

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

刘 琪¹⁾ 袁 坚¹⁾ 山秀明¹⁾ 苏 伟²⁾ 张宏科²⁾

¹⁾(清华大学电子工程系 北京 100084)

²⁾(北京交通大学电子信息工程学院 北京 100044)

摘 要 下一代无线移动通信要求异构网络之间相互协作,3G 蜂窝网与 WLAN 之间的密切合作将为用户提供无缝的业务链接与多样化通信服务.终端移动与业务时空分布的不均衡性是影响网络性能的重要因素,3G/WLAN 网络中业务负载均衡策略是提高网络整体性能的有效途径.首先,文中提出了一种新的基于终端移动与业务认知的动态负载均衡(DLB-MSA)机制,该机制重点关注业务潜在用户,通过动态优化的联合业务接入控制,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,实现网络的负载均衡.然后,为了探讨终端移动对无线网络通信性能的影响,文中创建了一种新的基于 2 维终端速率分类与状态转换的移动模型,并且给出了相应的 Markov 分析方法.该模型能够更准确地反映用户移动规律,通过比较简单的参数学习来逼近 3G/WLAN 网络中终端的群体移动特征.最后,文中基于该模型对 DLB-MSA 机制进行性能评估,通过仿真验证了该机制的有效性.

关键词 B3G; WLAN; 动态负载均衡; 移动模型; 业务认知

中图法分类号 TP393 DOI号: 10.3724/SP.J.1016.2010.01569

Dynamic Load Balance Scheme Based on Mobility and Service Cognition in Integrated 3G/WLAN Networks

LIU Qi¹⁾ YUAN Jian¹⁾ SHAN Xiu-Ming¹⁾ SU Wei²⁾ ZHANG Hong-Ke²⁾

¹⁾(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

²⁾(Department of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044)

Abstract In the next generation of wireless mobile communications, it can be visualized that heterogeneous networks including 3G cellular networks and WLAN are demanded to co-operate user-friendly in a seamless manner. Service load balance among radio access points is very important for improving performance of integrated 3G/WLAN networks. One of the key factors for network load balance is mobility of users, which causes disproportional distribution of services in time and space domain. In the paper, a new dynamic load balance scheme based on mobility and service awareness (DLB-MSA) is proposed, aiming to match traffic load with radio resource configurations at each radio access point. The DLB-MSA scheme is paid attention to underlying users, whose velocity and service arrival probability are main parameters for joint session admission control in 3G/WLAN networks. Furthermore, a new mobility model is raised and analyzed by Markov theory for performance analysis of heterogeneous networks. It is based on bi-dimensional velocity classification and state transition, which is fit for mobility simulation of both vehicle us-

收稿日期:2010-04-03;最终修改稿收到日期:2010-08-16. 本课题得到国家“九七三”重点基础研究发展规划项目基金(2007CB307105)、国家自然科学基金(60903150)资助. 刘 琪,女,1982 年生,博士,研究方向为无线通信与移动通信. E-mail: liu-qi@tsinghua.edu.cn. 袁 坚,男,1965 年生,博士,副教授,博士生导师,研究领域为移动互联网与无线通信安全. 山秀明,男,1944 年生,教授,博士生导师,研究领域为移动互联网与信号处理. 苏 伟,男,1978 年生,博士,讲师,研究方向为下一代互联网. 张宏科,男,1957 年生,教授,博士生导师,研究领域为下一代互联网.

ers and pedestrian users. Finally, based on this mobility model, performance of DLB-MSA scheme is verified by numerical results. It not only reduces call blocking probability and improves throughput of 3G/WLAN networks, but also minimizes vertical handoff rate.

Keywords B3G; WLAN; dynamic load balance; mobility model; service awareness

1 引 言

随着无线通信的迅速发展,已经逐渐形成多种异构网络并存的无线通信环境,而且每种类型的网络又有很多通信标准.无线通信系统的多样化与异构性是下一代移动通信面临的严峻挑战,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,异构网络之间的密切协作是未来无线移动通信发展的必然

趋势^[1].异种网络协作的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,为用户提供多业务、透明化、高满意度的通信服务.2010年初,国务院常务会议决定加快推进电信网、广播电视网、互联网三网融合,并审议通过了推进三网融合的总体方案.图1给出了多模移动终端(Multi-mode Mobile Terminal, MMT)在异构网络协作环境下工作的示意图^[2].异构网络之间的协作需要强有力的技术支撑,因此在未来一段时期内,探讨如何有效利用多种网络资源,提高通信性能将是无线移动通信研究的重中之重.

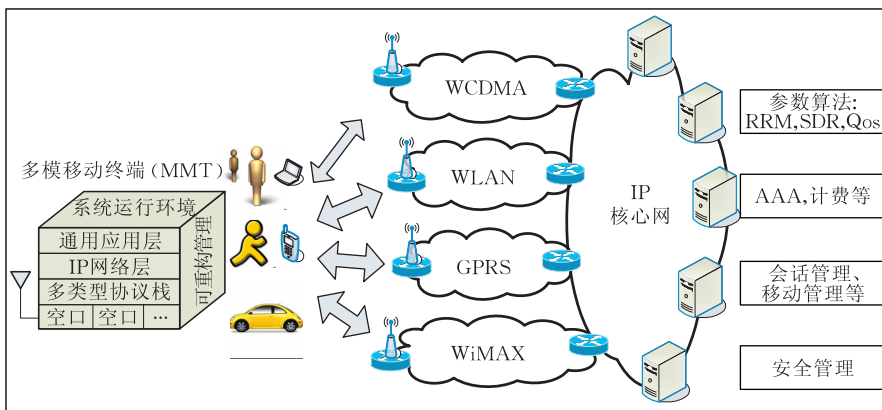


图1 异构网络协作示意图

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.未来一代移动通信系统的目标是以人为中心,要求各种网络技术适应人的活动,用户能够简单、方便地使用相应技术来达到自身的通信需求^[2].但是,基于人们生活的普遍规律,经常会出现由于短时间内大量用户移动或者业务到达,导致在某个时段出现局部的热点地区(hotspots).该区域的无线接入业务负载过大,使得网络通信性能迅速下降.与此同时,其它周边地区的无线接入业务量却偏低,大部分通信资源处于空闲状态.另外,多媒体业务是未来无线移动通信的主要潜在业务,它通常需要占用大量的无线信道与频谱资源,这就更加剧了热点地区无线接入业务的负担.综上,由于用户移动与业务分布在时间和区域上具有不均衡性,因而导致通信

资源的局部紧缺,使得用户无线接入业务(尤其是多媒体业务)性能大幅度降低.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,使得无线通信资源的整体利用率较低.

异构网络之间的协作,特别是3G蜂窝网与WLAN的密切配合,将为我们提供解决上述问题的契机.3G蜂窝网与WLAN作为目前全球范围内应用最为广泛的2种无线通信网络,在覆盖范围与业务容量方面都拥有各自的突出特点.如果两者之间能够通过密切协作,实现网络负载的动态均衡分配,即每个无线接入点的业务量与其通信资源保持匹配关系,那么无线接入网络的业务提供能力与工作性能将得到大幅度提高^[3].优化的联合业务接入控制(Joint Session Admission Control, JSAC)是实现网络负载均衡的有效途径.但是,用户移动的不确定性

给 JSAC 策略的制定带来了巨大挑战. 网络对用户移动规律与业务分布的认知能够有效提高 JSAC 策略性能. 根据用户移动与业务分布特征, 制定动态负载均衡机制, 不仅可以更好地满足用户日益增长的多媒体业务需求, 而且能够实现高效的资源利用, 提高 3G/WLAN 网络资源的整体利用率.

本文在 3G/WLAN 重叠覆盖的网络框架下, 提出基于用户移动与业务认知的动态负载均衡机制 (Dynamic Load Balance based on Mobility and Service Awareness, DLB-MSA), 创建基于 2 维速率分类与状态转换的移动模型 (Mobility Model based on bi-dimensional Velocity Classification and state Transition, MM-2VCT), 并且基于该模型对 DLB-MSA 机制进行性能评估. 本文第 2 节简要介绍已有的相关研究工作; 第 3 节描述 3G/WLAN 网络的系统模型; 第 4 节提出 DLB-MSA 机制以及相应的优化算法与实现方案; 第 5 节创建 MM-2VCT 模型, 并且给出相应的 Markov 分析方法; 第 6 节基于该移动模型, 对 3G/WLAN 网络单元内的终端移动过程进行仿真, 验证了 DLB-MSA 机制的有效性; 最后, 第 7 节对本文内容给出总结.

2 相关工作

针对 3G/WLAN 重叠覆盖网络, 基于终端移动认知探讨无线接入业务与通信资源的协调匹配问题, 已有文献提出了一些解决方案. 例如 Krishnamurthy 等在文献[4]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[5]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.

综上, 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. 上述方案根据单个移动终端的所在位置与移动规律预测, 来为其选择适合的无线接入点. 但是, 一方面由于对网络性能的优化运算通常需要大量的实时参数收集以及比较复杂的计算, 因而会导致引入了新的业务连接时延; 另一方面由于方案中都是以正在进行业务通信的移动节点为优化对象, 因而当业务分布发生快

速变化时, 可能会导致频繁的业务切换, 或者无法实现业务负载在无线接入点之间的最优分配. 本文提出基于 MMT 对用户业务需求的认知, 从潜在用户的角度来制定业务负载均衡机制, 优化网络整体性能. 该机制既不会引入新的业务链接时延, 又充分考虑了未来一段时间内可能的业务达到, 使得优化结果具有一定的预见性, 避免了不必要的业务切换, 也有利于系统的稳定运行.

为了探讨在无线网络内终端移动对无线接入业务的影响, 需要对其进行移动建模, 分析网络内业务分布的时空变化规律. 从而科学地评估负载均衡机制性能, 验证联合业务接入控制 (JSAC) 方案的有效性. 目前, 在异构网络协作的通信环境中, 尚未出现准确反映用户移动特征、得到世界范围广泛认可的用户移动模型. 但是很多科研机构已经基于统计数据对终端移动规律展开深入的分析与研究, 并且得出了一些异构网络协作环境下的终端移动规律以及网络性能评估方法.

Rhee 在文献[6]中对人类行走移动模型进行研究, 通过 5 个不同地区内 GPS 节点运动轨迹的统计数据, 分析人类行走的移动特征. 通过特征提取, 发现用户移动长度和停顿时间均具有重尾分布特征. 文献[7]也基于统计数据对用户在某微蜂窝小区内的驻留时间进行分析, 得到的概率分布结论与 Pareto 分布非常接近. 文献[8-9]针对异构网络之间重叠覆盖的基本特征及其协作方式, 基于 PH(phase-type) 分布的 Markov 特点提出了 extended-Coxian 用户移动模型, 并且给出了该移动模型中网络主要性能指标 (如业务阻塞率、切换率等) 的评估算法. 文献[10]使用二维 Markov 链对 3G/WLAN 网络单元内的移动用户数量进行建模, 从而分析语音业务在 3G/WLAN 之间的垂直切换问题. 在上述研究基础上, 本文提出基于终端 2 维速率分类与状态转换的移动模型, 并且给出了相应的 Markov 分析方法. 由于该模型与用户移动特征紧密关联, 因而更易于通过适当的参数学习来逼近实际的用户移动过程, 实现更加准确的用户移动建模.

3 3G/WLAN 网络的系统模型

3GPP-LTE 中将 3G 与 WLAN 之间的协作模式分为 3 种, 即松耦合、紧耦合、超紧耦合^[11]. 但是从网络之间通信资源的高效优化配置角度出发, 最佳的协作方式是超紧耦合 (very tight coupling) 模式, 即

WLAN 的 AP 与 3G 蜂窝网(例如 WCDMA)的 BS 通过同一个控制单元与核心网络(core network)相连接. 国家“九七三”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, 基于身份与位置分离聚合映射理论, 实现对现有多种网络资源的统一管理. 该项目提出的网络架构也是异构网络的无线接入点之间通过接入路由器 ASR(Access Switch Router)与核心网络相连接(详见图 2). 本文基于上述系统模型, 提出 3G/WLAN 网络的动态负载均衡策略. 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.

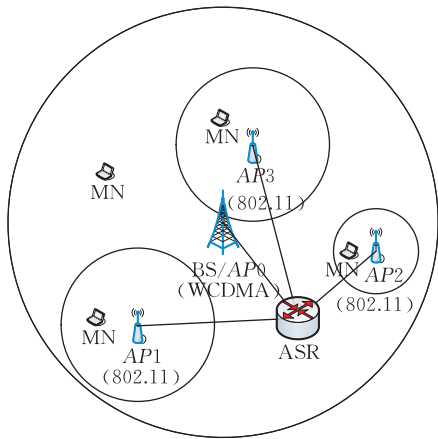


图 2 3G/WLAN 网络系统模型示意图

在该系统模型中, 3G 蜂窝网元的 BS(后文中记为 AP_0)与多个 WLAN 网元的 AP(记为 $AP_i, i=1, 2, \dots, I$, 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 2 所示. 当移动节点(Mobile Node, MN)有业务到达时, MN 可以在多个 $AP_i (i=0, 1, 2, \dots, I)$ 之间选择一个最适合的 AP 建立业务链接. 从优化网络整体性能的角度出发, ASR 作为中心控制模块, 按照优化准则将覆盖区域内所有用户的通信业务动态地分配给 AP_i , 使得每个 AP 的无线接入业务量与其通信资源相对匹配, 实现网络单元内的业务负载均衡. 下面本文将针对某类多媒体业务(如网络视频、网络游戏等), 探讨如何实现网络单元内 AP_i 之间的负载均衡.

4 DLB-MSA 机制

4.1 DLB-MSA 机制优化算法

本文提出的 DLB-MSA 机制中, 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 DLB-MSA 机制的网络性能优化函数如下:

$$\min \left\{ \frac{\max_i (P_{block_i}(t))}{\min_i (P_{block_i}(t))} \right\} \quad (1)$$

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

其中, $N_i(t)$ 为优化变量, AP_i 的业务阻塞概率见式(2)^[12]. 这里假设用户的平均业务到达速率为 λ_0 , 基于 $M|M|m_i(n_i, N_i)$ 排队服务模型计算 AP_i 的业务阻塞概率. 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.

$$P_{block_i}(t) = \frac{C_{N_i(t)-1}^{n_i} [\rho_i(t)]^{n_i}}{\sum_{r=0}^{n_i} C_{N_i(t)-1}^r [\rho_i(t)]^r} \quad (2)$$

表 1 DLB-MSA 机制的参数及其含义

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
$P_{block_i}(t)$	AP_i 在 t 时刻 Service_E 的呼叫阻塞概率
m_i	AP_i 可以分配给 Service_E 的最大信道数量
n_i	AP_i 中 Service_E 的截止队列长度
λ_0	Service_E 的标准呼叫率(它的取值由网络根据实际通信情况而定)
$\mu_i(t)$	AP_i 在 t 时刻的 Service_E 服务率
$\rho_i(t)$	在 t 时刻 AP_i 中 Service_E 用户的呼叫服务比, 即 $\rho_i(t) = \lambda_0 / \mu_i(t)$
$f(\lambda_0)$	Service_E 业务达到概率门限
D_i	AP_i 对 Service_E 的覆盖区域
\bar{D}_0	AP_0 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
$N_{i\max}(t)$	在 t 时刻位于区域 $D_i (i \neq 0)$ 内的 MUU 数量
$N_{0\min}(t)$	在 t 时刻位于区域 \bar{D}_0 内的 MUU 数量
$N_i(t)$	在 t 时刻由 AP_i 负责提供业务连接的 MUU 数量

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, 如图 3 所示. 这里定义当用户的 Service_E 业务达到概率大于门限值 $f(\lambda_0)$ 时, 则称该用户为 Service_E 的主要潜在用户(Main Underlying Users, MUU). 与已有方案不同, DLB-MSA 机制重

点关注 MUU, 是以 MUU 数量作为网络性能优化的主要参数, 这是由于已有方案中单纯讨论业务状态用户, 因而当业务分布发生突变或者 AP_i 资源利用率接近饱和时, 将会失去业务均衡的调节能力, 或者不得不以业务切换为代价来获取网络的负载均衡. 然而本文探讨潜在用户, 实际上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. 因此与已有方案相比, DLB-MSA 机制更加合理与有效.



图 3 Service_E 用户分类示意图

在 DLB-MSA 机制中, 对于 3G/WLAN 网络单元内的某个 MUU, 虽然在 t 时刻并没有使用 Service_E, 但是仍然根据该 MUU 的所在位置及其移动规律, 为它选择一个 AP_i . 当该 MUU 有 Service_E 业务到达时, 则通过预先选定的 AP_i 建立业务链接, 这里将所选 AP_i 称为该 MUU 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. 由于 DLB-MSA 机制中使用了 MUU \rightarrow 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.

4.2 DLB-MSA 机制实现方案

下面本文将探讨如何为 MUU 选择 first_AP. DLB-MSA 优化算法的输出参数 $N_i^*(t)$ 表示在 t 时刻选择 AP_i 作为 first_AP 的 MUU 数量最佳值. 该优化解是为 AP_i 覆盖范围内的 MUU 分配 first_AP 的重要指标, DLB-MSA 机制的算法流程详见图 4. 这里假设移动用户使用的都是多模智能终端 (MTT)^[2], 也就是说 MN 不仅具有接入 3G 与 WLAN 等网络的能力, 而且能够基于认知 (cognitive) 技术完成自我学习, 实现一些短期预测功能^[2].

首先, MN 在进入 3G/WLAN 网络单元的覆盖区域 D_0 后, 网络将为其分配一个接入标识 (Access Identifier, AID, 例如动态 IP 地址), 该 AID 用于在空闲状态下实现网络与 MN 的信令交换. MN 在获取 AID 后, 根据用户的通信习惯, 基于贝叶斯统计理论与分析方法^[2], 推断该用户在某个时段内 Service_E 的业务到达概率, 将其与网络广播的门限值 $f(\lambda_0)$ 相

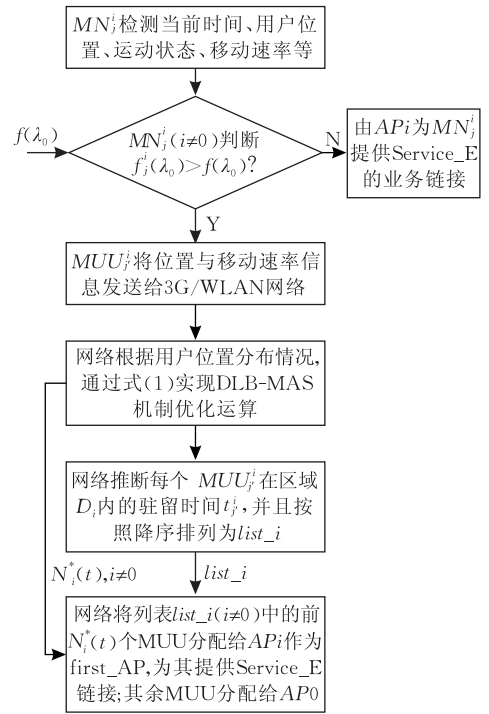


图 4 DLB-MSA 机制的算法流程图

比较, 确定该用户是否为 MUU. 这里用户 Service_E 业务达到概率是基于贝叶斯网推理算法. 以区域 D_i 内的任意一个 MN 为例 (记为 MN_j^i), MN_j^i 需要根据当前的时间、用户位置与运动状态, 通过贝叶斯网推理算法^[13], 判断用户 Service_E 的业务到达概率^[2], 作为贝叶斯估计算法的先验知识. 此外, MN 对该用户近期 Service_E 业务的到达与持续时间进行记录, 作为样本空间. 基于贝叶斯估计的最大后验概率计算公式, 根据上述数据计算用户在当前某时间段 $T_0 = \lambda_0^{-1}$ 内, MN_j^i 的 Service_E 业务达到概率, 记为 $f_j^i(\lambda_0)$.

然后, 如果 MN_j^i 确认自身为 MUU, 记为 MUU_j^i , 它将根据自身移动速度的历史数据, 使用速率平滑算法^[14], 对其在未来一段时间内的速度进行预测. 已有文献^[14-16]中提供了很多关于速度预测的算法. MUU 将自身位置与速度预测结果报告给为其分配 AID 的 AP. 根据 MUU 提供的信息, $AP_i (i \neq 0)$ 推断 MUU 在其业务覆盖区域 D_i 内的驻留时间 τ_j^i ^[14], 并且按照驻留时间对其进行分类与排序.

最后, ASR 根据 AP_i 提供的 MUU 信息, 通过式(1)的优化运算, 建立 MUU \rightarrow first_AP 映射. 将区域 D_i 内驻留时间较长的 $N_i^*(t)$ 个 MUU 定义其 first_AP 映射为 $MUU_{[N_i^*(t)]} \rightarrow AP_i$, 其余驻留时间较短的 $(N_{i, \max}(t) - N_i^*(t))$ 个 MUU 定义其 first_AP

其中 K 表示区域 D_i 内容纳 MN 数量的最大值(可以取为历史数据峰值), 令 $k=0, 1, 2, \dots, K$. \mathbf{A}_k 、 \mathbf{B}_k 、 \mathbf{C}_k 分别表示 (MSMN, KSMN) 的用户数量由 (k, j) 转化为 (k, j) 、 $(k, j+1)$ 、 $(k, j-1)$ 的状态转移矩阵, 这里 $j=0, 1, 2, \dots, K$, 详见式(5)~(7). 通过迭代运算, 可以得到该移动模型的稳态解, 即区域 D_i 内的

总用户数量以及移动节点速率状态的概率分布情况. 由于 DLB-MSA 机制中着重关注 MUU 的数量变化, 本文定义在 AP_i 单独覆盖区域内, MUU 数量在不同速率类别用户中所占的比例为 $(\gamma_{iM}(t), \gamma_{iK}(t))$, 该参数取值可以是根据经验值得到的拟合函数, 通常可定义为分段函数.

$$\mathbf{A}_k = \begin{matrix} (k,0) & (k,1) & (k,2) & \dots & (k,K) \\ \left(\begin{array}{cccccc} -\lambda_{11} - \lambda_{12} - k\lambda_{21} & \lambda_{12} & & & \\ \bar{\beta}_{2-1}\lambda_{22} & -\lambda_{11} - \lambda_{12} - k\lambda_{21} - \lambda_{22} & \lambda_{12} & & \\ (k,2) & 2\bar{\beta}_{2-1}\lambda_{22} & -\lambda_{11} - \lambda_{12} - k\lambda_{21} - 2\lambda_{22} & \ddots & \\ \vdots & & \ddots & \ddots & \\ (k,K) & & & K\bar{\beta}_{2-1}\lambda_{22} & -\lambda_{11} - k\bar{\beta}_{1-2}\lambda_{21} - K\lambda_{22} \end{array} \right) \end{matrix} \quad (5)$$

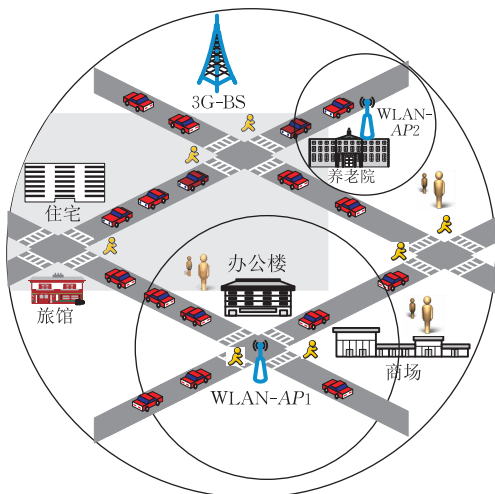
$$\mathbf{B}_k = \begin{matrix} (k+1,0) & (k+1,1) & (k+1,2) & \dots & (k+1,K) \\ \left(\begin{array}{cccccc} \lambda_{11} & & & & \\ (k,1) & \beta_{2-1}\lambda_{22} & \lambda_{11} & & \\ (k,2) & 2\beta_{2-1}\lambda_{22} & \lambda_{11} & & \\ \vdots & & \ddots & \ddots & \\ (k,K) & & & K\beta_{2-1}\lambda_{22} & \lambda_{11} \end{array} \right) \end{matrix} \quad (6)$$

$$\mathbf{C}_k = \begin{matrix} (k-1,0) & (k-1,1) & (k-1,2) & \dots & (k-1,K) \\ \left(\begin{array}{cccccc} (k,0) & k\bar{\beta}_{1-2}\lambda_{21} & k\beta_{1-2}\lambda_{21} & & & \\ (k,1) & k\bar{\beta}_{1-2}\lambda_{21} & k\beta_{1-2}\lambda_{21} & & & \\ (k,2) & & k\bar{\beta}_{1-2}\lambda_{21} & \ddots & & \\ \vdots & & & \ddots & k\beta_{1-2}\lambda_{21} & \\ (k,K) & & & & k\bar{\beta}_{1-2}\lambda_{21} \end{array} \right) \end{matrix} \quad (7)$$

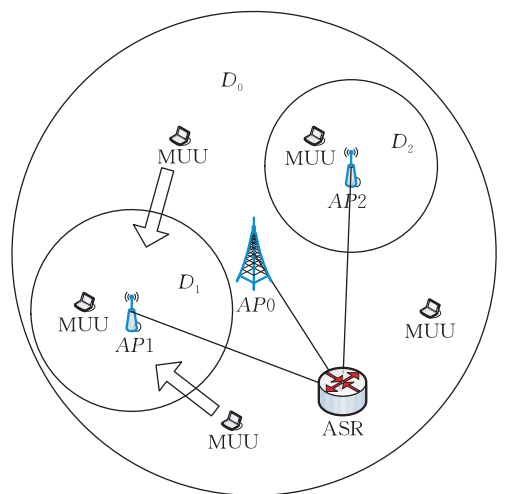
6 性能分析与仿真验证

不妨假定某个 3G/WLAN 网络单元如图 7(a) 所示, 图 7(b) 给出了该仿真场景的系统模型. 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.



(a) 3G/WLAN 仿真示例



(b) 仿真示例的系统模型

图 7 3G/WLAN 仿真示例及其系统模型

在上述仿真场景下,基于本文提出的移动模型对区域 D_i 内用户到达与驻留过程进行建模,模型参数及其取值如表 2 所示,令 $v_{00} = v_{10} = v_{20} = 50\text{km/h}$, 这里 λ_{xy} 的单位为 $\text{人}/\text{min}$. 基于 MM-2VCT 模型的仿真计算,得到区域 D_i 内的用户数量变化情况如图 8 所示. 可见在仿真时段内,3G/WLAN 网络单元内的 KSMN 与 MSMN 数量大幅度增加;区域 D_1 内的 MSMN 数量也不断增加,但是该区域内的 KSMN 数量在增加一段时间后基本持平;区域 D_2 内的移动用户总数量较少,KSMN 与 MSMN 数量

变化不大. 上述仿真结果与日常生活经验相符,移动用户数量的变化也与 3G、WLAN 的常规统计数据^[7,17] 基本吻合.

表 2 MM-2VCT 模型的仿真参数及其取值

仿真参数	参数值	仿真参数	参数值	仿真参数	参数值
λ_{11}^0	300	λ_{11}^1	32	λ_{11}^2	1
λ_{12}^0	600	λ_{12}^1	40	λ_{12}^2	1
λ_{21}^0	250	λ_{21}^1	20	λ_{21}^2	1
λ_{22}^0	600	λ_{22}^1	36	λ_{22}^2	1
β_{1-2}^0	0.1	β_{1-2}^1	0.05	β_{1-2}^2	0
β_{2-1}^0	0.3	β_{2-1}^1	0.9	β_{2-1}^2	0

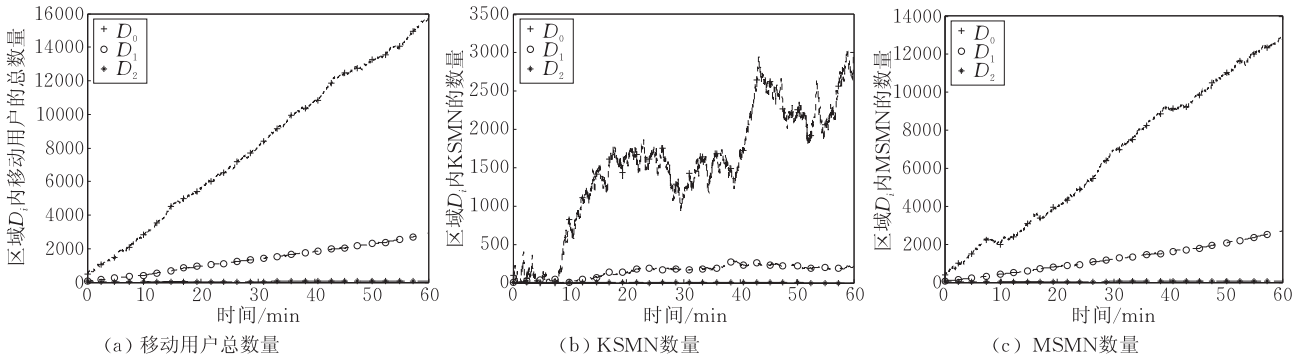


图 8 区域 D_i 内移动用户数量的变化曲线

下面基于 MM-2VCT 模型,对 3G/WLAN 网络中 DLB-MSA 机制的优化性能进行定量分析与仿真验证. 表 3 给出了仿真参数及其取值,其中参数 $(\gamma_{iM}, \gamma_{iK})$ 的取值可通过经验数据拟合后进行数学近似得到^[7,17]. 基于 MM-2VCT 仿真结果可以计算出 AP_i 单独覆盖区域内 MUU 数量的变化情况,如图 9(a) 所示. 然后,基于式(1)的优化运算可以得到 DLB-MSA 机制中以 AP_i 为 first_AP 的 MUU 数量平均值,如图 9(b) 所示. 图 10(a)、(b) 给出了使用 DLB-MSA 机制前后 AP_i 的业务阻塞概率变化曲线. 由图 9(a)、(b)、图 10(a)、(b) 之间的比较可以看出,当 $15 < t \leq 60$ 时,由于 D_1 中 MUU 数量大幅度增加,使得 AP_1 的负载过大,其业务阻塞概率明显提高,甚至达到 10%. 在使用 DLB-MSA 机制后, AP_0 作为 first_AP 为区域 D_1 内的更多 MUU 提供业务链接,使得 AP_0 与 AP_1 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. 可见该机制使得 AP_i 之间的业务负载与无线资源更加匹配,因而降低了 3G/WLAN 网络单元的总业务阻塞概率,提高了网络的总吞吐量,如图 11、图 12 所示. 尤其是在热点地区人员大量聚集的情况下,该机制的优化性能更加显著,可以使得网络吞吐量增加 10% 以上. 另外,该机制能够有效降

低用户业务的垂直切换次数. 例如该仿真中使用 DLB-MSA 机制后,使得 AP_0 与 AP_1 之间的平均累计业务切换次数由 32 降低为 21.

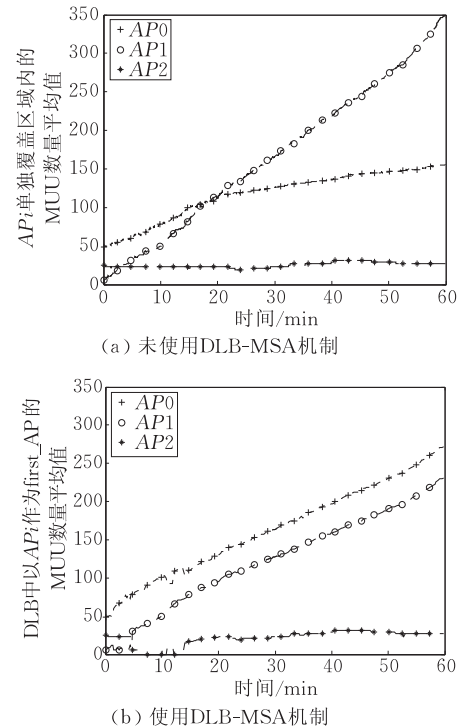


图 9 AP_i 负责提供业务链接的 MUU 数量变化曲线

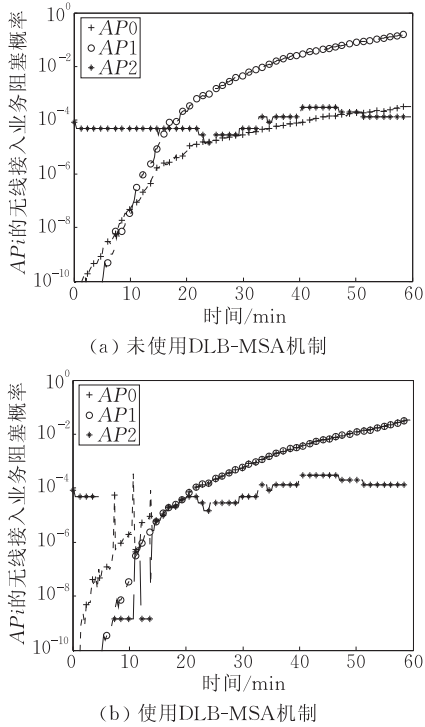
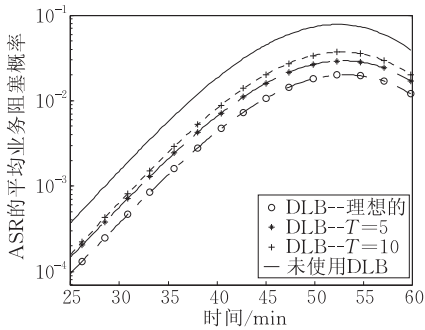
图 10 AP_i 无线接入业务的阻塞概率变化曲线

图 11 ASR 的业务阻塞概率变化曲线

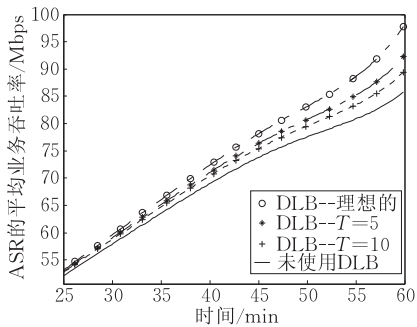


图 12 ASR 的业务吞吐量变化曲线

表 3 3G/WLAN 网络中 DLB-MSA 机制的仿真参数及其取值

	γ_{iK}	γ_{iM}	n_i	$\bar{\mu}_i$	B_i/MHz	$\lambda_0/\text{min}^{-1}$
AP_0	0.05	$1/(2t+10), t \in [0, 20]$ $1/(3t+10), t \in [20, 60]$	16	1.2	5	
AP_1	0.05	0.12	12	1.5	10	0.05
AP_2	0.05	0.08	6	1.5	10	

前文都是在理想情况下对 DLB-MSA 机制仿真得到的性能优化结果,但是在实际通信系统中,要求网络对用户状态进行实时监测与性能优化计算是不现实的.因此本文设定优化时间间隔分别为 5min 与 10min,重新对上述场景进行仿真.优化时间间隔带来的时延必然会造成网络性能的起伏变化,但是 3G/WLAN 网络单元的平均总体业务性能仍然得到了提高,详见图 11 与图 12.

DLB-MSA 机制是在现有的通信设施与资源配置条件下,尽可能地使每个 AP 业务负载与其通信资源相匹配.但是,随着网络以及用户规模的增大,可能会造成 AP_0 负载过大.这就需要调节 AP_0 的资源配置,或者根据实际情况重新划分 3G/WLAN 小区,来保证网络的负载均衡功能.

7 结 论

本文提出了一种新的基于终端移动与业务认知的动态负载均衡(DLB-MSA)机制,该机制重点关注业务潜在用户,通过动态优化的联合业务接入控制,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,实现网络的负载均衡.此外,为了探讨终端移动对无线网络通信性能的影响,本文创建了一种新的基于终端 2 维速率分类与状态转换的移动模型(MM-2VCT),并且给出了相应的 Markov 分析方法.该模型能够更准确的反映用户移动规律,通过比较简单的参数学习来逼近 3G/WLAN 网络中终端的群体移动特征.最后,基于该模型对 DLB-MSA 机制进行性能评估,通过仿真验证了该机制的有效性.

参 考 文 献

- [1] Stuchmann P, Zimmermann R. Toward ubiquitous and unlimited-capacity communication network; European research in framework program 7. IEEE Communications Magazine, 2007, 45(5): 148-157
- [2] Liu Qi, Li Cheng-Shu. Radio access management for multi-mode reconfigurable terminals. Acta Electronic Sinica, 2007, 35(10): 1833-1837(in Chinese)
(刘琪, 李承恕. 多模可重构终端的无线接入管理. 电子学报, 2007, 35(10): 1833-1837)
- [3] Liu Qi, LI Chengshu. Framework and access technology for integration between WLAN and B3G//Proceedings of the IET International Conference on Wireless Mobile and Multimedia Networks. Hangzhou, China, 2006: 396-399

- [4] Yu F, Krishnamurthy V. Optimal joint session admission control in integrated WLAN and CDMA cellular networks with vertical handoff. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2007, 6(1): 126-139
- [5] Ciobotaru B, Muntean G M. Sasha—A quality-oriented handover algorithm for multimedia content delivery to mobile users. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2009, 55(2): 437-450
- [6] Rhee I, Shin M, Hong S et al. On the Levy-walk nature of human mobility//*Proceedings of the Infocom*. Arizona, USA, 2008; 1-9
- [7] Thajchayapong S, Peha J. Mobility patterns in microcellular wireless networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2006, 5(1): 52-63
- [8] Zahran A H, Liang B. A generic framework for mobility modeling and performance analysis in next-generation heterogeneous wireless networks. *IEEE Communications Magazine*, 2007, 45(9): 92-99
- [9] Zahran A H, Liang B, Saleh A. Mobility modeling and performance evaluation of heterogeneous wireless networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2008, 7(8): 1041-1056
- [10] Ali R B, Pierre S. On the impact of soft vertical handoff on optimal voice admission control in PCF-based WLANs loosely coupled to 3G networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2009, 8(3): 1356-1365
- [11] Hasib A, Fapojuwo A O. Joint radio resource management over very tightly coupled heterogeneous networks for multi-mode reconfigurable terminals//*Proceedings of the IEEE 63rd Conference on Vehicular Technology*. Melbourne, Australia, 2006; 727-731
- [12] Zhou Jiong-Pan, Zhang Lin, Wang Yumei et al. *Communication Networks Theory*. Beijing: Posts & Telecom Press, 2009(in Chinese)
(周炯槃, 张琳, 望育梅等. *通信网理论基础*. 北京: 人民邮电出版社, 2009)
- [13] Zhang Lian-Wen, Guo Hai-Peng. *Introduction to Bayesian Networks*. Beijing: Science Press, 2006(in Chinese)
(张连文, 郭海鹏. *贝叶斯网引论*. 北京: 科学出版社, 2006)
- [14] Iera A, Molinaro A, Natalizio E et al. Call management based on the mobile terminal-peak velocity: Virtues and limitations in a two-tier cellular system. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2003, 52(4): 794-813
- [15] Islam M, Murshed M, Dooley L. A novel velocity-dependent directional probability function based call admission control scheme in wireless multimedia communications//*Proceedings of the 23rd IEEE International Conference on Performance, Computing, and Communications*. Arizona, USA, 2004; 77-83
- [16] Lee D, Hsueh Y. Bandwidth-reservation scheme based on road information for next-generation cellular networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2004, 53(1): 243-252
- [17] Balazinska M, Castro P. Characterizing mobility and network usage in a corporate wireless local-area network//*Proceedings of the 1st International Conference on Mobile Systems, Applications and Services*. California, USA, 2003; 303-316



LIU Qi, born in 1982, Ph. D. Her research interests include wireless communications and mobile communications.

YUAN Jian, born in 1965, Ph. D., associate professor, Ph.D. supervisor. His research interests include mobile In-

ternet and network security.

SHAN Xiu-Ming, born in 1944, professor, Ph. D. supervisor. His research interests include mobile Internet and signal processing.

SU Wei, born in 1978, Ph. D., lecturer. His research interests focus on future Internet.

ZHANG Hong-Ke, born in 1957, professor, Ph. D. supervisor. His research interests focus on future Internet.

Background

With the development of multiple radio access technologies, it can be visualized that heterogeneous networks are demanded to co-operate user-friendly in a seamless manner. 3G cellular networks and WLAN are both popular wireless networks in the worldwide. There are inherent characteristics at coverage and traffic capacity on each side. Additionally, with the multimedia service becoming main services in future com-

munications, the overburden of hotspots is further severe. The main target of integrated 3G/WLAN networks is to satisfy users' requirements and improve utilization efficiency of radio resources. Many worldwide organizations and projects have paid attention to researches on cooperative 3G/WLAN networks, including 3GPP-LTE, E2R, WINNER, ETP of FP7, etc. It is one of the main reasons that the disproport-

tional distribution of mobile users and services in time and space domain for performance reduction in hotspots, as well as radio resource waste in other districts. However, most researches are focused on active users with several assumptions on user mobility and session handoff, but losing sight of underlying users. And due to the uncertainty of users' mobility, it is difficult to draw an optimal mobility management mechanism for 3G/WLAN networks. Mobility model is very important in support of network management and performance analysis in next generation heterogeneous wireless networks. In this paper, mobility characteristics of underlying users are further studied. And a new mobility model is raised and analyzed. Furthermore, a new scheme on joint session

admission control is proposed on the basis of this mobility model. So dynamic load balance among heterogeneous access points is realized, and performance of 3G/WLAN network is improved.

This paper is partially supported by the National Basic Research Program (973 program) of China under grant No.2007CB307105, and by the National Natural Science Foundation of China under grant No.60903150. Those projects are focused on next generation of Internet, aiming to establish a generic management platform among heterogeneous networks. The paper proposed a mechanism on radio access control and mobility management, which is one branch of the generic management platform.