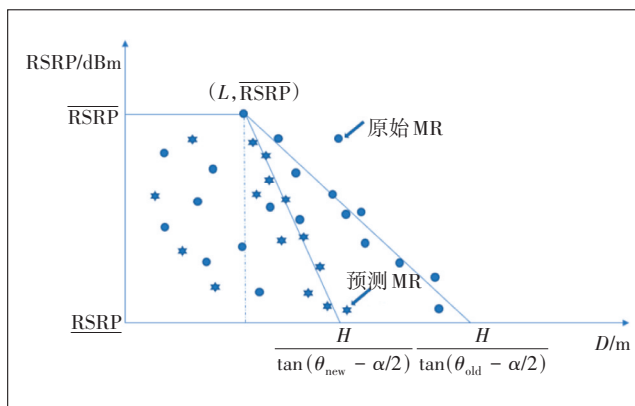


图4 优化拟合曲线

引入导频污染约束条件,以弱覆盖占比与质差占比综合值最低为评估目标,通过最小二乘法拟合小区的覆盖曲线,选取市区基站200 m,县市基站300 m内的好点为不动点,寻找覆盖边缘,推导下倾角与覆盖函数关系,保留好点内的覆盖特性;以某次寻优预测覆盖曲线与现有拟合覆盖曲线,同比现网MR覆盖情

况进行调整。弱覆盖占比占综合得分权值取其拟合度,剩余权值赋给质差占比。遍历所有方案选取综合目标值最低的方案为最终优化方案。

当覆盖距离小于 L 时预测MR与原始MR保持一致,而大于 L 则优化前后传播模型,通过最小二乘法进行拟合:

$$\min c_1 \frac{\{n\}}{P < -100} \quad (11)$$

式中:

$P_{\max}$ ——MR中某小区最高电平值

L —— $P_{\max}$ 对应的采样栅格到基站的距离

N_{sc} ——栅格主服务小区的个数

D ——栅格电平 P 距离基站的距离

x_i ——采样栅格 i 距离基站的距离

y_i ——采样栅格 i 的电平

以所有小区加权平均弱覆盖占比与质差占比的综合指标最小值为目标。约束条件,倾角动作范围约束见式(10)。通过最小二乘法线性拟合MR数据,确定系数。

通过遍历 e 的组合,保留式(11)中目标函数最小的 e 作为优化方案。

2.6 天馈方向角实现算法

利用并处理一定周期的、海量的、精准定位的AGPS MR采样点数据,并计算这类MR采样点与基站(天线)的距离和方向角;利用高斯分布统计拟合方法,确定单扇区覆盖方向的MR采样点最多的区域为用户密集区域和业务密集区域,即该区域方向为基站天线覆盖的最优方向角,实际应用时需要考虑周边基站的覆盖方向是否重叠过大,同站3个扇区之间的夹角不能小于 60° 。

2.7 图像识别执行

前面构建了基于最佳网络感知的天线下倾角和方向角的核心算法,而真正要实现天馈调整的自动化,可通过2种方式实现:一是打通厂家网管API,控制天线RCU实现自动调整;另一种方式就是开发图像识别机器人,通过图像识别拟人操作方式,机器人点击鼠标进行天馈方向角和下倾角的设置优化,传导RCU控制天线自动调整。因此,为减少技术依赖性,采用后一种方式来实现。

网管系统对某些重要操作仅提供手动操作界面,而且操作步骤完全一样,可以采用制作脚本的方式进行自动化操作。多个基础功能脚本组合在一起,以完

成更加复杂的任务。

为了解决这个问题,通过图形用户界面(GUI)自动化技术直接使用程序控制键盘和鼠标来代替人工手动操作网管系统,并注意防范操作风险。

该模块主要基于python的pyautogui、pyperclip、subprocess、time等模块实现。

pyperclip模块包含2个函数,可以向计算机的剪贴板发送文本和从剪贴板中接收文本,从而解决了使用键盘输入多语言(中文和英文等)和混合字符带来的难题。

pyautogui模块包含一些函数,可以判断屏幕分辨率和当前鼠标位置,以及模拟鼠标移动、按键和滚动鼠标滚轮。用函数pyautogui.click(clicks=1, button="left")来表示点击1次左键。

pyautogui模块在使用时,需要注意:不同的电脑屏幕分辨率设置存在差异或同一电脑的分辨率设置发生变化,网管程序升级、改版或在计算机中的安装位置发生变化,区分开始阶段和最后阶段的一次性操作(如登录、启动网元管理、退出等)与后续的重复操作、图像识别屏幕截图时出现多处图像内容几乎完全相同的情况、鼠标控制与计算机执行任务的时间协同等方面,这些问题处理不当都可能导致操作无法准确定位而出现错误。还要考虑操作错误时的异常处理,以及网管数据备份恢复。

因此,可以使用函数pyautogui.size()查看本机的屏幕分辨率。在函数pyautogui.locateOnScreen里面,使用了一个参数confidence,当值为1时,意味着每一个像素点都必须相同,但是这样的设置太严苛,导致很多情况下都无法识别,所以设置为0.8,只要像素点值有80%是一样的,就可以确认了。也可以设置参数grayscale=True,这样就可以把彩色的截图和局部截图都转换成灰色图来进行识别,这样可以降低像素点值的细微差异。

当程序执行出现异常时,可以手动将鼠标移到屏幕左上角,pyautogui模块识别到这个动作,产生pyautogui.FailSafeException异常,程序自动中止,也可以在程序中捕捉到这种异常,执行一些异常处理方案。

举例:要修改某个小区的电子下倾角,代码执行过程简述如下:①打开4G网管;②清除网管原有账号;③输入网管账号;④输入密码;⑤点击配置菜单;⑥点击配置菜单的网元管理;⑦输入CellID;⑧点击动态命令搜索框;⑨查询RET倾角;⑩设置RET倾角;⑪动态

命令选中方框;⑫动态命令:执行;⑬动态命令:设置倾角;⑭点击系统菜单;⑮点击系统菜单退出;⑯确认,退出系统。

3 天馈自优化系统效果

对某市全区开展弱覆盖、质差、MOD3专项优化,通过算例进行求解,得到覆盖评估。寻优结果拟合曲线收敛图如图5所示。

形成专项优化地图,便于DT优化人员观察问题点分布,如图6所示。统计指标如表3和表4所示,由

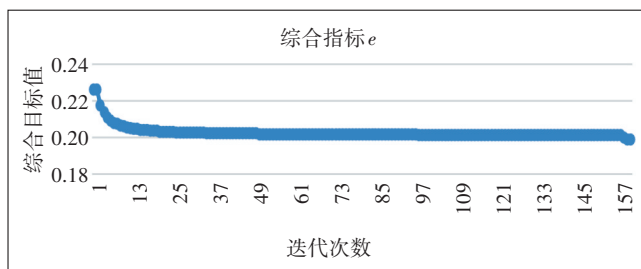


图5 拟合曲线收敛图

于该市前期天馈调整到位,经过多轮寻优调整,CQI值提升0.13,平均覆盖距离缩小200 m。

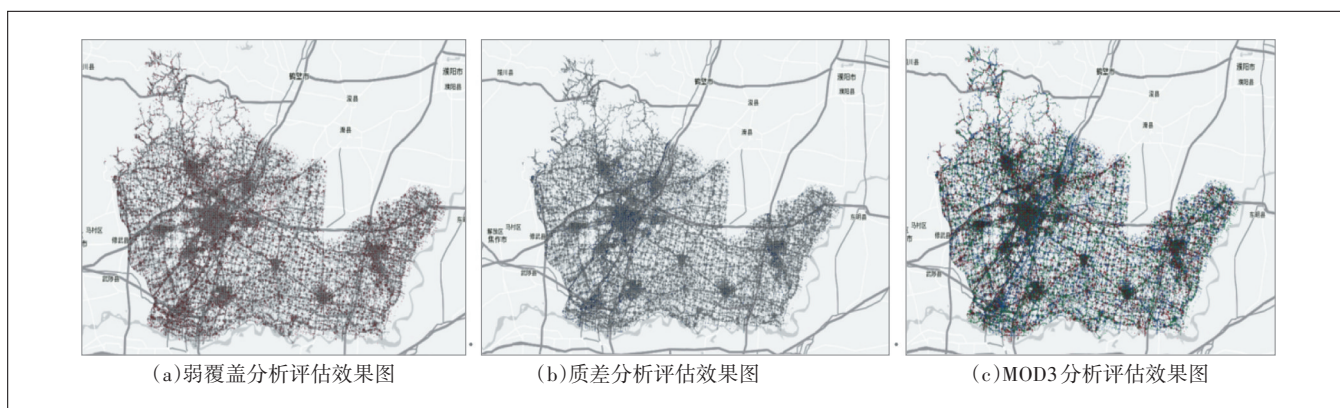


图6 弱覆盖、质差、MOD3分析评估图

表3 优化前后周对比

周次	RSRP 均值/dBm	RSRP $\geq$ -110 dBm 比例/%	RSRP $\geq$ -115 dBm 比例/%	RSRP $\geq$ -100 dBm 比例/%
2020年第9周	-91.91	96.39	99.13	75.81
2020年第10周	-91.73	96.38	99.11	76.42
2020年第11周	-91.62	96.66	99.17	77.34
2020年第12周	-91.64	96.60	99.13	77.52
2020年第13周	-91.42	96.64	99.13	77.86
2020年第14周	-91.30	96.65	99.12	78.16

表4 优化前后月对比

月度	平均 TA	平均 CQI	下行实际发 射功率/dBm	平均CQI	下行业务平均速率/ (Mbit/s)
202002	2.23	12.09	38.12	12.09	21.69
202003	2.07	12.22	38.07	12.22	21.73

具体场景切片发现,通过MR数据寻找RSRP与RSRQ边缘,选取50×50 m栅格进行算例分析。选取RSRP在-100 dBm~-110 dBm,RSRQ在-10 dB~-13.5 dB为边缘,将边缘采样点距离基站的上限设定为垂直半功率点远点。以某社区为算例进行优化,该社区移

动F3采样点原始MR数据分布如图7(a)所示。

经计算,推荐该社区移动F3机械下倾4°,电子下倾1°。优化调整后,该社区移动F3采样点遍历后采样点如图7(b)所示。整体覆盖控制合理,但针对该社区移动F3遍历MR出现了背向采样点,此为背漏造成;实际测试验证该小区在背向区域为非主覆盖小区。

综上所述,从实验结果看,优化后弱覆盖现象有所改善,TA值略有改善,CQI有所提升,用户平均感知速率保持稳定。本方法适用于长期移网优化,有助于在提升网络性能的同时,促进网络覆盖的稳定性。

4 结束语

本文引入栅格化覆盖模型修正算法、天线最佳方向角定位算法和图像识别精灵算法,通过小区评估弱覆盖栅格占比、质差栅格占比与导频污染栅格占比,根据栅格修正优化动作策略,确定小区天馈上抬与下压的动作,根据当前工参约束单次优化各小区电子下倾,并遍历所有下倾角的组合和方式,找出综合得分最小的天馈优化方案,形成天馈调整脚本。进而驱动图像识别精灵机器人,实施网管远程天馈调整动作,

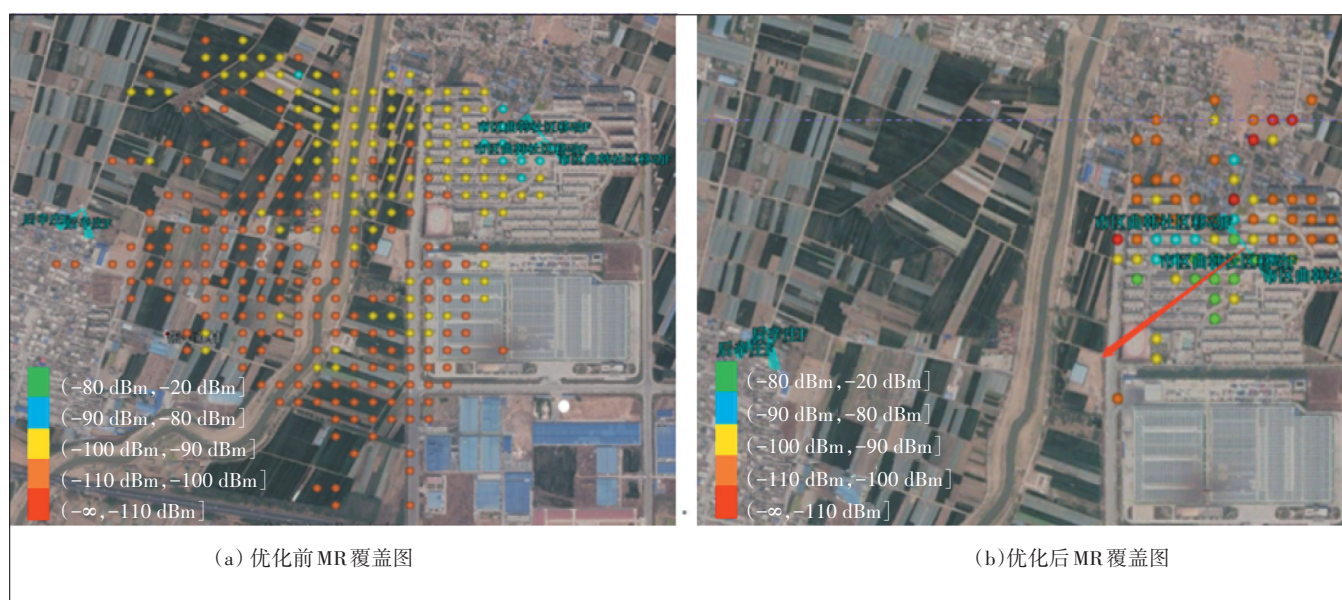


图7 某社区移动F3小区实际覆盖效果图

打破厂家设置的技术壁垒。通过场景切片实地验证,原有越区覆盖得到有效控制、CQI得到提升,用户平均感知速率保持稳定。打造天馈优化平台,固化天馈核心算法,达到快速、有效、便捷的目的;该平台适用于匹配5G权值快速优化的4G/5G网络覆盖质量联合优化,有助于提升多网网络性能,保障用户感知体验。

参考文献:

- [1] Naming for international mobile telecommunications [EB/OL]. [2021-08-17]. <http://www.itu.int/pub/R-RES-R.2015.56>.
- [2] 张平,牛凯,田辉,等. 6G 移动通信技术展望[J]. 通信学报,2019,40(1):141-148.
- [3] 梁松柏. 天线最佳方向角的定位方法及装置:CN106993299A[P]. 2017-07-28.
- [4] 于卓奇,齐岩,徐洋,等. 一种天线角度优化方法及系统:CN103428726A[P]. 2013-12-04.
- [5] 杨勇,赵荣,杜懋江,等. 一种确定天线方向角的方法和装置:CN102340806A[P]. 2012-02-01.
- [6] 李文宇. LTE/LTE-advanced 自组织网络的自优化理论和关键技术研究[D]. 北京:北京邮电大学,2013.
- [7] 梁松柏,于长松,许强. 基于NB-IoT网络覆盖的最小投资方法研究[J]. 邮电设计技术,2020(1):6-10.
- [8] 梁松柏,陈锋,宋海平,等. 基于高斯分布的基站天线最佳方向角定位算法[J]. 电信科学,2018,34(7):128-134.
- [9] 梁松柏,魏宁,任阔. 驻波对移动网覆盖和容量的影响分析[J]. 邮电设计技术,2016(6):51-54.
- [10] 梁松柏,何雪峰,宋安伟. 基于天下倾角天线的原理及应用分析[J]. 邮电设计技术,2015(10):25-30.
- [11] 梁松柏. 城区U900网络部署必要性及可行性研究[J]. 电信技术,

2014(2):20-24.

- [12] 梁松柏,李文生,魏宁,等. 高铁WCDMA双载波专网实现及策略部署研究[J]. 电信科学,2014,30(4):162-166,172.
- [13] 梁松柏,魏宁,韩广平. 利用后台实时跟踪及多载波解决全覆盖高铁网络质量[J]. 中兴通讯技术,2014,20(3):44-47.
- [14] 董建. 基站的优化方法及设备:CN110809277 A[P]. 2020-02-18.
- [15] 刘子峰,蒋颢阳. 基于人工智能技术(AI)的智能网络优化方法分析[J]. 电子世界,2012(10):2.
- [16] 盛莉莉,张进. 基于AI算法的天馈自调优系统[J]. 邮电设计技术,2019(11):5.
- [17] MING AI, LILONG WAN, JISONG WANG, 等. 一种基于天馈装置的无线网络优化方法和系统:WO2011103826 A3[P]. 2012-03-05.
- [18] 朱道虹. 一种检测天馈口信号质量的方法及装置:CN110120843B[P]. 2021-05-18.
- [19] 关淞元,唐浠桦,唐井宝. 一种AI优化数据治理的方法:CN111078780A[P]. 2020-04-28.
- [20] 左扬. 基于人工智能的5G无线网络智能规划和优化[J]. 电信科学,2020(S01):9.
- [21] 左扬. 基于人工智能的5G无线网络智能规划和优化[J]. 电信科学,2020(S01):9.
- [22] 石磊. 人工智能的5G无线网络智能规划和优化[J]. 电子技术与软件工程,2021(15):3.
- [23] 杨春刚,李丽颖,吴青,等. 一种基于AI的端到端无线通信系统及方法:CN109245854A[P]. 2019-01-18.

作者简介:

汤泽琦,毕业于广西大学,硕士,主要从事无线优化分析规划工作;梁松柏,毕业于北京大学,高级工程师,硕士,主要从事无线网络优化工作;张凯,毕业于黄淮学院,主要从事无线优化分析工作;胡东旭,毕业于宁夏大学,硕士,主要从事无线优化分析规划工作。