

5G-NR 基站软节能技术

Soft Power Saving of 5G-NR Base Station



黄俊 /HUANG Jun, 田森 /TIAN Sen, 张诗壮 /ZHANG Shizhuang

(中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳 518057)
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

摘要: NR 基站的节能是运营商关注的重要内容。软节能的主要技术为单小区节能技术和多小区联合节能技术。这些技术具体包含符号关断、时隙关断、通道关断、功放调压、载波关断和人工智能 (AI) 节能等功能。认为 5G-NR 基站节能有望在第三代合作伙伴计划 (3GPP) 的协议中设立统一标准。

关键词: 符号关断; 时隙关断; 通道关断; 功放调压; 载波关断

Abstract: Power saving technology for 5G-New Radio (NR) base station is an important consideration of the operator. Single cell power saving technology and multi-cell joint power saving technology are two main technologies of soft power saving. Six kinds of soft power saving technologies for 5G-NR base station are described, including symbol power off, slot power off, channel power off, power amplifier (PA) bias voltage adjustment, carrier power off and advanced power saving technology. The uniform standards in the 3rd Generation Partnership Project (3GPP) agreement are expected to set on power saving of 5G-NR base station.

Keywords: symbol power off; slot power off; channel power off; PA bias voltage adjustment; carrier power off

DOI: 10.12142/ZTETJ.201906003

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20191221.1559.004.html>

网络出版日期: 2019-12-13

收稿日期: 2019-10-15

据 测算, 5G 新空口 (NR) 技术基站的功耗是 4G 长期演进 (LTE) 基站的 2 倍甚至更多, 这使得 NR 的运营成本大幅提升。从中国电信 2018 年年报可知, 2018 年中国电信的盈利为 212 亿元, 但电费开支高达 120 亿元, 电费消耗了很大一部分利润。所以, NR 基站的节能是运营商的一个重要考量内容。

NR 基站功耗高主要是由于其采用了大规模多输入多输出

(Massive MIMO, 简称为 MM) 架构。NR 每个天线通道的组成和传统的 LTE 通道类似, 都含有功放 (PA)、收发信机 (TRX)、数字预失真 (DPD)、数字基带处理。但是, 相比传统的 LTE 架构, NR MM 架构每个通道的 PA 功率是 LTE 单通道的 10% ~ 15%。PA 功耗在每个通道里的占比相对较低, 但 TRX、DPD 和数字处理部分功耗比重急剧提升。业界主要通过硬节能和软节能能达到降低功耗的目的。

硬节能是指通过采用更高级的芯片工艺、更高集成度的功能芯片或更高功放效率以降低功耗。例如, 中兴通讯具有硬节能技术的基带处理芯片: 它采用了 Intel 最新的加工工艺; DPD 功能由现场可编程门阵列 (FPGA) 改为高集成度芯片来实现; 功放采用最新的氮化镓 (GaN) Doherty 结构。这些措施都极大地降低了 5G-NR 基站功耗, 简化了硬件架构。

软节能模式指软件在满足一

定的无线性能基础上,根据小区负荷灵活关断部分器件或载波以便节能。现在采用的技术通常有针对单小区操作的符号关断、时隙关断、通道关断、PA 调压和针对多小区操作的载波关断、人工智能 (AI) 节能技术。

1 单小区节能技术

1.1 符号关断

NR 基站属于二维度调度,相对 LTE 基站,它更加灵活。调度信息包含时域和频域(如资源块(RB)、带宽部分(BWP)、服务小区)^[1-5],即包含调度符号数和 RB 数目。传统的 LTE 调度是一维调度,调度信息只包含频域。在该调度模式下,调度器可以采用调度一个时隙的部分符号但是满带宽的,这可以替代原来的调度一个时隙的所有符号但只分配部分 RB 的策略。在这种策略下,由于剩下符号没有业务数据可发,所以可以被关断。

PA 功耗分为静态功耗和动态功耗。静态功耗在 PA 开启后就一直存在,不随负荷而变化;动态功耗随着负荷增加而增加。符号关断节能的本质是降低 PA 静态功耗。符号节能的方法是在集中的符号上快速传完数据,然后关断剩下符号,这样节省了关断符号上的 PA 静态功耗及 TRX 的静态功耗。假设关断了 X 个符号,那么 PA 和 TRX 的静态功耗可减少 $X/14$ 。

符号关断的恢复时间在微秒级,关闭的器件为 PA 和部分

TRX。该功能对网络关键性能指标(KPI)没影响,在任何时候都可以开启。

1.2 时隙关断

NR 时隙关断主要指业务汇聚到某些时隙,剩下的时隙不调度以达到关闭器件节能目的。这些调度的时隙上的 RB 需要超过一定门限。如果没达到门限且没有广播信道需要调度,那么调度器会暂停下行调度直到业务服务质量(QoS)时延接近事先规定的最大值,或调度 RB 累积需求超过门限,才会开始调度。

相对 1.1 节描述的符号关断,时隙关断会增加业务时延,但是开销相比符号关断更少。这里的开销指在基于时隙的调度下,一个 slot 里面有一个符号用于物理下行控制信道(PDCCH),一个符号用于解调参考信号(DMRS)。这样一来,总共有 12 个符号用于业务数据传输。那么,业务数据占比为 $12/14$,开销为 $2/14$ 。在符号关断技术下,一个 slot 里面有一个符号用于 PDCCH,一个符号用于 DMRS, N 个符号用于业务数据。那么,业务数据占比为 $N/(N+2)$,开销为 $2/(N+2)$ 。由于 $N < 12$,所以在传输同样比特数时,符号关断技术带来的开销相对较大。

这里的开销也指不用于用户的物理下行共享信道(PDSCH)数据传输的功率开销。从直观上来说,这种开销应越少越好。

时隙关断恢复时间在微秒级,关闭的器件为 PA 和部分 TRX。虽

然该功能对业务时延有一定影响,但调度器可灵活控制时隙关断时间,所以对 QoS 影响可控。

1.3 通道关断

通道关断是指小区在一定负荷下关闭部分通道以达到节能目的。这里的通道指 PA 以及与 PA 对应的 TRX 和 DPD。通道关断要求恢复时间在秒级,因此能够关闭较多器件,以节省电能。

通道关断可以上下行分别关断:下行通道关断,5G-NR 基站需要考虑广播、信道状态信息(CSI)等的权值及覆盖变化;上行关断则需要考虑上行业务覆盖变化。运营商通常会要求关断前后的覆盖接近相同,那么则有:

- 5G-NR 基站需要在剩余天线上提高 SSB/CSI-RS/PDCCH 的发送功率,以保持与关断前小区公共信道的覆盖相同的覆盖。

- 由于剩余天线单位 RB 发射功率增加,造成可以支持的 RB 数目减少,这会限制 RB 最大个数。

- 从通道关断到通道恢复,已校准的相位和幅度均有变化,这时需要触发相位校正和幅度校正。

- 如果上行覆盖有冗余,则上行部分通道可以关闭。

由于通道关断会影响调度 RB 数目及覆盖,需要较频繁触发校正,而且以前优化的切换参数可能也会随之改变,所以一般用于业务比较少的时段。

1.4 PA 调压

PA 调压指调整 PA 的偏置电

压。在不同偏置电压下,功放的静态功耗不同。减少静态功耗可降低能耗。在保证一定功放线性度及相同输出功率下,一般功放偏置电压越低,静态功耗越小。当PA的偏置电压设置成低电压时,其最大输出功率会变低。这需要5G-NR基站调度器限制调度RB个数或控制总的基带输出功率,以避免功放进入饱和区。PA调压适用于小区负荷较低场景。图1是一张典型的功放输入基带功率、输出功率、功放偏置电压关系示意图。功放在低负荷时会使用低偏置电压的工作区间,即图1中的 V_2 曲线。

调整电源偏置电压的稳定时间一般为1~400 ms,对于不同电压稳定时间,适用场景也不同。如果稳定时间为1 ms,那么PA调压可以实时跟踪业务包络,节能效果好,且能满足QoS,但是电源价格昂贵;如果稳定时间为400 ms,PA不能够实时跟踪业务包络,虽然达到节能效果,但是有时可能不满足低时延业务,比如高可靠低时延通信(uRLLC)业务。

网络整体功耗很大。为了节能方便,可以按照下面规则来标定载波(即服务小区)的关闭优先级:

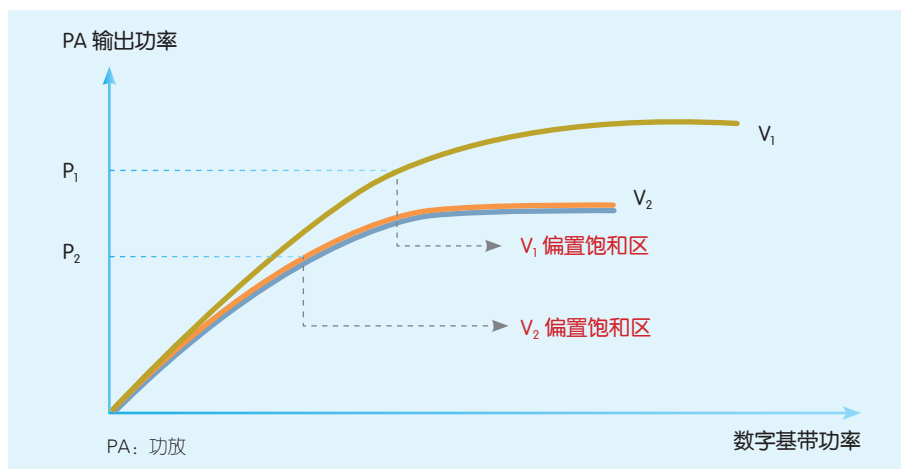
- 每个制式,具体包括GSM、通用移动通信系统(UMTS)、LTE、NR,可以在制式里分容量层和基础覆盖层。在容量层负荷低时,可以把业务负荷转移到基础覆盖层。

- 对于上述4个制式,又可以分为容量制式和基础覆盖制式。例如,NR属于容量制式,GSM属于基础覆盖制式。

- 在业务负荷较低时,关闭

顺序为:先关闭容量制式的容量层,再关闭基础覆盖制式的基础覆盖层,图2描述了载波的关闭顺序。

以NR的NSA方式组网时,可认为其中的NR是容量制式,LTE是基础覆盖制式。如果NR业务量比较低,则可以智能地关闭NR,同时把流量转移到LTE上。一旦LTE业务超过门限,再唤醒NR小区。这样一来,整个网络的功耗随着业务量变化而变化。载波关断恢复时间在分钟级,关闭的器件为PA、TRX、DPD芯片(DPDIC)和部分数字基带。载波关断适合跟

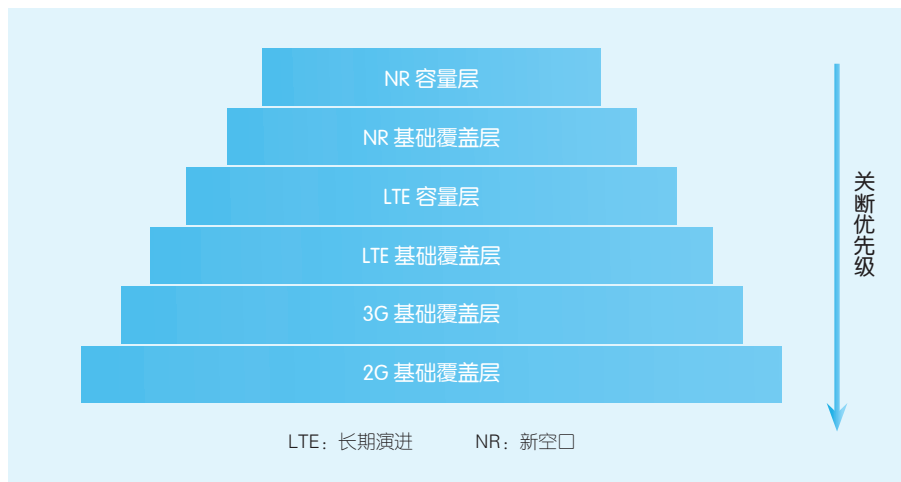


▲ 图1 不同偏置电压下功放的输出功率示意图

2 多小区联合节能技术

2.1 载波关断

移动运营商经过不断发展,已拥有多个频段的频谱。中国移动至少拥有1.8 GHz频段的频分双工(FDD)制式的LTE、1.9 G/2.6 GHz频段的时分双工(TDD)制式的LTE、2.6 G/4.9 GHz频段的NR和900 MHz频段的全球移动通信系统(GSM)。由于制式和频段众多,



▲ 图2 载波(服务小区)的关闭优先级

踪网络流量的慢速变化包络。

2.2 人工智能节能

人工智能 (AI) [6-11] 技术也可以应用到基站节能上。AI 可以预测网络场景变化, 提前关断部分通道或者载波。例如, 高铁通过单个远端射频单元 (RRU) 时间只需要 1 s, 高铁来车间隔约为 3 min。所以, RRU 实际工作时间占比只有 $1/(3 \times 60) = 0.56\%$ 。通过 AI 可以获知高铁到达时间, 智能关断高铁场景的 RRU, 在列车到达前开启 RRU, 从而可以降低功耗。

图 3 是长沙大学校园 2 个站点的 LTE 用户数随时间变化的实景图。图 3 中逸夫楼在 23 点到凌晨 6 点间几乎没有用户。类似潮汐现象在网络里随处可见。AI 可以学习每个小区业务模型, 定时开启和关闭对应的 NR 小区。关闭后该场景下用户可以迁移至 LTE 或 3G 网络。

AI 还可以学习网络覆盖状况, 侦测并关闭冗余覆盖小区, 或根据

通道关断情况优化天线权值以保证覆盖 [12]。图 4 是网络拓扑在白天和晚上的变化示意图。晚上中间的小区由于业务少 (黑圈标注) 而被关闭, 其原有的覆盖由邻区改变权值后提供。图 4 的中间小区可以在适当时候关闭以节能。

综上所述, AI 节能可以在低负荷时调整权值, 增加重叠覆盖, 关闭冗余小区。AI 节能可以智能地打开或关闭潮汐小区, 也可以在宏微组网中关闭特定的小区。由于无线网络复杂, 需要考虑的因素很多, 人工优化特别困难; AI 则可以根据网络各时段特点及对 QoS 业务需求动态调整节能相关参数, 提高节能效率并满足一定的无线 KPI, 大大降低了网络维护的难度。

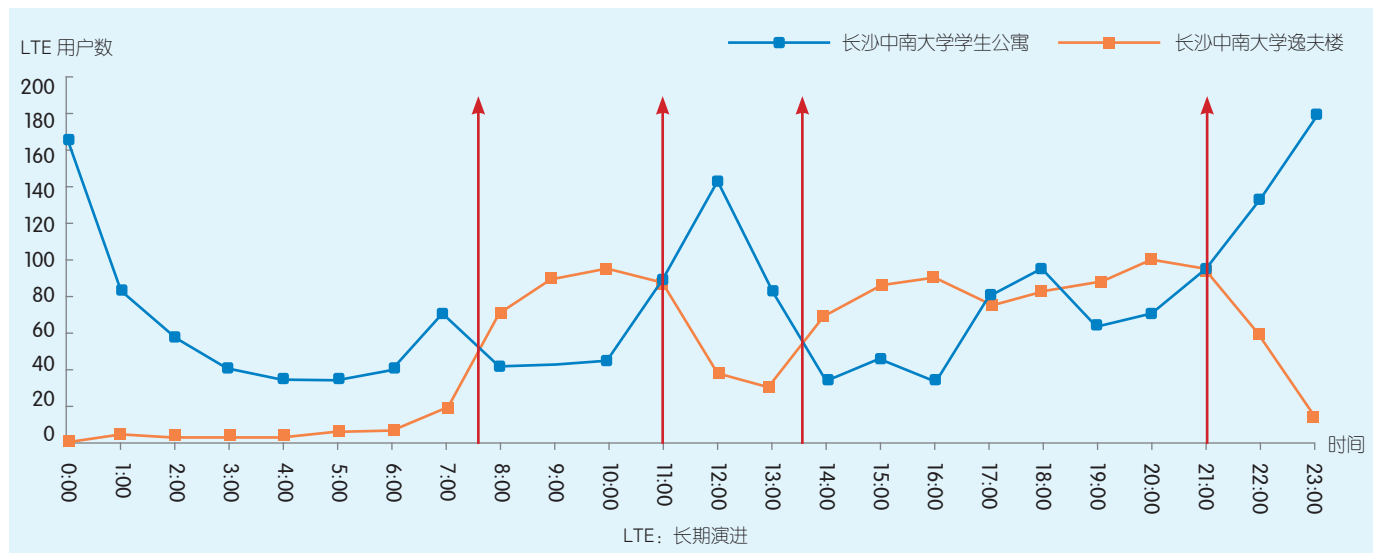
3 不同节能技术应用区别

在单小区节能技术中, 除了符号关断外, 其他节能技术对网络无线关键性能指标 (KPI) 都有一定的影响。符号关断和时隙关断对业

务影响忽略不计, 可以常开。如果 PA 调压稳定时间长, 需要在业务负荷低于一定门限, 且不包含时延敏感业务时才能开启; 如果 PA 调压稳定时间短, 跟踪业务包络不影响业务体验, 则可以常开。通道关断会影响小区覆盖及切换参数, 恢复时间较长。通道关断后, 要求小区用户较少, 业务对时延要求较低。

多小区联合节能技术里的载波关断由于恢复时间较长, 适用于小区业务负荷或用户数很低的场景。这时业务和用户可以负荷均衡到其他小区或其他无线制式; 而高级节能功能里的 AI 也是根据负荷预测, 利用小区某段时间负荷较低或网络重叠度高等特性关闭特定部分小区。图 5 是各个子节能功能在不同负荷开启时刻的示意图。

在实际网络中, 单小区节能技术一般用于小区负荷低 / 中 / 高场景, 而多小区联合节能一般用于更低负荷或重叠覆盖区比较严重的场景。例如, NR 网络初期用户少,



▲ 图 3 商用场景潮汐现象

大部分小区可以载波关断，其业务回落到 LTE，当 LTE 业务繁忙时才唤醒 NR。

4 结束语

优化 5G-NR 基站节能性能时，软节能和硬节能都需要考虑。将来系统硬件和芯片架构可能会逐渐使用手机芯片的、以节能为主要考点的设计思路，并会考虑软件节能和软硬件的协同优化。在运营商的推动下，基站设计理念及架构将会有较大改变。

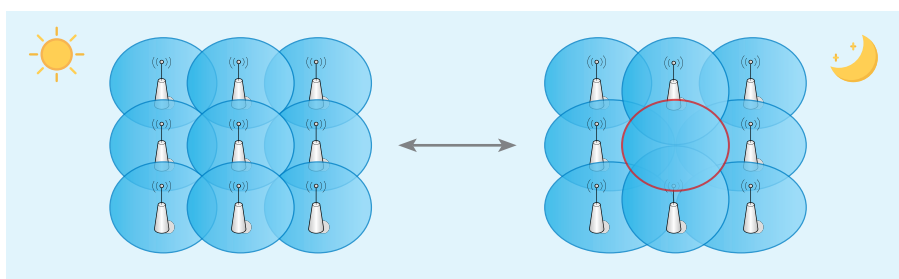
由于运营商网络的制式众多，节能参数变量有时域、通道域、载波域、无线制式、功放电压等，每项调整都会对网络无线 KPI 有影响。此时，人工调优几乎不可能。这使得将来的软件会逐渐采用 AI 技术来优化这些参数组合，并根据运营商需求在无线性能和节能 KPI 间达到平衡。

从标准化角度来看，5G-NR 基站节能有望在 3GPP 的协议中设立统一标准^[13]。类似于 LTE 的微站打开/关闭功能有可能在 5G-NR 中得到增强。当然，协议规定的方法和实现的方法是相辅相成的，它们共同使得 5G-NR 基站能耗降低^[14]。

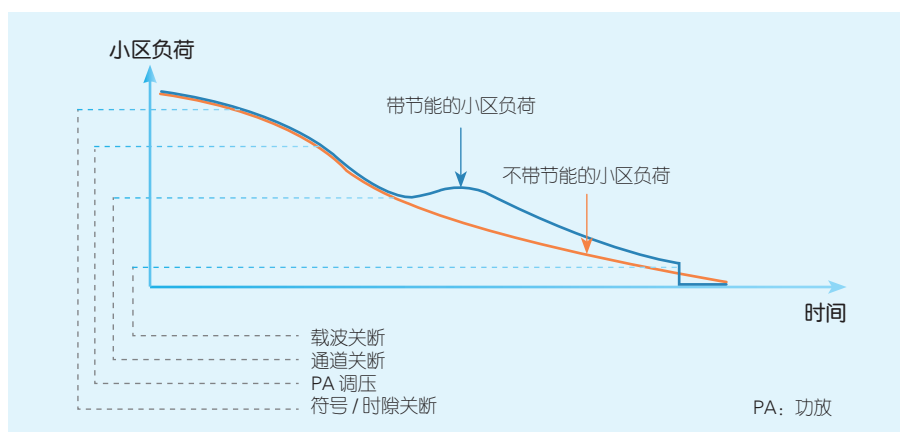
相信在不远的将来，绿色能源也将可以应用到基站中，例如，利用太阳能、风能就可正常工作，基站将更加“绿色”。

参考文献

- [1] 3GPP. NR; Physical Channels and Modulation: 3GPP TS 38.211[S]. 2018
- [2] 3GPP. NR; Physical Layer Procedures for



▲ 图 4 网络拓扑在节能后的可能变化



▲ 图 5 各种软节能的应用场景

- Control: 3GPP TS 38.213[S]. 2018
- [3] 3GPP. NR; Physical Layer Procedures for Data: 3GPP TS 38.214[S]. 2018
- [4] 3GPP. NR; Medium Access Control (MAC) Protocol Specification: 3GPP TS 38.321[S]. 2018
- [5] 3GPP. NR; Radio Resource Control (RRC) Protocol Specification: 3GPP TS 38.331[S]. 2018
- [6] 周志华. 机器学习 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2016
- [7] 屠要峰, 吉峰, 文韬. 机器学习在大视频运维中的应用 [J]. 中兴通讯技术, 2018, 23(4): 2-8. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6868.2017.04.001
- [8] 李航. 统计学习方法 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2012
- [9] 李士勇, 陈永强, 李研. 蚁群算法及其应用 [M]. 黑龙江: 哈尔滨工业大学出版社, 2004
- [10] 吴庆洪, 张纪会, 徐心和. 具有变异特征的蚁群算法 [J]. 计算机研究与发展, 1999, 36(10): 1240-1245
- [11] 周明, 孙树栋. 遗传算法原理及应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1999
- [12] 陆平, 邓硕, 李伟华. 基于深度学习的多目标跟踪算法研究 [J]. 中兴通讯技术, 2018, 23(4): 14-19. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6868.2017.04.003
- [13] raft_MeetingReport_RAN_85190920[EB/OL]. https://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/TSG_RAN/TSRG_85/Report/draft_MeetingReport_RAN_85190920_eom.zip
- [14] YUAN Y F, WANG X H. 5G New Radio: Physical Layer Overview [J]. ZTE Communications, 2017, 15(S1): 3-10. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5188.2017.S1.001

作者简介



黄俊, 中兴通讯股份有限公司资深架构师, 业界首个 LTE FMM 基站算法架构设计者; 现从事无线算法架构及系统节能架构的设计工作, 并重点从事无线数字信号处理、MAC 及 PHY 算法设计的工作。



田森, 中兴通讯股份有限公司高级工程师; 主要从事移动通信研发工作, 参与过 GSM/TDSCDMA/LTE/5G NR 基站产品研发, 目前重点研究 4G/5G 产品无线节能商用技术。



张诗壮, 中兴通讯股份有限公司高级工程师; 主要从事 CDMA/3G 平台/UMTS/WiMAX/TD-LTE 多个产品的研发和产品化工作, 目前聚焦于 5G 产品商用技术的研究。