

# 基于阶梯式评估的 5G 基站智能关断方法分析

## Stepwise Evaluation Based 5G gNB Intelligently Closing Algorithm

肖清华(华信咨询设计研究院有限公司,浙江 杭州 310014)  
Xiao Qinghua(Huaxin Consulting Co., Ltd., Hangzhou 310014, China)

### 摘要:

在核实已分配物理资源块数量的基础上,计算基站资源块效用因子。结合单站负载,对基站进行3个层次的阶梯式评估,筛选出关断候选集。在容量门限的前提下,计算关断候选集中所有基站的邻区集,计算其负载空间,只有负载空间满足需求才会触发基站关断行为。计算待关断基站的关转邻区集,核算其转移负载量,待邻区转移操作完成后,完成对源基站的关断。最后通过 Matlab 对算法进行了仿真验证,结果表明,无论是单站关断还是簇关断,均能有效提升原有算法的关断效率,可以实现比较理想的节能目标。

### Abstract:

Based on the amount of allocated physical resource blocks (PRBs), the efficiency factor of PRB is calculated. Combining with 5G gNB's load, a three-level stepwise evaluation method is introduced to obtain the closing candidate sets (CCSs). On the premise of capacity threshold, the method checked the neighbor sets of gNBs' CCS, and then the load space is counted, and only when the load space meets the demand, the base station shutdown behavior will be triggered. The set of neighboring cells to be shut down for the base station is calculated, and its transfer load is also calculated, after the neighboring area transfer operation is completed, the source base station is shut down. At last, the algorithm is simulated and validated by Matlab, and the results show that both single station shutdown and cluster shutdown can effectively improve the shutdown efficiency of the original algorithm, achieving ideal energy-saving goals.

### Keywords:

5G; Resource block efficiency factor; Load; Stepwise evaluation; Neighbor set

引用格式:肖清华. 基于阶梯式评估的5G基站智能关断方法分析[J]. 邮电设计技术, 2024(2): 41-44.

## 1 概述

目前,能源紧张已经成为全球不可避免和日益尖锐的社会问题。在移动通信领域<sup>[1]</sup>,随着用户对通信质量和服务要求的提高,技术更替升级的节奏越来越快。以5G<sup>[2]</sup>为代表的宽带多场景技术能够更加适应当前数据流量高速增长和行业应用不断变化的趋势。但同时,关于5G基站的绿色节能<sup>[3]</sup>也越来越成为一个

### 关键词:

5G; 资源块效用因子; 负载; 阶梯式评估; 邻区集  
doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2024.02.008  
文章编号: 1007-3043(2024)02-0041-04  
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):



约束性目标。毕竟,相比4G而言,实现相同面积的覆盖,5G需要部署2~3倍以上数量的基站。此外,由于5G天线采用Massive MIMO<sup>[4]</sup>天线阵列,单站功耗是4G的3倍左右。因此,深入分析5G基站的节能技术,不仅有助于降低基站能耗,其经济与社会价值也非常高<sup>[5]</sup>。

黄春红<sup>[6]</sup>从人工智能的角度介绍了5G基站的相关节能技术,但深度稍显不足。帅农村等人<sup>[7]</sup>提出了一种5G零碳基站的配置模型,涉及光伏组件和储能等配置,有一定的借鉴意义,但技术推广受区域的限制

收稿日期: 2023-12-30

较强。戴莹<sup>[8]</sup>比较系统性地阐述了相关节能基站的智能关断技术和节能设计,但方案的准确度取决于样本数据的精确性。闫震等人<sup>[9]</sup>则基于二次指数平滑预测的方法研究了关于5G基站的节能方案,是一种概率模型,深受现网话务的影响。杨拓等人<sup>[10]</sup>则另辟蹊径地分析了5G终端环节的节能技术。实际上,实现5G基站基础节能的方案有很多种<sup>[11]</sup>,包括符号关断、通道关断、载波关断和深度休眠等方案,不外乎硬节能和软节能。文献[12]也从保障业务的角度出发,结合差异化的业务属性,提出了一种优化5G能耗的方式——GSIC,但GSIC仍然存在以下问题:其一,现实中的业务基本为混合业务,纯Non-GBR业务很少;其二,没有考虑资源块的实际使用效率;其三,没有进一步考虑低负载GBR业务的转移场景。为此,本文从克服GSIC的缺陷出发,提出一种基于阶梯式评估的5G基站智能关断方法(Stepwise Evaluation based 5G gNB Intelligently Closing Algorithm, SEIC),对5G小区负载构建阶梯式的评估机制,借用物理资源块效用因子来表达资源块的使用效率,针对差异化的负载,累计筛选出满足条件的关断候选基站,进而根据邻区集可承接负载的能力,有条件地实施分批迁移,实现低价值、低负载基站的关断,从而达到优化能耗的目标。

## 2 SEIC模型

### 2.1 目标基站

同GSIC类似,为了叙述方便,假设有 $n$ 个基站 $gNB_{\text{tar}}=\{gNB_1, gNB_2, \dots, gNB_n\}$ ,每个基站的物理资源块总量分别是 $\{Prt_1, Prt_2, \dots, Prt_n\}$ ,相应的负载为 $\{Cld_1, Cld_2, \dots, Cld_n\}$ ,当前小区吞吐量为 $\{Thr_1, Thr_2, \dots, Thr_n\}$ 。

### 2.2 核算物理资源块的使用效率

将5G基站物理资源块的使用效率采取效用因子指标来表示。

计算 $gNB_{\text{tar}}=\{gNB_1, gNB_2, \dots, gNB_n\}$ 中的每个基站 $gNB_i$ 已分配的物理资源块数量:

$$Aloc_i = \text{ceil}(Prt_i \times Cld_i) \quad (1)$$

其中,  $\text{ceil}(\cdot)$  表示天花板函数。

计算基站 $gNB_i$ 的物理资源块效用因子:

$$Eft_i = Thr_i / Aloc_i \quad (2)$$

计算所有基站的物理资源块效用因子之和:

$$SEft = \sum_{i=1}^n Eft_i = \sum_{i=1}^n Thr_i / Aloc_i \quad (3)$$

### 2.3 基于负载的阶梯式评估

阶梯1:对于每个基站 $gNB_i$ ,若其负载满足条件:

$$Cld_i \leq TCld_{\text{low}} \quad (4)$$

其中,  $TCld_{\text{low}}$  表示设定的负载评估低门限;

则将该基站 $gNB_i$ 纳入关断候选集 $gNB_{\text{tclose}}$ 中,

$$gNB_{\text{tclose}} = \{gNB_i\} \quad (5)$$

阶梯2:对于每个基站 $gNB_j$ ,若其负载满足条件:

$$TCld_{\text{low}} < Cld_j \leq TCld_{\text{mid}} \quad (6)$$

其中,  $TCld_{\text{mid}}$  表示设定的负载评估中门限;

则筛选出其中资源块效用因子满足下列条件的所有基站 $\{gNB_j\}$ :

$$Eft_j \leq SEft \times TEft_{\text{low}} \quad (7)$$

其中,  $TEft_{\text{low}}$  表示设定的资源块效用因子低门限;

将 $\{gNB_j\}$ 纳入关断候选集 $gNB_{\text{tclose}}$ 中:

$$gNB_{\text{tclose}} = gNB_{\text{tclose}} \cup \{gNB_j\} \quad (8)$$

阶梯3:对于每个基站 $gNB_k$ ,若其负载满足条件:

$$TCld_{\text{mid}} < Cld_k \leq TCld_{\text{high}} \quad (9)$$

其中,  $TCld_{\text{high}}$  表示设定的负载评估高门限;

则筛选出其中资源块效用因子满足下列条件的所有基站 $\{gNB_k\}$ :

$$Eft_k \leq SEft \times TEft_{\text{high}} \quad (10)$$

其中,  $TEft_{\text{high}}$  表示设定的资源块效用因子高门限;

将 $\{gNB_k\}$ 纳入关断候选集 $gNB_{\text{tclose}}$ 中:

$$gNB_{\text{tclose}} = gNB_{\text{tclose}} \cup \{gNB_k\} \quad (11)$$

### 2.4 关断候选集预处理

对于关断候选集 $gNB_{\text{tclose}}$ 中的首个基站 $gNB_t$  ( $t \in [1, n]$ )及其所有的邻区集合 $NGS_t$ ,计算其关断邻区集:

$$TNGS_t = NGS_t - NGS_t \cap gNB_{\text{tclose}} \quad (12)$$

对于 $TNGS_t$ 中的每个基站 $gNB_i$ ,计算其负载空间:

$$SCld_i = \max(VCel_{\text{th}} - Cld_i, 0) \quad (13)$$

其中,  $VCel_{\text{th}}$  表示设定的5G基站容量门限,  $\max(\cdot)$  表示最大值函数;

计算 $TNGS_t$ 中所有基站的负载空间之和:

$$SSCld_t = \sum_{i \in TNGS_t} SCld_i = \sum_{i \in TNGS_t} \max(VCel_{\text{th}} - Cld_i, 0) \quad (14)$$

### 2.5 智能关断实施

对于关断候选集 $gNB_{\text{tclose}}$ 中的基站 $gNB_i$ ,若满足条件:

$$CLd_i > SSCld_t \quad (15)$$

则将该基站移出 $gNB_{\text{tclose}}$ ,即取消本次对基站 $gNB_i$

的关断行为:

$$gNB_{tclose} = gNB_{tclose} - \{gNB_t\} \quad (16)$$

否则计算其关转邻区集:

$$TNZS_t = \{gNB_{t_i}\} = TNGS_t - \{gNB_t\} \quad (17)$$

其中,基站  $gNB_{t_i}$  满足条件:

$$SCld_{t_i} = 0 \quad (18)$$

核算目标关断基站  $gNB_t$  往  $gNB_{t_i}$  上转移的负载量:

$$\Delta_{t \rightarrow t_i} = Cld_t \times \frac{SCld_{t_i}}{SSCld_t} = Cld_t \times \frac{\max(VCel_{th} - Cld_t, 0)}{\sum_{t_i} SCld_{t_i}} \quad (19)$$

更新  $gNB_{t_i}$  负载:

$$Cld_{t_i} = Cld_{t_i} + \Delta_{t \rightarrow t_i} \quad (20)$$

待完成关转邻区集  $TNZS_t$  中所有的邻区操作,则执行对  $gNB_t$  的关断,并更新:

$$gNB_{tclose} = gNB_{tclose} - \{gNB_t\} \quad (21)$$

依次循环 2.4~2.5 节中的步骤,直到  $gNB_{tclose}$  为空。

### 3 仿真

#### 3.1 仿真环境

本文采取 Matlab 工具对 SEIC 和 GSIC 算法进行对比仿真,SEIC 具体参数如表 1 和表 2 所示(GSIC 参数详

表 1 仿真参数

项目	数据
工作频率/GHz	2.6
工作带宽/MHz	100
小区 RB 总数	273
负载评估低门限 $TCld_{low}$	0.15
负载评估中门限 $TCld_{mid}$	0.4
负载评估高门限 $TCld_{high}$	0.6
资源块效用因子低门限 $TEft_{low}/\%$	10
资源块效用因子高门限 $TEft_{high}/\%$	20
容量门限 $VCel_{th}/\%$	70
单站基础功耗/W	2 000
单站 50% 负载下的业务功耗/W	1 500

表 2 各基站基础信息

基站	负载	吞吐量/(Mbit/s)	物理资源块总量
gNB1	0.25	16	273
gNB2	0.38	10	273
gNB3	0.28	5	273
gNB4	0.14	6	273
gNB5	0.49	25	273
gNB6	0.32	16	273

见原文)。

#### 3.2 仿真结果与分析

##### 3.2.1 单站关断

由 6 个 5G 基站组成的基站簇互配邻区,对其中任意的 5G 单基站进行关断仿真,GSIC 仍然针对 AR 和直播下行流等 Non-GBR 业务,所得的仿真结果如图 1 所示。

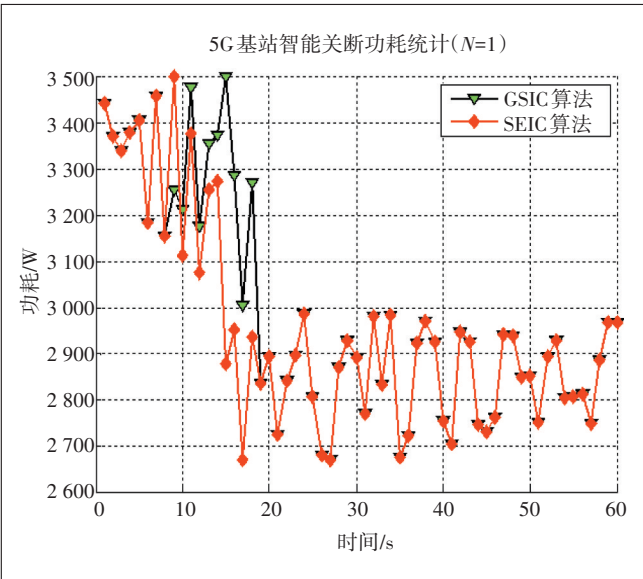


图 1 单基站关断

从图 1 可以看出,在算法关闭的情况下,单站功耗始终维持在 3 000~3 500 W 的高位运行,而在 SEIC 和 GSIC 算法打开后,由于部分业务转移,功耗下降至 2 600~3 000 W 的低位区间,下降比率约为 15%。但由于 SEIC 采取阶梯式的关断处理,对低负载业务比 GSIC 更敏感,也更容易触发关断措施,功耗下降比 GSIC 更快,算法效率更高。当然,功耗不是一成不变的,它也随着小区的环境(如信噪比、误码率等指标)而波动。一般来说,小区吞吐率越大,或维持相应用户感知而 RSRP 越低的情况下,功耗也会越大。

##### 3.2.2 簇关断

对仿真数据表中的 6 个基站执行条件判断,所得的仿真结果如图 2 所示。

对仿真基站簇进行关断仿真,统计相应的功耗峰值。在执行算法时,GSIC 功耗平均峰值约为 19.5 kW,SEIC 功耗平均峰值约为 19 kW,比 GSIC 下降约 2.5%。SEIC 对过低负载的 GBR 业务,若其资源块效用因子不高,同样对其进行关断,但对负载转移比 GSIC 做了更有保障性的措施而不影响客户感知。因此,对于基站



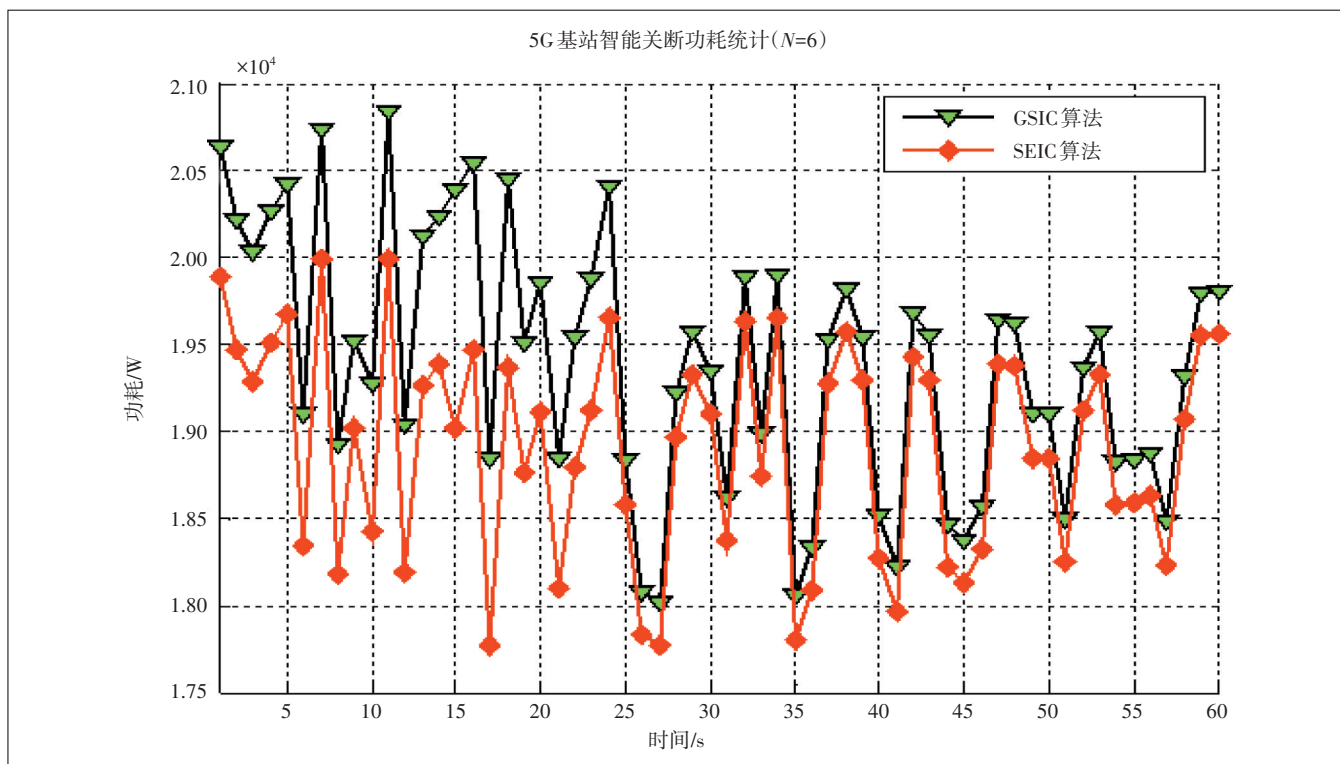


图2 基站簇关断仿真

簇的总体功耗下降,SEIC 比 GSIC 更明显,更有效地达到了节能减排的目的。

#### 4 结束语

5G 节能是响应国家实现碳中和政策的一个重要方面,在优化 5G 基站性能的同时,应从软硬结合的角度出发,更优地实现节能减排。本文针对 GSIC 节能算法的不足,有针对性地根据资源块的使用效率进行了优化,能够结合负载进行阶梯式评估,从而提高 5G 基站关断的节能效率,并兼顾无线网络的相关 KPI 指标。但对于更细颗粒度的符号和通道关断等方面,以及引入人工智能对话务自适应等场景,仍然缺乏研究,希望在今后的工作中继续研究。

#### 参考文献:

- [1] 张力方,程奥林,赵雪聪,等. 5G 专网关键技术及设计部署方案研究[J]. 邮电设计技术,2021(10):1-8.
- [2] 刘秋妍,冯毅,李福昌,等. 基于 5G+MEC 的区块链规模化部署探索[J]. 邮电设计技术,2020(3):1-4.
- [3] 刘大伟,刘红,程磊,等. 智能基站节能方案助力绿色运营[J]. 通信电源技术,2020,37(21):217-220.
- [4] 汤建东,肖清华. 5G 容量能力分析[J]. 邮电设计技术,2020(3):50-53.

- [5] 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.
- [6] 黄春红. 基于 AI 的 5G 基站节能技术研究[J]. 科学与信息化,2020(4):52.
- [7] 帅农村,陈耀文. 5G 零碳基站配置模型研究与应用[J]. 电信工程技术与标准化,2023,36(1):62-67.
- [8] 戴莹. 降低基站耗电量方法的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2015.
- [9] 闫震,李彬,王兴光,等. 基于二次指数平滑预测的 5G 基站节能方案研究[J]. 通讯世界,2020,27(11):151-152,157.
- [10] 杨拓,胡丽洁,王飞. 5G 终端节能关键技术研究[C]//2019 年 5G 网络创新研讨会论文集. 北京:TD 产业联盟,移动通信杂志社,2019:363-367.
- [11] 夏颖. 5G 基站节能方案探析[J]. 江苏通信,2021,37(4):119-122.
- [12] 慕少锋,肖清华. 基于业务保障的 5G 基站智能关断方法分析[J]. 邮电设计技术,2022(7):11-14.

#### 作者简介:

肖清华,毕业于浙江大学,华信咨询设计研究院有限公司网研院副院长,教授级高级工程师,博士,主要从事无线网络规划与设计相关工作。

