

5G 无线网络节能体系研究与展望

Research and Prospect of 5G Wireless Network Energy Saving System

李红五, 吕 婷, 李福昌, 曹 亘(中国联通研究院, 北京 100048)

Li Hongwu, Lü Ting, Li Fuchang, Cao Gen(China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China)

摘 要:

为了落实“双碳”战略,解决5G网络规模大、能耗大与绿色低碳发展需求之间的矛盾,全面分析了5G无线网络节能技术的现状与挑战,提出了5G节能技术体系与能效评估体系,探讨了无线网络节能技术的未来发展方向,助力打造绿色、智能、极简的新型5G网络基础设施。

关键词:

5G; 双碳; 节能; 节能技术体系; 能效评估体系
doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2022.08.002
文章编号: 1007-3043(2022)08-0006-06
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:

In order to implement the "Double Carbon" strategy and solve the contradiction between the large-scale 5G network, high energy consumption and the demand for green and low-carbon development, it comprehensively analyzes the current situation and challenges of 5G wireless network energy-saving technology, puts forward 5G energy-saving technology system and energy efficiency evaluation system, discusses the future development direction of wireless network energy-saving technology, and helps to build a green, intelligent and minimal new 5G network infrastructure.

Keywords:

5G; Double carbon; Energy saving; Energy saving technology system; Energy efficiency evaluation system

引用格式: 李红五, 吕婷, 李福昌, 等. 5G无线网络节能体系研究与展望[J]. 邮电设计技术, 2022(8): 6-11.

1 概述

在中国力争实现“2030年前碳达峰”“2060年前碳中和”的背景下,5G作为支撑未来经济社会发展的战略资源和公共基础设施,已成为国家“双碳”战略的重要发力点。以5G为基础,充分发挥“一业带百业”的作用,是关系新型基础设施节能降耗的关键环节,对于实现经济与社会绿色高质量发展至关重要。

截至2021年底,我国累计建成并开通5G基站142.5万个,基本实现乡镇以上覆盖。2021年5G网络

整体能耗约250亿kWh,碳排放超过1500万吨。预计2020—2030年,5G基站数量将增长9.6倍,能耗与碳排放增长8倍以上,累计增加碳排放5.9亿t。

随着全社会数字化转型的加速和5G新基建的快速发展,5G网络的能耗与碳排放还将持续增长。为了落实国家“双碳”战略,满足无线网络绿色低碳化发展的需要,有必要系统构建5G无线网络节能技术体系与评估体系,并前瞻性规划节能技术发展方向,持续提升5G无线网络的能效水平,实现发展和环境的双赢。

2 5G无线网络节能技术现状与挑战

2.1 5G节能技术发展现状

收稿日期: 2022-06-16

节能技术一直都是业界关注的热点,伴随着通信技术的代际更替,基站节能技术也在不断演进。特别是在5G时代,由于通信技术与设备架构的变革,5G基站的能耗激增为4G基站的3~5倍,对于基站节能技术的需求更加迫切。

现有的基站节能技术主要分为软件节能与硬件节能2个方面。硬件节能方案主要通过优化设备硬件设计、改进生产工艺以及设备集成度等手段达到降低基站设备基础能耗、提高设备能源利用率的目的。主要包括提高硬件平台集成度,加快ASIC等高集成度器件替代FPGA等高功耗器件,加快半导体工艺更新换代,加快新材料、新技术、新工艺等技术创新和产品应用,优化功放架构,增强数字预失真算法,提高散热能力等。软件节能技术根据通信网络业务在时间、空间等分布特征,以及网络负荷的变化,在保证预定指标的前提下通过基站自身软件功能设置,对硬件资源进行合理使用,例如:采用关断某些硬件器件或模块,实现基站节能目标。5G基站软件节能技术主要包括符号关断、通道关断、载波关断、深度休眠、4G/5G协同节能等。

硬件节能技术可以从本质上提高基站设备的能效水平。随着工艺水平与器件性能的提升,5G基站设备已经历了多轮平台与技术迭代,硬件能效水平较5G商用初期已有较大提升。目前,主流规格的5G共享基站设备(单站S222)最大功耗已经较2019年早期商用设备(单站S111)降低了15%。

各类软件节能技术已经普遍应用于主流的5G基站设备中。在5G网络低负荷的场景下,通过不同程度的硬件关断,可获得10%以上的平均节能收益。

2.2 现有节能技术的局限性

5G基站硬件节能效果依赖于硬件产业链发展情况,伴随厂商设备平台迭代更新,设备功耗将逐步下降;但随着5G商用发展,设备软硬件平台将趋于成熟,单纯依靠硬件工艺与技术进步所能带来的能耗下降空间将越来越小。此外,由于硬件技术迭代需要较长的周期,且主要应用于增量设备,难以在存量网络中发挥作用。

对于存量基站设备,还需要利用软件节能技术,充分挖掘现网的节能潜力。目前,5G基站设备级软件节能技术比较成熟,具备规模化应用条件。但是,现有技术一般根据业务的潮汐特点分时段关断设备,主要面向单一设备,不能支持实时跨网络的节能管理,

导致节能效果不佳、运维复杂。另外,面向3G、4G、5G多种制式系统并存的场景,还需要从全网最优的角度综合考虑多制式协同的节能方案。

智能化节能技术可突破传统软件节能的局限性,提升节能效果,但目前尚处于研发与试点应用阶段。考虑到未来业务发展多样性对网络性能与能效的新要求,还需继续深入开展5G智能化节能技术研究,应对5G大规模部署后的高能耗、高碳排放的压力。

另外,除了基站主设备,站点配套设施的能耗管理也需要纳入无线网络的节能技术体系。目前,电源、空调等配套设施的能耗在5G站点总能耗中的占比为40%~50%,配套设施的能耗管控是站点级能耗管理的重要组成部分,需要研究如何构建可视化、智能化的配套基础设施控制系统并融入无线网节能体系中。

2.3 5G无线网络节能面临的新挑战

面对5G网络能耗高、运维成本高的情况,5G网络共建共享方案顺势而生。一方面可降低5G网络建设运维成本、快速实现5G连续广域覆盖;但另一方面也将推动5G基站设备向着大带宽、高功率方向演进。以中国联通与中国电信5G共建共享基站为例,3.5 GHz基站由100 MHz带宽、200 W最大发射功率增加至200 MHz带宽、320 W最大发射功率,2.1 GHz基站设备带宽能力达到50 MHz。大带宽、高功率对5G基站设备的软件、硬件处理能力提出更高要求,单个设备的功耗也更大,给5G网络节能带来了更大的挑战。

在5G网络发展的同时,作为当前基础承载网的4G网络仍将长期存在,4G/5G多制式网络融合成为主要组网方案。同时,随着存量频谱的重耕整合,在3.5 GHz、2.6 GHz等5G先发频段的基础上,5G网络将进一步部署于2.1 GHz、900 MHz、700 MHz等多个中低频频段,形成热点地区多网并存、边远地区一网托底的网络格局。如何通过多网协同的方式使全网的能耗与网络性能达到最优,是无线网络节能技术发展面临的重要挑战。

3 5G无线网络节能体系

3.1 5G节能技术体系

为应对5G基站设备功耗高、多制式网络协同节能效率低等技术挑战,突破现有节能技术的局限性,需要构建一套系统化、精细化、智能化的节能技术体系,以全网能效最大化为目标,融合多维度的节能技术方案,实现对4G/5G等多制式无线网络的能耗管理。

如图1所示,无线网络节能技术体系包括网络级、站点级、设备级3层架构,涵盖多种节能技术方案,实

现分场景智能化节能管理,达到“用户无感知、网络高能效、运维低成本”的目标。

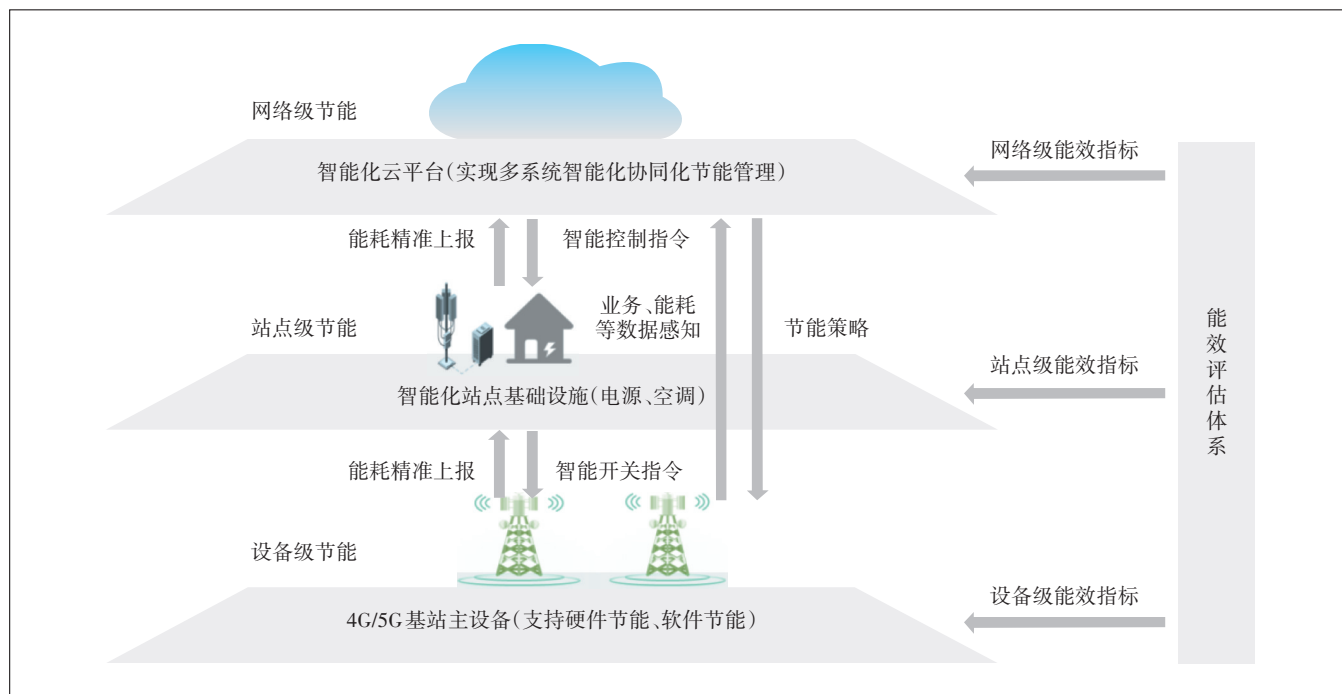


图1 5G节能技术体系

a) 网络级节能。基于智能化云平台,对4G/5G等多制式无线网资源进行协同调度,对基站设备、配套设施进行智能化节能控制,实现网随业动、一站一策,在节能的同时保障业务性能,实现业务体验和网络能效双优。网络级节能主要采用4G/5G协同智能节能方案,通过采集网络运行指标、能耗等数据,利用机器学习对历史业务量数据进行建模与预测,根据预测结果自动生成节能策略,通过发送指令控制基站、电源等设备进入节能或正常工作状态,达到全天候、跨厂家、多网协同的系统级节能效果。

b) 站点级节能。构建统一站点资源管理平台,实现对电源、空调等网络基础设施的智能化管控。基于站点资源可视化、功耗数据精准上报、分路智能供电、远程操控等技术,自动感知基站的负载情况、供电质量、电池备电时长、温度等运行数据,实现远程智能控制,降低站点能耗。

c) 设备级节能。基站设备级节能方案主要从基站硬件、软件特性方面挖掘设备的能效潜力,通过改进硬件设计以降低基站设备的基础功耗,通过部署软件节能功能以更高效地使用网络资源,降低设备动态功耗。硬件方面,主要通过工艺、算法、架构等优化,

提高硬件能效水平。比如,由7 nm工艺演进至5 nm,推动功放模块、数字基带、收发机等对功耗影响较大的关键器件的技术升级;通过DPD算法及架构优化,提升功放效率;利用高性能导热材料,提高模块的自然散热能力等。软件方面,除了符号关断、通道关断、载波关断等基础节能技术外,还包括5G多频层协同节能、AAU自动启停、AAU动态调压、BBU休眠等增强型节能方案,更大程度地降低基站动态功耗。

3.2 5G能效评估体系

3.2.1 能效指标的标准化现状

为了科学地评估无线网络的能效水平,国内外各标准化组织制定了相关的指标体系与评价标准。CCSA定义了移动通信设备节能参数,基站整机的节能参数包括基站的功耗、输出功率、输入输出功率比。ETSI制定了基站设备的功耗指标,考虑了基站在高、中、低3种负荷水平下的功耗,并根据不同负荷水平的持续时长占比,计算得到基站的平均功耗。

除了功耗指标,业界还定义了基站能效指标,通过基站流量与基站能耗的比值来评估基站单位能耗所能提供的业务流量。从能效评估层级区分,可进一步细分为设备级、站点级、网络级不同层级的能效指

标。设备级能效指标主要用于评估基站设备本身的功率效率,包括射频模块能效、基站整机能效,分别用于评估射频模块(AAU/RRU)、基站整机(BBU+AAU/RRU)的能效。站点级能效定义为主设备能耗与站点总能耗之比,站点总能耗考虑了主设备、电源、空调及其他站点配套设施的整体能耗。网络级能效指标可以反映单位能耗所提供的流量、连接数等网络性能的差异性。表1给出了业界各层级能效指标。

表1 业界各层级能效指标

层级	标准组织	指标定义
网络级	ETSI	网络能效=性能指标/网络能耗
站点级	ITU-T	站点能效=主设备能耗/站点总能耗
设备级	ETSI/ ITU-T	基站能效=基站流量/基站能耗 射频模块能效=射频机顶输出功率/射频模块能耗

3.2.2 5G网络能效评估体系分析

现有的能效评估标准主要面向2G/3G/4G无线网络,通过功耗、功率效率、流量能效比等指标评估基站设备的能效,业界尚无统一的标准衡量5G无线网络的能效水平。一方面,从4G发展到5G,网络技术与产品都发生了深刻变化,基站硬件能力、软件性能都实现了较大提升,5G基站功耗是4G的3~5倍,数据处理能力也达到了4G的10倍以上。由于5G与4G在能耗、网络性能方面的巨大差异,4G网络的能效指标不足以准确评估5G网络能效,需要重新制定更加科学有效的能效评估指标。另一方面,网络能耗大小与多种因素相关,相同能耗所能换来的网络性能也千差万别,单纯依靠能耗指标无法全面衡量不同制式、不同设备的能效差异性。因此,需要建立面向5G的绿色低碳指标体系,通过统一的评估标准,牵引5G网络能效水平不断提升。

5G网络能效评估体系需要在现有的流量能效比指标的基础上,进一步扩展到更多维度的指标。比如,综合考虑能耗与业务量、业务质量、网络覆盖、网络性能、环境影响等因素之间的内在关系,采用大数据等分析方法归纳出各因素与能效之间的数学模型,以此为基础制定更加科学、合理的5G能效指标,促进5G的绿色低碳可持续发展。

从方法论的角度,5G能效指标可定义为有效输出量与输入量的比值。有效输出量包括业务流量、用户数、业务质量、覆盖质量等指标,有效输入量为评估区域内5G基站设备的综合能耗;基于泛化的数学模型,5G能效指标可表示为:

$$5G \text{ 无线网络能效} = \frac{\text{有效输出量}}{\text{有效输入量}} = \frac{f(\text{业务量,业务质量,覆盖质量,}\dots\dots)}{f(\text{基站能耗})}$$

针对不同场景、不同业务类型的差异化需求,可以分别采用不同的能效评估指标。比如,对于5GeMBB场景,速率与容量的要求较高,能效指标中的有效输出量可重点考虑业务量、业务质量等因素;对于5GuRLLC场景,更关注业务时延、可靠性指标,有效输出量则可增加业务时延、重传率等因素。

5G网络能效与组网架构、设备类型、环境因素、业务因素等紧密相关。5G组网采用的基站数量、站型、单站功效等因素将直接决定5G无线网络的基础能效水平;温度、湿度等气候条件以及地理条件等环境因素也对5G网络的组网结构及动态功耗有一定影响;此外,5G网络能耗随业务负荷、无线资源利用率等因素动态变化,随着业务负荷的增加,网络能耗有不同程度的增加,进而影响网络能效。在实际评估5G无线网络能效时,需要考虑影响能耗的多重因素,明确评估基准条件以及指标定义,以合理评估网络的能效水平。

4 5G无线网络节能技术展望

4.1 智能节能技术

随着大数据、人工智能等技术的快速发展,无线网络的运营将向高级智能化和自动化的方向持续演进。基于海量的数据以及精准预测能力,使能实时、智能的节能控制,打造网络的低碳智能化运营能力,提高网络资源和能源利用率。

智能化节能架构如图2所示,分为数据底座、技术底座、功能层、应用层。该架构以网络性能、网络配置、用户感知、能耗、环境等多维数据为基础,通过数据自采集、数据自分析、策略自生成、策略自更新,打造智能化、自动化的技术底座,向上层的无线主设备与站点基础设施节能提供数据支撑与能力支撑。

在无线主设备智能化节能方面,支持业务精准预测、参数动态调优、一站一策场景化策略定制以及多模多频网络协同节能等功能,实现以用户为中心的网络资源与能源灵活配置,达到能耗、网络性能、业务体验的最佳平衡。

在站点基础设施节能方面,基于能源管理数字化转型,将能源基础设施打造成一张数字化和智能化的

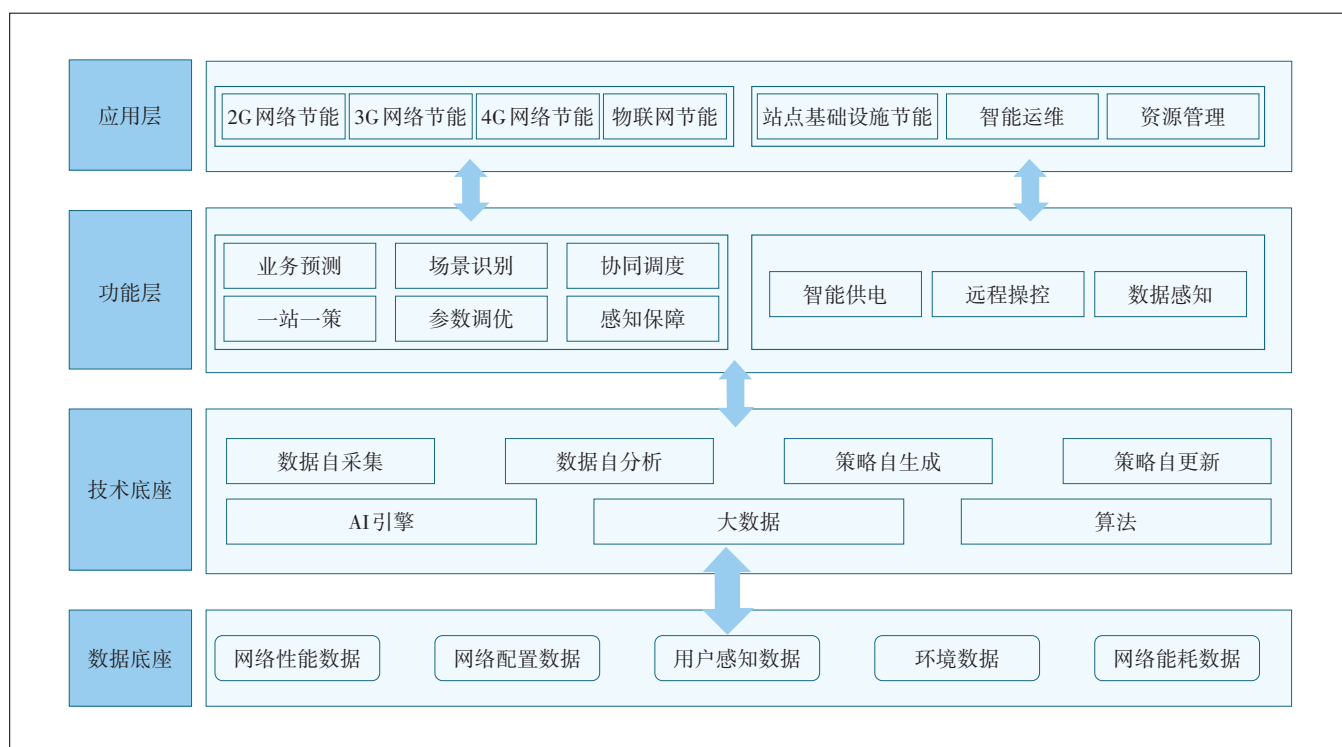


图2 智能节能技术架构

网络。一方面,基于大数据技术实现自动开站、自动联网、智能运维、全生命周期资源管理,提升能效和运维效率。另一方面,根据能耗、碳排放数据以及环境数据的实时感知,智能控制电源、空调等设施的工作状态,在满足业务需求的同时,降低能源消耗。

4.2 绿色站点

站点能耗来自2个部分,一部分是设备配套设施,如空调、电源等的能耗,另一部分是基站设备本身的能耗。绿色站点方案是提升站点配套设施能效的主要手段,主要包括站点重构和清洁能源。

a) 站点重构。通过系统化调整站点设备形态、安装部署方式、制冷供电方式,提升站点点能效。比如,通过BBU集中化部署、室外站点替换机房站点,将基站射频单元、电源电池和传输模块放置在室外,实现去机房、关空调,大幅提升站点能效。也可以采用BBU设备竖装,在外界环境相同的条件下,可降低BBU温度,减少空调能耗。

b) 清洁能源。在国家能源转型战略背景下,绿色站点可充分利用清洁能源,通过清洁能源与市电的协同,实现节能降碳。由于清洁能源的波动性和随机性特点,5G网络广泛引入清洁能源后有可能引起5G供电可靠性下降,后续还需研究以清洁能源、新型电池

技术为基础的分布式微电网,解决清洁能源转换效率、电网协同管理、供电可靠度等关键技术难题。

4.3 极简网络架构

无线网络普遍存在多模多频网络并存、频谱碎片化、设备多样化等问题,导致网络架构复杂化、能耗大、运维复杂。打造极简网络架构,可以提高网络运行效率、推动绿色低碳化发展。

a) 提高设备集成度,精简在网设备数量。比如,采用多模多频设备替换单频单制式设备,收编低效能的老旧设备,优化整合存量网络。采用多频多端口天线收编存量天线,减少天面数量,同时缓减站点天面紧张的压力。

b) BBU集中化部署,实现基带资源池化共享。BBU集中化可共享机房主设备、备电和散热设备,减少对机房空间及配套设施的需求,降低机房能耗。同时,基带池化架构更利于站间协同,可以提高软件节能增益。

c) 构建智能敏捷的网络架构。根据实际业务需求变化,灵活配置网络功能,实现网随业需、功能极简,在提升网络能效的同时,保障用户的业务感知。

4.4 端到端智能化能耗管理

为了最大化无线网络的节能降碳效果,节能技术

的关注点将由基站主设备进一步扩展到站点配套与终端设备,从能源供给侧、使用侧、消费侧,实现端到端的智能化能耗管理,通过能量传播链上各节点协同,将无线网络整体能耗控制在最佳水平。

a) 对于能源供给侧的站点配套设备,采用数字化与智能化技术,实现能源基础设施的可视、可控、可管。实时采集业务量、能耗数据,基于能耗与业务联动技术,控制电源、空调设施的工作状态,按需供电。此外,能源供给侧也可以采用风/光等可再生能源、形成多种形式能量互补,降低供给侧的碳排放。

b) 对于能源使用侧的基站设备,通过硬件架构、工艺、材料创新,结合算法迭代优化,不断提高整机运行效率。同时,融合人工智能、大数据等新兴信息技术,打造AI内生的新型智能化基站设备,根据网络性能、用户业务体验等需求,智能、精准、高效的配置资源,在设备运行阶段达到设备最高能效水平。未来,还需要研究无线光基站、智能超表面等其他高能效通信技术,进一步提高基站设备的能效。

c) 对于能源消费侧的终端设备,研究面向节能与业务感知的绿色空口技术,提升终端设备的处理能力,通过端网业协同,降低终端与网络的能耗。

另一方面,随着万物互联和社会数字化转型,无线网络流量仍将持续增长。为了避免网络能耗随流量线性增加,还需要研究无线网络全生命周期的能耗管理体系,在网络建设、运营等各环节将能效指标作为主要的考虑因素,实现全流程的节能管控。比如,在网络建设阶段,在站址规划、网络指标规划中统筹考虑用户分布、覆盖需求、能耗情况,通过智能分析找到最佳的网络规划模型,同时满足网络性能与能耗指标的双重要求;在网络运营阶段,利用AI技术精准预测业务与资源状况,通过智能调度及多系统协同实现5G网络运行能效最优。

5 结束语

在“碳达峰、碳中和”双碳战略的驱动下,国内外通信运营商正在加快制定“碳达峰”行动计划,旨在使通信行业的能耗总量逐年下降。作为新基建之首,5G网络正处在快速发展期,站点规模仍将逐年扩大。预计到2022年底,国内在用5G基站将超过200万。面对5G网络规模大、能耗大与绿色低碳发展需求之间的矛盾,迫切需要加快对5G节能技术研究,推动5G网络能效水平不断提升。

随着近几年5G的商用部署,5G节能技术研究已取得了较大的进展。未来,仍需要在现有节能技术的基础上进一步拓展节能的深度与广度,以5G节能技术体系为框架,以科学的能效评估体系为牵引,以人工智能、大数据技术为突破口,融合设备级、站点级、网络级多层级的节能技术,多措并举,最大化节能效果。同时,发展完善智能节能技术,积极探索绿色站点、极简网络架构以及端到端智能化能耗管理等新方案,打造出绿色、智能、极简的新型5G网络基础设施。

参考文献:

- [1] 吕婷,张猛,曹亘,等. 5G基站节能技术研究[J]. 邮电设计技术, 2020(5):46-50.
- [2] 李露,李福昌,曹亘,等. 5G基站智能节能方案研究[J]. 移动通信, 2021,45(2):85-88.
- [3] 彭钊,张旭. 5G基站能耗分析与节能探讨[J]. 通信与信息技术, 2021(2):49-50.
- [4] 苟坤. 5G基站节能技术及应用研究[J]. 电信快报, 2021(10):44-46.
- [5] 张蜀晋. 基于5G通信技术的无线网络节能降耗技术研究[J]. 数字通信世界, 2021(8):19-20,15.
- [6] 黄俊,田森,张诗壮. 5G-NR基站软节能技术[J]. 中兴通讯技术, 2019,25(6):19-23.
- [7] 张志荣,许晓航,朱雪田,等. 基于AI的5G基站节能技术研究[J]. 电子技术应用, 2019,45(10):1-4.
- [8] 金晶. 基于大数据分析的5G-Advanced节能演进创新应用方法研究[J]. 广东通信技术, 2022,42(2):24-29.
- [9] 李凤花,朱洪文,马云刚. 基于AI的5G网络节能方案研究[J]. 山东通信技术, 2021,41(4):19-22,43.
- [10] 张国光,赵煜,李含华,等. 基于5G业务量AI分析节能应用研究[J]. 江苏通信, 2021,37(2):112-115.
- [11] 安涛,何明宪. 双碳目标达成与移动通信基站节能减排技术的探索[J]. 移动通信, 2022,46(3):93-98,102.
- [12] 申敏,毛文俊,向东南. 绿色5G网络[J]. 广东通信技术, 2016,36(3):23-27,76.
- [13] 罗金花. 5G基站配套基础设施节能降耗技术研究[J]. 江西通信科技, 2020(4):1-4.
- [14] 周普成,蔡文科. 5G基站技术节能策略分析与研究[J]. 通信电源技术, 2021,38(2):181-184.
- [15] 王宏伟,盛化才,雷威. 通信基站综合能源技术及应用[J]. 上海节能, 2022(4):498-503.

作者简介:

李红五,高级工程师,硕士,主要从事移动通信、云网协同、人工智能等创新管理工作;吕婷,高级工程师,硕士,主要从事无线网络设备及节能研究工作;李福昌,教授级高级工程师,博士,主要从事移动通信及固网移动融合等专业的标准制定、测试验证、课题研究等工作;曹亘,高级工程师,博士,主要从事移动网通信网络新技术、标准化研究工作。