

基于延时抖动趋势的分层组播方案

刘梦娟, 魏小东, 王 勇

(电子科技大学计算机科学与工程学院 成都 611731)

【摘要】针对多速率拥塞控制中存在的周期性丢包、拥塞响应速度缓慢等问题, 提出基于延时抖动趋势的分层组播方案LM-DJT。该方案通过延时抖动趋势来推测当前网络状况, 使接收端能够对网络拥塞进行早期检测, 并将其引入到改进的TCP吞吐量公式中, 用以估计当前传输路径的可用带宽, 并据此进行相应的层次订阅调整。仿真实验表明LM-DJT能很好地适应网络环境的异构性, 在保证带宽公平分配的情况下, 具有较快的收敛和拥塞响应速度, 引入较少的丢包。

关键词 延时抖动趋势; 分层组播; TCP友好; TCP吞吐量公式

中图分类号 TP393.02

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2011.05.022

Layered Multicast Based on Delay-Jitter Trend

LIU Meng-juan, WEI Xiao-dong, and WANG yong

(School of Computer Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 611731)

Abstract Layered multicast is a promising solution to address the problem of multicast congestion control in heterogeneity network. However, schemes using this solution suffer from slow response time and lack of fairness, and induce a lot of loss by slow response and failed join experiments. In this paper we propose a new layered multicast based on delay-jitter trend (LM-DJT). LM-DJT introduces the delay-jitter trend model into an amended TCP throughput equation to estimate the TCP-friendly transmission rate, and each receiver adjusts its subscription layers according to the estimated transmission rate. Our simulation results show LM-DJT converges fast to the optimal layer of subscription, induces less loss to track the available bandwidth, and has inter-session fairness and TCP-friendliness.

Key words delay-jitter trend; layered multicast; TCP-friendly; TCP throughput equation

IP组播被认为是向大规模并发用户提供实时高效数据分发的理想方式, 然而缺乏有效的拥塞控制机制^[1]限制了IP组播的大规模应用。为此, 研究者提出了基于分层组播的多速率拥塞控制方案(multi-rate congestion control, MCC)^[1-6]。MCC能够有效适应组播环境和用户终端的异构性, 提高系统吞吐量, 是解决IP组播拥塞控制问题的有效方法。RLM^[1]是MCC的典型方案, 其基本思想是发送端把原始视频流编码为一个基础层和若干增强层, 基础层包含视频流中最基本的信息, 而增强层则逐层递进地包含更细粒度的冗余信息。发送端使用不同组播组转发不同层次的数据; 每个接收端都尽力订阅更高层次的数据, 直至发生拥塞返回到累积传输速率略低于路径可用带宽的层次上。对于RLM接收端, 其路径可用带宽越高, 订阅的层数就越多, 重建信号的质量就越好。RLM能够有效解决组播环境的异构问题, 但在公平性、拥塞响应速度、同步决策、

周期性丢包等方面仍然存在可改进之处。

文献[2]提出的接收端驱动分层拥塞控制机制RLC, 通过模拟TCP协议的AIMD规则, 能够在一定程度上实现与TCP协议的友好性; 但是RLC会导致接收速率周期性振荡, 使接收质量降级和持续不稳定。文献[3]提出的LM-MCM方案通过对中间路由器输出端口的平均队列长度进行检测, 能够及时通知接收端响应网络拥塞以避免丢包, 但是其要求在路由器上引入多等级拥塞标记策略, 会限制系统的扩展性。文献[4-6]提出一类基于TCP吞吐量公式的MCC方案, 该类方案使用TCP吞吐量公式估计传输路径的可用带宽, 并据此进行相应的层次订阅调整, 其优点是能够获得平滑的接收速率, 以及在长期的统计时间内保持与TCP的友好性。问题在于接收端使用“丢包”作为网络拥塞标识, 通过丢失事件率估计可用带宽, 导致对网络拥塞响应缓慢, 可能造成大量丢包。

收稿日期: 2010-02-23; 修回日期: 2011-06-09

基金项目: 国家自然科学基金(60903155); 中央高校基本科研业务费(ZYGX2010J077)

作者简介: 刘梦娟(1979-), 女, 博士, 主要从事互联网新型应用、对等网络等方面的研究。

本文在文献[4]的基础上,首先对分组的延时抖动趋势进行分析,指出可根据基础层分组的延时抖动趋势对网络拥塞状况进行早期检测;然后提出基于延时抖动趋势和TCP吞吐量公式的分层组播方案(layered multicast based on delay-jitter trend, LM-DJT),通过延时抖动趋势推测当前网络的拥塞状况,使接收端尽可能地在拥塞初期(丢包前)就检测到网络拥塞,并作为一次丢失事件引入到改进的TCP吞吐量公式中;最后,在接收端估计当前传输路径允许的与TCP友好的可用带宽,根据可用带宽估计值和层次调整策略对层次订阅进行调整。仿真实验表明,LM-DJT能很好地适应网络环境的异构性,在保证带宽公平分配的情况下,具有较快的收敛和拥塞响应速度,只引入较少的丢包。

1 网络模型

1.1 MCC问题描述

假定 $M(S, D)$ 表示一个组播会话,其中 S 表示视频源端, $D = \{D_1, D_2, \dots, D_r\}$ 表示接收相同视频流的终端集合。MCC采用多个组播组分别传输视频流中不同层次的数据,因此一个编码为 N 层的组播会话应该包含 N 个组播组,记为 $M \rightarrow \{G_1, G_2, \dots, G_N\}$ 。

定义 1 累积式分层编码: S 把视频流编码为 N 个具有顺序关系的层次 $\{L_1, L_2, \dots, L_N\}$, 各层的发送速率分别为 $\{R_1, R_2, \dots, R_N\}$, 其中 L_1 包含最基本的视频信息,所有接收端通过订阅 L_1 可以获得最基本的视频质量;增强层 L_i 是对 L_{i-1} 层信息的补充,第 i 层信息只有在前 $i-1$ 层信息全部被正确接收的基础上才有效。令 B_i 表示从基础层 L_1 到第 L_i 层的累积发送速率,则有:

$$B_i = \sum_{j=1}^i R_j \quad i \in 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

定义 2 多速率拥塞控制: S 采用累积式分层编码算法对视频流编码,然后创建 N 个组播组分别对每层码流进行传输,接收端的可用带宽用集合 $T\{t_1, t_2, \dots, t_r\}$ 表示, t_i 为 $S \rightarrow D_i$ 路径的可用带宽,对于每个接收端 D_i 应该尽可能订阅更高层的数据,但其订阅层次 K 所对应的累积接收速率不大于当前传输路径的可用带宽,即满足:

$$D_i: \sum_{j=1}^K R_j \leq t_i \quad i \in 1, 2, \dots, r \quad (2)$$

1.2 延时抖动趋势分析

为了利用延时抖动趋势估计当前网络拥塞状况,本文假定网络的传播延时和网络的处理延时是基本固定的,分组传输总延时的变化主要由分组在

路由器的排队延时决定,而分组的排队延时则可以反映当前网络系统的拥塞状况^[8]。假定发送端 S 向接收端 D_r 发送数据,数据分组大小为 L ,若 $S \rightarrow D_r$ 的传输路径 P 包含 H 条链路,每条链路 i 的分组到达率为 λ_i ,容量为 C_i ,则分组 k 到达接收端 D_r 时的端到端延时为:

$$D^k = \sum_{i=1}^H \left(\frac{L}{C_i} + \frac{q_i^k}{C_i} + \delta_i^k \right) = \sum_{i=1}^H \left(\frac{L}{C_i} + d_i^k + \delta_i^k \right) \quad (3)$$

式中, δ_i^k 为分组 k 在链路 i 的处理延时和传播延时; q_i^k 为分组 k 到达链路 i 时的队列长度; d_i^k 为分组 k 在链路 i 的排队延时。由于 $\delta_i^{k+1} = \delta_i^k$,则两个连续到达接收端的分组的延时抖动为:

$$\Delta D^k = D^{k+1} - D^k = \sum_{i=1}^H \frac{q_i^{k+1} - q_i^k}{C_i} = \sum_{i=1}^H \Delta d_i^k \quad (4)$$

分析网络状况与延时抖动趋势的关系:

1) 如果递交路径 P 没有发生拥塞,则对于任意链路 i ,有 $\lambda_i \leq C_i$ 成立,因此分组 k 在分组 $k+1$ 到达链路之前就已经被转发, $\Delta d_i^k = 0$,此时延时抖动无显著变化趋势;

2) 如果递交路径 P 发生拥塞且处于拥塞开始阶段(队列不断增长但没有溢出),则对于拥塞链路 i ,有 $\lambda_i > C_i$ 成立, $\Delta d_i^k > 0$,此时延时抖动呈显著递增趋势;

3) 如果递交路径 P 处于拥塞结束阶段(队列不断减少但没有清空),则对于拥塞缓解链路 i ,有 $\lambda_i < C_i$ 成立, $\Delta d_i^k < 0$,此时延时抖动呈显著递减趋势;

4) 如果递交路径 P 处于严重拥塞阶段(队列溢出引发大量分组丢失),则对于拥塞链路 i ,输出队列的长度在其最大值附近波动, $\Delta d_i^k \approx 0$,此时延时抖动无显著变化趋势。

综上所述,可得出如下拥塞早期检测方法:接收端每隔同步周期对该周期内接收的基础层分组的延时抖动趋势进行判断,若延时抖动呈显著递增趋势,则认为在同步周期内传输路径 P 发生拥塞。

2 基于延时抖动趋势的分层组播方案

为了获得良好的扩展性,LM-DJT的主要功能都在接收端完成,而源端完成分层编码以及同步标记等功能^[3]。

2.1 基于延时抖动趋势的拥塞早期检测

LM-DJT的接收端只在同步时间点才对上一同步周期 T_d 内所接收基础层分组的延时抖动趋势进

行估计。假定接收端收到 K 个基础层分组, T_S^k 表示分组 k 的发送时间(可通过在分组中携带发送时间的戳实现), T_R^k 表示分组 k 到达接收端的时间, 则分组 k 的端到端延时记为 $D^k = T_R^k - T_S^k$, 连续到达的两个分组的延时抖动为 $\Delta D^k = T_R^{k+1} - T_S^{k+1} - (T_R^k - T_S^k)$ 。LM-DJT使用统计度量指标 S_{PCT} 判断基础层分组的延时抖动是否呈递增趋势。 S_{PCT} 度量指标定义为:

$$S_{PCT} = \frac{\sum_{k=1}^{K-1} I(D^{k+1} > D^k)}{K-1} \quad I(X) = \begin{cases} 1 & D^{k+1} > D^k \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

S_{PCT} 的取值范围是 $[0,1]$, 如果各个分组的延时抖动是相互独立的, 则 $E[S_{PCT}] = 0.5$; 如果分组的延时抖动存在很强的递增趋势, 则 $S_{PCT} \rightarrow 1$ 。LM-DJT规定: 若 $S_{PCT} > S_{PCT-TH}$, 则判定分组的延时抖动存在递增趋势, 即认为在同步周期 T_d 内网络发生拥塞。 S_{PCT-TH} 是 S_{PCT} 的门限值, 在本文方案中, 根据测试数据经验值选取为 0.55 。

2.2 TCP友好的可用带宽估计

为了获得与TCP机制近似的拥塞控制行为, LM-DJT采用TCP-Reno吞吐量公式^[7]计算TCP友好的可用带宽:

$$T_{cur} = \frac{L}{RTT \left(\sqrt{\frac{2}{3p}} + \left(12\sqrt{\frac{3p}{8}} \right) p(1+32p^2) \right)} \quad (6)$$

式中, L 为分组大小; RTT 为往返时间, p 为丢失

事件率^[7]。在LM-DJT中, 除了把丢包作为丢失事件, 还把在同步时间点检测到的拥塞也作为一次丢失事件, 以快速响应网络拥塞。

2.3 基于可用带宽估计值的层次调整策略

在LM-DJT中, 接收端使用TCP友好的可用带宽估计值与拥塞早期检测相结合的方式对订阅层次的调整。基于可用带宽估计值的层次调整策略为:

- 1) 接收端对当前TCP友好的可用带宽 T_{cur} 进行估计。
- 2) 依照两个阈值 T_{add-th} 和 $T_{drop-th}$ 对是否订阅/丢弃层次进行调整, 若 $T_{cur} \geq T_{add-th}$, 则增加订阅新的层次; 若 $T_{cur} \leq T_{drop-th}$, 则丢弃当前订阅的最高层次。其中 $T_{add-th} = B_{cur+1}$ 是增加新层次的门限值, B_{cur+1} 是比当前订阅层次更高一层所对应的累积发送速率; $T_{drop-th} = B_{cur-1}$ 是丢弃当前订阅层次的门限值, B_{cur-1} 是比当前订阅层次更低一层所对应的累积发送速率。

2.4 LM-DJT接收端的状态转移图

LM-DJT方案在接收端的状态转移过程如图1所示。在开始接收基础层的数据时, LM-DJT的接收端首先进入“慢启动(slow-start)状态”。在该状态, 接收端每隔同步周期就对延时抖动进行统计, 如果没有检测到拥塞 ($S_{PCT} \leq S_{PCT-TH}$), 就增加订阅层次, 以使累积接收速率快速增加到可供合理利用的带宽。当接收端检测到丢包事件发生且 $T_{cur} \leq T_{drop-th}$ 时, 就丢弃当前订阅的最高层次, 进入“丢弃回避(drop-deaf)状态”, 并启动丢弃回避定时器 TDD。

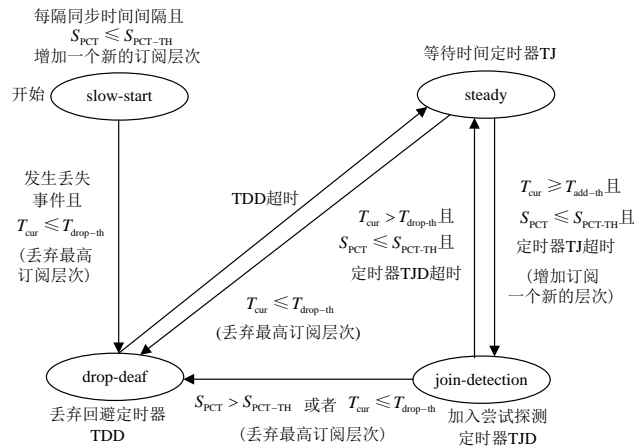


图1 LM-DJT接收端的状态转移图

处于“drop-deaf”状态的接收端不进行增加订阅层次或者丢弃层次的操作, 其目的是避免同一拥塞导致接收端连续丢弃层次。接收端只在 TDD 超时后才进入“稳定(steady)状态”, 并同时启动加入新

层所对应的等待时间定时器 TJ。

处于“steady”状态的接收端, 每当同步时间点到来时, 就对上一同步周期的延时抖动趋势进行估计。若没有检测到网络拥塞且满足 TJ 超时和

$T_{\text{cur}} \geq T_{\text{add-th}}$ 两个条件, 接收端增加订阅一个新的层次, 并同时进入“加入尝试探测(join-detection)状态”, 启动加入尝试探测定时器TJD。

处于“join-detection”状态的接收端, 每当同步时间点到来时, 就对上一同步周期的延时抖动趋势进行估计, 若检测到拥塞($S_{\text{PCT}} > S_{\text{PCT-TH}}$)或者 $T_{\text{cur}} \leq T_{\text{drop-th}}$, 则丢弃当前订阅的最高层次, 进入“drop-deaf”状态, 并启动TDD; 若没有检测到拥塞及满足TJD超时, 且 $T_{\text{cur}} > T_{\text{drop-th}}$, 则表明接收端加入尝试新层次成功, 接收端进入“steady”状态, 并同时启动TJ; 否则接收端保持“join-detection”状态不变。

3 实验与分析

本文使用NS2网络仿真软件对LM-DJT方案进行原型仿真, 并从收敛速度、稳定性、丢包率、响应能力、公平性等方面对LM-DJT的性能进行讨论。仿真的拓扑结构和参数设置分别如图2和图3所示, 图中标明了各条链路的额定容量和传播延时, 各层次的发送速率为{64,90,128,181,256,362,512} kb/s。

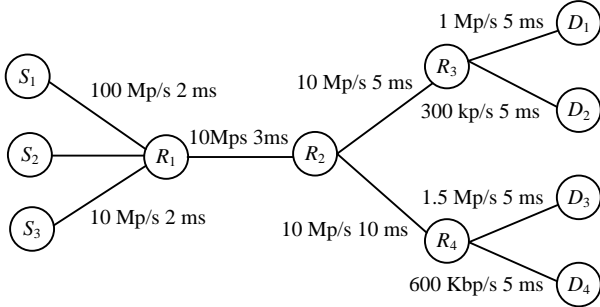


图2 实验1和实验2使用的拓扑结构

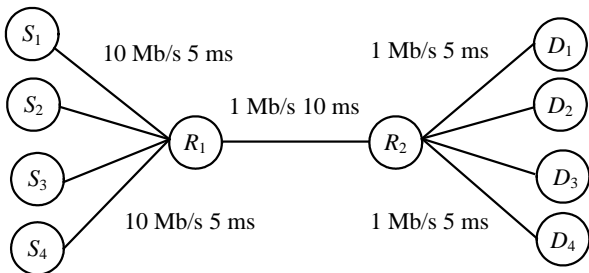


图3 实验3和实验4使用的拓扑结构

实验1用于评价异构网络中LM-DJT方案的稳定性和收敛速度。实验包括3个视频源 S_1, S_2, S_3 和4个接收端 D_1, D_2, D_3, D_4 , S_1 在 $t=1$ s时启动, D_1, D_4 和 D_2, D_3 分别在 $t=5$ s和 $t=25$ s时加入组播会话 S_1 。未添加“等待时间自适应调整策略”的仿真情况如图4所示。可以看到, 各接收端在快速收敛到最优订阅层次后, 并没有稳定在最优层次, 而是在最优层次和更高层次之间来回振荡。由于频繁振荡会严重

影响用户接收质量的平滑性, 因此LM-DJT仍然沿用文献[3]中的“等待时间自适应调整策略”。增加自适应调整策略后的仿真结果如图5所示。可以看到, LM-DJT在稳定的网络环境下具有较强的稳定性和较快的收敛速度。

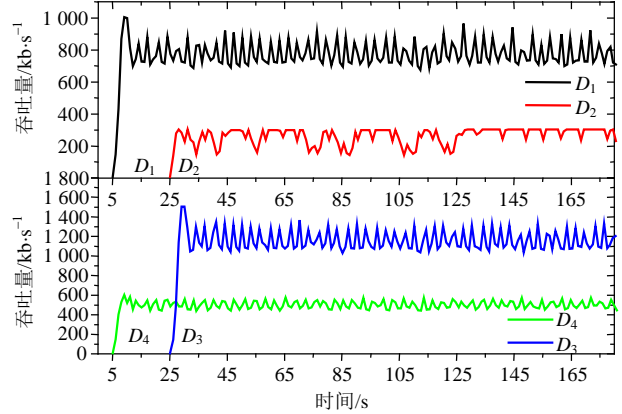


图4 未考虑等待时间自适应调整策略仿真结果

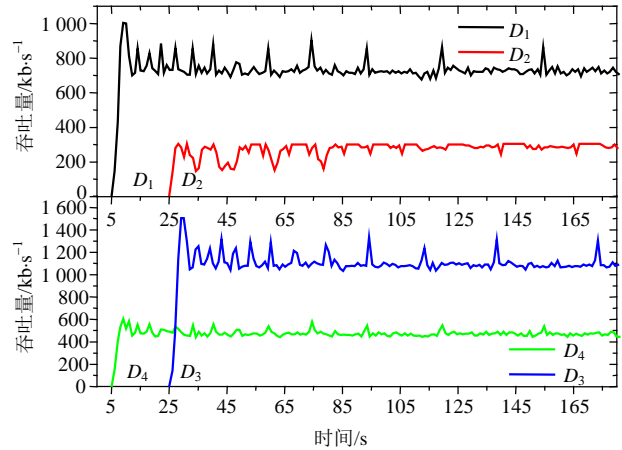


图5 LM-DJT中各接收端的接收速率

实验2用于评价LM-DJT对网络状况变化的跟踪能力, 为此实验2设计了两个CBR流动态影响网络瓶颈链路的可用带宽, 其中 $R_2 \rightarrow R_3, R_2 \rightarrow R_4, R_3 \rightarrow D_2$ 链路的额定容量重新设置为1Mb/s。在 $t=5$ s时启动 D_1 和 D_4 加入视频源为 S_1 的组播会话, 在 $t=30$ s时 S_2 和 S_3 分别启动两个到 D_2 和 D_3 的CBR流(速率为700 kb/s), 且在 $t=80$ s时停止该两个CBR流。各LM-DJT接收端吞吐量随时间的变化关系如图6所示。可以看到, 在CBR流量的干扰下, LM-DJT方案对于网络拥塞加剧具有较快的响应速度, 可使接收端重新收敛并稳定在新的最优订阅层次上; 但是对于网络拥塞减轻时的响应速度却不是理想, 这是因为引入“等待时间自适应调整策略”导致的。

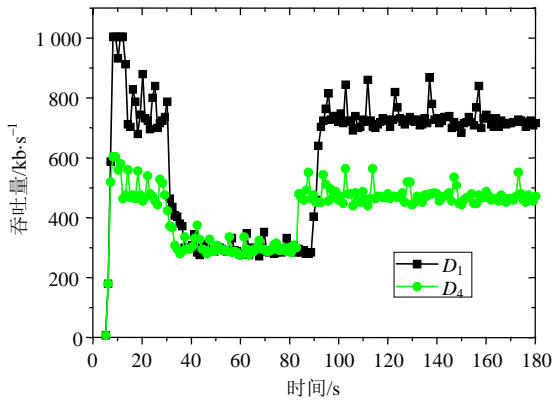


图6 LM-DJT中各接收端的接收速率

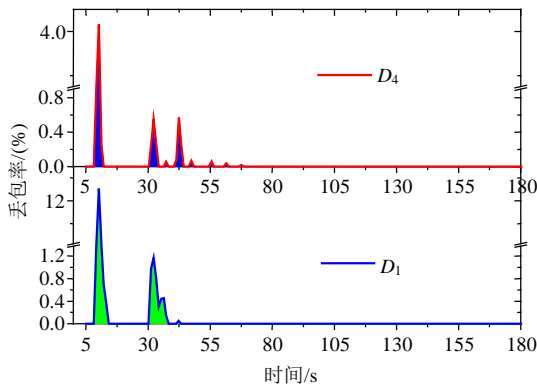


图7 LM-DJT各接收端的丢包率

D_1 和 D_4 的丢包率随时间的变化关系如图7所示。可以看到,在LM-DJT中由于采用“慢启动”过程,导致在加入组播会话初期可能出现一定数量的丢包,但是在退出“慢启动”之后,即或发生严重拥塞,丢包数量都能维持在较低的水平。

实验3测试LM-DJT组播会话之间在吞吐量上的公平性,实验使用4个LM-DJT组播流冲击瓶颈链路 $R_1 \rightarrow R_2$ 的带宽。使用公平性指数 $FI^{[9]}$ 对实验数据(如表1所示)进行分析。 FI 定义为:

$$FI(x) = \left(\sum X_i \right)^2 / n \left(\sum X_i^2 \right) \quad (7)$$

式中, n 为共享瓶颈链路的流的个数; X_i 为每个流的传输速率; $FI(x) \rightarrow 1$ 表示方案的公平性好, $FI(x) \rightarrow 0$ 表示公平性差。可以发现, LM-DJT方案确实能够在一定程度上公平地把瓶颈链路带宽分配给各个竞争的LM-DJT会话。

表1 共享相同瓶颈链路的各组播会话的平均传输速率

| 瓶颈链路带宽/kb·s ⁻¹ | S_1 | S_2 | S_3 | S_4 | FI |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|------|
| 800 | 150.35 | 154.04 | 281.77 | 169.88 | 0.92 |
| 1 200 | 289.01 | 235.27 | 349.90 | 285.63 | 0.98 |
| 2 000 | 483.90 | 469.10 | 476.00 | 474.78 | 0.99 |

实验4用于测试LM-DJT方案与TCP业务流的友好性。实验分为两组: 1) 一组用于测试LM-DJT组

播流是否能够从已经占据网络带宽的TCP业务流中获得公平共享资源; 2) 另一组用于测试已经占据网络带宽的LM-DJT组播流是否会使新加入的TCP业务流感到饥饿。分别设置瓶颈链路的带宽为800, 1 200, 2 000 kb/s。表2和表3分别给出了两组实验的测试数据的统计值。仍然使用公平性指数对实验结果进行评价,可以发现, LM-DJT业务与TCP业务具有一定程度的友好性。

表2 共享瓶颈链路的各个流的平均传输速率(第1组实验)

| 瓶颈链路带宽/kb·s ⁻¹ | S_1 | S_2 | TCP ₁ | TCP ₂ | FI |
|---------------------------|--------|--------|------------------|------------------|------|
| 800 | 161.26 | 160.05 | 221.72 | 253.39 | 0.96 |
| 1 200 | 279.87 | 280.04 | 319.23 | 273.04 | 0.99 |
| 2 000 | 584.62 | 516.63 | 375.75 | 446.61 | 0.97 |

表3 共享瓶颈链路的各个流的平均传输速率(第2组实验)

| 瓶颈链路带宽/kb·s ⁻¹ | S_1 | S_2 | TCP ₁ | TCP ₂ | FI |
|---------------------------|--------|--------|------------------|------------------|------|
| 800 | 177.86 | 157.29 | 250.14 | 172.30 | 0.96 |
| 1 200 | 296.74 | 287.97 | 259.42 | 297.63 | 0.99 |
| 2 000 | 574.59 | 488.45 | 382.35 | 470.59 | 0.98 |

4 结束语

本文提出了一个面向流媒体应用的TCP友好分层组播拥塞控制方案LM-DJT。通过将延时抖动趋势分析引入分层组播拥塞控制机制,利用分组的延时抖动趋势与排队延时的关系对网络拥塞状况进行早期检测,根据检测结果进行相应的层次订阅调整,并把检测到的拥塞作为一次丢失事件引入改进的TCP吞吐量公式中。为了使LM-DJT方案具有良好的TCP公平性,本文采用与TFMCC^[8]类似的方法使用TCP吞吐量公式计算TCP友好的可用带宽,并根据可用带宽估计值进行相应的层次订阅调整。仿真实验表明, LM-DJT方案在稳态环境下和CBR背景流冲击环境下都具有良好的稳定性,具有较快的收敛速度和较小的丢包率; LM-DJT还在一定程度上具有良好会话间的公平性以及TCP的友好性。

参考文献

- [1] McCANE S, JACOBSON V, VETTERLI M. Receiver-driven layered multicast[C]//Proc of ACM SIGCOMM. Stanford, USA: ACM, 1996: 117-130.
- [2] VICISANO L, RIZZO L, CROWCROFT J. TCP-like congestion control for layered multicast data transfer[C]//Proc of IEEE INFOCOM. San Francisco, USA: IEEE, 1998: 996-1003.
- [3] LIU Meng-juan, HONG Pei-lin, LI Jin-sheng, et al. LM-MCM: a new layered multicast transmission protocol for live streaming[C]//Proc of IEEE ICON. Singapore: IEEE, 2006: 1-6.

- [4] BOURAS C, GKAMAS A, KIOUMOURTZIS G. Smooth multicast congestion control for adaptive multimedia transmission[C]//Proc of 4th EURO-NGI Conference on Next Internet Networks. Poland: IEEE, 2008: 146-152.
- [5] NAKAUCHI K, KOBAYASHI K. SIRENS: an explicit notification framework for internet congestion control[C]//Proc of IEEE ICC. Istanbul, Turkey: IEEE, 2006: 12-17.
- [6] JOHN W B, GU I K, LUBY M, et al. Fine-grained layered multicast with stair[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), 2006, 14(1): 81-93.
- [7] WIDMER J, HANDLEY M. Extending equation-based congestion control to multicast applications[C]//Proc of ACM SIGCOMM. San Diego, CA: ACM, 2001.
- [8] JAIN M, DOVROLIS C. End-to-end available bandwidth: Measurement methodology, dynamics, and relation with TCP throughput[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), 2003, 11(4): 537-549.
- [9] CHIU D M, JAIN R. Analysis of the increase and decrease algorithm for congestion avoidance in computer networks [J]. Computer Networks and ISDN Systems, 1989, 17: 1-14.

编辑 漆蓉

《计算机应用》征订启事

《计算机应用》月刊于1981年创刊，是中国计算机学会会刊，由中国科学院成都计算机应用研究所和四川计算机学会主办，科学出版社出版。

《计算机应用》系中文核心期刊、中国科技核心期刊。被《中国科学引文数据库》、《中国科技论文统计源数据库》等国家重点检索机构列为引文期刊，并被英国《科学文摘》(SA)、俄罗斯《文摘杂志》(AJ)、日本《日本科学技术振兴机构数据库》(JST)、美国《剑桥科学文摘：材料信息》(CSA: MI)、波兰《哥白尼索引》(IC)、德国《数学文摘》(Zentralbratt MATH)等多种国外重要检索系统列为来源期刊。

本刊紧紧围绕“应用”。主要涉及网络与通信、信息安全、先进计算、人工智能、图形图像技术、数据库技术、计算机软件技术、现代服务业信息技术和典型应用等。

本刊是您学习计算机应用理论，借鉴计算机应用技术，参考计算机应用经验的最佳选择。

中国标准连续出版物号：ISSN 1001-9081 CN 51-1307/TP

2012年定价：33元/册

国外发行代号：M4616

国内邮发代号：62-110

联系人：雍平

通信地址：四川成都237信箱(武侯区)《计算机应用》编辑部(610041)

电话：(028) 85224283-803

传真：(028) 85222239-816

电子邮箱：bjb@joca.cn

网址：www.joca.cn