

一种支持 HFC 网中 QoS 业务的调度方法¹

王志刚 刘丽川 李乐民 孙海荣

(电子科技大学宽带光纤传输与通信实验室 成都 610054)

摘 要 为了在 HFC 中支持不同 QoS 的业务, 必须仔细研究 CMTS 的上行业务调度算法。但是在当前最重要的标准 MCNS DOCSIS1.1 中, 没有规定任何针对 QoS 设计的调度算法, 而很多文献都是以改进的先到先服务 (FCFS) 为基础讨论的。该文提出了一种可支持 QoS 的调度算法, 通过将业务分类, 按照不同类型业务的带宽占用动态分配业务的优先级, 同时还考虑了回带 (piggyback) 对网络吞吐量的影响, 给出了仿真结果, 并针对典型的时延敏感业务——IP Telephony 提出了改善网络通道利用率的方法。

关键词 DOCSIS, 调度, 带宽, 优先级, 时延

中图分类号 TN919.3

1 引 言

随着 Internet 业务的不断增长, 近年来接入网的研究受到了广泛重视。作为一种很有前途的宽带接入网, HFC 的应用技术和标准成为一个研究热点。当前主要有两大 HFC 标准, 分别是基于 ATM 的 IEEE 802.14 和基于 IP 的 Multimedia Cable Network System(MCNS) DOCSIS 协议。由于 IEEE 802.14 标准化工作进展缓慢等原因, MCNS DOCSIS 受到了广泛的支持。

但是, 现有的运行于 HFC 中的 Internet 应用还是尽力传送 (Best-effort) 业务, 在 DOCSIS1.1 中, 并没有规定上行方向的业务调度算法, 只是推荐了简单的先到先服务 (FCFS) 调度策略^[1]。而现有的研究经常采用修正的 FCFS 策略^[2-5], 只简单地考虑了不同优先级的电缆调制解调器 (Cable Modem) 的 HFC 网络性能。为了支持 HFC 中不同 QoS 业务, 需要仔细设计新的调度算法, 以及支持不同 QoS 业务要求的性能, 本文提出一种支持不同优先级业务, 动态分配带宽的调度方法。

2 HFC 网络的 MCNS 模型

基于 MCNS DOCSIS1.1 的 HFC 系统模型如图 1。上行频率为 450-870MHz, 数据率为 28-40Mb/s, 下行频率为 5-70MHz, 数据率为 1.2-10Mb/s。MCNS 规定数据以微时隙 (mini-slot) 为最小传输单位, 上行方向分为竞争时隙和数据传输时隙, 在下行方向前端 Cable Modem Termination System(CMTS) 通过微时隙分配协议 Mini-slot Allocation Protocol(MAP) 和申请确认信息 ACK, 为电缆调制解调器分配授权时隙, 电缆调制解调器可以根据 MAP 了解上行时隙的分配^[1]。

由于在 DOCSIS1.1 中和文献 [2-5] 等对上行信道 MAC 协议做了很多讨论, 本文不涉及上行竞争冲突解决机制。

3 基于优先级的带宽分配策略

在 HFC 中除了广播业务以外, 还包括 Web 浏览, telnet, ftp 以及 IP Phone 和 VoD 等交互式业务, 它们具有不同的时延要求, 因此需要根据不同的时延要求合理分配上行带宽。本方

¹ 2000-07-28 收到, 2001-04-12 定稿
国家自然科学基金资助项目, 编号 69882003

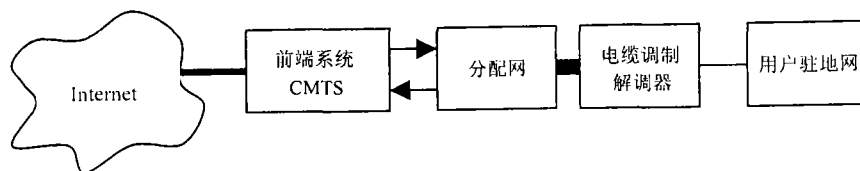


图1 MCNS DOCSIS1.1 系统模型

法的主要思想是，根据业务的不同以及对带宽的占用情况，动态分配业务的优先级，我们称之为基于优先级的带宽分配队列 (Prioritized Distributed-Bandwidth Queue, PDQB)。

首先将业务分为确保业务 (Guarantee Service) 和尽力传送业务，并在 CMTS 中为确保业务建立队列，称之为 G 队列，在 G 队列中根据当前各 CM 的业务流占用带宽的不同，由低到高排列，占用带宽小的业务流具有更高的优先级申请更多的带宽。当一个业务流申请到新的带宽，它在队列中的带宽值将会被更新为新的带宽加上原来队列中的带宽值。例如第 j 个业务流的带宽为 B_j ，新申请的带宽为 b_j ，那么更新后的带宽为 $B_j = B_j + b_j$ 。每隔若干个 MAP，此队列将会重新排序，带宽占用最小的业务流总是具有最高的带宽分配优先级。图 2 的例子说明了此方法的工作原理。

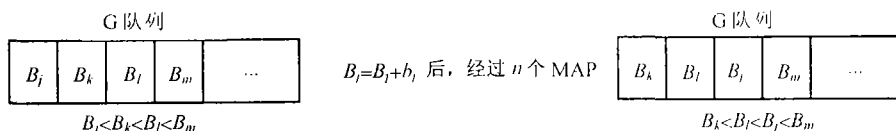


图2 带宽分配队列的优先级更新

显然如果队列中的业务流过于贪婪，那么整个队列的带宽会不断增加，为了阻止带宽申请的无限增长，每隔一个 MAP 的长周期，队列中各业务流带宽将全部置为零。为了保证尽可能公平分配带宽，CMTS 对具有最小时延要求的业务流规定一个带宽上限 B_{max} ，当某个具有最小时延要求的业务流在申请带宽时，CMTS 首先检查它所申请的带宽是否超过 B_{max} ，只有不超过 B_{max} 才会处理此申请，否则拒绝此申请，而此业务流在申请失败后，或者等待一段时间再申请，或者降低带宽要求并重新向 CMTS 提出申请。

在满足 G 队列的前提下，CMTS 将链路的剩余带宽平均分配给每个尽力传送业务流。对于尽力传送业务的带宽申请，CMTS 规定一个最低速率 R_{min} ，当一个新的尽力传送业务申请到达时，如果 CMTS 计算平均分配的带宽小于 R_{min} ，那么将拒绝此次申请，否则重新分配带宽。这样系统可以满足尽可能多的业务申请，同时保持较高的吞吐量，特别是当一个速率较低的业务被拒绝后，为了提高上行链路利用率，可以考虑作为尽力传送业务申请带宽，这可以通过在竞争时隙的扩展头部字段表明业务的种类^[1]。图 3 给出了 CMTS 的处理过程。

对于有时延要求的业务，可以通过使用回带 (piggyback) 来减少申请新时隙的时延^[1]。由于回带避免了参加信道竞争，因此可以使业务的时延显著降低，并且不会有大的抖动，从而能提高系统的吞吐量^[3]。但是，对于低数据量、突发性业务的情况下，(例如经过数据压缩的 IP Phone 分组)，由于每次业务传送持续期短，在 CMTS 的 ACK 确认到来前，电缆调制解调器中的队列可能已经空了，此时无法利用回带来预约下一个上行传输时隙，后续数据包必须重新参加下一个竞争周期，从而降低了系统的吞吐量。对此可以把 ACK 确认和 MAP 授权信息分为若干次，非连续的发送给电缆调制解调器，使得电缆调制解调器尽可能使用回带。

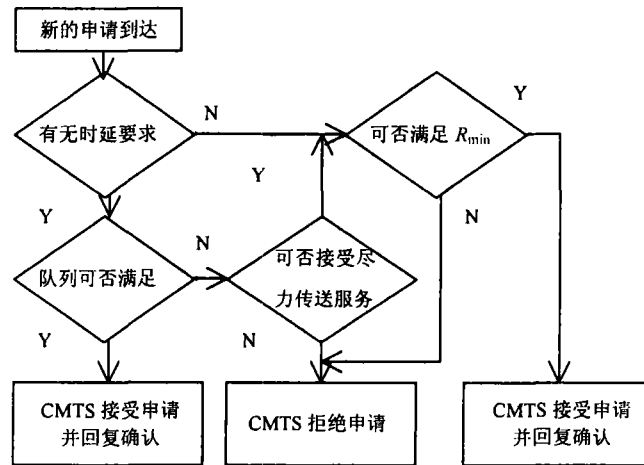


图3 CMTS 对两类业务的处理过程

HFC 中讨论最广泛的确保业务是 IP Telephony。据统计分析, 在语音通信中, 约 40% 是有效语音, 60% 是语默期, 即沉默间隙。在沉默期插入其他业务可以充分利用分组语音沉默间隙的空闲带宽, 提高网络通道的利用率, 也就是在通话时才使用带宽资源, 在语默期, 可将带宽用于其它, 充分利用了带宽资源。在 PDBQ 中, 如果电缆调制解调器的在下一传输周期里队列为空时, 将在当前周期的扩展头部信息里向 CMTS 表明, CMTS 收到后可以随机选择一个尽力传送业务流, 在语默期增加可用带宽, 在网络负载较重时将改善吞吐量, 减少竞争冲突。

4 仿真与结果

为了评价 PDBQ 的性能, 我们分别对使用回带和不使用回带的 PDBQ 做了计算机仿真并与 FCFS 做了对比。我们规定在一个 CMTS 的 MAC 域内有 50 个电缆调制解调器, 其中对时延敏感的业务源有 10 个, 其中包括一个速率为 64kb/s 的话音业务 (虽然语音压缩技术可以使 IP 语音分组速率到达 8kb/s, 本文还是按此约定讨论), 其它业务速率可变, 剩余为尽力传送型业务。确保业务分组到达过程假定为 ON-OFF 业务源, ON 持续期内分组到达时间间隔服从指数分布, OFF 持续期内没有信元发送, 平均分组到达率 $R_p = 0.5$, 分组平均长度为 $E_l = 256\text{byte}$ 。尽力传送业务为 Poisson 分布到达的变长分组, 分组长度为 64~1518 byte。PDBQ 中队列每隔 10 个 MAP 重新对优先级排序, 每隔 100 个 MAP 全部置零。其它参数见表 1 和表 2。

表 1 仿真参数

微时隙大小	16byte
物理层头部	10byte
MAC 层头部	6byte
数据时隙大小 DS	16byte 的整数倍
竞争时隙大小 CS	16byte
帧大小	36 个微时隙
每帧含 CS 数	可变
最大申请 request 大小	32DS
仿真时间	20s
变长 IP 分组大小	帧大小 +6+10byte

表 2 Best-effort 型业务 IP 分组的概率分布

分组大小	64	128	256	512	1024	1518
概率	0.6	0.06	0.04	0.02	0.25	0.03

仿真工具采用 Matlab, 仿真模型参考了 NIST ATM/HFC 仿真平台的系统模型, 并作适当修改以符合基于 IP 的 MCNS DOCSIS1.1 标准, 仿真的结果如图 4—图 7 所示。

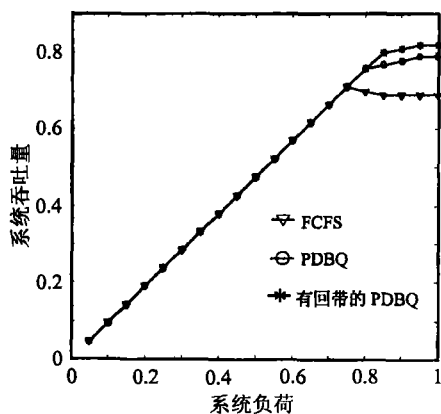


图 4 PDBQ 与 FCFS 的吞吐

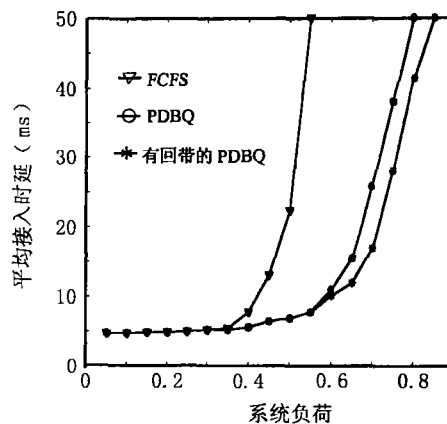


图 5 PDBQ 与 FCFS 的接入时延

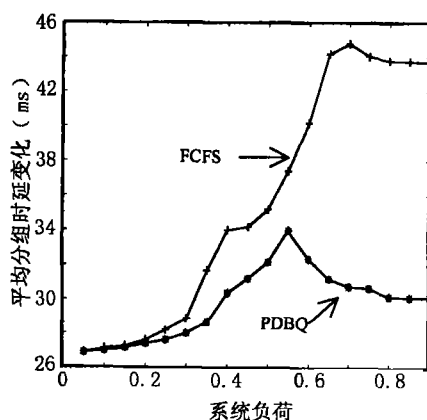


图 6 平均分组时延变化

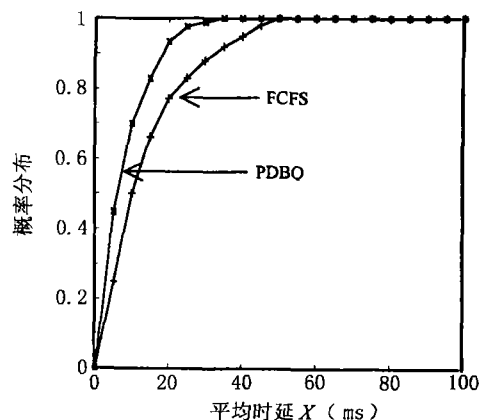


图 7 平均接入时延对应于 X 的概率

当系统负荷大于 0.7 以后, FCFS 已不能提高吞吐量, 这是因为系统处于重负荷时, 各电缆调制解调器出现竞争冲突的概率很高, 简单的调度方法不能解决矛盾, 而 PDBQ 由于动态分配业务优先级, 使这一问题得到一定改善。同理在重负荷下, 由于 PDBQ 动态改变队列优先级, 通过使用回带, 插空等措施, 使分组平均接入时延比粗糙的 FCFS 要好, 而时延抖动正如理论分析所预期的, 尤其是在系统负荷大于 0.5 以后得到了较大改善。

5 结 论

为了支持不同时延要求的业务, CMTS 必须考虑相应的调度策略。本文提出的 PDBQ 可对时延敏感的业务优先考虑, 并根据需要动态调整业务优先级, 同时灵活分配剩余带宽, 而且实现简单。仿真表明和简单的 FCFS 相比, PDBQ 能更好地支持 QoS 业务。为了更好地分析不同调度算法的性能, 还需要进一步研究业务源对 CMTS 调度算法的影响。

参 考 文 献

- [1] MCNS Consortium, Data-Over-Cable Interface Specifications Radio Frequency Interface Specification, 1998, SP-RFIV1.1-D01-981214.
- [2] N. Golmie, G. Pieris, S. Masson, D. Su, An MAC protocol for HFC networks: Design Issues and Performance Evaluation, *Computer Communications*, 1997, 20(9), 1042-1050.
- [3] V. Sdralia, C. Smythe, *et al.*, Performance characterisation of the MCNS DOCSIS 1.0 CATV protocol with prioritised first come first served scheduling, *IEEE Trans. on Broadcasting*, 1999, 45(2), 196-205.
- [4] Ying-Dar Lin, *et al.*, Allocation and scheduling algorithms for IEEE 802.14 and MCNS in hybrid fiber coaxial networks, *IEEE Trans. on Broadcasting*, 1998, 44, 427-435.
- [5] P. Tzerefos, V. Sdralia, *et al.*, Delivery of low bit rate isochronous streams over the DOCSIS 1.0 Cable television protocol. *IEEE Trans. on Broadcasting*, 1999, 45(2), 206-213.

A SCHEDULING ALGORITHM WITH QoS SUPPORT SERVICES IN HFC

Wang Zhigang Liu Lichuan Li Lemin Sun Hairong

(*Key Lab of Fiber Optic Communication, UESTC of China, Chengdu 610054, China*)

Abstract To support different QoS services in HFC, the CMTS scheduling algorithm should be analyzed carefully. However, in the most important standard—MCNS DOCSIS 1.1, no specific scheduling is prescribed, and many papers have discussed it with modified First Come First Service(FCFS). In this paper, a scheduling algorithm with QoS support—PDBQ is introduced. It distributes the priority of services by the different used bandwidth of different services. The influence of piggyback to throughput is also discussed, the performance of this algorithm is illustrated by simulation results. A method of improving link bandwidth utilization is presented in the typical delay-sensitive service of IP telephony.

Key words DOCSIS, Scheduling, Bandwidth, Priority, Delay

王志刚: 男, 1973 年生, 博士生, 研究方向为宽带接入网, 网络协议性能.

刘丽川: 女, 1972 年生, 博士生, 研究方向为无线通信协议, 信号处理.

李乐民: 男, 1932 年生, 教授, 博士生导师, 中国工程院院士, 研究方向为数字信息传输与通信网.

孙海荣: 男, 1968 年生, 教授, 研究方向为宽带通信网.