

基于 GoS 的功率控制 WCDMA 系统呼叫准入控制算法

刘家彬^{**} 朱世华^{*} 李文元^{*}

^{*}(西安交通大学电子与信息工程学院 西安 710049)

^{**}(北京石油化工学院自动化系 北京 102617)

摘要: 该文提出的基于 GoS 的呼叫准入控制(GoS-CAC)算法的判决门限综合了多种因素: 系统负荷、各业务服务质量 (QoS) 要求、信道质量、干扰水平、系统服务等级 (GoS) 以及用户的切换等等。GoS-CAC 算法与功率/数据速率调节机制巧妙结合, 具有判决速度快、精度高、门限自适应和简单易行等特点。仿真结果表明, 与传统 CAC 算法相比, GoS-CAC 算法的切换用户业务阻塞性能优约 10%, 系统 GoS 优 50%左右, 而中断性能优 57%以上。

关键词: 宽带码分多址, 呼叫准入控制, 功率控制, 切换, 自适应

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2005)05-0679-04

GoS-Based Call Admission Control Algorithm for Power Controlled WCDMA Networks

Liu Jia-bin^{**} Zhu Shi-hua^{*} Li Wen-yuan^{*}

^{*}(School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

^{**}(Department of Automation, Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing 102617, China)

Abstract The proposed Grade of Service based Call Admission Control (GoS-CAC) algorithm operates a threshold comparison, which integrates many factors that affect the decision accuracy of a CAC scheme such as system traffic loads, Quality of Service (QoS) requirements, channel quality, interference level, system GoS and user handoff, etc. The GoS-CAC algorithm cooperates subtly with a power/data rate adjustment scheme making able fast, accurate, adaptive threshold, simple and feasible decision-making about incoming calls. Simulation results show that the proposed algorithm outperforms traditional CAC schemes about 10%, 50% and above 57% in terms of handoff service blocking probability, system GoS and overall system dropping probability, respectively.

Key words WCDMA, Call admission control, Power control, Handoff, Adaptation

1 引言

宽带码分多址 (WCDMA) 移动通信系统是干扰受限系统^[1]。为了确保系统的安全和稳定, 必须控制接入系统的用户数量。呼叫准入控制 (CAC) 算法在保证各业务服务质量 (QoS) 要求的前提下, 尽可能多地接纳新用户, 使各业务阻塞概率、系统中断概率和服务等级 (GoS) 等指标达到满意的程度。准入一个不该接入的用户, 将使系统干扰增大, 造成已有用户通信中断, 对于正在通信中的用户不希望被中断; 而当一个用户本该准入系统而被拒绝时, 将造成阻塞, 阻塞一个切换用户意味着该用户通信中断。尽管从用户的角度看, 中断正在进行的通信比拒绝一个新用户接入系统更加令人烦恼, 但是如果系统阻塞概率过高的话, 将造成整个系统

效率低下, 无线资源利用率不高, 这同样是不允许的。

按实现方式, CAC 算法可分成两大类^[2]: 迭代算法^[3]和门限比较算法^[4]。迭代算法经反复测试、比较, 可得全局最优解; 但计算复杂、延时大, 很难适应多径、多业务环境, 实际系统中很少使用。门限比较算法简单易懂、速度快; 但精度没有前者高。目前, 对于实用的门限比较 CAC 算法的研究, 主要集中在怎样选择门限、提高算法的精度上。

对于干扰受限的 WCDMA 系统而言, 很自然会想到门限应与干扰有关。近年来有许多学者对此进行了大量研究^[2-6]。其中最基本的有基于信干比 (SIR-CAC)^[4]、基于干扰 (I-CAC)^[6]和基于业务负荷^[3]的 CAC 算法等, 这是因为 SIR 或业务负荷能够很好地反映干扰程度。但是, 他们却忽略了以下事实: 第一, 判决延时大。每当有新呼叫或切换用户请求接入系统时, CAC 算法都要用假定该用户接入系统后的接

收功率计算接入前的 SIR、干扰或者负荷, 然后与相应的门限值进行比较来决定是否接纳该用户, 计算引入了一定延时; 第二, 判决精度低。影响准入判决的因素很多, 比如各业务 QoS 要求、系统负荷、干扰水平、信道质量等等, 只有综合考虑了所有这些因素才能提高判决精度。但是, 现有 CAC 算法的门限往往只直接反映了其中的一个因素, 降低了判决精度。另外, 延时过大也间接降低了判决精度; 第三, 无线信道环境、用户的移动、干扰等变化无常。门限也应随时调整变化, 尤其是根据切换用户和新发起呼叫用户之间的比例调节门限, 才能使系统处于最佳状态。

本文提出的基于 GoS 的呼叫准入控制 (GoS-CAC) 算法试图解决以上问题, 适用于多业务功率控制 WCDMA 移动通信系统。理论分析和仿真结果表明, GoS-CAC 算法与其它 CAC 算法^[4,6]相比, 具有延时小、精度高、性能好等特点。

2 系统模型

考虑一 WCDMA 移动通信系统, 可支持 J 类业务, 所有业务共享相同的扩频带宽 W 。假设每个小区中第 j 类业务的有关信息如下: 共有 M_j 个移动用户与 B 个基站之一进行通信, 第 m 个用户的发射数据速率为 R_{jm} (考虑到发射数据速率调节机制, 同类业务不同用户的发射数据速率可能不同), 移动用户按最小路径损耗的原则选取基站。

作为 QoS 的一种度量, 基站 b 接收用户 m 的第 j 类业务的信号-干扰噪声功率比 (SIR) 为

$$\begin{aligned} \gamma_{jm} &\equiv \frac{(E_b/I_0)_{jm} R_{jm}}{W} \\ &= \frac{G_{jmb} P_{jmb}}{\left(\sum_{i=1}^J \sum_{n=1}^{M_i} G_{inb} P_{inb} - G_{jmb} P_{jmb} \right) + \sum_{c \neq b} \sum_{i=1}^J \sum_{n=1}^{M_i} G_{inc} P_{inc} + N_0 W} \\ &= \frac{S_{jm}}{Z_t - S_{jm}}, \quad \forall m \in \{1, 2, \dots, M_j\} \end{aligned} \quad (1)$$

其中, G_{inc} 和 P_{inc} 分别表示基站 c 所在小区的第 i 类业务的第 n 个用户与基站 b 的链路增益和发射功率; N_0 是热噪声功率谱密度; Z_t 是基站 b 的总接收功率; S_{jm} 是第 j 类业务的第 m 个用户在基站 b 的接收功率。

实际中, WCDMA 系统往往要进行功率/发射数据速率调节, 这时同类业务不同用户的 E_b/I_0 和发射数据速率 R 往往都不相同。但是, 如果我们按 SIR 的不同来划分不同业务, 则同类业务所有用户的平均 SIR 都趋于同一个目标值时, 才能使系统在满足所有用户各业务 QoS 要求的前提下, 总干扰功率最小, 从而容量最大^[5]。设 γ_j^* 为第 j 类业务的平均 SIR 目标值, 根据以上叙述, 并假设在理想功率/数据速率调节的条件下, 有 $\gamma_j \equiv \gamma_{jm}$, 从而 $S_j \equiv S_{jm} = Z_t \gamma_j^* / (1 + \gamma_j^*)$ 。这表明, 在理想功率/数据速率调节机制的作用下, 基站处同类业务不同用户的接收功率应该相等, 这是保证系统总干扰最小、容量最大的前提; 同时, 在总接收功率 Z_t 不变的前提下, 基站

处不同业务的接收功率存在一定的比例关系。比如, 业务 i 和业务 j , 它们的接收功率比满足

$$\rho_{ij} \equiv \frac{S_i}{S_j} = \frac{\gamma_i^* / (1 + \gamma_i^*)}{\gamma_j^* / (1 + \gamma_j^*)} \quad (2)$$

实际中由于信道时变、功率/数据速率调节存在误差、用户的移动等因素的影响, 同类业务不同用户的 SIR 和接收功率并不相同 (否则外环控制就没有用了), 但总的趋势却是如此。系统是在不断的动态变化之中趋于稳态的。这时, 利用式(2), 式(1)可表示为

$$\begin{aligned} \gamma_j &= \frac{(E_b/I_0)_{jm} R_{jm}}{W} = \frac{S_j}{(M_j - 1)S_j + S_j \sum_{n \neq j}^J \rho_{nj} M_n + Z_0} \\ \forall m &\in \{1, 2, \dots, M_j\} \end{aligned} \quad (3)$$

式中 $Z_0 = \sum_{c \neq b} \sum_{i=1}^J \sum_{n=1}^{M_i} G_{inc} P_{inc} + N_0 W$ 为其它小区干扰功率与本小区热噪声功率之和。

3 基于 GoS 的呼叫准入控制 (GoS-CAC) 算法

3.1 GoS-CAC 算法描述

假设小区 b 当前有第 j 类业务的用户 M_j 个, 平均接收功率为 S_j , 系统可满足所有用户所有业务的 QoS 要求。如果系统还可以再准入第 j 类业务的用户 N_j 个, 仍能满足所有用户的 QoS 要求, 则 N_j 被称为剩余容量^[4]。由于新用户的准入使干扰增大, 接收功率也相应增加, 记为 S'_j 。由式(2)和式(3)可得新用户接入系统前后满足目标 SIR 的关系式:

$$\gamma_j^* = \frac{(E_b/I_0)_{jm}^* R_{jm}^*}{W} = \frac{S_j}{(M_j - 1)S_j + S_j \sum_{n \neq j}^J \rho_{nj} M_n + Z_0} \quad (4a)$$

$$\gamma_j^* = \frac{(E_b/I_0)_{jm}^* R_{jm}^*}{W} = \frac{S'_j}{(M_j + N_j - 1)S'_j + S'_j \sum_{n \neq j}^J \rho_{nj} M_n + Z_0} \quad (4b)$$

这里假定新用户接入系统前后的 Z_0 保持不变。令 $S'_j = S_{j \max}$, 解式(4)可得剩余容量 N_j

$$N_j = \chi_j (1 - \kappa) (1 - S_j / S_{j \max}) \quad (5)$$

式中 $\chi_j \equiv 1 + 1/\gamma_j^*$, $\kappa \equiv \sum_{n=1}^J M_n / \chi_n$, $S_{j \max}$ 是第 j 类业务的最大可能平均接收功率。

本文提出的 GoS-CAC 算法根据式(6a)决定是否接纳 N_j 个切换用户, 给予其最大的接入机会; 而根据式(6b)决定是否接纳 N_j 个非切换用户。

$$N_{jth} = \lfloor N_j \rfloor = \begin{cases} \geq 1, & \text{接纳用户} \\ < 1, & \text{阻塞用户} \end{cases} \quad (6a)$$

$$N_{jth} = \lfloor f(p_1, p_2) \cdot N_j \rfloor = \begin{cases} \geq 1, & \text{接纳用户} \\ < 1, & \text{阻塞用户} \end{cases} \quad (6b)$$

其中 $\lfloor x \rfloor$ 表示对 x 下取整; $f(p_1, p_2)$ 是具有两个参数的某个函数, 参数 p_1 反映系统的 GoS, 参数 p_2 反映非切换用户所占比例, 两者都随时间变化, 刷新频率与功率/数据速率调节频率相同 (对于 WCDMA 系统, 功率控制频率为 1600Hz)。

3.2 最大可能平均接收功率 S_{jmax} 的确定

对于第 j 类业务而言, 如果接收功率 $S_j = S_{jmax}$, 说明系统已经饱和, 不能再准入第 j 类业务了。所以, S_{jmax} 的选择对系统的阻塞性能有很大影响。综合考虑系统的阻塞和中断性能, 我们取 $S_{jmax} \equiv \sum_{m=1}^{M_j} (G_{jmb} P_{jm,max}) / M_j$, 其中 $P_{jm,max}$ 是第 j 类业务第 m 个用户的最大发射功率。

3.3 函数 $f(p_1, p_2)$ 及其参数的确定

3.3 函数 $f(p_1, p_2)$ 及其参数的确定

函数 $f(p_1, p_2)$ 至少应满足以下 3 个条件: 能反映系统 GoS 的变化; 能体现系统中非切换用户的比例的影响; 易于实现。类似于文献[7], 定义系统 GoS 为

$$\text{GoS} \equiv \sum_{j=1}^J P_{jb1} + 10 \left(\sum_{j=1}^J P_{jb2} + P_o \right) \quad (7)$$

式中 P_{jb1} 和 P_{jb2} 分别是第 j 类业务非切换用户和切换用户的阻塞概率, P_o 是系统中断概率。由于一般认为中断业务 (或阻塞切换用户) 比阻塞非切换用户更加不能容忍, 所以给予其 10 倍加权。设系统目标 GoS 为 g^* , 当前 GoS 为 g , 取 $p_1 \equiv g/g^*$ (称为相对 GoS); 简单地设 p_2 为非切换用户所占百分比即可满足第 2 个条件; 考虑到计算复杂度, 本文采用经过适当平移变换了的 sigmoid 函数来满足最后一个条件。式(8)是其数学表达式, 其波形如图 1 所示。

$$f(p_1, p_2) = \left\{ 1 - \tanh \left[10 \left(p_1 / p_2 - 1 \right) \right] \right\} / 2 \quad (8)$$

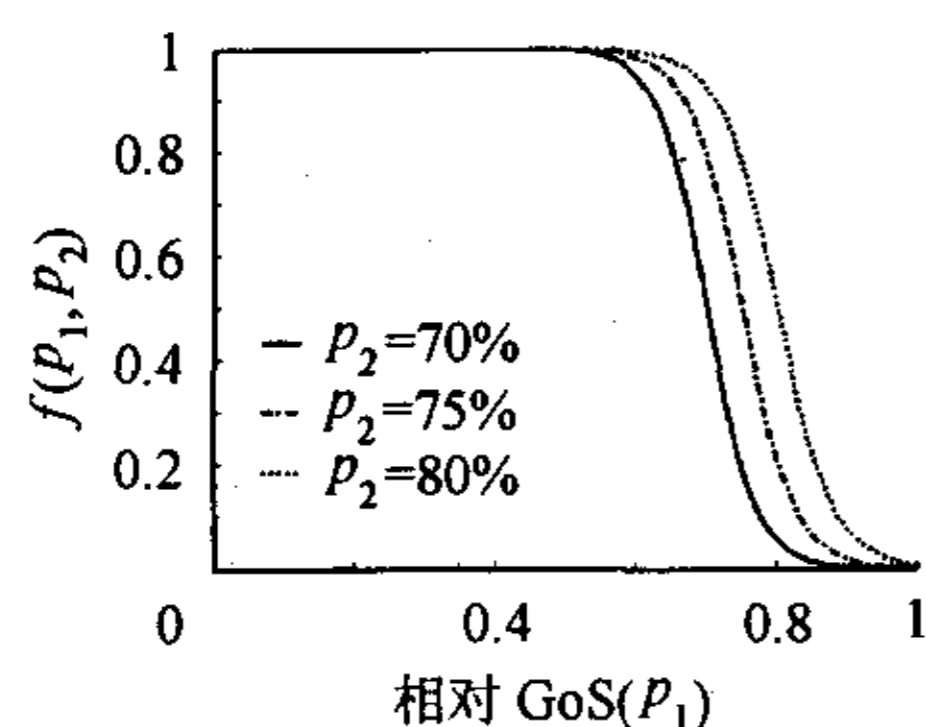


图 1 函数 $f(p_1, p_2)$ 与相对 GoS 的关系

从图 1 可以看出, 当相对 GoS 接近于 1 时, 系统将阻塞大量非切换用户, 相当于为切换用户预留了资源, 预留资源量和系统中切换用户的比例有关; 比例越高, 预留资源越多, 有利于切换用户的顺利接入。

由于 GoS-CAC 算法(式(6))综合体现了任意 j 类业务的 QoS 要求 (由 χ_j 表征)、系统业务负荷 (由 κ 表示)、干扰水平 (由 S_j 反映) 以及信道质量 (由 S_{jmax} 指示) 等对新用户准入判决的影响, 因此判决精度较高; 又由于式(6)中的所有参数都是在新用户接入系统之前通过功率/发射数据速率调节算法确定的, 所以判决速度较快, 也间接提高了判决精度; 另外,

对于非切换用户, 式(6)还通过 $f(p_1, p_2)$ 根据系统当前的 GoS 和用户的移动情况, 自动调节判决门限, 即保证了切换用户的顺利接入, 又可充分利用系统资源。

4 仿真结果

考虑 19 个正六边形蜂窝小区。假设基站位于小区中心, 移动台在各小区内均匀分布; 系统扩频带宽 $W=3.84\text{MHz}$, 基站背景噪声密度 $N_0=-169\text{dBm/Hz}$, 链路增益只考虑路径损耗和阴影衰落的影响 (路径损耗指数 $\beta=4$, 阴影衰落标准差 $\sigma=8\text{dB}$)。

对话音和数据两类业务进行了动态仿真。设用户的到达服从参数为 λ_j 的泊松过程, 服务时间服从参数为 μ_j 的指数分布。话音用户的发射数据速率固定为 9.6kbps, 目标 $E_b/I_0=7\text{dB}$ (或 $\gamma_1^*=0.0125$), 平均服务时间 $\mu_1=180\text{s}$, 最大发射功率 $P_{1max}=500\text{mW}$; 数据用户的速率集合为 $V=\{38.4\text{kbps} \times 2^k, k=0, \dots, 6\}$, 目标 E_b/I_0 随信道情况变化, 但其 SIR 保持不变 ($\gamma_2^*=0.1$), 平均服务时间 $\mu_2=200\text{s}$, 最大发射功率 $P_{2max}=1000\text{mW}$ 。不失一般性, 仿真中设系统目标 GoS $g^*=0.5$ 。

根据业务负荷, 每小区不少于 5000 个用户。假设在功率/发射数据速率调节周期内, 信道参数不变。无论有新用户准入系统还是已有用户离开系统, GoS-CAC 算法都要调用功率/发射数据速率调节算法^[8], 以确定新环境下第 j 类业务的接收功率 S_j 、用户数目 M_j 、最大平均接收功率 S_{jmax} 以及参数 p_1 和 p_2 , 并刷新剩余容量 N_j , 为下一轮准入判决做好准备, 同时进行相应的统计计算。这样, 既加快了准入判决的速度, 又自适应地改变了判决门限, 使判决精度得到提高。各参数更新频率为 1600Hz。

我们比较了 SIR-CAC 算法^[4]、I-CAC 算法^[6]和本文提出的 GoS-CAC 算法, 主要考察业务阻塞概率 P_{jb} 、系统中断概率 P_o 和系统服务等级 GoS; 仿真结果分别如图 2、图 3 和图 4 所示。从图 2 可以看出, 当业务负荷较高时, GoS-CAC 算法的阻塞性能优于其他两种算法近 10%。这是因为, GoS-CAC 不仅考虑了来自邻小区的干扰, 还考虑了本小区的业务负荷等因素, 所以在系统负荷相同的条件下, 门限的选择比较合理, 从而有较好的阻塞性能。由于话音业务的 QoS 要求和发射数据速率较低, 占用系统资源较少, 所以话音业务的阻塞性能比数据业务的好。另外, GoS-CAC 算法延时小、速度快, 也间接提高了判决精度。非切换用户业务阻塞概率与数据业务负荷之间的关系曲线也有相似结果, 只不过在高负荷区, 由于 $f(p_1, p_2)$ 的作用, 阻塞概率较高, 限于篇幅, 曲线没有给出。

从图 3 可以看出, 在高负荷区, GoS-CAC 算法的中断性能优于 SIR-CAC 约 60%, 优于 I-CAC 算法约 57%。这主要是因为 GoS-CAC 的判决精度较高, 使准入系统的用户基本都能满足各自的 QoS 要求。中断的产生主要是由于系统高负荷和信道变化造成的。

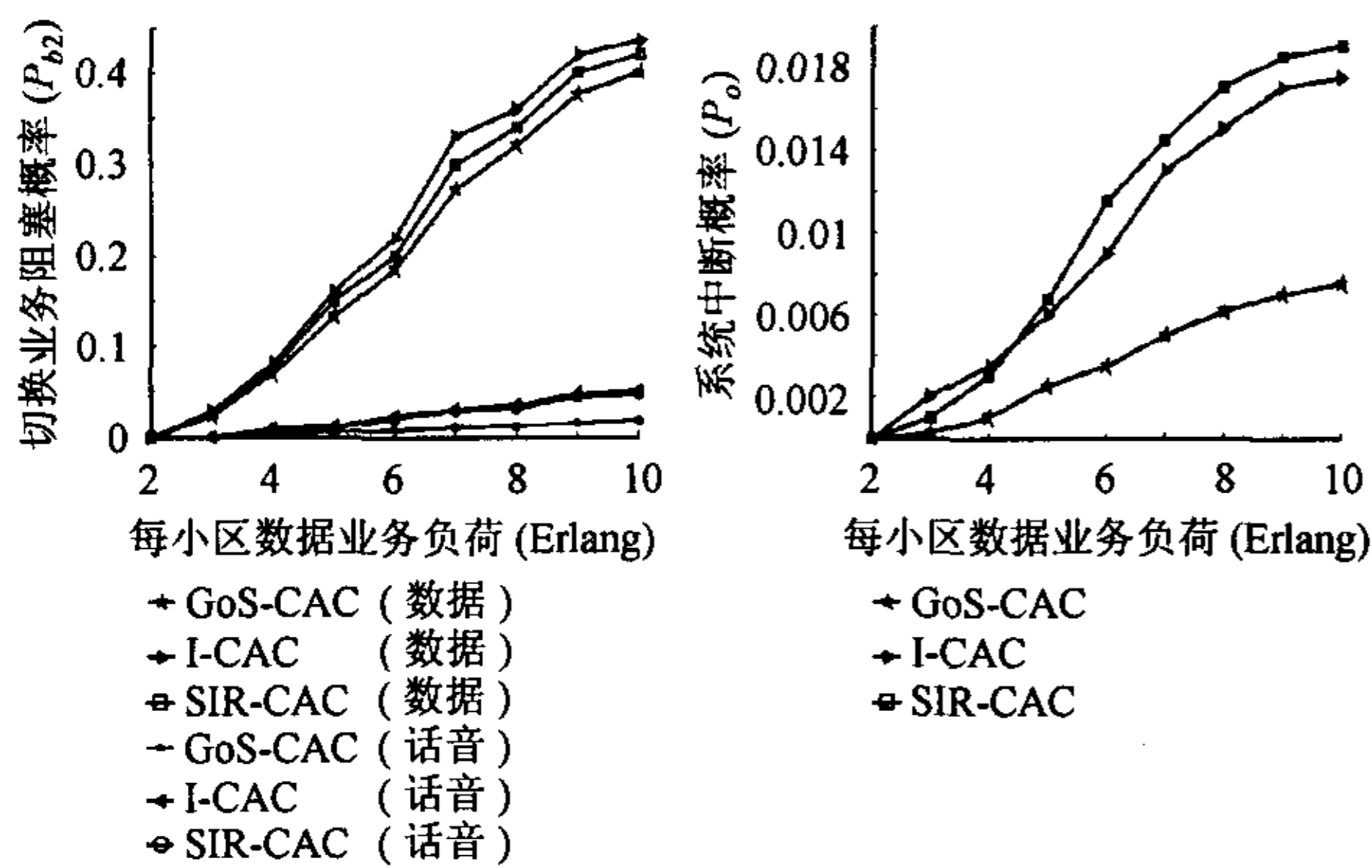


图2 切换业务阻塞概率与数据业务负荷之间的关系 (每小区语音业务负荷固定为 10 Erlang)

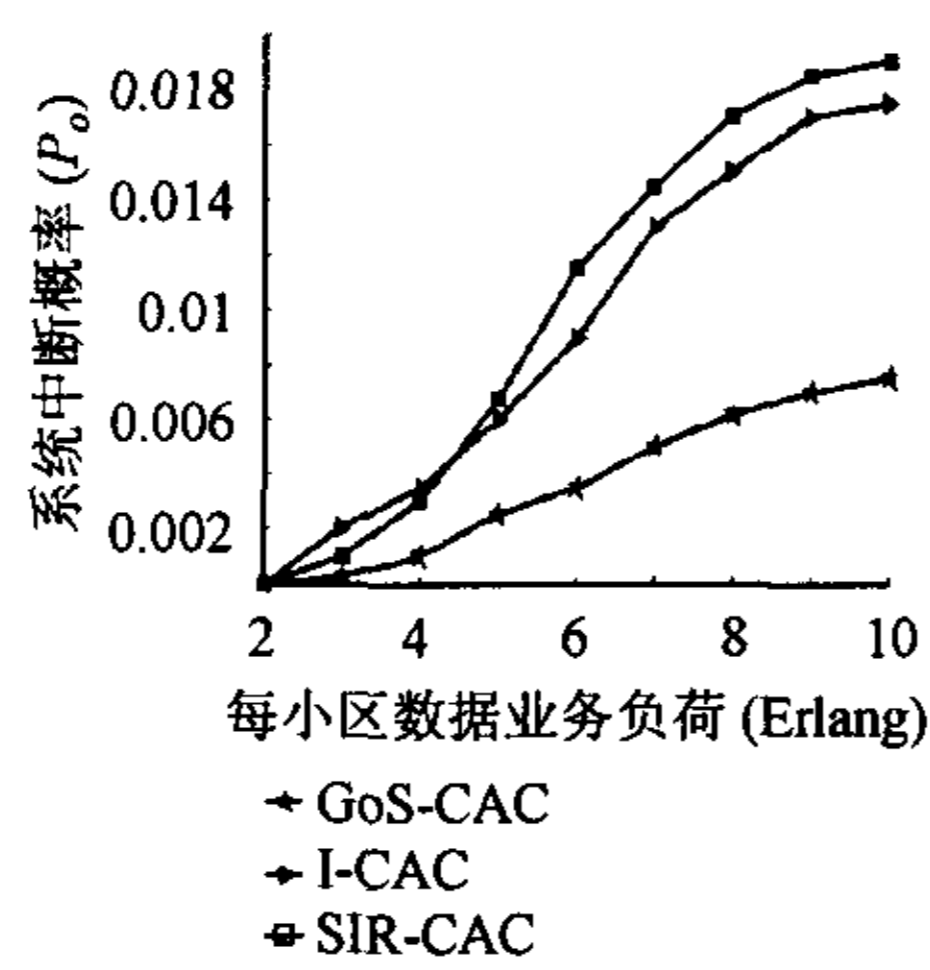


图3 系统中断概率与数据业务负荷之间的关系 (切换用户占 20%，每小区语音业务负荷固定为 10 Erlang)

图4显示了采用 GoS-CAC 算法,系统 GoS 性能的改善。可以看出,与其它两种 CAC 算法相比,系统 GoS 性能改善了近 50%。这是由于 GoS-CAC 算法中的 $f(p_1, p_2)$ 根据切换用户所占比例自动调节判决门限、预留资源的结果。

最后,我们在图5中给出了切换用户业务瞬时阻塞概率与每小区产生用户数之间的关系曲线。可以看出,当每小区产生用户数大于 5000 时,瞬时阻塞概率变化很小,说明只要每小区产生用户数不少于 5000,仿真结果就是稳定、可靠的。

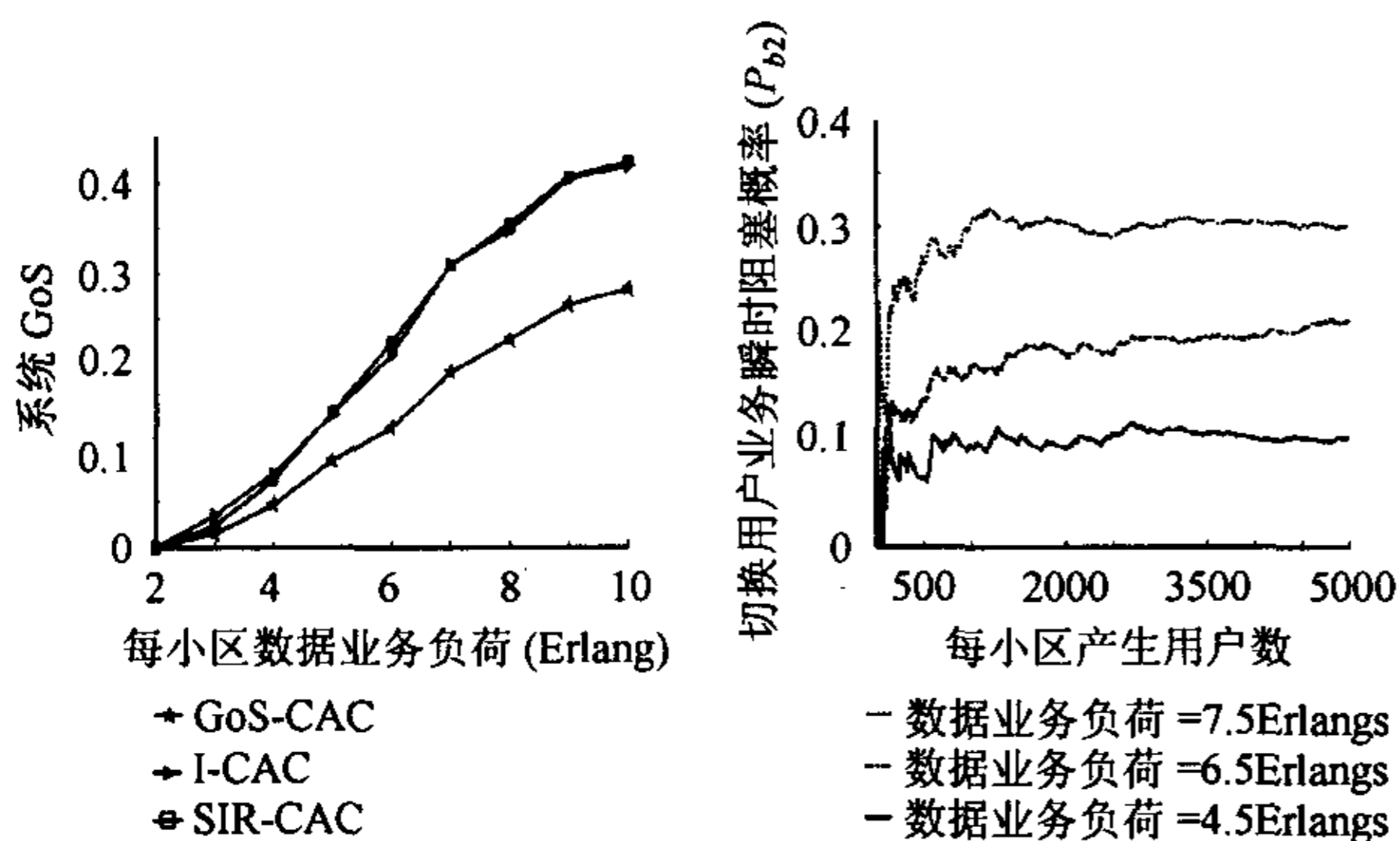


图4 系统 GoS 与数据业务负荷之间的关系 (切换用户占 20%，每小区语音业务负荷固定为 10 Erlang)

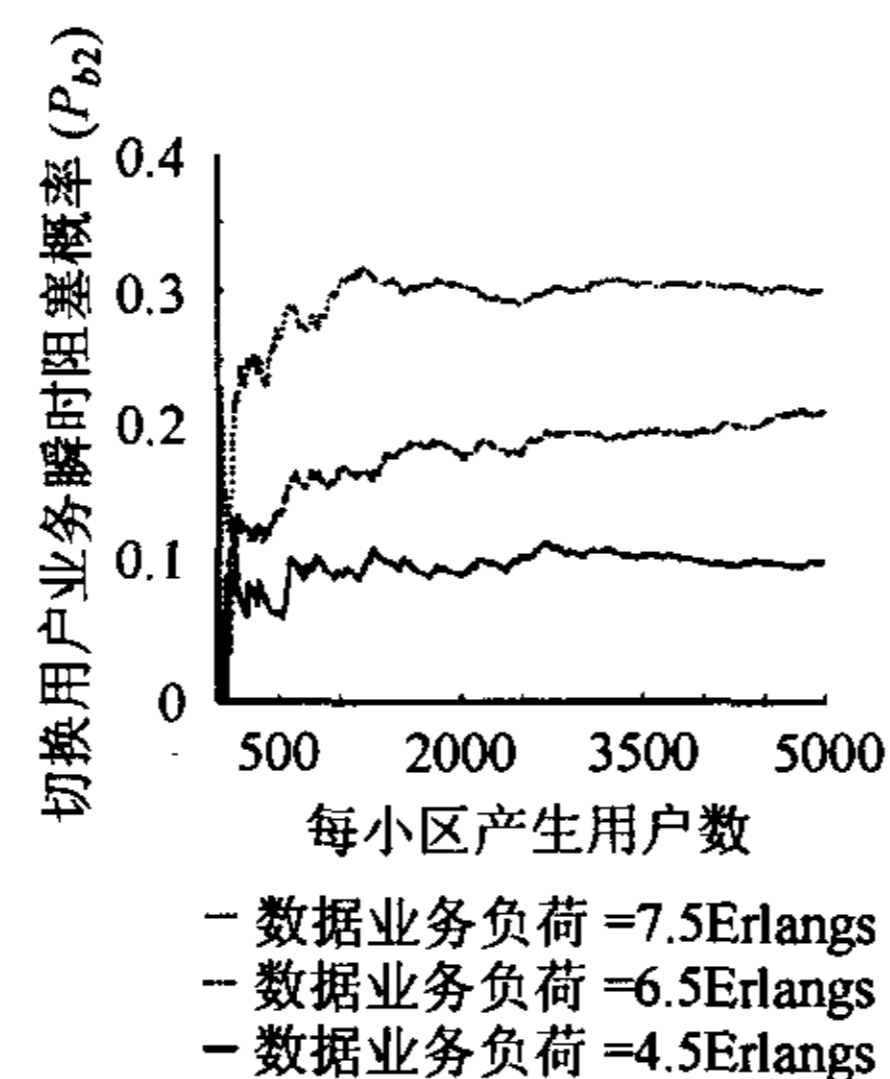


图5 切换用户业务瞬时阻塞概率与每小区产生用户数之间的关系 (每小区语音业务负荷固定为 10 Erlang)

通过仿真我们发现,GoS-CAC 算法不仅性能好,而且简单易行,特别是在为切换用户预留资源方面效率较高。而其他两种算法实现难度较大,往往要根据不同要求设置不同门限,不像 GoS-CAC 算法只用一个综合反映了业务 QoS 要求、系统业务负荷、系统干扰和信道质量等参数的门限。综上所述,本文提出的 GoS-CAC 算法在计算复杂度和系统性能等方面都优于其它基于门限比较的 CAC 算法。

5 结束语

呼叫准入控制是 WCDMA 移动通信系统的重要组成部分

分。在实际中,往往与功率/发射数据速率调节机制配合工作。经过理论分析和计算机仿真验证,本文提出的 GoS-CAC 算法与传统的基于门限比较的 CAC 算法相比,具有以下特点:(1)判决速度快。判决时只须与门限进行比较,而门限中的所有参数在判决之前已经确定;(2)判决精度高。判决门限综合反映了业务 QoS 要求、系统业务负荷、干扰程度、信道质量、用户的切换和系统 GoS 等影响判决精度的因素;(3)门限自适应。随着系统业务负荷的变化,门限自动更新,在充分利用系统资源的前提下,确保切换用户的顺利接入;(4)可操作性强。与功率/发射数据速率调节机制巧妙配合,把更新门限的任务交给了它,逻辑正确、条理清楚,使呼叫准入控制易于实现。

参考文献

- [1] Jansen M G, Prasad R. Capacity, throughput, and delay analysis of a cellular DS-CDMA system with imperfect power control and imperfect sectorization. *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, 1995, 44 (2): 67 - 75.
- [2] Badia L, Zoriz M. A framework for call admission control with threshold setup and evaluation of the performance in WCDMA systems. in Proc. of the IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Spring 2003), Cheju, Apr. 2003, vol.2: 1213 - 1217.
- [3] Kim D. Efficient interactive call admission control in power-controlled mobile systems. *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, 2000, 49 (3): 1017 - 1028.
- [4] Liu Z, Zarki M E. SIR-based call admission control for DS-CDMA cellular systems. *IEEE J. on Select. Areas Commun.*, 1994, 12 (4): 638 - 644.
- [5] Shin S M, Cho C H, Sung D K. Interference-based channel assignment for DS-CDMA cellular systems. *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, 1999, 48 (1): 233 - 239.
- [6] Imre S, Hango K, Petras P, et al.. Efficient call admission control method for 3G/4G WCDMA networks. In Proc. Of 7th International Conference on Telecommunications-ConTel 2003, Zagreb, Croatia, June 2003: 293 - 300.
- [7] Kim K, Han Y. A call admission control scheme for multi-rate traffic based on total received power. *IEICE Trans. on Commun.*, 2001, E84-B(3): 457 - 463.
- [8] Liu Jiabin, Zhu Shihua, Li Wenyuan. A combined rate and power control scheme and its impact on the capacity of multimedia DS-CDMA systems. in Proc. of International Conferences on Info-tech and Info-net (IEEE ICII'2001), Beijing, Oct. 2001, vol.2: 156 - 161.

刘家彬: 男, 1961 年生, 副教授, 博士生, 研究领域为下一代移动通信系统中的无线资源管理和系统容量等。

朱世华: 男, 1950 年生, 西安交通大学副校长, 教授, 博士生导师, 长期从事数字通信、移动通信和个人通信系统等的研究工作。

李文元: 男, 1964 年生, 博士生, 研究领域为下一代移动通信系统的多用户检测、MIMO 系统等。