



基于 AI 深度学习的面向业务 5G 基站节能系统研究

徐孟强

(中国移动通信集团浙江有限公司宁波分公司, 浙江 宁波 315100)

摘要: 由于 5G 业务发展, 5G 基站数量增多, 造成运营商的电费成本急剧增加, 节能降耗成为运营商的可持续发展需求。在研究主流 5G 基站节能模式及多方位 5G 节能方案的基础上, 提出了基于多种 AI 算法的 5G 基站节能系统, 通过单 SIM 卡级别的高精度业务识别, 在保证 5G 重要业务等各类型业务稳定运行的基础上, 实现了最佳策略的 5G 基站柔性节能。

关键词: 5G 基站节能; 高精度业务识别; 智能决策

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021249

Research on business oriented 5G base station energy saving system based on AI deep learning

XU Mengqiang

Ningbo Branch of China Mobile Group Zhejiang Co., Ltd., Ningbo 315100, China

Abstract: Due to the needs of 5G business development, the number of 5G base stations has increased, resulting in a sharp increase in the electricity cost of operators. Energy saving and consumption reduction has become the sustainable development demand of operators. Based on the research of mainstream 5G base station energy-saving mode and multi-directional 5G energy-saving scheme, a 5G base station energy-saving system based on a variety of AI algorithms was proposed. Through the high-precision service identification at the level of single SIM card, the best strategy of 5G base station flexible energy-saving was realized on the basis of ensuring the stable operation of 5G important services and other types of services.

Key words: 5G base station energy saving, high precision service identification, intelligent decision-making

1 引言

截至 2020 年年底, 全球已在 57 个国家和地区累计商用了 142 张 5G 网络, 全球的 5G 终端连接数达到了 2.3 亿。其中中国于 2020 年累计建成将近 72 万座 5G 基站, 实现了重点区域的连续覆

盖。5G 基站的建设发展迅猛, 运营商的 5G 基站耗电量极速增加。各类主流 5G 主设备功耗在 4 kW 左右^[1], 仅 5G 基站一项全国每年需耗电 2.523×10^{10} kW·h, 以 0.6 元/(kW·h)的电价计算, 全年预计需 151 亿元以上电费。

移动通信网络数据增长与高能耗问题之间的



矛盾进一步加剧,节能降耗是未来移动通信行业可持续发展的长期存在的首要需求,持续降低电信运营商运营成本中的电费成本,已成为决定运营商经营能力的重要因素。经统计,浙江移动 5G 低流量小区时段占比 60%以上,3 万个以上逻辑站潮汐特性明显,无线网络可统筹调度容量资源丰富。因此聚焦 5G 基站节能技术,探索节能策略,在保障用户感知、网络质量前提下,追求最大的节能降费拥有广阔的蓝海。

而随着 5G 2B 业务的发展,工厂、学校等各企事业单位用户使用的行为模式不同而业务保障等级高,识别、定位移动的、不可预测的 5G 2B 终端,以确保 5G 2B 业务正常使用运行,对于可关停 5G 业务识别的精度提出了更高的要求。

2 5G 基站节电方法应用现状

当前主流的 5G 基站节能方法分为以下 6 种。

(1) 符号关断

通过符号关断可削减静态电路,根据数传情况实时关闭功率放大器等高能耗硬件,如图 1 所示。该方法对应用场景无特殊要求,可在微秒级恢复,对用户感知没影响,可 24 h 开启。

(2) 通道关断

当 5G 网络负荷较低时,关闭(或休眠)部分基站发射的射频通道,以达到节能目的。该方法常应用于潮汐效应较明显区域,如学校、城区、大型场馆等,一般开启时间为 0:00—6:00。

(3) 载波关断

本文中的载波关断指纯 5G 覆盖的多载波区域,当业务量较低时,可自适应关闭一个或多个载波,如图 2 所示。该方法通过移动鲁棒性优化

(mobility robustness optimization, MRO) 业务预测与滑窗方案共同判定载波是否可以被关断。虽然载波与通道关断可根据 5G 小区性能指标劣于阈值实现 5G 基站自动停止载波或通道关断,但是由于载波关断会影响覆盖效果,故该方法只针对 5G 覆盖的小区,以确保关断节能后的网络用户感知。

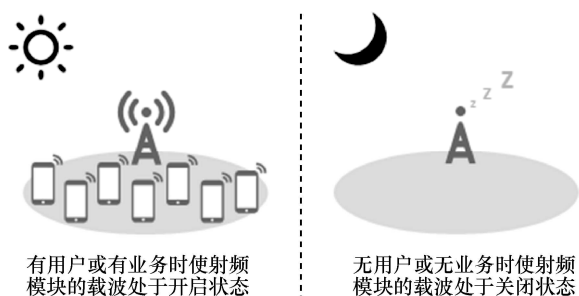


图 2 载波关断原理

(4) 小区关断

本文中的小区指 4G/5G 共覆盖的多载波扇区,小区关断指对 5G 容量层进行关断,如图 3 所示。由于网络潮汐现象,通过精准决策关闭空闲或业务量低的 5G 载波资源,并同步满足区域业务需求,从而减少指射频拉远单元(remote radio unit, RRU)/有源天线处理单元(active antenna unit, AAU)的功率输出,到达节能效果。该方法依赖于对小区业务量进行小时级别的 AI 分析决策,适用于相对静态的业务关停,且需要临时唤醒的场景。

(5) 深度休眠

相比于节能空间有限的小区关断,引入深度休眠功能可尽可能多的关闭 AAU 与 RRU 的射频硬件资源,如射频模块、功放器件、数字中频等器件,仅保留接口(如增强型通用公共无线电接

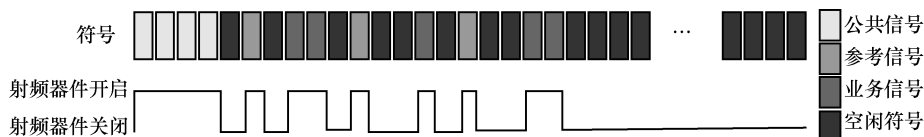


图 1 符号关断原理

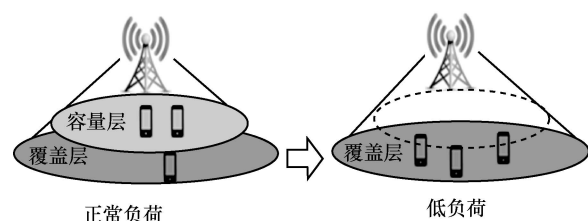


图3 小区关断原理

口)部分的少量电路,如图4所示,节电比例可达60%~70%。该方法与小区关断相似,但无法通过指令临时唤醒,需对业务量进行AI精准分析决策。

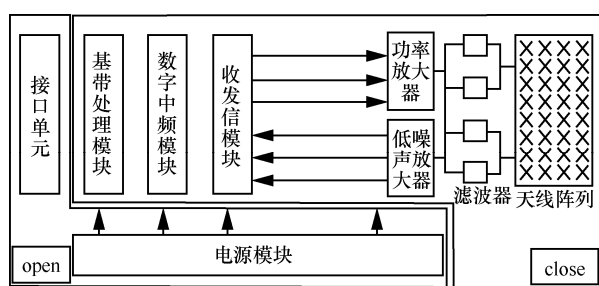


图4 深度休眠原理

(6) 硬关断

事先对RRU/AAU/室内基带处理单元(base band unit, BBU)设备安装智能开关^[2],可针对设备单元下的所有小区都已经进行小区关断的情况下,直接通过智能开关对设备进行硬关断操作,从而实现基站设备单元100%节电。该方法相较于深度休眠,不要求设备支持深度休眠功能,但需要安装智能开关,增加了一定的成本,适用于无深度休眠功能场景。

6种节能方法均有优劣势,单一应用某项节能方法无法实现最优节电,对比见表1。

3 现有5G基站节能应用存在的问题

传统的节能策略主要采用阈值判定,无法实现统一集中的融合智能化判定。随着AI技术应用的兴起,通过AI的决策选择,实现最优节能策略的匹配。但是当前的5G基站的节能方案主要针对5G 2C用户,即满足大部分的5G手机用户需求,仍存在如下问题。

(1) 固定区域的7×24 h

工业生产(或重点保障业务)可能在某段时间数据流量较低造成AI决策失误,5G终端容易被误伤,造成5G终端无法接入5G网络。

(2) 非固定区域的无规律5G企业用户使用行为,如救护车、消防车等偶发性非固定线路行驶,可能出现5G基站关停导致业务中断。

(3) 限定时限的5G基站深度休眠无法实现业务快速恢复的响应需求,故需要更加智能且柔性的节能手段,具备快速的基站业务恢复能力。

通过采集基站的业务性能数据识别并生成基站的节能策略,可一定程度保障5G业务正常运行^[3]。利用AI算法根据流量潮汐与邻区覆盖的补偿效应自动预测并判断基站节能场景,从而实现较为精准的节能决策^[4]。针对不同应用场景关联匹配节能措施,实现场景化的可靠业

表1 节能方法对比

节电方法	优势	劣势	节电比例
符号关断	用户无感知,可全天开启	节电效果不明显	2%~5%
通道关断	关断恢复灵活	可能会对用户使用造成影响	10%~15%
载波关断	可根据小区性能指标自动停止关断	可能会对用户使用造成影响	20%~25%
小区关断	节能比例较高,可临时唤醒	需配合4G覆盖开启	40%~50%
深度休眠	节电比例高	无法通过指令临时唤醒,退出休眠时间大于20 min	60%~70%
硬关断	不要求设备支持深度休眠功能	需要另外安装智能开关,增加成本	100%



务保障的节能节电^[5]。上述理论均有一定的侧重,通过多方位的 5G 基站节能方案的探索与应用,为高精度高可靠 5G 基站节能节电提供新的思路与方向。

4 5G 基站节能系统建设思路

目前 5G 基站的节电方案均以 5G 业务保障为优先级,根据小区业务量、共覆盖识别、基站性能指标等维度 AI 分析识别与判断最佳节能场景方案。AI 的分析识别仍停留在 5G 基站级,而未实现单 SIM 卡级别的高精度识别,难以保证重点客户的 5G 连续接入需求。

本文的 5G 基站节能系统有以下特点。

(1) 在算法上进行了创新,通过重要的 5G 物联网卡业务发现确认需要重点保障的 5G 基站,保证 5G 业务的正常运行,实现了精准的业务联动与 5G 保障等级的划分。

(2) 根据 5G 保障等级,结合业务量、共覆盖及性能指标等参数,决策判断最佳节能方案,实现了最大的节能效益。

(3) 通过 AI 学习与预测,动态识别与调整重点保障 5G 基站,避免了手工调整 5G 重点保障基站的漏报与错报数据。

5 5G 智能节能系统整体框架

5G 基站节能系统通过对 5G 基础网元及 4G 基站进行数据采集与处理,满足多场景的 5G 节能需求,同时平台具备网元性能指标呈现与节电态势展示功能,实现业务高质量运行与节电降本的目标。系统整体架构如图 5 所示。

5G 基站节能系统主要包含基础数据采集模块、基础数据分析模块、重点保障业务分析模块、配置管理模块,通过对 5G 基站下发相应的节电策略,实现 0:00—6:00 期间满足用户业务需求的节能。系统工作主流程如图 6 所示。

(1) 基础数据采集模块通过 4G/5G 基站、基站网管及自建共覆盖管理平台对 4G/5G 基站的运行指标、容量及共覆盖情况进行采集。

(2) 基础数据分析模块根据基础数据采集模块采集的数据,进行 AI 容量预测与共覆盖识别。

(3) 重点保障业务分析模块通过统一数据管理功能(unified data management, UDM)与会话管理功能(session management function, SMF)采集 2B 签约用户及其基站接入信息。

(4) 配置管理模块根据基础数据分析模块的小区级容量预测与共覆盖情况,结合重点保障业

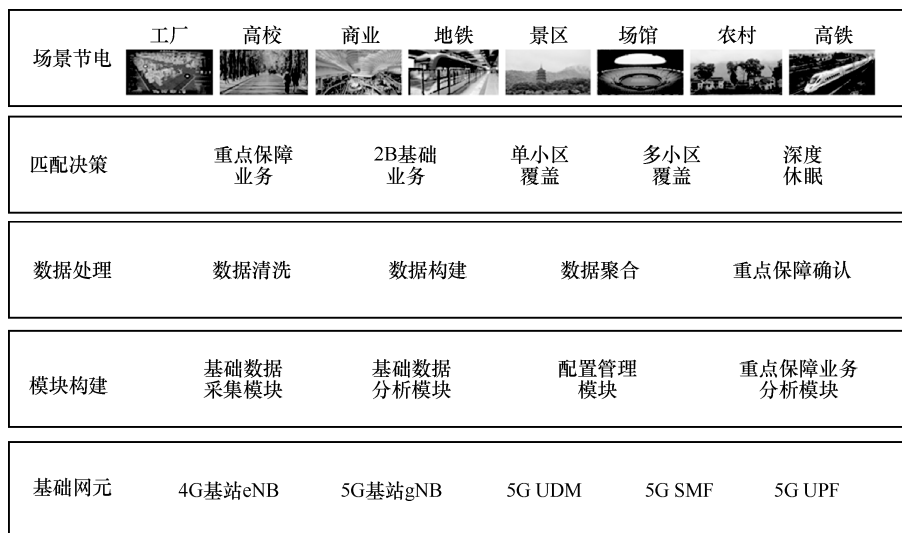


图 5 5G 基站节能系统架构

务分析模块分析的重点保障业务与 2B 业务的信息, 决策相应的节电策略, 并下发对应配置给 5G 基站进行节电管理。

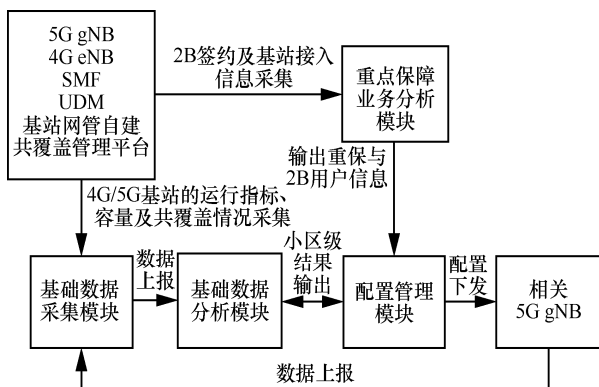


图 6 系统节能流程

本系统核心为基础数据分析模块、重点保障业务分析模块及配置管理模块, 用于精准判断 5G 基站的节电策略。

5.1 基础数据分析模块

基础数据分析模块结合 AI 容量预测中的 LSTM 神经网络算法与共覆盖识别的锚点聚类算法计算小区的容量与信号覆盖情况, 获取小区级业务运行数据, 用以配置管理模块决策节能策略。

(1) AI 容量预测

根据长短期记忆 (long short-term memory, LSTM) 神经网络算法, 对持续 30 天的无线资源控制 (radio resource control, RRC)、物理上行共享信道 (physical uplink shared channel, PUSCH)、物理下行共享信道 (physical downlink shared channel, PDSCH) 等小时级小区 7 个指标数据进行训练, 实现高精度的小时级网络容量预测, 指标见表 2。

(2) 共覆盖识别

4G/5G 共覆盖识别分为室外与室内共覆盖扇

区识别, 以 4G 覆盖为覆盖层, 5G 覆盖为容量层, 其中室外共覆盖识别采用锚点聚类算法输出室外共覆盖扇区组清单, 室内共覆盖扇区根据 RRU 设备序列号进行人工判定输出共覆盖扇区组清单。

室外的锚点聚类算法如下。

步骤 1 确定扇区中心经纬度和共址 cellID 集合

- 全量 4G 小区为基础按照经纬度进行散点, 5G 以新增小区方式加入。
- 采用密度聚类算法, 以 50 m 半径进行簇聚类, 计算每个簇的中心经纬度, 作为扇区的中心经纬度, 簇内的全量 cell 作为一个共址 cellID 集合。

步骤 2 确定扇区方位角

- 在共址 cellID 集合内, 将全量小区的方位角进行散点, 按给定夹角范围 ($10^\circ / 20^\circ / 30^\circ / 60^\circ$ 等) 进行聚类, 顺时针方向计算第一聚类的中心方位角。
- 以第一聚类的中心方位角作为锚点, 依次增加 X ($10^\circ / 20^\circ / 30^\circ / 60^\circ$ 等) 作为第 i ($i=1,2,3,\dots,N$) 个扇区的中心方位角。
- i 个扇区按照方位角由小到大, 依次进行扇区编号。
- 将共址的全量 cellID 集合中的小区, 按照方位角落入上述算法划分的共覆盖扇区中。

5.2 重点保障业务分析模块

重点保障业务分析模块根据 k -means 算法对每个 5G 用户的单 SIM 卡级业务进行聚类分析。根据工厂、港口、医院、学校等 10 大行业应用重点项目全量 SIM 卡业务的 30 天平均单日在线时长、30 天流量使用率、30 天平均单日峰值速率 3 个维度的单卡数据进行分析。如图 7 所示, 最终建立 4 个业务

表 2 神经网络容量预测指标

编号	1	2	3	4	5	6
指标	有效 RRC 连接平均数	有效 RRC 连接最大数	上行 PUSCH 利用率	下行 PDSCH 利用率	上行流量	下行流量



行为模式为质心的重点保障业务模型。通过将已开卡的全量 5G 2B 用户数据导入该模型,符合这 4 种业务行为模式之一的 2B 业务即重点保障业务,从而实现 5G 2B 重点保障业务的精准识别区分。

5.3 配置管理模块

配置管理模块根据重点保障业务分析模块的重点保障业务接入数据,结合基础数据分析模块的 AI 容量预测与共覆盖识别得出的基础数据为每一个 5G 小区进行分阶段决策,决策流程如图 8 所示。

步骤 1 配置管理模块为每个小区进行判断节能方案决策。

步骤 2 查询该小区是否接入重点保障业务;若是,则不对该小区进行节能;若否,则进行单

覆盖决策。

步骤 3 查询该小区是否接入 2B 用户;若是,则仅进行符号关断 (3.1); 若否,则进行多覆盖决策 (3.2)。

步骤 4 根据 7 天的容量预测与共覆盖识别,根据多覆盖计算公式进行节能关断决策。若可关断小区数 < 1 , 则依据单覆盖计算公式进行通道关断,同时开启符号关断 (4.1); 若可关断小区数 ≥ 1 , 则进行休眠关断决策 (4.2)。

步骤 5 根据可关断小区数量进行休眠关断决策。若可关断小区数 $n < 2$, 则仅进行小区关断与符号关断; 若可关断小区数 $n \geq 2$, 则对前 $n-1$ 个小区进行深度休眠。

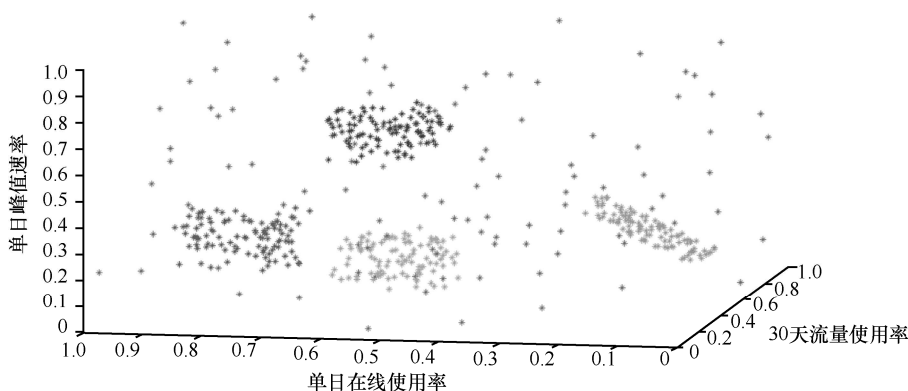


图 7 重点保障业务模型

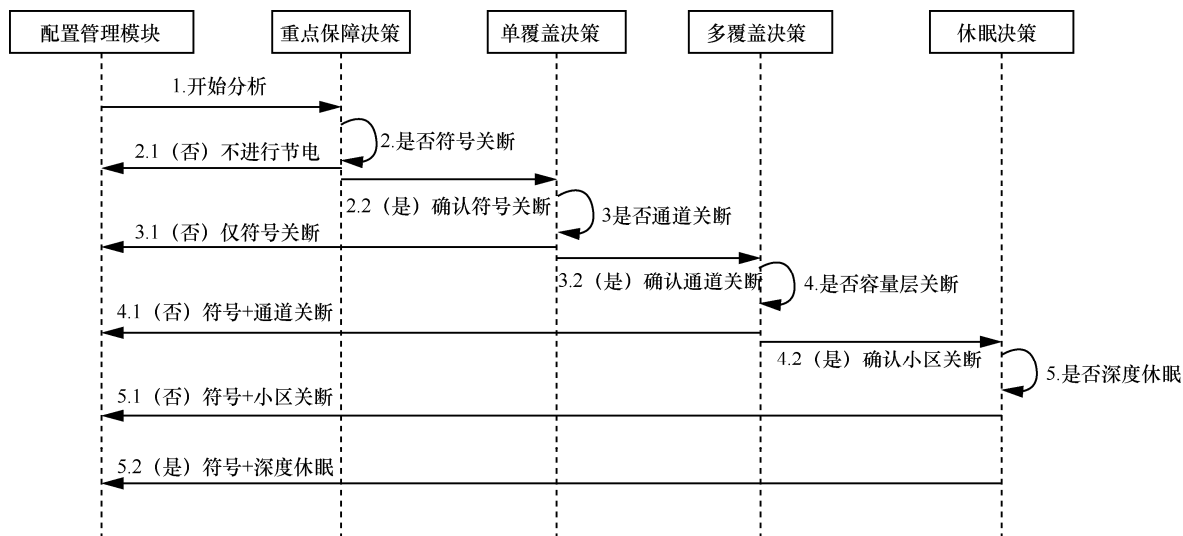


图 8 配置管理模块决策流程

单覆盖与多覆盖决策的门限见表 3。

单覆盖决策环节, 根据等效通道承载原则进行节能关断, 以表 4 为例。

单覆盖计算公式为:

$$G_{8-m} = G / (8 - m) \quad (1)$$

其中, G 分别由 A~F 的 6 个指标代入, m 为可关断通道, G_{8-m} 为关断 m 个通道后的 6 个承载指标的计算结果。

6 个指标计算结果分别与对应决策门限对比, 若 6 个结果均大于门限则确定关断通道数, 并同步下发节能关断策略。

多覆盖决策环节, 根据平均分配承载原则进行节能关断, 以表 5 为例。

多覆盖计算公式为

$$G = \text{sum}(G_n) / \text{count}(\text{Cell}_{n-m}) \quad (2)$$

其中, G_n 分别由 A~F 的 6 个指标代入, n 为最

大小区数, m 为已关断小区数, G 为关断 m 个小区后的 6 个指标的计算结果。

6 个指标计算结果分别与对应决策门限对比, 如小于门限, 可继续进行小区关停计算, 直至算至满足业务需求的最小小区数量。根据最终计算结果对相应基站远程下发指令进行小区关断或深度休眠等容量层关断操作, 并进行指标验证观察, 避免由于批量关断造成的业务损失。

6 实验验证

针对宁波市 10 个区县定向选择区域进行了系统功能验证, 符号通道关断率达 92.10%, 通道关断率 46.14%, 小区关断率 28.24%, 深度休眠率 17.72%, 节电比例 7.95%, 具体见表 6。

为确认节能策略下发对用户业务的影响, 对

表 3 单覆盖与多覆盖决策门限

类型	有效 RRC 连接 平均数/个	有效 RRC 连接 最大数/个	上行 PUSCH 利 用率	下行 PDSCH 利用率	平均上行流量/ (Mbit·s ⁻¹)	平均下行流量/ (Mbit·s ⁻¹)
决策门限	20	100	20%	20%	300	1000

表 4 单覆盖关断决策示例

通道编号 n	节能顺序 n	有效 RRC 连接平均数	有效 RRC 连接最大数	上行 PUSCH 利用率	下行 PDSCH 利用率	平均上行 流量	平均下行 流量
$t1$	1						
$t2$	2						
$t3$	3	A	B	C	D	E	F
...	...						
$t8$	8						

表 5 多覆盖关断决策示例

小区编号 n	节能顺序 n	有效 RRC 连 接平均数 A	有效 RRC 连 接最大数 B	上行 PUSCH 利用率 C	下行 PDSCH 利用率 D	平均上行 流量 E	平均下行 流量 F
cell1	1	A1	B1	C1	D1	E1	F1
cell2	2	A2	B2	C2	D2	E2	F2
cell3	3	A3	B3	C3	D3	E3	F3
...	...	...	...	...	...	...	...
cell n	n	A_n	B_n	C_n	D_n	E_n	F_n



表6 节能验证结果

区县	符号关断率	通道关断率	小区关断率	深度休眠率	节电比例
鄞州	91.52%	43.49%	29.60%	18.43%	8.05%
海曙	92.73%	48.65%	33.03%	11.05%	7.67%
奉化	94.22%	47.35%	25.94%	20.94%	8.22%
北仑	90.40%	44.90%	24.20%	21.30%	7.96%
宁海	92.33%	50.58%	26.23%	15.52%	7.68%
余姚	91.54%	47.70%	28.60%	15.24%	7.73%
象山	92.64%	43.70%	28.31%	20.63%	8.23%
江北	91.48%	44.78%	31.75%	14.95%	7.86%
慈溪	92.12%	44.20%	26.48%	21.45%	8.18%
全市	92.10%	46.14%	28.24%	17.72%	7.95%

5G 基站的协议数据单元(protocol data unit, PDU)会话建立成功率进行了监控,节能期间并未出现指标劣化,亦未出现由于节能原因造成的故障投诉如图9所示。

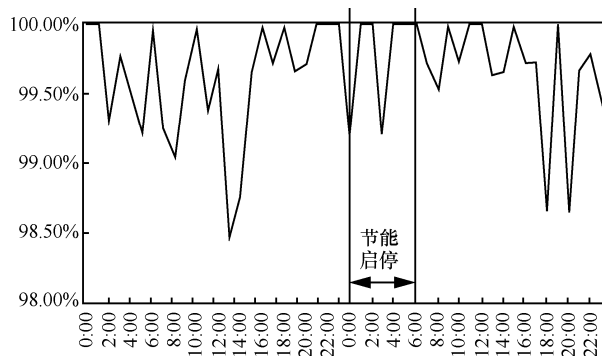


图9 节能前后 PDU 会话建立成功率

7 结束语

本文利用多种 AI 算法,定位接入重点保障业务的 5G 基站,并匹配选择最佳的节能策略,实现了以业务为导向的单卡级重要业务保障与精准基站节电。通过 *k-means* 算法,对重点保障的单卡业务行为模式进行聚类分析,突破性地实现了前端业务与后端节能的有机结合,消除了人工识别的判定局限,有效保障重要客户的业务运行。基

于本文提出的算法与系统设计,开发了面向业务的 5G 基站节能系统,避免节能对网络的影响,保障各用户感知。

参考文献:

- [1] 戴春伟. 5G 基站能耗管控与环境影响[J]. 江苏通信, 2020, 36(4): 29-32.
DAI C W. 5G base station energy consumption control and environmental impact[J]. Jiangsu Communication[J]. Jiangsu Communication, 2020, 36(4): 29-32.
- [2] 古大鹏, 刘培莹, 任丽涛. 天津移动 5G 基站智能节电研究[C]//2020 年中国通信能源会议论文集. 广州, 2020: 438-440.
GU D P, LIU P Y, REN L T. Research on intelligent power saving of 5G base station by Tianjin Mobile[C]//Proceedings of 2020 China communication energy conference. Guangzhou, 2020: 438-440.
- [3] 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.
LÜ T, ZHANG M, CAO G, et al. Research on energy saving technology of 5G base station[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2020(5): 46-50.
- [4] 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.
ZHANG Q. Prospect of AI technology in 5G base station energy saving application[J]. Guangdong Communication Technology, 2019, 39(10): 29-32.
- [5] 王耀祖, 蔡宗平, 张洪伟. 基于 AI 的 4G/5G 基站节能解决方案应用[A]. TD 产业联盟、中国电子科技集团公司第七研究所《移动通

信》杂志社. 5G 网络创新研讨会 (2020) 论文集[C]/TD 产业联盟、中国电子科技集团公司第七研究所《移动通信》杂志社: 中国电子科技集团公司第七研究所《移动通信》杂志社, 2020: 6.

WANG Y Z, CAI Z P, ZHANG H W. Application of energy saving solution for 4G/5G base station based on AI[A]. TD Industry Alliance, Mobile Communications. Proceedings of 5G Network Innovation Seminar (2020)[C]/TD Industry Alliance, Mobile Communications: Mobile Communications, 2020: 6.

[作者简介]



徐孟强 (1972—), 男, 中国移动通信集团浙江有限公司宁波分公司总经理, 主要研究方向为通信领域。

勘误声明

段晓东, 姚惠娟, 付月霞, 陆璐, 孙滔同志所撰写的稿件《面向算网一体化演进的算力网络技术》(doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021248) 已在我刊 2021 年第 10 期上刊登, 文中 “computing power”, 应更改为 “computing force”, 特此声明, 并向读者、作者致歉!

《电信科学》编辑部
2021 年 11 月