

基于分组优先级的队列管理与自适应丢包机制

杨庆祥, 李安伏

(安阳工学院, 河南 安阳 455000)

摘要: 提出了一种基于应用类别和分组优先级的队列管理与自适应丢包机制, 用于路由器内因特网拥塞控制。模仿积极的队列管理优化问题, 并为不同类型的数据流提供拥塞控制与公平性机制。相同类型应用的数据包进入同一队列, 在队列内部按分组的优先级分成不同的逻辑子队列。把保持相对较短的队列总长度和较小的包丢失率作为最优控制目标, 计算出不同队列最优的包丢失率, 然后按照得到的包丢失率, 将逻辑子队列中的分组按优先级从低到高的顺序, 在拥塞产生之前丢失。仿真结果表明, 该方案提供了一种队列长度变化更加平滑的管理机制, 并且能改善图像的跳跃度和模糊度, 可以保证不同类别、不同等级多媒体应用的服务质量。

关键词: 应用类别; 分组优先级; 队列管理; 自适应丢包

中图分类号: TP 274

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2006)04-0018-03

0 引言

在因特网发生拥塞期间, TCP 信源和响应数据流按照网络中要求的包丢失率调整自己的发送速率, 而无响应的数据流不能降低其发送数据的速率。这种极度不平衡情况可能导致带宽的严重短缺, 甚至导致拥塞的雪崩式发生^[1]。目前, 因特网支持的多媒体应用种类越来越多, 在路由器设计时, 服务质量(QoS)已成为关注的焦点。因此, 希望有一种队列管理机制, 既能在网络拥塞期间保护 TCP 数据流免遭 UDP 流的影响, 又能为不同的多媒体应用提供 QoS。

队列管理(AQM)的目的就是控制队列的长度^[2]。积极的队列管理主要完成 2 个任务: 在路由器的队列被填满之前, 发送拥塞信息; 当突发数据流由于缓存溢出而丢包时, 要增加用户之间的公平性^[3]。目前, RED(Random Early Discard)是最流行的队列管理机制之一。它是在队列被完全充满之前丢弃数据包, 且丢包的概率随队列长度的增加而增加。RED 的大部分参数是基于启发式和仿真得到的^[4]。在路由器中使用 RED 可以控制平均排队延时, 进而控制端到端的延时, 但是, 该机制增加了非突发数据流的抖动^[1]。FRED(Flow Random Early Detection)是利用占用缓存器的各种流量信息改进 RED 的公平性^[5]; REM(Random Exponential Marking)以实现高利用率及可忽略的包丢失和延时为目的^[6]; ABE(Alternative Best Effort)是以最低流量为代价为交互式应用提供低延时^[7]; 基于类别的队列管理与自适应包丢失机制^[8], 引入了可扩展性编码的思想, 将多媒体数据压缩编码成多个流, 其中一个可以独立解码, 它称为基本层码流; 其他的码流称为增强层,

它们不可以单独解码, 而只能与基本层和它以前的增强层联合在一起解码, 用来提高观看效果^[9]。此种机制可以获得最小的排队延时和端到端的延时, 包的丢失原则为时间戳最新的包优先丢失, 其缺点是有可能把队列中与播放质量相关的最基础的数据丢失, 从而影响播放质量^[8]。

本方案是在基于类别的队列管理与自适应丢包机制基础上, 引入分组优先级。同一类别(对应相同的队列)中的不同优先级分组按优先级的高低形成不同的逻辑子队列。以保持相对较短的队列总长度和较小的包丢失率为最优控制目标, 可以得到不同队列的最优包丢失率, 然后按照计算出的包丢失率, 将逻辑子队列中的分组按优先级从低到高的顺序, 在拥塞产生之前丢失。这样不但可以获得最小的排队延时, 进而端到端的延时, 还能保证交互式多媒体应用的播放质量。

1 基于应用类别和分组优先级的队列管理

不同的多媒体应用分别有各自的 QoS 要求, 如延时、延时抖动和可接受的包丢失率极限, 因此可以分成不同的类别。那么, 在基于应用类别和分组优先级的队列管理中, 不同的上行到路由器的数据包, 只要属于相同的应用类别就被加入到路由器的同一队列中, 数据包按其到达路由器的时间先后排序, 队列遵从 FIFO 的原则。如图 1 所示。

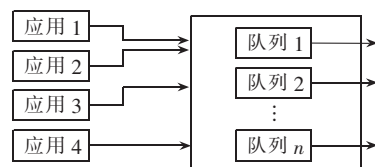


图 1 队列

Fig.1 Sketch diagram of queues

应用 1 和应用 2 具有相同的应用类别,因此,其数据包均进入队列 1,应用 3 和应用 4 与应用 1 和应用 2 类别不同,因此分别进入队列中其他队列。同一类别的应用,其数据包又因为重要程度不同而分为不同的优先级,对同一队列中的数据包(即分组)按其优先级的不同分为相应的逻辑子队列,即相同优先级的分组进入同一逻辑子队列,此种逻辑子队列由链表实现,链表中的分组按其到达的时间先后依次排序,先到达的分组位于链的头部,称这种链表为逻辑子队列。因此,同一队列中可能有多个交叉的逻辑子队列。图 2 是路由器中的一个队列,由 3 个逻辑子队列组成,服从队列先进先出的原则,下面的数字表示分组进入队列的先后次序。

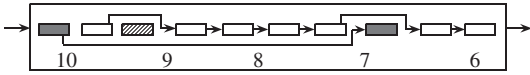


图 2 某逻辑子队列

Fig.2 A logical sub-queue

在本方案中,通过建立队列长度与包丢失率的状态方程,根据最优控制原理,给不同的应用类别赋予不同的性能加权系数,建立性能指标函数。因此,在网络发生拥塞之前,可以计算出不同类别队列的相应包丢失率,然后根据相应的包丢失率丢弃数据包。丢弃包的原则是:在同一队列中,按包丢失率的要求首先丢弃分组优先级最低的分组,即首先从优先级最低的逻辑子队列中丢弃分组,若此逻辑子队列中的分组全部丢弃后仍达不到丢失率的要求,再丢弃优先级比之高一级的子队列中的分组,直到满足包丢失率的要求。在同一逻辑子队列中丢失数据包时,带有最新时间戳的数据包首先被丢弃。网络的拥塞检查通过测量中间路由器的队列长度实现。当队列长度高于阈值时,认为发生网络拥塞,拥塞信息通过包的丢弃传回信源。

2 自适应包丢失机制

正常情况下,队列越长包丢失率越小。但是,队列越长意味着较大的队列延时,这最终会导致更长的端到端的延时,并且使交互式多媒体应用的播放质量降低。如果包丢失率很大,客户端的播放质量可能会由于中间路由器不提供重发机制而降低。因此,在队列长度和包丢失率之间就有一个权衡,如何在两者之间建立平衡对实时多媒体应用非常重要。

仅在服务器端进行速率控制不能保证数据的及时传递。如果在中间节点同时考虑队列长度和包丢失率,就能够控制传输延时。因此,使用的目标函数是同时使队列长度和包丢失率最小。由于瓶颈路由器的输出带宽不变,所以可以认为已知某类别队列的输出速率。

建立以下状态方程^[10]:

$$Q(K+1) = Q(K) + P(K) - L(K)$$

式中 $Q(K)$ 表示时间间隔 K 开始时的队列长度;

$P(K)$ 表示在时间间隔 K 到达队列的数据包(或速率); $L(K)$ 表示在时间间隔 K 输出的数据包(或速率); $Q(K+1)$ 表示时间间隔 K 的下一时刻的队列长度。

如果包丢失率为 $D(K)$,则包丢失之后实际的队列长度为

$$Q(K+1) = Q(K) + (1 - D(K))P(K) - L(K)$$

构造如下的性能指标函数:

$$J = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{N-1} (Q^T(K)W_qQ(K) + D^T(K)W_dD(K))$$

式中 W_q 和 W_d 分别是 $Q(K)$ 和 $D(K)$ 的加权系数。

因为不同类型的媒体流有各自的包丢失率和延时约束,所以在性能函数中引入 W_q 和 W_d 可以实现性能的优化。在实际应用中 W_q 和 W_d 的取值,取决于不同类别的应用所要求的包丢失率和延时。那么,在时间间隔 K 最优的包丢失率为

$$D(K) = -K(K)Q(K) + U(K)V(K+1)$$

其中, $K(K)$, $U(K)$ 和 $V(K+1)$ 的取值服从下列方程:

$$K(K) = -[P^2(K)S(K+1) + W_q]^{-1}S(K+1)D(K)$$

$$S(K) = S(K+1)(1 + P(K)K(K)) + W_d$$

$$U(K) = -[P^2(K)S(K+1) + W_q]^{-1}P(K)$$

$$V(K) = (1 + P(K)K(K))^T V(K+1) - (1 + P(K)K(K))^T S(K+1)(P(K) - K(K))$$

$$S(N) = 0, \quad V(N) = 0$$

3 仿真结果

3.1 包丢失率与队列长度的关系

采用文献[8]介绍的仿真方法,随机产生的包到达率在 $(0 \sim 1) \times 10^6$ Byte/s 之间,某队列总带宽为 6×10^5 Byte/s,丢包阈值为 6×10^5 Byte/s。当选择 $W_q = 1$ 和 $W_d = 10^{13}$ 时,包丢失率除偶尔几处外绝大部分时间均低于 10%,如图 3 所示(P, Q, D 分别为到达数据包、队列长度及包丢失率, P 和 Q 单位为 Byte/s;下同)。当降低 W_d 时,包丢失率随之增大,但队列长度明显减小。这与文献[8]介绍的相似。

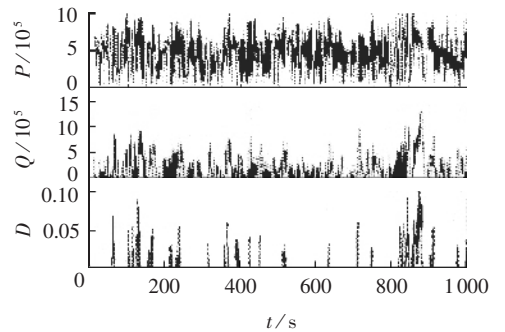


图 3 包丢失率与队列长度

Fig.3 The packet drop ratio and queue length

3.2 丢包机制比较

假定本方案为 A,基于类别的队列管理和自适应丢包机制为 B,固定速率丢包机制为 C。使用相对

较大的包丢失率检测网络拥塞时各种方案的性能。图 4 中, $W_q=1$ 和 $W_d=10^6$, 固定丢包率为 0.2, 丢包队列长度阈值为 2×10^5 Byte/s, 输出速率为 6×10^5 Byte/s。如图 4 所显示的, A 与 B 相似, 与方案 C 相比较变化更平滑。A 与 B 2 方案在网络输出拥塞时, 队列长度未出现峰值。而且, 队列长度和包丢失率均接近上限值, 队列长度维持在 4×10^5 Byte/s 之下, 包丢失率大大低于 50%。由于路由器物理缓存的限制, 因此, 它有一个队列长度的上限值, 即路由器内的队列长度是有限的。所以, 能接近队列长度上限的丢包机制很有现实意义。

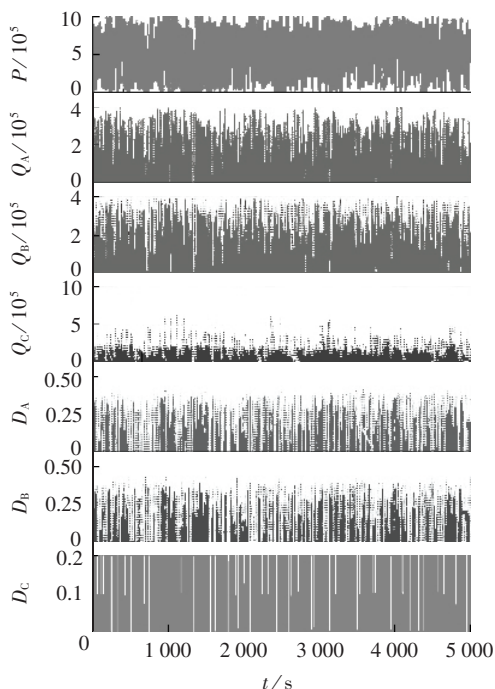


图 4 在时间间隔 [0~5000s] 内的比较

Fig.4 Performance comparison in interval from 0 to 5000s

3.3 对传输图像质量的影响

对传输图像质量的影响主要从图像跳跃和模糊度衡量。图像跳跃指图像不平滑, 有类似“快进”时的现象。造成的原因有 2 方面: 网络拥塞等造成的丢包; 编解码器受固定码率 (CBR) 限制而引入的丢包或缺帧。模糊度指图像高频细节部分丢失造成的图像边缘拖尾现象。造成的原因有 3 方面: 编解码器为了适应固定码率而主动引入的; 传输差错; 丢包。

采用本方案仿真时, 选择高速率解码器以消除其自身引入的丢包情况。首先, 降低中间路由器的带宽, 即增加拥塞概率。通过评测接收的图像质量, 图像跳跃程度明显下降, 与不采用优先级逻辑子队列的方案相比, 图像看起来变得平滑, 但细节处变得模糊。其主要原因是在丢包时首先丢弃优先级低的数据包, 较好地保护了优先级高的数据包, 而优先级低的数据包对应图像的高频细节成分, 优先级高的数据包反映的是图像轮廓。因此, 图像看起来变得平滑, 但图像细节处变得模糊。其次, 提高中间路由

器的带宽, 即降低拥塞概率。评测接收的图像质量, 与不采用优先级逻辑子队列的方案相比, 图像跳跃程度和模糊度基本未变化。这主要是丢包率降低的原因。

4 结语

本文提出了一种积极的队列管理方案, 用于解决路由器内的拥塞控制。该方案不但平衡了 TCP 流和无响应的 UDP 流, 而且也使 UDP 多媒体流得以 QoS 保证。包丢失率根据网络拥塞状态和队列长度自适应调整, 然后, 根据该丢失率按照队列中逻辑子队列优先级的顺序丢失包。并且与固定包丢失率机制、基于类别的队列管理和自适应丢包机制作了比较, 模拟结果表明, 本方案提供了一种队列长度变化更加平滑的管理机制, 并且能改善图像的跳跃度和模糊度, 可以保证分类别且分级多媒体应用的服务质量。

参考文献:

- [1] FLOYD S, JACOBSON V. Random early detection gateways for congestion avoidance[J]. **IEEE/ACM Transactions on Networking**, 1993, 1(4): 397-413.
- [2] GEVROS P, CROWCROFT J, KIRSTEIN P, et al. Congestion control mechanisms and the best effort service model[J]. **IEEE Network**, 2001, 15(3): 16-26.
- [3] DIOT C, BOUDEC J L. Control of best effort traffic[J]. **IEEE Network**, 2001, 15(3): 14-15.
- [4] FIROIU V, BORDEN M. A study of active queue management for congestion control[C]// **IEEE INFOCOM 2000**. [S.l.]: [s.n.], 2000: 1435-1444.
- [5] LIN D, MORRIS R. Dynamics of random early detection [C]// **Proc. of SIGCOMM'97**. Cannes, France: [s.n.], 1997: 127-137.
- [6] ATHURALIYA S, LOW S H, LI V H, et al. REM: active queue management [J]. **IEEE Network**, 2001, 15(3): 48-51.
- [7] HURLEY P, BOUDEC J L, THIRAN P, et al. ABE: providing a low-delay service within best effort [J]. **IEEE Network**, 2001, 15(3): 60-69.
- [8] SHYU Mei-ling, CHEN Shu-ching, LUO Hong-li. Per-class queue management and adaptive packet drop mechanism for multimedia networking [C]// **Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia & Expo. (ICME)**. Baltimore, MD, USA: [s.n.], 2003: 365-368.
- [9] 林福宗. 多媒体技术基础[M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [10] 王朝珠. 最优控制理论[M]. 北京: 科学出版社, 2003.

(责任编辑: 李育燕)

作者简介:

杨庆祥(1965-), 男, 河南林州人, 副教授, 主要研究方向为多媒体通信与多媒体信息处理 (E-mail: yqx_2002_1@163.com)。

Packet priority-based queue management and adaptive packet drop mechanism

YANG Qing-xiang, LI An-fu

(Anyang Institute of Technology, Anyang 455000, China)

Abstract: An application class and packet priority-based queue management and adaptive packet drop mechanism in the routers for Internet congestion control is put forward. Active queue management is modeled as an optimization problem, congestion control and fairness are provided for different types of traffic flows. The packet of same application class come into the same queue, and then are divided into different logical sub-queues by packet priority in the queue. By holding relatively short length of queue and relatively small ratio of packet drop, the optimal ratios of packet drop of the different queues can be calculated. According to the calculated ratios of packet drop, the packets are dropped one by one from low to high of packet priority. The simulation results demonstrate that this scheme provides a queue management mechanism of queue length changing more smoothly, and can improve the jump and faintness of picture, guarantees QoS of different class and level multimedia applications.

Key words: application class; packet priority; queue management; adaptive packet drop