

## 分布式虚拟群小区中的接入控制

王莹 刘宝玲 沈晓冬 张平  
(北京邮电大学电信工程学院 100876)

**摘要** 分布式多天线结构的虚拟群小区系统成为未来无线系统的一种解决方案。该系统具有灵活的组织结构,在增加频谱效率、提高通信质量上具有巨大潜力,并且能为各种新技术的采用提供广阔的发展空间。该文采用 Markov 链逼近的方法分析多天线情况下虚拟群小区系统的系统性能,对于基于干扰的接入控制策略下的系统阻塞率,切换失败率等给出了数值结果。研究结果表明分布式多天线系统有效地提高了上行系统性能。

**关键词** 无线通信, 分布式, 多天线, 虚拟群小区, 接入控制

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2006)11-2090-04

## Admission Control in Distributed Virtual Group Cell Systems

Wang Ying Liu Bao-ling Shen Xiao-dong Zhang Ping

(Telecommunication Engineering School, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

**Abstract** Distributed virtual group cell systems become a possible solution for future wireless communication systems, which has flexible structure and huge potential in terms of increasing spectrum efficiency and improving quality of communications. In this paper, a Markov model is adopted to analyze the performance of multi-antenna based virtual group cell systems. Numerical results, such as blocking probability, handoff failure probability etc., are given with interference-based admission control algorithm. The investigation shows that the uplink performance of this system can be improved greatly.

**Key words** Wireless communication, Distributed, Multi-antenna, Virtual group cell, Admission control

### 1 引言

未来无线多媒体通信系统追求在一定的频率带宽上传输几十兆到几百兆的高信息速率,能够与有线通信相抗衡的通信质量,能够提供足够的容量。为达到这一目标,多天线系统结构以及基于多天线收/发信号的联合处理技术在国际研究领域倍受瞩目。

现有蜂窝移动通信系统在满足未来无线多媒体通信对大容量、高性能的需求中存在很多问题。其中的一个重要方面是系统结构和切换问题。多天线(MIMO)系统由于在增加频谱效率、提高通信质量上的巨大潜力及其组织结构的灵活性,并且能为各种新技术的采用提供广阔的发展空间,而成为未来移动通信系统设计中广被看好的架构。基于多天线系统构架,针对蜂窝组网结构在小区面积减小时会导致的频繁切换问题,文献[1]提出一种全新的组网策略——群小区,以及基于该组网结构的新型切换策略——群切换。

本文针对这种多天线的虚拟群小区系统进行分析,讨论了这种新型体系结构下的干扰分布和接入控制策略,并运用 Markov 链方法详细分析了系统性能。研究结果表明这种新型的多天线结构能够提供更好的上行系统性能,提高了系统的容量。

### 2 系统模型

虚拟群小区系统由  $1+M$  根分布式的天线组成,每一个群小区的组成是动态变化的,如图 1 所示。对于用户来说,每

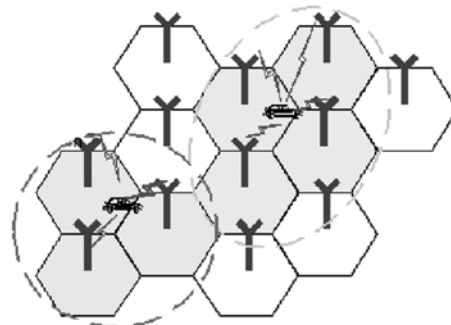


图 1 分布式虚拟群小区系统

Fig.1 MIMO-based virtual group cell system

一个群小区都不是固定设置的,而是由一个中央控制器,根据用户的位置、移动速度、业务需求等参数来动态决定的。由于用户移动性所带来的位置的不断变化,我们可以将构造群小区的过程看作一个窗口滑动的过程<sup>[1]</sup>,这个窗口中的小区构成了一个群小区。而这个窗口滑动的速度以及其大小、形状是可以变化的。比如说,可以根据移动终端速度的大小和方向变化。当移动终端速度比较快时,滑动窗可以大一些以跟随移动终端的移动,减少其切换。当移动终端速度比较慢时,滑动窗可以小一些以减少资源的浪费。当然,当移动终端运动方向产生变化时,滑动窗的方向也要跟随其变化。

2005-04-11 收到, 2005-09-21 改回  
国家自然科学基金(60302024, 60496312)和教育部博士学科点基金(20020013008)资助课题

因此, 对于一个滑动窗口大小为  $L$  的群小区, 实际上是针对某个具体用户而言, 由增益最大的  $L$  根天线所组成, 为该用户提供可靠通信和平滑的切换。因此, 对一个虚拟的群小区而言, 没有明确的边界存在。

用户均匀地分布在系统中。对于与第  $i$  个天线距离为  $r$  的移动台  $j$  来说, 其传播模型可用双斜率模型表示为  $G_{ij}(r) = r^{-\alpha_0}(1+r/g)^{\alpha_1} 10^{\zeta_m/10}$  [2],  $\alpha_0, \alpha_1$  分别为基本路损因子和附加路损因子。 $g$  是断点距离。 $\zeta_m$  为阴影衰落, 是一个均值为 0, 标准方差  $\sigma = 8\text{dB}$  的高斯随机变量。

假设在空中接口采用 DS-CDMA 技术 [3],  $W$  表示码片速率。假定系统中有  $K$  类用户:  $\{1, 2, \dots, K\}$ 。 $R_k, \rho_k, \gamma_k (1 \leq k \leq K)$  分别表示第  $k$  类用户的传输速率, 激活因子和目标  $E_b/I_0$ 。各类用户的通话时间均服从负指数分布, 其均值为  $1/\mu_k$ 。这里默认第 1 类用户为语音用户。

由于系统均匀分布, 其状态可由一根天线的状态获得, 表示为  $\mathbf{n} = (n_{1,1}, n_{1,2}, \dots, n_{1,L}, n_{2,1}, \dots, n_{K,L})$ , 这里,  $n_{k,l}$  是与当前天线通信的第  $k$  类用户的数目, 同时, 这些用户与天线间的路径增益在整个由  $L$  根天线组成的虚拟群小区中为自大至小排列为第  $l$  位。

### 3 干扰分析

对于传统的蜂窝系统, 研究时通常是以一个小区为目标, 分析系统的性能。然而, 在分布式多天线的虚拟群小区系统中, 一个群小区的构成是动态的, 它由路径增益最大的  $L$  根天线组成, 且上行采用最大比合并来提高性能。此时干扰分析不是像蜂窝系统那样, 分成本小区干扰和邻小区干扰, 而是分为天线内干扰和天线间干扰。因此我们的研究目标由小区转为了天线。 $A(i)$  表示第  $i$  根天线以及与之相邻的天线集合, 该集合中的天线向与第  $i$  根天线连接的用户提供服务。假设第  $i$  根天线上有  $N$  个用户与之相连,  $P_j$  表示第  $j$  个用户的发射功率。 $G_{ij}$  表示第  $i$  根天线与第  $j$  个用户间的路径增益。

为了获得分布式虚拟群小区系统中的干扰分布, 文中做如下假设: (1) 假设每根天线上接收的干扰功率分布是相同的, 该假设在用户均匀分布的情形下是合理的。(2) 当系统中接入用户较多时, 每天线上的干扰水平近似等于总接收功率水平。(3) 引入一个因子  $f$  来表示天线间干扰与天线内干扰的比值。天线间干扰是指那些由未与当前天线通信的用户所引起的干扰, 而天线内干扰则来自于当前天线上所连接的其他用户。文中用一个常量来表征因子  $f$ , 其典型值可以通过系统级仿真获取。(4)  $G'_{l,j} (l=1, 2, \dots, L)$  表示目标天线与第  $j$  个用户间的路径增益, 且其大小在该用户所处的虚拟群小区中为第  $l$  位。同时, 令  $\zeta_l = G'_{l,j}/G'_{1,j}$ , 该值大小与用户位置相关, 本文假设对同类型用户而言, 该值近似为常数。

当下述不等式成立时, 用户  $j$  的通信链路可建立:

$$\sum_{i \in A(i)} \frac{P_j G_{ij}}{I_i} = \sum_{i \in A(i)} \frac{\zeta_i P_j G_{ij}}{I_i} \geq \frac{\gamma_j}{W/R_j}, \quad j=1, 2, \dots, N \quad (1)$$

这里  $I_i$  表示第  $i$  根天线上接收的干扰功率。

因此,  $I_i$  又可被写为

$$I_i = (1+f) \sum_j P_j G_{ij} + P_N = (1+f) \sum_j \zeta_i P_j G_{ij} + P_N \quad (2)$$

$P_N$  为系统热噪声。

因此, 对于某根天线上的  $N$  个用户, 我们可写出  $N$  个独立的方程, 做简单的变换和推导后, 可得下述方程所描述的  $I_i$ 。

$$I_i = \frac{P_N}{1 - (1+f) \sum_{j=1}^N \left( \gamma_j / \left( W/R_j \sum_{i \in A(i)} \zeta_i \right) \right)} \quad (3)$$

由此, 虚拟群小区系统中的干扰功率  $I_i$  的均值可由式(3)直接计算得到。而对于其方差, 则难以推导出理论表达式。因此本文采用仿真来获取干扰分布的二次方差。我们采用了三次方程对干扰分布的二次方差进行了拟合, 其数据用在后文中的系统性能分析中。在计算机仿真的基础上, 发现分布式虚拟群小区系统中的干扰分布用 gamma 分布来表示更为合适, 其 pdf 模型表示如下:

$$f(x) = [1/(\beta^\alpha \Gamma(\alpha))] x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (4)$$

这里参数  $\alpha, \beta$  与干扰的均值和方差相关, 可以由  $\beta = \text{Var}[I]/E[I]$  和  $\alpha = E[I]/\beta$  计算得出。

### 4 接入控制

与传统的 CDMA 蜂窝网络类似, 在多线程虚拟群小区系统中上行也采用基于干扰的接入控制算法。为了简化分析, 接入准则仅考虑路径增益最大的天线上的干扰水平。当一个新用户或切换用户向目标的虚拟群小区(由增益最大的  $L$  根天线构成)发出接入请求, 则相应的接入点(AP)执行接入控制功能, 检查当前虚拟小区中路径增益最大的天线上的干扰水平。如果当前的干扰水平低于门限值, 则接受该请求; 否则拒绝该请求。

正如上文所提到的, 目标天线上的干扰功率  $I$  可近似为 gamma 分布, 其概率密度函数表示为  $f_I(x)$ 。则干扰水平低于门限  $T_{\text{CAC},k}^{n(h)}$  时, 新(切换)用户的请求被接受。 $T_{\text{CAC},k}^{n(h)}$  定义为第  $k$  类业务新(切换)用户的接入门限。对于同类业务而言, 切换用户的优先权高于新用户。

当系统状态为  $\mathbf{n}$ , 第  $k$  类业务新用户的阻塞率和切换失败概率分别表示为  $P_{b,k}(\mathbf{n}), P_{bh,k}(\mathbf{n})$ , 其大小与干扰分布以及业务的激活因子有关。

### 5 性能分析

#### 5.1 参数分析

在一根天线的覆盖范围内第  $k$  类新用户的到达率用  $\lambda_{k,n}$  表示。本文讨论每个群小区由两根分布式天线组成的场景。也就是说, 滑动窗  $L$  的大小等于 2。同时, 假定系统中有两

类业务存在, 语音和数据, 以简化我们的分析。于是, 系统状态可表示为  $(n_{v1}, n_{v2}, n_{d1}, n_{d2})$ 。

在多天线虚拟群小区系统中, 切换的概念不同于传统蜂窝系统。用户可以从一个区域平滑地切换到另一个区域。如图2所示, 只有当组成当前虚拟群小区的天线组合不同时, 才发生切换。在区域1, 用户将中心天线视作路径增益最大的天线。然而, 对于区域2中的用户, 中心天线则是路径增益第二大的天线。至于区域3里的用户则根本不与中心天线通信。由此, 文中将虚拟群小区系统中的切换分为两种类型。第一种情况是用户从区域3移动至区域2或反之。第2种情形则是用户从区域1移入区域2或反之。 $\eta_{ij}$ 表示用户从区域*i*切换到区域*j*的概率。

对于一个稳定均匀的系统, 区域1至区域2的切换概率等于2到1的概率, 可由下式计算:

$$\eta_{12} = \eta_{21} = (4/\sqrt{3}\pi)(V/R) \quad (5)$$

类似地, 区域2到3的切换概率为

$$\eta_{23} = \eta_{32} = (8/\sqrt{3}\pi)(V/R) \quad (6)$$

这里,  $R$  是天线之间的间距,  $V$  是用户的平均移动速度。切换概率的详细推导见附录。

对于一个移动用户, 将  $P_{v(d), hij}$  定义为语音(数据)用户从区域*i*移动到区域*j*, 且通信尚未结束的概率。我们有

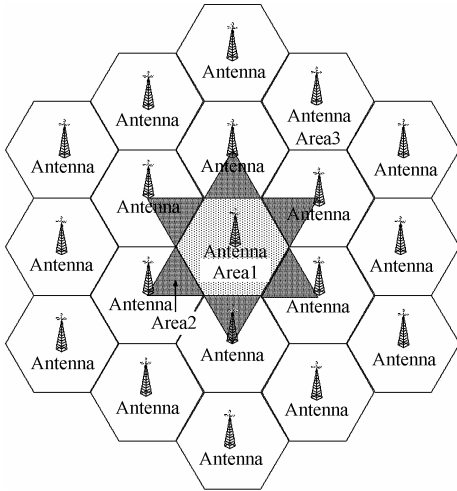


图2 虚拟群小区中的切换区域

Fig.2 Handoff area in virtual group cell

$$P_{v(d), h12} = \eta_{12} / (\mu_{v(d)} + \eta_{12}) \quad (7)$$

$$P_{v(d), h23} = \eta_{32} / (\mu_{v(d)} + \eta_{32}) \quad (8)$$

值得注意的是  $P_{v(d), hij}$  并不是切换请求概率, 而是移动台离开当前区域前往另一个区域, 且通话未结束的概率。

$\lambda_{v(d), hij}$  表示语音(数据)用户从区域*i*到区域*j*的切换到达率, 可由下式计算得出:

$$\lambda_{v(d), hij} = \lambda_{v(d), n} (1 - P_{b, v(d)}) P_{v(d), hij} \quad (9)$$

## 5.2 状态分析

由于系统中天线和用户都是均匀分布, 因此可由任意一根天线的性能来分析整个系统的性能。与传统蜂窝网络中的

分析不同<sup>[4]</sup>, 系统状态  $(n_{v1}, n_{v2}, n_{d1}, n_{d2})$  可以转移到状态  $(n_{v1} - 1, n_{v2} + 1, n_{d1}, n_{d2})$   $(n_{v1} + 1, n_{v2} - 1, n_{d1}, n_{d2})$   $(n_{v1}, n_{v2}, n_{d1} - 1, n_{d2} + 1)$  或  $(n_{v1}, n_{v2}, n_{d1} + 1, n_{d2} - 1)$ 。这是由于通话中的用户移动, 可能导致虚拟群小区的组成结构改变。当用户与某根天线通信, 也可能有状态的改变, 即当前天线由增益最大的变为增益次大的, 或反之, 都会导致目标天线干扰分布的变化, 这也是多天线系统较为特殊的一点。

基于以上分析, 各种可能的状态转移关系列出如下:

$$(n_{v1}, n_{v2}, n_{d1}, n_{d2}) \xrightarrow{\lambda_{v1}} (n_{v1} + 1, n_{v2}, n_{d1}, n_{d2}) \quad (10)$$

$$(n_{v1}, n_{v2}, n_{d1}, n_{d2}) \xrightarrow{\lambda_{v2}} (n_{v1}, n_{v2} + 1, n_{d1}, n_{d2}) \quad (11)$$

$$(n_{v1}, n_{v2}, n_{d1}, n_{d2}) \xrightarrow{\mu_{v1}} (n_{v1} - 1, n_{v2}, n_{d1}, n_{d2}) \quad (12)$$

$$(n_{v1}, n_{v2}, n_{d1}, n_{d2}) \xrightarrow{\mu_{v2}} (n_{v1}, n_{v2} - 1, n_{d1}, n_{d2}) \quad (13)$$

$$(n_{v1}, n_{v2}, n_{d1}, n_{d2}) \xrightarrow{\sigma_{v1}} (n_{v1} - 1, n_{v2} + 1, n_{d1}, n_{d2}) \quad (14)$$

$$(n_{v1}, n_{v2}, n_{d1}, n_{d2}) \xrightarrow{\sigma_{v2}} (n_{v1} + 1, n_{v2} - 1, n_{d1}, n_{d2}) \quad (15)$$

$$(n_{v1}, n_{v2}, n_{d1}, n_{d2}) \xrightarrow{\lambda_{d1}} (n_{v1}, n_{v2}, n_{d1} + 1, n_{d2}) \quad (16)$$

$$(n_{v1}, n_{v2}, n_{d1}, n_{d2}) \xrightarrow{\lambda_{d2}} (n_{v1}, n_{v2}, n_{d1}, n_{d2} + 1) \quad (17)$$

$$(n_{v1}, n_{v2}, n_{d1}, n_{d2}) \xrightarrow{\mu_{d1}} (n_{v1}, n_{v2}, n_{d1} - 1, n_{d2}) \quad (18)$$

$$(n_{v1}, n_{v2}, n_{d1}, n_{d2}) \xrightarrow{\mu_{d2}} (n_{v1}, n_{v2}, n_{d1}, n_{d2} - 1) \quad (19)$$

$$(n_{v1}, n_{v2}, n_{d1}, n_{d2}) \xrightarrow{\sigma_{d1}} (n_{v1}, n_{v2}, n_{d1} - 1, n_{d2} + 1) \quad (20)$$

$$(n_{v1}, n_{v2}, n_{d1}, n_{d2}) \xrightarrow{\sigma_{d2}} (n_{v1}, n_{v2}, n_{d1} + 1, n_{d2} - 1) \quad (21)$$

这里  $\lambda_{v1} = \lambda_{v, n} (1 - P_{b, v})$ ,  $\lambda_{v2} = \lambda_{v, n} (1 - P_{b, v}) + \lambda_{v, h32} (1 - P_{bh, v})$ ,  $\mu_{v1} = n_{v1} \cdot \mu_v$ ,  $\mu_{v2} = n_{v2} \cdot (\mu_v + \eta_{23})$ ,  $\omega_{v1} = \lambda_{v, h12} (1 - P_{bh, v})$ ,  $\omega_{v2} = \lambda_{v, h21} (1 - P_{bh, v})$ ,  $\lambda_{d1} = \lambda_{d, n} (1 - P_{b, d})$ ,  $\lambda_{d2} = \lambda_{d, n} (1 - P_{b, d}) + \lambda_{d, h32} (1 - P_{bh, d})$ ,  $\mu_{d1} = n_{d1} \cdot \mu_d$ ,  $\mu_{d2} = n_{d2} \cdot (\mu_d + \eta_{23})$ ,  $\omega_{d1} = \lambda_{d, h12} (1 - P_{bh, d})$ ,  $\omega_{d2} = \lambda_{d, h21} (1 - P_{bh, d})$ 。

根据这些状态转移关系可以进一步写出流平衡方程, 由于篇幅所限, 文中略去。

由上面的分析可知, 在这个多维马尔可夫模型中, 状态转移概率是当前系统状态  $n$  的函数, 而不是一个定值。这一点与传统的分析方法有很大的区别。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, 此时马尔可夫链的状态转移概率只与系统中的用户到达率与信道占用时间有关。而对于 CDMA 系统来说, 它是一个自干扰系统, 其容量与系统中的干扰水平相关。在某一种系统状态下, 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, 所产生的干扰越大, 新用户或切换用户被阻塞的概率也就越大。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  $(n_{v1}, n_{v2}, n_{d1}, n_{d2})$  的函数。由流平衡方程, 我们可以求得稳态解, 从而得到新用户的阻塞率以及切换失败率(切换用户被阻塞的概率)。

## 6 数值结果与分析

这一部分对数值结果进行讨论。文中考虑虚拟群小区的

滑动窗口大小为 2 的情形。同时假设系统中有语音、数据两种业务存在，则  $K=2$ 。天线间间距为 1000m，假设  $\lambda_1^n : \lambda_2^n = 5:1$  且  $\lambda_k^n : \lambda_k^h = 5:1$ 。其他相关的系统参数列于表 1 中<sup>[5]</sup>。

表 1 系统参数

Tab.1 System parameter		
业务	语音	数据
$E_b/N_0$	7.5dB	3.5dB
数据速率	12.2kbps	64kbps
激活因子	0.5	1
平均呼叫时间	90s	90s
码片速率	1.2288M	
新用户接入门限	8dB	
切换用户接入门限	9dB	

将新的语音用户的接入门限设置为 8dB。为了方便起见，这里用 NR[dB]参数来表征接入门限，实际的接入门限可以通过  $T_{CAC,k}^{n(h)} = P_N \cdot NR$  计算得出。图 3-图 5 比较了滑动窗口为 1 和 2 两种情形下的上行系统性能。可以看出，无论从阻塞率、切换失败率以及容量方面，由两天线组成的分布式虚拟群小区系统的上行性能均优于单天线系统性能。

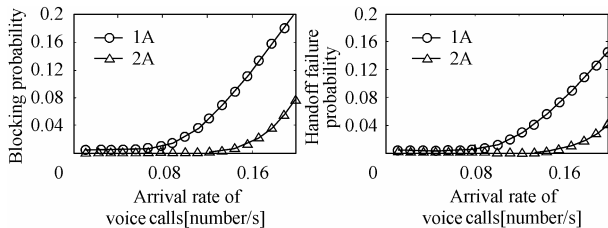


图 3 阻塞率与新用户到达率  
Fig.3 Call blocking probability vs. new voice call

图 4 切换失败率与新用户到达率  
Fig.4 Handoff failure probability vs. new voice call arrival rate

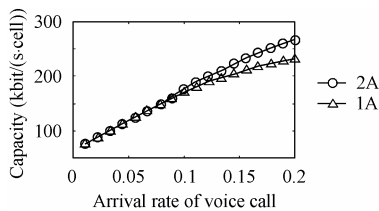


图 5 上行容量与新用户到达率  
Fig.5 Uplink capacity vs. new voice call arrival

### 7 结束语

未来无线多媒体通信系统追求在一定的频率带宽上传输几十兆到几百兆的高信息速率，能够和有线通信相抗衡的通信质量，能够提供足够的容量。因此，基于分布式多天线结构的虚拟群小区系统成为未来无线系统的一种解决方案，该系统在增加频谱效率、提高通信质量上具有巨大潜力，组织结构具有很大的灵活性，并且能为各种新技术的采用提供广阔的发展空间。

本文采用Markov链逼近的方法分析多天线情况下虚拟群小区系统的系统性能，对于基于干扰的接入控制策略下的系统阻塞率，切换失败率，系统容量等给出了数值结果。研

究结果表明这种新型的分布式虚拟群小区系统能够有效地改善上行系统性能，提高系统容量。

### 附录 移出率的推导

设  $\Gamma$  是一个封闭的曲线，面积为  $S$ ，周长为  $L$ ， $\Gamma$  内有  $N$  个用户，那么用户密度为

$$n = N/S$$

$\Gamma$  内流体的流速为  $v$ ， $P$  是  $\Gamma$  上的一点(确切地讲是  $\Gamma$  上的一个小微元)，在  $P$  点速度的方向可以是  $360^\circ$  任何方向的，并且各向概率相等。单位时间  $\Gamma$  上单位长度流出的用户数目为

$$\Delta N = n \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{v \cos \theta}{2\pi} d\theta$$

那么整个  $\Gamma$  上单位时间流出的用户数目为  $\Delta N \times L$ ，其中  $L$  为  $\Gamma$  的长度。

移出率：

$$\eta = \Delta NL/N = (vLN)/(\pi SN) = vL/(\pi S)$$

其中  $N$  为  $\Gamma$  中的当前用户数目， $S$  为  $\Gamma$  的包围面积， $L$  为  $\Gamma$  的周长， $v$  为流速。

### 参考文献

- [1] Tao Xiaofeng, Ni Li, Dai Zuojun, Liu Baoling, Zhang Ping. Intelligent group handover mode in multicell infrastructure. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2003. PIMRC 2003. 14th IEEE Proceedings on Volume 1, 2003, 1: 351 - 354.
- [2] Ho C J, Copeland J A, Lea C T, Stuber G L. On the call admission control in DS/CDMA cellular networks. *IEEE Trans. on VT*, 2001, 50: 1328 - 1343.
- [3] Ishikawa Y, Umeda N. Capacity design and performance of call admission control in cellular CDMA systems. *IEEE J. on Selected Areas in Communications*, 1997, 15(8): 1627 - 1635.
- [4] 王莹, 张静美, 张旗, 张平. CDMA网络中多媒体业务的接入控制. *通信学报*, 2004, 25(2): 149 - 155.
- [5] El-Hadidi M T, Elsayed K M, Abdallah M M. Performance analysis and estimation of call admission control parameters in wireless integrated voice and data networks. *Wireless Networks*, 2000, 11(4): 404 - 410.

王 莹： 女，1976 年生，副教授，主要研究方向为移动通信系统无线资源管理。  
 刘宝玲： 女，1965 年生，副教授，主要研究方向为移动通信系统网络技术。  
 沈晓冬： 男，1981 年生，硕士生，研究方向为移动通信系统无线资源管理。  
 张 平： 男，1959 年生，教授，博士生导师，主要研究领域包括未来移动通信系统的体系结构及关键技术研究。发表学术论文 100 余篇，学术专著四部。