

# 基于AI的4G/5G基站节能 Application of Energy Saving Solution for 4G/5G Base Station Based on AI 解决方案应用

王耀祖,蔡宗平,马学军,石巍(中国移动通信集团设计院有限公司重庆分公司,重庆 400042)  
Wang Yaozu, Cai Zongping, Ma Xuejun, Shi Wei (China Mobile Communications Group Design Institute Co., Ltd. Chongqing Branch, Chongqing 400042, China)

## 摘要:

随着5G网络的大规模商用,基站主设备能耗占比持续升高。对于主设备而言,如何有效降低载波功放模块的能耗成为业内急需解决的一大难题。研究了基于AI的动态调整方式实现基站的智能化节电,为各大运营商能耗降低提供有效的解决方案。

## 关键词:

5G;5G能耗;5G节能;AI节能  
doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2021.11.011  
文章编号:1007-3043(2021)11-0056-06  
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:

With the large-scale commercial use of 5G network, the proportion of energy consumption of base station main equipment continues to increase. For the main equipment, how to effectively reduce the energy consumption of carrier power amplifier module has become a major problem to be solved in the industry. The dynamic adjustment method based on AI is studied to realize intelligent power saving of base station, which provides effective solutions for the major operators to reduce energy consumption.

## Keywords:

5G;5G energy consumption;5G energy saving;AI energy saving

引用格式:王耀祖,蔡宗平,马学军,等.基于AI的4G/5G基站节能解决方案应用[J].邮电设计技术,2021(11):56-61.

## 1 概述

传统的节能技术主要还是依赖简单的模型或人工设定好的门限来决定开关与否,其参数设置相对保守,导致节能效果有限。所有参数都是由基站统一设置、定制化设置,无法适应现网复杂多变的环境,无法解决不同环境下各基站节能策略的独立选择问题,难以在用户体验和节能效果间达到平衡。本文将探讨利用AI技术,通过历史数据学习构建模型,同时引入实时数据不断训练修正模型,探讨在当前环境下进行

节能场景的识别、负荷的智能预测、节能策略的智能推荐,在保证用户体验的条件下,达到智慧节能的效果。

## 2 基站节电技术方案

现网主要采用硬关断和软关断2种方案,硬关断主要包含电池脱钩、远程继电器关断、FSU关断方式,软关断主要包含符号关断节电、通道关断节电、载波关断节电、小区关断节电4种节电方式,实际操作中,通过对每种节电方式汇总累加来判断节电效果,可结合进行应用,本文中主要讨论软关断相关的技术应用。

收稿日期:2021-10-15

## 2.1 符号关断(亚帧关断)节能

符号关断指基站在部分符号没有发送数据时,基站在这些“没有发送数据”的符号周期关闭功放,从而达到降低系统功耗的目的。该特性分为基本符号关断和增强型符号关断。符号关断功能需要RRU支持,增强型符号关断还需要UE支持。

亚帧关断与符号关断类似,基站根据业务量的变化,适时休眠部分器件(至少包含功放),如图1所示。

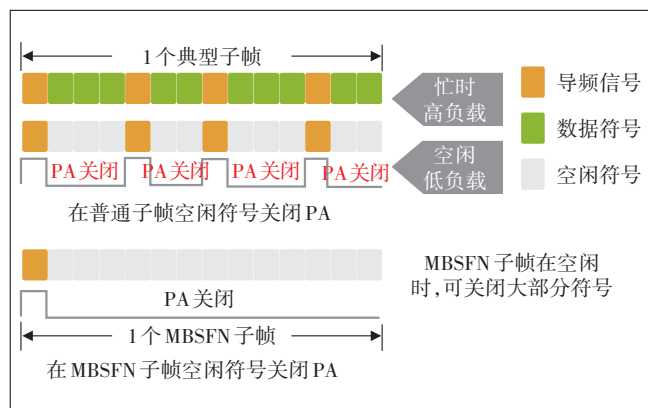


图1 符号关断原理示意图

基本符号关断的原理就是在RRU进行检测,如果当前符号不承载数据,则关闭功放。检测是符号级的,如图1所示,在1个Slot中Symbol #1、#2、#3、#5、#6周期内可以关闭功放,如图2所示。

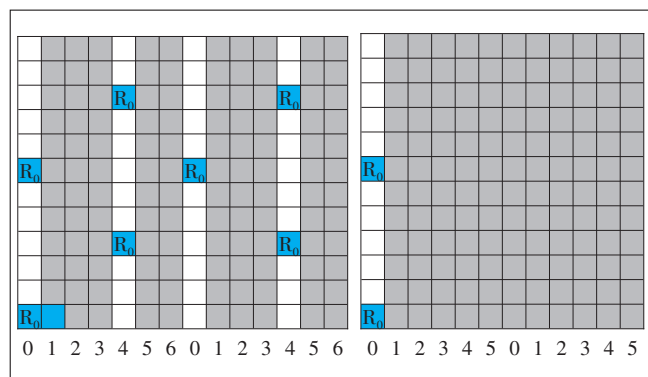


图2 基本符号关断原理示意图

增强型符号关断模式是基站在部分子帧没有用户数据发送时,基站将这些“没有用户数据发送”的子帧配置成MBSFN子帧,实现关闭更多的符号。如图2所示,1个MBSFN子帧可以只在Symbol #0发送参考信号,其他Symbol可以都关闭功放。

## 2.2 通道关断节能

通过监测一段时间内的小区业务量状态,若该状

态满足全部预设条件/阈值,触发小区从多人多出(MIMO)配置为单人多出(SIMO),实现节能转换,该功能进行小区配置操作,全部载扇都会被更新至相同的目标配置。通道节能触发后会造成网络容量、覆盖的下降,会拒绝切入请求,同时小区会退服1s左右,影响接入成功率、小区退服时长、用户峰值速率和平均速率等指标,造成用户感知下降。因此通道关断功能对网络有较大影响,操作实施需慎重,如图3所示。

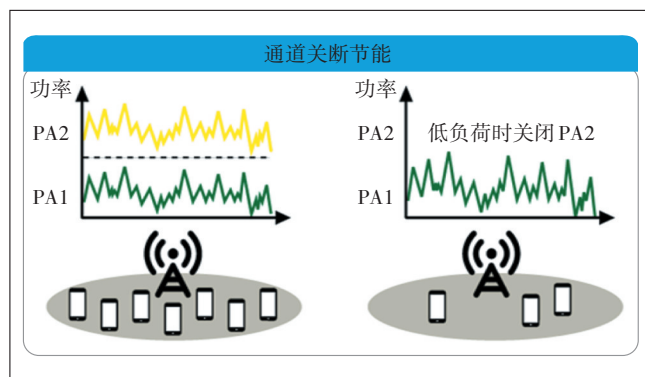


图3 通道关断原理示意图

## 2.3 载波关断节电

基站载波关断是指关闭搭载载波的功放模块。功放模块是个硬件实体,用于将调制好的载波信号加大功率发送出去。载波关断针对的是一个扇区有2个或以上载波覆盖的场景。如果1个扇区只有1个载波覆盖,是不能执行这个动作的,一旦执行整个扇区就无信号了,如图4所示。

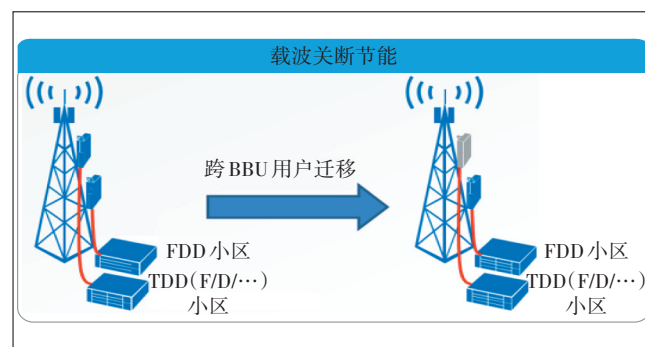


图4 载波关断原理示意图

从实际网络架构分析,网络需要存在异构多层网络,在一个扇区中,需要多个载波覆盖,实现共覆盖,当业务量下降时,原来由2个载波承载的业务量可由1个载波进行承载。当载波上的用户数较少时,可将用户迁移到负荷允许的目标关联载波上,然后关掉该载波,以节约基站能耗。该方式下节能场景与网络

覆盖有紧密关系,执行不当会造成整片区域无信号,使用户感知下降。

## 2.4 小区关断节电

小区关断一般是指闭塞或去激活逻辑小区,无明确说明,一般默认为小区去激活。

闭塞是指关闭逻辑小区的射频发射功能或开启用户接入禁止功能,当解除闭塞后小区立刻进入服务状态,该过程小区无需重启,对网络的影响较小。不同厂家及不同的网络制式对该功能的实现方式有所不同。以华为2G为例,该状态下后台仍可对小区进行维护操作,小区闭塞前已接入用户仍可以使用该小区提供的服务,在小区闭塞的情况下,通过小区间的切换,在一定时间内将本小区用户切换到邻小区,实现业务的不中断,当计数器到达设定的值后会释放该小区的所有用户。以华为4G为例,高优先级闭塞小区时,将会立即去激活小区;中优先级闭塞小区时,在设定的小区中优先级闭塞时长内,如果没有用户,则立即去激活小区,否则将在小区中优先级闭塞时长(可通过参数配置)超时后,去激活小区;低优先级闭塞小区时,将会在小区无用户后,去激活小区,如图5所示。

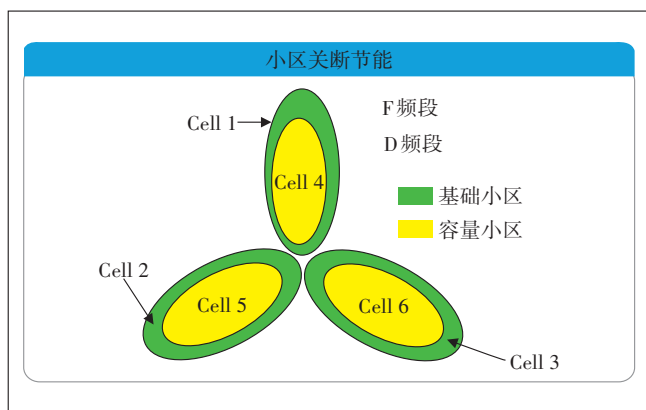


图5 小区关断原理示意图

小区去激活是将逻辑小区从物理载波上去关联,使得射频信号无法发送处理,用户相关的所有业务都会中断。同时后台亦不能对小区进行任何操作。去激活的基站(小区)激活后会自动启动,进行网络交互,重新为覆盖区域内的用户提供服务。该操作过程会造成小区提供服务的立刻中断,瞬间释放掉连接在该小区的用户,引起原有覆盖的改变、KPI指标(接通率、掉线率等)的恶化,造成用户感知的下降。

小区闭塞、去激活是针对逻辑小区的,当一个载波承载2个逻辑小区(需RRU支持),操作其中一个小

区,不影响另一个小区的正常运行,这种情况相当于删除了一个逻辑小区数据,使得原有的覆盖发生变化,当某一个扇区内的所有小区都去激活,会造成该区域内无网络信号,影响用户感知,需谨慎操作。

## 2.5 5G AAU深度休眠

当网络中没有5G用户时,可仅保留唤醒最小单元(电源模块+eCPRI通信接口),关闭AAU其他所有可关闭器件(基带处理单元、数字中频、收发信机、功放等),AAU进入深度休眠,实现最大程度的节能,如图6所示。5G AAU深度休眠主要应用在5G建网初期用户较少,夜间无高速率需求的场景。

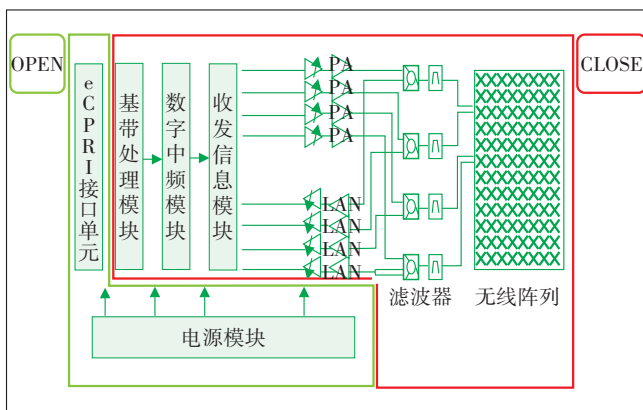


图6 AAU深度休眠原理示意图

## 3 基于AI的智能节电模型

### 3.1 小区节能场景库建立

为达到小区节能的最大化,避免设置固定门限造成网络性能下降和节能效果不理想,可将现网小区进行场景化分类,依据场景特性,智能选择合理的节能方案,该过程可通过AI人工智能学习技术实现,采用机器学习、神经网络算法实现小区覆盖场景的智能分类。

该模块主要强调了利用机器学习技术(如聚类、分类、协同过滤预测),基于基站本身的历史信息,如上下行PRB利用率、上下行流量、用户数、基站负荷等,使用AI中的贝叶斯分类(NBC)和聚类算法通过已知经验找到规律进行预测,确立基站节能场景,以便采取不同的节能策略。当新加入基站或者基站周围场景变化时,可根据模型自动判别所处场景。最终建立“基站节能场景管理库”。依据小区覆盖场景,采取相应的节能策略,从而达到智慧节能的效果。如图7所示。

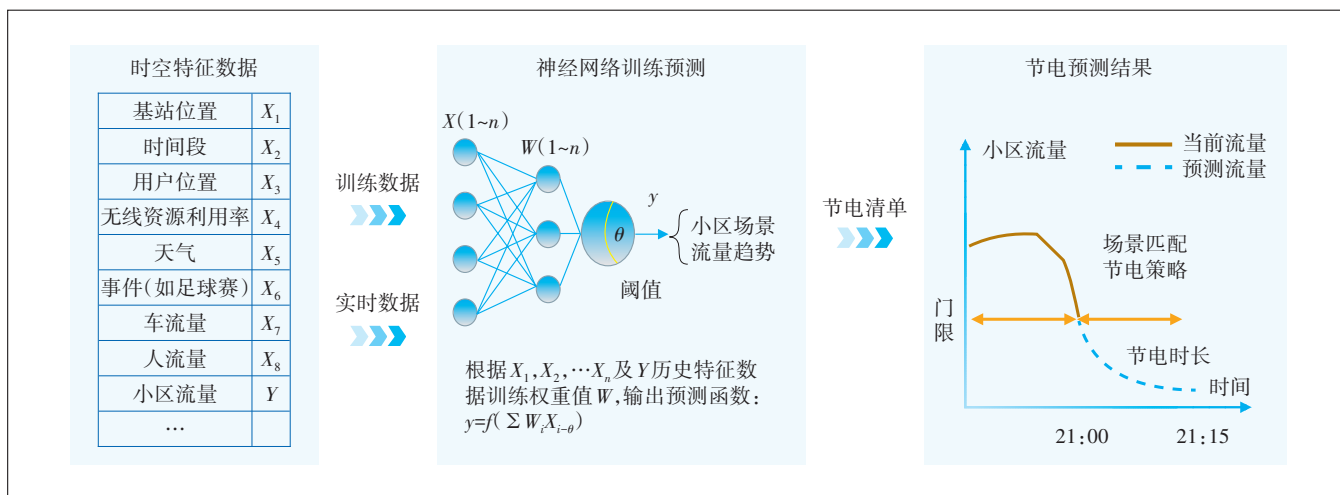


图7 业务、场景智能预测过程

根据节能场景识别模型,小区可以依据业务使用量的潮汐情况,适配各场景。例如:当模型识别某场景白天、晚间流量很大,但夜间无流量,且周末相比工作日流量增大,可能将该场景识别为商场类,再如当模型识别某小区周末、节假日流量大且正常工作日流量较低,可判别为景区类等。

在小区智能识别过程中可同时与现网小区覆盖场景进行关联,实现更详细的业务场景划分。如VVIP、VIP、地铁、高铁、高速、高校、医院等。同时针对重要场景设定白名单机制,如党政军、VVIP、VIP等,申请建立黑白名单机制,针对黑名单小区采取谨慎的操作策略。

### 3.2 小区业务量预测

通过预测基站未来业务流量的变化趋势,可实现小区自动化节电,通过自动匹配节电措施、动态调整小区节电时长达到智能节电的效果,采用该方法,可在保障网络性能和用户感知的前提下,实现更优的节能效果。

小区业务流量模型的搭建,把小区过去一段时间内的KPI性能数据作为输入,如用户量、基站负荷、无线利用率、上下行峰值PRB利用率、上下行业务流量、基站告警等数据,通过AI机器学习算法,预测小区未来24h内话务量变化趋势,输出待节能小区列表及小区级可节电时段、时长,自动制定小区节电清单,匹配节电场景及节电策略,发起定时节电流程。为防止小区运行过程中预测判断错误,可在小区节能策略执行前通过关联实时性能数据对预测结果进行模型纠正,提升预测准确性,实现保障网络性能、用户感知的智

慧节电。

### 3.3 共覆盖智能识别

传统的共覆盖关系主要通过频段、经纬度、方位角信息来确定共覆盖站点中的覆盖关系,该方法的弊端在于无法准确地反映站点的实际覆盖关系,采用基于MR测量报告进行TDD/FDD/NR融合组网算法,根据MR之间的相关性评估站点的覆盖关系,准确地分解出覆盖层、容量层、共覆盖关系,从而为调度策略提供基础能力支撑保障。

常规的多层网匹配方式是基于小区逻辑扇区的经纬度、方位角进行关联计算所得到的,原理为全网2个频段及以上多层网扇区数量(个)是指共站同天面的扇区须包含F、D、FDD 2个及以上多频段小区,其中多频段小区经纬度基本一致(50 m以内)且方位角偏差小于 $20^\circ$ 。计算多频段扇区数时,一个含多频段的多层网的扇区结构标记为一个多层网扇区,使用该方法建立多层网扇区库(共覆盖小区库)。

该过程需要依赖于小区工参的经纬度、方位角信息,数据的偏差、填报错误和数据缺失容易影响小区共覆盖模型的准确性,故为提升共覆盖模型的准确性,可以引入MRO测量数据进行进一步佐证。针对多层网组网结构,在站点重叠覆盖区域,当基础小区与容量小区MR重叠采样点占比 $>80\%$ 时,容量小区利用率较低时通过配置相应节电配置策略,将容量层小区用户及业务迁移到覆盖层,并将容量小区休眠实现节能。通过该方法周期性进行小区共覆盖扇区数据库自动化更新。

针对4G/5G基站协同节能也可通过站间共覆盖智

能判断,通过多频多制式多网协同进行优先级排序,以及网络AI节能等多种措施,达到多网协同节能。如通过AI智能预测,在5G业务需求量不大的时段将5G用户使用4G业务需求转移至4G,通过关闭5G站点,达到节能的效果,多频多制式间的平滑切换需要借助于AI训练模型,经过长期和大量数据的校验,提升准确度。

### 3.4 节能策略智能推荐

传统的节能策略采用阈值选择,各节能策略间相对独立,无法达到智能化匹配,造成节能效果不佳,基于AI的策略选择模型则通过小区场景、流量预测、全覆盖等模型的预测结果,实现小区最优节能策略的匹配。通过基于AI强化学习的优先级模型,依据同类小区优先级高的策略优先匹配的原则,实现更优的节能效果。

该过程是通过将小区信息、节能场景识别以及业务流量预测结果作为输入,经由智能启闭计算以及场景策略智能分析,得到最佳推荐节能策略,将其应用于基站。节能完成后通过基站负荷监控、用户感知数据以及节约能耗数据的评估,实现节能效果后评估,从而达到对计算模型的进一步优化。

针对前期应用,通过应用智能场景识别方案将小区分类为以下场景,针对不同的场景关联匹配相应的节能方案,节能措施制定如图8所示。

节能方案	高铁	普通城区	农村	地铁	大型场馆	高校	商场	景区	写字楼	VIP	党政军
载波关断	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓			
通道关断	✓	✓	✓		✓	✓		✓			✓
符号关断	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
小区关断	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓

图8 节能措施与场景关联关系

场景策略说明如下。

a) 高铁:高铁一般为多层网,可进行符号关断,容量层可进行载波关断,基础层可进行通道关断,也可根据列车通车时间在无列车经过时对所有小区进行去激活(如晚间无列车运行时,去激活4G网络)。

b) 普通城区:普通城区多层网较多,可进行符号关断,容量层可进行载波关断或小区关断,基础层可进行通道关断。

c) 农村:农村多为单层网,且站间距较大,可进行符号关断,但通道关断对边缘用户影响较大,需谨慎开启。多层网可进行载波关断或小区关断。

d) 地铁:地铁白天可进行符号关断和通道关断,夜间地铁无运营期间可对所有地铁小区进行小区关断。

e) 大型场馆:大型场馆多为多层网,可进行符号关断和通道关断,进行载波关断时长相对于小区关断较长,在场馆用户较少时可采取小区关断操作。

f) 高校:高校多为多层网,可进行符号关断和通道关断,夜间宿舍里用户较多,可进行载波关断或调整小区关断时间,对于教学楼夜间可进行小区关断。

g) 商场、写字楼:商场和写字楼多为室分小区,可进行符号关断,不宜开启通道关断,且潮汐效应明显,夜间可对小区进行小区关断。

h) 景区:景区一般为多层网,平时人流量较少,可采取载波关断、通道关断和符号关断策略,在夜间可通过小区关断的方式进行节能。

i) VIP、党政军场景需要重点保障,为避免影响用户感知,不建议采取影响网络质量的节能措施,在用户较少时,建议采用符号关断的方式节能。

## 4 节能效果验证

选取某中等省份,其全网4G/5G小区规模约35万个,基站数约9万个,针对全网(包含4G/5G小区)开启智能节电策略进行节能效果验证,在不考虑部分因厂家License资源不足等因素,同时因符号关断时长主设备暂无相应计数器进行统计,故采用行业测量平均值,即符号关断每小时每基站节电0.025 kWh计,统计18天节电执行情况,共执行节电任务操作1 792 163次,其中通道关断执行次数占比达到93.56%,如图9所示。

为统一标准且便于统计计算,节电量统计取一阶段现网验证平均值:符号关断按每小时每基站节电0.025 kWh计,通道关断按每小时每小区0.02 kWh计,载波/小区关断按每小时每扇区0.08 kWh计(关闭单个D频段RRU为0.08,如再关FDD频段RRU则为0.08×2),电费按0.65元/kWh进行计算。计算出符号关断单站/通道关断单小区/载波(小区)关断扇区的全天节电量=该节电功能全天节电生效时长×该功能单小时节电量,再全部汇总累加。节电生效时长可通过监测网管指标或实际设置时间等手段进行获取。如一个小

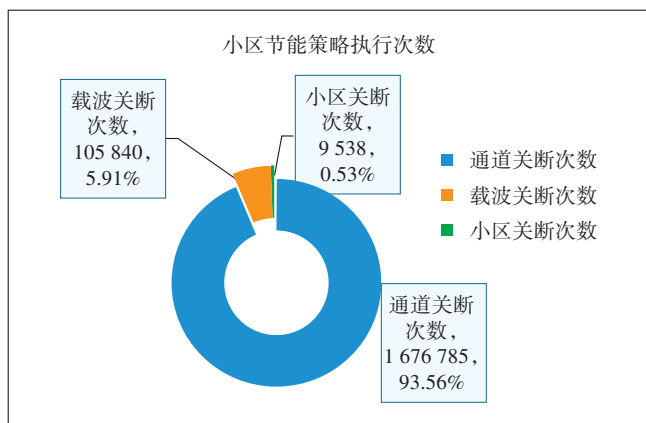


图9 节能措施应用执行情况

区全天开启载波关断,夜间6h开启小区关断,则计算全天节电量时应刨除夜间的6h的载波关断,即节电量不能重复计算。2020年6月上旬节电趋势如图10所示。

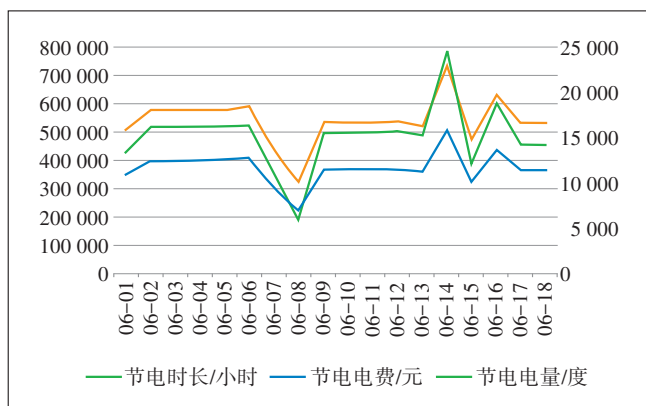


图10 基站节能应用情况

统计全省2020年6月上旬节能情况,18天共节电量75.61万kWh,日均节电量约4.25万kWh,按0.65元/kWh计算,日均节约电费2.73万元,每月按30天计算,则预计年度节电量为1528.8万kWh,约合983万元。

## 5 总结

5G网络已经运营,极大方便了人们的生活,但5G的高能耗带来运营成本的抬升,对运营商多网运营造成巨大的成本挑战,通过应用基于AI的智能基站节能技术,解决复杂场景的基站节能策略关联,构建基于历史数据负荷的智能节电模型,实现动态高效率的节能应用,取得了良好效果。在保证用户体验的条件下,后续可以在此基础上实现机房硬件的节能管理,如空调节能、UPS节能等多种举措,进一步降低基站能

耗,实现智慧机房的目标。

## 参考文献:

- [1] 张维东,刘景森. 5G基站节电综合措施[J]. 通信设计与应用, 2020,27(4):102-103.
- [2] 吴照日格图. LTE基站节电性能研究[J]. 探索科学, 2019(4): 203.
- [3] 杨旭. TD-LTE系统下行节能研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2014:1-97.
- [4] 编委会. 绿色行动计划——系统科学与中国移动节能减排实践[M]. 北京:机械工业出版社, 2010.
- [5] 秦延奎. 电信行业节能减排技术、方法与案例[M]. 北京:人民邮电出版社, 2010.
- [6] 彭军. 推动“绿色行动计划”营造健康产业环境[J]. 通信技术与标准, 2010(4):26-38.
- [7] 张青. AI技术在5G基站节能应用的展望[J]. 广东通信技术, 2019,39(10):29-32.
- [8] 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(10).
- [9] 屈彬彬. 5G时代基站两大场景节能方案的应用分析[J]. 中国新通信, 2019,21(22):105-105.
- [10] 范恒,王正洪,李智. 基于5G网络的微基站智能节能研究[C]// 2018中国信息通信大会(CICC 2018). 2018.
- [11] 吴杰. 面向5G的无线网络节能技术研究[D]. 南京:东南大学, 2015.
- [12] 杨徐辉. 高密度异构融合5G网络下的资源管理技术研究[D]. 北京:北京邮电大学, 2017.
- [13] 夏威. 通信基站电源系统中的节能技术研究[D]. 大连:大连理工大学, 2019.
- [14] 陈建煌. 5G时代基站两大场景节能方案的应用分析[J]. 通信电源技术, 2019(6):232-233.
- [15] 张乐,陆中远,张珂,等. 5G+AI,智慧运营系统关键能力研发与应用[J]. 中国无线电, 2020,300(8):52-55.
- [16] 毛翊君,陆敏,陈国军. 利用软关断功能的5G智能节能方法的研究与应用[J]. 通信世界, 2020,854(26):34-36.
- [17] 周波. 关于构建节能型5g移动网络的技术探讨[J]. 中国新通信, 2016,18(11):55-55.
- [18] 朱为珏. 基于5G网络下移动云计算节能措施的分析[J]. 中国新通信, 2018,20(3):26.
- [19] 李继蕊,李小勇,高云全,等. 5G网络下移动云计算节能措施研究[J]. 计算机学报, 2017(7).
- [20] 乔柳源. 分析5G网络下移动云计算节能措施[J]. 中国新通信, 2020,22(9):39-39.

## 作者简介:

王耀祖,网优咨询师,主要研究方向为无线网络规划与优化;蔡宗平,工程师,主要研究方向为无线网络规划与优化;马学军,工程师,主要研究方向为无线网络规划与优化;石巍,网优咨询师,主要研究方向为无线网络规划与优化。