

无线网络资源效能提升思路与实践

Discussion and Practice on Enhancement of Wireless Network Resource Efficiency

孙冉¹,袁满²(1. 中国联合网络通信集团有限公司,北京 100033;2. 中国联通山东分公司,山东 济南 250013)

Sun Ran¹, Yuan Man²(1. China United Network Communications Group Co., Ltd., Beijing 100033, China; 2. China Unicom Shandong Branch, Jinan 250013, China)

摘要:

基于“四维X度”的设备级效能评估模型,对现网站点开展多维度、精细化迭代评估,并对识别出的低效设备进行精准分类与差异化治理,以减容不减覆盖为原则对部分长期低效设备实施盘活利旧,实现网络资源的动态调配。方案在某省公司落地实施,2025年累计盘活RRU等设备约1.6万余套,等效节省CAPEX约3.8亿元,显著提升了移动资源利用率。

关键词:

无线网络;低效能;设备盘活;降本增效

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2026.08.009

文章编号:1007-3043(2026)08-0050-04

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):



Abstract:

Based on the equipment-level efficiency evaluation model of “Four-Dimensions & X-Metrics”, multi-dimensional and refined iterative evaluation on in-service sites is carried out, and precise classification and differentiated management of the identified low-efficiency equipment are conducted. Under the principle of reducing capacity without reducing coverage, some long-term low-efficiency equipment is revitalized and reused, so as to realize the dynamic allocation of network resources. The scheme has been implemented in a provincial branch. In 2025, more than 16 000 sets of equipments such as RRUs were revitalized, equivalent to saving about 380 million yuan in CAPEX, which significantly improved the utilization rate of mobile resources.

Keywords:

Wireless network; Low efficiency; Equipment revitalization; Cost reduction & efficiency improvement

引用格式:孙冉,袁满. 无线网络资源效能提升思路与实践[J]. 邮电设计技术, 2026(8): 50-53.

1 概述

近年来,全球电信运营商加速推进网络建设,随着网络覆盖日趋饱和,部分区域出现资源配置冗余、实际利用率偏低的现象,表现为“高能耗、低流量、少用户”的低效运行状态。

此类低效站点不仅造成资本支出浪费,还加剧了电费运营支出负担。据行业统计,无线网络能耗占运营商总能耗的70%以上,而部分低效基站的日均PRB利用率不足5%,常驻用户数低于5人,形成明显

的资源空转。运营商在保持网络基本指标的同时,还需要进一步考虑如何提升网络效能,从而进一步提升网络运营能力^[1]。值得注意的是,5G网络本身在高频化、密集化部署趋势下,带来了覆盖半径缩小、设备功耗上升、微站数量激增等结构性挑战^[2],进一步加剧了资源配置冗余与利用不均的问题。在此背景下,如何科学识别并有效盘活低效无线资源,已成为提升网络投资回报率(ROI)与实现“双碳”目标的关键课题。

当前主流的资源优化方法主要包括采用网络节能技术(如符号关断、载波关断、深度休眠等,侧重于降低能耗,但未解决设备闲置问题)、频率重耕(将低频段从2G/3G迁移至4G/5G,提升频谱效率,但多集中

收稿日期:2026-06-17

于制式演进层面)和站点整合与退网(对重复覆盖区域进行物理拆除,但缺乏系统性评估机制,易误伤潜在需求区域)。这些方法存在2个共性问题:一是评估维度单一,多依赖流量或负载指标,忽略用户分布、投诉反馈、经济效益等因素;二是治理策略粗放,缺乏分类施策机制,难以兼顾网络质量与成本控制。因此,亟需构建一个多维度、可量化、可复用的低效识别与资源盘活框架,以支撑精细化网络运营管理。

基于此,本文提出一种基于“四维X度”模型的无线网络资源效能提升方法,其核心思想是以TCO最优为目标,通过多维数据融合识别低效扇区,分类施策,差异化治理,推动设备资源的循环再利用。

2 “四维X度”低效能扇区识别模型

2.1 模型架构设计

为实现对低效扇区的精准识别,本文构建了“四维X度”评估模型,动态调整评估指标数量与权重,形成差异化评估体系。该模型的设计原则如下。

- a) 全面性。覆盖网络负荷、用户分布、服务质量、经济收益等多个层面。
- b) 可解释性。所有指标均可从现网OMC、计费、投诉等系统提取,具备工程可操作性。
- c) 灵活性。支持根据区域特征(如城区、农村、热点区域)调整阈值与组合方式。

2.2 四维指标体系定义

“四维”是指从业务能力、用户承载、客户服务、成本收入4个核心维度出发,全面评估无线扇区的资源使用效率。这一设计突破了传统仅依赖流量或负载的单一指标评估方式,引入用户行为、服务质量与经济回报等多维视角,使低效识别更加科学、精准。

- a) 业务能力维度主要衡量扇区资源消耗水平,反映网络负荷情况。
- b) 用户承载维度聚焦常驻用户与高价值用户分布,避免误判潜在需求区域。
- c) 客户服务维度引入用户投诉数据,补充评估。
- d) 成本收入维度对比收入与电费支出,量化经济效益。

2.3 “X度”适配机制

“X度”适配是指考虑到不同频段在覆盖、容量、应用场景上的差异,采用差异化评估策略,举例如下。

- a) 对于5G中频,采用“四维七度”评估。
- b) 对于4G中频,采用“四维八度”评估。

c) 对于低频段,采用“四维九度”评估。

该机制实现了多频段、多场景下的精准适配,提升了评估结果的科学性与实用性。

2.4 评估阈值设定分析

为确保评估结果的客观性与可操作性,本文结合现网运行数据与专家经验,设定了统一的低效判定阈值。如表1所示,不同频段在流量、利用率、用户数等方面均设置了差异化标准。

表1 评估阈值

指标	阈值	阈值设定依据
扇区日均流量	5G中频<6 GB 4G中频<5 GB 4G低频<1 GB	基于某省公司2024年全省扇区流量分布统计,低于此阈值的扇区占10%,且90%以上位于非热点区域;同时满足PRB利用率<5%的扇区占比达90%以上,表明资源严重闲置
忙时PRB利用率	<5%	结合现网数据分析,低于5%的扇区基本无突发流量风险
常驻用户数	<5个	根据用户驻留时长聚类分析,常驻用户>5个的区域通常伴随稳定流量输出,反之则多为路过型或临时接入
高价值用户数	0	高价值用户对网络质量敏感,其存在与否直接影响站点商业价值。若连续3个月无高价值用户访问,说明缺乏高端业务支撑
收入<电费支出	成立	电费按单站平均功耗×电价计算(约0.8元/W/年),收入按用户ARPU折算至扇区。负收益站点不具备长期保留价值

2.5 低效判定规则

基于表1的阈值设定,设定低效判定规则,具体如表2所示。对于同时满足表2中条件的扇区,则判定为低效能扇区,纳入后续治理清单。

表2 低效判定规则

维度	指标项	判定阈值
业务能力	扇区日均流量(5G中频)	<6 GB
	扇区日均流量(4G中频)	<5 GB
	扇区日均流量(4G低频)	<1 GB
	忙时PRB利用率(4G/5G)	<5%
	忙时RRC平均用户数(4G中/低频)	<5个
	忙时ERAB请求次数(4G低频)	<450次
用户承载	常驻用户数(所有频段)	<5个
	高价值用户数(所有频段)	0
客户服务	半年内无常驻用户投诉(所有频段)	是
	未发生投诉的业务用户(所有频段)	是
成本收入	收入<电费支出(所有频段)	成立

2.6 低效能扇区分类施策

基于2.5节评估结果将低效扇区划分为3类,实施差异化治理策略(见表3)。其中,“拆闲盘活型”是本

表3 策略分类

类型	特征描述	治理策略
布局保留型	网络结构性站点,服务于季节性、突发性业务或重要客户区域	保留现状,加强监控
效益激发型	具备发展潜力但当前利用率低的区域(如新建园区、待开发商圈)	推动前台业务拓展,提升设备利用率
拆闲盘活型	连续3个月评估为低效,且无保留必要	实施设备拆除与资源再利用

文的重点研究对象,旨在通过技术手段实现设备资源的高效再利用,下面将围绕其盘活路径展开讨论。

3 设备资源盘活技术路径

针对“拆闲盘活型”低效扇区,结合现网实际情况,提出7类设备资源盘活手段,涵盖硬件重耕、频谱优化、结构精简等多个层面。

3.1 3G/4G设备能力重耕

梳理现网3G/4G设备能力,挖掘设备升级潜力,根据设备能力匹配应用场景,实现设备能力的最大化,低成本满足4G/5G覆盖拓展需求,进行设备能力重耕判别。

a) 如果3G设备不可升级为4G,则对3G设备进行下电拆除,不考虑重耕。

b) 如果3G设备可升级为4G,则将支持LTE制式的3G RRU通过软硬件适配升级为4G设备,应用于地下室、停车场等封闭场景,补充4G覆盖。

c) 如果4G设备不可升级为5G,则设备只开通LTE,不考虑重耕。

d) 如果4G设备可升级为5G,则充分利用设备支持多制式并发的特点,结合900 MHz/2 100 MHz的频段重耕,将具备升级能力的4G设备升级为5G,用于补充中、低负荷区域的5G覆盖。

以某省公司为例,现网具备升级潜力的3G RRU有2万余套,支持升级为5G的4G RRU有1万余套,该方案具备大规模推广基础。

3.2 扇区功分劈裂

在农村等用户稀疏、覆盖优先的区域,可以通过RRU设备功分劈裂的方式进行资源盘活,在保证性能和覆盖的前提下,盘活出RRU资源,节省投资。

以某小区为例,该小区原为5G低效小区,覆盖海边别墅区。通过将2 100 MHz 4T4R RRU劈裂为2个2T2R射灯天线,既保障了原有覆盖范围,又释放出一套RRU用于附近1个办公楼的补盲覆盖。整改后,日

均流量由7.50 GB提升至22.44 GB,流量增益达199%。

3.3 5G频率适配调优

根据城区与乡农场景差异,动态调整5G中低频段资源配置,制定盘活方案。对于城区场景,高负荷区域采用3.5 GHz提升容量,替换2.1 GHz频段设备;对于乡农场景,将低效3.5 GHz设备回撤至城区,保留2.1 GHz设备用于广覆盖。

该策略通过动态调整3.5 GHz/2.1 GHz频段配置,实现城区容量与农村覆盖的协同优化,为不同场景下的5G网络质量提升提供了可行路径。以某市产业园为例,该产业园2号办公楼人员稀少,原部署9台NR 3.5 GHz设备。通过改用4台NR 2.1 GHz设备并实施功分劈裂覆盖,替代原有9台设备,节约投资15.3万元,覆盖与业务指标均保持正常。

3.4 3.5 GHz/2.1 GHz扩容后的设备盘活

在NR 2.1 GHz与NR 3.5 GHz共覆盖场景下,通过PRB利用率来折算判断资源冗余性,具体如下。

a) 3.5 GHz冗余判断:将业务迁移至NR 2.1 GHz并扩容至40 MHz,若折算后PRB利用率<50%,可拆除3.5 GHz设备。

b) 2.1 GHz冗余判断:将业务迁移至NR 3.5 GHz并扩容二载波,若折算后PRB利用率<50%,可拆除2.1 GHz设备。

以某站点为例,该站点NR 3.5 GHz PRB利用率为12.18%,NR 2.1 GHz PRB利用率为53.19%。经测算,NR 2.1 GHz扩容至40 MHz后承载能力充足,可拆除NR 3.5 GHz设备,实现了资源盘活(见表4)。

表4 3.5 GHz叠加2.1 GHz站点盘活

NR 2.1 GHz 20 MHz 小区			NR 3.5 GHz 100 MHz 小区			NR 3.5 GHz 折合到 NR 2.1 GHz 承载的 PRB 利用率/%	
下行 PRB 占用数	下行 PRB 总数	PRB 利用率/%	下行 PRB 占用数	下行 PRB 总数	PRB 利用率/%	20 MHz 承载	40 MHz 承载
56.38	106	53.19	33.26	273	12.18	83.85	41.93

3.5 端口未充分使用的5G室分设备的盘活利用

针对5G室分RRU端口能力未充分利用问题,可通过冗余端口复用与设备精简实现资源高效盘活。

a) 冗余端口再利用。对商业楼宇、交通枢纽等场景中利用率低于60%的8端口RRU,采用端口重规划技术将闲置端口引接至电梯、地下室等弱覆盖区域,单RRU可额外覆盖2~3个盲区,新购设备需求减少

30%。

b) 设备精简替换。将高端口密度 RRU 替换为 4 端口紧凑型设备,结合智能负载均衡算法,在保障容量前提下,单场馆 RRU 的部署数量可减少 30%。

3.6 共覆盖的 4G 多频网减频

对于共覆盖的 4G 多频网,如 LTE 1.8 GHz+LTE 2.1 GHz+LTE 900 MHz 覆盖区域,随着 5G 分流加剧,4G 用户减少,可通过多频网更改双频网、单频网的方式进行容量减配,在保证性能和覆盖前提下,提升小区流量,盘活软硬件资源,节省投资。

以某站点 B1 扇区(LTE 2.1 GHz+LTE 1.8 GHz)为例,将该扇区改为 LTE 1.8 GHz 单频网后,盘活了 LTE 2.1 GHz 设备资源,同时覆盖区域电平无变化,用户感知速率等 KPI 指标维持平稳。

3.7 小区合并

对于用户稀少、容量需求低的低效区域,在确保覆盖不变、容量要求不高的前提下,可以采用小区合并的方式,以节省小区软件资源及频段占用费用,解决低效能问题。

以某灯具城 1 小区和 2 小区为例,2 个小区合并后,小区 KPI 指标维持平稳,日均流量从原有的 0.86 GB 提升到 4.83 GB,低效能问题得到改善。

4 应用案例与效能评估

本文方案在某省公司应用后,整体运营效益和网络效能都获得了较大提升。

4.1 整体运营效益

基于本文的方案,2025 年某省公司共盘活各类设备 16 855 台(见表 5),总复建投入达 7 154 万元,等效节省 CAPEX 投资高达 3.81 亿元,投入产出比超过 1:5,经济效益显著。

4.2 整体网络效能

通过低效盘活专项治理,网络整体效能得到显著

表 5 资源盘活费用计算

设备类型	拆除数量	拆除单价/万元	拆除费用/万元	复建数量	复建单价/万元	复建费用/万元	总支出/万元	节省 CAPEX /万元
RRU	15 858	0.12	1 903	15 858	0.293	4 646	6 549	33 543
AAU	879	0.17	148	879	0.510	444	592	4 420
Book	11	0.01	0	11	0.120	1	1	9
PRRU	87	0.01	0	87	0.100	9	9	70
Dot	20	0.01	0	20	0.120	2	3	16
总计	16 855	-	2 051	16 855	-	5 102	7 154	38 058

改善。无线资源利用率从 19.33% 提升至 23.26%,提升 3.93 个百分点。5G 低效能小区的比例从 4.85% 下降至 1.93%,下降 2.92 个百分点;4G 低效能小区的比例从 6.28% 下降至 3.12%,下降 3.16 个百分点。同时,网络覆盖也有明显改善,4G 弱覆盖小区比例从 8.28% 降至 4.71%,下降 3.57 个百分点;5G 弱覆盖小区比例从 10.36% 降至 6.55%,下降 3.81 个百分点。

盘活设备多用于补盲补弱区域,有效提升了网络覆盖均衡性与用户体验一致性。

5 结束语

本文构建了基于“四维 X 度”的低效能扇区评估模型,实现了对 4G/5G 网络资源使用效率的精细化识别与分类治理。通过 7 类设备盘活技术路径的落地实施,形成了“识别—评估—治理—再利用”的闭环管理体系。实践证明,该方案在降低 CAPEX 投资、提升资源利用率、改善网络覆盖等方面成效显著,具备较强的可操作性与推广价值。该成果不仅助力某省公司实现年度降本增效目标,也为全行业推进绿色低碳网络建设提供了有益借鉴。

当前方案在数据采集、评估判断、资源调度等环节仍依赖人工处理,存在效率低、响应慢、易出错等问题。未来将重点推进以下方向的工作:智能化评估,引入 AI 算法,实现低效扇区自动识别与分类;自动化闭环管理,构建资源盘活数字平台,实现设备状态实时感知与调度决策自动化;跨专业协同优化,打通无线、传输、电源等专业数据壁垒,实现全网资源的协同优化。通过技术升级与管理创新双轮驱动,推动无线网络向“自感知、自优化、自演进”的智慧化运营迈进。

参考文献:

- [1] 姚赛彬,蒋振伟,潘 婷. 5G-A 多频智选及网络效能研究[J]. 邮电设计技术,2024(7):43-46.
- [2] 翟瑞霞,赵瑞胜. 5G 发展背景下的无线规划及建设方案探索[J]. 内蒙古科技与经济,2020(13):78-101.

作者简介:

孙冉,高级工程师,硕士,主要从事移动网络优化相关工作;袁满,高级工程师,学士,主要从事移动网络优化相关工作。

