

# 异构无线网络中基于业务转移和接入控制的混合负载均衡

盛 洁<sup>1</sup>, 唐良瑞<sup>1</sup>, 郝建红<sup>2</sup>

(1. 新能源电力系统国家重点实验室(华北电力大学), 北京 102206; 2. 华北电力大学电气与电子工程学院, 北京 102206)

**摘 要:** 针对现有异构无线网络负载均衡方法未能综合考虑重载网络业务转移和新业务接入控制的问题, 提出了一种混合负载均衡算法. 该算法首先根据各小区负载水平和终端移动性, 将重载小区的适量业务向重叠覆盖的轻载小区转移; 其次通过资源预留和强占优先的接入控制策略, 为不同优先级的新到业务提供有差别的服务. 仿真结果表明, 本文算法在保证系统资源利用率的同时, 保障了实时与非实时业务的 QoS, 并相对于参考算法有效降低了系统阻塞率和业务切换概率.

**关键词:** 异构无线网络; 无线资源管理; 负载均衡; 接入控制

**中图分类号:** TN929.5      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112 (2013) 02-0321-08

**电子学报 URL:** <http://www.ejournal.org.cn>

**DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2013.02.018

## Hybrid Load Balancing Algorithm Based on Service Transformation and Admission Control in Heterogeneous Wireless Networks

SHENG Jie<sup>1</sup>, TANG Liang-rui<sup>1</sup>, Hao Jian-hong<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Alternate Electrical Power System with Renewable Energy Sources (North China Electric Power University), Beijing 102206, China;

2. School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

**Abstract:** Aiming at working out the problem of existing load balancing algorithms that failed to consider the combination of load transfer scheme and call admission control scheme in heterogeneous wireless networks, a hybrid load balancing algorithm is proposed. Firstly, an adequate number of ongoing calls can be transferred from overload cells into the overlapping ones with light workload according to the load rate of each cell and terminal mobility. Then, new calls with different priorities are differential served by means of resource reservation and preemptive priority based call admission control strategy. Simulation results show that the algorithm can guarantee the system resource utilization and the QoS of real time and non-real time services, as well as decrease the system call blocking probability and handover rate effectively compared to the reference algorithms.

**Key words:** heterogeneous wireless networks; radio resources management; load balancing; admission control

### 1 引言

异构无线网络的互联互通是目前业界关注的焦点, 目的在于充分利用目前存在的各种无线网络, 在只使用一种模式终端的前提下就能够接入各种异构无线接入网络, 开拓性地对不同网络进行优势互补, 实现便捷通信, 获得好的服务质量<sup>[1,2]</sup>. 面向第四代异构无线网络的无线资源管理作为一项重要的开放性问题, 获得了较为广泛的研究<sup>[3]</sup>. 负载均衡是改善网络运行质量的有效途径, 可用于缓解或解决异构网络中资源分布不均的问

题, 从而提升系统的容量和服务质量, 提高日益紧张的无线资源利用率, 已成为热点研究问题<sup>[4]</sup>.

目前, 关于异构无线网络中负载均衡的研究有很多, 基本上包括两个方面的研究, 一方面是根据网络当前的负载情况, 通过业务转移和切换的方法来调节轻载与重载网络之间的负载差异, 以实现不同网络之间业务量的均衡. 例如, 文献[5]提出的基于逗留时间的均衡算法, 根据重载网络中移动终端的逗留时间来选择流量转移的业务, 在一定程度上降低了异构系统的阻塞率, 提高了资源利用率, 但同时也增加了切换的速率. 文献[6]

在文献[5]的基础上对热点小区优先向同构的小区借用空闲信道,若仍未达到负载均衡再继续向重叠覆盖的异构小区转移部分负载,算法相对文献[5]进一步提高了资源利用率.文献[7]提出一种自适应负载均衡切换策略,其根据小区的负载状态,终端移动速度和切换业务类型自适应地计算切换的初始化时间,有效控制了重载网络的负载水平.文献[8]提出动态门限联合负载控制机制,利用层次分析法解决切换中的终端选择问题,较好地控制了系统的阻塞率和累积切换次数.该类算法虽然在仿真时考虑了切换业务的掉线率和新呼业务的阻塞率,却没有进一步给出新业务到达的接入控制策略,一旦异构系统中大部分小区处于重载状态,这类算法的作用就不大.

另一方面是依据一定的接入控制策略选择最合适的网络为新业务服务,避免由于业务到达不均衡而带来的负载差异.例如,文献[9]通过综合评判每一个接入网的信号质量、剩余带宽和用户喜好选择最优的网络接入,以调整各个网络间的负载均衡度.文献[10]提出一种基于径向基函数模糊神经网络的接入选择方法,以接入网的业务阻塞率相等为强化学习的目标,达到动态调整网络负载程度的目的.但由于异构网络所提供的资源总量相差迥异,仅凭阻塞率的相等难以全面反映网络负载程度,且神经网络各个参数值的训练速度慢,接入判决时还需要对候选网络进行两两比较,算法复杂度较高.文献[11]将所有业务分为两类应用,并鼓励流媒体应用和需求较小的弹性应用分别接入 WiMax 和 WLAN 网络,使系统达到较高的负载均衡水平,但如何区分弹性应用的大小难以把握,且将某类业务指定接入特定网络不利于资源的有效利用.文献[12]提出了软负载均衡的概念,并研究了特定网络拓扑情况下的最佳负载分流比率,不具有普遍性.文献[13]中所提 MLB 算法考虑了不同业务的 QoS 需求和链路层重传机制,根据业务平均消耗的网络资源,选择其与网络可用资源比值最小的网络进行接入.文献[14]结合了文献[12]中软负载的思想和文献[13]的资源分配模型提出基于 IP 分流的软负载均衡算法,该算法考虑了多径及路径损耗的影响,通过数值分析得到负载的最佳分流比率,使业务阻塞率和网络负载均衡度等性能有一定提高.该类算法在新业务到达时进行接入控制使业务在各网络之间均衡分配,但未考虑部分接入网络处于重载时系统的负载均衡过程.

通过以上分析,若将重载小区的业务转移与新业务的接入控制结合起来,根据网络的实时负载动态调节业务的分布有助于达到更优的网络性能,提高系统的可靠性.因此,本文针对不同类型业务的优先级和各网络的实时负载水平,综合考虑业务转移和接入控制

策略提出了一种混合的异构无线网络负载均衡算法 (Hybrid Load Balancing Algorithm, HLB),旨在网络负载实时变化的情况下提高各业务 QoS 和系统的资源利用率,在降低各类业务阻塞率的同时,均衡异构网络间的负载水平,降低该过程中的切换概率.仿真结果显示,该算法能显著改善系统各方面的性能.

## 2 混合负载均衡算法

由于异构无线系统的业务持续时间和到达强度是动态变化的,因此系统中各个网络的负载程度也随之动态变化,出于这样的考虑本文将利用三角模融合算子来进行网络实时负载水平的衡量,对于重载的网络通过业务转移将适量的业务切换至轻载网络进行服务;并通过基于资源预留和强占优先的接入控制策略对不同类型的新业务按照业务优先级进行服务.该方法在网络忙闲时均能使网络间的负载趋于均衡,在保证高优先级的业务得到可靠、高效服务的同时也适当降低了低优先级业务的阻塞率.因此,该方法对网络负载程度的实时变化具有很好的动态适应性.

为使提出的算法更具普遍性,本文将采用基于正交频分多路复用 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 技术的异构无线网络作为研究对象,以一个子时隙和一个子信道构成的二维资源单元 (Two-dimensional Resource Unit, TRU) 作为基本的资源分配单元<sup>[13]</sup>.

### 2.1 负载水平衡量

本文采用 WiMax 和 TD-LTE 两种系统重叠覆盖的异构无线网络模型,两系统分别由  $K$  个和  $L$  个小区构成.将业务类型分为切换实时 (Real Time, RT) 业务、新呼实时 (RT) 业务和非实时 (Non-Real Time, NRT) 业务三类,其服务优先级按顺序依次下降.

以每个小区已占用的 TRU 数作为物理负载的衡量标准.根据文献[13]的 TRU 模型,可以计算出系统  $m$  ( $m \in \{1, 2\}$ , 此处 1 表示 WiMax 系统, 2 表示 TD-LTE 系统) 中每个小区能够提供的 TRU 总数  $T_m$  为:

$$T_m = \frac{N_m}{F_m} * \frac{TS_m}{SP_m * S_m} \quad (1)$$

其中,  $N_m$  为系统  $m$  的子载波总数,  $F_m$  为每个子信道包含子载波个数,  $TS_m$  为每帧的帧长,  $S_m$  为每个时隙包含 OFDM 符号个数,  $SP_m$  为 OFDM 的符号周期.

设 RT 业务  $i$  和 NRT 业务  $j$  接入系统  $m$  的小区  $k$  后,每帧所需的 TRU 数分别为  $N_{RT,m,k,i}$  和  $N_{NRT,m,k,j}$ .假设小区  $k$  当前正在服务的 RT 业务数为  $a$ , NRT 业务数为  $b$ ,则该小区的资源负载因子为:

$$\eta_{1m,k} = \left( \sum_{i=1}^a N_{RT,m,k,i} + \sum_{j=1}^b N_{NRT,m,k,j} \right) / T_m \quad (2)$$

本文采用的基于资源预留和强占优先的接入控制

策略为每一个小区设计了一个大小为  $Q$  的 NRT 业务排队队列,用于缓冲 NRT 业务的等待时间.假设系统  $m$  中小区  $k$  的排队队列中当前正在排队等待的 NRT 业务数为  $c$ ,则该小区的队列负载因子为:

$$\eta_{2m,k} = \sum_{j=1}^c N_{-NRT_{m,k,j}} / Q \quad (3)$$

容易理解,  $\eta_{1m,k}$  和  $\eta_{2m,k}$  均为 0-1 之间的数.

利用三角模融合算子<sup>[15]</sup>对资源负载因子  $\eta_{1m,k}$  和队列负载因子  $\eta_{2m,k}$  进行融合,得到系统  $m$  中小区  $k$  的综合负载水平  $\eta_{m,k}$ .

$$\eta_{m,k} = \frac{\eta_{1m,k}\eta_{2m,k}}{1 - \eta_{1m,k} - \eta_{2m,k} + 2\eta_{1m,k}\eta_{2m,k}} \quad (4)$$

其中,  $\eta_{1m,k}$  和  $\eta_{2m,k}$  为参与融合的两个参数,且有  $\eta_{m,k} \in [0,1]$ .三角模融合算子是将单源决策映射到另一空间进行比较来完成融合判决的方法,可解决单一特征无法衡量决策合理性的问题.其设计简单、复杂度低、实时性强、效费比高,并具有同类信息的加强性和矛盾信息的调和性,对参与融合的参数给出合理的融合结果,可以较好地满足本文对各个小区的负载水平所要进行的模糊融合衡量的要求.

本文参考文献[6]对各小区负载程度的划分方法,设置表征各小区综合负载水平的高低两个门限,分别为 TH 和 TL,且  $TH > TL$ .比较  $\eta_{m,k}$  和 TH、TL 将小区分为三类,分别是重载小区、均衡小区和轻载小区,分类方法如下:(1)若  $\eta_{m,k} \leq TL$ ,则为轻载小区;(2)若  $TL < \eta_{m,k} < TH$ ,则为均衡小区;(3)若  $\eta_{m,k} \geq TH$ ,则为重载小区.

在三类小区中,为了防止业务转移时出现转移回路,本文算法规定重载小区只能向轻载小区转出业务,不能接入任何类型的业务;均衡小区不需要向其他小区转出业务,其新到业务(包括切换业务和新呼业务)按接入控制策略判决接收;轻载小区对重载小区转入的业务应全部接收,此外对于新到业务按接入控制策略进行判决接收.

## 2.2 业务转移策略

业务转移主要是将重载小区的部分业务转移到其他异构轻载小区中去,从而改善系统性能.为了避免负载转移过程中被切换的业务量由于不能被目标网络承载而导致掉话,需要依据不同小区对负载的接收能力来确定合理的待切换业务量.

设系统  $m$  中小区  $k$  和系统  $n$  中小区  $l$  的综合负载水平分别为  $\eta_{m,k}$  和  $\eta_{n,l}$ ,且满足:  $\eta_{m,k} \geq TH$ ,  $\eta_{n,l} \leq TL$ .则从小区  $k$  切换转移到小区  $l$  中的负载业务量为:

$$w_{k,l} = \min(\lceil (\eta_{m,k} - TH) * T_m \rceil, \lfloor (TH - \eta_{n,l}) * T_n \rfloor) \quad (5)$$

其中,  $\lceil \cdot \rceil$  表示向上取整,  $\lfloor \cdot \rfloor$  表示向下取整.按照式

(5)所确定的转移业务量  $w_{k,l}$  为重载网络需要转移出去的业务量和轻载网络能够接受的业务量两者中的较小者.因此,  $w_{k,l}$  既能保证转移的业务被目标轻载网络全部接纳,也能保证原轻载网络不会由于接收了转移的业务而陷入重载.

确定了需要转移的业务量后,就要选择合适的业务承载终端(Service-loading Terminal, ST)来实施转移.为了尽可能的减少由负载转移引起的切换次数,本文根据 ST 的移动性通过构造模糊逻辑系统(Fuzzy Logic System, FLS)进行选择判决.假设小区  $k$  的半径为  $r$ ,  $d$  表示 ST 与 BS 或 AP 的距离 ( $0 < d < r$ ),  $\beta$  表示  $d$  与  $r$  的比值 ( $\beta \in [0,1]$ ),  $v$  表示 ST 的速度大小,  $\alpha$  表示 ST 的速度方向与 BS 或 AP 的夹角 ( $\alpha \in [0,\pi]$ ),模型中假设 ST 的移动速度和方向在负载均衡周期内不会改变.模糊逻辑系统的输入为  $\beta$ ,  $v$  和  $\alpha$ . 输出为  $\theta$  ( $\theta \in [0,1]$ ),表示 ST 移动性的强弱.

模糊逻辑系统的实现分为模糊化、模糊推理和去模糊三个阶段.

(1)模糊化:FLS 对输入信号  $\beta$ ,  $v$  和  $\alpha$  进行模糊处理,得到各输入值的隶属度.  $\beta$  的模糊集为 {Near(近)、Medium(中等)、Far(远)}, 隶属度为  $\mu_\beta$  (Near, Medium, Far);  $v$  的模糊集为 {Low(低速)、Medium(中速)、High(高速)}, 隶属度为  $\mu_v$  (Low, Medium, High);  $\alpha$  的模糊集为 {Arrival(靠近)、Leave(远离)}, 隶属度为  $\mu_\alpha$  (Arrival, Leave); 本文的隶属度函数采用高斯型函数.

(2)模糊规则:模糊推理中最重要的过程是建立模糊推理规则库,其中的语言规则是模糊逻辑推理的依据,每条模糊推理规则的结论参数为 ST 的移动性水平,其模糊集为 {L(低), M(中等), H(高)}. 由于 FLS 的输入变量  $\beta$  和  $v$  的模糊集有 3 个模糊标记,变量  $\alpha$  的模糊集有 2 个模糊标记,所以 FLS 共有推理规则为  $3 \times 3 \times 2 = 18$  条,表 1 列出了其中的几条规则.

表 1 模糊推理规则举例

输 入			输 出
$\beta$	$v$	$\alpha$	$\theta$
Far	High	Leave	H
Far	Medium	Arrival	M
Near	Low	Arrival	L

对于任一组输入信号,总可以找到一条与之对应的推理规则.以表 1 中的第 1 行推理规则为例,如果输入  $\beta$  为 Far,  $v$  为 High,  $\alpha$  为 Leave,则输出为 H,其隶属度大小由最小值法可得:

$$\mu_\theta(H) = \min\{\mu_\beta(\text{Far}), \mu_v(\text{High}), \mu_\alpha(\text{Leave})\} \quad (6)$$

如有多条推理规则具有相同输出,那么该输出的隶属度为这些推理规则相应的输出隶属度之和.

(3)去模糊:本文 FLS 采用重心法得到对应的精确

值来表示 ST 的移动性水平。

设  $\theta_{m,k,i}$  表示终端  $i$  在系统  $m$  的小区  $k$  中的移动性水平值, 对该小区中的所有终端对应的  $\theta$  值进行从大到小的排序, 在实施业务转移时优先选择  $\theta$  值最大的业务承载终端. 业务的转移必然会对业务的服务时间和可靠性造成一定的影响, RT 业务在这两方面的要求较高, 而 NRT 业务通常对服务的延迟有一定的容忍性, 因此在本文的业务转移过程中, 优先选择 NRT 业务. 此外, 当一个 ST 不幸地被要求执行多次被动业务转移时, 由于切换的延迟, 其 QoS 会受到严重的影响. 因此, 为了在一定程度上保证转移业务的 QoS, 每个被执行转移的业务将被做一个标记, 在业务转移时优先选择不带标记的业务.

综上, 业务转移时首先根据公式(5)计算出需要转移的业务量, 结合终端移动性排序, 选择移动性较强的前  $n$  个 ( $n$  为满足转移业务量需求的终端数) 业务承载终端; 其次, 判断这些终端承载的业务中是否有已被标记切换过的 RT 业务, 若有则从余下的终端中顺序选择承载 NRT 业务的终端来代替此终端; 如此来最终确定待切换的承载终端.

### 2.3 新业务的接入控制策略

基于资源预留和强占优先的接入控制策略为具有高优先级的业务请求提供了预留资源和强占低优先级业务资源的权力. 在低优先级业务的服务质量受到较小影响的情况下, 为高优先级业务提供了更好的服务质量<sup>[16,17]</sup>. 假设 WiMax 系统和 TD-LTE 系统的每个小区各有一个长度为  $Q$  的 NRT 业务缓冲队列. 新业务接入控制策略模型如图 1 所示.

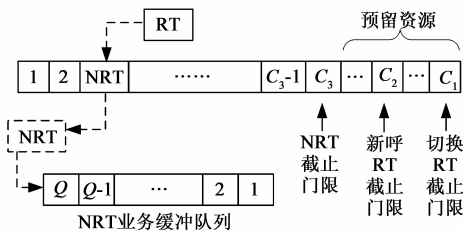


图1 接入控制策略模型

图 1 中  $C_1$ ,  $C_2$  和  $C_3$  分别对应切换 RT, 新呼 RT 和 NRT 三类业务的截止门限, 当新业务到达时, 资源预留和强占优先策略将根据业务类型、当前网络已占用的 TRU 数与该业务对应的截止门限值, 对其做出相应的业务接入控制. 设定切换 RT 业务具有最高优先级, 新呼 RT 业务优先级次之, NRT 业务优先级最低. 假设当前小区已被占用的 TRU 数为  $N\_ocp\_1$ , 在线的 NRT 业务数为  $b$ , 缓冲队列已占用资源为  $N\_ocp\_2$ , 根据新到业务类型, 对接入控制策略描述如下:

(1) 切换 RT 业务. 若  $N\_ocp\_1 < C_1$ , 则直接为该业

务分配服务资源; 若  $N\_ocp\_1 = C_1$ ,  $b \geq 1$  且  $N\_ocp\_2 < Q$ , 则该业务可强占正在为某 NRT 业务服务的资源, 被强占资源的 NRT 业务分配到该小区的排队队列中进行等待, 直到出现新的空余资源; 若  $N\_ocp\_1 = C_1$  且  $N\_ocp\_2 = Q$ , 则该切换 RT 业务被当前小区拒绝.

(2) 新呼 RT 业务. 若  $N\_ocp\_1 < C_2$ , 则直接为该业务分配服务资源; 若  $C_2 \leq N\_ocp\_1 \leq C_1$ ,  $b \geq 1$  且  $N\_ocp\_2 < Q$ , 则该呼叫可强占正在为某 NRT 业务服务的资源, 被强占资源的 NRT 业务分配到该小区的排队队列中进行等待, 直到出现新的空余资源; 若  $N\_ocp\_1 = C_1$  且  $N\_ocp\_2 = Q$ , 该新呼 RT 业务被当前小区拒绝.

(3) NRT 业务. 如果  $N\_ocp\_1 < C_3$ , 则直接为该 NRT 业务分配服务资源; 如果  $C_3 \leq N\_ocp\_1 < C_1$ , 则先为其分配 RT 业务的预留资源, 如有 RT 业务进来, 且缓冲队列未滿, 则该 NRT 业务将被迫离开并被分配至缓冲队列的队尾, 等到出现新的空余资源; 如果  $N\_ocp\_1 = C_1$  且  $N\_ocp\_2 < Q$ , 则该 NRT 业务被分配至缓冲队列的队尾, 等待出现新的空余资源; 若  $N\_ocp\_1 = C_1$  且  $N\_ocp\_2 = Q$ , 则该 NRT 业务被当前小区拒绝.

接入控制过程中, 被 RT 业务强占资源的 NRT 业务, 进入队列的队尾, 按照先进先出的顺序被服务. 被当前小区拒绝的业务选择异构系统中剩余资源最多的小区接入, 若没有满足该业务资源需求的小区, 则该业务被阻塞.

### 3 仿真结果分析

为了验证所提出的混合负载均衡算法的性能, 本文对 HLB 算法与文献[7]的 DT-JOLDC 算法和文献[12]的 LBD 算法的网络性能进行了仿真对比分析. 仿真模型为 WiMax 和 TD-LTE 两种网络重叠覆盖的异构无线网络场景, 拓扑结构如图 2 所示.

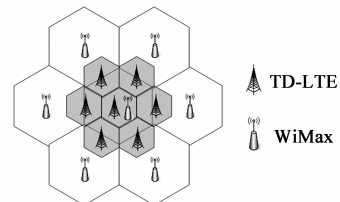


图2 网络拓扑结构图

仿真过程中, WiMax 系统和 TD-LTE 系统初始的业务分布随机生成, 新业务按照泊松分布到达, 并随机分布在重叠覆盖区域内, 每个业务终端的位置、速度和移动方向均随机产生. 各个小区排队队列的初始占用情况也随机生成. 仿真参数设置如表 2 所示.

评价负载均衡算法的主要性能指标是实时和非实时业务阻塞率、系统的资源利用率, 以及由于负载均衡

而带来的业务切换概率.

表 2 仿真参数

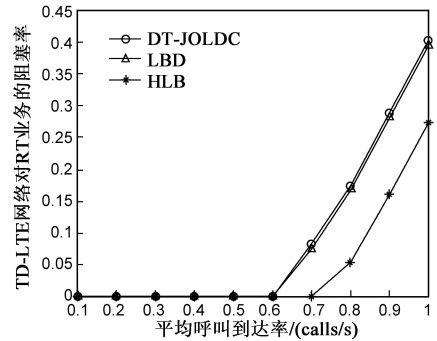
网络名称	WiMax	TD-LTE
频率/带宽	3.5GHz/10MHz	2.0GHz/10MHz
小区半径	3km	1.5km
帧长	10ms	10ms
OFDM 符号周期	0.2ms	0.2ms
子载波数	1024	512
发射功率	46dBm	43dBm
噪声功率	-174dBm/Hz	-170dBm/Hz
分组包长	512	
TRU	由 24 个连续子载波和 10 个符号周期组成	
TH	0.9	
TL	0.7	

### 3.1 阻塞率性能分析

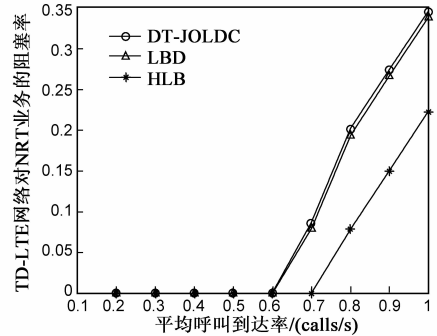
图 3 的 (a) 和 (b) 显示出随着平均呼叫到达率 ( $\lambda$ ) 的增加, TD-LTE 系统对 RT 和 NRT 业务的阻塞率先是维持在接近于零的低值, 随后逐渐增加. 当  $\lambda < 0.6$  时, TD-LTE 系统基本没有小区处于重载状态, 所以对新到的 RT 和 NRT 业务均可以接收, 阻塞率接近于零. 当  $0.6 < \lambda < 0.7$  时, 采用 LBD 和 DT-JOLDC 两种方案的业务阻塞率有所增加, 其中前者的阻塞率比后者略低, 而采用本文算法阻塞率依然保持为零. 这是因为, 随着  $\lambda$  的增加, 部分 TD-LTE 小区处于重载状态, LBD 只考虑了将新到业务采取 IP 分流方法分配至可用资源最多的小区中, DT-JOLDC 只采用流量转移将最重载小区的部分业务转移至最轻载小区中, 并对其他重载小区的新到业务采取直接拒绝的处理方法, 而本文算法首先将重载小区业务进行负载转移, 再通过抢占优先机制控制新到业务的接入, 保证了重载小区业务的平稳下降. 同时标注重载的小区的新到业务直接切换至未标注的小区, 降低了网络由于极度重载而阻塞新业务的概率. 当  $\lambda > 0.7$  时, 三种方案的业务阻塞率均有所增加, 采用 HLB 算法得到的阻塞率最低, 比另两种算法降低了大约 42.8%.

由图 3 的 (c) 和 (d) 可以看出, 采用 DT-JOLDC 算法得到的 WiMax 系统业务阻塞率比 TD-LTE 系统的高, 而采用 LBD 和 HLB 算法得到的两个系统的业务阻塞率基本相同, 其中采用 HLB 算法所获得的阻塞率始终低于其他两种算法. 通过分析随机产生的初始值发现, WiMax 系统各小区的初始负载程度较高, DT-JOLDC 仅依靠业务转移并不能达到平衡各小区负载的目的, 反而会带来多余的切换开销, 并容易产生转移回路, 当  $\lambda > 0.4$  时, 由于部分 WiMax 小区重载而直接阻塞了新进业务. 而 LBD 和 HLB 算法都考虑了新进业务的接入控

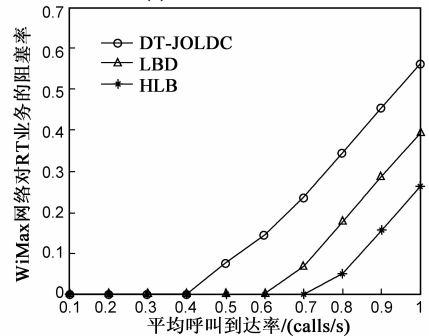
制策略, 在部分小区重载时仍然可以调节新进业务至轻载或均衡小区, 所以分别在  $\lambda > 0.6$  和  $\lambda > 0.7$  时方有业务被阻塞. 由此可知, 仅依靠单一的负载均衡策略不能满足异构无线系统复杂的网络环境和负载情况.



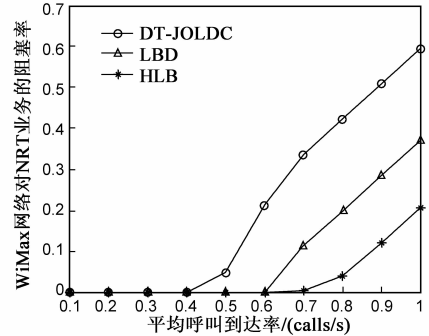
(a) TD-LTE 系统 RT 业务



(b) TD-LTE 系统 NRT 业务



(c) WiMax 系统 RT 业务



(d) WiMax 系统 NRT 业务

图 3 各系统不同类型业务阻塞率

表 3 给出了三种算法在  $\lambda$  取 0.5 ~ 1.0 时 TD-LTE 系统和 WiMax 对两类业务的阻塞率值. 由表 3 可以看出, 所有情况下, HLB 算法所获得的阻塞率均为最低,

优于其他两种算法。

表3 三种算法在 $\lambda$ 取0.5~1.0时异构系统对不同业务的阻塞率

		$\lambda$	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
TD-LTE	RT业务	DT-JOLDC	0	0	0.0819	0.1744	0.2883	0.4021
		LBD	0	0	0.0747	0.1673	0.2811	0.3950
		HLB	0	0	0	0.0534	0.1601	0.2740
	NRT业务	DT-JOLDC	0	0	0.0863	0.2014	0.2734	0.3453
		LBD	0	0	0.0791	0.1942	0.2662	0.3381
		HLB	0	0	0	0.0791	0.1511	0.2230
WiMax	RT业务	DT-JOLDC	0.0755	0.1439	0.2338	0.3417	0.4496	0.1197
		LBD	0	0	0.0683	0.1763	0.2842	0.5576
		HLB	0	0	0	0.0504	0.1547	0.3921
	NRT业务	DT-JOLDC	0.0493	0.2113	0.3310	0.4155	0.2626	0.5845
		LBD	0	0	0.1127	0.1972	0.5000	0.3662
		HLB	0	0	0.0070	0.0423	0.2817	0.2042

图4显示了三种算法下整个异构系统的RT业务和NRT业务阻塞率随 $\lambda$ 增加的变化情况.三种算法阻塞率大于零的临界点分别为 $\lambda = 0.4$ 、 $\lambda = 0.6$ 和 $\lambda = 0.7$ ,其原因可从前面对TD-LTE系统和WiMax系统的RT业务和NRT业务阻塞率的分析得知.

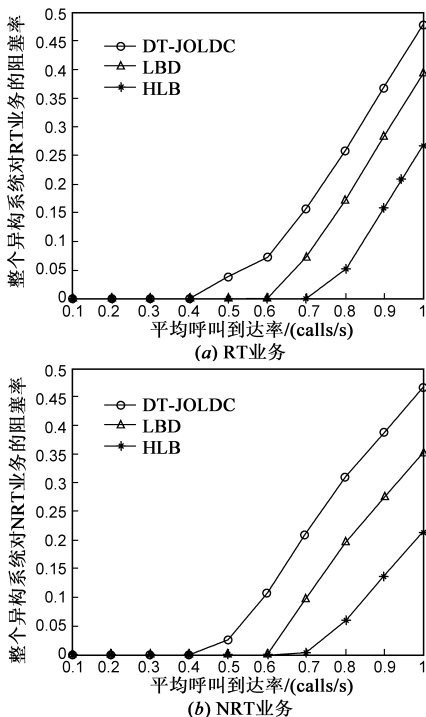


图4 整个异构系统不同类型业务阻塞率

图5示意了在整个异构系统中采用本文算法所得到的不同优先级RT业务阻塞率,可以看出,当 $\lambda > 0.7$ 时,高优先级的切换RT业务阻塞率明显低于低优先级的新呼RT业务阻塞率,即本算法提高了高优先级业务的QoS,达到了根据业务优先级提供有差别的QoS的目的.

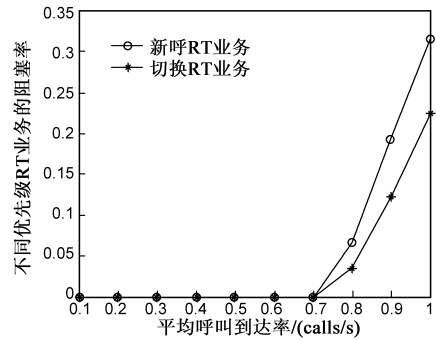


图5 不同优先级RT业务阻塞率

### 3.2 网络资源利用率性能分析

从图6(a)可以看出,采用本文算法获得的TD-LTE系统资源利用率最高,采用DT-JOLDC算法在 $0.1 < \lambda < 0.3$ 时与LBD算法的资源利用基本一致,在 $0.4 < \lambda < 0.5$ 时超过了后者,但在 $\lambda > 0.5$ 之后保持不变并被持续增加的LBD算法系统资源利用率超越.对于DT-JOLDC算法和LBD算法,其业务转移和接入控制过程中均优先选择负载率最小的小区实施转移或接入,DT-JOLDC算法还规定了若新业务使得当前小区负载超过重载门限则被拒绝,因此其资源利用率最终维持在比重载门限略高点,造成了部分资源的浪费.HLB算法的接入控制策略首先在新业务到达的当前小区进行,若当前小区被标记为重载小区该业务才被切换,因此TD-LTE系统的小区虽然不是最轻载的小区,但仍可为

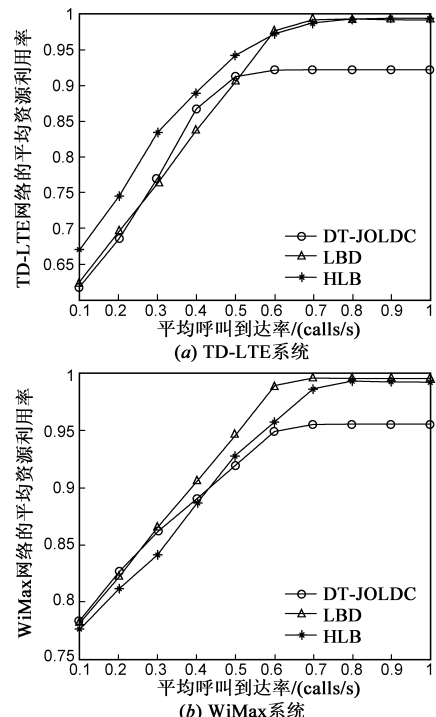


图6 各系统的资源利用率

新到业务提供足够的服务资源,一定程度上提高了 TD-LTE 系统的资源利用率.图 6(b)中 WiMax 系统的资源利用率分布再一次验证了之前的分析,因为最轻载的小区刚好分布在 WiMax 系统中,部分 TD-LTE 小区的业务被转移或接入于此,因此 DT-JOLDC 算法和 LBD 算法的资源利用率在  $\lambda < 0.4$  时均比本文算法高.当  $\lambda > 0.4$  时,DT-JOLDC 算法由于其局限性增长缓慢,资源利用率低于 HLB 算法.当  $\lambda > 0.8$  时,所有小区均陷入重载只有接入控制策略起主要作用,此时 HLB 算法的资源利用率略低于 LBD 算法.从图 7 来看,LBD 算法和 HLB 算法所获得的整个异构系统的资源利用率基本一致,DT-JOLDC 算法较低.

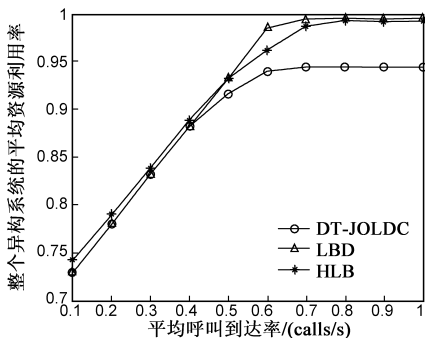


图7 整个异构系统的资源利用率

### 3.3 切换概率

图 8 为三种算法下整个异构系统的切换概率,DT-JOLDC 算法最高,LBD 算法与 HLB 算法在  $\lambda < 0.4$  时基本吻合,之后前者增幅较后者要大,在  $\lambda \geq 0.7$  之后三者保持相同的速率增加.可以发现,采用 HLB 算法在  $\lambda \geq 0.7$  时,切换概率比 DT-JOLDC 算法减少了大约 81.8%,比 LBD 算法减少了大约 61.5%.这是因为,DT-JOLDC 算法的实质是负载转移,虽然可通过设置预设的负载容差比例来控制负载均衡的触发以减少不必要的负载调控开销,但如果系统初始状态就存在多个重载的小区,则负载均衡条件很容易达到,将导致过多的负载转移,其中不乏转移回路.LBD 算法在分流时选择可用资源最多的网络接入,引起了一定的切换概率.HLB

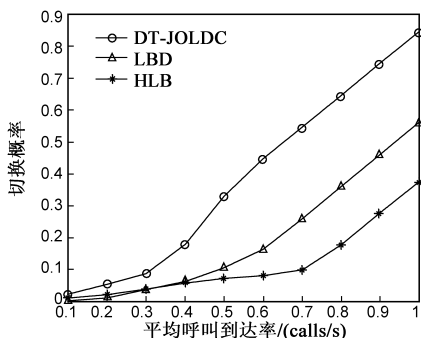


图8 整个异构系统的切换概率

算法首先在选择重载转移的 ST 时考虑了系统所有 ST 的移动性,优先选择即将离开当前小区的 ST 实施切换;其次,当小区陷于重载时将被标记,新到业务将直接切换到其他小区;第三,强占优先的接入控制策略对新到业务优先在当前小区进行接入判决,如本小区确实没有足够资源方才切换出去.如此,在一定程度上降低了不必要的反复切换,保证了各类业务的 QoS.

## 4 结束语

本文提出了一种将重载小区的业务转移策略和新到业务的接入控制策略相结合的异构无线网络负载均衡算法来合理地调节和控制异构系统中各小区之间的负载水平.利用该算法,重载小区可以向轻载小区转移适量业务,从而降低重载小区的阻塞率;算法还通过基于资源预留和强占优先的接入控制策略,为不同优先级的业务提供有差别的 QoS,并尽可能地降低切换概率.仿真结果表明,本文算法在保证系统资源利用率的前提下大幅降低了各类业务的阻塞率和切换概率,实现了异构网络各小区之间的负载均衡,为异构系统中各类业务提供了更可靠的服务.

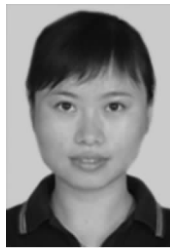
另外,对各类业务的截止门限值采用优化控制理论进行寻优,并对低优先级 NRT 业务的传输时延设置最低要求,将使算法更加完善,并保证 NRT 用户的业务体验,对实际应用有很大意义.由于本文篇幅有限,将在以后的工作中做进一步的研究.

## 参考文献

- [1] Damnjanovic A, Montojo J, Yongbin Wei, et al. A survey on 3GPP heterogeneous networks [J]. IEEE Wireless Communications, 2011, 18(3): 10 - 21.
- [2] 彭木根, 王文博, 张倩倩, 等. 异构无线通信系统的协同分集性能研究 [J]. 电子学报, 2009, 37(1): 21 - 25.  
Peng Mu-gen, Wang Wen-bo, Zhang Qian-qian, et al. Performance investigation of cooperative diversity in heterogeneous wireless communication Systems [J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(1): 21 - 25. (in Chinese)
- [3] Skehill R, Barry M, Kent W, et al. The common RRM approach to admission control for converged heterogeneous wireless networks [J]. IEEE Wireless Communications, 2007, 14(2): 48 - 56.
- [4] Wei Song, Weihua Zhuang, Yu Cheng. Load balancing for cellular/WLAN integrated networks [J]. IEEE Network, 2007, 21(1): 27 - 33.
- [5] 朱光喜, 宁国勤, 王洪亚. 异构分层无线网络中基于逗留时间的动态流量均衡算法研究 [J]. 通信学报, 2006, 27(4): 29 - 36, 41.  
Zhu Guang-xi, Ning Guo-qin, Wang Hong-ya. Research on so-

- journal-time-based dynamic load balancing algorithm in heterogeneous hierarchical wireless networks[J]. Journal on Communications, 2006, 27(4): 29-36, 41. (in Chinese)
- [6] 宁国勤, 朱光喜, 彭烈新, 等. 异构分层无线网络中的混合动态流量均衡算法研究[J]. 通信学报, 2007, 28(1): 75-81, 86.  
Ning Guo-qin, Zhu Guang-xi, Peng Lie-xin, et al. Research on hybrid dynamic load balancing algorithm in heterogeneous hierarchical wireless networks. [J]. Journal on Communications, 2007, 28(1): 75-81, 86. (in Chinese)
- [7] Selvakumar A, Vaidehi V, Palanivelu T G. Adaptive load balancing handoff scheme for heterogeneous wireless network[A]. Proceedings of the Third International Conference on Advanced Computing[C]. India Chennai: IEEE Computer Society, 2011. 327-332.
- [8] 冯志勇, 张平, 张永靖, 等. 可重配置系统中的联合负载控制及其终端选择算法[J]. 电子与信息学报, 2009, 81(4): 893-896.  
Feng Zhi-yong, Zhang Ping, Zhang Yong-jing, et al. A joint load control algorithm with terminal selection for the reconfigurable systems[J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2009, 81(4): 893-896. (in Chinese)
- [9] Jeounglak Ha, JiYeon Kim, Jin-Up Kim, et al. Dynamic load balancing architecture in heterogeneous wireless network environment[A]. Proceedings of the 9th International Symposium on Communications and Information Technology[C]. Korea Icheon: IEEE Computer Society, 2009: 248-253.
- [10] 石文孝, 范绍帅, 王 ■, 等. 基于模糊神经网络的异构无线网络接入选择算法[J]. 通信学报, 2010, 31(9): 151-156.  
Shi Wen-xiao, Fan Shao-shuai, Wang Nan, et al. Fuzzy neural network based access selection algorithm in heterogeneous wireless networks[J]. Journal on Communications, 2010, 31(9): 151-156. (in Chinese)
- [11] Jie Xu, Yuming Jiang, Perikis A. Multi-service load balancing in a heterogeneous network[A]. Proceedings of the Wireless Telecommunications Symposium[C]. America NewYork: IEEE Communication Society, 2011: 1-6.
- [12] Sorr H, Lee S, Kurt S, Shin Y. Soft load balancing over heterogeneous wireless networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008, 57(4): 2632-2638.
- [13] 孙卓, 刘铁军, 张倩倩, 等. 异构无线分组网络中的接入选择机制[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(10): 2762-2769.  
Sun Zhuo, Liu Tie-jun, Zhang Qian-qian, et al. Radio access selection algorithm in heterogeneous wireless packet networks [J]. Journal of System Simulation, 2008, 20(10): 2762-2769. (in Chinese)
- [14] 石文孝, 李斌, 刘妍, 等. IP 流分流的异构无线网络负载均衡[J]. 应用科学学报, 2010, 28(6): 567-572.  
Shi Wen-xiao, Li Bin, Liu Yan, et al. Load balancing by dividing IP flow over heterogeneous wireless networks[J]. Journal of Applied Sciences, 2010, 28(6): 567-572. (in Chinese)
- [15] 徐铤, 王超. 基于模糊数学的数字图像模糊度[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2002, 14(8): 747-749.  
Xu Tan, Wang Chao. Fuzzy degree of image based on fuzzy mathematics[J]. Journal of Computer Aided Design&Computer Graphics, 2002, 14(8): 747-749. (in Chinese)
- [16] 李波, 吴成柯, 李冬. 基于预留信道和强占优先相结合的接入策略[J]. 通信学报, 2000, 21(3): 12-18.  
Li Bo, Wu Cheng-ke, Li Dong. An access strategy with combination of channel reservation and preemptive priority[J]. Journal on Communications, 2000, 21(3): 12-18. (in Chinese)
- [17] 唐良瑞, 杨安坤, 杨雪. 基于信道预留和强占优先的接力切换策略[J]. 电子学报, 2011, 39(6): 1285-1290.  
Tang Liang-rui, Yang An-kun, Yang Xue. A baton handover strategy based on channel reservation and preemptive priority [J]. Acta Electronica Sinica, 2011, 39(6): 1285-1290. (in Chinese)

#### 作者简介



盛洁 女, 1985 年生于江苏省扬州市, 华北电力大学博士研究生在读, 主要从事无线通信及电力系统通信方面的研究.

E-mail: shenglujing@ncepu.edu.cn



唐良瑞 男, 1966 年生于湖南省永州市, 华北电力大学电气与工程学院教授, 博士生导师, 主要从事电力系统通信与信息处理、无线传感器网络与物联网技术等方面的研究.

E-mail: tangliangrui@163.com