

移动通信系统中一种合作博弈 CAC 策略*

张慧¹⁺, 方旭明^{1,2}, 袁琴¹

¹(西南交通大学 信息科学与技术学院, 四川 成都 610031)

²(南京大学 计算机软件新技术国家重点实验室, 江苏 南京 210093)

Cooperative Game Theory-Based CAC Strategy for Mobile Communication Systems

ZHANG Hui¹⁺, FANG Xu-Ming^{1,2}, YUAN Qin¹

¹(School of Information Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

²(State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

+ Corresponding author: E-mail: meilideliulang@163.com, http://www.swjtu.edu.cn

Zhang H, Fang XM, Yuan Q. Cooperative game theory-based CAC strategy for mobile communication systems. Journal of Software, 2011, 22(4): 736-744. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/3779.htm>

Abstract: Since the radio spectrum is a very scarce resource, the call admission control (CAC) is one of the most important parts in radio resource management of mobile communication systems. With the aim at resolving the problem of streaming a medium's over-use of resource, a cooperative game theory-based CAC strategy is proposed in this paper. The players are the services in connection, and a new service requests to access the system. The base station is the external power, which ensures the protocol operation. The results show that the capture effect of resource caused by streaming media is eased by adopting the CAC strategy; therefore, the access fairness is guaranteed. It is very significant to improve the performance of practical system applications.

Key words: CAC (call admission control); fairness; cooperative game; mobile communication

摘要: 由于无线频谱是极为有限的资源,呼叫接纳控制(call admission control,简称 CAC)成为移动通信系统中无线资源管理的一个重要部分.针对流媒体对接入资源的过度占用问题,提出了一种基于合作博弈理论的 CAC 策略,博弈方是处于服务状态的业务和申请接入的新业务,基站是保证协议强制执行的外在力量,基站选择效用和最大的策略组作为博弈过程的最终结果.仿真结果表明,所提策略有效缓解了流媒体业务对资源的捕获效应,保证了用户接入的公平性,对于实际系统性能的改善具有重要的意义.

关键词: 呼叫接纳控制;公平性;博弈论;移动通信

中图法分类号: TP393 **文献标识码:** A

随着移动用户数的增加和无线多媒体业务的引入,有限的无线资源将变得更为紧张,不合理的 CAC(call admission control)方案只会造成网络拥塞和整体服务质量(quality of service,简称 QoS)的下降.因此,选择适当的 CAC 方案非常重要.可以说,CAC 的有效性直接关系到运营商和移动用户的利益.

博弈论(game theory)是研究冲突与合作的一系列数学模型的汇集.它所关注的是在一系列确定的环境和结

* 基金项目: 国家自然科学基金(60772085); 南京大学计算机软件新技术国家重点实验室开放基金(A200605)

收稿时间: 2007-07-13; 修改时间: 2008-07-24; 定稿时间: 2009-11-26

果中,为个体决策者寻找到最佳的行为.博弈论在很多领域均可作为重要的理论工具,解决其中的冲突与合作问题,如战争、政治学、经济学、社会学、心理学和生物学等.近年来,也开始应用于无线通信与网络,包括功率控制、资源分配、负载均衡、流和拥塞控制、网络路由、媒体接入控制和 QoS 支持等^[1-4].

在下一代无线通信网络中,无论是现有的标准,还是现有的技术与研究方案,均未充分考虑可视电话与 IPTV 之类流媒体优先接入对网络资源过度占用、对其他业务 QoS 造成消极影响的问题.为了降低 IPTV 和可视电话业务的捕获效应,进而实现业务之间资源使用的公平性,本文提出了以博弈理论作为竞争策略来缓解流媒体对接入资源的捕获效应.即在话音或数据业务请求接入时,选择一个最优的博弈策略,在不影响业务流解码的前提条件下,对 IPTV 和可视电话类业务进行一定程度的丢包,从而释放出一部分资源,以使得话音或数据业务能够尽可能多地接入到系统中来,进而降低 IPTV 和可视电话业务的捕获效应,最终实现业务之间资源使用的公平性.在 CAC 中采用合作博弈策略,博弈方为系统中处于服务状态的业务和申请接入的新业务,基站(base station,简称 BS)是保证协议强制执行的外在力量,即用户的所有动作都由 BS 做决定.博弈策略中效用函数采用已有研究成果中广泛使用的 S 型函数^[5,6].为了更好地保证业务接入的公平性,当话音或数据新业务到达但不能满足信干比条件时,允许服务中的可视电话和 IPTV 业务丢包.博弈的最终结果有 4 种可选策略组,分别为:

- 服务中可视电话和 IPTV 业务不丢包,话音或数据新业务接入
- 服务中可视电话和 IPTV 业务不丢包,话音新业务被拒绝或数据新业务延时等待
- 服务中可视电话和 IPTV 业务丢包,话音或数据新业务接入
- 服务中可视电话和 IPTV 业务丢包,话音新业务被拒绝或数据新业务延时等待

博弈过程中,BS 首先判断若让处于服务状态的可视电话和 IPTV 业务丢包,新业务是否能够成功接入.若能,则分别计算 4 种策略组的效用之和,选择效用和最大的策略组作为最终策略;否则,博弈最终策略为“服务中可视电话和 IPTV 业务不丢包,话音新业务被拒绝或数据新业务延时等待”.对于可视电话和 IPTV 新业务,只判断是否满足信干比条件.若能,则成功接入;否则,拒绝.

本文第 1 节给出小区模型,介绍话音业务、可视电话业务、IPTV 业务、数据业务的建模.第 2 节和第 3 节分别给出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 4 节给出.最后是结论.

1 系统模型

1.1 小区模型

本文采用 7 个小区的系统,如图 1 所示.中心小区是第 1 层,第 2 层有 6 个小区.每个小区都是六边形,BS 处于小区的中心位置.采用全向天线,使用理想的功率控制,各个用户的发射功率受导频信号最强的小区 BS 控制.用户均匀地分布在每个小区中,并假定每个小区中各类业务的用户数统计上相同.考虑每个小区内可接纳 N 类业务.假设每个小区内的第 $i(i=1\dots N)$ 类业务的到达都服从泊松分布,第 i 类业务的平均到达率为 x_i ,到达时间间隔服从指数分布,服务时间也服从指数分布,平均服务时间为 y_i ,不同类型业务之间的用户的到达相互独立.

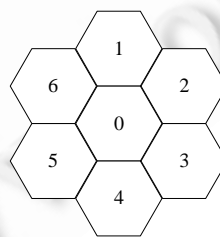


Fig.1 System model

图 1 系统模型图

1.2 业务模型

根据典型性,本文考虑 4 类业务,即语音、可视电话、IPTV 和其他数据业务^[7,8].

对于语音业务,采用 ON/OFF 模型,语音激活因子为 α_v .在激活期,传输速度为 R_v ;在休眠期,传输速度为 0.

可视电话业务采用离散状态、连续时间的马尔可夫过程.传输速率被量化为 M 个离散的等级,第 $j(j=1, \dots, M)$ 个等级的传输速率为 $j \times R_{vd}$.不同状态之间的转移速率服从指数分布,并仅依赖于当前的状态.在第 0 个状态,即空闲状态,没有数据传输.状态之间的转换速率 α 和 β 分别由以下公式得到^[9]: $\beta=3.9/(1+5.04458/N_s/M)$, $\alpha=3.9-\beta$.其中, N_s 为同时发起的可视电话用户源.

对于 IPTV 业务,采用目前广泛应用的 MPEG-4 编码模型^[10,11].视频帧分为 3 类,分别是:帧内编码帧(I 帧)、预测型帧间编码帧(P 帧)和双向型帧间编码帧(B 帧).采用 MPEG-4 编码后的视频由 GOP(group of picture)组成,每个 GOP 由 12 帧组成,顺序为 IBBPBBPBBPBB,速率的变化规律与帧的顺序相同.每个视频帧的持续时间为 40ms,每个用户在第 n 个定时周期的传输速率为 $R_v(n)$.

数据业务采用自相似过程.本文以 Pareto 过程来近似建模^[12,13],仿真中以此模型为基础,产生交互类数据业务,在第 n 个时间周期内的速率为 $R_d(n)$.

2 数学分析

2.1 总干扰的估计

中心小区的总干扰 I_{total} 包括小区内部干扰 I_{local} 、小区间干扰 I_n 和背景噪声 P ,表示为^[14]

$$I_{total}=I_{local}+I_n+P \quad (1)$$

假设小区间干扰 I_n 取为 I_{total} 的 f_1 ^[14] 倍,背景噪声 P 取为 I_{total} 的 f_2 ^[14] 倍,则

$$I_{total}=(1+f_1+f_2)I_{local} \quad (2)$$

由第 1.2 节中的业务模型可知,每个小区中有 1 类 CBR 业务,3 类 VBR 业务.假定第 $k(k=1, \dots, 4)$ 类业务分别对应着语音、可视电话、IPTV 和数据业务.中心小区的第 k 类业务处于服务状态的 MS 数为 n_k ,第 k 类业务的比特能量为 $E_{b,k}$.若第 k 类业务为 CBR 业务,MS 信息传输速率为 R_k ;若为 VBR 业务,则 MS 的信息传输速率在服务期间内是不断改变的,即第 k 类 VBR 业务的第 l 个 MS 在第 n 定时周期内的信息传输速率可以表示为 $R_{k,l}(n)$.

对于中心小区内一个正在申请接入的 MS,在第 n 定时周期受到本小区内其他 MS 对它的干扰为

$$I_{local}=\alpha_v R_1 E_{b,1} n_1 + \sum_{k=2}^4 \left\{ E_{b,k} \left[\sum_{l=1}^{n_k} R_{k,l}(n) \right] \right\} \quad (3)$$

2.2 接入门限的确定

在 BS 侧,MS 呼叫请求到达时,只有各类业务的 E_b/I_0 都高于目标 E_b/I_0 的情况下才允许接入,否则拒绝.假设一个 MS 接入系统后,QoS 在服务期间都能够得到保证.令系统中第 k 类业务的目标 E_b/I_0 为 Γ_k .若 MS 呼叫请求被接纳,则其在第 n 定时周期内 E_b/I_0 要满足

$$\left(\frac{E_b}{I_0} \right)_k = \frac{(E_b/N_0)_k}{\frac{I_{total}}{W \times N_0}} \geq \Gamma_k \quad (4)$$

令

$$[n_1]=\alpha_v R_1 (E_b/I_0)_1 n_1 \quad (5)$$

$$[n_p]=(E_b/N_0)_p \times \sum_{l=1}^{n_p} R_{p,l}(n), p=2,3,4 \quad (6)$$

则公式(4)变换为

$$\left(\frac{E_b}{I_0}\right)_k = \frac{(E_b/N_0)_k}{(1+f_1+f_2) \times \left(\sum_{p=1}^4 [n_p]\right)} \geq \Gamma_k \quad (7)$$

上式进一步变换,得到

$$\sum_{p=1}^4 [n_p] \leq \frac{(E_b/N_0)_k W}{\Gamma_k (1+f_1+f_2)} \quad (8)$$

定义公式(8)的右边为 C_k

$$\frac{(E_b/N_0)_k W}{\Gamma_k (1+f_1+f_2)} = C_k \quad (9)$$

于是,话音业务、可视电话业务、IPTV 业务和数据业务的接入门限分别为

$$\sum_{p=1}^4 [n_p] \leq C_k, \quad k = 1, \dots, 4 \quad (10)$$

3 基于合作博弈理论的 CAC 策略

3.1 效用函数

为了从数值上衡量用户的满意程度,博弈策略的效用函数采用现有成果中广泛使用的 S 型函数^[6].对于话音和数据业务,效用函数定义为传输速率的函数;对于可视电话和 IPTV 业务,效用函数定义为丢包率的函数. R 是新接入业务申请的传输速率, $drop_prob_i$ 是第 i 个 MS 的平均丢包率, $drop_prob_{req}$ 是业务允许的最大丢包率, α, h 是 sigmoid 函数参数.于是有:

$$voice, data : U_1(R) = \begin{cases} \frac{1}{1+e^{-\alpha R}}, & \text{接入} \\ 0, & \text{被拒绝} \end{cases} \quad (11)$$

$$video, IPTV : U_2(drop_prob_i) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{1+e^{-\alpha(drop_prob_i - drop_prob_{req} - h)}}, & \text{丢包} \\ \frac{1}{1+e^{-\alpha(drop_prob_i - drop_prob_{req} - h)}}, & \text{不丢包} \end{cases} \quad (12)$$

3.2 接入策略

博弈方是系统中处于服务状态的可视电话、IPTV 业务和申请接入的话音、数据新业务.两博弈方都受制于有限的频谱资源,二者的矛盾在于,处于服务状态的业务和新业务都希望得到最高等级的 QoS 支持.处于服务状态的可视电话和 IPTV 业务的策略集为 $OS=\{os_0, os_1\}$,表示业务丢包情况: os_0 为业务不丢包, os_1 为业务丢包.假设可视电话和 IPTV 业务允许丢包,IPTV 业务不丢 I 帧(假设数据包可以区分 I 帧与非 I 帧^[15]),且尽量避免让一个用户重复丢包.新业务的策略集为 $NS=\{ns_0, ns_1\}$,表示话音和数据新业务接入情况: ns_0 为新业务接入, ns_1 为话音新业务被拒绝或数据新业务延时等待.

处于服务状态业务的支付矩阵为

$$\Psi_{os} = \begin{bmatrix} \rho_{os}(os_0, ns_0) & \rho_{os}(os_1, ns_0) \\ \rho_{os}(os_0, ns_1) & \rho_{os}(os_1, ns_1) \end{bmatrix} \quad (13)$$

新业务的支付矩阵为

$$\Psi_{ns} = \begin{bmatrix} \rho_{ns}(os_0, ns_0) & \rho_{ns}(os_1, ns_0) \\ \rho_{ns}(os_0, ns_1) & \rho_{ns}(os_1, ns_1) \end{bmatrix} \quad (14)$$

博弈过程中,并没有对处于服务状态的话音和数据业务进行任何处理,可以认为其效用值在新业务接入前后不发生变化,于是,在计算处于服务状态业务的支付矩阵元素值时只考虑可视电话和 IPTV 业务.考虑策略的现实意义,对于策略(os_0, ns_0),若处于服务状态的业务不丢包,则新业务无法接入;对于策略(os_1, ns_1),若处于服务

状态业务丢包新业务也无法接入,则处于服务状态的业务应选择不丢包.

支付矩阵(13)的元素值可由公式(15)~公式(17)得到:

$$\rho_{os}(os_1, ns_0) = \sum_{v_i} U_2(drop_prob_i) \tag{15}$$

$$\rho_{os}(os_0, ns_1) = \sum_{v_i} U_2(0) \tag{16}$$

$$\rho_{os}(os_1, ns_1) = \rho_{os}(os_0, ns_0) = \rho_{os}(os_0, ns_1) \tag{17}$$

支付矩阵(14)的元素值可由公式(18)和公式(19)得到:

$$\rho_{ns}(os_1, ns_0) = U_1(R) \tag{18}$$

$$\rho_{ns}(os_0, ns_0) = \rho_{ns}(os_r, ns_1) = 0 \tag{19}$$

由以上计算可以看出, (os_0, ns_1) , (os_0, ns_0) 和 (os_1, ns_1) 这 3 种策略在两博弈方处效用值情况相同.若博弈结果为以上 3 种策略之一,则博弈最终策略取 (os_0, ns_1) .

在本文提出的 CAC 策略中,一个 MS 第 k 类新业务到达时,首先对中心小区计算式 $n_left = \sum_{p=1}^4 [n_{i,p}]$;然后根据业务类型,计算接入判决门限值 C_k ,判断式 $n_left \leq C_k$ 是否成立.若成立,则业务成功接入.如果不能成功接入,且新业务为语音或数据业务,则进入博弈过程.博弈过程中,若让处于服务状态的可视电话和 IPTV 业务丢包,新业务能成功接入,则在 BS 处分别计算 4 种策略组的效用之和,选择效用和最大的策略组作为最终策略;否则,博弈最终策略为 (os_0, ns_1) .具体的呼叫到达处理过程的仿真流程如图 2 所示.由上述内容可知,增加了博弈策略的 CAC 算法对 BS 端的计算能力方面没有特别的要求.即 BS 端在考虑是否接入新呼叫的同时,考虑了当前的门限值情况和博弈情况.而因为博弈的过程只需比较 4 种策略的效用之和,即该博弈过程的复杂度为 $O(1)$,因而该博弈 CAC 策略不影响原有算法的复杂度.

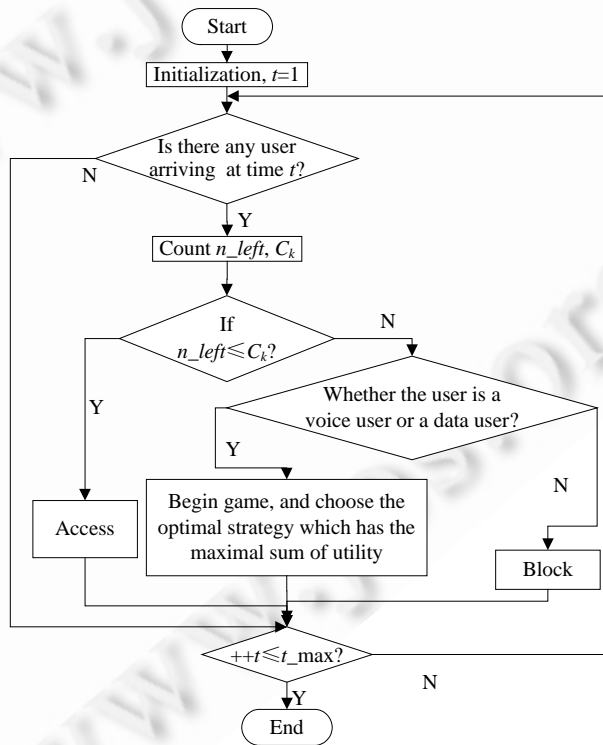


Fig.2 Simulation flow of call admission control process

图 2 呼叫接纳控制过程仿真流程

4 策略仿真

4.1 仿真参数

采用图 1 所示的小区模型,取系统的扩频带宽 $W=5\text{MHz}$ ^[16],背景噪声谱密度为 N_0 , I_0 为干扰功率谱密度,且 $I_0/N_0=10\text{dB}$ ^[17].语音业务在激活状态的信息传输速率 R_v 为 9.6kbbit/s ^[9],可视电话业务的基本信息传输速率 R_{vd} 为 9.6kbbit/s ^[9].4 类业务的目标 E_b/I_0 值分别为 $\Gamma_1=\Gamma_2=\Gamma_3=5.6\text{dB}$, $\Gamma_4=3.2\text{dB}$ ^[14]. $drop_prob_{req}$ 取为 10%.

f_1 和 f_2 的取值分别为 0.3 和 0.15^[18].

4.2 仿真结果与分析

仿真对比了采用博弈策略前后系统的性能.其中,不采用博弈策略指的是采用传统的基于信干比的 CAC 策略,即若满足第 2 节中的信干比条件则成功接入,否则拒绝;采用博弈策略指的是采用第 3 节中基于合作博弈理论的 CAC 策略.

仿真结果如图 3~图 12 所示.其中,图 3~图 6 分别为采用博弈策略前后语音、可视电话、IPTV、数据业务的阻塞率对比图,图 7、图 8 分别为采用博弈策略前后可视电话、IPTV 业务的丢包率对比图,图 9 为采用博弈策略后系统的资源利用率的增长比例,图 10~图 12 分别为采用博弈策略前后 3 类业务的中断率对比图.

从仿真结果可以看出,采用博弈策略后,语音的阻塞率有所降低,数据业务的平均延迟也得到降低,代价为可视电话和 IPTV 业务的阻塞率与丢包率的增加;同时,系统资源利用率得到了一定程度的提升.当到达率为 0.5 时,各类业务 QoS 参数的对比情况见表 2.可见,通过让可视电话和 IPTV 业务部分微小丢包,能够更好地保证业务对资源占用的公平性,并能在一定程度上实现资源利用率的提升.

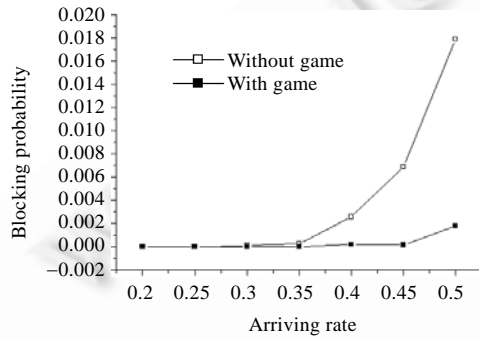


Fig.3 Voice blocking probability/arriving rate
图 3 语音业务阻塞率/到达率

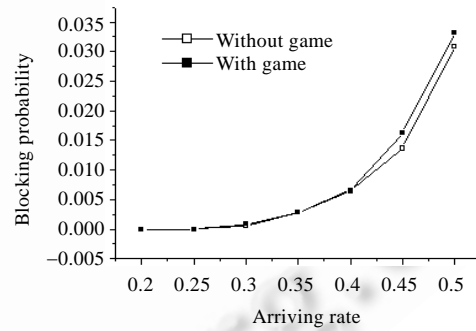


Fig.4 Video blocking probability/arriving rate
图 4 可视电话业务阻塞率/到达率

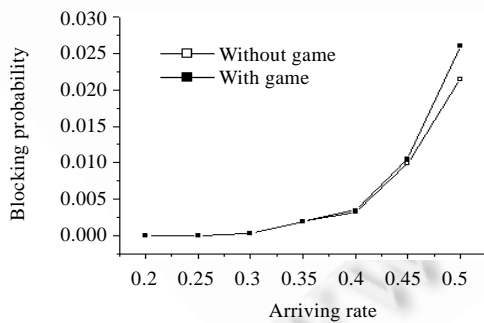


Fig.5 IPTV blocking probability/arriving rate
图 5 IPTV 业务阻塞率/到达率

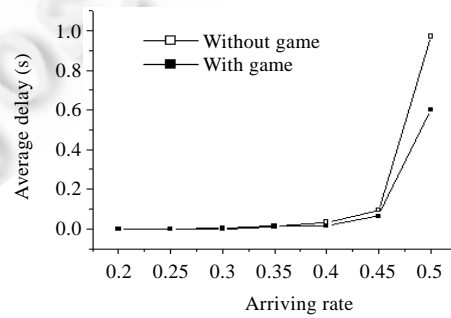


Fig.6 Data delay/arriving rate
图 6 数据业务平均延迟/到达率

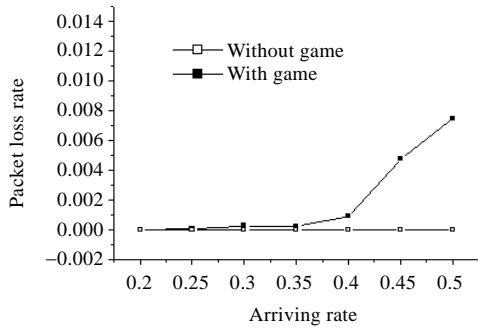


Fig.7 Video packet loss rate/arriving rate
图7 可视电话业务丢包率/到达率

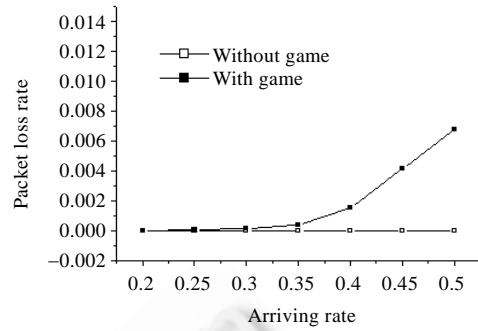


Fig.8 IPTV packet loss rate /arriving rate
图8 IPTV 业务丢包率/到达率

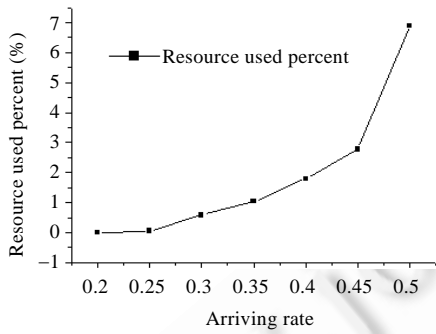


Fig.9 Percentage of resource used/arriving rate
图9 系统总资源的利用率/到达率

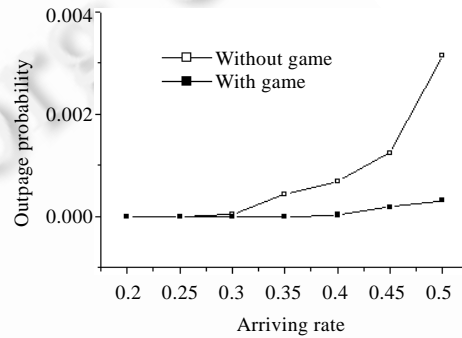


Fig.10 Voice outage probability/arriving rate
图10 话音业务中断率/到达率

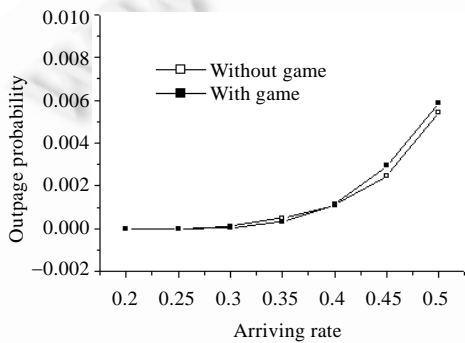


Fig.11 Video outage probability/arriving rate
图11 可视电话业务中断率/到达率

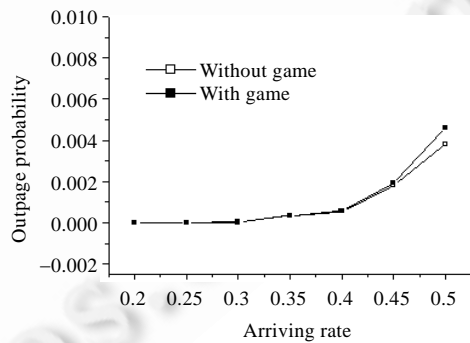


Fig.12 IPTV outage probability/arriving rate
图12 IPTV 业务中断率/到达率

Table 2 Comparison of QoS parameters (before/after game theory)

表2 QoS 参数对比(博弈前/博弈后)

Service	QoS parameters		
	Blocking probability	Packet loss rate	Delay (s)
Voice	0.01787/0.00182	N/A	N/A
Video	0.0309/0.0332	0/0.07484	N/A
IPTV	0.0215/0.0260	0/0.06768	N/A
Data	N/A	N/A	0.9720/0.5992

5 结束语

在无线通信网络中,有很多问题涉及到多源的竞争问题.为了使系统达到稳定,众多的研究表明,博弈论是一种很好的解决问题的理论工具.针对流媒体对接入资源的捕获效应问题,本文提出的 CAC 策略采用合作博弈理论,将系统中处于服务状态的业务和申请接入的新业务建模成博弈论中的竞争者,有效地缓解了流媒体业务对资源的捕获效应.在下一步工作中,为了适应小区业务的非均匀性造成的影响,我们将采用博弈论方法来解决分布式网络中非协作条件下非理想功率控制和 CAC 问题,将现有博弈论单纯地应用于分布式功率控制和 CAC 扩展为分布式功率控制与 CAC 联合目标上,使各小区的网络资源利用与功率控制达到一种合理的均衡,以确保网络整体资源利用率和业务的 QoS.

References:

- [1] Virapanicharoen J, Benjapolakul W. Fair-Efficient threshold parameters selection in call admission control for CDMA mobile multimedia communications using game theoretic framework. In: Proc. of the IEEE CCNC 2005. Las Vegas: Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society, 2005. 439–444. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1405212> [doi: 10.1109/CCNC.2005.1405212]
- [2] Virapanicharoen J, Benjapolakul W. A game theoretic approach to call admission control in mobile multimedia communications. In: Proc. of the TENCON 2004. Chiang Mai: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2004. 160–163. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1414732> [doi: 10.1109/TENCON.2004.1414732]
- [3] Han Z, Liu KJR. Noncooperative power-control game and throughput game over wireless networks. IEEE Trans. on Communications, 2005,53(10):1625–1629. [doi: 10.1109/TCOMM.2005.857136]
- [4] Haitao L, Chatterjee M, Das S.K. ARC: An integrated admission and rate control framework for competitive wireless CDMA data networks using noncooperative games. IEEE Trans. on Mobile Computing, 2005,4(3):243–258. [doi: 10.1109/TMC.2005.35]
- [5] Dusit N, Ekram H. A game-theoretic approach to bandwidth allocation and admission control for polling services in IEEE 802.16 broadband wireless networks. In: Proc. of the 3rd Int'l Conf. on Quality of Service in Heterogeneous Wired/Wireless Networks (Qshine 2006). New York: ACM, 2006. <http://www2.cs.ucy.ac.cy/courses/EPL606/papers/CACgame3.pdf>
- [6] Mingbo X, Shroff NB, Chong EKP. Utility-Based power control in cellular wireless systems. In: Proc. of the 20th Annual Joint Conf. of the IEEE Computer and Communications Societies. Anchorage: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2001. 412–421. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=916724> [doi: 10.1109/INFCOM.2001.916724]
- [7] Zhang DD, Fang XM, Zhu LJ. A novel call admission control policy with dissymmetrical traffic in symmetry CDMA system. Chinese Journal of Electronics, 2006,34(10):1745–1751 (in Chinese with English abstract).
- [8] Zhang DD, Fang XM. Capacity analysis and call admission control scheme with imperfect power control in multimedia CDMA networks. In: Proc. of the Circuits And Systems Int'l Conf. on Communications. Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society, 2006. 1352–1356. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4064133> [doi: 10.1109/ICCCAS.2006.284892]
- [9] So JW. Adaptive traffic prediction based access control in wireless CDMA systems supporting integrated voice/data/video services. IEEE Communications Letters, 2004,8(12):703–705. [doi: 10.1109/LCOMM.2004.837642]
- [10] Wan P, Du ZM, Wu WL. A simple and efficient MPEG-4 video traffic model for wireless network performance evaluation. In: Proc. of the IEEE Wireless Communications and Networking Conf. Atlanta: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2004. 1738–1742.
- [11] Lazaro O, Girma D, Dunlop J. A study of video source modeling for 3G mobile communication systems. In: Proc. of the 1st Int'l Conf. on 3G Mobile Communication Technologies. Atlanta: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2000. 461–465. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=858342> [doi: 10.1049/cp:20000092]
- [12] Gordon J. Pareto process as a model of self-similar packet traffic. In: Proc. of the IEEE Global Telecommunications Conf. Piscataway: IEEE, 1995. 2232–2236. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=502798> [doi: 10.1109/GLOCOM.1995.502798]
- [13] Adas A. Traffic models in broadband networks. IEEE Communications Magazine, 1997,35(7):82–89. [doi: 10.1109/35.601746]

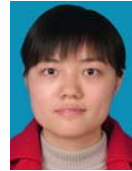
- [14] Zhu LD, Ling X, Wu SQ. Call admission control in multiservices CDMA systems. In: Proc. of the IEEE 2002 Int'l Conf. on Communications, Circuits and Systems and West Sino Expositions. 2002. 177-181. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1180598> [doi: 10.1109/ICCCAS.2002.1180598]
- [15] Markos M, Alexandra P. Key-Frame extraction algorithm using entropy difference. In: Proc. of the 6th ACM SIGMM Int'l Workshop on Multimedia Information Retrieval. New York: Association for Computing Machinery, 2004. 39-45. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.158.1057&rep=rep1&type=pdf> [doi: 10.1145/1026711.1026719]
- [16] Famtacci R, Nannicini S. Multiple access protocol for integration of variable bit rate multimedia traffic in UMTS/IMT 2000 based on wideband CDMA. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000,18(8):1441-1454. [doi: 10.1109/49.864009]
- [17] Akl RG, Hegde MV, Naraghi-Pour M. Call admission control scheme for arbitrary traffic distribution in CDMA cellular systems. In: Proc. of the 2000 IEEE Wireless Communications and Networking Conf. Chicago: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2000. 465-470. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=904677>
- [18] Choi JG, Bahk S, Lee JY. Call admission control schemes guaranteeing the frame and call level QoS in CDMA cellular networks. In: Proc. of the IEEE Global Telecommunications Conf. Taipei: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2002. 1480-1484. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1188445> [doi: 10.1109/GLOCOM.2002.1188445]

附中文参考文献:

- [7] 张丹丹,方旭明,朱龙杰.一种新的对称 CDMA 系统中非对称业务下的呼叫允许控制策略.电子学报,2006,34(10):1745-1751.



张慧(1983—),女,浙江瑞安人,助教,主要研究领域为下一代无线网络的无线资源管理,博弈论在接入控制策略中的应用.



袁琴(1984—),女,工程师,主要研究领域为下一代无线网络的无线资源管理,博弈论在接入控制策略中的应用.



方旭明(1962—),男,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为下一代无线网络的无线资源管理,移动 Ad Hoc 网络,无线 Mesh 网,无线传感器网络.