

# 基于终端移动与业务到达认知的 自适应无线接入控制机制

苏 伟<sup>1</sup>, 刘 琪<sup>2</sup>, 袁 坚<sup>3</sup>, 山秀明<sup>3</sup>, 张宏科<sup>1</sup>

(1. 北京交通大学电子信息工程学院, 北京 100044; 2. 中国联通研究院, 北京 100048;

3. 清华大学电子工程系信息网络与复杂工程系统实验室, 北京 100084)

**摘 要:** 在未来移动互联网中, 异种网络之间的密切合作将为用户提供无缝的业务链接. 终端移动与业务到达的突发性造成了网络负载在时空域的不均衡分布, 成为影响网络性能的重要因素. 自适应的无线接入控制机制是均衡异种网络负载、提高无线资源利用率的有效途径. 首先, 本文提出了一种新的基于终端移动与业务到达认知的动态负载均衡策略. 然后, 根据业务到达的统计分析结果, 通过终端分类与移动建模, 创建了一种基于用户小区驻留时间的自适应无线接入控制机制. 最后, 仿真结果验证了该机制的有效性.

**关键词:** 无线接入控制; 业务到达; 异种网络; 负载均衡

**中图分类号:** TN929 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 09-2148-06

## Adaptive Radio Access Control Scheme Based on Terminal Mobility and Service Arriving Cognition

SU Wei<sup>1</sup>, LIU Qi<sup>2</sup>, YUAN Jian<sup>3</sup>, SHAN Xiu-ming<sup>3</sup>, ZHANG Hong-ke<sup>1</sup>

(1. Department of Electronics and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China; 3. Department of Electronics Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** In future Mobile Internet, co-operation among heterogeneous networks will provide users with seamless services. Mobility of terminals and burst arrival of services cause disproportional network load distribution in time and space domain, which is a key factor influencing network performance. Adaptive radio access control scheme is an effective approach for load balancing among heterogeneous networks, improving utilization of radio resources. Firstly, a new dynamic load balance policy based on terminal mobility and service arriving cognition is proposed. Furthermore, according to statistic analysis of service arriving data, an adaptive radio access control scheme based on users' cell resident time is raised. It is realized through terminal classification and mobility modeling. Finally, performance of the above scheme is verified by simulation results.

**Key words:** radio access control; service arrival; heterogeneous networks; load balance

## 1 引言

目前, 无线通信系统的多样化与异构性是未来移动互联网面临的严峻挑战, 其主要表现为多种异构网络之间的独立工作, 导致通信系统在地域上的分割局面以及无线通信资源的巨大浪费, 同时使得用户通信存在诸多不便. 因此, 异种网络之间的密切协作是未来网络通信发展的必然趋势<sup>[1]</sup>, 其研究目标是整合利用多种无线通信资源, 充分发挥不同类型网络的优势, 为用户提供无缝的通信服务<sup>[2]</sup>. 欧洲第七工作框架 (FP7: framework program 7)<sup>[3]</sup>下的 ETP (eMobility European technology platform) 组织<sup>[4]</sup>指出增强互联网的无线移动接入能力是当

前网络通信的研究重点.

在无线移动通信网络中, 用户移动规律与业务分布的时空变化特征是影响网络整体通信性能的重要因素<sup>[5]</sup>. 图 1 给出了中国某城市中基于蜂窝网原始数据绘制的移动用户分布图. 图中每一个小方格的颜色代表当前位于该区域内的用户数量, 体现了用户空间分布的不均衡性<sup>[6]</sup>. 图 2 给出了不同区域内用户数量随时间变化的情况, 体现了用户时间分布的差异性. 历史统计数据 displays, 由于短时间内大量用户移动或者业务到达, 会形成某个时段内的局部热点地区 (hotspots), 无线接入业务负载的激增将导致通信资源的局部紧缺, 使得网络通信性能迅速下降. 多媒体业务的广泛使用更加剧了上述

问题造成的影响.然而,现有的通信资源配置与管理机制却无法有效解决上述问题.



图1 中国某城市的移动用户空间分布示意图

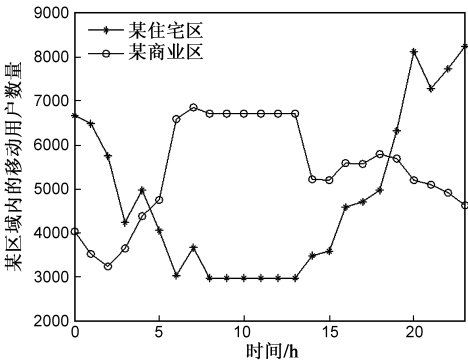


图2 区域内移动用户的时间分布图

针对异种网络中的无线用户接入控制问题,已有文献提出了一些解决方案.文献[7]中使用半马尔可夫决策过程(SMDP)进行用户业务垂直切换的判决,通过网络效益函数最大化的优化运算,来解决 CDMA 蜂窝网与 WLAN 之间多媒体无线接入业务的联合控制优化问题.文献[8]提出了一种 SASHA 机制,用于实现异种无线网络之间多媒体业务的流量均衡分配.该机制基于用户通信质量定义了 QMS 函数,将其作为流量分配的决策标准.但是,已有方案大部分都是针对正在进行业务通信的用户(active users),而忽略了业务潜在用户(underlying users)对网络性能的影响.

异构网络之间的协作,将为我们提供解决上述问题的契机.自适应的无线接入控制机制(ARAC, Adaptive Radio Access Control)是实现网络负载均衡的有效途径.本文提出了基于用户移动与业务达到认知的 ARAC 机制,目的是使得每个无线接入点(AP, Access Point)的业务量与其通信资源相互匹配,从而提高网络的整体性能.首先,文中以 3G/WLAN 网络为例,给出了异种网络协作的系统模型,提出了无线网络负载均衡的优化算法.然后,基于移动与业务建模,创建了自适应的 ARAC 机制.最后,仿真示例验证了上述机制的有效性.

2 网络系统模型

国家“973”重点基础研究发展规划项目“一体化可

信网络与普适服务体系基础研究”正在致力于创建一体化标识网络<sup>[9]</sup>.它基于身份与位置分离聚合映射理论,对现有多种网络资源进行统一管理,实现异种网络相互协作的联合无线业务接入控制.在该项目提出的网络架构中,异种网络的无线接入点之间通过接入交换路由器 ASR(Access Switch Router)与核心网络相连接<sup>[9]</sup>.图 3 以 3G/WLAN 为例,给出了一体化无线接入网络的系统模型示意图.

在该系统模型中,3G 蜂窝网元的基站 BS(后文中记为 AP0)与多个 WLAN 网元的 AP(记为 APi, i = 1, 2, ..., I, 这里 I 表示 WLAN 无线接入点的总数量)重叠覆盖,形成新的网络单元架构,如图 3 所示<sup>[10]</sup>.当移动节点(MN: Mobile Node)有业务到达时, MN 可以在多个 APi (i = 0, 1, 2, ..., I)中选择一个最适合的 AP 建立业务链接<sup>[11]</sup>.从优化网络整体性能的角度出发, ASR 作为中心控制模块,按照优化准则动态调整 APi 无线接入控制机制的判决门限,使得每个 AP 的无线接入业务量与其通信资源相互匹配,实现网络单元内的业务负载均衡<sup>[10]</sup>.在该网络架构下, ASR 可以统一协调 BS/APs 之间的通信数据流量,通过不同无线接入点之间优化的联合业务接入控制,来实现网络通信资源的优化利用.

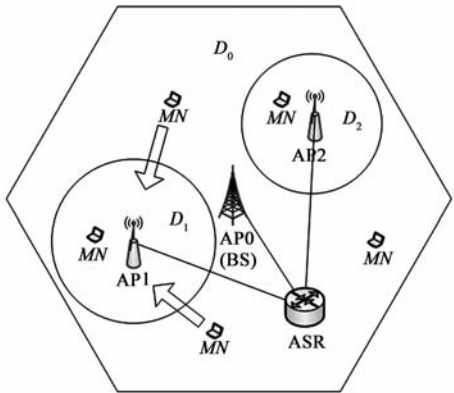


图3 3G/WLAN网络系统模型示意图

3 无线网络负载均衡策略

作者在文献[10]中给出了异种无线网络动态负载均衡(DLB; Dynamic Load Balance)策略.由于本文提出的 ARAC 机制是基于 DLB 策略的无线接入控制方法,因此本节对 DLB 策略进行简要描述,并且在前期工作基础上通过仿真示例对其进行性能分析.

3.1 MUU 定义

本文以某多媒体业务为例(记为 Service\_E),根据用户的当前通信状态,将 3G/WLAN 网络单元内的用户分为 Service\_E 业务状态用户与 Service\_E 潜在用户<sup>[10]</sup>.表 1 给出了无线网络动态负载均衡策略的相关参数及其含义.

Service\_E 主要潜在用户 (MUU: Main Underlying Users)的定义如下:从当前时刻  $t$  开始,在下一时段  $T_0 = \lambda_0^{-1}$  内,如果用户的 Service\_E 业务到达概率大于门限值  $f(\lambda_0)$ ,则称该用户为 MUU.与已有方案不同,DLB 策略重点关注 MUU,以其数量作为网络性能优化的主要参数.

表 1 DLB 策略的参数及其含义

参数符号	参数含义
Service_E	某类多媒体业务(如网络视频、网络游戏等)
MUU	Service_E 的主要潜在用户(Main Underlying Users)
first_AP	当 MUU 的 Service_E 业务到达时,为其提供业务链接的首选 AP <i>i</i>
$P_{\text{block}_i}(t)$	AP <i>i</i> 在 $t$ 时刻 Service_E 的呼叫阻塞概率
$m_i$	AP <i>i</i> 可以分配给 Service_E 的最大信道数量
$n_i$	AP <i>i</i> 中 Service_E 的截止队列长度
$\lambda_0$	网络单元内 MNs 的 Service_E 平均呼叫率
$\bar{\lambda}_{\text{MUU}}$	网络单元内 MUUs 的 Service_E 平均呼叫率
$\mu_i(t)$	AP <i>i</i> 在 $t$ 时刻的 Service_E 服务率
$\rho_i(t)$	$\rho_i(t) = \bar{\lambda}_{\text{MUU}}/\mu_i(t)$
$f(\lambda_0)$	Service_E 业务达到概率门限
$D_i$	AP <i>i</i> 对 Service_E 的覆盖区域
$\tilde{D}_0$	AP <sub>0</sub> 对 Service_E 的单独覆盖区域
$N(t)$	在 $t$ 时刻位于 3G/WLAN 网络单元内的 MUU 总数量
$N_{\text{imax}}(t)$	在 $t$ 时刻位于区域 $D_i (i \neq 0)$ 内的 MUU 数量
$N_{0\text{max}}(t)$	在 $t$ 时刻位于区域 $\tilde{D}_0$ 内的 MUU 数量
$N_i(t)$	在 $t$ 时刻由 AP <i>i</i> 负责提供业务连接的 MUU 数量

3.2 优化算法

无线网络 DLB 策略中,网络性能的优化是以每个 AP 无线接入业务的阻塞概率为优化对象,以最小化 AP*i* ( $i = 0, 1, 2, \dots, I$ )之间业务阻塞概率差距为目标,探讨如何在最大程度上实现不同 AP*i* 之间的负载均衡.因此,定义网络性能优化函数<sup>[10]</sup>如下:

$$\min \left\{ \frac{\max_i (P_{\text{block}_i}(t))}{\min_i (P_{\text{block}_i}(t))} \right\}$$

s. t.

$$\begin{cases} \sum_i N_i(t) = N(t) \\ N_i(t) \leq N_{\text{imax}}(t), i \neq 0 \end{cases}$$

(1)

其中,  $N_i(t)$  为优化变量, AP*i* 的业务阻塞概率见公式 (2), 这里  $C_a^b$  表示二项式系数, 即  $C_a^b = a! / b! (a - b)!$ ,  $x!$  表示  $x$  的阶乘.其它参数定义详见表 1.

$$P_{\text{block}_i}(t) = \frac{C_{N_i(t)-1}^n [\rho_i(t)]^{n_i}}{\sum_{r=0}^{n_i} C_{N_i(t)-1}^r [\rho_i(t)]^r}$$

(2)

在 DLB 策略中,对于 3G/WLAN 网络单元内的某个 MUU <sub>$j$</sub>  ( $j = 1, 2, \dots, N(t)$ ),虽然在  $t$  时刻并没有使用 Service\_E,但是仍然根据 MUU <sub>$j$</sub>  的所在位置及其移动规律,为它选择一个 AP*i*.当 MUU <sub>$j$</sub>  有 Service\_E 业务到达时,则通过该 AP*i* 建立业务链接,这里将该 AP*i* 称为 MUU <sub>$j$</sub>  的 first\_AP.基于公式 (1) 得到的优化解  $N_i^*(t)$  表示以 AP*i* 作为 first\_AP 的 MUU 数量最佳值. DLB 策略实现方案与工作流程详见文献 [10].

3.3 性能分析

DLB 策略基于每个 MN 对自身移动与业务到达的认知,实现网络业务负载量的预测. DLB 优化算法中,通过递归式运算,使得 AP*i* 之间无线业务阻塞概率的比值趋近于 1,即每个 AP 的业务负载量与其通信资源的匹配度趋于一致. ASR 通过动态调节 AP*i* 的业务量来实现无线网络的负载均衡.在 DLB 策略中,由于使用了 MUU→first\_AP 的预先映射机制,当业务到达时,网络不需要进行优化运算,可以直接由每个 MUU 的 first\_AP 为其提供业务链接,避免了由于负载均衡运算而引入新的业务连接时延.实际上, DLB 策略是基于对潜在用户数量及其业务达到的预测,实现网络负载均衡的预先规划,使得网络的无线接入控制更加合理与有效.

下面通过一个仿真示例验证 DLB 策略的有效性.假设在某时段 [0, 60] 内, 3G/WLAN 网元内的 MUU 总数量  $N$  保持不变.由于区域  $D_1$  正在举办某大型活动,区域  $\tilde{D}_0$  内的终端用户向区域  $D_1$  汇聚.表 2 给出了具体的仿真参数,图 4 给出了使用 DLB 策略前后 AP*i* 负载的变化曲线.由图可见,当区域  $D_1$  内的 MUU 数量逐渐增加时,按照原有无线接入控制方案, AP1 的负载将随之增大, AP0 的负载却变少.从而造成了 AP1 资源紧缺、AP0 资源闲置的情况.使用 DLB 策略后, AP0 与 AP1 的无线业务负载基本处于平稳状态,两者都实现了业务量与本身通信资源的相互匹配.图 5 给出了 3G/WLAN 网元内 ASR 节点的总业务阻塞概率变化曲线,可见使用 DLB 策略后,使得总业务阻塞概率保持在  $10^{-2}$  以下.

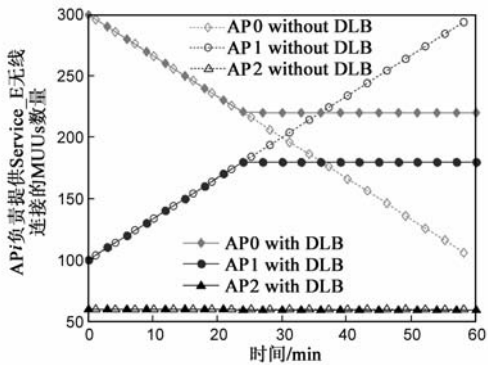


图4 AP*i*业务负载变化曲线(DLB vs.non-DLB)

表 2 DLB 策略仿真参数及其取值

	AP0	AP1	AP2
$n_i$	1.6	12	6
$\mu_i$	1.2	1.5	1.5
$B_i$ (MHz)	5	10	10
$N_{imax}$	—	100→300	60
$N$		460	
$t$		0→60	
$\lambda_{MUU}(\text{min}^{-1})$		0.05	

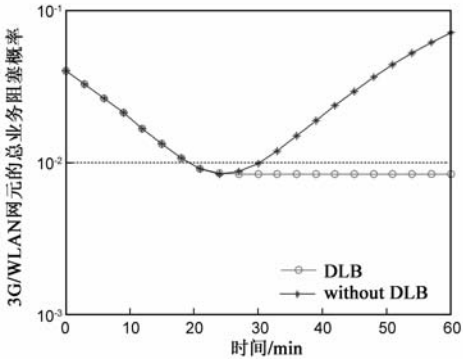


图5 3G/WLAN网元的总业务阻塞概率

4 基于 DLB 策略的 ARAC 机制

DLB 策略能够达到均衡无线网络负载的效果,但是基于文献[10]中的实施方案,需要每个 MN 对自身移动

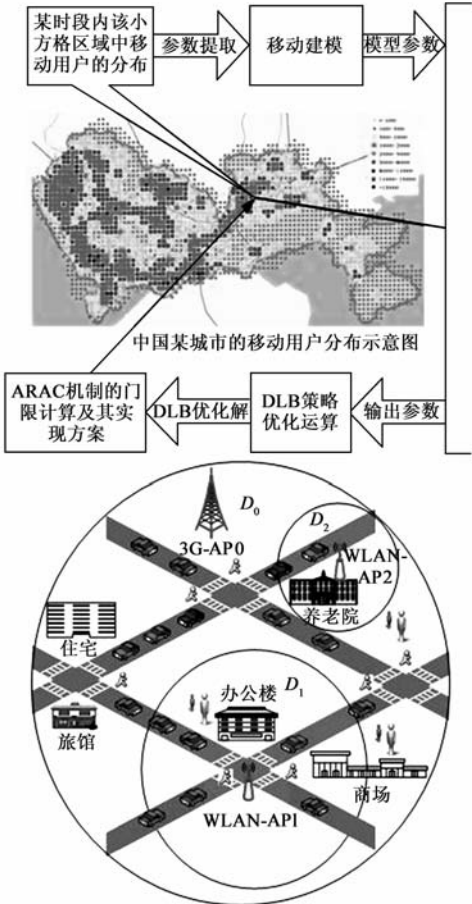


图6 ARAC机制的工作步骤

与业务到达进行认知,并将其结果报告给网络节点 ASR,这将大量增加无线通信的信令开销与 ASR 的计算负担.本节将基于用户分布与业务到达的统计数据来分析设计自适应无线接入控制(ARAC)机制,可通过动态调节接入门限来实现无线网络的负载均衡,图 6 给出了 ARAC 机制的工作步骤.

首先,基于某蜂窝网的移动用户时空分布变化数据,并且结合用户业务到达的统计分析结果<sup>[12]</sup>,计算某时段内区域  $D_i$  内的 MUU 数量  $N_{imax}(t)$ ,作为 DLB 优化运算的输入参数.文献[10]中给出了基于终端 2 维速率分类与状态转换的移动模型(MM-2VCT).该模型以移动速率  $v_{i0}$  为判决门限,将 MN 分为快速移动节点(FMN, Fast MN)和慢速移动节点(SMN, Slow MN).值得注意的是,FMN 与 SMN 对于某类多媒体业务(Service\_E)的通信需求通常也有较大差异.

下面将给出具体的  $N_{imax}(t)$  计算步骤.如公式(3)所示,  $N_{imax}(t)$  是区域  $D_i$  内慢速 MUU 数量  $N_{MUU\_SMN}^i(t)$  与快速 MUU 数量  $N_{MUU\_FMN}^i(t)$  之和.但是快/慢速 MUU 数量在 FMN/SMN 数量(记为  $N_{FMN}^i(t)/N_{SMN}^i(t)$ )中所占的比例(记为  $\gamma_F^i(t)/\gamma_S^i(t)$ )是需要根据业务到达统计数据来计算的.

$$N_{imax}(t) = N_{MUU\_SMN}^i(t) + N_{MUU\_FMN}^i(t) = N_{SMN}^i(t) \gamma_S^i(t) + N_{FMN}^i(t) \gamma_F^i(t) \tag{3}$$

文献[12]中以 IPTV 业务为例,指出某移动节点  $MN_j$  的业务到达率可以用韦伯(Weibull)分布来近似描述,其概率密度函数与累计分布函数详见公式(4)、(5).其中参数  $\omega$  与  $\mu$  可根据实测数据来设定.

$$p.d.f.(\lambda_j, t) = \frac{\omega(t)}{\mu(t)} \left( \frac{\lambda_j}{\mu(t)} \right)^{\omega(t)-1} \exp \left( - \left( \frac{\lambda_j}{\mu(t)} \right)^{\omega(t)} \right) \tag{4}$$

$$c.d.f.(\lambda_j, t) = 1 - \exp \left( - \left( \frac{\lambda_j}{\mu(t)} \right)^{\omega(t)} \right) \tag{5}$$

根据第 3.1 节中 MUU 的定义,通过计算 FMN/SMN 累计分布函数可以得出  $\gamma_F^i(t)/\gamma_S^i(t)$  的取值,详见公式(6)、(7).为了简便,在实际计算中可将其近似为分段函数

$$\gamma_F^i(t) = 1 - c.d.f._F^i(\lambda_0, t) \tag{6}$$

$$\gamma_S^i(t) = 1 - c.d.f._S^i(\lambda_0, t) \tag{7}$$

然后,将得到的  $N_{imax}(t)$  参数值带入公式(1),即可得到 DLB 策略的优化解  $N_i^*(t)$ ,即  $AP_i$  负责提供 Service\_E 无线连接的 MUU 数量.

最后,基于 DLB 策略的优化运算结果,设计 ARAC 机制.移动用户的小区驻留时间,是重叠覆盖场景下无线接入控制需要考虑的一个重要因素.ARAC 机制将以  $MN_j$  在区域  $D_i (i \neq 0)$  内的小区驻留时间  $\tau_{resj}^i (i \neq 0)$  作为主要参数,来建立 MUU  $\rightarrow$  first\_AP 映射,图 7 给出了该

机制的实现流程,其中  $i \neq 0$ .

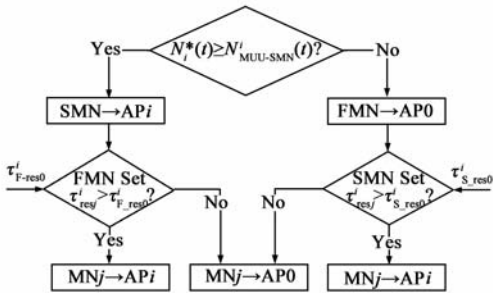


图7 ARAC机制的实现流程图

文献[10]中给出了 FMN/SMN 小区驻留时间的概率分布函数. 由此可以得到 FMN/SMN 的判决门限  $\tau_{F\_res0}^i / \tau_{S\_res0}^i$ , 详见公式(7)、(8). 单个终端的小区驻留时间取决于小区面积、终端速度、道路状况等因素. 图 6 中给出了小区内的道路分布情况. MN 的平均移动速率可以通过速率采样与指数平滑运算得到<sup>[13,14]</sup>.

$$\Pr\{\tau_{res}^i > \tau_{F\_res0}^i\} = \frac{N_i^*(t) - N_{MUU\_SMN}^i(t)}{N_{MUU\_FMN}^i(t)} \quad (8)$$

$$\Pr\{\tau_{res}^i > \tau_{S\_res0}^i\} = \frac{N_i^*(t)}{N_{MUU\_SMN}^i(t)} \quad (9)$$

实际上, ARAC 机制就是以 DLB 的优化解为分配准则, 将  $\tau_{resj}^i (i \neq 0)$  较长的 MUU 分配给  $APi$ , 其余的 MUU 分配给  $AP0$ . 值得注意的是, 参数  $\tau_{resj}^i (i \neq 0)$  的判决门限是根据用户空间分布变化的实测数据与 DLB 优化运算结果而动态设定的. 这样, 既保证了无线网络的负载均衡, 又使得用户个体的通信性能得到优化.

5 性能仿真

以图 6 作为仿真场景, 表 3 给出了具体的仿真参数. 假设时间为上午 8:00–9:00,  $D_0$  为城市内的某个区域, 覆盖多个建筑以及街道, 区域  $D_1$  为某办公楼所在位置,  $D_2$  为某养老院所在区域. 根据日常生活规律, 可知在该时段区域  $D_0$  内的人员、车辆流动都比较频繁,  $D_1$  内将涌入大量办公职员, 而  $D_2$  内的移动用户数量变化不大.

依据蜂窝网的对移动用户数量的实测数据, 基于 MM-2VCT 建模与业务到达的统计分析, 按照第 4 节给出的 ARAC 机制工作步骤, 可得到  $APi$  的 Service\_E 业务负载仿真曲线, 如图 8 所示. 图 9 给出了使用 ARAC 机制前后  $APi$  的 Service\_E 业务阻塞概率仿真曲线. 可见, 当  $15 < t \leq 60$  时, 由于  $D_1$  中 MUU 数量大幅度增加, 使得  $AP1$  的负载过大, 其业务阻塞概率明显提高, 甚至达到 10%. 在使用 ARAC 机制后,  $AP0$  作为 first\_AP 为区域  $D_1$  内的更多 MUU 提供业务链接, 使得  $AP0$  与  $AP1$  之间分担的 MUU 数量达到平衡比例关系, 彼此的业务

阻塞概率也基本保持一致. 综上, ARAC 机制使得  $APi$  之间的业务负载与其无线资源更加匹配, 实现了无线网络的负载均衡.

表 3 ARAC 机制仿真参数及其取值

	AP0	AP1	AP2
$\gamma(t)$	0.05	0.05	0.05
$\gamma(t)_i$	$1/(2t+10), t \in [0, 20)$ $1/(2t+10), t \in [20, 60)$		
$n_i$	16	12	6
$\mu_i$	1.2	1.5	1.5
$B_i$ (MHz)	5	10	10
$v_{i0}$ (km/h)	30	30	30
$\lambda_{MUU} (\text{min}^{-1})$	0.05		

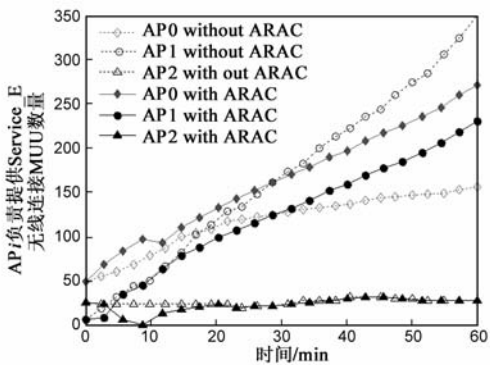


图8  $APi$ 业务负载仿真曲线 (ARAC vs. non-ARAC)

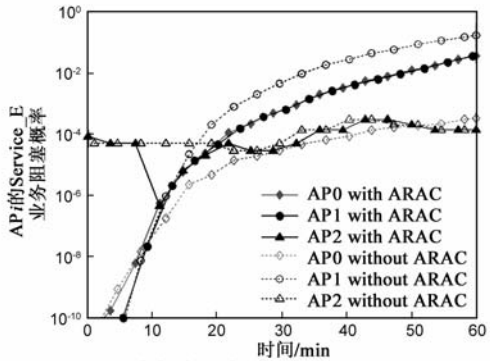


图9  $APi$ 业务阻塞概率仿真曲线 (ARAC vs. non-ARAC)

6 结论

本文提出了一种新的自适应无线接入控制 (ARAC) 机制, 它是均衡异种网络负载、提高无线资源利用率的有效途径. 该机制基于对终端移动与业务到达的认知, 通过统计数据分析和 DLB 策略优化运算, 使得每个无线接入点的业务量与其通信资源保持匹配关系, 实现无线网络的负载均衡.

参考文献

[1] Peter Stuchmann, Rainer Zimmermann. Toward ubiquitous and unlimited-capacity communication network: European research in framework programme 7[J]. IEEE Communications Maga-

- zine, 2007, 45(5): 148 – 157.
- [2] LIU Qi, LI Chengshu. Framework and access technology for integration between WLAN and B3G[A]. Proceedings of IET International Conference on Wireless Mobile and Multimedia Networks[C]. Hangzhou China: Institution of Engineering and Technology, 2006. 396 – 399.
  - [3] FP7 projects, 2010[OL]. <http://www.future-internet.eu/activities/fp7-projects.html>.
  - [4] eMobility; The mobile and wireless communications technology platform, 2010[OL]. <http://www.emobility.eu.org/index.html>.
  - [5] Liu Qi, Yuan Jian, Shan Xiuming, Wang Yue, Su Wei. Dynamic load balance scheme based on mobility and service awareness in integrated 3G/WLAN networks[A]. Proceedings of Global Mobile Congress[C]. Shanghai China: IEEE, 2010. 75 – 80.
  - [6] X Mao, R R Xu, X S Li, etc. Fine grid dynamic features of population distribution in Shenzhen[J]. ACTA Geographica Sinica, 2010, 65(4): 443 – 453.
  - [7] Yu, F, Krishnamurthy, V Optimal joint session admission control in integrated WLAN and CDMA cellular networks with vertical handoff[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2007, 6(1): 126 – 139.
  - [8] Bogdan Ciubotaru, Gabriel-Miro Muntean. SASHA-A quality-oriented handover algorithm for multimedia content delivery to mobile users[J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2009, 55(2): 437 – 450.
  - [9] 张宏科, 苏伟. 新网络体系基础研究——一体化网络与普适服务[J]. 电子学报, 2007, 35(4): 593 – 598.  
ZHANG Hong-ke, SU Wei. Fundamental research on the architecture of new network — universal network and pervasive services[J]. ACTA Electronica Sinica, 2007, 35(4): 593 – 598. (in Chinese)
  - [10] 刘琪, 袁坚, 山秀明, 苏伟, 张宏科. 3G/WLAN 网络中基于终端移动与业务认知的动态负载均衡机制[J]. 计算机学报, 2010, 33(9): 1569 – 1579.  
LIU Qi, YUAN Jian, SHAN Xiu-Ming, SU Wei, ZHANG Hong-Ke. Dynamic load balance scheme based on mobility and service cognition in integrated 3G/WLAN networks[J]. Chinese Journal of Computers, 2010, 33(9): 1569 – 1579. (in Chinese)
  - [11] 刘琪, 李承恕. 多模可重构终端的无线接入管理[J]. 电子学报, 2007, 35(10): 1833 – 1837.  
LIU Qi, LI Cheng-shu. Radio access management for multi-mode reconfigurable terminals[J]. ACTA Electronic Sinica, 2007, 35(10): 1833 – 1837. (in Chinese)
  - [12] Q Tongqing, G Zihui, L Seungjoon, et al. Modeling user activities in a large IPTV system[A]. Proceedings of Internet Measurement Conference[C]. Chicago USA: ACM, 2009. 430 – 441.

- [13] A Iera, A Molinare, E Natalizio, S Marano. Call management based on the mobile terminal-peak velocity: virtues and limitations in a two-tier cellular system[J]. IEEE Trans Vehicular Technology, 2003, 52(7): 794 – 813.

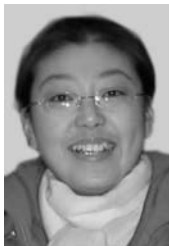
- [14] S Gilchrist. Statistical Forecasting[M]. New York: Wiley Press, 1976.

#### 作者简介



苏 伟 男, 1978 年出生于河北省, 博士, 北京交通大学电子信息工程学院讲师, 主要研究方向为下一代互联网。

E-mail: wsu@bjtu.edu.cn



刘 琪 女, 1982 年出生于黑龙江省, 清华大学博士后, 任职于中国联通研究院. 主要研究方向为无线通信与移动通信。



袁 坚 男, 1965 年出生于陕西省, 博士, 清华大学教授, 博士生导师, 主要研究方向为移动互联网与无线通信安全。



山秀明 男, 1944 年出生于黑龙江省, 清华大学教授, 博士生导师, 主要研究方向为移动互联网与信号处理。



张宏科 男, 1957 年出生于山西省, 北京交通大学教授, 博士生导师, 主要研究方向为下一代信息网络关键理论与技术。