

通过引入层次化滑动窗口与局部自注意力机制，实现了在保证计算效率的前提下兼顾局部细节与全局语义。此外，Transformer 与 CNN 的融合模型（如 ConvNeXt、CoAtNet）在 ImageNet 等数据集上取得了更高的准确率与更好的泛化性能。该类模型的出现标志着图像识别从局部卷积特征向全局语义建模的转变，为未来智能视觉系统的高层认知提供了全新思路。

5 深度学习在典型领域中的应用实践

5.1 人脸识别与身份验证

人脸识别在深度学习加持下形成“检测—对齐—表征—比对”的标准流程：先由轻量化检测器（如 RetinaFace、CenterFace）完成人脸候选与关键点定位，再进行几何归一化以消除姿态与尺度差异；随后采用深层 CNN 或 ViT 提取判别性嵌入向量，通过 ArcFace 等角度间隔损失在特征空间拉大类间距离、压缩类内方差，从而获得稳定表征。为提升复杂环境鲁棒性，常结合光照归一化、遮挡感知注意力与多尺度特征融合，并引入蒸馏与量化以满足移动终端部署。工程层面，以 PKI/ 硬件安全模块绑定的活体检测（基于时空一致性与 3D 重建）可有效抵御重放攻击；在金融与安防场景，分层阈值与风险评分可兼顾误拒与误受的均衡。合规方面，需实施最小化采集、在边缘侧完成特征提取与匿名化存储，并建立可审计的模型更新与偏差评估机制，确保隐私与公平性要求。

5.2 自动驾驶与交通监测

自动驾驶视觉感知以多任务协同为特征：目标检测/跟踪（YOLO/CenterTrack）、语义与实例分割（DeepLab/Mask R-CNN）、车道线与可行驶区域识别（LaneNet、BEV 分割）在统一时空框架内共享特征，以提升整体一致性。感知结果输入基于 RNN/Transformer 的时序融合模块以建模动态交互并抑制瞬时噪声；在多传感器系统中，图像与激光雷达点云通过 BEV 表示或跨模态注意力完成对齐，提高远距离与遮挡条件下的检出率。为满足实时性与能耗约束，普遍采用网络剪枝、算子融合与 TensorRT 部署。交通监测场景则侧重规模化与稳定性：以 ReID 特征实现跨镜跟踪，结合密度估计与拥堵预测完成宏观流量管理；以异常检测模型进行逆行、占道与事故早期识别。系统安全需配置冗余链路与在线自检，配合“连续学习+仿真回放”的闭环验证，确保在极端天气、夜间眩光与长尾目标下仍保持可用性。

5.3 建筑节能与可持续发展：精准优化与低碳转型

深度学习为建筑节能提供精细化的能耗分析与控制方

案，助力“双碳”目标落地。建筑能耗预测与优化：基于建筑的历史能耗数据、气象数据及室内人员活动数据，通过深度学习模型精准预测未来时段的能耗需求。同时，模型可联动建筑的智能控制系统自动调整运行参数——如根据人员密度降低非必要区域的照明功率，或根据室外温度优化空调设定温度，实现能耗降低 10%-20%。可再生能源利用优化：对于配备光伏、风能等可再生能源系统的建筑，利用深度学习分析历史发电数据、气象预报数据，预测未来可再生能源的发电量，结合建筑自身能耗需求与电网电价波动，优化能源调度策略。例如在光伏发电量高峰时，优先使用光伏电力，多余电量存储至储能设备或并网；在电价高峰时段，优先调用储能设备供电，降低建筑用电成本。绿色建筑评价辅助：基于绿色建筑评价标准，利用深度学习分析建筑的设计参数、施工材料数据、运维能耗数据，自动计算绿色建筑评价指标，生成评价报告初稿，辅助企业高效完成绿色建筑认证，减少人工整理数据与计算的工作量。

6 结语

深度学习的快速发展使图像识别技术在理论与实践层面均取得突破。通过卷积网络、循环网络与 Transformer 等模型不断创新，图像识别已实现从低层像素特征到高层语义理解的跨越，推动人工智能从“感知”走向“认知”。然而，深度学习模型在计算资源消耗、数据依赖与可解释性方面仍存在挑战。未来研究应聚焦轻量化网络设计、跨模态融合与可解释性增强等方向，构建更高效、透明、可信的图像识别系统。通过理论创新与应用拓展，深度学习将持续引领智能视觉技术的发展，为人类社会的智能化转型提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 张文柱,蔡思琪,熊福力,等.无人机辅助移动边缘计算中的计算卸载与轨迹优化策略[J/OL].计算机科学与探索,1-16[2025-10-21].
<https://doi.org/10.3778/j.issn.1673-9418.2505071>.
- [2] 孙晓艳.基于深度学习的绿色建筑碳排放量预测关键技术研究[J].环境科学与管理,2025,50(10):9-13.
- [3] 代铭轩,董晓慧,苏亚玲.深度学习在图像识别中的应用与优化[J].电子技术,2025,54(07):71-73.
- [4] 陆微,冯杰楠.深度学习视角下人工智能在图像识别中的应用策略[C]//中国智慧工程研究会.2025智慧设计与建造经验交流会论文集.内蒙古生产力促进中心有限公司;郑州佳和至信网络科技有限公司;2025:335-337.
- [5] 赵宇鹏.深度学习在图像识别中的应用[J].信息与电脑(理论版),2024,36(04):126-128.

Under the Dual Carbon Goals: Optimization of the Entire Mobile Communication Chain from Infrastructure to Operations

Jiabao Liu

China Tower Corporation Limited Taiyuan Branch, Taiyuan, Shanxi, 030000, China

Abstract

As the “dual carbon” goals become a global sustainability priority, the mobile communications industry—a high-energy-consuming sector—faces critical challenges in achieving full-chain decarbonization to drive emission reduction and green development. This study examines the entire “infrastructure-operation” lifecycle of mobile networks, first analyzing energy consumption patterns in base stations, data centers, and transmission networks, while identifying emission reduction potentials in network operations, resource allocation, and user services. It then proposes comprehensive decarbonization strategies through hardware upgrades, technological optimization, and management coordination. By examining domestic and international telecom operator case studies, the research validates the feasibility and emission reduction effectiveness of these solutions while addressing current challenges including technical costs and standardization coordination. The findings provide theoretical insights and practical guidance for the mobile communications industry to achieve its dual carbon targets and build a sustainable communication ecosystem.

Keywords

Dual Carbon; Mobile Communication; Infrastructure; Operational Full Chain

双碳目标下移动通信从基础设施到运营优化

刘嘉宝

中国铁塔股份有限公司太原市分公司, 中国·山西太原 030000

摘要

在“双碳”目标成为全球可持续发展核心议题的背景下,移动通信行业作为高耗能领域之一,其全链路低碳化转型是实现行业减排与绿色发展的关键。本文聚焦移动通信“基础设施-运营”全链路,首先剖析基站、数据中心、传输网络等基础设施的能耗构成,以及网络运维、资源调度、用户服务等运营环节的减排潜力;进而从硬件升级、技术优化、管理协同三个维度,提出全链路低碳化优化路径;最后结合国内外运营商实践案例,验证优化方案的可行性与减排效果,并指出当前面临的技术成本、标准协同等挑战及对策。研究可为移动通信行业落实双碳目标、构建绿色通信生态提供理论参考与实践指引。

关键词

双碳; 移动通信; 基础设施; 运营全链路

1 引言

随着全球气候问题日益严峻,“碳达峰、碳中和”已成为我国推动经济社会绿色转型的重要战略目标,而能源消耗密集的移动通信行业,在支撑数字经济高速发展的同时,其碳排放总量也持续攀升——据行业数据显示,基站、数据中心等核心基础设施的能耗占比超过行业总能耗的80%,运营环节的资源闲置与低效调度进一步加剧了减排压力,推动全链路低碳化已成为行业发展的必然选择。

【作者简介】刘嘉宝(1984-),中国山东日照人,硕士,工程师,从事工程项目管理研究。

2 当前现状

当前,国内外学界与产业界虽已在绿色基站、数据中心PUE管控等单点领域开展探索,但多数研究聚焦局部环节,缺乏对“基础设施建设-设备运行-用户服务-生态协同”全链路的系统性梳理,且在技术适配性、成本收益平衡等方面仍存在诸多待解难题。在此背景下,本文以“全链路协同减排”为核心视角,系统拆解移动通信基础设施与运营环节的能耗痛点,整合硬件升级、智能技术与管理创新手段,探索符合行业实际的低碳化路径,不仅能为运营商提供可落地的优化方案,更能为通信行业助力双碳目标达成、实现可持续发展提供关键支撑。

3 移动通信基础设施低碳化优化

移动通信基础设施作为行业能耗核心载体,其低碳化

优化需聚焦基站、数据中心、传输网络三大核心板块，从硬件升级、架构调整、能源替代等维度突破高耗能瓶颈，实现全生命周期能耗与碳排放双降。

3.1 基站基础设施优化

基站作为信号覆盖核心节点，其能耗占移动通信基础设施总能耗的40%以上，优化需兼顾“硬件降耗”与“资源提效”，同时结合新能源降低传统电网依赖。

绿色基站硬件升级：核心是从设备端减少能源损耗，采用能效比提升30%以上的高效功放（PA），替代传统高耗能功放模块；推广液冷、风液混合散热技术，替代传统空调散热，降低基站散热能耗占比（从30%降至15%以下）；搭载低功耗芯片与节能电源模块，减少设备待机与运行能耗。

基站部署与资源整合：通过“集约建设”减少冗余设备，推动运营商跨企业共建共享基站，降低单基站建设成本与能耗（共享后单站能耗可降低20%-25%）；在人口密集区域用分布式微基站替代部分宏基站，通过“小容量、高密度”部署匹配局部流量需求，避免宏基站满负荷运行造成的能耗浪费。

新能源供电应用：构建“传统电网+新能源”互补供电体系，在基站配套建设分布式光伏系统，满足部分日常用电需求；配置储能电池应对电网断电与用电高峰，减少峰谷用电差价与应急供电能耗；在偏远地区推广风光互补供电方案，摆脱对传统电网依赖，实现基站“近零碳”运行。

3.2 数据中心低碳化优化

数据中心是通信数据存储与处理核心，其PUE（能源使用效率）值是衡量低碳水平的关键指标（行业平均PUE约1.5，先进数据中心可降至1.1以下），优化需围绕“制冷节能”“算力提效”“绿电替代”展开。

机房架构升级：重点优化制冷系统能耗，采用高密度集成设计压缩机房空间，减少制冷覆盖范围；推广冷通道封闭技术，避免冷热气流混合，提升制冷效率；在气候适宜地区采用间接蒸发冷却技术，替代传统空调，降低制冷能耗占比（从40%降至20%以下）。

能源效率提升：从“算力利用”与“设备能耗”双端发力，部署全液冷服务器，替代传统风冷服务器（能耗降低30%以上）；通过虚拟化技术整合闲置算力，将服务器利用率从50%提升至80%以上，减少空转能耗；建立PUE动态管控体系，实时监测机房能耗，确保PUE稳定在1.2以下。

绿电引入与碳抵消：推动能源结构低碳转型，优先采购风电、光伏等绿电，目标绿电使用率不低于50%；对于无法通过绿电覆盖的剩余碳排放，通过参与碳交易、投资林业碳汇等方式实现抵消，逐步推动数据中心从“低碳”向“零碳”转型。

3.3 传输网络低碳化优化

传输网络承担基站与数据中心、跨区域通信的“链路”功能，其能耗主要来自设备运行与链路损耗，优化需聚焦“设备节能”“拓扑精简”“配套绿色化”。

设备节能改造：升级传输设备硬件与软件功能，采用低功耗SDH/OTN节能模块，降低设备运行能耗（单模块能耗可降低25%）；开发智能休眠技术，在夜间、凌晨等流量低谷期自动关闭闲置端口与链路，减少无效能耗。

网络拓扑优化：通过“精简链路+动态调度”提升资源利用率，梳理现有传输网络，拆除冗余链路，减少链路传输损耗；引入SDN（软件定义网络）技术，根据实时流量需求动态调整数据传输路径，避免流量集中导致的部分链路高负荷运行。

绿色线缆与配套：优化传输网络配套设施，采用低损耗、高带宽光纤线缆，减少信号传输过程中的能耗损耗；在机房布线环节采用“规整化、集约化”设计，避免线缆杂乱导致的散热受阻，降低机房整体制冷能耗。

4 双碳目标下移动通信运营层低碳化优化措施深度剖析

在双碳目标下，移动通信“基础设施到运营全链路”是覆盖通信网络从硬件建设到日常运转、用户服务及生态协同的完整流程。

4.1 网络运维管理：从“被动维护”到“主动节能”的运维升级

传统运维以“设备稳定运行”为核心，易忽视能耗浪费；优化后聚焦“运维效率与节能协同”，通过技术工具与管理模式革新降低能耗，具体措施包括：基于基站、传输设备的负载波动规律，实现“按需耗能”。针对用户流量低谷时段（如凌晨2-6点），通过远程控制将基站从“满配运行”调整为“降配模式”（如关闭部分冗余载波、降低功放功率），或对无用户接入的微基站启动“休眠模式”，仅保留核心信号接收功能，能耗可降低30%-50%。对闲时无数据传输的端口（如企业专线非工作时段、偏远地区低流量链路），自动触发“端口休眠”，减少设备空转能耗；同时通过SDN（软件定义网络）技术整合冗余链路，关闭低效传输节点。

4.2 远程化与数字化运维：减少现场运维的交通能耗与人力成本

采用“无人机巡检+AI视频分析”替代传统人工巡检，覆盖偏远山区、高空危险区域，单次巡检能耗仅为人工巡检（车辆往返+现场作业）的1/10，且效率提升3倍以上。搭建“全链路能耗监控平台”，实时采集基站电源、数据中心PUE、传输设备功率等数据，通过AI算法识别高耗能异常节点（如某基站散热空调故障导致能耗骤增），远程下发修复指令，减少无效能耗。

4.3 资源调度优化：基于“业务潮汐”的动态资源配置

移动通信业务存在显著的“潮汐效应”（如工作日商圈流量高峰、节假日景区流量激增），传统“固定资源配置”易导致高峰时段资源不足、低谷时段资源闲置；优化措施聚焦“资源跟着业务走”，实现供需精准匹配：

基站资源动态调整：通过“载波聚合+小区分裂”技