

# 无线通信网中的新型移动性模型

张翼德<sup>1</sup>, 冯 钢<sup>1</sup>, 薛 飞<sup>2</sup>

(1. 电子科技大学通信抗干扰国家级重点实验室 成都 610054; 2. 电子科技大学通信与信息工程学院 成都 610054)

**【摘要】**提出了无线蜂窝网中考虑突发事件影响的移动性模型, 该模型包括了用户由于受到突发事件影响而改变其移动模式的情况。针对高、中、低三种截然不同的用户移动模式, 根据理论分析提出了一种新型移动性模型, 新模型能够较好地模拟现实生活里不同移动环境中人们的移动行为。研究了移动对与系统容量有关的各种系统性能参数的影响。该文的结论可用于在无线蜂窝网中充分利用用户的移动特性调整系统提供QoS保障所涉及的配置参数, 并且动态地调整系统的切换呼叫请求的保留门限, 以提高系统的性能、容量和无线资源的使用效率。

**关键词** 无线蜂窝网; 移动性模型; 服务质量; 系统容量

中图分类号 TN91

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2009.03.004

## Novel Mobility Model in Wireless Networks

ZHANG Yi-de<sup>1</sup>, FENG Gang<sup>1</sup>, and XUE Fei<sup>2</sup>

(1. The State Telecom Anti-interference Key Lab, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054;

2. School of Communication and Information Engineering, University of Electronic Science Technology of China Chengdu 610054)

**Abstract** The movement pattern of mobile users is always a major concern in performance analysis of adaptive mobile services in wireless networks. In this paper, based on theoretical analysis we develop a new mobility model which takes into account the abrupt event influence (AEI), such as an emergency call bringing a pedestrian into a taxi without hanging up the call. The AEI renders the moving trails of mobile users more realistic than usual approaches for other random mobility models. Thus our mobility model is based on stochastic control processes for velocity and moving direction constraints. The relationship between mobility and quality of service (QoS) is investigated through simulation. Our analysis shows that a mobile cellular network should make use of user movement characteristics and dynamically adjust its reservation threshold of the handoff call requests to increase the system capacity and performances as well as the utilization of radio resources.

**Key words** mobile cellular network; mobility model; QoS; system capacity

下一代无线网络能够承载多媒体业务流——语音、图形图像、视频和数据。要达到这一目标, 有许多有待解决的关键技术问题, 如QoS保证、合理的功率控制算法、调度算法、信道分配方案等<sup>[1-4]</sup>, QoS保证是其中值得关注的问题之一。同时移动性对于无线蜂窝网是固有的一个最重要的特性。能够支持各种不同应用QoS要求的多业务无线蜂窝通信系统的系统性能受多种因素的影响, 其中移动性是影响显著因素之一。现阶段针对无线蜂窝网在移动性和系统性能方面还没有结论性的研究结论<sup>[5-6]</sup>。

本文提出了一个新的支持突发事件影响的移动性模型(MM-AEI), 考虑了用户由于受到突发事件影响而改变其移动模式的情况。针对研究移动性对与

系统容量有关的各种系统性能参数的影响, 提出了系统模型, 弥补了目前文献中一些假设条件过于简单或太理想化的不足<sup>[5,7]</sup>, 使之更符合无线蜂窝通信系统的实际情况。

## 1 系统模型

### 1.1 系统结构

本文考虑包含 $N$ 簇的由均质的小区组成的一个无线网络, 每簇由 $K$ 小区( $K$ 是重用模式)组成, 每个小区有 $C$ 个基本带宽单元(BBUs)或信道, 假定小区半径是 $R$ 。在每个小区中, 总的BBUs的一部分保留给邻近小区来的切换请求, 本文假定这部分是 $C_g$ 。由于真正的系统包含数以千计的小区, 建模非常难,

收稿日期: 2008-01-17; 修回日期: 2008-08-09

基金项目: 国家自然科学基金(60772142); “973”基金(2007CB3106040); 国家科技支撑计划(2008BAH30B00); 新一代宽带无线移动通信网科技重大专项(2008ZX03003-005)

作者简介: 张翼德(1977-), 男, 博士, 副教授, 主要从事无线通信网络、移动通信系统、跨层协议、无线网络多播技术及无线资源管理等方面的研究。

所以, 本文使用“越界反转”技术(wrap-around), 使所有的小区好像一直被放在蜂窝系统的中央内, 并且希望能通过这样的模型来抓取真正系统的本质特性。一个由49个小区组成、使用了“越界反转”技术的无线蜂窝网如图1所示。

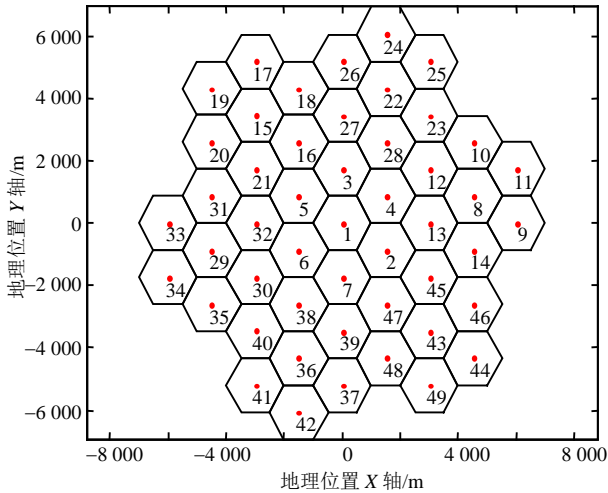


图1 无线蜂窝网络模型

为了探究移动性如何影响系统容量, 建模系统是必需的, 本文集中关注移动性模型, 因为移动性模型对系统性能有非常大的影响。除此之外, 无线传播模型和业务模型以及切换判据也将被建立。

## 1.2 业务模型

假定业务在所有的小区覆盖范围区域内均匀分布, 且在每个小区中, 新的呼叫到达请求和切换呼叫请求是独立的Poisson分布, 平均新呼叫到达率和平均切换呼叫到达率分别为 $\lambda$ 和 $\gamma$ 。新呼叫请求和切换呼叫的保持时间请求假定为指数分布, 平均呼叫保持时间为 $1/\mu = 1/\mu_1 = 1/\mu_n = 120$  s。这组假定的合理性已经被证明而且在文献中被广泛地使用<sup>[6, 8-10]</sup>。

## 2 支持突发事件影响的移动性模型

蜂窝网络分析中被广泛使用的移动性模型是“流体流程模型”<sup>[11]</sup>, 它要求分移动是速度和方向变化稀少的一次连续的运动。流体流程模型对在公路上行进的交通工具适当, 但是用来描述步行者运动模型是不适当的, 因为后者经常作一停一走的中断。另一个模仿移动用户如何在原地附近运动的方法是让其表现出一种“随机步行”的模式<sup>[7]</sup>, 每个移动用户在给定的时间内向任意一个方向移动任意的距离。虽然这个模型很简单, 但是它很大程度上不同于在一个实际的系统中移动用户如何在原地附近的移动模式。一般情况下, 移动用户通常以目的

地为目标进行移动或者旅行<sup>[5]</sup>, 因此, 移动速度和方向的变化由于实际物理上的制约在短时间内是有限的, 其现在的速度和移动方向可能和他过去的速度和移动方向有相互关系。

由于移动可以被定义为在呼叫保持时间期间内发生切换的平均次数, 所以本文中应用一个更精确的、基于理论分析的移动性模型。假定矢量 $(x, y)$ 代表用户的位置, 用户位置的变化使 $x$ 和 $y$ 的值被改变。因为用户的速度在两个连续抽样时间之间是有相互关系的, 所以必须建立相关系数 $\xi$ 的模型:

$$\xi = \exp(-\Delta t \cdot \omega \cdot \phi) \quad (1)$$

式中  $\Delta t$  是两个连续抽样时间之间的间隔;  $\omega$  决定移动性模式的记忆程度<sup>[9]</sup>, 是一个经验的系数;  $\phi$  是本文设计的“突发事件影响”因子, 描述用户移动性模式的突变。

由于用户的行为有随机的特性, 本文只关心用户运动方向的变动。相关连的连续用户位置 $x$ 和 $y$ 坐标服从非相关的正态高斯过程, 把用户的移动分解成 $V_x$ 和 $V_y$ , 分别代表 $x$ 坐标和 $y$ 坐标的速度, 而且 $V_x$ 和 $V_y$ 也共同决定了用户运动轨迹的方向:

$$V_x(n) = V_x(n-1) \cdot \xi + \sqrt{1-\xi^2} \cdot V_{\text{avg}} \cdot \chi \quad (2)$$

$$V_y(n) = V_y(n-1) \cdot \xi + \sqrt{1-\xi^2} \cdot V_{\text{avg}} \cdot \chi \quad (3)$$

式中  $V_{\text{avg}}$  为平均速度值;  $V_x(n-1)$ 和 $V_y(n-1)$ 定义用户现在的速度, 包括速度大小和方向;  $V_x(n)$ 和 $V_y(n)$ 是下次采样之前用户的速度大小和方向;  $\chi$ 是一个均值为0, 方差为1的非相关的正态高斯过程。本文的移动性模型基于高斯-马尔科夫移动性模型, 但是更集中关注用户前面的和现在的移动性之间的相互关系。

通过调整 $\xi$ 值和 $\chi$ 的分布, 模型可以描述不同的移动性模型。调整 $\xi$ 值是描述前面的和现在的移动性之间的记忆关系, 加入“突发事件影响”因子 $\phi$ , 还可以描述用户移动模式的突变。下面分别就低、中、高三种不同的移动模式, 举例说明本文的移动性模型的适应性。

### 2.1 低移动模式

当用户处在较繁华的商业地带或者城市中心时, 即处在城市微小区或微微小区中时, 由于交通的拥塞、街道的宽窄和一些商业活动的影响, 用户处于低移动模式中, 并且很可能是“行人”模式(pedestrian)或者在我国比较普遍的“自行车”移动模式。用户移动的特点是速度比较低, 移动方向不确定(如逛街购物、散步休息等), 用户前面的和现在

的移动之间没有什么特定的关系,但是由于用户行为有一定的指向性(如购物),实际中用户也不太可能在原地兜圈。

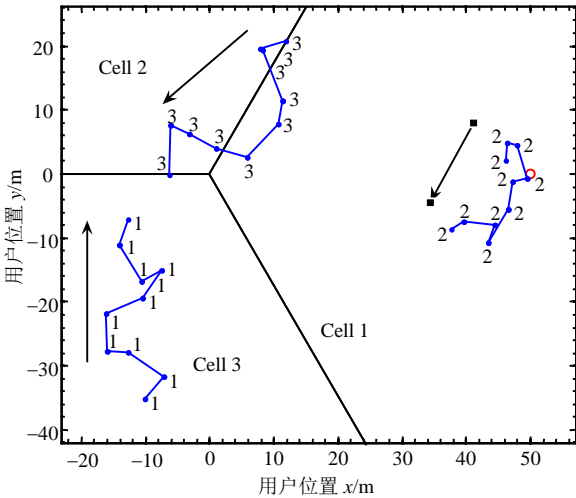


图2 微小区和低移动的情形

本文取  $\xi=1$  来描述这种移动模式的无记忆性。图2是仿真程序模拟低移动模式的示意图。取  $R=50\text{ m}$  作为小区半径,用户初始化速度平均值为  $V_{\text{avg}}=5\text{ m/s}$ 。其中箭头表示用户终端行进的大致方向,用户位置点旁边的数字是用户呼叫的编号,横、纵坐标表示以参考点(0,0)为原点的用户位置,参考点是3个小区同时交界的地方。

从图2可以看出,用户的移动没有特定的目标点,前后的行进方向没有太大相关性,但实际上用户也不太可能在原地“画圈”式地停留。本文的移动性模型较好地反映了真实的用户终端移动情况。

### 2.2 中移动模式

当用户处在城郊行进的车辆中,由于交通道路上车辆较多,用户处于中移动模式。用户的移动特点是速度比较适中,移动方向不会轻易改变,一般随交通道路的物理情况来改变移动速度的大小和方向,用户前面的和现在的移动之间有一定的记忆性关系。但是由于是在城市范围,实际情况下用户也不太可能一直保持直线。由于用户在城市范围内,很有可能经常出现某种突发事件影响用户改变其移动模式。如用户本来处于“行人”模式,忽然接到电话转为在车辆中继续通信状态。或者反过来,用户由中、高移动模式进入到低移动模式中,即用户进入到交通拥挤地带或离开速度较高的车辆转入步行状态。本文通过加入“突发事件影响”因子来描述这种用户移动模式的突变。

本文取  $\xi=0.3$  来描述这种移动模式的中等记忆

性。图3是仿真程序模拟中等移动模式的示意图。取  $R=600\text{ m}$  为小区半径,用户初始化速度平均值为  $V_{\text{avg}}=15\text{ m/s}=54\text{ km/h}$ 。

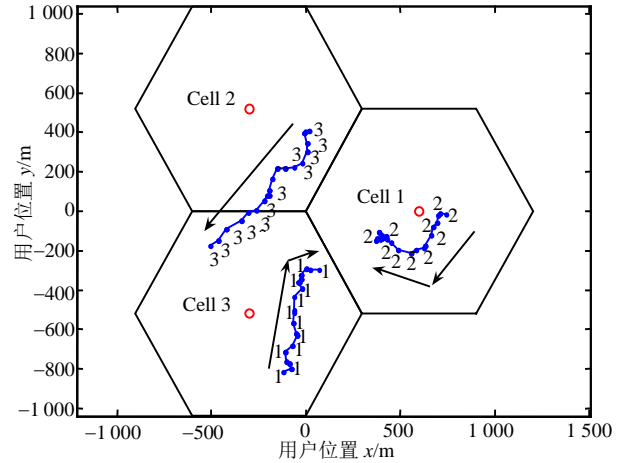


图3 中等小区和中移动的情形

从图3可以看出,用户移动速度比较适中,移动方向大致随交通道路的改变而改变,但是用户由于是在城市范围,不是一直保持直线。用户的移动有明显的目标点,前后的行进方向有比较大的相关性。如图中用户1和用户2,其行进方向是朝交通比较拥挤的市中心区前进的,而用户3有移动模式加快的趋势,表明用户3可能在离开交通拥挤地带。用户1的移动模式没有明显改变,但是用户2的移动模式显然遭遇了“突发事件”的影响,从中移动模式突然进入到低移动模式中,这是本文设定的“突发事件影响”因子起了作用,描述了用户移动模式的突变。

### 2.3 高移动模式

当用户处在市郊宏小区,或者在高速公路、铁路干线旁的室外巨型小区高速行进中的车辆中,用户处于高移动模式,其移动特点是速度非常高,移动方向不能够随意改变,只能随交通道路的物理情况改变移动速度的大小和方向。用户前面的和现在的移动之间有非常大的记忆性关系,而且此时的高速交通道路一般一直保持大体上的直线,除非在交叉路口,用户可能变化其移动方向,再继续高速直线运动。

本文取  $\xi=0.1$  来描述移动模式的高度记忆性。图4是仿真程序模拟高移动模式的示意图。取  $R=1\ 000\text{ m}$  为小区半径,用户初始化速度平均值为  $V_{\text{avg}}=25\text{ m/s}=90\text{ km/h}$ 。

从图4可以看出,用户移动速度非常快,移动方向只能随交通道路的改变而改变,并且一般一直保持大体上的直线运动。用户的移动有非常明显的目

标点, 前后的行进方向有非常大的相关性。如图中用户1和用户3, 行进方向几乎是一直朝一个方向前进, 几乎是高速直线运动。而用户2的移动模式显然是经历高速交通道路的交叉路口, 改变了其移动方向, 再继续作高速直线运动。反过来用户1再遭遇同一个高速交通道路的交叉路口时, 却没有改变其移动方向, 而是继续以原来的行进方向前行。这也是本文设定的“突发事件影响”因子起了作用, 描述了高速用户的移动方向也可能突然经历大的改变, 但是其移动速度变化不大。本文的移动性模型也比较好地模拟了实际中的这种用户移动情况。

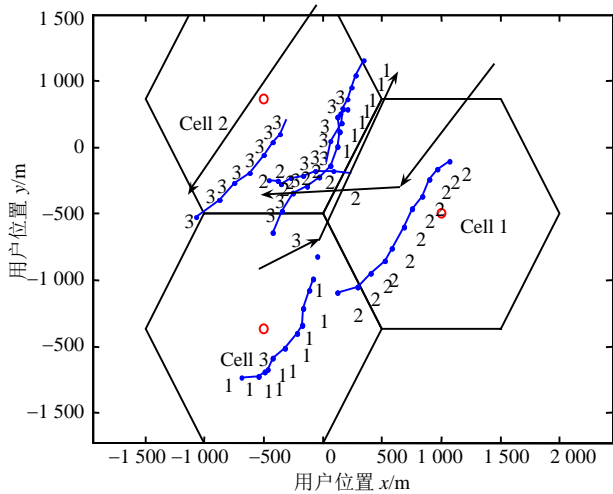


图4 宏小区和高移动的情形

### 3 模型验证

本文利用计算机仿真来验证新型移动性模型的有效性。基于新型移动性模型来验证移动性对系统容量的影响, 有利于深入理解影响蜂窝系统小区容量的各种参数, 提高蜂窝系统无线资源的利用率。

仿真环境的参数如表1所示, 仿真参数遵循前面给出的无线传播模型。如基于距离的传播衰减系数  $\Omega$  用于建模距离相关衰落或者叫做路径损耗, 然而阴影衰落的标准方差和互相关用来建模对数正态分布的阴影衰落。

本文使用“越界反转”(wrap-around)技术, 使离去的呼叫从系统覆盖范围的另一边返回。

本文考虑的系统性能测量参数是系统整体的带宽利用率(BUR)。阻塞切换呼叫并不表明对应的呼叫的终止。只有最后使链路质量恶化的一个不成功切换呼叫的终止才导致该切换呼叫中断(掉线)。

新的呼叫到达被假定是Poisson分布的, 平均到达率是每小区每秒  $\lambda_{avg}$  个呼叫, 呼叫是以相等的概率在小区中的任何地方产生<sup>[8]</sup>。假定服务率是指数

分布, 呼叫平均保持时间约为  $120\text{ s}^{[10]}$ , 这是服务率指数分布的数学期望。本文详细地分析了  $C_g$  的不同取值所产生的影响。取  $C_g=0\sim 6$ , 其他的参数配置如表1所示。本文给出  $C_g=0$  的情形, 目的是比较系统在有和没有保护信道(GC)机制之间的差别。

表1 用于仿真的参数

参数	值
系统中簇的总数 $N$	7
每个簇中的小区总数 $K$	7
总小区数	49
每小区总的基本带宽单元 (BBUs) $C$	变量
预留带宽门限 $C_G$	变量
小区半径 $R/\text{m}$	1 000
每小区中扇区数/sector	1
距离相关的传播衰减系数 $\Omega$	3.5
热噪声/dBm	-118
阴影衰落的标准方差/dB	6
阴影衰落的互相关	0.5
采样时间间隔/s	3
平均新呼叫到达率 $\lambda$	变量
平均切换呼叫到达率 $\gamma$	变量
平均呼叫保持时间/s	$1/\mu=1/\mu_i=1/\mu_{ii}=120$
平均速度 $V$	变量
速度互相关系数 $\zeta, V$	变量
切换迟滞 $H/\text{dB}$	3
呼叫中断 SIR 门限/dB	7,13

本文假定移动会改变, 平均速度从  $0\text{ m/s}$  跨越到  $50\text{ m/s}$ , 按照  $10\text{ m/s}$  的固定步长变化, 平均速度为  $0$  时代表静止的情形。从  $0\sim 180\text{ km/h}$  的用户的速度变化由此而来, 相当于  $3.6\text{ km/h}$  的固定步长变化。因为实际中, 用户很少完全维持“静止”状态, 所以本文在移动情形1中采用  $0.1\text{ m/s}$  来近似静止状态。表2详细表明了移动情形的变动。

表2 移动情形

移动情形	速度/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	速度/ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$
1	0.1	0.36
2	1.0	3.60
3	2.0	7.20
4	3.0	10.80
5	4.0	14.40
$N$	$N$	$N$
50	49.0	176.40
51	50.0	180.00

在每个移动情形中, 新的呼叫到达率由一个服



从二项式分布规律的随机实验所决定, 用来近似 Poisson分布。在每个移动情形仿真的开始, 系统中产生最大可接受的用户数, 这样可以研究在重负载情形之下整个系统的性能。 $\lambda$ 的平均取值是每个采样中(3 s)每小区1.631 1个呼叫, 等于65.244 Erlangs的业务强度(给定呼叫保持时间的平均数是120 s)。

图5所示是相对于移动性变化的系统整体的带宽利用率(BUR)。本文考察在重负载情形下整个系统的性能。因此BUR相对比较高, 从92%到88%, 平均值是90%。但是移动的增加对系统整体的带宽利用率(BUR)有非常大的影响, 较高的移动性意味着较低的BUR。当BUR在大的粒度(granularity)下随移动的增加逐渐减少时, BUR的取值在小粒度下起伏振荡(oscillates)。

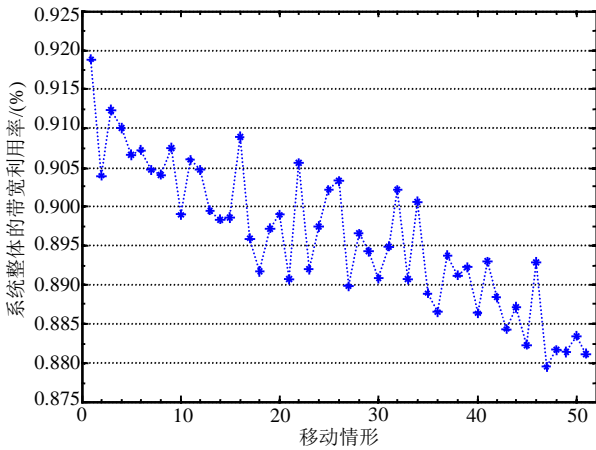


图5 系统整体的带宽利用率 (BUR)

$C_g$ 的取值范围是0~2, 本文希望揭示在重负载情形之下整个系统的性能。图6是由保护信道门限和移动性所引起的整体带宽利用率(BUR)的联合效果。较高的 $C_g$ 值意味着较低的BUR, 这类似于移动性的影响。因此BUR相对较高, 取值为92%~87%, 平均值是90%。图6中的两条仿真结果中的交叉(inter-cross)是由于使用了随机过程来产生新呼叫和切换呼叫到达, 以及所采用的切换处理的方式。

本文的分析部分基于以下的推论: 本文注意到移动性的增加提供了一个分配被释放的信道给往外离开的切换呼叫和新到达呼叫的机会; 也存在一可能性, 即一些呼叫可以在这个时段(往外的切换呼叫离开之后到新到达呼叫产生之前)内完成, 并且释放被占用的信道给从附近小区来的其他新的呼叫或切换呼叫请求。低的移动情形不能够有效地对抗有害的“热点”现象(hot-spot), 这种情况下不均匀的负荷分布很快地导致性能退化。在一个单一小区中发

生这种情况, 也很可能明显地减少系统的容量。另一方面, 较高的移动情形能够引入更多的切换, 但是它也提供了所有小区中更平均的业务分布的可能性。一般而言, 移动增加了系统容量。

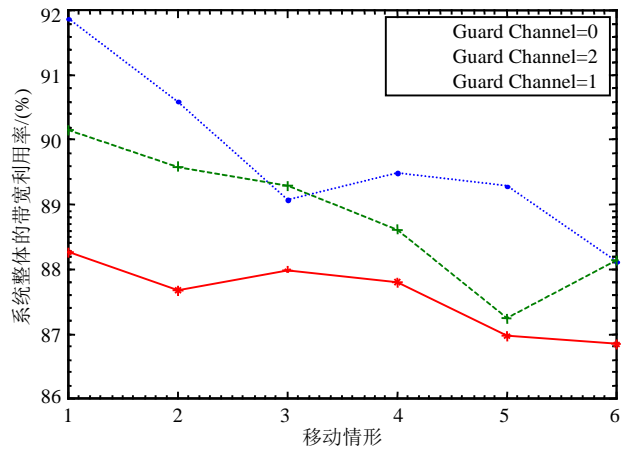


图6 系统整体的 BUR(不同  $C_g$  取值时)

### 4 结 论

本文分别针对高、中、低三种不同的用户移动性模式, 研究了移动性模型, 基于理论分析给出的 MM-AEI移动性模型能够较好地分别模拟现实生活中人们的移动行为。本文还研究了移动对与系统容量有关的各种系统性能参数的影响, 提出了计算机仿真的方法来验证提出的移动性模型。本文的结论还适用于在无线蜂窝网中充分利用用户的移动特性调整系统提供QoS保障所涉及的配置参数, 并且动态地调整系统的切换呼叫请求的保留门限, 以提高系统的性能、容量和无线资源的使用效率。

### 参 考 文 献

- [1] 冯 钢, 钟伟生, 张翼德. 超宽带无线网络媒体访问控制技术综述[J]. 电子科技大学学报, 2007, 36(5): 979-986.  
FENG Gang, ZHONG Wei-sheng, ZHANG Yi-de. The Survey on MAC Protocol of UWB Networks[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2007, 36(5): 979-986.
- [2] LI Xue-jun, CHONG Peter Han Joo, ZHAN Jie. Performance of fixed channel assignment for uplink transmission and direct peer-to-peer communications in multihop cellular networks[J]. Journal of Electronic Science and Technology of China, 2008, 6(3): 193-199.
- [3] ZHANG Yi-de, HU Jian-hao, FENG Gang. Cross-layer transport layer enhancement mechanism in wireless cellular networks[C]//IEEE The 5th International Conference on Broadband Communication, Networks and Systems, The 2nd International Workshop on Cooperative Wireless Communications and Networking (CONET 2008). London: UK, IEEE, 2008: 8-11.

(下转第384页)