

基于频谱的无线网络效能提升优化研究

莫崇领 何 苗 马亚辉 李秋颖 韩明帅

中国联通天津市分公司 天津 300140

摘要：随着5G商用网络建设及5G用户对网络的复杂需求，网络性能评估也更趋于复杂化。本项目由传统网络洞察入手，探索高效精准的网络评估方案。通过引入谱效洞察技术，建立以单站谱效最大化为核心、多指标均衡协同、综合寻优的优化体系，更高效，更精准的提高网络评估。

关键词：网络洞察；谱效洞察；谱效指数；一站一策；网络质量；用户体验

1 概述

5G网络商用后，“智慧城市、智能家居、无人驾驶”等数字化应用不断推动社会数字化转型演进，对网络提出了“更大带宽、超低时延和高精度同步”的三大刚性需求，以及“多层次承载网络、灵活化连接调度、层次化网络切片、智能化协同管控、4G/5G混合承载与低成本高速组网”组网功能要求，用于满足5G时代个人用户及垂直行业用户当前以及未来对网络的需求。传统网络洞察主要以单指标、单性能进行评估，需要多轮优化迭代才能达到全局指标提升，耗时耗力，优化效率低。随着网络结构复杂度升高，用户体验需求提高，需要通过多维度评估，多指标协同，高效、精准的完成网络优化。

2 网络优化探索

随着无线网络技术演进，通信网络经历了从2G- > 3G- > 4G- > 5G的网络变更，准确评价各阶段网络能效，是经营指标评估的基础。谱效（Spectrum Efficiency）和能效（Energy Efficiency）是无线网络的关键指标，是ITU-R在IMT-2020中定义的8关键需求中的2个重点需求。因此，网络运营的目标是存量网络发挥最大效能，扩容网络增长效能，网络质量、用户体验达到最优，投入产出比最高^[1]。

3 谱效洞察技术研究

3.1 传统网络洞察

作者简介：莫崇领，中级工程师，学士，主要从事无线网演进、新技术应用；

何苗，副高级工程师，学士，数据网优化创新、端到端优化

马亚辉，助理工程师，硕士，主要从事移网数字化转型推进、优化创新研究；

李秋颖，中级工程师，硕士，主要从事移网质量评估和网络系统分析；

韩明帅，助理工程师，硕士，主要从事无线网络RF优化和系统分析工作；

传统网络洞察方法主要集中在测试与话统指标监控：

3.1.1 道路测试和定点测试：评估网络覆盖质量，受限于测试地点，无法全面反馈网络整体覆盖水平；

3.1.2 话统指标监控：基于小区用户数、流量、速率、资源利用率等反映网络容量，作为站点规划、扩容、减容的参考依据；基于无线接通率、掉线率、切换成功率等反映网络质量，作为网络洞察参考指标；话统指标无法真实反映用户感知；

3.1.3 网络优化面向单目标小区或小区簇，基于单指标、单性能进行评估，需要多轮优化迭代才能达到全局指标提升，耗时耗力，优化效率低。

随着网络结构复杂度升高，用户体验需求提高，传统方案已无法满足，需要通过多维度评估，多指标协同，高效、精准的完成网络优化。

3.2 谱效体系研究

国外专家以香农公式为理论基础，在载波聚合Massive MIMO系统模型中，构建出速率，功率和能效的理论模型，进行码率和能耗/能效的优化。按照香农公式，提升速率的原理为，带宽（B）越大速率越高，信噪比（S/N）越高速率越高，多径（RANK）越高速率越高。如图1所示

$$C_n = B \log_2 \left(1 + \frac{S_n}{N_n} \right)$$

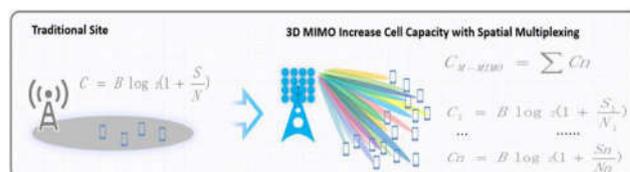


图1 香农公式与Massive MIMO的联合研究

基于香农公式的延伸，从频谱、信道、功率、干扰、网络结构/拓扑、用户分布等关键参数推导出影响谱效的主要无线网络因素（不包括用户业务因素）

将影响网络级频谱效率的8个无线因素映射为测量

指标，分为覆盖、容量、干扰、业务、网络结构五大模块，对应多维度网络指标^[2]。

表1 无线因素与指标的映射

无线因素	测量指标分类	测量指标示例	评估维度
覆盖最优	覆盖	RSRP,SINR,MCS,CQI,RANK	室内/外
小区间干扰最优			
网络结构最优	网络结构	站间距,收发集硬件配置,小区带宽,特性参数,软件版本等	制式,频段,站间距、驻留比区间;
上下行信道耦合最优			
多载波互操作最优			
负载最优	容量	MU配对层数,PRB利用率,CCE利用率等	
资源复用最优			
外部干扰最优	干扰	上行干扰,PUSCH RSRP	
用户行为	业务	大小包比例,吞吐量	小包比例区间,分流比区间

3.3 谱效评估体系

基于覆盖、容量、干扰、业务、网络结构五大类别，从谱效8大无线因素出发，识别15个关键指标，构建网络KPI指标评估体系；基于大数据建模（谱效指数模

型），预测指标提升效果。与传统方案相比，该创新方案具有用户业务体验最佳、问题处理周期更短的优点，是保证和提高用户满意度有效方法^[3]。如图2所示

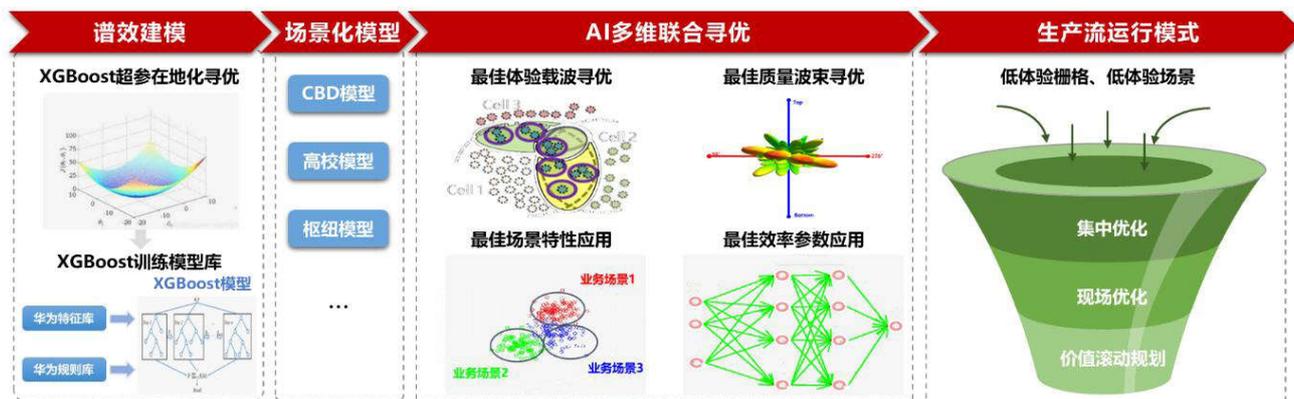


图2 谱效评估体系总览

5G谱效洞察打破传统单性能指标一刀切的衡量方法，以单站谱效最大化为核心、多性能指标协同的评价优化手段，通过“一站一策”的优化方案，实现用户体验与网络维护成本的最佳平衡^[4]。如图3所示

3.3.1 性能分析自动完成：基于话统数据，自动匹配适用场景；

3.3.2 特性参数智能推荐：基于痛点自动匹配可优化措施，自动生成配套优化参数；

3.3.3 开通方案自动生成：降低服务执行难度，自动完成小区筛选、脚本生成，审批后执行；

3.3.4 一站一策：联合研发完成新版本极限场景参数验证，实现一站一策优化建议输出。

特性参数联合推荐



图3 参数优化方案业务逻辑

4 无线网络谱效优化方案

4.1 项目方案

谱效体系主要包括网络指标评估、建模、预测,通过小区级洞察关键指标计算,匹配输出优化方案^[5]。方案实施后,基于谱效模型进行第二轮评估,并针对性能指标进行对比,确认网络性能提升效果。

4.1.1 谱效体系搭建:

- ◆确定存量网络效能评估相关指标及影响因素;
- ◆谱效指数建模及校正;
- ◆确定谱效体系评估的关键指标;
- ◆建立谱效评估体系及基于谱效分析结果输出优化方案。

4.1.2 谱效体系验证:

◆选取部分区域作为谱效洞察验证,对验证区域进行洞察后,输出区域级谱效指数及小区谱效指数分布,并计算得到预测有增益的小区列表及小区级谱效影响指标;

◆基于小区级谱效影响指标,输出并实施智能参数调优方案和RF优化方案;

◆区域级谱效优化前后评估效果。

a) 谱效体系在5G网络调整中的应用:

◆通过谱效体系对调整前后整网网络性能进行评估;

◆对比谱效评估与传统网络评估的区别,确认谱效评估体系增益;

◆分别输出优化小区级、整网级谱效指数变化及小区谱效指数分布。

b) 谱效体系在低感知栅格优化中的应用

◆谱效体系运用于现网低感知质差栅格优化中;

◆通过谱效洞察,输出5G小区TOP指标,预测谱效增益;

◆将谱效洞察输出的差小区列表与低感知栅格质差小区拟合,确认匹配度;

◆对TOP质差栅格自动分析并生成优化方案,实施验证。

4.2 推广应用

a) 应用至现有生产流:现网优化作业量控制到7:3(参数优化:RF优化);

b) 应用于现场质差处理:4G、5G质差栅格谱效优化;

c) 应用至全网级操作效果评估:网络级操作后,对调整前后的网络指标进行评估;

5 无线网络谱效优化成效

已完成高校场景、CBD场景等场景优化,符合预期作业量优化目标(参数优化:RF优化=7:3)。

5.1 高校场景优化效果

谱效指数提升19%,用户感知速率提升16%,达到预期优化效果。

5.2 CBD场景优化效果

谱效提升9%,用户体验速率提升14%的,进一步论证谱效指数模型针对不同用户模型的强延展性。

6 总结

谱效优化体系以影响网络效率的四大网络因素为源,以香农公式为理论基础进行延展,完成综合谱效模型建立,以最大化网络效率的优化措施增益排序,实现高效提升用户体验的技术框架搭建^[6]。

基于现场生产流,进一步深化应用谱效AI模型,以场景构建差异化的网络牵引策略,以语音和热点数据业务感知改善为目标,通过“一格一标准”,“一景一体验”的5G网络精耕细作,聚焦短板问题精细化评估与管控,实现网络质量和用户感知双提升。

现场已实现三种场景的体验目标区分:交通枢纽微信语音无卡顿,商业中心微信视频无卡顿,高校游戏无卡顿。后期将应用谱效模型,通过超参搜索、交叉验证、关联分析、差值联合预测等技术对栅格化网络实现集中优化有效果,现场措施有成效^[7]。

结束语

为继续推广谱效优化评估体系,后续将通过现场搭建谱效平台,将谱效体系本地落地,拉通数据采集、方案输出、方案实施、效果验证的整体流程。通过谱效体系的深化应用,打造覆盖更广、能力更强、品质更佳、体验更好的5G精品网。

参考文献

- [1]郝万明.协作认知无线网络中基于能效和谱效的资源分配技术研究[D].郑州大学,2023.
- [2]潘志文,聂阳宁,刘楠,等.无线网络能效谱效联合优化的功率分配方法:CN201510475281.0[P].CN105188125B[2023-11-27].
- [3]韩双锋,王森,谢天,等.高铁通信高谱效MIMO技术研究[J].信息技术,2019,v.13;No.71(04):27-33
- [4]高仲霞.基于解码转发协议的无线中继网络能效与谱效的研究[D].东华大学,2023.
- [5]网优雇佣军.客户为本,感知为先:天津联通创新谱效体系,打造高品质网络和服务.[2023-04-20].
- [6]刘强.基于能效/谱效的异构网接入技术研究[D].电子科技大学,2016.
- [7]Gao H, Wang M, Lv T .Energy Efficiency and Spectrum Efficiency Tradeoff in the D2D-Enabled HetNet[J].IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2017, PP(11):