

基于测量的 QoS 接纳控制算法的结构与性能分析^{*}

桂志波 周立超

(南京邮电学院计算机科学与技术系 南京210003)

Analysis of Structure Performance of Measurement-Based QoS Admission Control Algorithms

GUI Zhi-Bo ZHOU Li-Chao

(Department of Computer Science and Technology, Nanjing University of Posts and Communications, Nanjing 210003)

Abstract The advantage of measurement-based QoS admission control(MBAC)algorithms is that they can improve network utilization. In this paper, the equations of MBAC algorithms are proved to be of the same structural form. Then, through simulations on the existing MBAC algorithms, the simulating results demonstrate that MBAC algorithms may have the same performance by tuning the adjustable parameters of algorithms, and that the key factor of influencing MBAC algorithms' performance is the adjustable parameters, not the equations, of algorithms.

Keywords QoS, Admission control, Measurement mechanism, Traffic model, Algorithm

1 引言

为了给诸如连续多媒体流的实时应用提供 QoS 保证,下一代 Internet 必须借助接纳控制策略对申请入网的业务流加以控制。QoS 接纳控制决定是否给请求接入的业务流分配适当的网络资源,同时在满足新接入的业务流的 QoS 的条件下又不影响已被接纳的业务流的 QoS。

传统的 QoS 接纳控制算法,即基于参数的接纳控制算法(PBAC 算法),运用数据源的先验特征计算出最坏状态下所有已被接纳的业务流所占用的网络资源^[1]。业务流平滑时,该算法的网络资源利用率是可以接受的,但业务流突发时,其平均性能远小于所计算的上限,从而导致网络资源利用率下降。同时,PBAC 算法需要用户提供对业务流的精确描述,而在一般情形下,要做到这点几乎是不可能的。

与 PBAC 算法不同,基于测量的 QoS 接纳控制算法(MBAC 算法)则是根据对实际到达的业务流的测量做出决策,故这类算法能够在提高网络资源利用率中起着关键作用^[2]。MBAC 算法由两部分组成:请求接入的业务流的接纳判别标准(即接纳控制判别式)和业务流量的测量过程。

目前,已提出许多 MBAC 算法。这些算法通常可分为6种类型。每种类型的具有代表性的算法分别是 MS(Measured Sum)、HB(Hoeffding Bounds)、TP(Tangent at Peak)、TO(Tangent at Origin)、TE(Aggregate Traffic Envelopes)以及 MC(Measure CAC)算法^[2]。对这6种算法进行性能分析就可以了解几乎所有的 MBAC 算法的实施效果。文[3]对这6种算法分别进行仿真分析,结果表明:尽管这些算法的接纳控制判别式的表示形式差别很大,但通过调整 MBAC 算法的可调参数,它们都能实现相同的性能。文[4]证明了 MS、HB、TP、TO 算法的接纳控制判别式可以归结为相同的结构形式。基于上述的工作,本文对这6种算法做了进一步的研究,证明了 TE、MC 算法与另4种算法具有相同的结构形式;然后,在仿真实验中,通过调整算法中可调参数,使得这6种 MBAC 算法实现

了相同的性能。仿真结果表明,影响 MBAC 算法性能的关键因素是其可调参数而不是其接纳控制判别式。这充分验证了我们的结论,也验证了文[3,4]的工作。

2 MBAC 算法概述

本节简要介绍上述 MS、HB、TP、TO、TE 及 MC 算法^[3,5,6]。

MS 的基本原理:若请求流的峰值速率与已接纳业务流的聚合流的测量速率之和小于目标利用率和链路带宽的乘积,就接纳该请求流;否则,拒绝。故,其接纳控制判别式定义为:

$$\hat{v} \leq vu - p \quad (1)$$

其中, $\hat{v}$ 是已接纳的聚合流的速率测量值, u 是链路容量, v 是链路目标利用率, p 是新请求流的峰值速率。

HB 的基本原理:利用 Hoeffding 边界计算已接纳的聚合流的等效带宽。若该等效带宽与请求流的峰值速率之和小于链路带宽,就接纳该请求流;否则,拒绝。

其接纳控制判别式如下:

$$\bar{C}_H + p \leq u \quad (2)$$

其中, $\bar{C}_H$ 是聚合流等效带宽, p 是请求流的峰值速率, u 是链路容量。

TP 的基本原理:把由 Chernoff 边界获得的等效带宽曲线在峰值处的切线表达式作为它的接纳控制判别式。即,若满足下式,就接纳新的请求流;否则,拒绝。

$$np(1 - e^{-p}) + e^{-p}\hat{v} \leq u \quad (3)$$

式中, n 为已接纳业务流的个数, p 是请求流的峰值速率, $\hat{v}$ 是聚合流的测量值, s 是 Chernoff 边界的空间参数, u 是链路容量。

TO 的基本原理:与 TP 相似,不同之处就在于,TO 算法使用等效带宽曲线在原点的切线表达式作为它的接纳控制判别式。即,若满足下式,就接纳新的请求流;否则,拒绝。

$$e^{p\hat{v}} \leq u \quad (4)$$

^{*} 本项目得到江苏省自然科学基金(BK2001124)和江苏省教育厅自然科学基金(01KJB510001)资助。桂志波 博士后,副教授,主要研究方向为高性能通信网络的业务流建模与分析、QoS 实现技术。

上式中的参数,参见 TP 算法。

TE 的基本原理:以聚合流包络的均值、方差和目标丢失率作为输入,判断新的请求流是否能通过信任度测试、是否满足稳定性条件。信任度测试条件和稳定性条件分别为:

$$\max_{k=1,2,\dots,T} \{k\tau(\bar{R}_k + r_k + \alpha\sigma_k - C)\} \leq Cd \quad (5)$$

$$\bar{R}_T + r_T + \alpha\sigma_T \leq C \quad (6)$$

其中, $\bar{R}_k$ 、 σ_k 分别为已接纳的聚合流包络的均值、均方差, C 为服务速率, r_k 是请求流速率的上限, d 为最大时延, T 为测量窗长度, α 是与目标信任度有关的参数, τ 为最小的测量时间间隔。

MC 的基本原理:采用大偏差理论估计等效带宽,其接纳控制判别式为:

$$C_{eq} + p \leq u \quad (7)$$

其中, C_{eq} 是聚合流的等效带宽, p 是请求流的峰值速率, u 是链路带宽。

(7) 式表示,当一个业务流请求接入时,MC 算法判断请求流的峰值速率和被接纳的聚合流的等效带宽之和是否小于链路带宽,若满足,就接纳请求流;否则,拒绝。

3 接纳控制判别式的结构分析

文[4]发现,对于 MS、HB、TP 和 TO 算法,虽然它们的接纳控制判别式的表示形式有很大的差别,但都可以归结为下面的结构形式:

$$\hat{v} \leq f(\cdot)u - g(\cdot) \quad (8)$$

其中, $\hat{v}$ 是通过测量而获得的被接纳的聚合流的平均速率, u 是链路带宽, $f(\cdot)$ 和 $g(\cdot)$ 分别为预留速率和关于被接纳的业务流的数量函数。如果用式(8)统一式(1)、(2)、(3)和(4)的表达形式,那么,这4种算法的 $f(\cdot)$ 和 $g(\cdot)$ 分别表示如下^[4]:

$$f_{MS}(\cdot) = v, g_{MS}(\cdot) = p \quad (9)$$

$$f_{HB}(\cdot) = 1, g_{HB}(\cdot) = p + \sqrt{\frac{\ln(1/\xi) \sum_{i=1}^n p_i^2}{2}} \quad (10)$$

$$f_{TP}(\cdot) = e^{i^p}, g_{TP}(\cdot) = np(e^{i^p} - 1) \quad (11)$$

$$f_{TO}(\cdot) = e^{-i^p}, g_{TO}(\cdot) = 0 \quad (12)$$

下面给出关于 TE 和 MC 两个算法的接纳控制判别式的结论。

结论1 TE 算法的信任度测试条件判别式和稳定性条件判别式具有式(8)的结构,其 $f(\cdot)$ 和 $g(\cdot)$ 分别为:

$$f_{TE}(\cdot) = 1 + d/(k'\tau), g_{TE} = r_k + \alpha\sigma_k \quad (13)$$

$$f_{TE}(\cdot) = 1, g_{TE} = r_T + \alpha\sigma_T \quad (14)$$

其中, k' 是使式(5)取得最大值的 k 值, T 是测量窗长度。

证明:对于信任度测试等式,设 $k = k'$ ($1 \leq k' \leq T$) 时, (5) 式取得最大值,令 $\bar{R}_k$ 表示聚合流包络的最大平均速率,则由式(5)得

$$k'\tau(\bar{R}_k + r_k + \alpha\sigma_k - C) \leq Cd \Rightarrow \bar{R}_k \leq C(1 + d/(k'\tau)) - (r_k + \alpha\sigma_k) \quad (15)$$

因给一类服务分配的服务速率和给它分配的链路带宽在原理上是等同的,同时, $\bar{R}_k$ 是聚合流平均速率的测量值,和 $\hat{v}$ 等同,故,式(13)与式(8)具有相同的结构,对应的 $f(\cdot)$ 和 $g(\cdot)$ 分别为:

$$f_{TE}(\cdot) = 1 + d/(k'\tau), g_{TE} = r_k + \alpha\sigma_k \quad (16)$$

接着,证明稳定性条件(6)也可以归结为(8)式的结构。比较式(5)和式(6)可知,它是信任度测试在最大延迟 $d=0$ 和 k'

$=T$ 时的特殊情况。故它的 $f(\cdot)$ 和 $g(\cdot)$ 分别为

$$f_{TE}(\cdot) = 1, g_{TE} = r_T + \alpha\sigma_T \quad (17)$$

结论2 MC 算法的接纳控制判别式(7)具有式(8)的结构,对应的 $f(\cdot)$ 和 $g(\cdot)$ 分别为:

$$f_{MC}(\cdot) = \begin{cases} \ln 10 & -\log(c)/b \leq \theta_0 \\ \frac{\ln 10 \log c}{b\theta_0} & -\log(c)/b > \theta_0 \end{cases} \quad (18)$$

$$g_{MC}(\cdot) = \begin{cases} p \ln 10 & -\log(c)/b \leq \theta_0 \\ B p \ln 10 (2 \frac{\log c}{b\theta_0} + 1) & -\log(c)/b > \theta_0 \end{cases} \quad (19)$$

其中, b 为链路缓冲区的长度, c 为目标丢失率, θ_0 为最大的延迟变化率, p 为信息流的峰值速率, B 为采样间隔。

证明:式(7)中等效带宽的定义^[8]:

$$C_{eq} = -b\lambda(-\log(c)/b)/\log c \quad (20)$$

$\lambda(\cdot)$ 是信息流的可扩展累积生成函数(SCGF)。

则由式(7)可得

$$\frac{-b\lambda(-\log(c)/b)}{\log(c)} + p \leq u \Rightarrow \lambda(-\log(c)/b) \geq \frac{-\log(c)}{b}(u - p) \quad (21)$$

根据文[6],知

$$\lambda(\theta) = \begin{cases} \frac{1}{B} \log\left(\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K e^{\theta \bar{x}_i}\right) & \theta \leq \theta_0 \\ \frac{1}{B} \log\left(\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K e^{\theta_0 \bar{x}_i}\right) + p(\theta - \theta_0) & \theta > \theta_0 \end{cases}$$

其中, K 为一个测量窗中包含的采样个数, $\bar{x}_i$ 为第 i 个采样间隔到达的分组总数。

(1) 若 $-\log(c)/b \leq \theta_0$, 令 $\theta = -\log(c)/b$, 则把 $\lambda(\theta) = \frac{1}{B}$

$\log\left(\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K e^{\theta \bar{x}_i}\right)$ 代入式(21),得

$$\frac{1}{B} \log\left(\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K e^{(-\log(c)/b) \bar{x}_i}\right) \geq \frac{-\log c}{b}(u - p)$$

$$\Rightarrow \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K e^{(-\log(c)/b) \bar{x}_i} \geq 10^{\frac{-B \log c}{b}(u - p)}$$

当 $\bar{x} = \frac{\ln\left(\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K e^{\theta \bar{x}_i}\right)}{\theta}$ 时, $\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K e^{\theta \bar{x}_i} = e^{\theta \bar{x}}$, 由上式得:

$$e^{(-\log(c)/b) \bar{x}} \geq 10^{\frac{-B \log c}{b}(u - p)} \Rightarrow \bar{x}/B \leq (\ln 10)u - (\ln 10)p \quad (22)$$

(2) 若 $-\log(c)/b > \theta_0$, 令 $\theta = -\log(c)/b$, 则把 $\lambda(\theta) = \frac{1}{B}$

$\log\left(\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K e^{\theta_0 \bar{x}_i}\right) + p(\theta - \theta_0)$ 代入式(21),得

$$\frac{1}{B} \log\left(\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K e^{\theta_0 \bar{x}_i}\right) + p(\theta - \theta_0) \geq \frac{-\log c}{b}(u - p) \Rightarrow \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K e^{\theta_0 \bar{x}_i} \geq 10^{\frac{-B \log c}{b}u + 2 \frac{\log c}{b}Bp + Bp\theta_0} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} & \text{当 } \bar{x} = \frac{\ln\left(\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K e^{\theta_0 \bar{x}_i}\right)}{\theta_0} \text{ 时, 则 } \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K e^{\theta_0 \bar{x}_i} = e^{\theta_0 \bar{x}}, \text{ 上式可化为} \\ & e^{\theta_0 \bar{x}} \geq 10^{\frac{\log c}{b}(-B)u + 2 \frac{\log c}{b}Bp + Bp\theta_0} \\ & \Rightarrow \frac{\bar{x}}{B} \leq \frac{\ln 10 \log c}{b\theta_0}u - Bp \ln 10 (2 \frac{\log c}{b\theta_0} + 1) \end{aligned} \quad (24)$$

其中, $\bar{x}$ 表示聚合流在一个采样间隔产生的平均分组总数的测量值,则 $\bar{x}/B$ 为聚合流的平均速率的测量值,与 $\hat{v}$ 等同。因而,式(7)可以表示为式(8)的形式,相应的 $f(\cdot)$ 和 $g(\cdot)$ 分别为:

$$f_{MC}(\cdot) = \begin{cases} \ln 10, & -\log(c)/b \leq \theta_0 \\ \frac{\ln 10 \log c}{b\theta_0}, & -\log(c)/b > \theta_0 \end{cases} \quad (25)$$

$$g_{MC}(\cdot) = \begin{cases} p \ln 10 & , -\log(c)/b \leq \theta_0 \\ B p \ln 10 (2 \frac{\log c}{b\theta_0} + 1) & , -\log(c)/b > \theta_0 \end{cases} \quad (26)$$

4 仿真实验与性能分析

如图1所示,仿真实验采用单向主干链路,数据只从工作站1发送到工作站2,工作站和路由器之间带宽与缓冲区是有限的,路由器1和路由器2之间的链路带宽为10MB/S。在仿真过程中,工作站1根据“星球大战”(http://viscom.kaist.ac.kr/video-trace.html)的视频轨迹发送数据包,每隔400毫秒发出一个新的请求流,数据流的生存时间服从均值为300毫秒的对数分布。请求流使用RSVP信令向路由器1发出接入请求。路由器1根据当前的网络资源决定是否接纳。仿真持续时间为30分钟,性能参数为带宽利用率和丢包率。因而,在每次仿真中,采集链路利用率和丢包率的信息。进行多次仿真,把每次仿真收集到的数据点连接起来,以链路利用率为横坐标,丢包率为纵坐标,获得利用率-丢包率曲线。针对上述6种算法,每次仿真时,调节这6种算法的可调参数,进行性能参数分析,以考察这其性能。

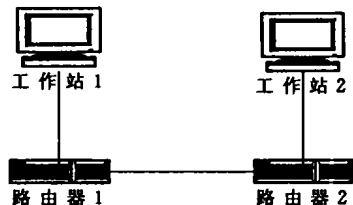


图1 网络拓扑

前述的6个算法,基于时间窗测量机制所得到的仿真结果如图2所示。

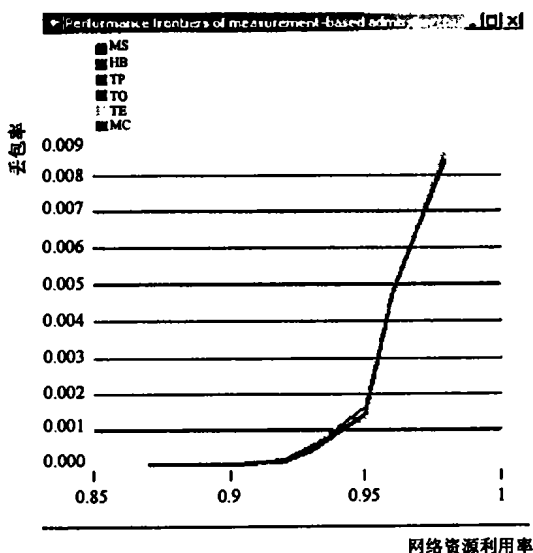


图2 MBAC算法的性能曲线图

图2表明,使用相同的测量过程,MS、HB、TP、TO、TE和MC算法的性能曲线几乎重叠在一起,很难分辨出彼此的差别。反观文[3,4]的仿真结果,虽然它们的性能曲线大部分重叠在一起,但开始还是有一些差别。而本文的仿真结果则不存在这种情况,其原因就是在本次仿真中,上述6种算法使用相同的测量过程,并且它们的可调参数之间有确定的关系。而文[3,4]中的仿真,需不断地调整参数才能获得相同的性能。

结束语 基于测量的QoS接纳控制算法在提高网络资源利用率中起关键作用,因此,对它进行研究具有重要意义。本文分析了目前最具代表性的6种MBAC算法的接纳控制判别式,同时,对这6种算法进行仿真实验,发现这6种算法的接纳控制判别式可以归结为相同的结构形式,并且,影响MCAC算法性能的关键因素不是算法的接纳控制判别式的结构,而是算法中所包含的可调参数。

网络操作者不仅仅满足于知道通过改变可调参数可以调整算法的性能,他们更感兴趣如何设置算法的参数以满足目标性能指标。本文的工作为网络操作者如何设置算法的参数提供了一个可行的思路。

参考文献

- 1 Floyd S. Comments on Measurement-based Admission Control for Controlled-Load Service, Lawrence Berkeley: [Technical Report]. July 1996
- 2 Jamin S, Danzig P, Schenker S, Zhang L. A Measurement-based Admission Control Algorithm for Integrated Services Packet Networks. IEEE/ACM Trans. on Networking, 1997, 5(1): 56~70
- 3 Breslau L, Jamin S, Schenker S. Comment on The Performance of Measurement-based Admission Control Algorithms. In: Proc. IEEE INFOCOM, 2000. 1233~1242
- 4 Jamin S, Schenker S. Measurement-based Admission Control Algorithm for Controlled-load Service: A Structural Examination. [University of Michigan, Ann Arbor, MI, Report CSE-TR-333-97]. 1997
- 5 Qiu J, Edward W. Measurement-based Admission Control With Aggregate Traffic Envelopes. IEEE/ACM Trans. on Networking, 2001, 9(2): 199~210
- 6 Crosby S, Leslie I. Statistical Properties of a Near-Optimal Measurement-Based call algorithm. In: Proc. IEEE ATM, June 1997
- 7 Casetti C, Kurose J. An adaptive algorithm for Measurement-Based Admission Control In Integrated Services Packet Networks. Computer Communications, 2000, 23: 1363~1376