

# 光网络中视频业务传输的节点排队机制

陆 旻 张 平 李正斌

(北京大学区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室, 北京 100871)

**摘要** 对服务质量(QoS)中的队列机制进行了重点的分析,并对先进先出(FIFO)以及具有优先级(PQ)的两种队列机制的特点进行了详细的比较。具有优先级(PQ)队列可以降低高优先级业务的平均排队时延,但却无法保证时延抖动的要求。提出了基于具有优先级队列机制的改进方案。仿真结果表明,新的排队机制有效得解决了具有优先级(PQ)排队机制中无法保证高优先级(视频)业务传输中的时延抖动问题,当初始时延分布差别很大的数据包在经过节点排队调度之后,时延抖动有了明显改善。

**关键词** 光网络;视频业务;排队机制;时延抖动

**中图分类号** TN929.11 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS200828s2.0191

## Node Queueing Mechanism of Video Transmission in Optical Networks

Lu Min Zhang Ping Li Zhengbin

(*State Key Laboratory of Advanced Optical Communication Systems & Networks,*  
*Peking University, Beijing 100871, China*)

**Abstract** The queueing management strategy of quality of service(QoS) was analyzed as a key point. First, the performances of first in first out (FIFO) queueing mechanism and priority queuing (PQ) mechanism were obtained and compared. It was found that PQ mechanism could reduce the average delay of the higher priority traffic, but the time jitter was still not under control. Therefore, an improved algorithm based on PQ mechanism was developed to solve this problem. The simulation results showed that the delay jitter was decreased significantly by the improved algorithm, and the delay jitter was improved when the data packets of different initial time delay were queued in the nodes.

**Key words** optical network; video service; queueing mechanism; time jitter

## 1 引 言

基于波分复用(WDM)以及密集波分复用(DWDM)技术的光网络相较于其他网络具有很多技术以及经济上的优势<sup>[1]</sup>,比如超大的容量和丰富的接口,以及高效的网络管理和保护技术等。随着光网络技术的日益完善,基于光网络的视频业务应用越来越普遍。由于视频业务中视频码流的实时性、连续性,所以要求承载网络提供服务质量保证(QoS),而且视频业务对承载网的延时、丢包和抖动

都比较敏感。

由于目前光逻辑和缓存技术远未成熟,在核心节点只能采用光纤延迟线(fiber delay line,FDL)对数据包进行有限离散时间的缓存,所以光网络的大部分功能都集中在边缘节点实现。目前研究的比较多的下一代光网络,比如光突发交换(optical burst switching, OBS)、光流交换(optical flow switching, OFS)网络等,在核心网络只是负责建立数据传输的透明通道,而将业务分类、汇聚、组包以

**作者简介:** 陆 旻(1986—),女,本科,主要从事光通信网络方面的研究。E-mail:kim076@gmail.com

**导师简介:** 李正斌(1965—),男,博士,教授,主要从事光网络理论、光通信系统、光传感、光波导理论与器件、光子晶体与光信号处理技术方面的研究。E-mail:lizhb@ele.pku.edu.cn

及队列管理、资源调度等功能放在边缘节点处理。对于视频业务,由于有相应的服务质量保证要求,边缘节点的队列管理机制显得尤为重要。本文介绍和分析了现有的两种基本排队机制:先进先出(first in first out, FIFO)和具有优先级队列机制(priority queuing, PQ),指出这两种机制都不能完全满足视频业务传输的服务质量保证要求,特别是时延抖动指标,进而提出一种基于优先级机制的改进队列策略来解决这一问题。

## 2 排队机制的分析和比较

在传统网络当中,网络传输体系是尽力而为方式的。然而随着因特网的迅猛发展,特别是视频业务所占比例的飞速增加,使这种体系的弊端逐渐暴露出来。这种体系已经无法满足人们对网络的性能和业务多样化的需求。人们对服务质量(QoS)的要求日益增加,而 QoS 技术也成为当今网络技术的一个新的热点。其中调度策略就是网络 QoS 管理当中十分重要的一部分,不同调度策略的应用会产生不同服务质量。

### 2.1 先进先出队列策略

先进先出队列示意图如图 1 所示,它提供了基本的存储转发功能,是目前因特网上使用最广泛的一种方式。它在网络拥塞时存储分组,在拥塞解除时按分组到达顺序转发分组。当采用该规则时,由于路由器缓冲区有限,所以当队列已满时,其后到来的分组必然将被丢弃。FIFO 的缺点是不提供 QoS 功能保证,对突发数据流在传输时间要求严格时,应用程序会引起过多的延迟,并对突发性的、存在包丢失的连接公平性较差,对上层的 TCP 快速恢复的效率也较低<sup>[2]</sup>。

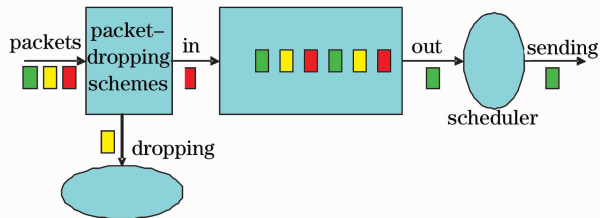


图 1 先进先出队列示意图

Fig. 1 Schematic diagram of first in first out queuing mechanism

对 FIFO 队列策略建立模型,描述如下:突发的到达时间间隔服从参数为  $\lambda$  的负指数分布,系统的服务率服从参数为  $\mu$  的负指数分布,服务规则为先到先服务(FCFS)。假定系统中缓冲区容量有限,记

为  $N$ ,当缓冲区有  $N$  个突发时,新到来的突发因被拒绝进入缓冲区而丢弃,在这样的情况下,缓冲区中的队列长度不会超过  $N$ ,这类系统也被称为即时拒绝系统。很明显该模型为 M/M/1/N 排队模型。假设负载为  $\rho, 0 < \rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1, N$  为无穷大(理想情况),可得平均队列时延和时延抖动<sup>[3]</sup>分别为

$$T_{\text{Delay}} = \frac{L_s}{\mu} = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)}, \quad (1)$$

$$T_{\text{Jitter}} = \frac{\sqrt{\rho}}{\mu(1-\rho)}, \quad (2)$$

式中  $L_s$  是平均队列长度

$$L_s = \frac{\rho}{1-\rho}. \quad (3)$$

FIFO 是最简单的排队方式,但它最大的缺点是不考虑信息包的优先级,而信息包的到达顺序则将决定其使用带宽、处理速度和缓冲器分配的情况。它不会为特定的流量提供 QoS,也不能公平地分配网络带宽。当网络处于阻塞期间时,端口缓冲区将被填满而导致数据的丢失。针对于网络中不同要求的数据,FIFO 排队策略也没有公平公正的对待各种流量。比如,在一个给定的时间段内,队列的结尾丢失了  $K$  个数据包,而有的业务流在给定时间段内只有这  $K$  个数据包,则该业务便彻底毁坏了。而这  $K$  个数据包在该时间段内针对另一个业务流可能只占其 1%,从而对该业务不会造成很大的影响。因而 FIFO 排队策略对于小带宽或随机带宽要求不能进行特定的传输。同时它也不能防止应用(源)的恶意行为。成组的信息源在传送对时间敏感的应用流量时将产生很大延迟,将潜在影响网络控制和信令信息的传送。

### 2.2 具有优先级队列策略

具有优先级排队示意图如图 2 所示,它是网络中路由器同时处理多个队列时所采取的排队策略。具有优先级排队用于保证对延迟敏感的流量较之延迟不敏感的流量先接受服务。路由器通过 PQ 排队策略来保证不同流量的不同延迟和丢失优先级要求<sup>[4]</sup>。

具有优先级队列调度策略是首先服务最高级别的非空队列,等到此队列为空时再服务次高级别的非空队列,以此类推。在这种排队策略下,来自高优先级队列的数据包总是最先得到处理,因此具有较小的丢包率、延迟和延迟变化,而低优先级队列却具有较高的丢包率、延迟和延迟变化。虽然从公平的角度看,对每一个连接设置一个队列是很理想的,但

这样同时也会增加系统的实现难度。在实际应用中常将多个流量归入少量几个等级里,这样可以减少

系统的状态信息并简少系统的状态信息并简化实现的复杂度。

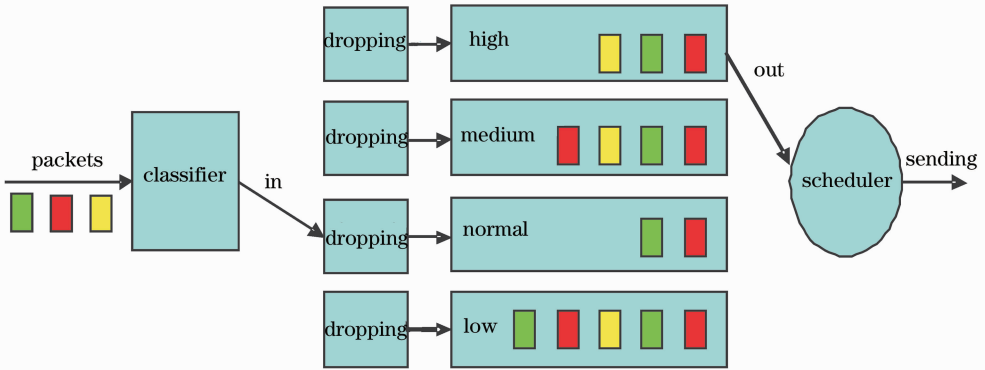


图 2 具有优先级队列示意图

Fig. 2 Schematic diagram of priority queueing mechanism

对 PQ 队列策略建立模型,描述如下:来自不同类别的两类流量分别进入相应的队列中,并由一个服务率为  $\mu$  的优先级调度器进行处理。高优先级流量的到达率为  $\lambda_h$ ,低优先级流量的到达率为  $\lambda_l$ 。当高优先级的流量不存在时,再服务低优先级的队列。优先级调度器在完成一个数据包的服务后,才会处理一个新的数据包。假设缓冲区容量无限制。设  $\rho_h = \frac{\lambda_h}{\mu}, \rho_l = \frac{\lambda_l}{\mu}$ , 可得高优先级业务的平均时延和时延抖动<sup>[5]</sup>分别为

优先级队列的改进算法,尽可能地降低视频业务在光网络中传输的端到端时延抖动。

### 3 基于具有优先级队列的改进型算法

FIFO 算法无法为视频业务提供传输质量保证,而 PQ 算法在牺牲其他低优先级类业务传输质量的基础上为视频业务传输的带宽、延迟以及丢包率等关键参数提供了绝对的保证,但这种保证只是针对视频业务这种高优先级类业务相对于其他低优先级类业务而言的。那么在同属视频业务类的各个包之间,很可能延迟参数还是存在相当大的差异的,即出现过量抖动。这显然会对视频业务的传输质量造成影响,比如画面质量下降或者是文件播放时不够流畅等<sup>[6,7]</sup>。

$$T_{\text{Delay},h} = \frac{L_{s,h}}{\mu} = \frac{\rho_h}{\mu(1-\rho_h)}, \quad (4)$$

$$T_{\text{Jitter},h} = \frac{\sqrt{\rho_h}}{\mu(1-\rho_h)}, \quad (5)$$

式中  $L_{s,h}$  是高优先级队列的平均长度,

$$L_{s,h} = \frac{\rho_h}{1-\rho_h}, \quad (6)$$

本文在 PQ 队列机制的基础上提出一种改进型算法,来解决这个高优先级类业务内部延迟抖动的问题。

将(4)~(6)式与(1)~(3)式比较可知,相对于 FIFO 队列机制,PQ 队列机制虽然能有效地降低平均时延 ( $\rho_h/\rho$ ),但时延抖动的改善却比较有限 ( $\sqrt{\rho_h}/\rho$ ),只有在高优先级业务占总业务的比例较小时才有一定的效果。

由于本算法是为了减小同属于一类优先级业务的各个包之间的时延抖动而设计的,所以在本算法中不再区分具体的优先级类别,而是要引入一种补偿的思想。很显然,这种减小时延抖动的工作在一个网络节点是无法完成的,而只能是通过包在多个节点之间传输的过程中,不断地减小相互之间的差异,最终达到各个包的延迟基本相同的目标。而对于传输网络中的一个节点,通过它的各个包的延迟参数必然是有大有小。那么为了使这些延迟参数趋于相同,要采取一种补偿的办法:对于延迟大的包,则将其的优先级视为高,排入传输队列的前部,以减小其在通过本节点期间的延迟时间;而对于延迟小的包,则将其的优先级视为低,排入传输队列的

另外 PQ 队列机制没有考虑到多个网络节点时延的累计效应,视频业务从源节点发送到目的节点,中间可能经过多个网络,在网络边缘(网络与网络之间连接点)都需要进行队列调度。PQ 队列机制只是简单地区分了业务的优先级,而没有对同一优先级业务中不同初始时延的数据包加以区分,这样每经过一个网络,时延抖动都经过一次累加,端到端的时延抖动有可能是单个网络节点时延的几倍甚至十几倍。针对这一情况,本文提出了一种新的基于优

后部,以增大其在通过本节点期间的延迟时间。经过这样处理以后,再次考察各个包之间的时延抖动,必然会有所减小。这个减小值很可能很微小,但如果可以经过足够多的节点,而在每个节点都做出如上述的补偿处理的话,那么最终一定可基本使各个包的延迟参数达到同一个值。

### 4 数值模拟结果分析

为了验证基于优先级队列的改进型算法的有效性,进行了数值模拟。总共模拟了 10000 个包的 PQ 改进型排队过程,并且设定了系统服务率  $\mu = 1$ ,而包到达率  $\lambda = 0.5$ 。另外利用随机数组给出了包进入系统前的延迟时间,这组延迟时间是在 10~20 之间均匀分布的。然后计算了经过本算法处理以后所有包的延迟时间,并给出了包进入系统前以及经过本算法处理以后的延迟参数分布。同时,模拟服务率、到达率、包个数、已知延迟参数分布均相同的但采用 FIFO 算法的排队过程,并将经过 FIFO 系统后的延迟参数分布与 PQ 改进型系统的进行比较。

图 3 是节点经过 PQ 改进型算法前后时延分布

柱状图,可见在包进入 PQ 改进型排队系统以前,包的延迟参数分布是呈均匀分布的,即对于该类包,从整体上看,包的延迟分布比较分散,在各个区间均有相当数量的包落在该范围,同时说明了各个包之间时延抖动很大。在包经过 PQ 改进型算法处理之后,包的延迟参数的分布出现了向中间部分分布区间汇聚的变化,即落在延迟量较大或者较小的分布区间的包的个数减少,而落在延迟量适中的分布区间的包的个数增多,各个包的延迟参数在趋于相同,它们之间的差异在减小。

图 4 是在相同初始时延分布条件下, FIFO 和 PQ 改进型排队系统的结果比较,可见经过 FIFO 系统以后,包的延迟参数变得更为分散,分布区间增多,并且落在各个区间中的包的数量都相差不多。由此可见, FIFO 算法对于缓解类内部的时延抖动问题,毫无帮助。而经过 PQ 改进型系统以后的结果相比较之下就优秀很多。

经过 PQ 改进型算法处理后,延迟分布有所好转,但是这种变化并没有很显著。所以考虑模拟多个节点的传输,在每一个节点上都采用这种算法,对最后的结果进行考察。

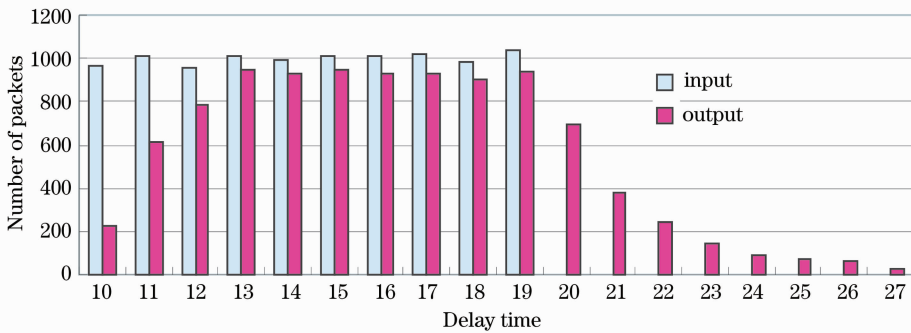


图 3 PQ 改进型算法执行前后延迟分布比较

Fig. 3 Delay distribution before and after the improved algorithm based on PQ mechanism is implemented

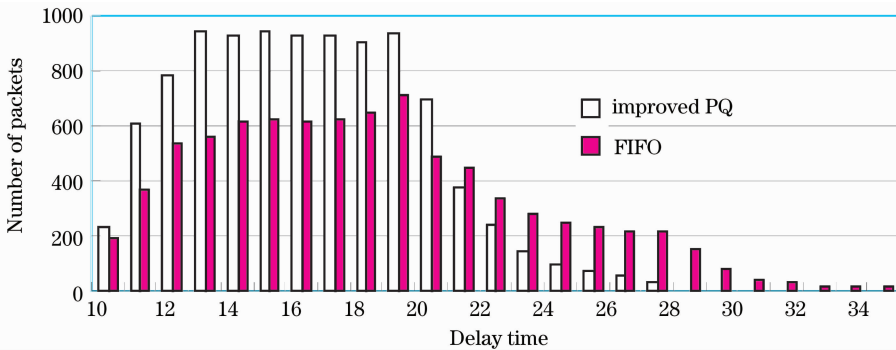


图 4 PQ 改进型 & FIFO 系统延迟分布比较

Fig. 4 Delay distribution: the improved algorithm based on PQ mechanism and FIFO mechanism

图 5 给出了 PQ 改进型算法在执行一次(单个网络)和执行五次(多个网络)的结果比较图,可见经过 5 个网络节点的传输,即 PQ 改进型算法循环执行过 5 次后,包的延迟参数分布已经相当集中了,较之于仅进行了一次该操作之后的结果改善了很多。因此,如果在网络中的每个节点上都采用这种 PQ 改进型排队算法,那么这种由执行单次处理所得到

的微小变化会逐渐累积,并且经过的节点越多,对于时延抖动的缓解效果也会越明显。综上所述,本 PQ 改进型算法在对于解决同类业务内部时延抖动大的问题上是非常有帮助的。当然对于视频业务的传输来讲,PQ 改进算法也会对传输质量的提高有辅助作用。

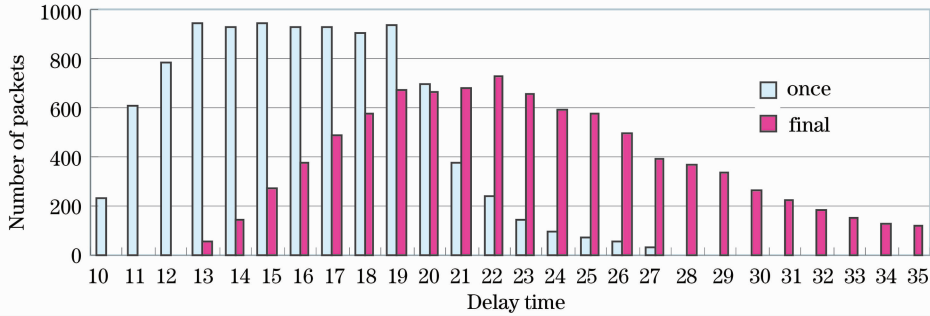


图 5 PQ 改进型算法执行单次和最终延迟分布比较

Fig. 5 Delay distribution: the improved algorithm based on PQ mechanism is implemented once and the final result

## 5 结 论

先进先出队列机制比较简单,但是对业务不加区分,没法满足服务质量保证要求。具有优先级队列机制区可有效降低高优先级业务的平均时延,但对时延抖动的改善相对有限,同时各个节点独立工作,时延抖动随着节点数的增加而不断累加,无法满足视频业务的服务质量保证要求。提出的基于优先级队列机制的改进算法,能根据不同数据包的初始延时自动调整数据包的队列优先级,初始时延大的优先级较高,相应的排队时间比较小,通过这样一种在每个节点的时延补偿机制,最终保证大部分数据包的总时延趋于一致,从而保证视频业务较小的时延抖动。数值模拟表明,改进的队列机制在不同的初始时延分布下,数据包在经过足够多的节点之后逐渐趋近,能满足视频业务的时延抖动要求。

## 参 考 文 献

1 Wang Deze, Wang Yongbin, Implementation of all-optical network[J]. *China Cable TV*, 2007, (7):,66~67

王德泽,王永斌.全光网的实现[J]. *中国有线电视*,2007,(7):66~67

2 Jiang Guochen, Tan Xiansi, Fan Zhaoyong, Effects of queuing disciplines on performance of FTP, Video and VoIP [J]. *Modern Electronics Technique*, 2006, 29(5):50~56

姜国臣,谭贤四,范照勇,排队规则对 FTP、Video、VoIP 应用的性能影响[J]. *现代电子技术*,2006,29(5):50~56

3 Sheng Youzhao, Queuing Theory and Application in Modern Communication[M]. Post & Telecom Press, 2007. 85~88

盛友招. 排队论及其在现代通信中的应用[M]. 人民邮电出版社,2007. 85~88

4 Huang Min, Yao Zhenglin, Liu Jingang. Research and analysis of network QoS schedule strategies[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2006, 42(29):118~120

黄敏,姚正林,刘金刚. 网络 QoS 调度策略的分析与研究[J]. *计算机工程与应用*,2006,42(29):118~120

5 Meng Yuke. Basis and Applications of Queuing Theory[M]. Shanghai: Tongji University Press, 1989. 105~112

孟玉珂. 排队论基础及应用[M]. 上海: 同济大学出版社,1989. 105~112

6 M. Tanner. Practical Queueing Analysis [M]. McGraw-Hill, 1995

唐纳. 实用排队分析[M]. 麦格劳-希尔出版社, 1995

7 Leonard Kleinrock. Queueing Systems: Theory [M]. John Wiley & Sons, 1975

纳德 克兰罗克. 排队系统: 理论[M]. 约翰威立出版社, 1975