

# 分层小区系统中预留资源的切换策略分析

王 莹, 王卫东, 张 平

(北京邮电大学无线新技术研究室, 北京 100876)

**摘 要:** 分层小区结构是增强覆盖, 提高系统容量, 为具有不同移动特性的用户提供更好服务质量的一种有效的解决方案. 本文讨论了具有分层小区结构的 CDMA(码分多址)系统中切换策略的性能, 分别用一维和二维的马尔可夫模型来分析微蜂窝和宏蜂窝中的状态. CDMA 的自干扰特性使得其系统容量与干扰水平相关, 因此我们采用状态空间无限的马尔可夫模型来进行分析. 另外, 考虑到切换用户的优先级问题, 以及具有不同移动特性的用户的公平性问题, 我们在系统中设置了多级接入门限, 同时分析了资源预留量对系统性能的影响.

**关键词:** 分层小区结构; CDMA; 切换策略; 资源预留

**中图分类号:** TN929. 533 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2002) 12A-1953-04

## Handover Analysis with Resource Reservation in Hierarchical Cell Structure

WANG Ying, WANG Wei-dong, ZHANG Ping

(WIT Labs, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

**Abstract:** Hierarchical cell structure is an effective solution to guarantee continuous coverage, to improve system capacity, and to provide better service for users with different mobility. This paper discusses CDMA (Code Division Multiple Access) system performance with Hierarchical cell structure and analyzes handover strategy with one-dimensional Markov model in micro-layer and two-dimensional Markov model in macro-layer. Capacity of CDMA system is related to interference level because of its self-interference characteristic. So the state space of Markov models adopted by us are unlimited. Moreover, considering priority of handover users and justice of users with different mobility, multi-level admission thresholds are set in system for different users. The impact of the amount of reserved resource on system performance is also analyzed in this paper.

**Key words:** hierarchical cell structure; CDMA; handover strategy; resource reservation

### 1 引言

随着移动通信系统的不断发展, 用户数目越来越多. 为了满足日益增长的用户需求, 并使移动网络的设计和优化更加灵活方便, 分层小区结构将是适用于未来系统的一种富有吸引力的有效方案<sup>[1]</sup>. 通常来说, 一个分层系统是由两层或多层蜂窝组成的, 覆盖区域最小的蜂窝放在分层系统的最底层. 这个系统可能是由微微蜂窝层和微蜂窝层所组成的. 这两层蜂窝都可以被宏蜂窝所覆盖. 在郊区和乡村主要设置宏蜂窝. 在市区宏蜂窝也可以覆盖微蜂窝未覆盖的区域, 而且可以为微蜂窝中的高速移动台提供服务. 无线通信系统中运用分层结构主要是为了提高系统容量, 减少盲区, 均衡系统负荷, 降低运营成本, 以及为不同移动速度的移动终端提供服务.

目前已经有许多文献对分层小区中的切换策略进行了分析<sup>[3-6]</sup>, 但是这些文献中分析的分层小区系统都为 FDMA/TDMA(频分多址/时分多址)系统. 在每一个小区中的信道数目是固定的. 不同于 FDMA/TDMA 系统, CDMA 系统是一个自干扰系统, 它的容量不是固定的, 它所接纳的用户数与当前系

统中的干扰水平密切相关. 文献[2]采用了状态空间无限的马尔可夫链来分析单层 CDMA 系统中的接入控制策略, 我们则采用类似的方法对分层小区系统中的切换策略进行分析. 我们分别采用状态无限的一维马尔可夫模型和二维马尔可夫模型来分析微蜂窝层和宏蜂窝层的系统性能.

### 2 系统模型

我们所研究的系统是一个均匀的系统. 整个系统被宏蜂窝层和微蜂窝层无缝地覆盖. 也就是说, 服务区内的任意一点都同时被宏蜂窝和微蜂窝所覆盖. 在一个宏蜂窝的覆盖范围内有  $N$  个微蜂窝. 宏、微蜂窝都采用 CDMA 系统, 但是使用不同的频点. 本文中假设: 1) 假设系统中压缩模式永远打开, 即每一个移动台都能同时知道两个频点的信道状况, 可以随时执行层间(异频)的切换; 2) 语音业务采用 ON-OFF 模型, 语音激活因子用  $\rho_v$  表示; 3) 通话时间服从负指数分布, 其均值为  $1/\mu$ ; 4) 假定用户速度已知, 即对每一个移动台都明确知道其速度类型, 是高速或低速. 高低速移动台的平均速度分别为  $V_f$ 、 $V_s$ ; 并且移动台在通话期间不改变其速度.

收稿日期: 2002-06-03; 修回日期: 2002-07-30

基金项目: 国家基金委重点项目资助 (No. 60132010)

## 2.1 传播模型

在微蜂窝环境下,本文假定信号沿视距传播,路径损耗模型采用双斜率模型.假定移动台缓慢移动或静止,传播损耗为双斜率路径损耗和对数正态阴影衰落两部分的乘积.这样对于与基站  $m$  距离为  $r$  的某一移动台来说,传播损耗  $L_{\mu}$  正比于  $L_{\mu}(r) = r^{\alpha_0}(1+r/g)^{\alpha_1}10^{\zeta_m/10}$ ,其中,  $r$  是移动台与基站之间的距离,  $\alpha_0, \alpha_1$  分别是基本路径损耗指数和附加路径损耗指数,  $g$  是断点(break point)距离,  $\zeta_m$  是阴影衰落,是一个均值为 0,标准方差  $\sigma = 8\text{dB}$  的高斯随机变量.

在宏蜂窝环境下,传播模型表示为  $L_M(r) = r^{\alpha_2}10^{\zeta_m/10}$ ,其中,  $\alpha_2$  为宏蜂窝环境下传播模型的路径损耗指数.

## 2.2 干扰分析

在我们所研究的分层系统中,宏蜂窝层和微蜂窝层采用不同的频段,因此在进行干扰分析时,对某一层,我们只考虑同频干扰,而将异频干扰忽略不计.以微蜂窝层为例,所有微蜂窝基站(包括目标基站)中激活用户所引起的干扰水平用来表示.由文献[2]知,变量  $Z$  近似为高斯分布,其概率密度函数为  $p_z(z)$ .由此可得到当系统中有  $n$  个用户时,一个呼叫请求(可以是新用户或切换用户)被阻塞的概率,  $P_b(n)$  为:

$$\left\{ \begin{aligned} P_b(n) &= \sum_{k=0}^{\lfloor T_{CAC}^{\mu} \rfloor} \binom{n}{k} \rho_v^k (1-\rho_v)^{n-k} \int_{T_{CAC}^{\mu}-k}^{\infty} p_z(z) dz \\ &\quad + \sum_{k=\lfloor T_{CAC}^{\mu} \rfloor+1}^n \binom{n}{k} \rho_v^k (1-\rho_v)^{n-k}, \\ &\quad \text{对于 } n \geq \lfloor T_{CAC}^{\mu} \rfloor + 1, \\ P_b(n) &= \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} \rho_v^k (1-\rho_v)^{n-k} \int_{T_{CAC}^{\mu}-k}^{\infty} p_z(z) dz, \text{ 其他} \end{aligned} \right. \quad (1)$$

上式中,  $T_{CAC}^{\mu}$  表示微蜂窝层中新用户的接入门限.在此,用一种粗略的方法来决定接入门限的取值,即先估计出系统的近似容量,再取一定的负载水平作为新用户的接入门限.有

$$T_{CAC}^{\mu} = N_{\max} \cdot \text{load} = \frac{(W/R_d)(1-NR^{-1})}{E_b/I_0} \quad (2)$$

上式中,  $N_{\max}$  是系统的最大容量;  $\text{load} = 1 - NR^{-1}$  为上行负载因子,  $E_b$  和  $I_0$  分别是每比特能量及总的干扰功率谱密度;  $W$ 、 $R_d$  分别是码片速率和信息速率;噪声增长率  $NR$  定义为总干扰接收功率与系统噪声的比值.为了方便起见,在本文的数学结果部分,我们均以 dB 形式给出参数,然后由式(2)计算出相应的接入控制干扰门限.

## 3 切换策略

通常采用资源预留策略来保证切换优先,资源预留策略是将每个小区在所有无线资源中预留一部分专供切换呼叫使用.在我们的切换方案中,切换呼叫、高速新呼叫和低速新呼叫具有不同的优先级.接入控制策略是基于干扰水平的,设宏蜂窝和微蜂窝中低速新用户的接入干扰门限分别为  $T_{CAC,s}^{\mu}$  和  $T_{CAC,s}$ ,宏、微层中分别为切换用户预留信道,其优先级高于新用户,干扰门限设为  $T_{CAC,h}^{\mu}$ 、 $T_{CAC,h}$ ,并且在宏蜂窝中为高速新呼叫预留资源,将其干扰门限设为  $T_{CAC,f}^{\mu}$ .我们将带有预留信

道的切换策略描述如下:(1)分层小区结构的系统能够为不同移动特性的用户提供服务,所以当新呼叫产生时,根据其速度类型分别导向宏蜂窝层或微蜂窝层;(2)对于低速新呼叫而言,如果微蜂窝中的干扰水平低于门限  $T_{CAC,s}^{\mu}$ ,则允许其接入;否则,拒绝接入,并将该呼叫转向相应的宏蜂窝.如果此时宏蜂窝中的干扰水平低于门限  $T_{CAC,s}^{\mu}$ ,则允许其接入;否则,呼叫被阻塞;(3)对于高速新呼叫而言,如果宏蜂窝中的干扰水平低于门限  $T_{CAC,f}^{\mu}$ ,则允许其接入;否则,拒绝接入,呼叫被阻塞.如果高速移动台接入到微蜂窝层,一方面高速移动台在微蜂窝层中的频繁切换增大了掉话的可能性,另外一方面由于高速移动台不及时切换所带来的干扰增大,使得微蜂窝中的掉话率升高.因此,我们只允许高速移动台接入到宏蜂窝层中;(4)对于微蜂窝中的低速切换用户,如果相邻微蜂窝中的干扰水平低于切换门限水平  $T_{CAC,h}^{\mu}$ ,则允许其切换;否则,将该切换转向相应的宏蜂窝.如果此时宏蜂窝中的干扰水平低于门限,则允许其切换,否则切换失败;(5)对于宏蜂窝中的高、低速切换用户,如果相邻宏蜂窝中的干扰水平低于门限  $T_{CAC,h}^{\mu}$ ,则允许其切换;否则切换失败.

由以上的切换策略可知,为了减少高速移动台对系统性能的影响,不允许高速移动台接入到微蜂窝层.同时,由于在宏蜂窝层中为高速移动用户专门预留了一定的资源,可以在一定程度上降低高速用户的阻塞率,从而保证了对高低速用户处理的公平性.

## 4 理论分析

### 4.1 状态分析

为了对切换策略的性能进行分析,并考虑到三种不同的优先级设置,考察如下的业务流.我们在服务区域内,每个微蜂窝覆盖范围内高、低速新用户的到达率分别为  $\lambda_{fp}^{\mu}$ 、 $\lambda_{sp}^{\mu}$ .由相邻微蜂窝切换到另一个微蜂窝的低速移动台到达率为  $\lambda_{sh}^{\mu}$ .宏蜂窝中低速新用户和低速切换用户的到达率分别为  $\lambda_{sm}^{\mu}$ 、 $\lambda_{sh}^{\mu}$ .对于宏蜂窝中的高速移动台,其新用户和切换用户的到达率分别为  $\lambda_{fm}^{\mu} = N\lambda_{fp}^{\mu}$ 、 $\lambda_{sh}^{\mu}$ .由文献[3]知,微蜂窝中低速移动台的平均信道占用时间,以及宏蜂窝中低速、高速移动台的平均信道占用时间分别服从参数为  $\mu_{sp}^{\mu}$ 、 $\mu_{sm}^{\mu}$ 、 $\mu_{fm}^{\mu}$  的负指数分布.

**4.1.1 微蜂窝层** 由于整个系统是一个均匀的系统,所以对于微蜂窝层,只要分析其中的一个微蜂窝即可.假设这个微蜂窝中的低速用户的数目为  $n$ ,可以用一个一维马尔可夫模型来描述它.对于传统的 FDMA/TDMA 系统,每个小区所分配到的信道数目是固定的.当一个小区中仍有空闲信道时,系统是不会拒绝用户接入的,此时该有限状态的马尔可夫链的状态转移概率只与系统中的用户到达率和信道占用时间有关.而对于 CDMA 系统来说,它是一个自干扰系统,其容量不是固定的,因此该一维马尔可夫模型的状态空间是不确定的.在某一系统状态下,新用户或切换用户的接入请求是以一定的概率被接受的.当前系统中的用户数目越多,新用户或切换用户被阻塞的概率就越大.接入控制后进入系统中的用户到达率是一个变量,它与当前的系统状态有关,是系统状态的函数.

因此,对于 CDMA 系统,传统的分析方法已经不再适用,我们采用状态空间无限的马尔可夫模型来进行分析,以便能得到正确的系统性能.这样,该一维马尔可夫模型的状态空间为  $\{0, 1, 2, \dots, n, \dots\}$ , 其状态转移图如图 1 所示.  $\lambda_{su}(n)$  是当前微蜂窝中已有  $n$  个低速用户的情况下,低速用户的到达率,包括新用户和切换用户两部分.

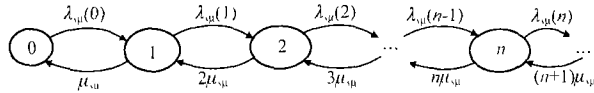


图 1 一维马尔可夫过程的状态转移图

$$\lambda_{su}(n) = \lambda_{soM}(1 - P_{sbM}(n)) + \lambda_{hbM}(1 - P_{hbM}(n)) \quad (3)$$

上式中,  $P_{sbM}(n)$ 、 $P_{hbM}(n)$  分别表示当微蜂窝中已有  $n$  个用户时,低速新用户在被阻塞的概率以及切换用户在微蜂窝中的切换失败概率.该一维马尔可夫过程的稳态解如下:

$$P(n) = \frac{\prod_{i=0}^{n-1} \lambda(i)}{n! \cdot \mu_{su}^n} P(0), \quad n \geq 1 \quad (4)$$

$$P(0) = \left[ \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\prod_{i=0}^{n-1} \lambda(i)}{n! \cdot \mu_{su}^n} \right]^{-1} \quad (5)$$

实际中,  $n$  超过系统最大容量  $N^{\max}$  的概率是极小的,这些外围小概率的状态均可忽略不计,在求微蜂窝的稳态解时,可用来代替式(5)中的  $\infty$ ,以求得稳态解,此时求出的稳态解已经具有足够的精确度.由此,可得到微蜂窝中低速新用户的阻塞率以及切换失败率(切换用户被阻塞的概率)分别为:

$$P_{sbM} = \sum_{n=0}^{\infty} P_{sbM}(n) P(n), \quad P_{hbM} = \sum_{n=0}^{\infty} P_{hbM}(n) P(n)$$

**4.1.2 宏蜂窝层** 同样地,对于宏蜂窝层,只要分析其中的一个宏蜂窝即可.宏蜂窝中有高、低速两类移动台,因此用一个二维的马尔可夫模型来进行分析.用二维矢量  $\{(n_f, n_s)\}$  来表示该二维马尔可夫过程的状态空间,  $n_f, n_s$  分别表示宏蜂窝中高速和低速移动台的数目.此二维马尔可夫过程的状态空间也是无限的,其状态转移图如图 2 所示.图 2 中  $\lambda_{fM}(n_f, n_s)$ 、 $\lambda_{sM}(n_f, n_s)$  分别为宏蜂窝在状态  $(n_f, n_s)$  下高、低速用户的到达率,同样包括新用户和切换用户两部分,表示如下:

$$\lambda_{fM}(n_f, n_s) = \lambda_{foM}(1 - P_{fbM}(n_f + n_s)) + \lambda_{fbM}(1 - P_{hbM}(n_f + n_s)) \quad (6)$$

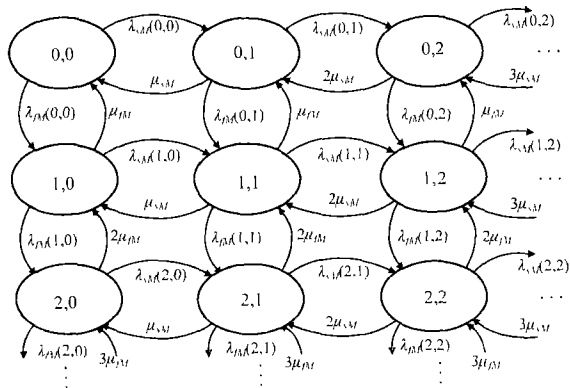


图 2 宏蜂窝中二维马尔可夫过程的状态转移图

$$\lambda_{sM}(n_f, n_s) = \lambda_{soM}(1 - P_{sbM}(n_f + n_s)) + \lambda_{sbM}(1 - P_{hbM}(n_f + n_s)) \quad (7)$$

上式中,  $P_{fbM}(n_f + n_s)$ 、 $P_{sbM}(n_f + n_s)$ 、 $P_{hbM}(n_f + n_s)$  分别表示当宏蜂窝中已有  $n_f + n_s$  个用户时,高、低速新用户在宏蜂窝中被阻塞的概率以及切换用户在宏蜂窝中的切换失败概率.该二维马尔可夫过程的稳态方程如下:

$$\begin{aligned} & [\lambda_{sM}(n_f, n_s) + \lambda_{fM}(n_f, n_s) + \mu_{sM} \cdot n_s + \mu_{fM} \cdot n_f] \cdot P(n_f, n_s) \\ & = \lambda_{sM}(n_f, n_s - 1) P(n_f, n_s - 1) I(n_s > 0) \\ & \quad + \lambda_{fM}(n_f - 1, n_s) P(n_f - 1, n_s) I(n_f > 0) \\ & \quad + \mu_{sM}(n_s + 1) P(n_f, n_s + 1) \\ & \quad + \mu_{fM}(n_f + 1) P(n_f + 1, n_s) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\sum_{n_f} \sum_{n_s} P(n_f, n_s) = 1 \quad (9)$$

其中  $I(\cdot)$  为标志函数,当括号内的条件为真时,该函数值为 1,否则为 0.尽管该二维马尔可夫过程的状态空间无限,仍然可以通过截掉外围小概率的状态来求稳态解<sup>[2]</sup>.

由稳态解可以得到宏蜂窝中低速、高速新用户的阻塞率以及切换失败率分别为

$$P_{sbM} = \sum_{n=0}^{\infty} P_{sbM}(n) \sum_{n_f+n_s=n} P(n_f, n_s),$$

$$P_{fbM} = \sum_{n=0}^{\infty} P_{fbM}(n) \sum_{n_f+n_s=n} P(n_f, n_s),$$

$$P_{hbM} = \sum_{n=0}^{\infty} P_{hbM}(n) \sum_{n_f+n_s=n} P(n_f, n_s)$$

## 4.2 系统性能

为了评价切换策略是否完善,通常通过 1) 新呼叫阻塞概率; 2) 切换失败概率这两个性能指标来衡量系统性能.

**4.2.1 新呼叫阻塞概率** 对一个低速新用户而言,只有当相应的微蜂窝和宏蜂窝都拒绝其接入时,该用户才被阻塞,因此低速新用户的阻塞率为  $PBN_{slow} = P_{sbM} P_{fbM}$ ,对于高速新用户,其阻塞率就等于它在宏蜂窝中被阻塞的概率,即  $PBN_{fast} = P_{fbM}$ .对于整个系统而言,所有到达的新用户的平均阻塞率为

$$PBN = (\lambda_{soM} P_{sb} + \lambda_{foM} P_{fb}) / (\lambda_{soM} + \lambda_{foM}) \quad (10)$$

**4.2.2 切换失败概率** 切换失败概率是指由于切换请求被拒绝(阻塞)而导致切换失败的概率.类似的,对于微蜂窝中的低速切换用户,只有相应的微蜂窝和宏蜂窝都拒绝其切换请求时,才意味着此次切换失败.而对于宏蜂窝中的切换用户(无论高速或低速),其切换失败率就是它在宏蜂窝中的切换失败概率.对整个系统来说,平均切换失败概率为

$$PHBN = \frac{\lambda_{sbM} P_{hbM} P_{fbM} + (\lambda_{fbM} + \lambda_{sbM}) P_{hbM}}{\lambda_{sbM} + \lambda_{fbM} + \lambda_{fbM}} \quad (11)$$

## 5 数学结果及讨论

在这一部分,给出以上分析的数学.我们给定一个在微蜂窝覆盖范围内的总的用户到达率.其中,高速用户与低速用户的比例设为 1:5. CDMA 系统的码片速率为 1.2288M. 话音业务的  $E_b/N_0$  要求为 6dB,信息速率 9.6Kbps,平均通话时间为 90 秒,语音激活因子取 0.5. 宏、微蜂窝半径分别为 300 米和 600

米. 每一个宏蜂窝覆盖着 11 个微蜂窝. 高、低速移动台的平均速度为 12 米/秒和 2 米/秒. 传播模型参数取  $\alpha_0 = \alpha_1 = 2$ ,  $g = 300$ ,  $\alpha_2 = 4$ ,  $\sigma = 8\text{dB}$ . 在切换策略中, 宏、微蜂窝中的切换接入门限均取  $8\text{dB}$ \*, 微蜂窝中低速新用户的接入门限为  $7\text{dB}$ . 宏蜂窝中高速新用户的接入门限分别为  $7\text{dB}$ , 而低速新用户的接入门限分别取  $7, 6, 5, 4\text{dB}$  四个值, 以观察为高速新用户预留资源后的系统性能.

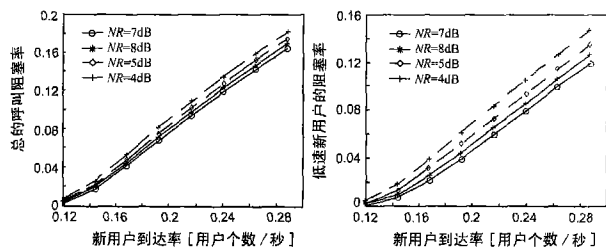


图 3 系统中总的呼叫阻塞率

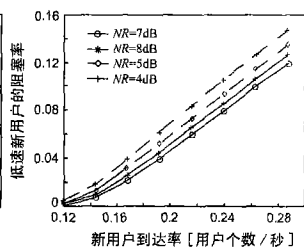


图 4 低速用户的阻塞率

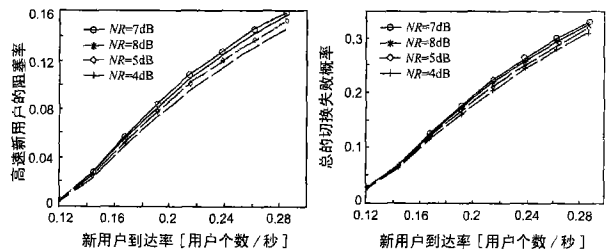


图 5 高速用户的阻塞率

在我们的结果中, 比较了在宏蜂窝层中为高速用户预留不同数量的资源的情况. 当宏蜂窝中低速新用户的接入门限  $NR = 7\text{dB}$  时, 高、低速用户在宏蜂窝层中具有相同的优先级. 图 3、4、5 分别为系统中新用户的平均阻塞率、低速用户阻塞率

和高速用户阻塞率. 由图 3、4、5 可以看到, 随着系统为高速用户预留资源数量的增加, 也就是宏蜂窝中的低速新用户的接入门限  $NR$  不断下降, 系统的平均阻塞率上升, 低速用户的阻塞率上升, 而高速用户的阻塞率则随之下降, 同时, 由图 6 可以看到, 平均切换失败概率下降, 这样降低了用户掉话的概率, 因此系统性能被提高了.

为了更好地考察具有不同移动特性的用户之间的公平性问题, 设定一个公平性因子, 定义为整个系统中低速用户被阻塞的概率与高速用户被阻塞的概率的比值, 即:

$$G = \frac{PBN_{slow}}{PBN_{fast}} \quad (12)$$

由图 7 可以看出, 当宏蜂窝中为高速用户预留了一定资源后, 提高了高速用户在宏蜂窝层中的优先级, 因子  $G$  增大, 降低了高、低速用户在系统中的不平等性.

## 6 结束语

本文分析了具有分层小区结构的 CDMA 系统的切换策

略, 不同于以往的二代系统, CDMA 系统的容量不是固定的, 它所接纳的用户数与当前系统中的干扰水平密切相关, 因此分别采用状态无限的一维马尔可夫模型和二维马尔可夫模型来分析微蜂窝层和宏蜂窝层的系统性能. 考虑到对不同移动特性的用户应该具有公平性, 因此在宏蜂窝层中为高、低速移动台分别设置了不同的接入门限. 分析结果表明, 按照不同的优先级, 预留一定数量的资源, 可以有效地提高系统的性能.

## 参考文献:

- [1] Alfred Baier, Uwe-Carsten Fiebig, et al. Design study for a CDMA-based third-generation mobile radio system [J]. IEEE JSAC, May 1994, 12(4): 733 - 743.
- [2] C-J Ho, J A Copeland, C-T Lea, G L Stuber. On the call admission control in DS/CDMA cellular networks [J]. IEEE Trans. On VT, 2001, 50: 1328 - 1343.
- [3] Bo Li, Chengke Wu, Fukuda A. Performance analysis of flexible hierarchical cellular systems with a bandwidth-efficient handoff scheme [J]. IEEE Transactions on VT, 2001, 50: 971 - 980.
- [4] Sung-hong Wie, Jae-shin Jang, Byung-cheol Shin, Dong-ho Cho. Hand-off analysis of the hierarchical cellular system [J]. IEEE Transactions on VT, 2000, 49: 2027 - 2036.
- [5] Jabbari B, Fuhrmann W F. Teletraffic modeling and analysis of flexible hierarchical cellular networks with speed-sensitive handoff strategy [J]. IEEE JSAC, 1997, 15: 1539 - 1548.
- [6] Maheshwari K, Kumar A. Performance analysis of microcellular for supporting two mobility classes in cellular wireless networks [J]. IEEE Transactions on VT, 2000, 49: 321 - 333.

## 作者简介:



王莹女, 1976 年 8 月生于陕西省西安市, 1997 年及 2000 年在西北工业大学获得学士学位和硕士学位, 方向分别为通信工程, 通信与信息系统, 目前为北京邮电大学电路与系统专业 2000 级博士研究生, 主要研究方向为 CDMA 系统中的无线资源管理和系统性能分析.



王卫东 1967 年 3 月出生于内蒙古包头市. 1989 年毕业于西安交通大学信息与控制工程系, 获工学学士学位; 1997 年毕业于北京科技大学自动化仪表专业, 获工学硕士学位; 2002 年毕业于北京邮电大学电路与系统专业, 获博士学位, 目前为北京邮电大学教师, 研究方向为无线资源管理, 无线网络性能分析.

\* 在这一部分, 为了方便起见, 我们均以  $\text{dB}$  形式给出接入门限所对应的  $NR$  参数, 然后由式(2)计算出相应的接入控制干扰门限.