第33卷 第12期 计 算 机 工 程 2007年6月
Vol.33 No.12 Computer Engineering June 2007
·网络与通信· 文章编号：1000—3428(2007)12—0111—03 文献标识码：A 中图分类号：TP301.6

基于共享缓存的无线网络呼叫接纳控制算法

赵 玲，黄生叶
（湖南大学计算机与通信学院，长沙 410082）

摘 要：针对移动网络中新的增值数据业务的增加、性能指标多样化的现状，提出了一种具有共享缓存、支持可变比特率业务的接入网系统模型，给出了性能参数的计算方法、兼顾分组层性能参数(丢包率和平均时延)和连接层性能参数的CAC算法，数值计算结果表明了该方法的正确性。

关键词：新用户呼损率；切换用户呼损率；丢包率；平均时延；服务质量；无线网络

Call Admission Control Strategy for Wireless Network Based on Shared Buffer

ZHAO Ling, HUANG Shengye
(College of Computer and Communication, Hunan University, Changsha 410082)

【Abstract】 As more and more value-added data services are devoloped which require complex quality of service(QoS), this paper defines a wireless access network model with shared buffer and derives mathematical expressions for some QoS parameters. It proposes a joint CAC algorithm considering both packet-level QoS and connection-level QoS. The numerical results proves correctness of the method.

【Key words】 New call block probability; Handoff call block probability; Packet loss probability; Average delay; QoS; Wireless network

资源管理是现代计算机通信网中的重要课题，呼叫接入控制(CAC)是资源管理的主要分支[1]。在最大限度地提高固定网资源利用率的前提下，不至于由于负荷过重，出现性能恶化、服务崩溃的现象。无线网络中由于信道资源有限性、时变性[2]，使得CAC算法更加复杂[3~6]。传统的CAC算法侧重连接层的性能参数(切换呼叫的呼损率和新用户的呼损率)，即在保证呼损率指标的情况下如何使网络利用率最大化且性能最优。但由于现今各种增值数据业务层出不穷，传统语音业务已经退居次位，因此必须考虑新的数据业务的性能指标，诸如时延、抖动、丢包率等。近年来，CAC研究考虑了分组层性能参数的[7,8]，但没有考虑到连接层的参数。文献[5]给出了一种联合的CAC策略，但是这只适用于实时语音通信系统，没有考虑有缓存的情况。显而易见，允许更多的用户接入可以降低新呼叫和切换呼叫的呼损率，但是会增大分组层的丢包率，因此，引入缓存装置是一种以较小代价，降低丢包率、呼损率的方法，但排队时延会增大。本文在文献[5]的基础上，提出一个对实时和延迟系统都适用的、具有共享缓存的接入网系统模型，在该框架中提出了有关性能参数的计算方法，并建立了一种联合连接层与分组层的CAC策略，这就为满足不同业务的QoS需求，提供了一个可行的分析手段。

1 具有共享缓存的系统模型及性能参数的计算方法

在具体分析之前，本文先定义一个简洁有效的业务模型。在连接层面来说，各个呼叫源的相互独立性，在单位时间内到达和离去的用户数可以用马尔可夫过程来描述。本文定义了如下参数：

(1)λ_n：新用户的平均到达率，假设到达过程为服从参数为λ_n的泊松过程。

(2)λ_h：切换用户的平均到达率，切换呼叫到达过程服从参数为λ_h的泊松分布。

(3)η：用户离去率，服务过程服从参数为 η 的负指数分布。

(4)N：切换用户接入门限(N为整数)。

(5)T：新用户接入门限(T为实数，由搜索算法求得。

(6)β：当系统中已经存在用户数为 T 时，对新呼叫的接纳概率，其值为$T-\lfloor T\rfloor$。

(7)ρ_1：系统负荷，定义为$\frac{\lambda_n+\lambda_h}{\eta}$。

(8)ρ_2：切换负荷，定义为$\frac{\lambda_h}{\eta}$。

(9)B_i：系统中有i个用户的概率。

由于拒绝切换呼叫比拒绝新呼叫会产生更坏的影响，因此本文为新用户和切换用户设置不同的接入门限。系统对于不同呼叫的接收概率因系统中现存用户数而异，当系统中有i个用户时，新用户和切换呼叫的的接收概率$\Pr(i)_N$和$\Pr(i)_H$分别为：

$$\Pr(i)_N=\begin{cases}1 & 0\le i<\lfloor T\rfloor\\ T-\lfloor T\rfloor & i=\lfloor T\rfloor\\ 0 & i>\lfloor T\rfloor\end{cases} \tag{1}$$

$$\Pr(i)_H=\begin{cases}1 & 0\le i<N\\ 0 & i=N\end{cases} \tag{2}$$

本文可以运用排队论来分析系统中有$i(0\le i\le N)$个用户的概率π_i。具体分析如下：当系统中用户数$i<\lfloor T\rfloor$时，新用户和切换用户都能被接入，到达率为$\lambda_n+\lambda_h$，离去率为$i\eta$；当$i=\lfloor T\rfloor$

基金项目：湖南省自然科学基金资助项目(06JJ20030)
作者简介：赵 玲(1980－)，女，硕士生，主研方向：无线网络性能优化；黄生叶，副教授
收稿日期：2007-02-06 **E-mail：**86739@sohu.com

时，新用户的接收概率为β，此时到达率为$\beta\lambda_n+\lambda_h$，离去率为$i\eta$；当$i>\lfloor T\rfloor$时，只有切换呼叫才被允许接入，到达率仅为λ_h，离去率为$i\eta$。相应的系统状态转移如图 1 所示。

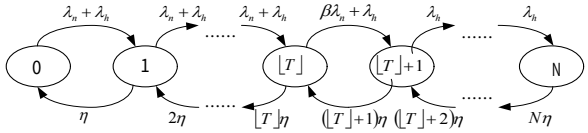


图 1 状态转移

由于$\sum_{i=0}^{N}B_i=1$，因此可求得

$$B_i=\begin{cases}\dfrac{\rho_1^i B_0}{i!} & 0\le i\le\lfloor T\rfloor\\ \dfrac{\rho_1^{\lfloor T\rfloor+1}\rho_2^{i-\lfloor T\rfloor-1}\dfrac{\beta\lambda_n+\lambda_h}{\eta}B_0}{i!} & \lfloor T\rfloor\le i\le N\end{cases}\tag{3}$$

其中，

$$B_0=\left(\sum_{i=0}^{\lfloor T\rfloor}\frac{\rho_1^i}{i!}+\sum_{i=\lfloor T\rfloor+1}^{N}\frac{\rho_1^{\lfloor T\rfloor+1}\rho_2^{i-\lfloor T\rfloor-1}\dfrac{\beta\lambda_n+\lambda_h}{\eta}}{i!}\right)^{-1}\tag{4}$$

则新呼叫的呼损率P_B、切换呼叫的呼损率P_H为

$$P_B=B_{\lfloor T\rfloor}(1-\beta)+\sum_{i=\lfloor T\rfloor+1}^{N}B_i\tag{5}$$

$$P_H=B_N\tag{6}$$

在分组层面，假设每个被允许接纳的用户都是一个可变比特率的源，简化地将其看成一个on-off模型，假设其激活概率为P_{on}。每个用户源处于激活状态时会以一个恒定的速率V来发送数据包，处于静默状态时则不发送数据包。为分析方便起见，本文假定在单位时间(一个时隙)内，一个激活源发送一个确定长度的数据包，即V=1。这样就可以得出当系统中有j个用户时，单位时间内产生i个数据包的概率为

$$P_j^i=\binom{i}{j}P_{on}^i(1-P_{on})^{j-i}\tag{7}$$

由于系统中有i个用户的概率为B_i，因此，可以得到单位时间内，在系统中有i个数据包到达的概率为

$$a(i)=\sum_{j=i}^{N}B_jP_j^i\quad 0\le i\le N\tag{8}$$

单位时间内系统平均到达的数据包个数为

$$E(a)=\sum_{i=1}^{N}ia(i)\tag{9}$$

本文规定每个包的服务时间为一个时隙。系统的并行处理能力为 C 个数据包/时隙。由于考虑了共享缓存机制，一个时隙内无法处理的数据包在一个共享缓存区排队，队列长度受时延限制而必须控制在某个数值以下，假定最大队列长度为 M。具体排队规则是：在本时隙内任何时刻到达的数据包或者在缓冲装置中存贮，最早在下一个时隙被处理(因为每个数据包处理时间均需一个时隙)；或者因队列长度达到上限 M 而被丢弃。第 k 个时隙的数据包数目 $S(k)\in\{0,1,2,3,...,M\}$为有限状态集。

接下来可以求数据包的稳态分布概率π_i。因为系统的处理能力不超过C，所以当次态为j时，现态一定不超过$j+C$，时隙k的一步转移概率为

$$P\{S(k+1)=j/S(k)=i\}=\begin{cases}a(j) & 0\le i\le C\\ a(j-(M-i)) & C<i\le j+C\quad(j<M-C)\\ 0 & i>j+C\end{cases}\tag{10}$$

$$P\{S(k+1)=j/S(k)=i\}=\begin{cases}a(j) & 0\le i<C\\ \sum_{i=C}^{N}a(M-i) & C\le i\le j+C\quad(j=M-C)\\ 0 & i>j+C\end{cases}\tag{11}$$

$$P\{S(k+1)=j/S(k)=i\}=\begin{cases}a(j) & 0\le i<M-j\\ \sum_{i=C}^{N}a(M-i) & i=M-j\quad(j>M-C)\\ 0 & i>M-j\end{cases}\tag{12}$$

系统的一步转移概率矩阵$\boldsymbol{P}$已知，根据式(13)、式(14)，就可以计算出π_i。

$$\pi\boldsymbol{P}=\pi\tag{13}$$

$$\sum_{i=0}^{M}\pi_i=1\tag{14}$$

时隙 k 中丢失的数据包分析如下：假如时隙 k 中有 i 个数据包，当本时隙内到达的包个数 $j(0\le j\le N)$小于 M-i 时，没有数据包被丢弃；否则损失的个数为 j-(M-i)，平均损失的数据包个数为 $\sum_{j=M-i}^{j=N}(j-M+i)a(j)$。

单位时间内平均损失的数据包个数和丢包率为：

$$E(L)=\sum_{i=0}^{N}\pi_i\sum_{j=M-i}^{j=N}(j-M+i)a(j)\tag{15}$$

$$P_L=E(L)/E(a)\tag{16}$$

在本时隙中，缓存的数据包个数大于系统处理能力 C 时，显然一部分数据包将被延迟处理，数据包被延迟 $i(i\ge1)$个时隙处理的概率为

$$P_r(t=i)=\sum_{j=iC+1}^{\min((i+1)C,M)}\pi_j\tag{17}$$

平均时延(单位为时隙)为

$$P_D=\sum_{i=1}^{\left\lfloor\frac{m}{c}\right\rfloor}iP_r(t=i)\tag{18}$$

2 联合分组层和连接层的 CAC 算法

针对共享缓存的系统模型和相关系统参数的计算方法，本文给出了具体的呼叫接入控制策略，通过搜索相应的N、T值和最大队长值M使优化目标取最优值，又满足连接层和分组层另一个指标参数的要求。考虑到越来越多的视频点播等实时业务的需要，将优化目标定为分组层的性能参数——平均时延P_D。在具体的搜索算法前，先探讨一下各个指标与N、T、M的增减关系。允许接入系统的用户数越多，呼损率越小，待发送的数据包将越多，每个包经历的平均排队时间也越长，P_B、P_H、P_L和P_D都是关于N和T的单调递增函数。而最大排队队长越长，丢包率就越小，但每个包的平均时延会变大，P_L是最大排队队长M的单调递减函数，而P_D则是最大排队队长M的单调递增函数。最大允许队长M对平均时延的影响、不同切换用户门限N对平均时延的影响见图 2、图 3。

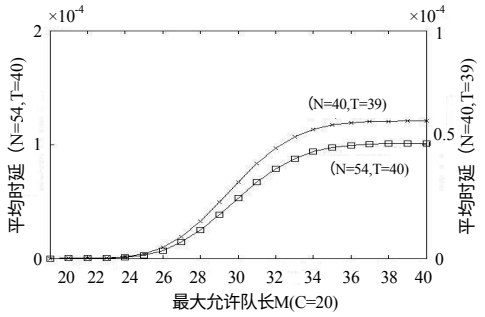


图 2 最大允许队长 M 对平均时延的影响

图 2~图 4 分别给出了在N、T、M 3 个值中有 2 个固定的情况下，分组层参数P_D随另一个值变化的情况。

图例验证了该方法的正确性。下面是使分组层参数P_D最优的具体算法步骤：

(1)使N=C，判断在该N下，是否存在T值使P_B和P_H均不超过目标值，不存在则继续增大N，直到满足条件为止。

(2)找到在该N下不超过P_B目标值的最小T值。

(3)找到在该N下不超过P_L目标值的最小队长值M。

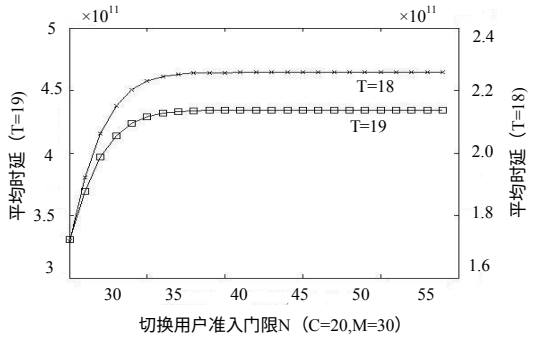


图 3 不同切换用户门限 N 对平均时延的影响

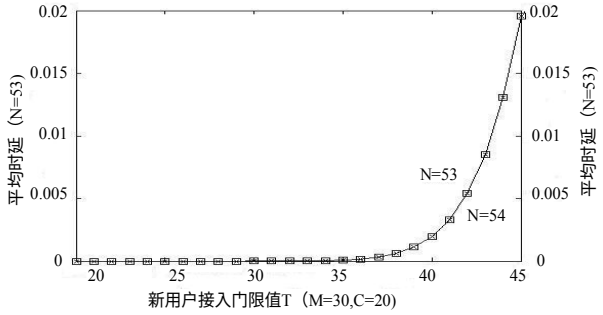


图 4 不同新用户接入门限 T 对平均时延的影响

3 数值结果

本文给出几组上述算法的具体实验数据。采用第 2 节的模型和算法，给出相应的系统参数：各参数取值为λ_n=40 个/s，λ_n=10 个/s，η=1 个/s，P_{on}=1/4，C=20 包/s。实验数据如表 1 所示，当限制$M=C$，即没有缓存时，分析所得结果与文献[5]一致，这证明了本文所采用的分析方法是正确可行的。

表 1 数值计算结果

问题		结果						
目标	限制条件	N	T	M	P_B	P_H	P_L	P_D
Min (P_D)	P_B=0.1 P_H=0.01 P_L=5×10^{-5}	54	51.905 2	38	0.1	0.002 626	3.7×10^{-5}	0.003 485
	P_B=0.05 P_H=0.02 P_L=4×10^{-2}	57	56.224 4	28	0.02	0.015 015	0.030 57	5.8×10^{-4}
	P_B=0.01 P_H=0.001 P_L=2×10^{-2}	66	63.972 6	31	0.01	0.000 2	0.016 67	0.004 255

由表 1 可知，不同的限制条件得到不同的N、T、M值。以第 1 组数据为例，首先搜索得到同时满足P_B=0.1 和P_H=0.01 的最小N值，N为 54；然后搜索在该N下满足P_B=0.1 的最小T值，T为 51.905 2，此时就可以根据分组层的参数P_L=5×10^{-5}的限制得到最长队长M，M为 38，因为队长小于这个数值时，所以丢包率将大于目标值。此时得到的切换呼损率和丢包率指标都优于限定值。

4 结论

随着当今数据业务的增多，不同业务的 Qos 需求也不同。例如对于时延敏感的语音业务，由于人耳灵敏度有限，因此控制在一定范围内的丢包率对通话质量的影响不易被觉察；而对于丢包率敏感的数据业务，相对较小的时延可以接受，但要求较小的丢包率。本文正是考虑到各种不同的 Qos 需求，提出了一种具有共享缓存的、支持可变比特率业务的接入网系统模型，给出了基本性能参数的计算方法、兼顾分组层性能参数和连接层性能参数的 CAC 算法。本算法为满足网络中不同新业务 QoS 提供了一个启发性的思路。下一步的工作将采用与实际相符的模型进行分析，其他性能参数诸如抖动等被纳入考虑范围，寻求一个更全面、适合更复杂业务模型的 CAC 算法，得到具有实际意义的结果。

参考文献

1 Melazzi N B, Sorte D D. Scalable CAC Technique to Provide QoS Guarantees in a Cascade of IP Routers[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Communications. 2001.

2 Schwartz M. Network Management and Control Issues in Multimedia Wireless Networks[J]. IEEE Personal Communications, 1995, 2(3).

3 Niyato D, Hossain E. Call Admission Control for QoS Provisioning in 4G Wireless Networks: Issues and Approaches[J]. IEEE Networks, 2005, 19(5).

4 Jiang S M, Tsang H K, Li B. An Enhanced Distributed Call Admission Control for Wireless Systems[C]//Proc. of the 3rd IEEE Symposium on Computers and Communications. 1998.

5 Huang L, Llc C, Jay K. Joint Connection-level and Packet-level Quality-of-service Support for VBR Traffic in Wireless Multimedia Networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23(6).

6 Ramjee R, Towsley D, Nagarajan R. On Optimal Call Admission Control in Cellular Networks[J]. Wireless Networks, 1997, 3(1).

7 Figueira N R, Pasquale J. Providing Quality of Service for Wireless Links: Wireless/wired Networks[J]. IEEE Pers. Communication, 1998, 6(5): 42-51.

8 Capone J M, Stavrakakis I. Delivering Diverse Delay/Dropping QoS Requirements in a TDMA Environment[C]// Proc. of International Conference on Mobile Computing and Networking. 1997.

(上接第 107 页)

2 Ma Z, Zhang P. Influence of Link State Updating on the Performance and Cost of QoS Routing in an Intranet[C]//Proceedings of the IEEE Workshop on High Performance Switching and Routing. 2001-05.

3 Zinin A. Cisco IP Routing: Packet Forwarding & Intra-domain Routing Protocols[M]. Prentice Hall, 2002: 252-321.

4 Zhangyu X. A More Efficient Distance Routing Algorithm[C]//Proc. of IEEE Military Communications Conference. 1997: 993-997.

5 Boppana R V, Konduru S P. An Adaptive Distance Vector Routing Algorithm for Mobile, Ad Hoc Networks[C]//Proc. of IEEE INFOCOM Conference. 2001: 1753-1762.

6 Miao Zhao, Zhu Huiling. A Stability-based Link State Updating Mechanism for QoS Routing[C]//Proc. of IEEE International Conference on Communications. 2005: 33-37.