

# 异构无线网络业务接入多目标优化控制算法

盛 洁, 马 冬

(苏州大学城市轨道交通学院, 江苏苏州 215021)

**摘 要:** 提出了一种应用于异构无线网络环境的基于多目标优化的业务接入控制算法. 该算法以业务占用总资源最少、业务阻塞率最低和网络间负载最均衡为目标建立了多目标优化控制模型, 采用高斯和戒上型组合隶属函数将多目标问题模糊化, 利用最大化满意度指标法将多目标问题转化为单目标问题, 并通过遗传算法求得最优解. 仿真结果表明, 所提算法能在兼顾各网络资源高效利用的同时, 保证业务接入的可靠性, 并相对于参考算法有效降低了业务阻塞率.

**关键词:** 异构无线网络; 接入控制; 负载均衡; 多目标优化控制

**中图分类号:** TN929.5      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112 (2016)02-0282-07

**电子学报 URL:** <http://www.ejournal.org.cn>      **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2016.02006

## Multi-objective Optimal Based Service Access Control Algorithm for Heterogeneous Wireless Networks

SHENG Jie, MA Dong

(School of Urban Railway Transportation, Soochow University, Suzhou, Jiangsu 215021, China)

**Abstract:** Based on multi-objective optimization, a service access control algorithm is proposed, which can be applied to the environment of heterogeneous wireless networks. An optimized multi-objective control model adopting improved membership function is designed, in which the minimum total occupied resources of distribution services, the minimum service blocking rate and the maximum network load balancing degree of each candidate network are taken as objective functions. The objective membership function, composed of gaussian and upper limit functions is used to obscure each objective function, then the fuzzy satisfaction maximum-minimum technique is adopted to reformulated this multi-objective optimization problem into a single objective nonlinear programming problem, and the optimal service access strategy is obtained by genetic algorithm. Simulation results show that the algorithm can guarantee the system resource utilization and the service access reliability, as well as decrease the system call blocking probability compared to the reference algorithms.

**Key words:** heterogeneous wireless networks; access control; load balancing; multi-objective optimal 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, 目的在于充分利用已存在的各种无线网络, 在只使用一种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>[1-3]</sup>. 业务接入控制是针对异构无线通信系统的一种宏观资源管理, 其目的是为了使用户业务在各个无线接入网络中达到合理分布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>.

关于异构网络业务接入控制的研究工作, 目前已有一定的成果. 文献[5]提出了一种基于高带宽优先选择的接入控制算法, 其鼓励多模终端接入分配较高业务带宽的网络, 但没有考虑终端接收的信号强度, 难以保证业务连接的可靠性. 文献[6]通过构建非合作博弈论模型对每个无线接入网络分配在不同服务区域内的带宽和呼叫连接数目进行调整, 以确保阻塞率在一定的范围内, 但非合作无线资源分配博弈中的纳什均衡点的存在性和唯一性难以确定, 进而较难获得最优的

收稿日期: 2014-06-24; 修回日期: 2014-10-01; 责任编辑: 梅志强

基金项目: 江苏省自然科学基金(No. BK20140359); 江苏省高校自然科学研究面上项目(No. 15KJB510027); 苏州大学青年教师自然科学基金(No. SDY2014A09)

接入控制性能. 文献[7]利用免疫多目标优化算法对业务接入进行优化,对业务阻塞率和占用资源有一定的控制,但不利于网络间负载的均衡分布,对异构系统的总体性能有一定影响. 文献[8]将网络接入选择转换为多属性优化问题,利用混沌遗传算法实现全局寻优,有效降低网络阻塞率并减小各候选网络阻塞率差距,但未考虑网络资源的利用率. 文献[9]利用模糊逻辑系统得到候选网络的客观性能评价,利用 AHP 和 GRA 算法得到网络主观性能评价,并综合两个评价选出最优网络接入. 算法在网络性能参数方面考虑抖动、延迟、业务阻塞率及网络成本,难以保证候选网络间的负载均衡. 文献[10]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. 上述接入控制算法各有优劣,但未综合考虑网络之间的负载均衡、资源的有效分配与业务接入的可靠性保证等问题.

根据以上分析,本文提出了一种基于多目标优化的业务接入控制 (Multi-objective Optimal Control, MOC) 算法. 该算法综合考虑了业务占用资源量、业务阻塞率和网络负载均衡程度,构建了多目标优化控制模型. 并采用组合隶属度函数和遗传算法求得最优解,即业务接入的最合理分布. 仿真结果显示,该算法能显著改善系统各方面的性能.

## 2 业务接入多目标优化控制模型

### 2.1 问题建模

在一个异构网络覆盖的范围内存在着多样化的无线接入网络 (Radio Access Network, RAN), 网络控制模块允许或拒绝业务呼叫接入某个 RAN 中以达到资源优化配置的过程,被称为联合呼叫接入控制 (Joint Call Admission Control, JCAC)<sup>[11]</sup>. 接入控制算法集中管理各 RAN 的状态、业务承载终端 (Service-loading Terminal, ST) 状态、业务需求以及用户的需求等信息,通过计算业务需求信息和异构网络系统状态信息之间的最佳匹配,完成业务的接入控制过程,并给出业务接入的方案<sup>[7]</sup>. 本文所提 MOC 算法前提条件是 ST 对于各候选网络的信号强度均达到需求的门限值,应在“尽力而为”地为所有新业务服务的同时,合理分配这些新业务至候选的接入网络,以达到异构网络间的负载无差别化.

为使提出的算法更具普遍性,本文将采用基于 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. 假设在异构系统中共有  $m$  个重叠覆盖的候选接入网络,且当前共有  $n$  个业务等待服务,根据文献[10]的 TRU 模型,可以

计算出网络  $j$  ( $1 \leq j \leq m$ ) 能够提供的 TRU 总数  $T_j$  为:

$$T_j = \frac{N_j}{F_j} * \frac{TS_j}{SP_j * S_j} \quad (1)$$

其中,  $N_j$  为网络  $j$  的子载波总数,  $F_j$  为每个子信道包含子载波个数,  $TS_j$  为每帧的帧长,  $S_j$  为每个时隙包含 OFDM 符号个数,  $SP_j$  为 OFDM 的符号周期.

设  $x_{ij}$  表示业务  $i$  ( $1 \leq i \leq n$ ) 与接入网  $j$  的连接情况,当业务  $i$  接入网络  $j$  时,  $x_{ij}$  为 1, 否则为 0. 则本文算法所求模型的解  $X$  为一个  $n * m$  的 0/1 矩阵. 设业务  $i$  接入网络  $j$  后,需要网络提供的 TRU 资源数为  $t_{ij}$ . 由于同一个业务的承载终端和不同接入网络基站的距离是不同的,且候选接入网络的信道增益和基站发射功率各异,所以同一通信业务在不同接入网络中的 TRU 需求也是不同的. 本文算法考虑在各接入网络总资源的约束条件下,尽可能地把各个业务分配到占用 TRU 数较小的网络中,从而减小各接入网络的负载率,并充分利用异构系统的有限资源. 目标函数表达为:

$$\min h(X) = \sum_{j=1}^m \left( \sum_{i=1}^n x_{ij} * t_{ij} \right) \quad (2)$$

MOC 算法的另一目标是各异构网络之间的负载达到均衡状态,即以负载率的方差最小为第二个优化目标,其目标函数表达为:

$$\min f(X) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left( \eta(j) - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \eta(j) \right)^2 \quad (3)$$

式中,  $\eta(j) = \frac{1}{T_j} (B_j + \sum_{i=1}^n x_{ij} t_{ij})$  表示每个候选网络的负载率;  $B_j$  表示网络  $j$  当前已占用的二维资源单元.

此外,从业务的可靠性角度出发,以业务接入的阻塞率最低作为本文算法的第三个优化目标,其目标函数表达为:

$$\min g(X) = 1 - \left( \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} \right) / n \quad (4)$$

将上述三个目标综合考虑构成本文的业务接入多目标优化控制模型,其约束条件为:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq 1; i = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} t_{ij} \leq T_j; j = 1, \dots, m \quad (6)$$

其中,式(5)表示每个业务只能同时被一个候选网络服务,式(6)表示每个候选网络承载的业务所需资源的总量不能超过网络自身所能提供的总有效资源.

由式(2)~式(6)共同构成了本文业务接入的多目标优化控制模型,该模型一方面从异构无线系统的层面,以占用系统资源最小和网络间的负载均衡为目标,保证系统的资源利用率,提高系统的容量;另一方面,业务的接入阻塞率越低,则业务的可靠性和用户的体验度越好. 通过对比分析式(2)和式(4)可知,以业务占用

系统资源最小为目标,其达到的效果是异构系统的剩余可用资源最大,则可接入和服务的业务数相应增加,从而降低了业务的接入阻塞率,即通过式(2)和式(4)的单目标函数优化具有相同的出发点和业务分配结果.因此,将上述优化模型进行简化,得到 MOC 算法的最终模型如式(7)所示.

$$\begin{aligned} \min f(X) &= \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (\eta(j) - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \eta(j))^2 \\ \min h(X) &= \sum_{j=1}^m (\sum_{i=1}^n x_{ij} * t_{ij}) \\ \text{s. t. } &\begin{cases} \sum_{j=1}^m x_{ij} \leq 1; i = 1, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} t_{ij} \leq T_j; j = 1, \dots, m \end{cases} \end{aligned} \quad (7)$$

2.2 目标函数的模糊化

对于多目标接入控制问题,可通过建立目标函数的隶属度函数来进行模糊化处理.隶属度函数的确定至关重要,期望在满足所有约束条件下,尽可能降低各网络之间负载率的均方误差,并降低业务所占系统总资源.网络间负载率均方误差越小且各业务所占总 TRU 数越少,相应的隶属度越大,表明决策者对结果越满意.本文选用高斯函数和戒上型函数的组合函数作为各目标的隶属度函数,负载均衡目标函数对应的隶属度函数由式(8)所示的数学计算式表示,相应的图形如图 1 所示.式中,  $f_1$  为以网络负载均衡的为单一目标求得的负载率均方误差理想值,  $f_3$  为以占用资源总数最低为目标求得的负载率均方误差值.定义  $f_1$  对应的隶属度函数值为 1,  $f_3$  对应的隶属度函数值为 0.05. 则参数  $\sigma_1$  的值由式(9)可得,参数  $a_1$  的值由式(10)可得,由于戒上型函数要求  $a_1 > 0$  且  $b_1 > 0$ ,由前文分析可知  $0 \leq f_3 - f_1 \leq 1$ ,因此,只有当  $b_1 > 19$  时,才能满足  $a_1 > 0$  的条件,本文算法中取  $b_1 = 20$ .

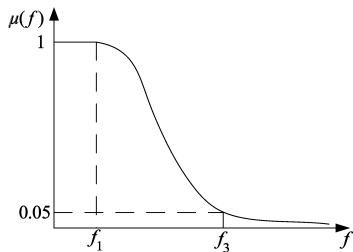


图1 负载均衡目标函数隶属度函数曲线

$$\mu(f) = \begin{cases} 1, & f < f_1 \\ \exp(-\frac{(f-f_1)^2}{2\sigma_1^2}), & f_1 \leq f \leq f_3 \\ \frac{1}{1+b_1(f-f_1)^{a_1}}, & f > f_3 \end{cases} \quad (8)$$

$$\sigma_1 = (\frac{-(f_3 - f_1)^2}{2 \ln \mu(f_3)})^{1/2} \quad (9)$$

$$a_1 = \frac{\log(19/b_1)}{\log(f_3 - f_1)} \quad (10)$$

以业务占用网络总资源最小为目标函数对应的隶属度函数由式(11)所示的计算式表示,相应的图形如图 2 所示.

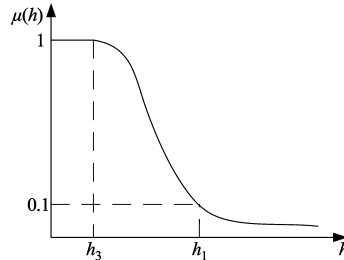


图2 占用资源最小目标函数隶属度函数曲线

同理,  $h_3$  为以占用资源总数为单一目标求得的占用资源总数理想值,  $h_1$  为以网络负载均衡的为单一目标求得的占用资源总数值.定义  $h_3$  对应的隶属度函数值为 1,  $h_1$  对应的隶属度函数值为 0.1. 则参数  $\sigma_2$  的值由式(12)可得,参数  $a_2$  的值由式(13)可得,其中  $b_2 = 10$ .

$$\mu(h) = \begin{cases} 1, & h < h_3 \\ \exp(-\frac{(h-h_3)^2}{2\sigma_2^2}), & h_3 \leq h \leq h_1 \\ \frac{1}{1+b_2(h-h_3)^{a_2}}, & h > h_1 \end{cases} \quad (11)$$

$$\sigma_2 = (\frac{-(h_1 - h_3)^2}{2 \ln \mu(h_1)})^{1/2} \quad (12)$$

$$a_2 = \frac{\log(9/b_2)}{\log(h_1 - h_3)} \quad (13)$$

2.3 多目标模糊优化接入控制模型

目标函数和约束条件均有模糊性或二者之一具有模糊性的优化问题称为模糊优化问题,当目标不止一个时为多目标模糊优化<sup>[12]</sup>.对于上述问题的每个目标函数的隶属度函数  $\mu(f)$  和  $\mu(h)$ ,定义  $\mu$  为所有隶属度函数中的最小值,它可用来表示决策者的满意程度,其满意度指标为:

$$\mu = \min \{ \mu(f), \mu(h) \} \quad (14)$$

依据模糊集理论的最大最小法则<sup>[13]</sup>,可将原问题转化为求解满足所有约束条件的满意度指标  $\mu$  最大化的单目标非线性优化问题,也就是  $\max \mu$  问题,其数学描述如下:

$$\begin{aligned} &\max \mu, \\ \text{s. t. } &\begin{cases} \mu(f) \geq \mu \\ \mu(h) \geq \mu \\ 0 \leq \mu \leq 1 \\ \text{式(5) ~ 式(6)} \end{cases} \end{aligned} \quad (15)$$

### 3 多目标模糊优化接入控制模型的求解

#### 3.1 模型求解方法

本文采用遗传算法来求解式(15)的非线性优化问题. 遗传算法是一类借鉴生物界自然选择和遗传机制的随机搜索算法,其搜索不依赖于梯度信息,适用于求解传统方法难以解决的非线性问题,并具有较好的鲁棒性<sup>[14,15]</sup>. 本文采用常用的二进制编码,由于解空间  $\mathbf{X}$  为一个  $n \times m$  的 0/1 矩阵,对其做如式(16)所示的变换所得向量  $\mathbf{X}'$  为长度等于  $mn$  的二进制符号串,符合二进制编码的要求. 因此,可直接将上述规划问题的解空间映射成基因位空间,即本模型的遗传编码可直接用矩阵  $\mathbf{X}$  来表示.

$$\mathbf{X}' = (x_{11}, \dots, x_{n1}, x_{12}, \dots, x_{n2}, x_{1m}, \dots, x_{nm}) \quad (16)$$

适应度函数是评价遗传算法所得解优劣的标准. 假设对于候选个体  $X_k$ , 其适应度函数可表示为:

$$\mu_k = \min \{ \mu(f_k), \mu(h_k) \} \quad (17)$$

式中  $\mu_k$  为  $X_k$  的适应度. 对于所有个体  $X_k (k=1, 2, \dots, P)$  ( $P$  为种群规模), 适应度  $\mu_k$  越高, 个体  $X_k$  所对应解的质量越高.

$$\mu^* = \max \{ \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_P \} \quad (18)$$

式中  $\mu^*$  为最大化满意度时的值.

具有高适应度的个体有较高的概率进入下一代. 基本遗传算法由选择、交叉和变异三个算子构成. 选择操作是建立在群体中个体的适应度值的评估的基础上的, MOC 算法采用按正比于适应度值的轮盘赌方式进行随机选择, 在选择轮盘的时候, 用折半搜索的方法有效地减少比较次数, 确保对应的轮盘在  $\log_2 P$  内找到; 并采用一致交叉的算子, 通过设定屏蔽字来决定整个个体的基因继承两个父代个体中的哪个个体的对应基因, 其中屏蔽字是随机产生的与个体编码结构一致的 0/1 序列. 变异算子采用位点变异, 即先从群体的个体编码串中随机挑选一个或多个基因座, 再以变异概率  $p_m$  进行变异.

#### 3.2 模型求解步骤

**步骤 1** 求解以负载均衡为单一目标的接入控制问题, 得到负载率均方误差  $f_1$  和所有业务占用的总 TRU 数  $h_1$ .

**步骤 2** 以所有业务占用的总资源数最低为单一目标, 得到总占用 TRU 数  $h_3$  和负载率均方误差  $f_3$ .

**步骤 3** 由  $f_1$  和  $f_3$  确定以负载率均方误差最小为目标的隶属度函数, 由  $h_1$  和  $h_3$  确定以占用的总资源数最小为目标的隶属度函数.

**步骤 4** 将多目标优化转换为单目标优化, 并采用遗传算法求解, 得到最大化满意度时接入控制最优矩阵.

通过以上步骤得到最优矩阵即为对应接入控制优化模型的解  $\mathbf{X}$ . 由  $\mathbf{X}$  与实际业务和网络接入关系的对比即可获得业务的接入控制方案.

### 4 仿真分析

为验证算法的有效性, 本文对 MOC 算法的网络性能进行了仿真分析. 如图 3 所示, 仿真模型为 TD-LTE、WiMax 和 McWiLL 三种网络重叠覆盖的异构无线网络场景, 其中 TD-LTE 和 WiMax 的网络参数见文献[16], McWiLL 的网络参数见文献[17].

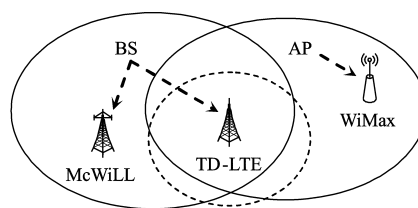


图3 仿真网络模型

仿真过程中, 随机产生各网络的初始业务分布和 100 个新到通信业务, 其中实时业务和非实时业务各占 50%, 且实时业务速率均匀分布在 50kb/s ~ 200kb/s, 非实时业务速率均匀分布在 40kb/s ~ 140kb/s. 将接入控制优化模型中的参数分别设置如下: 交叉概率  $p_c$  为 0.85, 变异概率  $p_m$  在前 80 次迭代中取 0.10, 80 代以后取 0.05, 种群大小  $P=400$ , 迭代次数为 200.

表 1 分别以单目标和多目标优化时异构网络间负载率均方差值

业务数	$f_1$	$f_3$	$f$
10	$5.2205 \times 10^{-5}$	$6.4992 \times 10^{-4}$	$8.6261 \times 10^{-5}$
20	$2.0156 \times 10^{-5}$	$5.9743 \times 10^{-4}$	$6.2533 \times 10^{-5}$
30	$1.1779 \times 10^{-5}$	$4.8808 \times 10^{-3}$	$4.3069 \times 10^{-4}$
40	$6.4160 \times 10^{-4}$	$3.9012 \times 10^{-3}$	$6.4436 \times 10^{-4}$
50	$3.6773 \times 10^{-5}$	$2.7646 \times 10^{-3}$	$3.8265 \times 10^{-4}$
60	$9.7750 \times 10^{-5}$	$4.4367 \times 10^{-3}$	$4.7372 \times 10^{-4}$
70	$3.5273 \times 10^{-5}$	$1.3377 \times 10^{-2}$	$1.6112 \times 10^{-3}$
80	$1.3019 \times 10^{-4}$	$2.6402 \times 10^{-3}$	$3.5355 \times 10^{-4}$
90	$1.9449 \times 10^{-4}$	$2.5338 \times 10^{-3}$	$2.5168 \times 10^{-4}$
100	$1.9212 \times 10^{-4}$	$4.3445 \times 10^{-3}$	$2.3965 \times 10^{-4}$

表 2 分别以单目标和多目标优化时业务接入阻塞率值

业务数	$g_1$	$g_3$	$g$
90	0.0467	0.0178	0.0222
95	0.0660	0.0088	0.0298
100	0.0820	0.0300	0.0470

表 1 ~ 表 3 为分别以单目标优化和多目标优化时的负载率均方误差、业务阻塞率和业务占用总的 TRU

数随着业务数的增加而变化的值.可以看出, $f_1$ 始终小于 $f_3$ ,而多目标优化所得 $f$ 值始终满足 $f_1 < f < f_3$ ;业务阻塞率和占用的总 TRU 数随着业务数的增加而增加, $g_3$ 始终小于 $g_1$ , $h_3$ 始终小于 $h_1$ ,且多目标优化所得 $g$ 和 $h$ 始终满足 $g_3 < g < g_1$ , $h_3 < h < h_1$ .当业务数为100,采用多目标优化模型时,负载率的均方误差比以负载均衡为目标的均方误差增加了 $4.7530 \times 10^{-5}$ ,增加了24.7%,但是比以占用总资源最少为目标的均方误差减少了 $4.0509 \times 10^{-3}$ ,减少了93.2%;业务接入阻塞率和占用的总 TRU 数比以占用总资源最少为目标的阻塞率和占用 TRU 数分别增加了0.017和1,增幅为56.7%和5.7%,但是比以负载均衡为目标的值分别降低了0.035和18,降幅达42.7%和9.3%.

表3 分别以单目标和多目标优化时业务占用总 TRU 值

业务数	$h_1$	$h_3$	$h$
10	19	15	16
20	39	34	36
30	67	53	58
40	87	80	82
50	104	99	96
60	115	105	108
70	138	119	131
80	158	149	150
90	178	170	171
100	194	175	176

综合考虑异构网络的负载均衡程度、业务阻塞率以及占用系统总资源的情况,本文提出的多目标优化控制模型能较好地兼顾异构网络的实时性能水平和各类业务接入可靠性保证的综合要求,能更合理地控制和调度业务在异构网络中的接入情况,比单目标优化控制模型具有明显的优势.

为了进一步验证 MOC 算法的引入前后对异构无线网络性能的改进,仿真通过与现有异构网络中经典的业务接入选择与控制算法,即 MLB 算法<sup>[10]</sup>和 GRA 算法<sup>[18]</sup>各方面性能的对比分析,验证了本文 MOC 算法的优越性.

图4为采用三种算法下业务接入时由于所有网络的负载已满而造成的阻塞概率.可以看出,采用 MOC 算法的业务阻塞率最低,显著优于 MLB 算法和 GRA 算法.这是因为,MLB 算法和 GRA 算法的实质分别是以网络剩余资源最多和网络综合性能最优作为业务接入控制的准则.而 MOC 算法除了从负载均衡角度考虑业务的接入策略,还从业务接入各网络所占用的资源最少的角度出发,兼顾考虑了系统的资源利用率,从而达

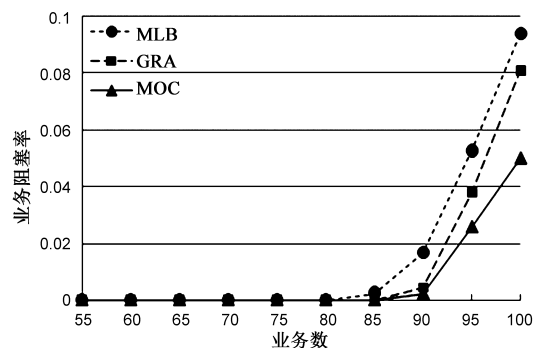


图4 业务阻塞率

到异构系统的剩余可用资源最大的效果,有效增加了可接入和服务的业务数,降低了业务的接入阻塞率,增加了系统容量.在业务数达到100时,采用 MOC 算法的平均阻塞率比 MLB 算法减少了大约46.8%,比 GRA 算法减少了大约38.8%.

图5为采用三种算法业务占用总资源数的对比.由于 MOC 算法将业务占用总资源最低作为优化的目标之一,有效地保证了有限资源的高效利用,其所占 TRU 数明显低于其他两种算法.当业务数为100时,采用 MOC 算法占用的 TRU 数较 MLB 算法和 GRA 算法分别减少了5.7%和8.6%.

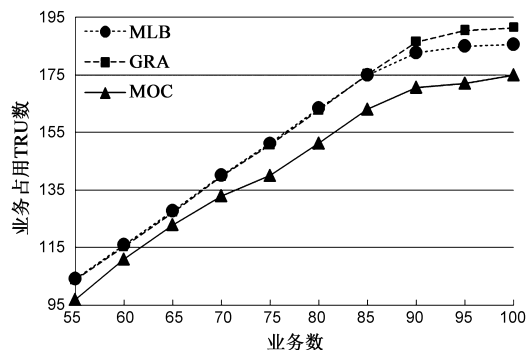


图5 业务占用TRU数对比

图6和图7分别为 MOC 算法与 MLB 算法和 GRA 算法在网络间负载均衡方面的对比.可以看出,随着业

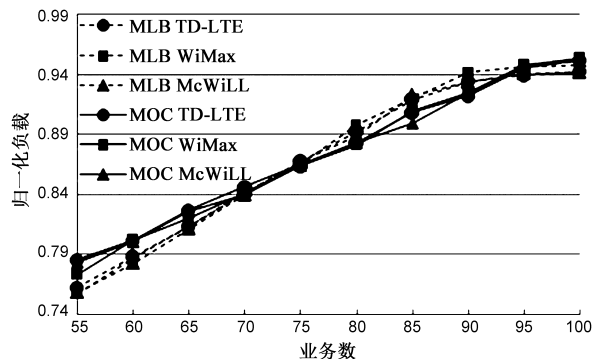


图6 MOC与MLB网络间负载均衡对比

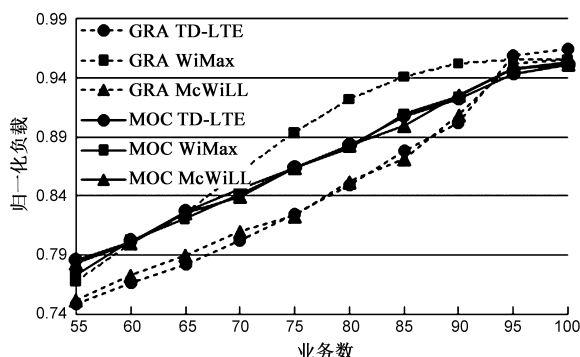


图7 MOC与GRA网络间负载率对比

务数的增加, MOC 算法与 MLB 算法的负载始终保持均衡状态, 且均衡程度较为接近, 并优于 GRA 算法的负载均衡效果. MLB 算法对负载的定义是考虑到业务的 QoS 需求和链路层重传机制的基础上提出的, 它在满足负载均衡的同时可以保障业务的 QoS 需求, 而本文所提 MOC 算法在负载均衡方面的性能与 MLB 算法接近表明可达到所期望的效果, 更为优越的是 MOC 算法可以达到更低的接入阻塞率, 可见本文所提 MOC 算法可以达到更为理想的负载均衡效果.

## 5 结束语

本文提出了一种基于多目标优化的异构网络业务接入控制算法. 以业务需求的总资源最少、业务阻塞率最低和各接入网络之间的负载均衡程度最大为目标建立数学模型, 通过组合隶属度函数对目标函数值进行模糊化处理, 采用最大化满意度指标法将多目标优化问题转化为单目标非线性优化问题, 并利用遗传算法求得最优解. 实验结果证明, 与传统的业务接入控制策略相比, 本文算法兼顾了网络资源的高效利用与业务可靠性的保证, 具有较好的应用价值.

### 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] 姜永, 陈山枝, 胡博. 异构无线网络中基于 Stackelberg 博弈的分布式定价和资源分配算法[J]. *通信学报*, 2013, 34(1): 61–68.  
Jiang Yong, Chen Shan-zhi, et al. Stackelberg games-based distributed algorithm of pricing and resource allocation in

heterogeneous wireless networks[J]. *Journal on Communications*, 2013, 34(1): 61–68. (in Chinese)

- [4] Coutinho, Rodolfo W L, Coelho et al. Optimal policy for joint call admission control in next generation wireless networks[A]. 2010 International Conference on Network and Service Management [C]. Texas: Springer-Verlag, 2010. 214–217.
- [5] Guo C, Guo Z, Zhang Q, et al. A seamless and proactive end-end mobility solution for roaming across heterogeneous wireless networks[J]. *IEEE Journal On Selected Area sin Communications*, 2008, 22(2): 834–848.
- [6] 李明欣, 陈山枝, 谢东亮, 等. 异构无线网络中基于非合作博弈论的资源分配和接入控制[J]. *软件学报*, 2010, 21(8): 2037–2049.  
LI Mingxin, CHEN Shanzhi, XIE Dongliang, et al. Resource allocation and admission control based on non-cooperation game in heterogeneous wireless networks[J]. *Journal of Software*, 2010, 21(8): 2037–2049. (in Chinese)
- [7] 朱思峰, 刘芳, 戚玉涛, 等. 异构无线网络中基于免疫计算的联合会话接纳控制[J]. *电子学报*, 2011, 39(11): 2648–2652.  
ZHU Sifeng, LIU Fang, QI Yutao, et al. Joint call admission control based on immune computing in heterogeneous wireless network[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2011, 39(11): 2648–2653. (in Chinese)
- [8] 唐良瑞, 李文猛, 盛洁, 等. 基于混沌遗传的异构无线网络接入选择策略[J]. *电子学报*, 2014, 42(8): 1564–1570.  
TANG Liangrui, LI Wenmeng, SHENG Jie, et al. A chaos genetic algorithm based access selection in heterogeneous wireless networks[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2014, 42(8): 1564–1570. (in Chinese)
- [9] Vinícius de Miranda Rios, Claudio de Castro Monteiro, Vanice Canuto Cunha. Alternatives to network selection in heterogeneous wireless environments[J]. *ICACT Transactions on the Advanced Communications Technology*, 2013, 2(3): 240–252.
- [10] 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 Tiejun, ZHANG Qianqian, et al. Radio access selection algorithm in heterogeneous wireless packet networks[J]. *Journal of System Simulation*, 2008, 20(10): 2762–2769. (in Chinese)
- [11] Yu Fei, Krishnamurthy V. Optimal joint session admission control in integrated WLAN and CDMA cellular networks with vertical handoff[J]. *IEEE Trans on Mobile Computing*, 2007, 6(1): 126–139.
- [12] 胡国强, 贺仁睦. 梯级水电站多目标模糊优化调度模型及其求解方法[J]. *电工技术学报*, 2007, 22(1): 154

- 158.  
Hu Guoqiang, He Renmu. Model and algorithm of multi-objective fuzzy optimal scheduling for cascaded hydroelectric power plant [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2007, 22(1): 154 - 158. (in Chinese)
- [13] 李士勇. 工程模糊数学及应用 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004.
- [14] Swarup K S, Yamashiro S. Unit commitment solution methodology using genetic algorithm [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2002, 17(1): 87 - 91.
- [15] Dang C Y, Li M Q. Floating-point genetic algorithm for solving the unit commitment problem [J]. European Journal of Operational Research, 2007, 181(3): 1370 - 1395.
- [16] 石文孝, 范绍帅, 王桢, 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 Wenxiao, Fan Shaoshuai, Wang Nan, et al. Fuzzy neural network based access selection algorithm in heterogeneous wireless network [J]. Journal on Communications, 2010, 31(9): 151 - 156. (in Chinese)
- [17] 温斌, 林波, 刘昀, 等. McWiLL 宽带无线接入技术及应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.
- [18] Song Q Y, Jamalipoura A. Network selection in an integrated wireless LAN and UMTS environment using mathematical modeling and computing techniques [J]. IEEE Wireless Communications, 2005, 12(3): 42 - 48.

#### 作者简介



盛洁 女, 1985 年生于江苏省扬州市, 博士, 讲师, 主要从事异构无线网络及电力信息传输方面的研究。

E-mail: jsheng@suda.edu.cn.