

# 5G 基站节能技术研究

## Research on Energy Saving Technology of 5G Base Station

吕婷<sup>1</sup>,张猛<sup>2</sup>,曹亘<sup>1</sup>,张涛<sup>1</sup>,李福昌<sup>1</sup>(1. 中国联通网络技术研究院,北京 100048;2. 中国联合网络通信集团有限公司,北京 100033)

Lü Ting<sup>1</sup>,Zhang Meng<sup>2</sup>,Cao Gen<sup>1</sup>,Zhang Tao<sup>1</sup>,Li Fuchang<sup>1</sup>(China Unicom Network Technology Research Institute, Beijing 100048, China;2. China United Network Communications Group Co., Ltd., Beijing 100033, China)

### 摘要:

为了降低网络运营成本,实现节能减排的目标,基站节能势在必行。介绍了5G基站的设备形态,分析了5G基站的能耗情况,重点阐述了硬件节能技术与软件节能技术,并探讨了基于AI的智能节能技术,给出了各类节能技术的应用策略。

### 关键词:

5G;基站;能耗;节能

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2020.05.010

文章编号:1007-3043(2020)05-0046-05

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:

In order to reduce the cost of network operation and achieve the goal of energy saving and carbon emission reduction, energy saving of base station is imperative. It introduces the forms of 5G base station, analyzes the energy consumption of 5G base station, describes the hardware based and software based energy saving technologies, discusses the AI based energy saving technology, and gives the application strategies of kinds of energy saving technologies.

### Keywords:

5G; Base station; Energy consumption; Energy saving

**引用格式:**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.

## 1 概述

5G时代,不断涌现的各类新业务以及海量的设备连接将推动移动数据流量爆发式增长,预计到2020年,全球移动数据流量将增长至2010年的200倍,中国的移动数据流量增速高于全球平均水平,预计将增长300倍以上。为了应对未来业务及数据流量的迅猛增长,5G网络将进入快速发展阶段,而海量数据引发的能耗也必将成倍增长,移动通信网络的能耗问题将进一步加剧,通信行业将成为一个高能耗行业。预计

到2025年,通信行业将消耗全球20%的电力,电费将成为运营商最高的OPEX支出,至少占总运营成本的15%。在世界范围内绿色低碳发展的大背景下,节能降耗、提升网络能效是未来移动通信行业可持续发展的必经之路。

在无线网络的能耗构成中,基站设备的能耗占比最高,基站节能是无线网节能降耗的基础。从4G发展到5G,移动通信技术与产品都发生了变革,5G无线网络支持更高速率、更低时延、更大连接密度,以应对5G数字化生态给网络带来的新挑战。与4G相比,5G基站支持更大带宽、更多通道数、更复杂的空口协议,硬件处理能力相应提高,设备架构及功能更为复杂,功

收稿日期:2020-03-25

耗也大幅增加,5G 基站节能面临更大的挑战。

## 2 5G 基站形态及能耗

### 2.1 5G 基站设备形态

5G 基站负责提供与 UE、核心网之间的通信,按功能可分为高层基带协议处理单元、底层基带协议处理单元及射频单元这 3 个功能模块。如图 1 所示,高层基带协议处理单元与底层协议处理单元共同完成 NR 协议栈功能,二者之间的功能切分存在多种可选方案,目前主要采用切分点位于 PDCP-RLC 之间的方案,即高层基带协议处理单元负责 RRC/SDAP/PDCP 层协议处理,并提供与核心网之间的回传接口;底层基带协议处理单元完成 RLC/MAC/PHY 协议功能,并提供与射频单元之间的前传接口。5G 射频单元主要完成基带信号与射频信号之间的转换等射频处理功能,在支持 eCPRI 接口的情况下,还需要完成部分基带物理层功能。

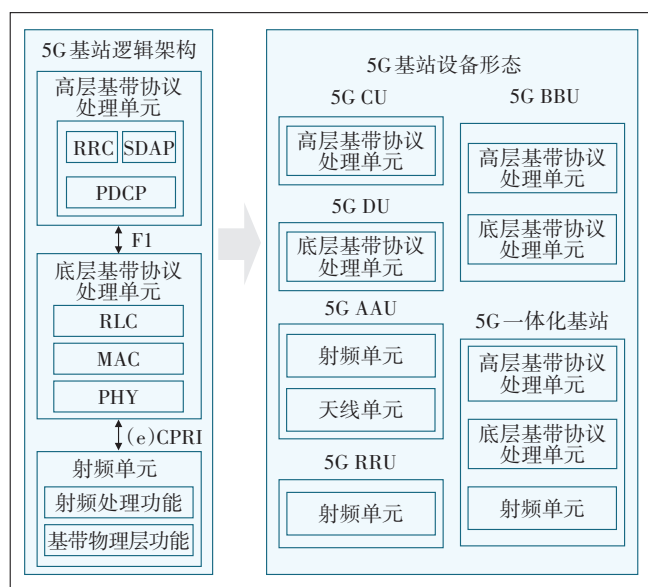


图 1 5G 基站设备形态

为了支持灵活组网,适配不同的部署场景,5G 基站存在多种物理形态,包括 CU、DU、BBU、AAU、RRU 或一体化基站等。其中,CU 实现高层基带协议功能,DU 实现底层基带协议功能,BBU 完成全部基带协议功能,AAU/RRU 负责射频处理等功能,一体化基站则集成了全部基带及射频处理功能。

在设备实现时,CU 设备基于通用硬件平台实现,集成了运算单元、交换单元及硬件加速卡,可支持软、硬件解耦及虚拟化技术。CU 设备的容量可基于部署

需求灵活配置,不同规格的 CU 在重量、体积、功耗等方面均有差异。一般一个 CU 设备可管理几十到几百个 DU,设备体积、功耗远高于基于专用硬件的 BBU 设备。

DU 与 BBU 可共硬件平台,也可以是同一个物理设备,但二者支持的软件功能存在差别,通过修改软件的方式可将 DU 转化为 BBU 或将 BBU 转化为 DU。在物理形态上,DU/BBU 存在一体化板卡、插槽式机柜这 2 种典型的架构,前者将所有的基带处理功能及接口都集成在单个板卡上,硬件集成度及可靠性较高、功耗较低;后者支持插入基带板、主控板、接口板等不同类型的板卡,支持板卡间自由组合、便于灵活扩容。

AAU 设备内部将射频单元与天线单元集成在一起,构成有源天线阵列,支持 Massive MIMO 技术。为了降低前传带宽需求,AAU 支持 eCPRI 接口,将 FFT/IFFT、信道均衡等部分底层基带功能上移到 AAU,使 AAU 的功能更为复杂。AAU 设备存在多种不同规格,支持 64T64R、32T32R、16T16R 等不同通道数。64T64R AAU 设备容量最高,可部署在密集城区的数据热点区域,32T32R、16T16R AAU 设备可基于实际业务容量需求部署在密集城区、一般城区等典型覆盖场景。此外,在地铁、隧道、高铁等特殊覆盖场景,还需要采用 8T8R、4T4R 等较少通道数的 RRU 设备,RRU 设备无内置天线单元,不支持 Massive MIMO 技术,覆盖能力有限,但可以通过外接天线扩大覆盖范围,适用于容量需求不高的场景。

一体化基站集成度最高,但设备容量、覆盖范围有限,主要为微基站形态,用于局部区域补盲、补热等特殊场景。

### 2.2 5G 基站能耗分析

为了满足超高速率、超低时延、超高连接数密度的业务需求,5G 引入了 NR 新空口技术,对基站设备的硬件能力提出了更高的要求,也促使 5G 基站设备的功耗显著提升。

从能耗构成角度分析,5G 基站的能耗主要来自 CU、DU/BBU、AAU 各类设备的功耗。对于 CU 设备,由于采用通用硬件平台,硬件资源基于容量需求灵活配置,设备功耗与硬件配置规格相关,功耗范围在几百瓦到几千瓦之间,给站点机房供电能力带来了挑战。对于 BBU-AAU 架构的基站,AAU 设备的功耗远高于 BBU,单站超过 80% 的能耗来自 AAU,因此,提高 AAU 的能效水平可有效降低基站总能耗。

5G BBU的功耗主要来自基带板、主控板等板卡内部的处理器、ASIC、FPGA等芯片的功耗,以及电源、风扇模块的热耗。与4G相比,由于NR协议实现更复杂,要求支持更高速率、更低时延,驱使板卡内部采用更高运算及存储规格、更大数量的芯片,BBU整机功耗也相应增加。

5G AAU的功耗主要来自功放、数字基带、收发信板等关键器件,这几部分功耗占AAU总功耗的70%以上,是影响AAU能耗水平的主要因素,此外也包含时钟、电源、滤波器等其他模块的热耗。

5G AAU在硬件架构方面与4G RRU有很大差别,AAU内部集成了天线阵列,支持更大带宽、更多通道以及部分基带处理功能,架构与功能更加复杂,使得AAU的功耗较4G大幅上升。

a) 5G AAU在sub 6 GHz频段支持100 MHz载波带宽,毫米波频段支持400~800 MHz带宽,载波带宽越大,对基带及数字中频芯片的性能要求就越高,功耗也随之增加。

b) 为了支持Massive MIMO技术,5G AAU的通道数成倍增加,而业界目前支持多通道的数字中频器件还不成熟,单芯片支持的通道数有限,使得AAU集成度不足、功耗较高。

c) 在支持多通道的情况下,5G AAU设备单通道发射功率较小。以64T64R AAU设备为例,在200 W总发射功率下,AAU单通道功率为3.125 W。由于小功率功放的效率较低,导致AAU整体能效水平并不高。

由于设备高性能要求以及芯片技术的成熟度等因素,导致目前5G AAU的能耗依然很高,成为单站能耗的重头。未来随着芯片产业链的发展,AAU设备的能耗存在一定的下降空间。

从功耗特征角度分析,在不同的业务场景下,5G BBU与AAU的功耗呈现不同的特征。其中,BBU的功耗与业务负荷关系不大,只与硬件板卡的配置相关,无论是空载还是满载,BBU的功耗均相差不大。AAU的功耗包含静态功耗与动态功耗2个部分,如图2所示,其中,静态功耗取决于设备的硬件性能,与业务负荷无关,动态功耗则随业务负荷波动而变化,业务负荷越高,功耗越大。

### 3 5G基站节能技术

5G基站设备的节能可通过硬件技术与软件技术2

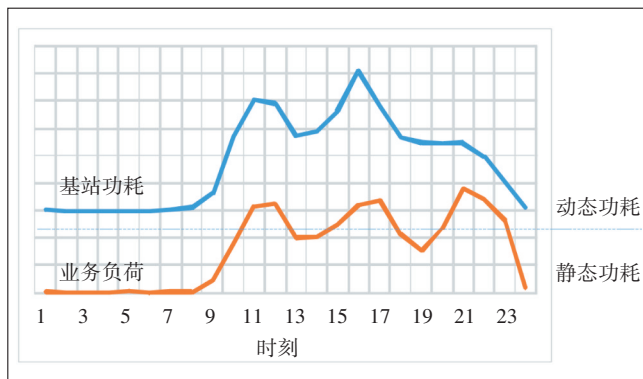


图2 AAU功耗特征

个方面实现。硬件节能可提高基站设备的能效水平,软件节能结合业务分布特征合理配置基站硬件资源,降低设备动态功耗。此外,通过合理的网络规划与优化,降低站址数量、提高设备利用率,也可以降低网络的能耗。

#### 3.1 硬件节能技术

基站硬件性能的提升是降低基站能耗的基础,随着5G芯片产业链的发展,基站关键器件的集成度与性能将不断提高,为硬件节能奠定了基础。硬件节能技术主要基于设备硬件架构、工艺、集成度的演进来实现,可以从根本上降低BBU与AAU的功耗,提高设备的能效水平。硬件节能技术主要包括以下几方面。

a) 优化硬件架构设计,提高硬件能效水平。随着5G协议与功能的成熟,尽快采用ASIC专用芯片替代FPGA等高功耗器件,提高硬件平台的性能与集成度,降低设备基础功率。

b) 加快半导体工艺演进,提高硬件集成度。目前,基站设备一般采用28或14 nm技术,演进到下一代硬件平台后将采用10或7 nm技术,芯片工艺的进步会带来显著的功耗下降。

c) 引入新材料、新技术,提高功放效率。比如,通过采用GaN、Doherty、漏压调节等新技术或更先进的封装工艺等手段,持续优化PA设计,提高设备功率利用率。

#### 3.2 软件节能技术

无线网业务存在明显的潮汐效应,在时间、空间上均呈现出忙闲不均的特征,为软件节能技术的应用提供了可能。软件节能技术并不能降低基站的静态功耗,但是可以结合业务的分布特征,在网络闲时关断部分硬件资源,适时降低AAU的动态功耗,实现节能的目的。



软件节能技术包含符号关断、通道关断、小区关断等多种软件特性,如图3所示。

符号关断特性通过功放的不连续发射来降低AAU功耗。当AAU检测到部分下行符号发送时刻没有数据发送时关闭功放,在有数据调度的符号周期内,功放立即进入工作状态,对网络性能没有影响。符号关断的比例与基站调度方式相关,为了提高节能效果,可通过对调度算法的优化,将用户数据集中在特定符号内调度传输,增加空闲符号的比例,进而增强符号关断的节能效果,实现智能化符号关断。

通道关断特性适用于多通道AAU设备,基于业务量的变化,适时休眠部分射频通道,达到节能的效果。当基站业务量增加时,打开已关闭的通道,恢复多通道发射状态。通道关断后,由于AAU射频通道数减少、发射功率降低,基站的覆盖能力将受到影响。为了保障网络性能,通道关闭时需要提高控制信道的发射功率,同时保持上行接收通道处于开启状态,避免影响终端的接入。

小区关断特性主要用于同一区域存在多层网络覆盖的场景,即基础覆盖层与容量层。通过判断小区的覆盖情况和容量状态,识别出容量层低业务小区,并对该小区进行关断,以实现节能的目的。在容量层小区关断前,还需要将用户迁移至覆盖层小区并建立网络连接,避免影响覆盖区域内用户的业务接续。小区关断典型的应用场景是LTE基站提供基础覆盖、5G基站补热的场景,在5G业务负荷较低的情况下,关断5G小区、保留LTE小区,可以降低覆盖区域内的总功耗,实现网络区域级的节能。

### 3.3 基于AI的智能节能技术

随着网络技术的演进,5G时代将出现多制式网络共存的情况,云化的网络架构也在逐步发展,使得网络结构的复杂度不断增加,如何通过多制式网络之间的协同实现区域级的能耗最优化成为网络节能面临的关键问题。传统的软件节能技术中,关断特性由基站根据业务量统计触发,关断时间、关断门限等参数需要由人工进行设置,难以在保证用户业务性能的前提下实现跨网络的节能,节能效果有限,关断特性在全网的使用率并不高。

随着人工智能技术(AI)的发展,基于AI的智能化节能成为了未来新的技术发展方向。利用AI技术可以对现网大量数据进行分析、建立业务模型,实现业务预测及参数训练,同时,通过AI算法可自动识别节能小区、选择节能策略,提高节能触发的灵活性,为软件节能特性的广泛应用提供了可能。

基于AI的智能化节能技术的实现流程如图4所示。

- a) 不同制式、不同频段的基站设备通过网管接口向网管平台上报KPI、MR等各类业务性能数据。
- b) AI平台从网管平台实时获取业务性能数据,通过机器学习对数据进行分析,并基于分析结果识别节能基站、生成节能策略。
- c) AI平台将节能策略下发给节能基站,触发对应基站进入节能状态。
- d) 随着业务负荷的变化,AI平台实时评估节能效果及网络性能,并调整优化节能策略,提升节能效果。

### 3.4 节能技术的应用策略

硬件节能技术是实现基站节能降耗的基础,其优势在于节能效果比较明显,可同时降低BBU与AAU的

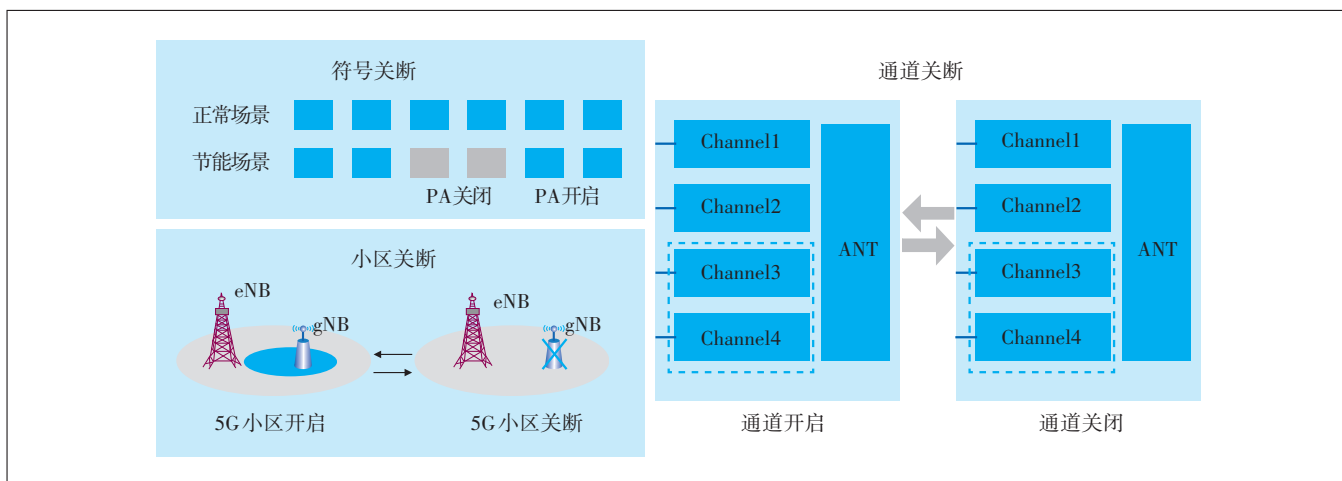


图3 软件节能方案

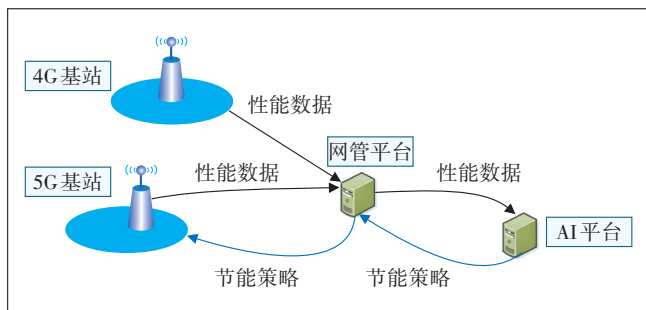


图4 基于AI的智能节能技术

能耗,从根本上改善基站的能效水平。但是,硬件节能的实现依赖于基站硬件架构的演进,同时也依赖于5G关键器件的成熟度,因此,硬件节能技术的应用需要一定的时间周期。随着5G产业链的发展,基站硬件平台的迭代优化,硬件节能的效果会逐步体现出来。

软件节能技术主要用于降低AAU的动态功耗,对BBU功耗影响不大。而且,软件节能的效果与业务负荷相关,一般基站负荷越低,节能效果越好。另外,节能效果也与节能参数的设置相关,关断门限设置越低、节能特性生效的时间越长,节能增益越明显。因此,在实际应用中,可基于不同的节能场景,配置多组不同的参数,满足差异化的节能需求。

在5G网络发展的不同阶段,需要结合5G业务以及产业链的发展情况分阶段部署相应的基站节能技术。在5G商用初期,用户规模较小,5G网络处于轻载或空载状态,在4G网络提供打底覆盖的基础上,开启5G小区关断特性可显著降低5G网络的能耗。随着5G业务模式成熟以及用户渗透率的增加,5G网络的业务负荷将逐步增大,单纯基于小区关断的方案难以同时满足业务性能与网络节能的需求,需要结合5G业务特征,使用符号关断、通道关断等节能特性,同时结合AI技术,实现智能化节能,提高软件节能效果。此外,硬件节能作为提高基站设备能效水平的基础手段,需要始终贯穿于5G网络发展的各个阶段。

#### 4 结束语

5G网络商用在即,在经历了原型设备、实验网设备到商用设备的发展过程之后,5G基站设备的架构与形态已逐步确定,目前已具备商用部署条件。但是,受限于硬件产业链的发展进程,目前5G基站设备的功耗依然居高不下,大幅增加的能耗给运营商带来了节能减排、降本增效的挑战,基站节能势在必行。

5G基站的节能可以从硬件与软件2个方面实现,

一方面可通过硬件架构的演进、新技术与新材料的引入、芯片集成度的提高等方式来改善基站设备的能效水平,另一方面可通过部署符号关断、通道关断、小区关断等软件节能特性以降低AAU的闲时能耗。由于软件节能技术在降低基站能耗的同时,还有可能影响网络的覆盖或容量性能,未来还需要对软件节能特性进行进一步的优化与增强,通过智能调度、网间协作等方式保障用户的业务性能。另外,作为新的技术发展方向,基于AI的节能技术还需要深入研究,探讨如何利用机器学习及人工智能算法实现更加智能化的节能技术。

#### 参考文献:

- [1] 5G愿景与需求白皮书[EB/OL]. [2019-12-25]. <https://wenku.baidu.com/view/725a6c74a5e9856a561260bd.html>.
- [2] Study on New Radio Access Technology; Radio Access Architecture and Interfaces (Release 14): 3GPP TR 38.801[S/OL]. [2019-12-25]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.
- [3] NR; NR and NG-RAN Overall Description (Release 15): 3GPP TS 38.300[S/OL]. [2019-12-25]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.
- [4] NG-RAN; Architecture description (Release 15): 3GPP TR 38.401[S/OL]. [2019-12-25]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.
- [5] NR; Packet Data Convergence Protocol (PDCP) specification: 3GPP TR 38.323[S/OL]. [2019-12-25]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.
- [6] NR; Radio Link Control (RLC) protocol specification (Release 15): 3GPP TR 38.322[S/OL]. [2019-12-25]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.
- [7] NR; Medium Access Control (MAC) protocol specification (Release 15): 3GPP TR 38.321[S/OL]. [2019-12-25]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.
- [8] NR; Physical layer; General description (Release 15): 3GPP TR 38.201[S/OL]. [2019-12-25]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.
- [9] NG-RAN; F1 general aspects and principles: 3GPP TR 38.470[S/OL]. [2019-12-25]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.
- [10] Study on new radio access technology Physical layer aspects: 3GPP TR 38.802[S/OL]. [2019-12-25]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.
- [11] Study on new radio access technology Radio interface protocol aspects: 3GPP TR 38.804[S/OL]. [2019-12-25]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.
- [12] Study of separation of NR Control Plane (CP) and User Plane (UP) for split option 2: 3GPP TR 38.806[S/OL]. [2019-12-25]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.
- [13] 吕婷,曹亘,张涛. 5G基站架构及部署策略研究[J]. 移动通信, 2018(11):72-77.

#### 作者简介:

吕婷,高级工程师,硕士,主要从事5G基站及组网研究工作;张猛,工程师,硕士,主要从事移动网络的运营管理工作;曹亘,高级工程师,博士,主要从事无线技术、标准研究工作;张涛,高级工程师,硕士,主要从事无线技术研究工作;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技术研究工作。