

## 业务非均匀分布CDMA系统中一种基于公平性保证的 贪婪呼叫接纳控制策略

袁琴<sup>①</sup> 方旭明<sup>①②</sup>

<sup>①</sup>(西南交通大学移动通信省重点实验室 成都 610031)

<sup>②</sup>(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室 南京 210093)

**摘要:** 呼叫接纳控制(Call Admission Control, CAC)是移动通信系统资源管理的主要内容之一。它通过接纳或者拒绝一种用户服务请求,来保持系统的正常运行,是平衡用户服务满意度与系统资源最大化利用矛盾的主要手段。该文主要研究小区间业务非均匀分布时基于公平性保证的动态CAC策略,提出了一种新的CAC策略,可适用于多业务且有变速率(Variable Bit Rate, VBR)业务的情况。该策略采用贪婪算法,用户请求接入以全系统的预期信干比作为判决条件,从而实现了不同到达率小区之间阻塞率的均衡,保证了用户接入的公平性,对于实际系统的应用具有重要的意义。

**关键词:** CDMA; 呼叫接纳控制; 公平性; 多业务; 业务非均匀分布

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2008)07-1544-04

## A Fairness-Based Greedy Call Admission Control Strategy with Non-uniform Traffic Distribution in CDMA Systems

Yuan Qin<sup>①</sup> Fang Xu-ming<sup>①②</sup>

<sup>①</sup>(Provincial Key Laboratory of Mobile Communications, Southwest Jiaotong University Chengdu, 610031, China)

<sup>②</sup>(State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract:** Call admission control (CAC) is one of the most important parts of resource management in mobile communication systems. It keeps the system work stable by accepting or rejecting users' service requests. CAC solves the conflict between the service satisfaction of user and system resource utilization. This paper focuses on the dynamic CAC strategy providing guaranteed fairness in the CDMA systems with non-uniform traffic distribution among cells. A novel CAC strategy, which can support multi-traffic with different QoS requirements and VBR traffic, is proposed based on former research achievements. By adopting greedy algorithm, whether accepting or rejecting a new call request depends on the target Signal-to-Interference of the whole system. Therefore the equilibrium of blocking probability among cells with different arriving rates and the access fairness is guaranteed. It is very significant for practical system applications.

**Key words:** CDMA; Call admission control; Fairness; Multi-traffic; Non-uniform traffic distribution

### 1 引言

由于无线频谱是极为有限的资源,为了更加有效地利用无线资源,并保证用户的服务质量(Quality of Service, QoS),CDMA系统中的呼叫接纳控制(Call Admission Control, CAC)成为了无线资源管理的一个重要部分,近年来得到国内外众多学者广泛、深入的研究。通常, CAC 算法有:考虑业务之间优先级的 CAC<sup>[1]</sup>,考虑切换呼叫优先的 CAC<sup>[2]</sup>,利用用户移动信息的 CAC<sup>[3]</sup>等。这些算法具有一定的普遍意义,其思路也同样适用于 CDMA 系统。然而, CDMA 系统和 FDMA, TDMA 系统有许多不同。CDMA 系统不存在可

分给用户的有效信道固定数目,它的 CAC 更为复杂。CDMA 系统中的 CAC 策略主要有:基于信干比(SIR)分析的 CAC<sup>[4]</sup>,基于干扰分析的 CAC<sup>[5]</sup>,分别考虑上行和下行的 CAC<sup>[6]</sup>,以及对切换呼叫请求进行排队的 CAC<sup>[7]</sup>等。

CDMA 系统中传统的 CAC 策略一般都假设网络中各小区业务到达过程服从泊松分布,在空间上服从均匀分布<sup>[4,5]</sup>,且用户到达和离开均服从相同的规律。为了更具有实际意义,本文主要研究适用于小区间业务在空间上非均匀分布条件下的 CAC 策略。由于考虑业务非均匀分布比较复杂,已有的研究成果往往在业务上进行简化,即只考虑一类业务且为恒定比特率(Constant Bit Rate, CBR)业务<sup>[8-10]</sup>。本文在分析总结前人工作的基础上,提出了一种新的 CAC 策略,可适用于非均匀分布的多业务且有变速率(Variable Bit Rate, VBR)业务的情况。该策略通过采用贪婪算法,用户

2006-12-25 收到, 2007-09-24 改回

南京大学计算机软件新技术国家重点实验室开放基金(A200605)资助课题

请求接入以全系统预期信干比作为判决条件, 当且仅当所有小区都允许其接入时才允许接入, 实现了不同小区之间的业务阻塞率的均衡。

论文余下部分安排如下: 第 2 节给出了小区模型, 介绍了话音业务、可视电话业务、IPTV 业务、数据业务的建模; 第 3 节和第 4 节分别给出了相应的数学分析和本文提出的 CAC 策略; 所提策略的仿真结果在第 5 节给出; 最后是结束语。

## 2 系统模型

### 2.1 小区模型

假设系统采用 27 小区的模型, 各小区以螺旋方式排列<sup>[10]</sup>。系统的各个小区呈正六边形, 每个小区的基站位于正六边形的中心, 基站的天线是全向的。小区分布的拓扑结构如图 1 所示, 图中数字为小区标号。

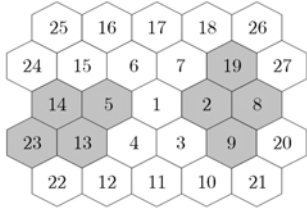


图 1 27 小区分布拓扑结构

每个移动用户选择传输增益最好的基站作为其控制基站, 采用理想功率控制<sup>[5]</sup>。各个用户的发射功率忽略多径效应, 只考虑路径损耗和阴影衰落, 路径损耗与距离的 4 次方成正比, 阴影衰落服从对数正态分布<sup>[11]</sup>。此外, 进一步假设: (1) 基站接收的背景噪声谱密度为  $N_0$ , 干扰功率谱密度为  $I_0$ ; (2) 每个小区内业务的到达都服从泊松分布, 各个小区的不同类型业务之间的到达相互独立。对应于图 1 的小区拓扑结构, 假设 A 区(小区 5, 13, 14, 23)和 B 区(小区 2, 8, 9, 19)的业务到达率比其它小区的业务到达率高。

考虑典型性, 本文考虑 4 类业务, 即话音、可视电话、IPTV 和其他数据业务<sup>[12]</sup>。对于话音业务, 采用 ON/OFF 模型; 可视电话业务采用离散状态、连续时间的马尔科夫过程<sup>[13]</sup>; IPTV 业务, 采用目前广泛应用的 MPEG-4 编码模型<sup>[14]</sup>; 数据业务采用自相似过程<sup>[15]</sup>。

## 3 数学分析

### 3.1 小区间平均干扰因子 $K_{ji}$

在 CDMA 系统中, 小区容量不仅与本小区用户干扰有关, 还与其他小区用户的干扰有关。以小区 1 中的基站为坐标零点建立坐标, 一个坐标为  $(x, y)$  的用户与小区  $i$  基站的距离为  $r_i(x, y)$ , 与小区  $j$  基站的距离为  $r_j(x, y)$ 。令  $n_j$  表示小区  $j$  中处于服务状态的用户数,  $A_j$  为小区  $j$  的面积。令  $X_i$  表示瑞利随机变量, 表示用户到小区  $i$  的路径衰落,  $X_i^2$  的均

值是路径的对数正态衰落, 即  $E[X_i^2 | \xi_i] = 10^{-\xi_i/10}$ ,  $\xi_i$  的均值为 0, 方差为  $\sigma_\xi$ 。小区  $j$  中所有用户对小区  $i$  的平均相对干扰为<sup>[11]</sup>

$$I_{ji} = e^{(\gamma\sigma_\xi)^2} \frac{n_j}{A_j} \iint_{C_j} \frac{r_j^m(x, y)}{r_i^m(x, y)} dA(x, y) \quad (1)$$

其中  $\gamma = \ln(10)/10$ 。

令  $K_{ji}$  表示小区  $j$  中的一个用户对小区  $i$  的干扰因子, 即  $K_{ji} = I_{ji}/n_j$ <sup>[10]</sup>, 于是得到  $K_{ji}$  为

$$K_{ji} = e^{(\gamma\sigma_\xi)^2} \frac{1}{A_j} \iint_{C_j} \frac{r_j^m(x, y)}{r_i^m(x, y)} dA(x, y) \quad (2)$$

$K_{ji}$  只与网络的拓扑结构有关, 只要网络的拓扑结构确定,  $K_{ji}$  就可以确定。若  $i=j$ , 则  $K_{ji}=0$ 。另外, 为了让小区的网路拓扑结构具有典型性, 把图 1 中 27 个小区看成整个网络中的一部分, 而不是一个独立的块, 从而使得计算得到的各个小区的  $k$  值得到了均衡。

### 3.2 总干扰的估计

假设一个 CDMA 系统有  $M$  小区, 每个小区中有  $N_1$  类 CBR 业务, 有  $N_2$  类 VBR 业务。系统中第  $i$  ( $i=1, \dots, M$ ) 小区的第  $k$  类业务处于服务状态的用户数为  $n_{i,k}$ , 第  $k$  类业务的比特能量为  $E_{b,k}$ 。对于第  $k$  类 CBR 业务, 用户信息传输速率为  $R_k$ ; 对于 VBR 业务, 用户在每个时刻的信息传输率在服务期间内是不断改变的, 即第  $i$  小区的第  $k$  类 VBR 业务的第  $l$  个用户在第  $n$  定时周期内的信息传输速率可以表示为  $R_{i,k,l}(n)$ 。

本文中考虑 4 类业务, 以  $k=1, 2, 3, 4$  分别表示话音业务、可视电话业务、IPTV 业务和数据业务。则小区  $i$  内一个新用户到达, 它在当前时刻, 假设为第  $n$  定时周期受到本小区内其他用户对它的干扰为

$$I_{\text{local}} = \alpha_v R_1 E_{b,1} n_{i,1} + \sum_{k=2}^4 \left\{ E_{b,k} \left[ \sum_{l=1}^{n_{i,k}} R_{i,k,l}(n) \right] \right\} \quad (3)$$

$I_{j,i}$  表示在第  $n$  定时周期内小区  $j$  对小区  $i$  的平均干扰值, 则

$$I_{j,i} = \alpha_v R_1 E_{b,1} (n_{j,1} K_{ji}) + \sum_{k=2}^4 \left\{ E_{b,k} \left[ \sum_{l=1}^{n_{j,k}} R_{j,k,l}(n) K_{ji} \right] \right\} \quad (4)$$

所以小区  $i$  受到的总的干扰值为

$$I_{\text{total}} = I_{\text{local}} + \sum_{j=1}^M I_{j,i} + N_0 W \quad (5)$$

由式(3)、式(4)、式(5)得第  $n$  定时周期内系统干扰为

$$I_{\text{total}} = \alpha_v R_1 E_{b,1} \left[ n_{i,1} + \sum_{j=1}^M n_{j,1} K_{ji} \right] + \sum_{k=2}^4 \left\{ E_{b,k} \left[ \sum_{l=1}^{n_{i,k}} R_{i,k,l}(n) + \sum_{j=1}^M \sum_{l=1}^{n_{j,k}} R_{j,k,l}(n) K_{ji} \right] \right\} + N_0 W \quad (6)$$

其中  $N_0$  是背景噪声谱密度,  $W$  是系统的扩频带宽。

### 3.3 接入门限的确定

在呼叫请求接入时, 只有各类业务的  $E_b/I_0$  都高于目标

$E_b/I_0$ 时才允许接入,否则拒绝。而当一个用户接入系统后,则假设在服务期间其 QoS 都能够得到保证。令系统中第  $k$  类业务的目标  $E_b/I_0$  为  $\Gamma_k$ 。若用户请求被接纳,则其在第  $n$  定时周期内  $E_b/I_0$  要满足:

$$\left(\frac{E_b}{I_0}\right)_{i,k} = \frac{(E_b/N_0)_k}{\frac{I_{\text{total}}}{W \times N_0} + 1} \geq \Gamma_k \quad (7)$$

令

$$[n_{i,1}] = \alpha_v R_1 (E_b/N_0)_1 \left[ n_{i,1} + \sum_{j=1}^M n_{j,1} K_{ji} \right] \quad (8)$$

$$[n_{i,p}] = (E_b/N_0)_p \times \left[ \sum_{l=1}^{n_{i,p}} R_{i,p,l}(n) + \sum_{j=1}^M \sum_{l=1}^{n_{j,p}} R_{j,p,l}(n) K_{ji} \right], \quad p = 2, 3, 4 \quad (9)$$

则式(7)变换为

$$\left(\frac{E_b}{I_0}\right)_{i,k} = \frac{(E_b/N_0)_k}{\frac{\sum_{p=1}^4 [n_{i,p}]}{W} + 1} \geq \Gamma_k \quad (10)$$

式(10)进一步变换为

$$\sum_{p=1}^4 [n_{i,p}] \leq \left[ \frac{(E_b/N_0)_k}{\Gamma_k} - 1 \right] W \quad (11)$$

定义式(11)的右式为  $C_k$ , 则

$$\left[ \frac{(E_b/N_0)_k}{\Gamma_k} - 1 \right] W = C_k \quad (12)$$

$C_k$  可以由已知条件求出。

于是, 语音业务、可视电话业务、IPTV 业务和数据业务的接入需要分别满足:

$$\sum_{p=1}^4 [n_{i,p}] \leq C_k, \quad k = 1, \dots, 4 \quad (13)$$

## 4 新的 CAC 策略

本文提出的新的 CAC 策略在第 3 节数学分析的基础上, 采用贪婪算法来保证用户接入的公平性, 即一个用户请求的接入以全系统预期信干比作为判决条件, 当且仅当所有小区都允许其接入时才允许接入, 否则拒绝。

该策略为基于接入门限  $C$  的 CAC 算法, 为各类业务设置了不同的接入门限值, 用户的接入门限计算值低于预先设置的门限值时允许接入。一个  $k(k=1,2,3,4)$  类用户到达, 首先对所有小区计算式  $n\_left = [n_{i,1}] + [n_{i,2}] + [n_{i,3}] + [n_{i,4}]$ ; 然后, 根据用户类型, 计算接入判决门限值  $C_k$ ; 最后, 判断式  $n\_left \leq C_k$  是否对所有小区成立, 成立则允许接入, 否则拒绝。

## 5 策略仿真

### 5.1 仿真参数

采用图 1 中的小区模型, 系统的扩频带宽  $W = 5\text{MHz}$ <sup>[5]</sup>, 背景噪声谱密度为  $N_0$ ,  $I_0$  为干扰功率谱密度, 且  $I_0/N_0 = 10\text{dB}$ <sup>[10]</sup>, 小区的半径为  $1732\text{m}$ <sup>[10]</sup>。各个小区间的用户非均

匀分布, A 区(小区 5, 13, 14, 23)和 B 区(小区 2, 8, 9, 19)中的业务量最大, 其他小区的业务量相对较小。语音业务在激活状态的信息传输速率  $R_v$  为  $12.2\text{ kbits/s}$ <sup>[5]</sup>, 可视电话业务的基本信息传输速率  $R_{vd}$  为  $9.6\text{ kbit/s}$ <sup>[12]</sup>。4 类业务的目标  $E_b/I_0$  值分别为  $\Gamma_1 = \Gamma_2 = \Gamma_3 = 5.6\text{dB}$ ,  $\Gamma_4 = 3.2\text{dB}$ <sup>[5]</sup>。

### 5.2 仿真结果与分析

仿真比较了采用贪婪策略前后的系统性能。采用贪婪策略前指的是采用传统 CAC 策略, 即新用户只要满足本小区信干比条件就成功接入。贪婪策略为第 4 节中的新的 CAC 策略。仿真结果如图 2-图 5 所示, 分别为语音业务、可视电话业务、IPTV 业务、数据业务在相同业务量情况下, 采用传统 CAC 策略和本文提出的新的 CAC 策略时的阻塞率对比图。

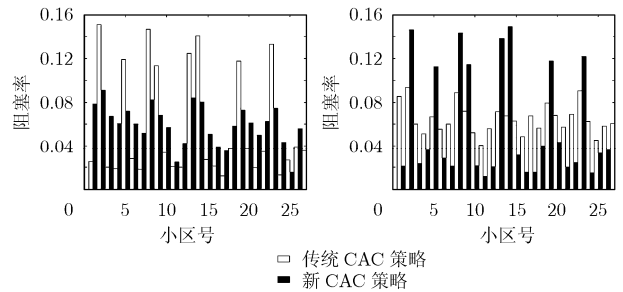


图 2 语音业务的阻塞率

图 3 可视电话业务的阻塞率

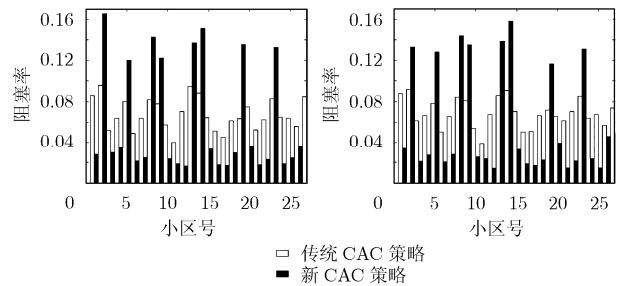


图 4 IPTV 业务的阻塞率

图 5 数据业务的阻塞率

从仿真结果可以看出, 传统 CAC 策略下, 由于小区 2、5、8、9、13、14、19、23 中的呼叫到达率最大, 所以阻塞率也相对其它小区要高, 不能保证不同到达率小区之间业务的公平性。采用本文提出的 CAC 策略后, 不同到达率小区之间阻塞率得到均衡。例如, 采用新策略后, 小区 7 中语音业务阻塞率由 0.01796 变为 0.05151, 小区 8 中语音业务阻塞率由 0.14677 变为 0.08203。这是因为新的策略采用贪婪算法, 一个用户请求接入, 以全系统的预期信干比作为判决条件, 即不只考虑本小区资源是否足够, 还要考虑请求接入的用户对其他小区增加的干扰, 如果会影响其他小区内用户的 QoS, 则即使本小区资源足够仍然拒绝接入。对于业务量大的小区, 呼叫请求接入时, 如果本小区有足够资源, 则周围业务量小的小区一般不会超载, 即业务量小的小区不会增加

业务量大的小区的阻塞率;对于业务量小的小区,呼叫请求接入时,即使本小区有足够资源,也很有可能因为周围业务量大的小区资源不够而被拒绝,于是业务量小的小区阻塞率增加。业务量小的小区接入的用户少了,对业务量大的小区干扰减小,则业务量大的小区阻塞率得到降低。

## 6 结束语

本文基于现有相关研究成果,以3G/B3G中业务情况为基础,建立了多业务模型,并提出了一种小区间业务分布不均匀时基于公平性保证的贪婪CAC策略,可适用于多业务且有VBR业务的情况,更具有实际意义。另外,该策略通过采用贪婪算法,实现了对不同到达率小区之间阻塞率的均衡,和传统策略相比,能更好地保证不同到达率小区之间业务的公平性。仿真结果表明,所提出的策略能够适应小区之间业务的非均匀分布,并能同时满足各个小区业务的公平性要求。

## 参 考 文 献

- [1] Wieselthier J E and Ephremides A. Fixed- and movable-boundary channel-access schemes for integrated voice/data wireless networks. *IEEE Trans. on Communications*, 1995, 43(1): 64-74.
- [2] Hong D and Rappaport S S. Traffic model and performance analysis for cellular mobile radio telephone systems with prioritized and nonprioritized handoff procedures. *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, 1986, 35(3): 77-92.
- [3] Cui W and Shen X M. User movement tendency prediction and call admission control for cellular networks. 2000 IEEE International Conference on Communications, New Orleans, USA, 2000, 2: 670-674.
- [4] Liu Zhao and Zarki M E1. SIR-based call admission control for DS-CDMA cellular systems. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1994, 12(4): 638-644.
- [5] Zhu Lidong, Ling Xiang, and Wu Shiqi. Call admission control in multiservices CDMA systems. International Conference on Circuits and Systems and West Sino Expositions, Chengdu, China, 2002, 1: 177-181.
- [6] Jeon W S and Jeong D G. Call admission control for mobile multimedia communications with traffic asymmetry between uplink and downlink. *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, 2002, 50(1): 59-66.
- [7] Bozinovski M, Popovski P, and Gavrilovska L. Novel strategy for call admission control in mobile cellular network. IEEE VTS-Fall VTC, Tokyo, Japan, 2000, 4: 1597-1602.
- [8] Tang Yat-Kwan, Misić J, Zhu Hua, and Chlamtac I. An on-line hot-spot detection scheme in DS-CDMA networks - single traffic type. Global Telecommunications Conference, Dallas, USA, 2004, 6: 3911-3915.
- [9] Kim Jae-Man, Jeong Eui-Hoon, and Cho Jung-Wan. Call admission control for non-uniform traffic in wireless networks. *Electronics Letters*, 2000, 36(1): 96-97.
- [10] Akl R G, Hegde M V, Naraghi-Pour M, and Min P S. Call admission control scheme for arbitrary traffic distribution in CDMA cellular systems. Wireless Communications and Networking Conference, Chicago, USA, 2000: 1: 465-470.
- [11] Akl R G, Hegde M V, Naraghi-Pour M, and Min P S. Flexible allocation of capacity in multi-cell CDMA networks. Vehicular Technology Conference, Washington University, 1999, 2: 1643-1647.
- [12] Zhang Dandan and Fang Xuming. Capacity analysis and call admission control scheme with imperfect power control in multimedia CDMA networks, International Conference on Communications, Circuits and Systems, Chengdu, China, 2006, 2: 1352-1356.
- [13] So Jae-Woo. Adaptive traffic prediction based access control in wireless CDMA systems supporting integrated voice/data/video services. *IEEE Communications Letters*, 2004, 8(12): 703-705.
- [14] Wan Peng, Du Zhimin, and Wu Weiling. A simple and efficient MPEG-4 video traffic model for wireless network performance evaluation, Wireless Communications and Networking Conference, Beijing, China, 2004, 3: 1738-1742.
- [15] Gordon J. Pareto process as a model of self-similar packet traffic, IEEE Global Telecommunications Conference, New Jersey, USA, 1995, 3: 2232-2236.

袁 琴: 女, 1984年生, 硕士生, 研究方向为下一代无线多媒体通信网络的资源管理。

方旭明: 男, 1962年生, 博士生导师, 主要研究方向为下一代无线通信网络、移动 Ad hoc 网络、无线 Mesh 网络、无线局域网等。