

# 用于自相似业务的一种 CAC\*

许都\*\* 李乐民

(电子科技大学宽带光纤传输与通信系统技术国家重点实验室 成都 610054)

**【摘要】** 针对网络业务的自相似特性,在高斯假设下得到了该特性下的业务排队性能;提出了一种适用于传统业务和自相似业务的呼叫接纳控制算法。仿真表明了该算法具有速度快、参数简单等优点。

**关键词** 呼叫接纳控制; 自相似性; 拥塞控制; 分形高斯噪声

**中图分类号** TN913.24

在现代通信网络中,拥塞控制具有十分重要的作用,它不仅用于保护网络及用户来获得预计的网络服务性能,而且可优化对网络资源的利用<sup>[1]</sup>。在基于 ATM 技术的 BISDN 中,拥塞控制要满足一组 QoS 指标,以支持所有的 BISDN 业务。拥塞控制过程一般分为两类:预防式控制和反应式控制。前者在链路建立期间采用某种措施以预防网络拥塞的发生;后者则根据反馈信息控制网络拥塞的程度,目前在 ATM 网络中均有应用。CBR(Constant Bit Rate)和 VBR(Variable Bit Rate)业务常采用预防式控制,而 ABR(Available Bit Rate)业务则基本为反应式控制。预防式拥塞控制一般由呼叫接纳控制(CAC——Call Admission Control)和带宽限制(Bandwidth Enforcement)来实现。CAC 解决的问题是网络中的某节点(或交换机)是否能接纳一个新的连接。

一般地,CAC 方案可分为非统计式资源分配和统计式资源分配。由于统计式资源分配可有效地提高对网络资源的利用率,因此是网络设计人员的首选,但完善的、基于统计式资源分配的 CAC 方案较难实现。因为若孤立地看待 ATM 交换机中的某1个输出端口及其缓存器<sup>[2]</sup>,会转化为求解一个有限缓存器容量下、排空速率一定(为该端口输出速率)的排队问题。对原有连接和加入新的连接后的排队方程的求解是十分困难的,特别是采用了如自相似业务模型等复杂的输入业务模型时的情况<sup>[3]</sup>。此外,CAC 要求的处理时延是很短的,而对复杂排队模型的计算处理会很耗时,为此目前 CAC 多采用一些近似的方法而避免对复杂排队模型的直接求解,如等效带宽法、大负荷近似法、CLR 上限法、快速缓存/带宽分配法、时窗法等<sup>[1,4,5]</sup>。

本文在对自相似业务排队系统近似求解方法的基础上,提出了一种可处理自相似业务输入的快速 CAC 方案。当满足输入业务的高斯假设时,无论实际输入业务是 SRD(short range dependence)或 LRD 的,采用本方案均能得到较好的结果。

## 1 高斯假设下 LRD 业务排队性能的分析

考虑一个缓存器空间无限大的单服务 FIFO(first in first out)排队系统,业务到达发生于每一时隙的开始,服务发生于该时隙的结束。若系统排空速率是恒定的,为  $c$  信元/时隙,  $V_n$  为时隙  $[n, n+1)$  结束时的排队长度,则该队长构成的序列  $\{V_{n+1}, n=0,1,\dots\}$  满足 Lindley 递归

$$V_0 = 0; V_{n+1} = (V_n + A_n - c)^+ \quad (1)$$

式中  $(x)^+ = \max(0, x)$ ,  $A_n$  为单位时隙内进入排队系统的信元数。

对于传统的、基于泊松过程的输入序列,一般可表示为

$$A_n = m + \sum_{k=0}^{\infty} a_k \xi(n-k) \quad n \in Z \quad (2)$$

2000年5月31日收稿

\* 国家自然科学基金资助项目,基金号:69682008

\*\* 男 32岁 博士 讲师

式中  $\xi(n)$  为零均值、单位方差的独立高斯变量； $m > 0$  为输入的平均速率。

该业务流模型较准确地描述了对多个泊松类业务复接或叠加后的业务流特性<sup>[6]</sup>。但近年来对计算机网络中实际业务特性的分析研究表明，其特性并不能被传统的业务模型描述，因此我们提出了自相似模型，得到了通信界的广泛认可。若用  $H$  参数表征序列的自相关程度，则传统模型的  $H \approx 0.5$ ，而实际业务流的  $H \in [0.7, 0.9]$ <sup>[3]</sup>。为此，将式(2)转化为具有 LRD 特性的 FGN(fractal Gaussian noise)序列<sup>[6,7]</sup>，得

$$Z_H(n) = \sum_{k=0}^{\infty} w_{k+1} \xi(n-k) / \Gamma(H+1/2) \quad (3)$$

$$\text{式中 } w_{n-i+1} = \begin{cases} \frac{1}{H+1/2} [(n-i+1)^{H+1/2} - (n-i)^{H+1/2}] & i = n \\ \frac{1}{H+1/2} [(n-i+1)^{H+1/2} - 2(n-i)^{H+1/2} + (n-i-1)^{H+1/2}] & i < n \end{cases}$$

式中  $\Gamma(\cdot)$  为伽玛函数。因此，在式(2)中选取  $a_k = \sqrt{m\gamma} w_{k+1} / \Gamma(H+1/2)$ ，可得到基于 FGN 的、具有 LRD 特性的排队排队输入序列

$$\tilde{A}(n) = m + \sqrt{m\gamma} Z_H(n) \quad (4)$$

式中  $\gamma$  为单位时隙输入信元数的方差系数，即  $\gamma = \text{Var}(\tilde{A}(n)) / m$ 。

对于传统的排队系统<sup>[1,2,4]</sup>，以  $t$  表示缓存器长度，当  $t \rightarrow \infty$  时

$$P[V_{\infty} > t] \exp(-s't) \rightarrow r \quad (5)$$

$$\text{式中 } s' = 2(m-c) / \left( \sum_{k=0}^{\infty} a_k^2 + 2 \sum_{k=0}^{\infty} a_{k+1} \sum_{j=0}^k a_j \right) \quad (6)$$

在传统模型中，式(6)右端分母项等价于  $v = \lim_{k \rightarrow \infty} \text{Var} \left[ \sum_{j=0}^k A(j) \right] / k$ 。由排队理论可知，若令

$S_n = \sum_{i=0}^n (A(i) - c)$ ，则稳态下排队长度为  $V_{\infty} = \max_{n>0} S_n$ 。由于  $\{\tilde{A}_n, n=0,1,\dots\}$  亦为一平稳的高斯序列，

可得对应的自相似业务的排队长度分布满足  $\tilde{V}_{\infty} = \max_{n>0} \tilde{S}_n = \max_{n>0} \left\{ \sum_{i=0}^n (\tilde{A}(i) - c) \right\}$ 。同时，对自相似

输入的累积过程  $\{\tilde{S}_n, n=0,1,\dots\}$ ，其均值为  $(m-c)n$ ，方差为  $\gamma m n^{2H}$ 。由此可得

$$P[\tilde{S}_n > t] = \frac{1}{2} \text{erfc} \left( \frac{t - (m-c)n}{\sqrt{2m\gamma n^{2H}}} \right) \quad (7)$$

式中 当  $n = 2Ht / [2(1-H)|m-c|]$ ，使  $P[\tilde{S}_n > t]$  得到最大值。当  $H=0.5$  时，对一般高斯输入序列  $P[S_n > t]$  的最大值发生于  $n = t / |m-c|$ 。因此，若将分形高斯排队映射到一般高斯排队，则式(6)中  $v$  应满足

$$[t - n'(m-c)] / \sqrt{2vn'} = [t - n''(m-c)] / \sqrt{2m\gamma n''^{2H}} \quad (8)$$

式中  $n' = t / |m-c|$ ， $n'' = 2Ht / [2(1-H)|m-c|]$ 。

由式(6)、(8)可得分形排队输入时的  $s'$  为

$$s'(t) = \frac{2(m-c)}{v} = \frac{(m-c)^{2H}}{2m\gamma(1-H)^{2-2H} H^{2H}} t^{1-2H} \quad (9)$$

此外，由文献[8]的分析可知，式(5)中当  $t$  较大时，对  $r$  的近似为

$$\tilde{r} = \frac{\sqrt{2\pi}}{\sigma} \Psi(c-m, \sigma) \quad (10)$$

$$\text{式中} \quad \begin{cases} \sigma = \sqrt{m\gamma} \\ \Psi(x, \sigma) = \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \exp(-x^2/(2\sigma^2)) - \frac{x}{2} \operatorname{erfc}[x/(\sigma\sqrt{2})] \end{cases} \quad (11)$$

因此,由式(5)、(9)、(10)可得FGN输入时排队系统的CLR为

$$P[V_{\infty} > t] \approx \frac{\sqrt{2\pi}}{\sigma} \Psi(c-m, \sigma) \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} \left[\frac{(c-m)^H}{(1-H)^{1-H} H^H}\right]^2 t^{2-2H}\right\} \quad (12)$$

## 2 高斯假设下的一种CAC方案

我们利用输入序列的高斯假设,得到了单服务排队系统的信元丢失率的表达式(12)。由于该式由传统的泊松类业务推导,因此无论输入业务流具有SRD( $H=0.5$ )或LRD( $0.5 < H < 1$ )特性,均能得到较准确的结果。由此,我们提出一种基于CLR上限的、可处理多种输入业务并满足其各自QoS要求的CAC方案。

假设每一连接具有各自独立的VP,且已知在ATM节点处各VP业务的参数和QoS参数,则由式(12)可判断在该节点所能提供的网络资源(如信道带宽、缓存器容量等)下,是否可接纳新的连接请求。

设某ATM节点有 $N$ 个已建立的连接,以 $VPC_0, VPC_1, \dots, VPC_{N-1}$ 表示。当有新的呼叫到达时,以 $VPC_N$ 表示。假设所有连接的业务参数和QoS参数已知,即对 $VPC_i$ 的已知参数为:平均速率 $m_i$ 、速率方差 $\sigma_i^2$ 、业务流自相似参数 $H_i$ 和最大时延 $\tau_i$ 、信元丢失率 $CLR_i$ ,其中 $i=0,1,\dots,N$ 。这些参数在连接建立期由用户提供,而对下标为 $i=0,1,\dots,N-1$ 的参数(即已建立了连接的业务参数),则由用户参数控制(UPC—User Parameter Control)提供。若该ATM节点提供的最大输出带宽为 $C$ ,则对于 $VPC_0, VPC_1, \dots, VPC_{N-1}$ ,必然有 $\sum_{i=0}^{N-1} m_i < C$ 。若新的连接请求 $VPC_N$ 加入后使 $\sum_{i=0}^N m_i \geq C$ ,则本次呼叫被拒绝;反之对信道资源 $C$ 进行重新分配:令 $c_i$  ( $i=0,1,\dots,N$ )为分配给各 $VPC_i$ 的输出带宽,则

$$c_i = \frac{m_i}{\sum_{j=0}^N m_j} C \quad (13)$$

对式(12)进行变换,可得

$$b_i = \left\{ \frac{2\sigma_i \ln(\sqrt{2\pi} \Psi(c_i - m_i, \sigma_i)) - 2\sigma_i^2 \ln CLR_i}{[(c_i - m_i)^H / ((1-H)^{1-H} H^H)]^2} \right\}^{\frac{1}{2-2H}} \quad (14)$$

式中 $b_i$ 为在已知用户业务参数( $m_i, \sigma_i^2, H_i$ )和所分配输出带宽( $c_i$ )时,为满足用户QoS要求( $CLR_i$ )而需要的缓存器容量,因此可求出对应于 $VPC_0, VPC_1, \dots, VPC_N$ 的 $b_0, b_1, \dots, b_N$ 。设该ATM节点提供的最大缓存器容量为 $B$ ,则当 $\sum_{i=0}^N b_i \leq B$ 时,该节点可满足所有连接对缓存空间的要求,对各

$VPC_i$ 分配资源 $c_i, b_i$ 即可满足各自对 $CLR_i$ 的要求。若 $\sum_{i=0}^N b_i > B$ ,则分两种情况。在 $VPC_0, VPC_1, \dots, VPC_N$ 中寻找对缓存空间要求最小的连接,记为 $VPC_{\min}$ ,它占用的缓存器为 $b_{\min}$ 。

计算 $\sum_{i=0}^N b_i - b_{\min}$ ,并判断其是否仍大于 $B$ ,即在原分配带宽的前提下,不考虑 $VPC_{\min}$ 对输出缓存器

的要求时,其他连接对缓存空间的要求能否满足。若仍不能满足要求,即 $\sum_{i=0}^N b_i - b_{\min} > B$ ,表明必须放弃至少一个连接,这可能是 $VPC_0, VPC_1, \dots, VPC_N$ 中可被优先挂断的连接,如该连接的用户级

别最低、资源开销最少等,记为 $VPC_{cut}$ 。当放弃 $VPC_{cut}$ 后,返回式(13),对当前的 $N$ 个连接重新进行资源分配,再由式(14)和 $\sum_{i=0}^{N-1} b_i$ 对缓存空间进行估计。若 $\sum_{i=0}^N b_i - b_{min} \leq B$ ,应对输出带宽进行再分配。在 $VPC_0, VPC_1, \dots, VPC_N$ 中寻找对缓存空间要求最大的连接,记为 $VPC_{max}$ ,它占用的缓存器为 $b_{max}$ 。对于 $VPC_{min}$ 和 $VPC_{max}$ ,令它们占用的输出带宽分别为 $c_{b_{min}}$ 、 $c_{b_{max}}$ 。对于 $VPC_{max}$ ,增大其输出带宽,降低它对输出缓存器容量的要求;同时减小 $VPC_{min}$ 的输出带宽,以保证 $\sum_{i=0}^N c_i = C$ 。返回式(14),得到各VPC对缓存器容量的要求,并加以判断。由此得到了可满足多个连接CLR要求、适用于多种业务输入的CAC。进一步完善该方案,可对满足CLR要求的各个业务计算各自的时延 $\tau'_i = b_i/c_i$ 。若 $\tau'_i \leq \tau_i (i=0,1,\dots,N \text{ 或 } N-1 \text{ 或 } N-2)$ ,则表明目前建立的连接的最大时延要求均能满足,保持已建立的连接及资源分配;若 $\tau'_i > \tau_i$ ,即 $VPC_j$ 的时延要求无法满足,则加大 $c_j$ ,同时所有连接中对时延要求最低的VPC减小输出带宽,返回式(14),重新计算、判断。

我们对该CAC的性能进行了计算机仿真,假设ATM网络节点处的信道带宽为155 Mbps,缓存器容量为2 000信元。首先给定3个 $H$ 参数不同( $H_1=0.5, H_2=0.7, H_3=0.9$ ),平均速率和方差相同( $m=20$  Mbps、 $\sigma^2=900$ )的VP连接,要求具有 $CLR=10^{-5}$ 的QoS(暂不考虑时延参数),并以这3个连接建立后的状态为初始态,此时的ATM节点资源分配见表1。

表1 CAC初始态资源分配

	$VPC_1 (H=0.5)$	$VPC_2 (H=0.7)$	$VPC_3 (H=0.9)$
占用输出带宽/Mbps	35	51	69
占用输出缓存/cells	150	166	1 379
CLR的仿真数据	$0.94 \times 10^{-5}$	$0.86 \times 10^{-5}$	$0.53 \times 10^{-5}$

由表中数据可见,当输入的各个连接中有自相关性很强的业务流存在时(如 $VPC_3$ ),即使在较低的信道利用率下,为了得到满足QoS要求的CLR,需使用较大的缓存器。如 $VPC_3$ ,在上述CAC过程中经过近20次调整,使其信道利用率降为29%时才满足 $CLR=10^{-5}$ 的要求。在仿真中可见,以式(12)为依据而计算得到的CLR均较仿真值偏高,这与实际缓存器长度有限、同时理论分析所得为丢失率上限的情况相吻合。

另一个重要问题是在ATM节点资源再分配时,对各VPC输出带宽增减步长的选取。在上述仿真中是以1 Mbps为单位进行的。对于非实时应用,该+/-步长越小,能得到越高的资源利用率,接纳更多的业务请求;但在实时环境中,小的步长使运算量加大,CAC过程加长。

下面给出两组数据,分别为在表1所进行的资源分配后,接纳一个VP请求( $m=4$  Mbps、 $\sigma^2=400$ 、 $H=0.6$ )和两个VP请求( $m=10$  Mbps、 $\sigma^2=1 000$ 、 $H=0.65$ )的情况。仍假设所有的VPC要求相同的CLR参数 $10^{-5}$ 。以1 Mbps为输出带宽调整步长,表2经22次完成一次CAC控制。而当第5个连接请求到来时,仿真表明必须放弃一个连接,此处 $VPC_1$ 被放弃。CAC经14次循环达到稳态,见表3。从该表可看出,当待接纳业务具有长期相关性时,为了满足QoS指标而无法达到较高的信道利用率。

表2 完成4个连接时ATM节点的态资源分配

	$VPC_1 (H=0.5)$	$VPC_2 (H=0.7)$	$VPC_3 (H=0.9)$	$VPC_4 (H=0.6)$
占用输出带宽/Mbps	26.4	48.4	70.4	9.8
占用输出缓存/cells	332	192	1 054	413

表3 完成5个连接时 ATM 节点的态资源分配

	$VPC_1 (H=0.5)$	$VPC_2 (H=0.7)$	$VPC_3 (H=0.9)$	$VPC_4 (H=0.6)$	$VPC_5 (H=0.8)$
占用输出带宽/ Mbps	该连接被丢弃	44.4	70.4	11.5	28.7
占用输出缓存/ cells		279	1 054	287	349

### 3 结 论

本文提出的 CAC 方法可处理具有多种自相关特性的用户业务,而不依赖传统的排队分析结论。仿真结果表明,该 CAC 处理速度较高,所需参数较少,并能较快收敛。用户参数是否准确在很大程度上会影响该 CAC 算法的有效性。如在实际网络环境中,若在文中处理第5个连接请求时,能对已建立连接的4个 VP 进行实时参数估计,特别是  $H$  参数的估计,能不必丢弃  $VPC_1$  而接纳所有的连接请求。业务流的自相似性在很大程度上影响着网络性能。为此,我们要进一步寻求一种快速识别并判定输入业务自相关特性的方法。

### 参 考 文 献

- 1 Erramilli A, Wang J L. Monitoring packet traffic levels. GLOBECOM'94, San Francisco, CA, 1994: 274~280
- 2 钱炜宏, 李乐氏. 输入/输出 ATM 交换机在突发业务下的性能. 电子科技大学学报, 1997, 26(6): 576~580
- 3 Leland W E, Taqqu M S, Willinger W, *et al.* On the self-similar nature of ethernet traffic (extended version), IEEE/ACM Trans on Networking, 1994, 2(1): 1~15
- 4 Rathgeb E. Modeling and performance comparison of policing mechanism for ATM networks, IEEE JSAC, 1991,(5): 116~124
- 5 Guerin R. Equivalent capacity and its application to bandwidth allocation in high-speed networks. IEEE JSAC, 1991,(7): 254~262
- 6 Frost V S, Melamed B. Traffic modeling for telecommunications networks. IEEE Communications Magazine, 1994: 70~81
- 7 许 都, 李乐氏. ATM 网络中长相关业务排队性能的分析. 电子科技大学学报, 1998, 27(4): 357~361
- 8 Addie R G, Zukerman M. Performance evaluation of a single server autoregressive queue. Australian Telecommun Research, 1994,28(5): 25~31

## A Novel CAC Algorithm Under Self-similar Traffic

Xu Du    Li Lemin

(National Key Lab of Optical Fiber Transmission and Communication Networks, UEST of China Chengdu 610054)

**Abstract** Recent studies of the network show that the self-similar nature of the traffic has large influences on the network performance. Based on the traditional traffic models, the network performance is often over optimism. In this paper, a formula of cell loss rate of a buffer system under the self-similar traffic is proposed. A call admission control algorithm utilizing the Gaussian assumption of the traffic is given, which deals with the traditional traffic and self-similar traffic as well. Simulation results indicates that this algorithm is rather accurate and fast.

**Key words** call admission control; self-similar; congestion control; fractal gaussian noise