

一种基于模糊控制的负载均衡决策机制^①

杜红艳^②* * * * * 周一青 * * * 田霖 * * *

(* 移动计算与新型终端北京市重点实验室 北京 100080)

(** 中国科学院计算技术研究所 北京 100190)

(*** 中国科学院研究生院 北京 100049)

摘要 考虑到宏小区和低功率小区重叠覆盖的异构网络中各小区负载往往呈现出失衡状态,需要调整相关参数进行负载均衡以优化系统性能,而在实际系统负载动态变化的情况下,频繁的负载优化将导致频繁的用户切换,降低用户体验和增大网络管理开销,面向未来集中式基站架构,提出了一种基于模糊控制理论的负载均衡决策机制,以避免这种频繁的负载优化。由于在区域负载水平较高以及区域内基站间负载差异较大的情况下才有必要进行区域负载均衡,该机制将区域负载和负载差异作为模糊控制器的输入,大大减少了负载均衡次数,从而减少了用户切换及网络管理开销。仿真结果表明,在动态负载下,基于模糊控制的负载均衡决策机制相比有用户到达或离开即进行负载均衡的机制在一天内总负载均衡的次数减少了 49%,而用户中断概率仅增加了 1%。

关键词 异构网络, 负载均衡, 模糊控制, 集中式基站

0 引言

随着智能终端和移动互联网的迅猛发展,移动数据流量呈指数级数增长^[1]。研究表明,移动通信中 80% 的流量产生于 20% 的室内或热点区域。宏基站(macro base station)和低功率小基站(low power base station)重叠覆盖的异构网络被认为是保证室内和热点覆盖的有效办法^[2,3]。在这种重叠覆盖的异构网络中,由于宏基站和低功率小基站发送功率的巨大差异,按照传统的用户小区选择机制,即选择参考信号接收功率最大的小区接入,会有大量用户接入宏基站,导致宏基站过载而低功率基站无法有效卸载热点区域流量,从而产生宏基站和低功率基站之间的负载不均衡^[4]。因此,针对异构网络,需要制定能够有效实现小区之间负载均衡的机制。本

文对这个问题进行了研究,提出了一种基于模糊控制的负载均衡决策机制。

1 相关工作

在异构网络中,以最大网络总吞吐量为目标的最优化用户接入小区的问题已证明是 NP 难的整数规划问题^[5]。文献[6]提出了基于贪心思想的迭代算法,以最大化用户接入的边际效用,即以用户新到达或切换到小区的吞吐量增量为目标,通过多次迭代求解优化用户的接入小区。文献[7]提出了基于演化博弈游戏理论的用户小区选择算法,旨在使小区中用户平均回报与小区接入用户数成正比,低回报小区的用户随机选择接入高回报的小区,直到达到稳定均衡状态。此外,小区范围扩张(range expansion, RE)也是一种有效的负载均衡机制,即对

① 863 计划(2014AA01A705)和国家自然科学基金(61431001)资助项目。

② 女,1985 年生,博士生;研究方向:无线资源管理,异构网络;联系人,E-mail: duhongyan@ict.ac.cn
(收稿日期:2015-04-22)

低功率基站的参考信号接收功率 (reference signal received power, RSRP) 增加固定的偏移值,让用户选择接入 RSRP 与偏移值之和最大的基站^[2]。文献[8]通过仿真分析表明,要达到最优的系统吞吐量性能,不同负载情况下需要设置不同的小区偏移值。例如,当低功率基站已有较高的用户接入数时,只需设置较小的低功率基站偏移值;相反,如果低功率基站仅接入较少的用户,则可以设置大的偏移值以卸载周围小区的流量。文献[9]通过两步分解法优化小区偏移。首先,通过分布式迭代的拉格朗日松弛法求解优化的用户接入小区,再通过试探调整偏移量,选择使小区接入用户数与理想接入用户数之差最小的偏移值。可以看出,由于传统无线网络架构中缺乏控制中心,以上利用用户小区选择实现负载均衡的研究均为分布式算法,需要经过多次迭代,信令载荷较高。

近年来集中式基站架构成为研究的热点^[10]。该架构主要包含远程射频单元 (remote radio units, RRUs) 和集中式基站处理实体。其中 RRUs 仅包含射频发射天线部分,基带处理以及其余处理均集中到集中式基站处理实体中。集中式基站架构可以减少基站能耗以及降低基站建设与维护成本,被认为是未来移动通信系统的核心技术之一。这种集中式移动通信系统在集中式基站处理实体中包含控制中心处理模块,能够完成资源的集中管理优化。在集中式基站控制中心,以最大网络总吞吐量为目标求解优化的用户接入小区的问题,可以采用经典的集中式求解算法——序列固定 (sequential fixing, SF) 法^[11],然而其时间复杂度为 $O(n^{4.5}L)$,其中 n 为用户数与基站数的乘积, L 表示问题的输入长度,代表问题的规模大小。可以看出这种算法在大规模集中式异构网络中时间复杂度较高。

值得注意的是,以上研究均未考虑到,一旦负载改变,就需要再次执行所提出的负载优化算法,可能造成频繁的用户切换,降低用户体验。对此,面向集中式基站,文献[12]提出了负载公平性感知的负载均衡算法。首先,基于演化博弈理论,提出了具有线性时间复杂度、低信令载荷的负载均衡算法。其次,考虑到只有基站间负载差异较大时才有必要进行负

载均衡,通过定义负载公平性指数反映基站间负载差异,提出仅在基站间负载公平性指数低于门限时才进行基站间负载均衡。然而,该机制并未考虑到在异构网络区域整体负载较低,完全能够保证用户吞吐量需求的情况下,即使基站间的负载有一定的差异,负载均衡也是不必要的。

因此本文考虑了不同区域整体负载和基站间负载差异下负载均衡产生性能增益的不同,针对区域负载及负载差异高低的模糊性,提出了面向集中式基站的基于模糊控制理论的负载均衡决策机制,通过决策负载均衡进行的时机,确定合理的负载均衡时机,减少负载均衡的次数,从而减少负载均衡造成的用户切换及相应的网络管理控制开销。以下对所提出的基于模糊控制理论的负载均衡决策机制进行介绍。

2 基于模糊控制理论的负载均衡决策机制

模糊控制理论提供了由专业知识构造语言信息并转化为控制策略的一种体系方法,它是处理复杂、无法精确建模问题的有效工具。典型的模糊控制系统结构包含模糊化、模糊推理和解模糊化三个主要部分,如图 1^[13] 所示。通常模糊控制器的输入和输出都是精确的数值,因此需要定义相应于输入输出变量的语言变量及其定性值,实现输入数据的模糊化以及模糊推理结果的反模糊化。(解) 模糊化的关键在于设计语言变量的隶属度函数。模糊规则定义和体现了与领域问题有关的专家经验或知识。在模糊控制系统中,系统的动态性表现为由语言规则表示的判决策略:IF(前提条件), THEN(推断的结论)。基于模糊控制系统的决策可以根据多种决策因素以及相应专业知识进行综合判决,广泛应用于通信领域的路由、安全、切换等多目标决策问题^[13,14]。

考虑到不同区域负载和基站间负载差异下负载均衡产生性能增益的不同以及区域负载及负载差异高低的模糊性,本文面向集中式基站架构提出了基于模糊控制理论的负载均衡决策机制。

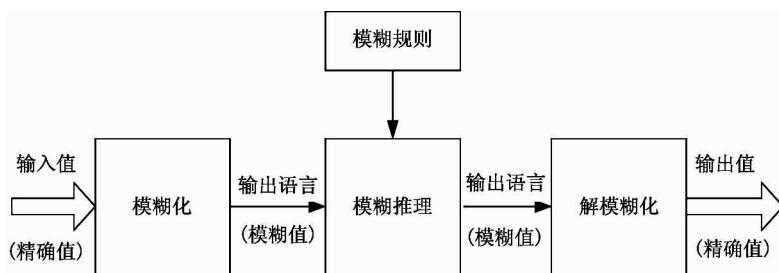


图 1 模糊控制系统结构图

设有一个由宏基站和低功率小基站重叠覆盖的异构网络区域,如图 2 所示^[12],其中包含一个宏小区和多个开放式接入的低功率小区,这些小区均通过高速光纤连接到一个集中式基站进行统一控制。宏小区用 m_1 表示,低功率小区集合为 C_s , $C_s = \{s_1, \dots, s_N\}$ 。所有服务小区集设为 S , $S = \{m_1, s_1, \dots, s_N\}$ 。区域小区总数为 $N + 1$,假定宏小区和低功率小区采用正交的频谱资源避免宏基站和低功率基站间的干扰。整个异构网络区域包含 K 个用户,用户集为 K , $K = \{1, 2, \dots, K\}$ 。

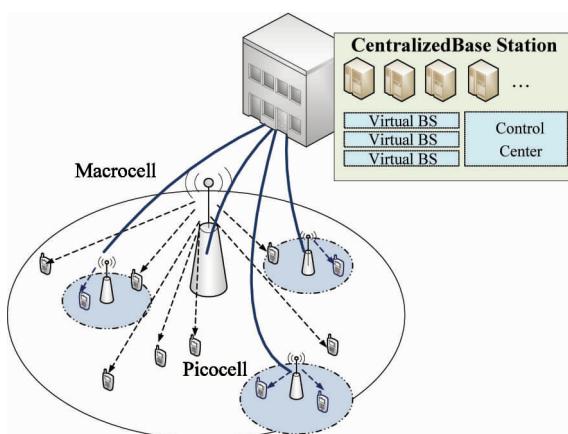


图 2 集中式异构网络示意图

在无线网络中接入用户随机动态变化,频繁的小区间负载优化会带来频繁的系统参数优化,造成频繁的用户切换,降低用户体验。为了降低负载均衡机制对负载变化的敏感性,提出了基于模糊控制理论的负载均衡决策机制。考虑到区域整体负载水平低或基站间负载差异较小时负载均衡性能增益并不大^[12],因此当负载水平较高,并且区域基站间负载差异较大的情况下才有必要进行区域负载均衡。而区域水平负载高低以及区域内基站间负载差异的

高低是一种模糊的概念,所以引入模糊控制理论进行基站间负载均衡决策。

采用异构网络区域内基站中接入终端用户的业务量总数反映了异构网络区域负载^[15]。设每个用户只接入一种业务请求,将异构网络区域的负载表示为区域内小区接入用户数与区域内所有小区最大允许接入用户数的比值,即

$$LD = \frac{\min(a, A)}{A} \quad (1)$$

其中 a 表示区域已接入用户数, A 表示区域最大允许接入用户数。设已知用户的最小吞吐量需要,可以根据区域内的小区长期平均吞吐量^[16]估计区域最大允许接入用户数。

另一方面,本文基于 Jain's 公平性指数^[17]定义异构网络区域小区间的负载公平性指数 LFI (load fairness index, LFI),用来反映区域内基站间的负载差异。设小区 i 的用户平均效用 \prod_i 反映了小区负载的高低,则异构网络区域 LFI 表示为

$$LFI = (\sum_{i \in S} \prod_i)^2 / ((N + 1) \sum_{i \in S} \prod_i^2) \quad (2)$$

其中接入小区 i 的用户平均效用 \prod_i 是用户接入小区 i 的吞吐量回报与接入该小区成本的差值^[7]。 \prod_i 反映了小区 i 的负载水平,小区 i 的用户平均效用值越大,小区负载越低。 \prod_i 采用下式表示:

$$\prod_i = \frac{B_i v_i}{Kx_i} - p_i Kx_i \quad (3)$$

其中 B_i 为小区 i 的带宽, v_i 表示小区 i 单位带宽的长期平均吞吐量^[16]。考虑到用户的移动性和资源的正比公平分配,将小区长期吞吐量平均分配给小区中所有接入用户。设小区 i 的用户数为 n_i , 用户接

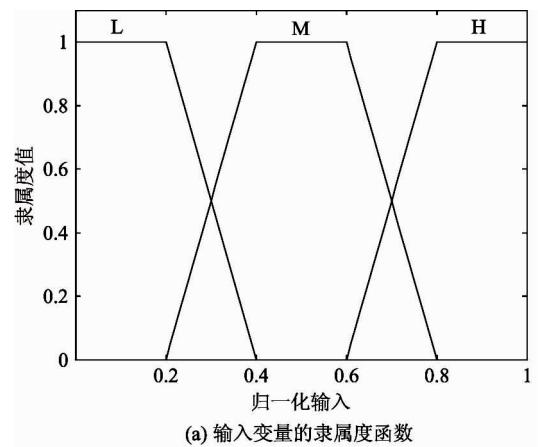
入比例为 x_i , 则接入小区 i 的用户数 n_i 可表示为 Kx_i , 用户平均吞吐量表示为 $B_i v_i / Kx_i$ 。假设用户接入小区的成本与小区中已接入用户数成正比^[7], p_i 表示小区 i 的价格因子, 则 $p_i Kx_i$ 表示用户接入小区 i 的成本。

定义区域负载均衡需求指数 (load balance requirement index, LBRI) 为进行区域负载均衡的必要程度。LBRI 越高表示越有必要进行负载均衡。将区域整体负载水平、基站间负载公平性指数作为模糊控制系统的输入, 决定输出值负载均衡需求指数 LBRI。区域整体负载越高, 区域内局部拥塞频谱短缺的概率越大, 越有必要进行基站间负载均衡^[18], 负载均衡需求指数越高。此外, 基站间负载公平性指数越低, 负载差异越大越有必要进行区域内基站间负载均衡^[12], 相应的负载均衡需求指数也会升高。基于上述分析, 制定模糊控制规则如下: 在区域负载较低的情况下, 区域内负载均衡需求指数应为偏低的值; 而区域负载较高的情况下, 根据区域内负载公平性指数确定区域负载均衡需求指数。

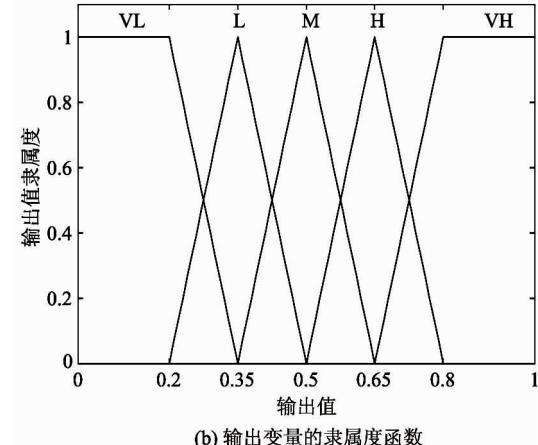
模糊控制系统输入负载 LD、负载公平性指数 LFI 和输出负载均衡需求指数 LBRI 的模糊语言集分别表示为: $T(LD) = \{L(\text{Low}), M(\text{Middle}), H(\text{High})\}$, $T(LFI) = \{L(\text{Low}), M(\text{Middle}), H(\text{High})\}$, $T(LBRI) = \{VL(\text{Very Low}), L(\text{Low}), M(\text{Middle}), H(\text{High}), VH(\text{Very High})\}$ 。本文采用三角函数和梯形函数结合形式的隶属度函数^[13], 对输入范围为 0~1 的两个输入值 LD 和 LFI 采用相同的隶属度函数。图 3 给出了模糊系统输入变量 LD、LFI 和输出变量 LBRI 的隶属度函数。每个模糊语言值 t_i 都对应一个隶属度函数 μ_{t_i} , 每个输入值对应一个或多个模糊语言输入值。如, 输入变量值为 0.75 对应模糊输入语言 M 和 H。

在输入变量模糊化后进行基于模糊规则的模糊推理。表 1 给出了负载均衡判决模糊控制器的模糊控制规则。根据前面的分析, 在区域负载为低的情况下, 区域负载均衡的必要性较小, LBRI 偏低, 可以采用规则 1~3 表示。当区域负载为高时, 在基站间负载差异较大的情况下, LBRI 偏高可以采用规则 7, 8 表示。相反, 区域负载公平性指数为高, 在基站

间负载差异小的情况下, LBRI 为低采用规则 9 表示。当区域负载为中时, 根据基站间负载差异决定负载均衡的必要性, 采用规则 4~6 表示。



(a) 输入变量的隶属度函数



(b) 输出变量的隶属度函数

图 3 模糊输入/输出变量的隶属度函数图

表 1 负载均衡判定的模糊控制规则

规则	IF		THEN
	LD	LFI	LBRI
1	L	L	L
2	L	M	L
3	L	H	VL
4	M	L	M
5	M	M	M
6	M	H	L
7	H	L	VH
8	H	M	H
9	H	H	L

这里采用经典的 Mamdani 直接推理法得到模糊输出变量的推理值^[13]。首先,根据已知条件求出输入值对应规则 k 前提的强度 w_k , 设已知输入 $LD = a$ 和 $LFI = b$, 则输入值对前提部件的强度为 $w_k = \mu_{LD(k)}(a) \wedge \mu_{LFI(k)}(b)$, 再将前提的强度与输出语言隶属度函数进行 \wedge 运算得到输出语言的模糊集合, \wedge 表示取小运算。若已知输入对应多条模糊控制规则, 则对多条模糊规则输出的模糊集合进行合并得到输出量的模糊集合。最后, 采用中心平均法进行解模糊化^[13]得到精确的 $LBRI$ 输出值。设模糊推理结果由 P 个模糊集合构成, y_i^* 为第 i 个模糊集合输出变量的中心, μ_{\max}^i 为该模糊集合输出变量对应的最大隶属度值, 则中心平均法解模糊化方法得到的清晰值为 $y^* = \sum_{i=1}^P (y_i^* \mu_{\max}^i) / \sum_{i=1}^P \mu_{\max}^i$ 。

图 4 给出了提出的负载均衡决策算法流程。

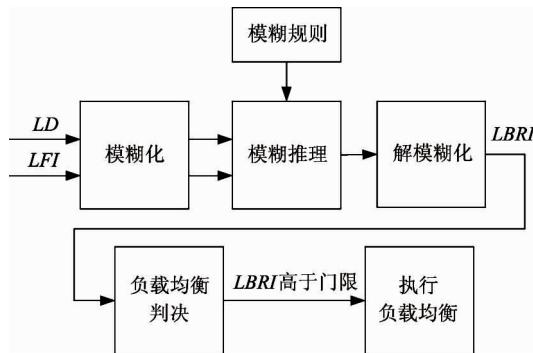


图 4 基于模糊控制的负载均衡决策算法流程图

所提出负载均衡算法将在集中式基站中执行, 具体解释如下:

- (1) 根据区域负载信息计算区域负载、负载公平性指数。
- (2) 基于本文设计的负载均衡决策模糊控制系统得到负载均衡需求指数。
- (3) 如果负载均衡需求指数高于设定的负载均衡需求指数门限则进行负载均衡, 否则不进行负载均衡。
- (4) 若进行负载均衡, 则采用一定的负载均衡算法, 如基于演化博弈的负载均衡算法^[12], 进行基站间负载均衡。

3 仿真试验

下面通过仿真验证动态负载下提出的基于模糊控制理论的负载均衡机制对负载敏感性的降低以及不同负载下的系统性能。

仿真考虑的集中式异构网络区域包含一个宏小区和一个开放式接入的低功率小区。定义低功率基站 35m 内的范围为热点区域。主要的系统仿真参数见表 2^[19]。

表 2 仿真参数

参数	值
每个小区可用带宽	10 MHz
宏小区半径	289m
基站发送功率	宏小区: 46dBm 低功率小区: 30dBm
天线增益	宏小区: 14dBi; 低功率小区: 5dBi
噪声功率谱密度	-174dBm/Hz
宏基站到用户路损	$128.1 + 37.6 \times \log_{10}(R)$
低功率基站到用户路损	$140.7 + 36.7 \times \log_{10}(R)$ (R : 用户到基站的距离, 单位 km)
阴影衰落参数	Log Normal with 8dB Std. Dev.
调度算法	Proportional Fair (PF)

假设区域内的用户到达服从参数为 λ 的泊松分布, 平均最大用户到达率为每小时 1500, 每个用户仅有一个业务请求, 业务持续时间服从均值为 $1/20$ 小时的指数分布^[15]。热点区域用户到达率为宏小区区域的 2 倍。假设用户需求的最小速率为 500kbps。根据图 5 典型商务区一天 24 小时的流量负载量设定每小时的用户平均到达率。各时段区域平均用户到达率和最大用户到达率与所处时段的流量负载成正比。此外, 根据宏和低功率小区区域负载的关系即可得到宏和低功率小区的平均用户到达率。图 6 给出了一天内宏小区和低功率小区区域平均每分钟的用户到达数。

以下对四种不同的用户接入和负载均衡机制进行仿真验证:(1) 用户选择接入最大参考信号接收功率的基站, 不进行负载均衡 (MSP 机制); (2) 有用户到达或离开即进行负载均衡 (BLUNC 机制);

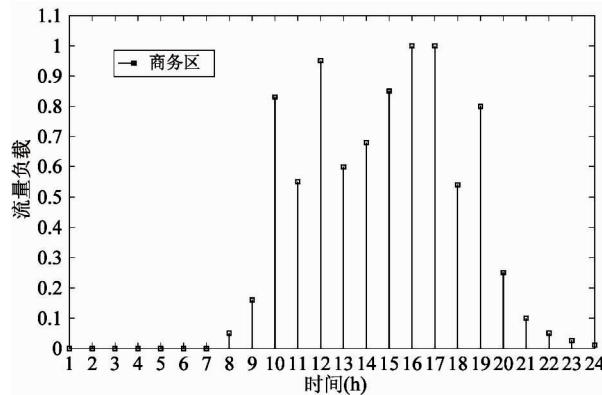
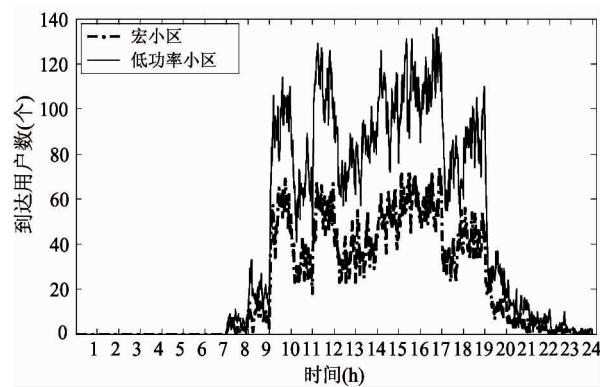
图 5 典型商务区一天内业务负载量示意图^[20]

图 6 一天内宏小区和低功率小区用户到达数

(3) 文献[12]提出的基站间负载公平性指数低于门限时进行基站间负载均衡的机制(FALB 机制, 其中负载公平性指数设为 0.7 进行负载均衡次数和系统性能的折中^[11]); (4) 本文提出的基于模糊控制理论的负载均衡决策机制(本文机制)。(2)、(3)、(4)三种机制均采用文献[12]提出的负载均衡算法进行区域负载均衡, 其主要思想是: 用户选择参考信号接收功率加小区偏移值最大的小区接入, 基于演化博弈理论控制中心得到理想负载均衡状态下各小区的用户接入数, 再基于小区用户接入数得到不同小区的小区偏移值。算法主要步骤如下:

(1) 每个小区计算用户接入效用值, 即式(3), 并且发送到集中基站控制中心。

(2) 集中式基站控制中心根据演化博弈中模仿者动态理论^[12], 得到每个小区中达到理想负载均衡状态的用户数 n_i^e 。

(3) 集中式基站控制中心将每个小区的 n_i^e 传回相应的小区。接入用户数低于 n_i^e 的小区调节其

小区偏移值以使其接入用户数达到 n_i^e 。这可以通过求解小区偏移使其设置偏移后接入用户数与理想接入用户数之差最小来实现。

图 7 给出了本文提出的负载均衡决策机制在设置不同的 LBRI 门限下一天内的负载均衡次数和用户中断概率。

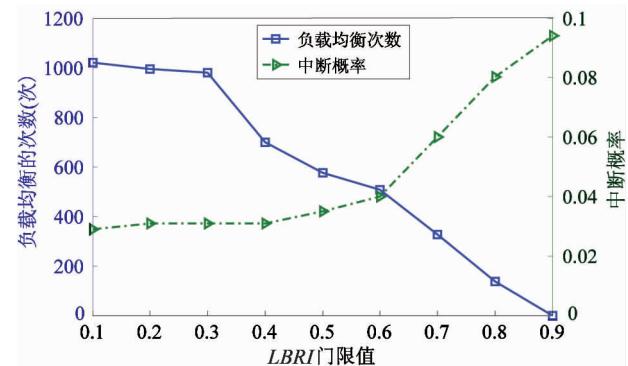


图 7 不同 LBRI 门限下的负载均衡次数和用户中断概率

由图 7 可见随着 LBRI 门限的增大, 一天内总的负载均衡次数逐渐减少, 平均中断概率逐渐上升。因此, 为了进行负载均衡次数和中断概率的折中, 需要选择恰当的 LBRI 门限, 根据图 7 当 LBRI 接近 0.6 时达到负载均衡次数和中断概率较好的折中。因此采用 LBRI 为 0.6 进行系统性能验证。

图 8 描述了图 6 所示负载下 BLUNC、FALB 以及本文机制三种负载均衡机制在不同时段需要的负载均衡次数。

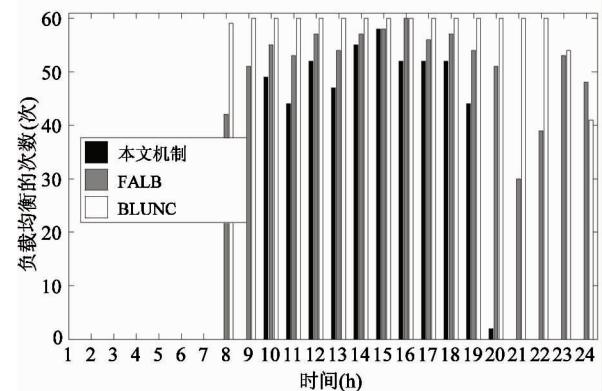


图 8 不同时段负载均衡次数

表 3 给出了采用三种负载均衡机制一天内需要的总负载均衡次数。

表 3 一天内总负载均衡次数

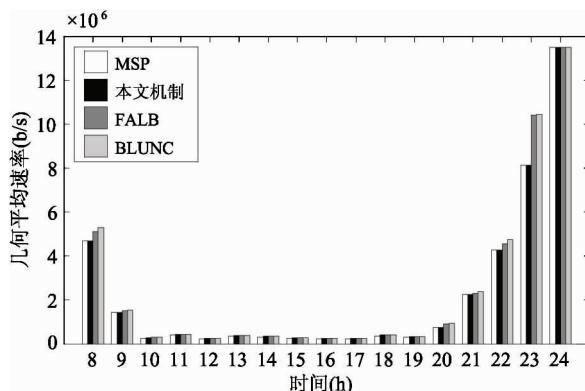
算法	一天内总负载 均衡次数	相比 BLUNC 减少的百分比
BLUNC	994	(-)
FALB	875	14%
本文机制	507	49%

从图 8 可以看出,在有用户到达的时段,采用本文提出的基于模糊控制理论的负载均衡决策机制与 BLUNC 和 FALB 机制相比,在各时段均减少了负载均衡的次数,特别是在系统负载较轻的 8、9 点以及 20~24 点时段,采用 BLUNC 和 FALB 都需要数十次的均衡,采用本文提出的机制,均衡次数接近零。从表 3 的数据可以看出,相比传统的 BLUNC 机制,FALB 机制一天内总负载均衡次数仅减少了 14%,而本文提出的负载均衡决策机制一天内总负载均衡次数减少 49%。

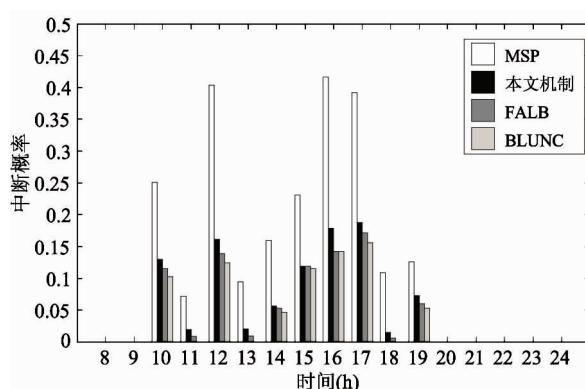
图 9(a)和图 9(b)分别描述了四种机制下各时段的用户几何平均速率和中断概率。几何平均速率表示为 $\sqrt[k]{\prod_{k \in K} r_k}$, 其中 r_k 表示用户 k 的平均速率。中断概率为平均速率低于最小速率需求的用户占的比例。表 4 给出了采用四种机制一天内平均用户中断概率。结合图 9(a)和图 6 可以看出,区域整体负载量越大用户几何平均速率越低,因此用户的中断概率也越高。从图 9(b)可以看出,在不同时段内本文提出的机制相比传统的最大信噪比接入机制极大地降低了用户中断概率,而相比 BLUNC 和 FALB 机制用户中断概率有所增加。从表 4 可以看出采用本文提出的机制相比 MSP 机制平均用户中断概率降低了 57.4%,而相比 BLUNC 和 FALB 机制用户中断概率的增加不到 0.01。

表 4 采用不同算法一天内平均中断概率

算法	平均中断概率	相比 MSP 降低 的比例
MSP	0.094	(-)
本文机制	0.04	57.4%
FALB	0.034	63.8%
BLUNC	0.03	68%



(a) 不同时段的几何平均速率



(b) 不同时段的中断概率

图 9 采用不同机制各时段的系统性能

从以上试验结果可以看出,本文提出的机制以牺牲一定的系统性能增益为代价,极大减少了负载均衡的次数,从而降低负载均衡带来的切换等系统开销。

4 结 论

本文研究了异构网络中的负载均衡问题,为了避免动态负载下频繁的负载优化,考虑到不同区域负载和基站间负载差异下负载均衡产生性能增益的不同,面向集中式基站提出了基于模糊控制理论的负载均衡决策机制。提出的负载均衡决策机制对负载均衡的次数和负载均衡的性能进行折中。仿真表明,本文提出的基于模糊控制理论的负载均衡机制以牺牲较小的负载均衡性能增益为代价,极大减少了负载均衡的次数,从而减少了频繁的负载均衡造成的用户切换及相关的网络管理控制开销。采用本

文提出的负载均衡决策机制,相比有用户到达或离开即进行负载均衡的机制,一天内总负载均衡的次数减少达到49%,而用户中断概率仅增加1%。

下一步的研究目标是提出保证用户服务质量的负载均衡方法,综合网络侧和用户侧两方面的情况,如网络负载、用户移动速度、业务时延要求、用户终端类型等多方面因素,优化异构网络负载,提高用户满意度。

参考文献

- [1] Zhou Y, Liu H, Pan Z, et al. Spectral and energy efficient two-stage cooperative multicast for LTE-A and beyond. *IEEE Wireless Magazine*, 2014, 4(4) : 34-41
- [2] Damnjanovic A, Montojo J, Wei Y, et al. A survey on 3GPP heterogeneous networks. *IEEE Wirel Commun*, 2011, 18(3) : 10-21
- [3] Zhou Y, Liu L, Du H, et al. An overview on intercell interference management in mobile cellular networks: from 2G to 5G. In: Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Communication System, Macau, China, 2014. 217-221
- [4] Du H, Tian L, Liu L, et al. An interference-aware resource allocation scheme for self-organizing heterogeneous networks. In: Proceedings of the 2015 IEEE WCNC Workshops, New Orleans, USA, 2015. 265-270
- [5] Ye Q, Rong B, Chen Y, et al. User association for load balancing in heterogeneous cellular networks. *IEEE Trans Wire Commun*, 2013, 12(6) : 2706-2716
- [6] Jin Y, Qiu L. Joint user association and interference coordination in heterogeneous cellular networks. *IEEE Commun Lett*, 2013, 17(12) : 2296-2299
- [7] Feng Z, Song L, Han Z, et al. Cell selection in two-tier Femtocell networks with open/closed access using evolutionary game. In: Proceedings of the 2013 IEEE WCNC, Shanghai, China, 2013. 860-865
- [8] Okino K, Nakayama T, Yamazaki C, et al. Pico cell range expansion with interference mitigation toward LTE-advanced heterogeneous networks. In: Proceedings of the 2011 IEEE ICC, Kyoto, Japan, 2011. 5-9
- [9] Deb S, Monogioudis P, Miernik J, et al. Algorithms for enhanced inter-cell interference coordination (eICIC) in LTE hetNets. *IEEE/ACM Trans Networking*, 2014, 22(1) : 137-150
- [10] Checko A, Christiansen H L, Yan Y, et al. Cloud RAN for mobile networks: A technology overview. *IEEE Commun Surveys & Tutorials*, 2014, 17(1) : 405-426
- [11] Hou Y, Shi Y, Sherrell H. Spectrum sharing for multi-hop networking with cognitive radios. *IEEE J Sel Areas Commun*, 2008, 26(1) : 146-155
- [12] Du H, Zhou Y, Tian L, et al. A load fairness aware cell association for centralized heterogeneous networks. In: Proceedings of the 2015 IEEE ICC, London, UK, 2015. 3768-3773
- [13] Lin C T, George Lee C S. Neural Fuzzy Systems. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996
- [14] Mi Z, Bao M, Zhou J. Multi-object optimization routing algorithm based on fuzzy decision making for wireless sensor networks. *Journal of Xidian University*, 2008, 35(4) : 721-725
- [15] Peng J, Hong P, Xue K. Performance analysis of switching strategy in LTE-A heterogeneous networks. *Journal of Commun Networks*, 2013, 15(3) : 292-300
- [16] Chandrasekhar V, Andrews J. Spectrum allocation in tiered cellular networks. *IEEE Trans Commun*, 2009, 57(10) : 3059-3068
- [17] Jain R, Chiu D, Hawe W. A quantitative measure of fairness and discrimination for resource allocation in shared systems, DEC Research Report TR-301. Digital Equipment Corp, 1984
- [18] Andrews J, Singh S, Ye Q, et al. An overview of load balancing in HETNETS: old myths and open problems. *IEEE Wireless Commun*, 2014, 21(2) : 18-25
- [19] 3GPP TR 36.814 V2.0.0 (Release 10), Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects, March 2010
- [20] Zhai G, Tian L, Zhou Y, et al. Load diversity based optimal processing resource allocation for super base stations in centralized radio access networks. *Science China Information Sciences*, 2014, 57(4) : 1-12

A fuzzy controller based load balance decision scheme for heterogeneous wireless networks

Du Hongyan * ** *** , Zhou Yiqing * ** , Tian Lin * **

(* Beijing key laboratory of Mobile Computing and Pervasive Device, Beijing 100080)

(** Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

(*** University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract

Considering that a two-tier heterogeneous wireless networks (HetNets) system with different macrocells and picocells needs to achieve load balance between the above-named cells dynamically to optimize the system performance by dynamic adjustment of the parameters about the system load, which may lead to frequent user handover and extra network management cost, the paper proposes a scheme about how to decide the occasions to balance load in HetNets based on fuzzy control for the centralized base station in Centralized Radio Access Networks. The scheme considers that it is necessary to balance loads only for HetNets areas with high load level and large load discrepancy, so in the proposed fuzzy controller, the load level and the load difference of HetNets areas act as the input, and a load balance requirement index (LBRI) is defined as the output. Thus the balancing is executed only when the LBRI is greater than the defined threshold for the proposed scheme. The simulation results show the effectiveness of the proposed scheme.

Key words: heterogeneous networks, load balance, fuzzy control, centralized base station