

基于负载预分配的移动负载均衡算法

李 丽

(重庆邮电大学 通信与信息工程学院,重庆 400065)

摘要:通信技术的快速发展及用户需求的日益增长,导致小区业务负载分布出现越来越不均衡的现象,针对此问题,提出一种适用于 LTE(长期演进)系统的基于负载预分配的移动负载均衡算法。当小区过载时,利用层次分析法选择最优目标小区,然后根据目标小区负载情况预分配过载小区负载量,再通过可变步长调整小区独立偏置,转移过载小区用户,实现小区间负载均衡。研究表明,该算法提升了小区间负载均衡度,减少了系统切换次数,增强了用户体验。

关键词:长期演进;移动负载均衡;层次分析;小区独立偏置

中图分类号:TN929.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-8788(2016)03-0069-04

Mobility Load Balancing Algorithm Based on Load Pre-allocation

LI Li

(School of Communication and Information Engineering, CUPT, Chongqing 400065, China)

Abstract: The fast development of communication technology and the increasing demand of the users result in the phenomenon that the load in the cell becomes more and more unbalanced. In this paper, we propose an algorithm based on load pre-allocation for Long Term Evolution (LTE) network to solve the problem. When a cell becomes overload, we select the optimal target cell through analytic hierarchy process method, which can reduce the ping-pong handover rate. Then we allocate the load in the overload cell according to the measurement of the load in the target cell. Finally, we adjust the cell individual offset to transfer the users to realize the inter cell load balancing. The simulation results show that the proposed algorithm can effectively improve the inter cell load balancing degree and the users' experiences with smaller handover numbers.

Key words: LTE; mobility load balancing; analytic hierarchy process; cell individual offset

0 引 言

MLB(移动负载均衡)通过将过载小区中的部分用户强制切换到相邻轻载小区,实现小区间业务分布均衡,以提高资源利用率^[1]。目前已有大量文献对负载均衡算法进行了研究。文献[2]提出一种基于小区负载的 MLBA(MLB 算法),当基站检测到小区负载超过预设门限时,判定小区过载,调整 CIO(小区独立偏置)转移用户,实现负载均衡。该算法思路简单,但实现的均衡度不高。文献[3]提出了基于相邻小区负载差的 MLBA,当基站检测到相邻小区负载差超过预设门限时,将高负载小区中的用户转移到低负载小区,实现小区间业务分布均衡。该算法实现的均衡度较高,但切换次数较多。文献[4]提出一种区域负载均衡算法,当某小区出现过载时,其周围相邻小区均可参与均衡过程,且邻小区不仅可以作为目标小区吸收负载,也可以作为源小区向外转移负载。该算法可达到理论上的绝对均衡,但复杂度过高,不实用。

鉴于此,本文提出一种基于负载预分配的 ML-

BA,首先利用 AHP(层次分析)综合考虑多个因素选择最优目标小区,生成用户—小区配比对;然后根据目标小区负载接收能力预分配过载小区负载量;最后通过可变步长 *step* 调整参数 CIO,转移用户,实现负载均衡。

1 移动负载均衡

3GPP(第三代合作伙伴计划)定义“EVENT A3”(A3 事件)为切换触发事件,如式(1)所示,该条件满足时,UE(用户设备)上报测量结果,eNodeB(基站)根据上报的内容判决是否进行切换。

$$M_n - M_s > H_{\text{yst}} - CIO_{s,n}, \tag{1}$$

式中, M_n 、 M_s 分别为邻小区、源小区 RSRP(参考信号接收功率) 测量结果; H_{yst} 为小区迟滞参数; $CIO_{s,n}$ 为源小区 s 为邻小区 n 保持的小区独立偏置。增大 $CIO_{s,n}$ 可以降低用户切换门限,使过载小区中的用户更容易切换到相邻轻载小区;减小 $CIO_{s,n}$ 可以提高用户切换门限,使轻载小区中的用户难以切换到过载小区。由此可见,调整参数 $CIO_{s,n}$ 可使切换条件发生改变,从而影响各小区中

的用户数,实现小区间负载均衡。

2 系统模型

2.1 网络模型

本文采用图 1 所示的 7 小区网络模型。假设小区 1 为过载小区,其邻小区 2~7 为轻载小区,小区 1 需将一部分用户转移到相邻小区。由式(1)可知,满足 A3 事件的邻小区往往不止一个,涉及最优目标小区的选择。如图中边缘用户 a 转移时,需确定选择小区 3 或者小区 4 作为最优目标小区。此外,如果目标小区盲目接纳用户,则容易出现过载现象,因此涉及 CIO 的调整。

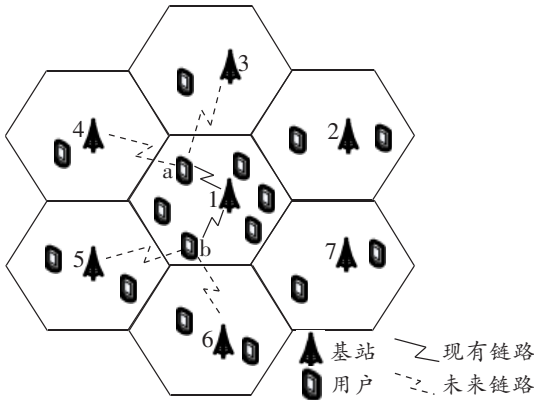


图 1 网络模型

2.2 链路模型

t 时刻,小区 i 中用户 k 在第 l 个 PRB(物理资源块)上的 SINR(信干噪比)表示如下:

$$SINR_{i,k,l}(t) = \frac{g_{i,k,l}(t)P_t}{N_0 + \sum_{j \in C, j \neq i} g_{j,k,l}(t)P_t}$$

式中, $g_{i,k,l}(t)$ 为信号增益; P_t 为信号发射功率; N_0 为热噪声; C 为系统中所有小区的集合。

t 时刻,小区 i 中用户 k 占用的 PRB 数量表示为

$$N_{i,k}(t) = \frac{D_u}{BW \times \log_2(1 + SINR_{i,k,l}(t))}$$

式中, D_u 为 GBR(保证比特率)用户的数据速率要求; BW 为 PRB 的带宽,其大小为 180 kHz。

小区负载定义为小区内被占用的资源与小区总资源的比值,表示如下:

$$\rho_c(t) = \frac{S_i^c(t)}{S_i(t)} = [\sum_{k \in c} I_{i,k}(t)N_{i,k}(t)]/S_i(t)$$

式中, $S_i(t)$ 为小区总资源; $I_{i,k}(t)$ 为用户 k 与小区 i 的连接关系,取值为 1 表示有连接,取值为 0 表示无连接,且每个用户只与 1 个小区有连接。

为评估系统均衡程度,引入 Jain's 公平指数^[5],定义如下:

$$\nabla(t) = \left(\sum_{c \in C} \rho_c(t) \right)^2 / [N \sum_{c \in C} (\rho_c(t))^2]$$

式中, N 为系统内总小区个数。

3 基于负载预分配的 MLBA

3.1 目标小区选择

文献[2]在选择最优目标小区时,仅考虑 RSRP 一种因素,容易导致切换失败。本文利用 AHP 综合考虑 RSRP、目标小区可用资源和 SINR 等多个因素来选择最优目标小区,建立的递阶层次模型如图 2 所示。过载小区中每个待转移用户均利用 AHP 选择最优目标小区,生成用户—小区配对比列表,用户转移时与该列表中的小区一一对应。

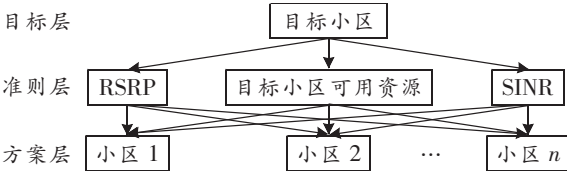


图 2 AHP 层次模型

3.2 过载小区负载预分配

现有算法中,若当前目标小区未过载,则将一直接纳过载小区转移来的用户,忽略了目标小区的负载接收能力,容易增大目标小区阻塞率。因此本文新定义了负载预分配公式(2),在转移用户前预分配过载小区负载量到各目标小区。

$$Z_m = (R_m / \sum_{j=1}^n R_j) \times R_c$$

式中, $m(m=1,2,\dots,n)$ 为满足条件的目标小区; Z_m 为目标小区 m 分配到的负载量; R_m 为目标小区 m 最大可接纳的负载量; R_c 为过载小区需转移的负载量; $R_j(j=1,2,\dots,n)$ 为目标小区 j 最大可接纳的负载量。目标小区负载越小,能接纳的负载就越多,分配到的负载量将越大。因此,负载预分配考虑了各目标小区接收负载的公平性。

3.3 CIO 设定

为实现用户转移,文献[3]以固定值 0.5 dB 调整 CIO,即使过载小区负载较大,一次迭代算法也只能转移少量用户,导致切换次数较高。本文通过可变步长 $step$ 迭代调整 CIO,即 $CIO = CIO + step$,步长 $step$ 如下式所示:

$$step = \begin{cases} \min[(1 + |\rho_i - \rho_{TL}|)\Delta, CIO_{max}] & \rho_i \geq \rho_{TL} \\ \min[-(1 + |\rho_i - \rho_{TL}|)\Delta, -CIO_{max}] & \rho_i < \rho_{TL} \end{cases}$$

式中, ρ_i 为小区负载; ρ_{TL} 为均衡门限; Δ , ρ_{TL} 和 CIO_{max} 为预定义。step 随 $|\rho_i - \rho_{TL}|$ 呈线性变化, $|\rho_i - \rho_{TL}|$ 较大时, CIO 增大/减小的幅度也较大, 一次迭代算法能转移更多用户, 从而减少了切换次数; $|\rho_i - \rho_{TL}|$ 较小时, CIO 增大/减小的幅度也较小, 一次迭代算法仅转移少量用户, 但此时 ρ_i 接近 ρ_{TL} , 不需转移太多用户; $|\rho_i - \rho_{TL}| = 0$ 时, 得到最终的 CIO 值。步长 step 可变, 使算法调整 CIO 时更加灵活, 能更快实现小区间负载均衡。

由式(1)可知, A3 事件满足, 用户将可能发生切换。假设在 3 个相互相邻的小区 i, j 和 k 中, 用户 u 满足式(3), 则会发生循环切换 $i \rightarrow j \rightarrow k \rightarrow i$, 造成系统信令负荷急剧增加。为避免循环切换, 系统中任意 3 个相互相邻的小区 CIO 必须满足式(4):

$$\begin{aligned} M_j - M_i &> H_{yst} - CIO_{i,j} \\ M_k - M_j &> H_{yst} - CIO_{j,k} \\ M_i - M_k &> H_{yst} - CIO_{k,i} \end{aligned} \quad (3)$$
$$CIO_{i,j} + CIO_{j,k} + CIO_{k,i} \leq 3H_{yst} \quad (4)$$

3.4 改进算法流程图

基于负载预分配的 MLBA 流程如图 3 所示。若小区负载超过门限 ρ_{TH} , 则判断为过载小区, 启动 MLBA。根据用户检测到的 RSRP 大小及邻小区负载大小, 筛选待转移用户和目标小区, 判断目标小区能否接纳过载小区需转移的负载量。利用 AHP 算法生成用户-小区配比对。依次选择待转移用户列表中的用户, 通过可变步长 step 调整 CIO 的值, 将

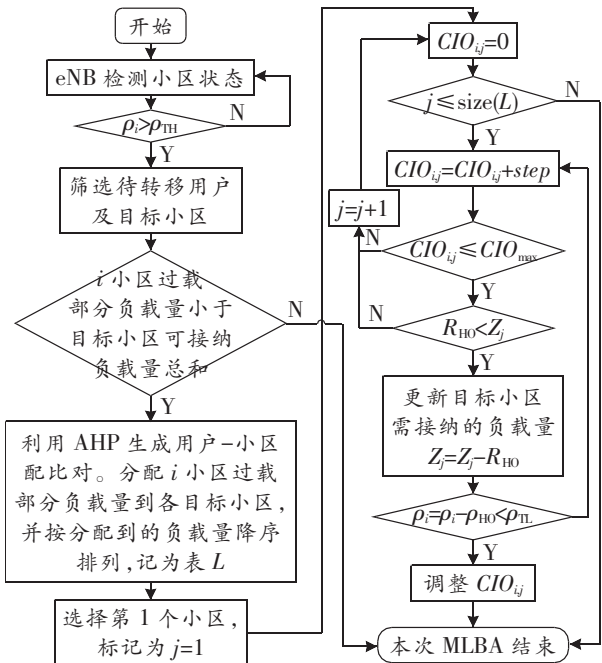


图 3 MLBA 流程图

用户转移到目标小区。更新各小区负载, 当过载小区负载低于门限 ρ_{TL} 时, 算法结束。图中, R_{HO} 表示用户转移后目标小区增加的负载, ρ_{HO} 为过载小区转移的负载。

4 仿真分析

本文利用 MATLAB 软件搭建了 LTE(长期演进)仿真平台, 仿真场景为图 1 所示的 7 小区蜂窝网络模型。设置小区 1 为过载小区, 用户到达率服从泊松分布, 离开率服从指数分布; 根据 3GPP 标准, 设置小区半径为 1 km, 其他参数设置如表 1 所示。本文将与文献[2]所提出的算法进行对比。为表述方便, 用 PMLB 表示文献[2]提出的算法, NMLB 表示未使用均衡算法。

表 1 仿真参数设置

仿真参数	参数配置
基站间距/m	1 500
载波频率/GHz	2
带宽/MHz	10
路径损耗/dB	$128.1 + 37.6 \lg d$
基站发射功率/dBm	43
热噪声功率谱密度/dBm · Hz ⁻¹	-174
阴影衰落均值/dB	0
阴影衰落标准差/dB	8
D_u /kbit/s	512
Δ /dB	0.5
H_{yst} /dB	3
CIO 初始值/dB	3
CIO_{max} /dB	12
ρ_{TH}	0.9
ρ_{TL}	0.7

注: d 表示距离, 单位为 km。

由图 4 可见, 两种算法选择的最优目标小区不同。PMLB 算法中大部分用户均选择小区 5 为目标小区, 这是因为 PMLB 算法仅考虑 RSRP 单一因素, 极易造成小区 5 过载。而本文的 MLBA 采用 AHP 综合考虑了多个因素, 各用户选择的目标小区更加分散。

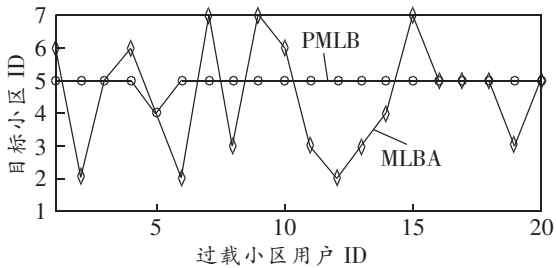


图 4 最优目标小区选择

图 5 所示为系统切换次数随用户到达率变化的曲线图。当用户到达率较小时,系统内几乎没有切换。随着用户到达率的增加,小区过载,需要转移用户,切换次数逐渐增大。从图中可以看出,不使用负载均衡算法时,系统切换次数为 0,因为没有强制过载小区转移用户。而 MLBA 比 PMLB 算法的切换次数少,这是因为本文以可变步长调整 CIO,过载小区负载越大,CIO 变化得越快,一次迭代算法转移的用户越多,从而减少了系统切换次数。

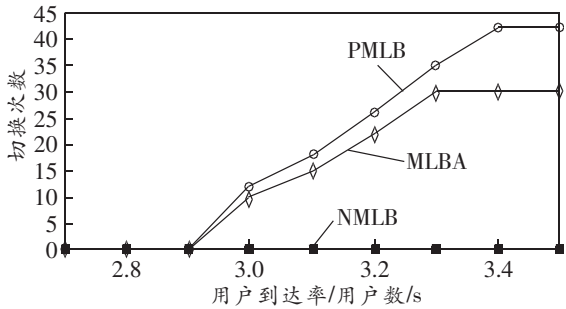


图 5 系统切换次数随用户到达率变化曲线

图 6 所示为系统均衡度变化曲线图。用户到达率较低时,小区 1 并没有过载,不启动均衡算法,所以 3 条线重合。随着用户到达率的逐渐增大,系统均衡度逐渐下降。当用户到达率增大到 3 用户/s 时,小区 1 过载,启动负载均衡算法,系统均衡度逐渐升高,而不使用均衡算法时,系统均衡度继续下降。从图中可以看出,相对于 PMLB 算法,MLBA 的系统均衡度大约提高了 6%,这是因为 MLBA 在转移过载小区用户前,根据目标小区的负载接收能力预分配过载小区用户量,从而能够达到更高的系统均衡度。

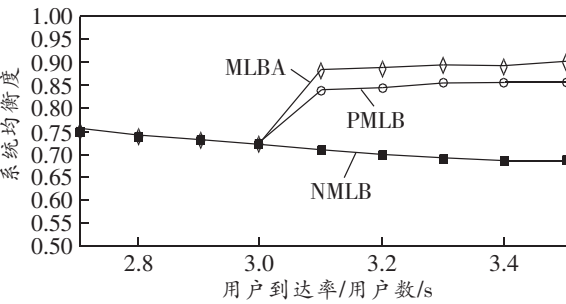


图 6 系统均衡度变化曲线

图 7 所示为系统阻塞率随用户到达率变化的曲线。从图中可以看出,随着用户到达率的增大,系统阻塞率也逐渐增大。NMLB 算法的阻塞率是最高的,这是因为小区出现过载时,若不使用均衡算法将

导致用户无法接入小区,从而使得整个系统的阻塞率提高。MLBA 具有最高的系统均衡度,使系统资源得到充分利用,故阻塞率最低。

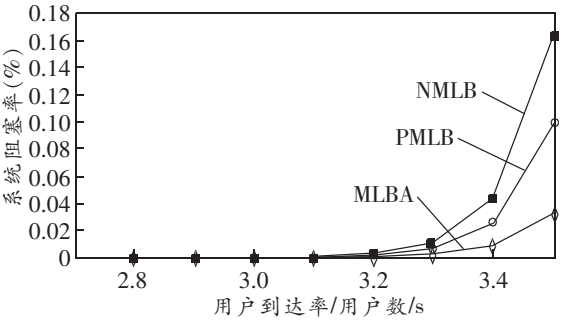


图 7 系统阻塞率随用户到达率变化的曲线

5 结束语

本文所提算法在选择目标小区时利用 AHP 综合考虑了多个因素,使选择的目标小区更加合理;以可变步长调整参数 CIO,使系统切换次数减少;转移用户前根据目标小区接收负载的能力预分配过载小区负载量,更有利于提升系统均衡度。仿真结果表明,本文提出的 MLBA 能有效提升系统均衡度,减少切换次数,降低阻塞率。

参考文献:

[1] Hu Honglin, Zhang Jian, Zheng Xiaoying, et al. Self-configuration and Self-optimization for LTE Networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2010, 48 (2): 94-100.

[2] Lobinger A, Stefanski S, Jansen T, et al. Load Balancing in Downlink LTE Self-optimizing Networks [C]//Vehicular Technology Conference. Taipei: IEEE Press, 2010: 1-5.

[3] Ying Yang, Li Pengfei, Wang Weidong. Algorithm About Mobility Load Balance Considering System Overhead On LTE System [C]//Wireless and Optical Communication Conference. Chongqing: IEEE Press, 2013: 231-235.

[4] Yang Chungang. Concurrent Mobility Load Balancing in LTE Self-Organized Networks [C]//ICT 2014. Lisbon, Portugal: IEEE Press, 2014: 288-292.

[5] Chiu D, Jain R. Analysis of The Increase and Decrease Algorithms for Congestion Avoidance in Computer-Networks [J]. Computer Networks and ISDN Systems, 1989, 32(17): 1-14.