

一种基于分形布朗运动包封过程的 CAC 算法

邓 钢, 纪 阳, 张 平

(北京邮电大学无线新技术研究室, 北京 100876)

摘 要: 本文提出了一种使用分形布朗运动包封过程(FBMEP)的 CAC 算法. 通过估计自相似业务的等效带宽, 该算法能够较好地同时获得信源内与信源间的增益. 同时, 该算法在求解时的计算复杂度也较低.

关键词: 自相似业务; 分形布朗运动; 等效带宽; CAC

中图分类号: TN915.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2002) 12A-2102-03

A CAC Algorithm Based on the Fraction Brownian Motion Envelope Process

DENG Gang, JI Yang, ZHANG Ping

(WTI Lab, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: A novel CAC algorithm named FBMEP(Fraction Brownian Motion Envelope Process) is proposed in this paper. It can acquire multiplex gain from both "in the source" and "across the source" by evaluating the equivalent bandwidth of self-similar traffic. On the other hand, the computation complexity of this algorithm is low.

Key words: self-similar traffic; fraction Brownian motion; equivalent bandwidth; CAC

1 引言

CAC 的判决与用户的业务流模型有很大关系. 传统的业务模型假设用户的业务流模型为泊松分布, 并在此基础上发展出了许多不同的 CAC 模型. 但是, 对各种不同的网络的实测结果表明, 在 ATM 网络、以太网^[1]以及压缩后的图像流^[2]中, 都出现了自相似(self similar)行为. 当对具有自相似特性的信源进行处理时, 采用许多原有的 CAC 算法所得的结果无法令人满意. 因此, 需要有一种有效的 CAC 方法能对自相似业务流进行处理, 遗憾的是目前的 CAC 算法中能够处理自相似业务流的还不多见.

在判决能否接入时, 使用有效带宽(effective bandwidth)进行判别是非常普遍的一种方法. 当假定用户的分组数据可以进行缓冲时, CAC 根据单个用户在呼叫申请中所提出的业务流模型以及其所需的 QoS 参数计算出其有效带宽, 从而获得复用增益, 但此时获得的增益只利用了单个信源自身的特性; 与此相反, 当假定用户的队列为零时, 可以根据不同用户之间相互独立的特性而获得信源之间的增益. 文[3]提出了一种利用 "Scaling Law" 方法并考虑了信源内增益与信源间增益的 CAC 算法(Scaling Law CAC), 但是其主要处理的是具有相同 H 参数的信源, 而无法处理具有不同 H 参数的信源.

本文提出了一种基于测量的 CAC 算法, 通过使用分形布朗运动 FBM(fractal Brownian motion)的包封过程, 可以计算出在给定 QoS 要求与队列大小的条件下支持合成信源所需的带

宽. 采用这种方法, 能够处理具有不同 H 参数的信源, 同时能够既利用信源内增益又利用信源间增益. 通过进一步推导, 可以发现采用 CLR(cell lose ratio)作为复用依据时, SL CAC 算法属于本文所提出的算法的特例. 本文所考虑的 QoS 参数为用户的 CLR.

2 系统模型以及分形布朗运动的包封过程

图 1 表示了在网络边缘一个接入交换机的模型.

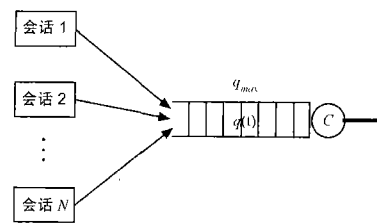


图 1 网络边缘接入交换机的模型

图 1 中, 所有呼叫的分组数据均送至同一个队列(队列的容量为 q_{max})中进行排队, 然后送至容量为 C 的链路上去. 这里假设所有呼叫所需要的 CLR 相同, 且不同的呼叫之间相互独立. 另外, 假设采用的排队机制为先到先服务(FCFS)型. 使用 FBM 来描述各业务流的特性, 并且不同信源的均值(\bar{a}_i)、方差(σ_i^2)和 Hurst 参数($H_i \in [0.5, 1)$)均可不同.

所谓包封过程(envelope process)是这样—个过程: 对于一个随机过程 $A(t)$ 来说, 存在一个边界过程 $\hat{A}(t)$ 满足如下特

性: $A(t_1, t_2) \leq \hat{A}(t_2 - t_1), \forall t_1 \leq t_2$. 则过程 $\hat{A}(t)$ 可以被称为 $A(t)$ 的包封过程.

对于单个的 FBM 来说, 其 FBMEP 可以定义如下^[4]:

$$\hat{A}_H(t) = \bar{a}t + k \sqrt{\sigma^2 t^{2H}} = \bar{a}t + k\sigma t^H \quad (1)$$

其中 $k = \sqrt{-2 \ln \epsilon}$, 代表一个 FBM 过程能够超过 $\hat{A}_H(t)$ 的概率; ϵ 代表用户所要求的 CLR.

文[5]给出了把所有的呼叫合成在一起后, 合成 FBMEP 的公式以及相关参数的求解方法:

$$\hat{A}_H(t) = \sum_{i=1}^N \bar{a}_i t + k \sqrt{\sum_{i=1}^N \sigma_i^2 t^{2H_i}} \quad (2)$$

当链路的速率为 C 时, 队列中分组的数目为:

$$q(t) = \hat{A}_H(t) - Ct \quad (3)$$

当 $q(t)$ 取最大值时, 其导数为 0, 即

$$dq(t)/dt = 0 \quad \text{或} \quad d\hat{A}_H(t)/dt = C \quad (4)$$

从式(4)可以求出 $q(t)$ 使取最大值的 t^* , 并由式(3)计算出此时 q_{\max} 的取值, 即

$$q_{\max} = \hat{A}_H(t^*) - Ct^* \quad (5)$$

3 使用 FBMEP 的 CAC 算法

当进行 CAC 判决时, 根据队列的最大容量 q_{\max} 和业务流的参数来确定支持合成业务流所需的链路带宽 C_{aggr} , 并将其与链路速率 C 进行比较以决定新的呼叫能否被接入网络.

由式(2)、(4)、(5)并化简, 可得当队列容量固定时填满队列所需要的时间:

$$\sum_{i=1}^N \sigma_i^2 (1 - H_i) t^{2H_i} / \left(\sum_{i=1}^N \sigma_i^2 t^{2H_i} \right)^{1/2} = \frac{q_{\max}}{k} \quad (6)$$

可以证明, 式(6)存在唯一解(由于篇幅所限, 此处略去详细证明过程). 当 $N > 1$ 且各信源的 H 不等时, 可以采用弦截法等数值计算方法来对 t 进行求解.

设式(6)的解为 t^* , 则由式(5)可得合成业务流所需的链路带宽为:

$$C_{\text{aggr}} = \frac{\hat{A}_H(t^*) - q_{\max}}{t^*} = \sum_{i=1}^N \bar{a}_i + \left(k \sqrt{\sum_{i=1}^N \sigma_i^2 t^{2H_i}} - q_{\max} \right) / t^* \quad (7)$$

因此, 采用了 FBMEP 的 CAC 算法(FBMEP CAC)如下:

(1) 当新呼叫申请到达时, 根据其所提出的 $\{\bar{a}_{N+1}, \sigma_{N+1}, H_{N+1}\}$ 以及系统中的 $\{\bar{a}_i, \sigma_i, H_i\}, i = 1 \dots N$, 利用式(7)求出合成业务流所需带宽 C_{N+1} (C_{aggr} 即);

(2) 比较 C_{N+1} 与链路带宽 C , 若 $C_{N+1} < C$ 则允许接入, 否则拒绝.

4 一些特殊情况的讨论

4.1 合成业务流所需带宽

当所有信源的 H_i 相同时, 由式(6)可以解出 t 值并代入式(7)可得:

$$C = \sum_{i=1}^N \bar{a}_i + HK^{1/H} \times \left(\frac{Q}{1-H} \right)^{1-1/H} \times \left(\sum_{i=1}^N \sigma_i^2 \right)^{1/2H} \quad (8)$$

更进一步, 当信源的所有特性均相等时, 有:

$$C = N\bar{a} + Hk^{1/H} \times (q_{\max}/(1-H))^{1-1/H} \times (N\sigma^2)^{1/2H}$$

在第 5 部分中, 将给出 FBMEP CAC 算法的仿真结果.

4.2 FBMEP CAC 与 SL CAC 的关系

文[3]中提出了一种利用“Scaling Law”来计算合成业务流所需容量的 CAC 方法. 在采用 CLR 来推导容量的前提下, 文[3]得到如下关系式:

$$C_n = M_n + (C_l - M_l) (M_n A_n / M_l A_l)^{1/2H} \quad (9)$$

将式(9)右边各项的代表式依次代入并化简, 可得与式(8)相同的结果. 因此, 在采用 CLR 作为 QoS 参数时, SL CAC 可以被看成为我们提出的 FBMEP CAC 的一个特例.

5 仿真结果

由于文[4]已经对采用 FBMEP 方式的自相似信源进行了描述, 并对这种方法的正确性作出了说明, 而文[3]中对 SL CAC 与其它 CAC 方法作出了对比, 因此这里主要讨论复用增益与其它参数的关系上. 仿真中, 所有信源要求的 CLR 均规定为 10^{-6} , 即 $k = 5.2565$, 系统的队列大小均为 1000.

图 2 表示了均值为 100, Hurst 参数为 0.9 时, 复用增益与参加复用的信号源数目之间的关系. 从图 2 中可见, 随着信号源数目的不断增加, 复用增益也随之增加. 可以看出, 随着复用信号源数不断增加, 复用增益倾向于一个常数. 可以证明, 这是由于采用 FBMEP 描述信源时尾部的影响而造成的.

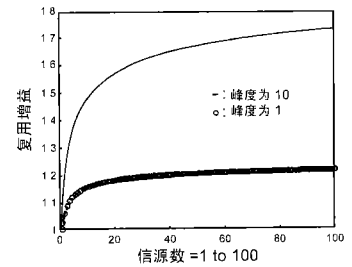


图 2 复用增益与信源数的关系

单个信源所需的信道容量为 $C_l = \bar{a} + C\sigma^{1/H}$; 复用后的信源所需的信道容量为 $C_N = N\bar{a} + N^{1/2H}C\sigma^{1/H}$. 所以复用增益为 $\text{Gain} = \frac{NC_l}{C_N} = \frac{N\bar{a} + NC\sigma^{1/H}}{N\bar{a} + N^{1/2H}C\sigma^{1/H}}$. 容易看出, 当 $N \rightarrow \infty$ 时, $\text{Gain} \rightarrow 1 + C\sigma^{1/H}/\bar{a}$. 其中, $C = HK^{1/H} (q_{\max}/(1-H))^{1-1/H}$.

图 3 表示了当两种不同信号源复用在一起时, 复用增益与单独复用两种信源之间的对比. 两种信号源的参数见表 1. 混合信号源的复用方式为每次增加一个信号源 a 、一个信号源 b . 从图 3 中可以看出, 虽然信号源 a 的均值和峰度都小于信号源 b , 但其复用增益仍然大于信号源 b 的复用增益, 这是由于 Hurst 参数比信号源 b 大而造成的. 因此, 我们可以得出结论, 在自相似信号源进行复用时, 决定其复用增益的主要因素是 Hurst 参数. 事实上, 当 $H = 0.5$ 时, 信源间复用是没有增益的, 根据式(8)可以很容易地证明这一点. 另外, 可以看出混

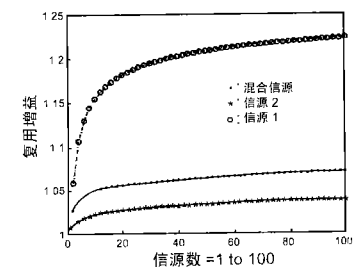


图 3 不同信号源复用时的增益

合信号源的复用增益介于信号源 a 、 b 之间,可以认为这是由于混合信源的 H 介于两者之间造成的.

表 1

| | 均值 | 峰度 | Hurst 参数 |
|---------|-----|----|----------|
| 信号源 a | 100 | 1 | 0.9 |
| 信号源 b | 500 | 5 | 0.6 |

6 结论

本文提出了一种使用 FBMEP 方法,来估计在给定用户所需 CLR 以及系统队列容量的条件下,支持合成用户流所需链路带宽的计算方法,并根据该方法提出了一种极为有效的 CAC 算法.该算法能够利用信源内部和信源之间的增益,同时也能够处理具有不同 FBM 参数的信源.通过推导还可以看出,Scaling Law CAC 在某种程度上可以被看作是 FBMEP CAC 的特例.仿真结果显示该方法可以获得比较高的复用增益.

参考文献:

- [1] W E Leland, et al. On the self-similar nature of ethernet traffic (extended version)[J]. IEEE/ACM Trans. Networking, 1994, 2: 1 - 15.
 [2] J Beran, et al. Long-range dependence in variable-bit-rate video traffic [J]. IEEE Trans. Commun, 1995, 43: 1566 - 1579.

- [3] Jonathan L Wang, et al. A connection admission control algorithm for self-similar traffic [A]. Global Telecommunications Conference 1999 [C]. Rio de Janeiro, Brazil, 1999, 2: 1623 - 1628.
 [4] G S Mayor, et al. Time scale analysis of an ATM queuing system with long-range dependent traffic [A]. Proceeding of Infocom '97 [C]. Los Alamitos, Californian, USA, 1997, 205 - 212.
 [5] Fonseca, N L S, et al. Statistical multiplexing of self-similar sources [A]. Global Telecommunications Conference [C]. San Francisco, 2000, 3: 1788 - 1792.

作者简介:



邓 钢 男, 1977 年 4 月生于江西省宜春市. 1997 年毕业于北京邮电大学电信工程学院, 2000 年获得北京邮电大学通信与电子系统专业硕士学位, 现为该校博士研究生. 目前研究方向为宽带移动通信网中的拥塞控制问题.

纪 阳 1972 年 4 月生于内蒙古呼和浩特市. 1993 年毕业于北京邮电大学电信工程系, 1997 年在北京邮电大学攻读硕士学位, 并于 1999 年提前攻读博士学位. 目前研究方向为宽带无线 IP 网络、第三代移动通信系统、ATM 和 IP 网络中的 QoS 问题.