



研究与开发

密集异构网络中基于非邻区关系分簇的 集中式基站休眠算法

曹一侃, 解志斌, 王亚军, 夏本琦
(江苏科技大学, 江苏 镇江 212000)

摘要: 密集异构网络中, 大量部署的低功率基站将会带来巨大的网络能耗, 基站休眠算法可以有效降低网络能耗, 但在算法实施过程中存在复杂度较高、准确性易受影响以及网络信令负担大等问题。为此, 提出了一种适用于密集异构网络的基于非邻区关系分簇的集中式基站休眠算法。该算法首先基于非邻区关系准则, 将不存在用户直接相互切换关系的低功率基站分为一簇, 然后根据每簇内基站能效均值以及用户和基站的位置关系, 分别设置潜在休眠基站判决机制和基站运行模式判决机制, 最后所有簇依次执行簇内判决机制。仿真结果表明, 该休眠算法具有良好的网络性能。

关键词: 密集异构网络; 非邻区关系分簇; 基站休眠; 运行模式

中图分类号: TN929

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2018171

Centralized base station sleep algorithm based on non-neighbor relation clustering in dense heterogeneous networks

CAO Yikan, XIE Zhibin, WANG Yajun, XIA Benqi
Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212000, China

Abstract: A centralized base station sleeping algorithm based on non-neighbor relation clustering was proposed for dense heterogeneous networks. Firstly, based on the non-neighbor relationship criterion, the low power base stations with no direct switching relationship were clustered into several groups. Then, the low power base station running mode decision mechanism and possible base station sleeping decision mechanism was set according to the energy efficiency mean of base station in each cluster and the position relations between the users and the base station. At last, all clusters run the decision mechanism of inner cluster according to the order of the implementation of sleeping algorithm. The simulation results show that the proposed algorithm has satisfactory network performance.

Key words: dense heterogeneous network, non-neighbor relationship clustering, base station sleeping, running mode

收稿日期: 2017-11-07; 修回日期: 2018-03-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 61401180, No. 61371114)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.61401180, No.61371114)



1 引言

在未来的 5G 网络中,网络吞吐量将提高近 1 000 倍,网络密集化是解决网络吞吐量问题的有效途径之一^[1,2],可通过部署大量低功率基站来达到改善系统容量和实现无缝覆盖的目的,这也意味着部署密集的基站将会带来巨大的能源损耗^[3,4]。参考文献[5]的研究表明,移动网络的能耗 60%~80%来自基站单元的消耗,参考文献[6]研究表明,在一天之内,网络内 30%~45%基站负载低于峰值的 10%,很大部分基站在绝大多数时间内都没有得到充分利用。因此,如何提高基站能效成为绿色通信的研究热点。

目前,基站休眠技术被认为是解决网络能耗问题的最有效方法之一,主要分为分布式基站休眠和集中式基站休眠^[7,8]。分布式休眠算法通常基于预设的阈值判断基站是否需要休眠^[9]。该算法仅考虑自身和相邻基站的运行情况,算法复杂度较低,但一般只能实现网络局部优化,无法获得整体网络能效的提高。集中式休眠算法通过集中式管控模块收集网络中全部基站的负载信息,从全网络的角度出发实施休眠算法,使整体网络达到能效最优状态。相对而言,集中式休眠算法网络能效优于分布式休眠算法,但算法复杂度较高^[10]。在针对集中式休眠算法的研究中,参考文献[11]提出了一种启发式集中休眠算法,该算法通过 SON (self organization network, 自组织网络) 服务器收集网络中所有基站的运行状态信息并计算所有基站的能效,尽量关闭能效小的基站。但该算法需要遍历网络所有基站,对于基站部署数量庞大的密集异构网络而言,算法的复杂度太大。同时,参考文献[11]中又提出了循环渐进式集中式休眠算法,该算法将开启的基站按照能效大小分为高低能效两组,根据测试低能效组中基站关闭的比例来判断是否进行下一组的关闭测试,避免遍历网络中所有基站。但是在算法的执行过程中,

用户的转移造成相邻基站能效的变化,SON 服务器不能及时更新基站能效的排序,从而影响分组后能效排序的准确性,使得本组关闭基站的比例降低,可能致使下一组测试无法进行,网络的能效无法得到全面的优化。参考文献[12]提出了分簇的集中式基站休眠算法,在算法执行过程中,关闭一个基站的前后,网络都要进行簇的能效对比和更新,对于密集异构网络来说,网络信令负担严重,算法效率低。参考文献[13,14]提出了一种根据基站业务量判断并执行关闭一定比例活动基站的休眠算法,在保证邻近小区可以接受其业务量转移的前提下,关闭业务量低的基站。然而,该算法并没有考虑到用户的实际位置对用户成功转移的影响,可能造成部分业务量低的基站无法休眠。

针对上述问题,本文提出了基于非邻区关系分簇的集中式基站休眠算法。该算法首先对不具有用户直接相互切换关系的基站进行分簇,使得簇内的基站能效变化互不影响,减少集中管理模块统计和更新基站能效信息的频率,降低网络信令负担。然后,在每个簇内建立潜在休眠基站的判决机制,减少算法执行过程中不必要基站的测试,有效降低运算复杂度;同时,根据用户到基站的距离,设置基站运行模式的判决机制,合理转移用户,避免出现连续多个相邻低能效基站间用户相互转移,造成低能效基站无法关闭而浪费能源的情况。最后,所有簇依次执行簇内的判决机制,经过多次准确的基站能效排序、合理用户转移以及基站运行模式的选择,可以关闭更多低能效的基站,同时也降低了出现连续多个相邻基站休眠的可能性,分散化基站休眠带来的覆盖漏洞,避免网络拥塞率的提高。

2 系统模型

2.1 网络架构

考虑有 M 个宏蜂窝形成基本覆盖的异构网络

模型, 其中, 以每个宏基站为中心, 形成理想的六边形的覆盖宏小区, 如图 1 所示。每个宏小区通过宏基站配置的定向天线划分为 3 个宏扇区。在每个宏小区内, 高密度地部署低功耗的小蜂窝, 这些小蜂窝均配置全向天线, 无扇区划分, 同时采用开放式用户接入方式, 允许覆盖范围内的所有用户接入。

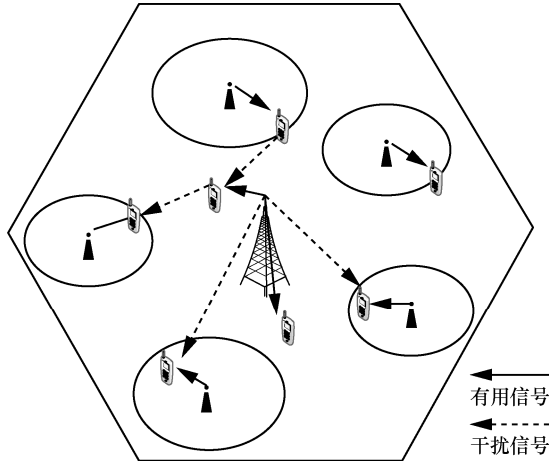


图 1 系统场景模型

2.2 接入模型

假设在业务强度周期性变化的网络中, 将用户到达建模成一个强度为 $\lambda(t)$ 的泊松随机过程, $\lambda(t)$ 是一个周期 $T=24\text{ h}$ 的变量^[15]:

$$\lambda(t) = \frac{A}{2^b} \left[1 + \sin\left(\frac{\pi t}{12} + B\pi\right) \right]^b + C \quad (1)$$

其中, A 表示控制业务强度变化曲线幅度的参数, B 表示控制业务强度变化曲线峰值位置的角度参数, C 表示业务强度变化曲线的常数项, $b \in \{1, 3\}$ 表示用户调节业务强度变化曲线的梯度。设定参数 $A=19$, $B=-11/12$, $C=1$, $b=1$ ^[16]。

基于 LTE 下行传输信道模型, 带宽 B 被分为 N_{RB} 个资源模块, 每个 RB (resource block, 资源块) 在某一时刻只能被一个用户占用。宏扇区 m 服务用户 m_k 的用户速率计算式为:

$$R_{m_k} = \sum_{i \in I_{\text{RB}, m_k, m}} B_{\text{RB}} \cdot \log(1 + \gamma_{m_k, i, m}) \quad (2)$$

其中, $I_{\text{RB}, m_k, m}$ 表示第 m 个宏扇区分配给用户 m_k

的 RB 集合, B_{RB} 表示一个 RB 的带宽, $\gamma_{m_k, i, m}$ 表示用户 m_k 在宏扇区 m 的第 i 个 RB 上接收的信干噪比。

小蜂窝覆盖形成的第 f 个小小小区服务用户 f_k 的用户速率计算式为:

$$R_{f_k} = \sum_{i \in I_{\text{RB}, f_k, f}} B_{\text{RB}} \cdot \log(1 + \gamma_{f_k, i, f}) \quad (3)$$

其中, $I_{\text{RB}, f_k, f}$ 表示第 f 个小小小区分配给用户 f_k 的 RB 集合, $\gamma_{f_k, i, f}$ 表示用户 f_k 在小小小区的第 i 个 RB 上接收信号的信干噪比。

2.3 能效模型

基站的输出功率和基站的功耗之间存在线性关系, 参考文献[13]给出了其功耗模型:

$$P_{\text{total}} = \begin{cases} N_{\text{TRX}} \cdot P_0 + \Delta P \cdot P_{\text{out}}, & 0 < P_{\text{out}} \leq P_{\text{max}} \\ N_{\text{TRX}} \cdot P_{\text{sleep}}, & P_{\text{out}} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

其中, P_0 是非休眠状态下每根天线的最小输出功率, P_{out} 表示满足用户需求的功率, ΔP 是与负载相关的功耗的斜率, N_{TRX} 是基站的发射天线数, P_{sleep} 表示基站休眠状态下的功率。

定义第 k 个小蜂窝的能效为该基站的吞吐量和基站的功耗的比值, 具体计算式为:

$$\eta_k = \frac{\sum_{m \in M_k} R_m^k}{P_{\text{total}}^k} \quad (5)$$

其中, M_k 表示第 k 个小蜂窝服务用户的集合, P_m^k 表示第 k 个小蜂窝服务的第 m 个用户的速率, P_{total}^k 表示第 k 个小蜂窝的功耗。

3 基于非邻区关系分簇的集中式基站休眠算法

在解决网络能耗优化问题的过程中, 贪婪算法能够得到网络能效的最优解, 但随着基站数量的增加, 贪婪算法的复杂度会非常高甚至无法计算。在采用邻区关系分簇或者基站能效排序的算法时, 由于用户在算法执行过程中的转移, 造成基站能效排序不准确。此时, 对于不能及时更新



能效排序的网络,部分低能效基站无法关闭,而对于频繁更新能效排序的网络,无疑增加了网络信令负担。因此,本文提出了一种适用于密集异构网络的基于非邻区关系分簇的集中式基站休眠算法。该算法首先基于非邻区关系准则,将不存在用户直接相互切换关系的低功率基站分为一簇,然后根据每簇内基站能效均值以及用户和基站的位置关系,分别建立潜在休眠基站判决机制和基站运行模式判决机制,最后所有簇依次执行簇内判决机制。

3.1 基于非邻区关系的分簇算法

为将不具有邻区关系的小蜂窝分为一簇,首先需要对所有小蜂窝做不同的标记,区分相互关系属性。在标记过程中可以根据网络的规模选择多种标记方式,由于过多种类的标记会影响算法的复杂度及运算时间,因此,在小范围的网络中,可以根据小蜂窝邻区个数的奇偶性,选择至多4种编号标记的方式,将所有存在邻区关系的小蜂窝做不同的标记,然后将相同标记的小蜂窝分为一簇,达到非邻区关系分簇的目的。

根据小蜂窝邻区的个数,首先将邻区个数最多的小蜂窝和独立的小蜂窝标记为1,然后根据邻区个数的奇偶性,加以区分标记。当邻区个数为偶数时,只需要两种数字即可将它们分开,即2、3;当邻区个数为奇数,等于或者大于3时,则需要3种数字标记,即2、3、4;对于只存在一个邻区的基站,一种数字标记即可,如图2所示。

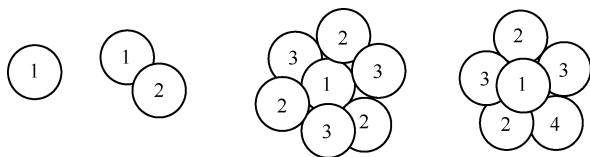


图2 小蜂窝邻区关系的标记情况

所有小蜂窝标记完成后,将相同标记编号的小蜂窝分为一簇。具体的分簇步骤如下。

步骤1 初始化。集合 A 表示所有的小蜂窝组成的集合,集合 B_n 表示第 n 个小蜂窝相邻基站

组成的集合,初始化为空集, $|B_n|$ 表示第 n 个小蜂窝相邻的基站的个数。

步骤2 集合 A 中每个小蜂窝根据收集到的信息计算与其他小蜂窝之间的距离,若距离小于给定的阈值 d ($d=2D$, D 表示小蜂窝的覆盖半径),则认为两个小蜂窝相邻,并更新集合 B_n 。

步骤3 集合 A 中,每个小蜂窝计算自己邻区的个数,更新 $|B_n|$,将 $|B_n|$ 按照递减顺序排列,形成列表集合 L 。

步骤4 从列表集合 L 中选取邻区基站数最大值对应的小蜂窝标记为1,独立的小蜂窝也标记为1。标记后将该基站在列表集合 L 中的排序删除。

步骤5 对标记为1的小蜂窝对应的 B_n 中的基站进行标记,相邻的小蜂窝大致成环状分布。依次对相邻基站每隔一个小蜂窝做相同的标记:当邻区个数为偶数时,做232323标记;当为奇数时,做234234标记。

步骤6 将已标记小蜂窝对应的排序从列表集合 L 中删除。

步骤7 若列表集合 L 不为空集,返回步骤4;若为空集,转入步骤8。

步骤8 集合 A 中的基站全部标记完成后,按照基站的标记编号进行分簇。相同标记编号的分为一簇,即簇1、簇2、簇3、簇4。

3.2 基于簇内判决机制的休眠算法

小蜂窝分簇后,为进一步降低算法的复杂度,减少不必要的基站测试,本节建立了一个潜在休眠基站判决机制。考虑到网络整体能效主要受部分低能效基站的影响,因此,可把每个簇内基站能效的均值 $\bar{\eta}$ 作为阈值,集中测试能效值小于 $\bar{\eta}$ 的小蜂窝。根据式(6)、式(7)判断潜在休眠基站。

$$\bar{\eta} = \frac{\sum_{k=1}^N \sum_{m \in M_k} R_m^k}{\sum_{k=1}^N P_{\text{total}}^k} \quad (6)$$

$$\eta_k \leq \bar{\eta} \quad (7)$$

在潜在休眠基站尝试休眠的过程中,用户在

基站覆盖范围内的分布位置对基站能否顺利休眠起到决定性作用,因此,需要根据用户的实际位置合理地选择基站运行模式。对于靠近周边邻区基站的用户,可以根据实际情况转移到周边邻区基站,但对于集中在基站中心附近的用户,成功转移到周边邻区基站的可能性较低,参考文献[12]中算法是继续保持该基站的工作状态,这样就产生了能源的浪费。参考文献[13]算法是将这些用户转移到室外的宏基站服务,由于存在墙壁遮挡和距离宏基站较远等问题,一般宏基站的信号质量在室内不太理想,用户转移成功率和基站关闭率都不高,即使转移成功,由于信道质量较低,用户占用较多的信道资源,提高了网络拥塞率。因此,给出了基站运行模式的判决机制,根据用户在小蜂窝覆盖范围内的位置来判定基站是休眠还是进行功率收缩,合理地安排和转移用户。由于小蜂窝为低功率基站,不适合采用多级调节发射功率情况,因此,在基站选择收缩功率模式时,发射功率降为原来的一半。

基站分成4个簇后,在每个簇内执行判决机制的具体步骤如下。

步骤1 根据SON收集簇内基站服务状态信息,计算簇内所有基站的能效值 η_k 并得到能效均值 $\bar{\eta}$ 。

步骤2 集合 T 表示簇内能效值小于能效均值($\eta_k \leq \bar{\eta}$)的所有小蜂窝的集合,将集合 T 内基站按照能效值递减序列排序。将集合 T 内能效值最大的基站表示为 $t_{\max}$,统计 $t_{\max}$ 内所有用户到基站的距离并求出距离均值 $\bar{d}$, D 为 $t_{\max}$ 的最大覆盖半径。

步骤3 若 $\bar{d} \leq D/2$,则判定 $t_{\max}$ 内的用户主要集中在基站附近,基站选择收缩功率模式。同时,尝试将距离 $t_{\max}$ 较远的用户转移到邻近的小蜂窝或宏蜂窝。若成功转移,基站可以进入收缩功率模式,更新集合 T , $T=T-\{t_{\max}\}$,若不成功,则基站保持原先的运行模式,更新集合元素,

$T=T-\{t_{\max}\}$ 。

步骤4 若 $\bar{d} > D/2$,则判定 $t_{\max}$ 内的用户主要集中在基站外围,基站选择休眠模式,同时,尝试将距离 $t_{\max}$ 较远的用户转移到宏蜂窝,较远的用户转移到邻近小蜂窝,若成功转移,基站可以进入休眠模式,更新集合元素, $T=T-\{t_{\max}\}$,若不成功,则基站保持原先的运行模式,更新集合元素, $T=T-\{t_{\max}\}$ 。

步骤5 若集合 T 不是空集,则返回步骤2。

步骤6 若集合 T 为空集,则转入任意一个簇执行步骤1~步骤5。

直到所有簇依次执行完上述判决机制,算法结束,并等待下一次执行算法的时间到来。在每个簇内的判决机制的流程如图3所示。

4 仿真结果和分析

为了更好地评估基于非邻区关系分簇的集中式基站休眠算法的性能,本节将与贪婪休眠算法和邻区关系的休眠算法进行比较,参与对比的性能包括:基站的平均开启数、网络能效、网络的拥塞率以及算法的运行时间。

本节搭建的密集异构网络中含有7个宏蜂窝,每个宏扇区内均匀随机分布着100个小蜂窝,仿真过程中采用Wrap-around技术^[17],克服异构网络中的边界效应。同时采用郊区路径损耗模型^[18],并假设小蜂窝均位于一层的建筑物内,具体仿真参数见表1。

3种算法的基站平均开启数随时间变化情况如图4所示。由图4可知,3种算法的基站平均开启数很好地反映了网络负载的变化情况。即在23点至次日7点时间段,由于大部分用户处于休息状态,业务需求量较低,基站开启数较少;后续时间段,随着日常繁忙生活的开始,基站开启数逐渐增加直至趋于稳定。在采用非邻区关系分簇休眠算法时,基站的平均开启数较低,这是因为采用非邻区关系分簇,避免了邻区基站能效变

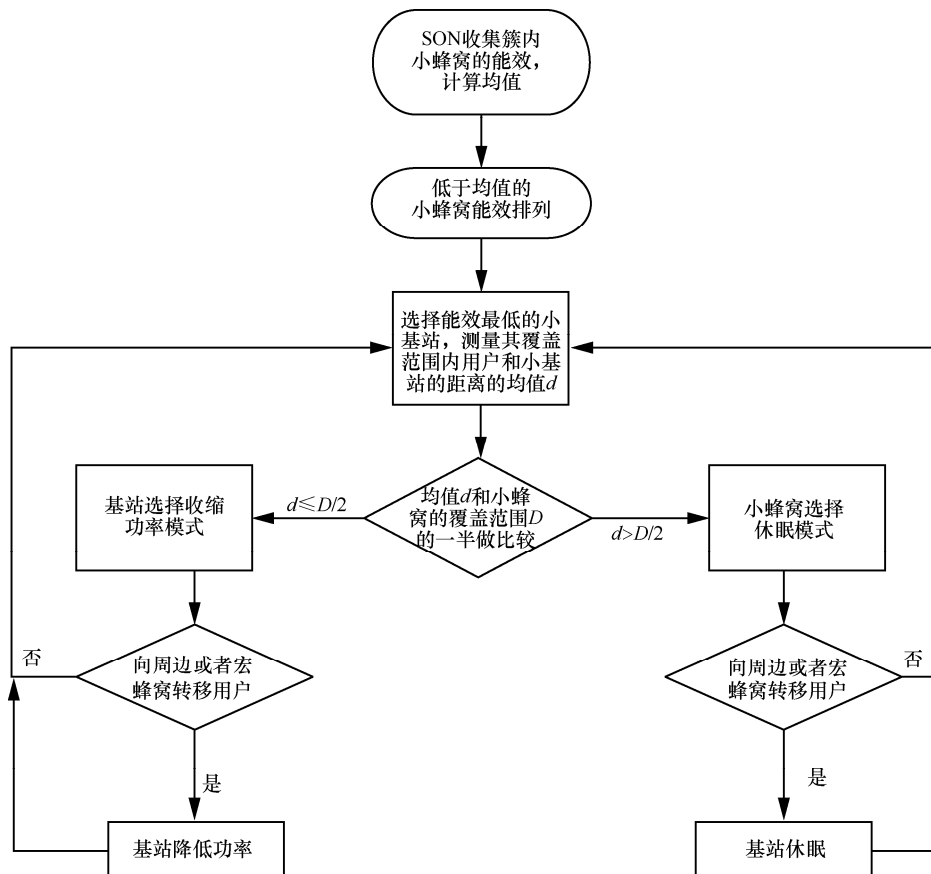


图3 簇内判决机制流程

表1 部分仿真参数

仿真参数	宏蜂窝	小蜂窝
基站传输功率/dBm	46	20
系统带宽/MHz	10	10
RB 数量	50	50
小区覆盖半径/m	289	10
基站天线模式	3D 定向天线	全向天线
基站最大天线增益/dBi	14	5
信道模型	瑞利衰落信道	瑞利衰落信道
热噪声功率谱密度/(dBm·Hz ⁻¹)	-174	-174
阴影衰落标准方差/dB	8	10
用户最低速率要求/(kbit·s ⁻¹)	400	400
最小距离要求 $d_{\min}$ /m	宏蜂窝—小蜂窝: 75 宏蜂窝—UE: 35	小蜂窝—小蜂窝: 5 小蜂窝—UE: 1

化相互影响,准确排序基站能效,提高休眠算法准确性。同时,簇内潜在休眠基站判决机制,使算法针对性优化低能效基站;簇内基站运行模式判决机制使得用户转移更加合理,避免转移到距

离较远的低能效基站,占用较多网络资源而无法关闭低能效基站。贪婪算法和邻区关系分簇休眠算法均未考虑邻区基站能效变化的相互影响以及连续多个相邻低能效基站执行算法的情况。因此,

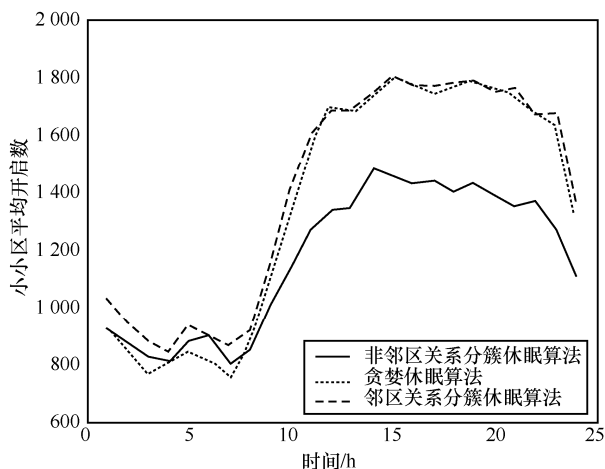


图4 不同算法基站平均开启数随时间的变化情况

两者的基站平均开启数均较高。

3种算法的网络拥塞率随时间变化如图5所示。在业务低谷期，用户数量及服务需求变化量较低，开启的基站足以满足用户的服务需求，拥塞概率较低。随着网络业务量的增加，基站开启数增加，但由于网络中存在较多的覆盖空洞，网络拥塞概率不断增加。在业务高峰期，基站开启数较多，3种算法的网络拥塞率均低于1%且处于一个较稳定的状态，满足一般通信服务网络拥塞概率的要求。邻区关系分簇算法由于簇头时刻保持开启状态，监测新用户的出现，拥塞率较低。非邻区关系分簇休眠算法由于基于非邻区关系分簇和所有簇依次执行簇内判决，在经过多次准确

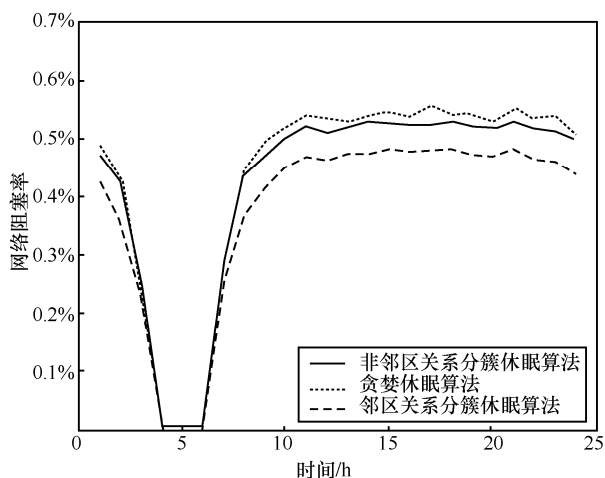


图5 不同算法网络阻塞率随时间的变化情况

的基站能效排序、合理的用户转移以及基站运行模式的选择后，降低了出现连续多个相邻基站休眠的可能性，分散化基站休眠带来的覆盖漏洞，避免出现大面积覆盖漏洞的情况，同时，簇内的基站运行模式判决机制也降低了用户转移到较远基站通信的可能性，减少了通信过程中因信道质量较差而占用较多网络资源的情况。因此，在关闭更多基站的情况下，非邻区关系分簇休眠算法并没有明显地提高网络拥塞率。

图6给出了在保证网络具有良好的拥塞概率的情况下，3种算法的网络能效以及未执行任何休眠算法网络能效随时间变化的情况。由图6可知，3种休眠算法的网络能效变化随着网络业务量和基站开启数变化而变化，变化趋势基本相同。邻区关系分簇休眠算法由于要时刻保持簇头的开启，基站开启数略多于贪婪休眠算法，因此网络能效要低于贪婪休眠算法。非邻区关系分簇休眠算法具有较高的算法准确性、更加合理的用户转移方式和基站的运行模式，便于优化更多低能效基站。因此，网络整体能效要优于其他两种方法。

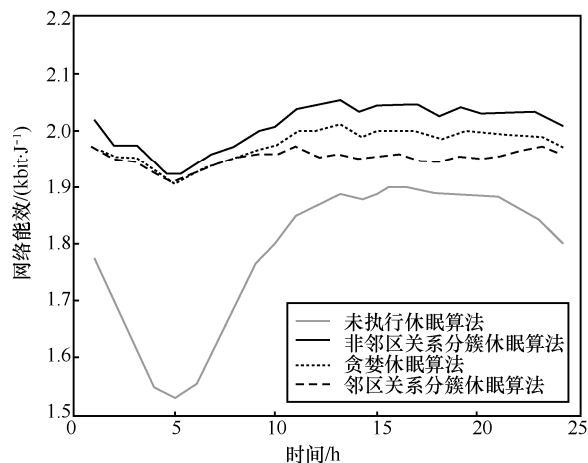


图6 未执行休眠算法网络能效以及不同算法网络能效随时间的变化情况

图7显示了不同算法在运行时间上随时间变化的差异性。由图7可知，3种算法运行时间的变化趋势与业务量和基站开启数的变化趋势基本相同。贪婪算法需要遍历网络中所有的基站，因此耗时较



长,虽然邻区分簇休眠算法采取分簇的方式降低算法的复杂度,但在每个簇内算法仍需遍历簇内所有基站,所以从整体网络来说,两种算法的运行时间基本相同。非邻区关系分簇休眠算法通过非邻区关系分簇提高基站能效排序的准确性,降低执行休眠算法过程中 SON 频繁收集基站能效和更新能效排序消耗的时间,同时簇内设置潜在休眠基站判决机制,减少不必要基站的测试。因此,非邻区关系分簇休眠算法的执行时间要明显少于其他两种算法。

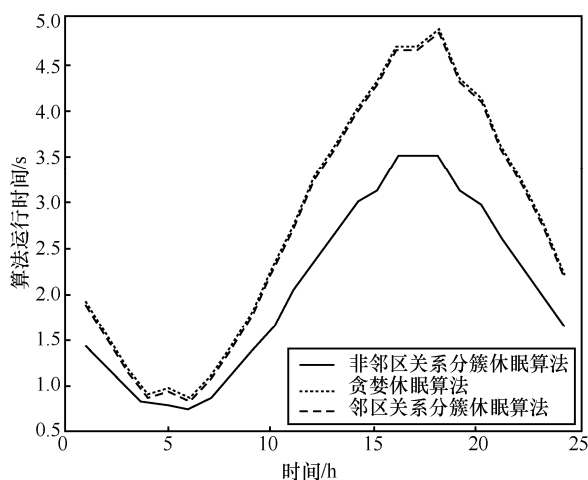


图7 不同算法运行时间随时间的变化情况

5 结束语

为了避免传统集中式休眠算法执行过程中,因用户相互转移而造成邻区基站能效排序准确性受到影响的情况,提出了一种非邻区关系分簇的集中式休眠算法,该算法提高基站能效排序准确性,减少不必要基站测试以及合理安排用户转移方式和基站运行模式,实现了网络能效的提高。仿真结果表明,非邻区关系分簇休眠算法在网络拥塞率略高的情况下,基站平均关闭数、网络能效和算法执行时间上都要优于其他两种算法。考虑到在分簇较多的情况下,由于所有簇需依次执行休眠算法,算法的运行时间及复杂度会受到影响,因此,在更大范围的网路中建议多级混合分簇,缩小休眠算法运行时间,提高网络优化的效率。

参考文献:

- [1] 陈山枝. 发展 5G 的分析与建议[J]. 电信科学, 2016, 32(7): 1-10.
CHEN S Z. Analysis and suggestion of future 5G directions[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(7): 1-10.
- [2] 韩东升, 郑冰, 陈智雄. 基于能量损耗与能源代价均衡的基站休眠机制[J]. 电信科学, 2017, 33(7): 9-18.
HAN D S, ZHENG B, CHEN Z X. Base station sleep mechanism based on power consumption and energy cost balance[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(7): 9-18.
- [3] BOUSIA A, KARTSAKLI E, ANTONOPOULOS A, et al. Multi objective auction-based switching off scheme in heterogeneous networks to bid or not to bid [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2016, 65(11): 9168-9180.
- [4] 周朋光, 黄俊伟, 张仁迟, 等. 超密集网络中一种基于人工蜂群的节能分簇算法[J]. 电信科学, 2017, 33(2): 90-97.
ZHOU P G, HUANG J W, ZHANG R C, et al. An energy saving clustering algorithm based on artificial bee colony in ultra dense network[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(2): 90-97.
- [5] BJORNSON E, SANGUINETTI L, KOUNTOURIS M. Deploying dense networks for maximal energy efficiency: small cells meet massive MIMO[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2016, 32(4): 832-847.
- [6] 李渝舟, 江涛, 曹洋, 等. 5G 绿色超密集无线异构网络: 理念、技术及挑战[J]. 电信科学, 2017, 33(6): 34-40.
LI Y Z, JIANG T, CAO Y, et al. Green 5G ultra-dense wireless heterogeneous networks: guidelines, techniques and challenges[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(6): 34-40.
- [7] 陈登昭. 异构蜂窝网络下基站节能技术研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2016.
CHEN D Z. Study on the energy-saving technology of base station of heterogeneous cellular network [D]. Changchun: Jilin University, 2016.
- [8] CHIARAVIGLIO L, CIULLO D, MEO M, et al. Energy-efficient management of UMTS access networks[C]//The 21st IEEE International Teletraffic Congress, Sept 15-17, 2009, Paris, France. [S.l.: s.n.], 2009: 1-8.
- [9] GUO W S, O'FARRELL T. Dynamic cell expansion: traffic aware low energy cellular network[C]//2012 Vehicular Technology Conference, Sept 1, 2012, Quebec City, Canada. Piscataway: IEEE Press, 2012: 1-5.
- [10] LIU C, WAN Y, TIAN L, et al. Base station sleeping control with energy-stability tradeoff in centralized radio access networks[C]//The 2015 IEEE Global Communications Conference, Dec 6-10, 2015, San Diego, USA. Piscataway: IEEE Press, 2015: 1-6.
- [11] JIE W, SHI J, LEI J, et al. Dynamic switching off algorithms for pico base stations in heterogeneous cellular networks[J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2015(1): 117.
- [12] WEI Z, WEI L, XIE Y, et al. Hybrid BS-cooperative power management scheme with self-organized sleep mode in virtual cell-based femto networks[J]. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2012: 178-193.
- [13] BOUSIA A, KANSALIKI E, ALONSO L, et al. Dynamic energy efficient distance-aware base station switch on/off scheme for LTE-Advanced[C]//IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Dec 3-7, 2012, Anaheim, CA, USA. Piscataway: IEEE Press, 2012: 1532-1537.

- [14] ABDUKLAFI A A, KIONG T S, CHIENG D, et al. Energy efficiency improvements in heterogeneous network through traffic load balancing and sleep mode mechanisms[J]. Wireless Personal Communication, 2014, 75(4): 2151-2164.
- [15] MARSAN M A, MEO M. Energy efficient management of two cellular access networks [J]. ACM Sigmetrics Performance Evaluation Review, 2010: 69-73.
- [16] AUE G, GIANNINI V, DESSET C. How much energy is needed to run a wireless network[J]. Wireless Communications, 2011, 18(5): 40-49.
- [17] 3GPP. Simulation assumptions and parameters for FDD HeNB RF requirements: TSG RAN WG4 R4-092042[S]. 2009.
- [18] BJÖRNSON E, SANGUINETTI L, KOUNTOURIS M. Deploying dense networks for maximal energy efficiency: small cells meet massive MIMO[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2016, 34(4): 832-847.

[作者简介]



曹一侃（1987-），男，江苏科技大学电子信息学院硕士生，主要研究方向为绿色通信、网络能效优化。



解志斌（1981-），男，江苏科技大学电子信息学院副教授，主要研究方向为绿色通信、干扰管理。



王亚军（1972-），男，江苏科技大学理学院副教授，主要研究方向为 MIMO-OFDM 系统、优化理论与算法在无线通信中的应用。



夏本琦（1992-），男，江苏科技大学电子信息学院硕士生，主要研究方向为干扰管理。