

面向极简网络的 无线网部署方案研究

Research on Wireless Network Deployment Solutions for Ultra-Simplified Networks

臧志宏¹,张 鹏²,吴晓乐¹,范天伟²,索小新¹(1. 中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司,河南 郑州 450007;2. 中国联合网络通信集团有限公司,北京 100033)

Zang Zhihong¹,Zhang Peng²,Wu Xiaole¹,Fan Tianwei²,Suo Xiaoxin¹(1. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co.,Ltd. Zhengzhou Branch,Zhengzhou 450007,China;2. China United Network Communications Group Co.,Ltd.,Beijing 100033,China)

摘 要:

针对5G规模部署后无线网呈现多制式共存、结构冗余、运营成本高、资源利用效率偏低等问题,提出面向极简网络的无线网部署方案。从架构极简、基站改造、绿色节能3个维度,系统阐述了3G退网、4G拆冗、CRAN集中化改造、BBU整合、天面整合、极简基站改造、低效站整治、智能关断、代起租等关键技术与实施路径。现网验证结果表明,该方案可有效降低网络运营成本、提升资源利用率与网络运行效率。

关键词:

极简网络;无线网;架构极简;基站改造;绿色低碳

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2026.06.004

文章编号:1007-3043(2026)06-0021-05

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:

Addressing the problems including multi-standard coexistence, structural redundancy, high operating costs and low resource utilization efficiency in wireless networks after the large-scale deployment of 5G, it proposes a wireless network deployment scheme oriented to ultra-simplified networks. From three dimensions: architectural simplification, base station reconstruction and green energy conservation, it systematically elaborates the key technologies and implementation paths such as 3G network retirement, 4G network de-redundancy, CRAN centralized reconstruction, BBU integration, antenna platform integration, minimalist base station reconstruction, low-efficiency base station improvement, intelligent shutdown and sub-tenancy. The verification results from the current network show that the scheme can effectively reduce network operation costs, improve resource utilization and network operation efficiency.

Keywords:

Ultra-simplified network; Wireless network; Architectural simplification; Base station reconstruction; Green and low-carbon

引用格式:臧志宏,张鹏,吴晓乐,等. 面向极简网络的无线网部署方案研究[J]. 邮电设计技术,2026(6):21-25.

0 引言

随着5G网络在全国范围内实现规模覆盖,移动通信网进入多制式、多频段、多形态、高密度的复杂运营阶段。在长期建设与迭代过程中积累了大量结构性问题:3G/4G/5G多网独立运行、设备重复部署、站址资

源分散、天面资源拥挤、机房空间紧张、BBU分散堆叠、能耗持续攀升、运维流程复杂,这些问题给运营商带来网络结构冗余、运营成本居高不下、资源利用效率偏低、资产回报率下降等现实挑战。

在此背景下,极简网络成为通信行业应对上述问题的共识性技术路线。在保障网络质量、用户体验不下降的前提下,通过架构收敛、设备精简、资源池化、智能节能、深度共享、资产盘活等系统化手段,实现网

收稿日期:2026-04-29

络结构最简、设备数量最精、能耗水平最低、运维流程最易。极简网络建设不仅是运营商降本增效的迫切需求,更是落实国家“双碳”目标、推动信息通信行业绿色低碳高质量发展的关键举措^[1-2]。

1 总体思路及部署方案

无线网极简建设遵循“退冗余、集资源、简设备、降能耗、深共享”的总体思路,推动网络架构从分散向集中、设备从冗余向集约、能耗从粗放向智能转变,形成可落地、可量化、可复制的极简部署方案,实现降本增效与绿色低碳发展。

1.1 架构极简方案

1.1.1 网络架构优化

面向未来空天地一体布局,地面网络架构由 3G/4G/5G 向 5G/6G 极简演进,逐步形成一张中国电信和中国联通(简称“电联”)全频段、全制式、全量共享的移动蜂窝网。在 6G 规模部署前,通过 5G/4G 协同、高中低频协同打造移动精品网,将 5G 作为移动业务主力承载网,4G 网结合业务负荷逐步拆冗、减频,3G 完成退网。具体如下。

a) 3G 精简。按照“先单站、后区县、再地(市)”原则,端网业服协同逐步推进 3G 网络规模退网。3G 单站退网的建议标准(多个条件同时满足)为:退网区域内有 4G/5G 网络覆盖,日均用户通话时长小于 60 min;日均用户数据流量小于 10 MB,月常驻用户数小于 10 个,下电观察期内(1 个月)无用户投诉。3G 本地网规模退网的启动条件(多个条件同时满足)为:VoLTE/VoNR 终端渗透率超过 95%,4G/5G 用户 VoLTE/VoNR 注册用户占比超过 95%,3G 语音承载占比小于 10%,且该市非国漫业务和车联网业务的重点保障城市。

b) 4G 拆冗。主要针对电联双方 PRB 利用率之和不高于 60% 的低业务共/近址站点,拆除一方站点、保留一方站点。双方共/近址站点判断方法主要包括如下 2 种。

(a) 基于双方站距判断。双方室外站之间拟合,室分站之间拟合;室外站 50 m 以内为共址、城区 100 m 内、农村 300 m 内为近址,其他为独址;室分站 50 m 内为共址,其他为独址。

(b) 基于双方的 4G 栅格 MR 数据判断(多个条件同时满足)。对端运营商交集有效栅格数量除以评估站点的有效栅格数量大于 90%,评估站点与对端运营商交集有效栅格的平均电平差小于 0.4 dB,评估站点

与对端运营商交集有效栅格的高电平采样点平均占比小于 0.6%。

c) 低频共享。聚焦“宽带边疆”“宽带林草”“普遍服务”和全程全网需求,逐步扩大覆盖互补站点共享规模。双方覆盖互补站点判断方法包括如下 2 种。

(a) 基于双方站距判断。城区场景 300~400 m 范围内、乡农场景 1~1.5 km 范围内,一方有低频站址,另一方无低频站址。

(b) 基于双方的 4G 低频栅格 MR 数据判断(参考上文 4G 共近址判断方法)。

1.1.2 CRAN 改造

分布式无线接入网(DRAN)采用基带处理单元(BBU)与远端射频单元(RRU)同站部署的架构模式,在 3G、4G 时代能够满足当时的网络业务需求,但随着 5G 网络规模化部署,该模式面临着建设投资大、租金电费成本高、能耗效率低、运维管理困难、资源弹性扩展能力差等方面的压力。因此,集中式无线接入网(CRAN)凭借其资源集中化、协同化、绿色化的核心优势,成为 DRAN 网络升级改造的主流方向。

如图 1 所示,将 DRAN 改造为 CRAN 的核心思路是打破 BBU 与 RRU 的同站部署模式,实现 BBU 的集中化部署与 RRU 的远端拉远,构建“BBU 资源池+前传链路+远端 RRU”的集中式架构。

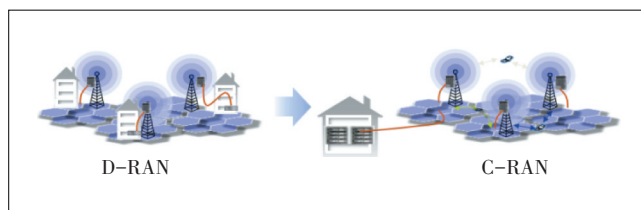


图1 BBU 集中改造方案

BBU 集中机房的选址需满足位置居中、光缆资源丰富、供电稳定、机房空间充足等条件,应优先使用汇聚机房、综合业务接入点、BBU 集中点。汇聚机房可接入 60 套站(含室分,下同)左右,综合业务接入点可接入 15/30 套站(南/北方)左右,BBU 集中点可接入 5/10 套站(南/北方)左右。优先将铁塔机房、高租金/高电费用站点的 BBU 尽量集中至架构节点机房,有效降低运营成本。对于偏远农村/林场/农场/边疆、地铁/高铁/工业专网/室分物业点、安全等级高的站点、零租金、纤芯资源不足、目标机房条件受限、投资收益差等场景,不应强行实施 BBU 集中。在 BBU 集中时,原则上 BBU 和 RRU 之间光缆长度(路由距离)应小于 10 km。当集

中后光缆长度超过 10 km 时,应更换长距离大功率光模块;如集中后光缆长度超过 40 km,不建议实施 BBU 集中。优先采用单纤双向(BIDI)前传方案,如纤芯资源不足,可统筹考虑采用单纤多向(MultiDi)、无源波分、RRU 级联(适用于低负荷场景,级联 RRU 不超过 3 个)等手段解决。

1.1.3 频率拉齐

电联 4G 中频全量共享后,1.8 GHz 作为双方 4G 覆盖、容量的主力频段,共有 50 MHz 带宽资源,在 4G 并网拆冗的过程中,双方应统一网络架构和频率使用策略,及时拉齐双方频点,提升用户感知连续性。

中国电信的频段为 1 765~1 785 MHz(上行)/1 860~1 880 MHz(下行),中国联通的频段为 1 735~1 765 MHz(上行)/1 830~1 860 MHz(下行),双方上行共计 50 MHz 带宽,下行共计 50 MHz 带宽。建议以本地网(或区县)为单位,综合考虑双方设备硬件支持情况及双方直放站频段支持情况,选取 1 765~1 785 MHz(上行)/1 860~1 880 MHz(下行)或 1 745~1 765 MHz(上行)/1 840~1 860 MHz(下行) 2 个频段中的一个频段作为覆盖层,另一个频段作为容量层使用。如果一个容量层不够,可视硬件情况,用 1 735~1 745 MHz(上行)/1 830~1 840 MHz(下行)进行扩容。从实施效果来看,已完成 1.8 GHz 频率拉齐的城市在同频切换、异频切换率均有提升,用户感知有所改善(见图 2)。

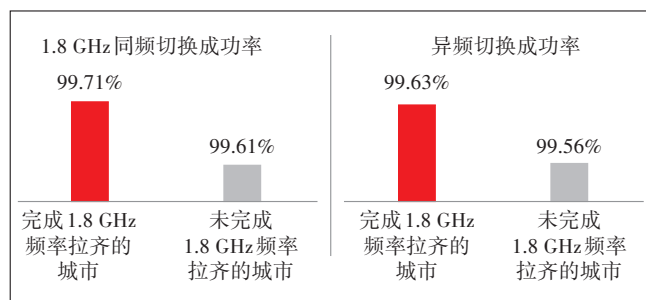


图2 电联 1.8 GHz 频率拉齐效果

此外,在充分保障网络资源的前提下,可以考虑将容量层频段用于室内覆盖,与室外构成异频组网,尽量减少室内外同频干扰,提升室内感知。

1.2 基站集约化改造

1.2.1 BBU 整合

BBU 整合的核心是将机房内堆叠的 BBU 进行整合,实现资源的集约化管理。

首先,充分挖掘 BBU 能力,按照“一框多站、一框多制、一板多模”原则,整合 BBU 板卡资源,构建集中

化的 BBU 资源池,提升单 BBU 挂载能力,减少设备冗余堆叠,节省机房空间,提升资源利用率,节约机房租金、电费;原则上单 BBU 挂载 2~4 套站,对于低业务区域至少挂载 3~4 套站;原则上不允许跨 TAC 整合,宏站和室分分别整合,优先同制式合并(如 5G 和 5G 合并,4G 和 4G 合并),若存在可兼容制式的 BBU,也可结合板卡能力和实施难度将低制式 BBU 合并至高制式 BBU,主控板、基带板等资源合并后保留高能力单板,不应将高制式 BBU 合并至低制式 BBU;对于 BBU 板卡能力较低的老旧设备,可通过盘活现网大容量 BBU 替换,提升 BBU 槽位利用率。

其次,优化机房的电源与散热系统,采用集中供电和集中空调的方式,结合竖插式设备布局、冷通道封闭等技术,降低机房散热能耗,解决 BBU 堆叠部署带来的高温问题。

最后,完成 BBU 资源池与核心网、承载网的传输对接,实现 BBU 上联核心网、前传对接各远端站点 RRU 的网络架构,为后续的集中化管理奠定基础。

1.2.2 天面整合

以“一站一天面”为目标,在无线网络建设过程中实现“不新增天面”,逐步优化,整合成一套天面,压降租金、电费,并为 6G 建设腾挪天面空间(见图 3)。具体做法如下。

a) 天面设备整合与极简部署,聚焦存量站点天面资源优化。采用 A+P 一体化天线设备,将 4G/5G 多制式、多频段设备整合为一体,替换原有多副独立天线,实现“一副天线多频段覆盖”,大幅缩减天面设备数量与占用空间;同时推行“1+1 极简天面”方案,通过 1 副无源多端口天面收编现网 Sub 3G 存量天面,1 副 5G MIMO 有源天线独立部署,在不增加天面负荷的前提下,实现多代网络的协同覆盖。

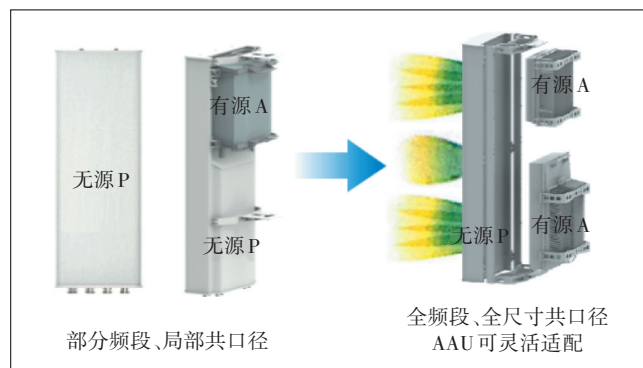


图3 天面极简演进方案

b) 针对传统站点天线高度不足、信号遮挡严重、塔租高等问题,通过增设抱杆、调整安装位置等方式提升天线高度,或将基站迁移至周边更高楼宇楼顶,优化天面部署位置,同时降低租赁成本。

c) 跨运营商天面共享。通过与其他运营商开展天面系统共享合作,由一方租赁站址,另一运营商新增设备合路接入,无需单独部署天面设备,有效降低站址租金与建设成本。

1.2.3 极简基站改造

将DRAN改造为CRAN后,无线BBU集中搬迁到架构节点机房,原有站点只剩下天面设备,可结合铁塔租费模式,探索通过建设刀片电源及刀片锂电,完成室外极简基站改造,节省配套租金和部分环境电费。

极简基站改造是将RRU供电由开关电源改造为刀片电源,免去了机房、空调、照明和蓄电池的需求,不再分摊空调电费和开关电源损耗,实现“有塔有房”向“有塔无房”模式转型。

如图4所示,X省持续对室外铁塔站址实施极简改造,近年来累计改造6 181站,投资3 708万,年化节省成本3 551万元,项目投资回收期短,基本实现“当年投资、当年回本”。

1.2.4 低效站整治

当前移网整体网络布局已基本成型,建设模式由大水漫灌转向精准滴灌。一方面网络仍有问题需要解决,另一方面网络中存在覆盖冗余、负荷偏低、能耗偏高、故障频发的低效基站。因此,应开展常态化低效能整治,优化资源配置,对低效能基站减频简配,持续提升移动网络效能。具体做法如下。

a) 精准排查摸底,建立低效站台账。首先明确低

效站判定标准,结合基站负荷、场景价值、能耗成本等指标,制定统一判定阈值(如5G宏站小区日均流量小于3 GB;5G室分小区日均流量小于2 GB;或月收入低于电费等);其次通过网络运维平台、能耗监测系统、现场巡检相结合的方式,全面排查全网基站,精准识别低效站,建立包含站点位置、低效成因、设备型号、覆盖范围等信息的低效站台账,为分类整治提供数据支撑。

b) 分类施策整治,提升资源效能。对于存在基站故障、设备老化、信号遮挡等问题的站点,应推送运维部门整改,整改半年无改善则纳入整治清单;对于市场发展站点和2B站点,应推送市场部门协同解决,半年内无改善则纳入整治清单;对于潮汐站点(如体育场馆、会展中心、景区、校园等),应结合业务峰值综合判断是否纳入整治清单;对于结构类站点(如与周边站的站距是同类场景下平均站距的2倍),如果此类站点的覆盖能力在保证核心目标的前提下仍有冗余,可考虑纳入整治清单。对于纳入整治清单的低效能基站,通过功分、劈裂、小区合并等方式,腾退冗余资源,并将其用于新建站点,以节省CAPEX。

c) 建立长效管控机制,防止反弹。建立低效站动态监测机制,通过网络运维平台实时监测基站负荷、能耗、故障等指标,定期更新低效站台账,对新增低效站及时整治;制定低效站整治考核标准,明确各分公司整治目标和完成时限,确保整治工作落地见效;建立资源回收利用机制,对腾退资源进行统一管理、合理复用,最大化提升资源利用率;定期开展整治成效复盘,优化整治策略,形成“排查—整治—复盘—优化”的长效闭环。

1.3 绿色低碳节能

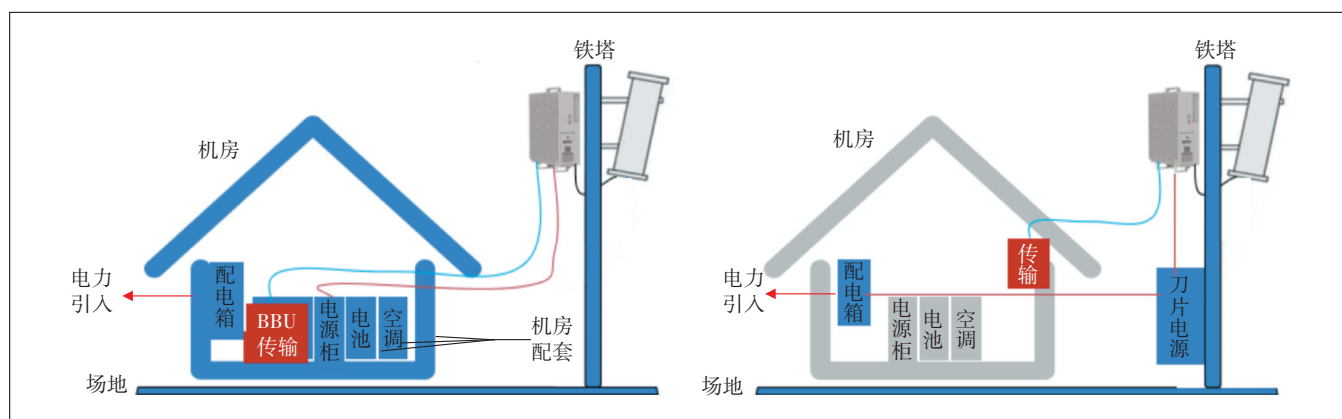


图4 X省室外极简基站改造方案

1.3.1 设备极简

根据场景化部署需求,优化设备选型策略,优选多频多模、大容量BBU/基带板等高集成度设备,推进5G设备节能技术的应用^[3-4],充分发挥3.5 GHz+1.8 GHz、2.1 GHz+1.8 GHz等多频段、多制式的能力以及一套设备兼顾5G/4G的优势,大幅降低TCO。

1.3.2 智能关断

在保障网络安全运营,且用户体验感知和业务发展不受影响的前提下,对低效站、潮汐站,在低业务时段关断部分冗余载波或AAU模块,避免无效能耗,具备条件的站点(如部署智算板),可利用人工智能、大数据等技术实现4G、5G等多种网络制式和频段间的协同节能,进一步提升节能效果。

1.3.3 闲置资产处置

将BBU整合、3G精简、4G拆冗、低效站整治等方式腾退出来的BBU、RRU、基带板、License等资源建立台账,统一入库管理,优先用于现网扩容、替换、新建站点利旧。其他资源也应妥善保管,如无利旧价值则尽快走报废流程,避免占用库房或资产流失,并及时做好系统信息维护和租金减免等工作。

1.3.4 代起租

协同中国电信深化代起租合作,抓住红利释放窗口期,充分利用“天线及无线主设备发生共享使用,视为同一家”的条款,能代尽代,力争实现已共享的全量设备代起租,推动塔租进一步压降。

2 实施成效

本文提出的极简网络部署方案已在中国联通全国范围内规模化落地应用,经过多年实践验证,在成本压降、效率提升、体验改善、绿色低碳等方面取得显著成效。

a) 成本压降。3G退网、4G拆冗、CRAN改造等措施大幅降低OPEX。其中,3G退网基站超65万个,RNC 0.2万个,年化OPEX压降超50亿元;4G拆冗基站超15万个,年化OPEX压降超13亿元;低频共享基站超25万个,节省投资约150亿元;BBU集中超22万站,退租铁塔机房超19万个,年化节省机房租金超8亿元;整合腾退BBU超20万站,年化节省电费超1.2亿元。

b) 效率提升。BBU整合、天面精简、资源池化等措施显著提升了设备与站址利用率。其中,BBU集中到架构节点机房的比例提升到82%以上,单BBU挂载

基站提升1~2倍,天面整合释放大量天面资源,低效站整治使全网负荷更加均衡,共建共享避免重复建设。

c) 体验改善。频率拉齐与架构优化提升了网络质量,拆冗、退网、改造全过程无重大投诉,用户感知保持稳定。

d) 绿色低碳。多频多模、大容量BBU、智能关断、闲置资产处置等措施有效降低能耗,大量老旧高耗设备退网,碳减排效果显著,契合国家“双碳”战略,树立行业绿色发展标杆。

3 结束语

本文面向5G规模部署后无线网复杂冗余、成本高企、效率偏低等问题,提出极简网络部署方案,形成了从顶层设计、技术路径、实施标准到现网验证的完整体系。现网实践证明,该方案可在保障用户体验的前提下,实现网络结构简化、运营成本大幅压降、资源效率显著提升、绿色低碳水平持续提升,为移动通信极简网络建设提供了可复制、可落地、可量化的工程实践参考。未来,随着6G技术逐步成熟、空天地一体化网络加快推进、智算中心与通信网络深度融合,极简网络将向更高集成度、更智能自治、更深层共享、全域协同、全域低碳方向持续演进。极简网络将长期成为移动通信网络演进的主线,持续支撑信息通信行业降本增效、绿色低碳和高质量发展,为数字中国建设提供坚实的网络底座。

参考文献:

- [1] 覃世慧,费文超,谢华标,等. 5G通信网络节能技术研究[J]. 电信工程技术与标准化,2026(1):63-69.
- [2] 姚利民,乔月强,杨锐,等. “双碳”目标下绿色低碳通信网络建设思考与实践[J]. 邮电设计技术,2023(4):81-85.
- [3] 王小锋,韩茜. 5G基站节能面临的关键问题和解决方案[J]. 中兴通讯技术,2025(5):1-7.
- [4] 王东洋,郭希蕊,张涛,等. 符号级关断技术在5G共建共享网络中的精准节能研究与应用[J]. 邮电设计技术,2025(3):23-27.

作者简介:

臧志宏,高级工程师,主要从事光网络的规划、设计以及新技术应用研究工作;张鹏,高级工程师,硕士,主要从事移动网络规划、移动通信新技术研究工作;吴晓乐,高级工程师,硕士,主要从事移动通信网络规划研究工作;范天伟,高级工程师,硕士,主要从事移动通信网络规划研究工作;索小新,高级工程师,硕士,主要从事移动通信网络规划研究工作。