

接入网 MAC 层 QoS 系统的多业务令牌桶流量整形算法

张晓彤 李培娅 王 沁 杜立国

(北京科技大学信息工程学院 北京 100083)

摘 要 以 HFC 网络核心设备双向 CM(Cable Modem)为研究背景,首先对目前的流量整形算法进行了分析,在 HFC 网络 QoS 系统需求的基础之上,提出了一种动态支持多业务整形的令牌桶算法。以美国有线电视实验室的测试用例仿真分析了队列长度对丢包率以及延时的影响。通过性能分析可以看出,该算法满足了多种应用对延时和丢包率的要求,很好地调整了数据的突发速率,有效地进行了流量整形控制。

关键词 服务质量,流量整形,令牌桶,多业务

Multi-service Token Bucket Algorithm of MAC QoS System in Access Network

ZHANG Xiao-tong LI Pei-ya WANG Qin DU Li-guo

(Information Engineering School, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract To adjust the traffic burst rate and support dynamic service flows, a multi-service Token Bucket Algorithm was proposed to Quality of Service architecture in Cable Modem of HFC access network, based on a token assignment module between token generator and bucket, and polling policy. The Acceptance Test Plan, defined by Cable Television Laboratories, was used to analyse the impact of queue depth on the delay and jitter and comparison output rate with input rate, the result shows that this algorithm meets the application requirements and controls the rate shaping effectively.

Keywords Quality of service, Rate shaping, Token bucket, Multi-service

1 引言

日常生活中的服务质量是消费者对服务者所提供服务的满意程度,是对服务者服务水平的一种衡量和评价。同样,现代计算机网络作为计算和信息等服务的提供者,面临着同样的问题。随着 Internet 的迅猛发展,人们对 IP 电话、视频会议、VOD 点播等多媒体应用的需求正大幅度增加,网络逐步从单一的数据传送网向数据、语音、图像等多媒体信息的综合传输网演化,这些变化导致新的应用对网络提出更高的要求,需要更高的带宽,信息传输具有低延迟和低抖动等特点。以“最大努力”型服务方式为代表的 Internet 传统传输模式,已无法满足目前多媒体的大量应用和用户在网络传输质量的高要求。在这种情况下,以提高网络资源的利用率、为用户提供更高服务质量为目标的 QoS 控制技术应运而生,并成为下一代网络的核心技术之一。

由于网络是一个层次化的体系结构,其不同层次所要求的 QoS 参数不同。IETF(Internet Engineering Task Force)先后提出了适用于网络层的 QoS 模型,包括综合服务(Integrated Services, IntServ)/资源预留协议 RSVP(Resource Reservation Protocol)、区分服务(Differentiated Services, DiffServ)以及多协议标签交换(Multiprotocol Label Switching, MPLS)。为了适应网络新的发展方向,不同网络都推出了自己的 QoS 解决方案。接入网如 ATM^[1]、无线接入网 802.16^[2]

以及 HFC 网络陆续提出了其 MAC 层 QoS 的架构。

HFC 网络是支持家庭多媒体和互联技术的综合业务宽带接入网的理想解决方案,该方案采用 DOCSIS 标准,对上行信道接入使用“请求-授权”机制,能很好地协调多个用户对共享上行信道的使用。DOCSIS 协议最初(V1.0)是为在用户端之间以及用户和终端之间实现透明 IP 传输的一种协议,以最大努力方式投递数据,不能提供任何服务质量保证。但从 DOCSISv1.1^[3]开始提供了主动授权、带活动性检测的主动授权、实时查询业务、非实时查询和最大努力 5 类业务来保证 VOIP, MPEG, VOD 等数据的传输质量。

2 流量整形研究

在 Docsis 规范定义的 QoS 参数编码中,有两个重要的参数:一是最大上行持续业务速率 R(Upstream Maximum Sustained Traffic Rate, bits/sec),另一个是最大突发业务 B(Maximum Traffic Burst, bytes)。在时间间隔 Δt ,被转发的字节数限制在 $\text{Max}(\Delta t)$ 以内,有如下关系:

$$\text{Max}(\Delta t) = \Delta t \times (R/8) + B \quad (1)$$

在时间间隔 Δt 内,最大上行持续业务速率可以强迫 CMTS(Cable Modem Termination System)用延迟授权来填充 MAP,所以对于上行业务流,CM(Cable Modem)不能请求超过 $\text{Max}(\Delta t)$ 值的带宽。CM 必须延迟发送不满足(1)式的上行数据包,并且对它们进行流量整形(Rate Shaping)来满足

该表达式,以满足应用和生产商缓冲器大小限制的最大速率要求。

所谓流量整形是调整数据传输的平均速率,是数据按照传输模式规定的速率进行传输,尽量避免突发性通信量导致的拥塞问题。采用的主要基本算法是漏桶算法和令牌桶算法。

2.1 漏桶算法

漏桶算法^[1]是将流量整形操作形象地比喻成一个底部带有一个小孔的水桶,无论流入桶中的水速有多大,从底部小孔流出的水速是恒定的。如果桶中无水,则速率为 0;如果桶中水满,则流入桶中的水将溢出而流失掉。漏桶相当于一个缓冲区,当缓冲区满时,分组被丢弃,队列按规定的速率向网络发送分组,如图 1 所示。如果分组长度固定,则以分组为单位,每隔一定的时间发送一个分组,否则应规定队列每次发送的最大字节数。该算法的缺点是,无论数据量多大,总以恒定的速率发送数据,且当桶满时,数据丢失。

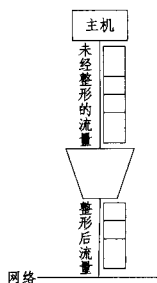


图 1 漏桶算法

2.2 令牌桶算法

大多数应用程序都需要在突发数据到来时能较快地给予响应,同时最好不要丢失数据,令牌桶^[5-7]就具有这样的特点。令牌桶装的是令牌而不是分组,每隔 Δt 时间产生一个令牌,放入令牌桶。令牌桶满后,新产生的令牌将丢弃。分组在桶外缓冲区中排队,桶中有多少个令牌就可以发送相应于令牌个数的分组数。当桶空时,停止发送数据,新来的分组就要等待生成新令牌或被丢弃。由于突发性的输入流往往导致拥塞的发生,因此获得令牌的分组将被快速地输出,使突发性输入流得以迅速疏导。令牌桶工作过程如图 2 所示。

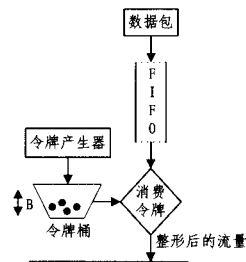


图 2 令牌桶算法

一个令牌可表示一个分组,也可表示一定数量的字节。若一个令牌表示允许发送一个分组,则每隔 Δt 时间,令牌计数器值加 1(受桶容量的限制);每发送一个分组,计数器值减 1;当计数器值等于 0 时,停止发送分组。若一个令牌表示允许发送 K 个字节,则令牌桶相当于一个字节计数器,每隔 Δt 时间,令牌计数器的值加 K ;每发一个分组,计数器值减去分组长度(字节);当计数器值小于下一个分组时,则停止发送。

令牌桶的优点是,当主机空闲时,可积累令牌,积累的令牌数量由令牌桶容量来确定。因此,令牌桶有利于发送突发性数据,突发数据量由令牌数量决定。当桶满时,丢弃的是令牌而不是分组。

假设突发数据到达时,令牌桶是满的。设突发长度为 S 秒,数据的峰值速率为 $M(\text{byte/s})$, $r = R/8$,由(1)式可得:

$$\text{Max}(S) = M \times S = S \times r + B \quad (2)$$

可得:

$$S = \frac{B}{M-r} = \frac{B}{M} + \frac{B \times r}{(M-r)M} \quad (3)$$

由(3)式可知,数据在开始时按速率 M 发送 C/M 秒,然后按速率 r 发送,直到结束。

3 多业务令牌桶算法

传统令牌桶算法只适用于单一业务的流量,而在 CM 端的 QoS 系统中多业务并存。这些业务主要分为 5 大类:主动授权业务(UGS)用来支持定时地产生固定长度数据包的实时业务流(如 VOIP);实时查询业务(rtPS)用于支持 MPEG 视频一类周期地产生可变长度数据包的实时业务流;带活动性检测的主动授权业务(UGS/AD)用于支持可能在有效时间变为非活动的 UGS 业务流;非实时查询业务(nrtPS)用于支持需要规则的、可变长度数据授权的非实时业务流,诸如需要大带宽的 FTP。最大努力(BE)业务的目的是为最大努力通信提供高效率的业务,其与流量整形相关的参数关系如表 1 所列。

表 1 上行业务参数

QoS 参数	BE	nrtPS	rtPS	UGS	UGS-AD
通信优先级	可选缺省=0	可选缺省=0	不适用	不适用	不适用
最大级联突发	可选	可选	可选	不适用	不适用
最大持续速率	可选缺省=0	可选缺省=0	可选缺省=0	不适用	不适用
	可选缺省	可选缺省	可选缺省		
最大突发业务	=1522	=1522	=1522	不适用	不适用

由表 1 可以看出,在上行方向主要有 3 种业务需要流量整形。而 UGS 和 UGS-AD 业务数据在某些情况下还会改为 BE 发送方式。每个业务类下同时存在多个业务流(Service ID, SID),且每个业务流都有其流量整形参数。另外,CMTS 和 CM 之间的动态业务信令可能会对这些业务流进行添加、删除或者改变其 QoS 参数的操作。为了适应这种多业务的需求,本文提出了动态支持多业务的流量整形算法,如图 3 所示。

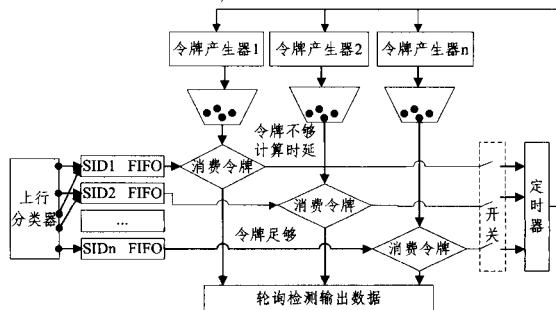


图 3 多业务令牌桶算法

数据经过分类器匹配其业务流后,检查该业务流令牌桶内的令牌个数是否可以发送该数据。如需等待,则该数据进入其业务流的数据队列,并根据令牌产生的速率计算出其等

待时间。当某个等待时间到达时,轮询检测各个业务流的数据队列,发送相应的数据。

本算法最重要的模块是定时器,其中定时器取各个数据队列中时延最小的数据包。当延时到达时,计算各个令牌桶中这段时间累积的令牌个数,轮询检查各个队列中的数据是否获得足够的令牌发送。通过这种共享定时器的方式能同时动态地支持对多个流的管理,同时达到对用户数据进行流量整形的目的,以便充分提高带宽的利用率,减小丢包率。

4 性能分析

选用美国有线电视实验室定义的测试用例^[8],在单业务和多业务的情况下分别对本算法进行仿真测试。

4.1 单业务流环境

以 50packets/s 速度产生包长为 1000 字节的数据进入本算法模块,业务流令牌桶参数设置如表 2 所列,比较输入和输出的速率如图 4 所示。可以看出,经过流量整形后速率控制在 16packets/s 左右,起到了显著的抑制作用。

表 2 单业务流参数

max sustained rate	max-traffic-burst
128,000 bps	3000 bytes

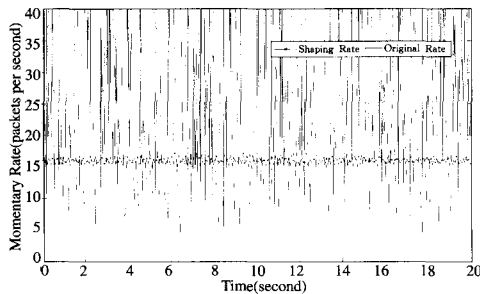


图 4 输入输出速率对比

4.2 多业务流环境

业务流及其令牌桶按照表 3 参数进行配置,在业务流取不同队列值的情况下分别对各个队列的延时、丢包率进行分析。如图 4 所示,3 个队列的时延均在 100ms 以内,在队列长度取值为 30 个包时丢包率将达到 0,很好地满足了应用的需求^[9](如表 4 所示)。同时,由图 5 所示,输出数据的突发速率较输入速率得到了很好的控制。

表 3 多业务参数配置

	Service Flow QoS			Traffic Configuration		
	Max Sustained Rate (bps)	Max Traffic Burst (Bytes)	Burst Size (pkts)	Packet Size (Bytes)	Packet Rate (pps)	Burst Interval (sec)
1	12268	3044	46	100	112.5	3
2	210527	10000	105	500	75	2
3	270270	1000	45	1500	42	2

表 4 典型应用的 QoS 需求

Application	Delay(ms)	Packet Dropped Rate
IP phone	0~150	$\leq 10^{-2}$
MPEG-1	250	$\leq 10^{-2}$ (uncompressed) $\leq 10^{-11}$ (compressed)
HDTV	250	$\leq 10^{-2}$ (uncompressed) $\leq 10^{-11}$ (compressed)

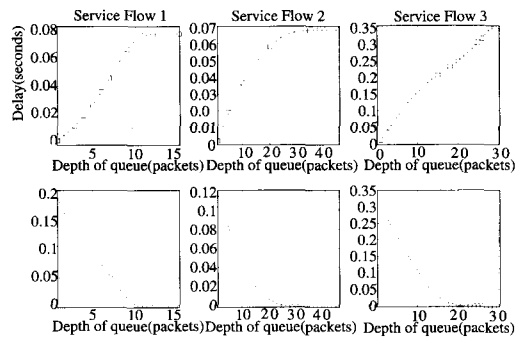


图 5 三个业务队列的延时和丢包率分析

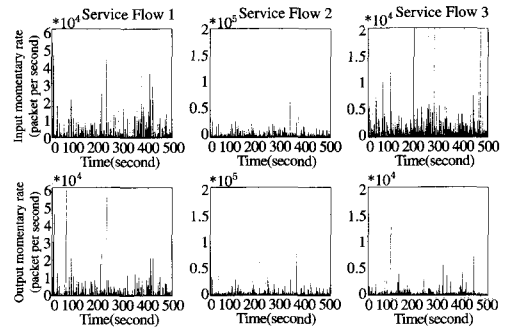


图 6 三个业务队列的输入输出速率分析

结束语 本文在深入研究 Docsis 规范的基础上,提出了 HFC 网络 MAC 层 QoS 系统的多业务流量整形算法,并应用到 Cable Modem 系统实现之中。该算法动态地支持多个业务流的管理。通过性能分析可以看出,通过调节业务流队列的长度能保证数据不丢失,保证较小的延时,并有效地调整了突发的速率,达到了流量整形的目的。本算法对于 802.16 等其他网络 MAC 层 QoS 系统的流量整形设计同样具有参考借鉴的意义。

参考文献

- [1] 李书勇. ATM 与 IP 的服务质量比较. 电力系统通信, 2005, 26 (149): 40-42
- [2] Chen Jianfeng, Jiao Wenhua, Guo Qian. Providing Integrated QoS Control for IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Systems // IEEE 62nd Semiannual Vehicular Technology Conference, Dallas, USA
- [3] Cable Television Laboratories. Data Over Cable System Interface Specification-Radio Frequency Interface Specification, 2002
- [4] 谭小兰, 吴德建, 罗敬. 一种自适应的漏桶算法. 湖南工程学院学报, 2006, 16(2): 42-44
- [5] 李建宝, 桑海. 令牌桶算法在 IP QoS 中的应用. 网络与安全技术, 2006(4): 98-99
- [6] 陈彪, 姚庆栋. VBR 流令牌桶流量整形的研究. 浙江大学学报: 工学版, 2004, 38(4): 443-447
- [7] 姚玉坤, 王智. 改善 NGN 中多业务 QoS 的令牌桶与 WFQ 调度策略分析. 信息技术与信息化, 2006(15): 31-35
- [8] Cable Television Laboratories. Data-Over-Cable Service Interface Specifications 1.1 & 2.0 RFI Acceptance Test Plan, 2005
- [9] Lin Rui, Shan Zhi-guang, Ren Feng-yuan, et al. Quality of Service of Computer Networks. Beijing: Tsinghua Press, 2004