

文章编号:1005-8451(2005)01-0042-03

主动式拥塞控制机制浅析

石 杰, 吴辰文

兰州交通大学 信息与电气工程学院, 兰州 730070

摘 要:分析了 Internet 上出现拥塞的基本原因, 对比了已有的被动式路由器队列管理机制和新兴的主动式队列 (AQM) 管理方法的主要优缺点, 叙述了 AQM 的指导算法——“早期随机检测算法 (RED)”, 自适应控制在 RED 算法中的应用, 提出了存在的问题和研究思路。

关键词:拥塞控制; 被动式队列管理; 主动式队列管理; RED; 自适应控制

中图分类号:TP393.06 **文献标识码:**A

Analysis of active queue management control mechanism

SHI Jie, WU Chen-wen

(College of Information and Electrical Engineering, Lanzhou Jiaotong University,
Lanzhou 730070, China)

Abstract: It was analyzed several reasons that caused Internet congestion, summarized the advantage and disadvantage of passive queue management and active queue management. The guiding algorithm of RED was emphatically analyzed. In the Internet, the adaptive control already was used in RED, such as self-configuring, adaptive RED. The open problems in the AQM and the research direction were discussed.

Key words: congestion control; PQM; AQM; RED; Adaptive Control

拥塞^[1-2]是一种持续网络过载状态, 此时, 用户对网络资源的需求超过了其固有的容量。就 Internet 的体系结构而言, 拥塞是不可避免的, 因为, 在事先没有协商和许可机制的共享网络之中, 几个 IP 分组同时到达路由器, 并期望从同一个端口转发的可能是有的。拥塞导致的直接结果就是分组丢失率上升, 端到端时延增加, 甚至系统出现拥塞崩溃。

在发生拥塞的时候可以通过拥塞控制使 TCP 源端降低发送数据的速率, 从而使得大量的 TCP 流可以共享一条已经拥塞了的链路。TCP 拥塞控制机制对于防止拥塞崩溃 congestion collapse 是可行的, 并且是成功的。

有效性依赖于两个基本的理想假设:

(1) 所有 (几乎所有) 的流都采用了拥塞控制机制; (2) 这些流采用的机制是同质的或者大体上相同, 即 TCP 流是友好的。

随着近几年的计算机网络发展, 特别是多媒体业务的应用, 出现了许多的新问题: 一些应用没有采用拥塞控制机制, 因而不能对拥塞做出反应; 有些应用采用了拥塞控制机制, 但不是 TCP 友好的;

一些用户有意或无意采取了 non-TCP 的控制算法。此外, TCP 拥塞控制自身还有诸如自相似性、效率和公平性等问题存在。因此, 尽管 TCP 拥塞控制机制是必须的而且是功能强大的, 仍然需要在以统计复用技术的基础之上再用一些基于路由器技术的算法对拥塞控制机制加以完善, 这是网络拥塞控制的根本目的。

1 传统的被动式队列管理

由于路由器是基于业务分组交换的网络设备, 在其每一个端口采用带宽统计复用技术, 因此, 路由器必须维护一个或多个队列, 否则, 路由器就无法处理多个业务分组同时从同一个端口转发的问题。对于队列的管理决定着路由器的性能, 路由器有两类队列控制算法: 队列管理算法主要是在必要时通过丢包来管理队列的大小, 队列调度算法决定下一次发送哪一个业务分组。拥塞控制机制主要由队列管理算法决定。其目的就是通过维持较小的队列长度使得网络处于具有低延迟, 但是同时拥有高吞吐量的状态。

传统的路由器队列管理方法主要采取“尾丢

收稿日期: 2004-09-07

作者简介: 石 杰, 在读硕士研究生; 吴辰文, 教授。

弃”算法。即路由器接受业务分组直到路由器队列达到设定的最大值，若队列已满则丢弃其后到达的所有业务分组，并通知相应的源端减小发送速率，以解决拥塞。虽然在当前的Internet上使用的多数路由器都采用了这种算法，但是，该算法仍有几处比较明显的缺陷：

（1）死锁（lock-out）问题：在某些情况下，“尾丢弃”算法会让某个流或者少数几个流独占队列空间，阻止其他流的包进入队列。

（2）满队列（full queues）问题：由于“尾丢弃”算法只在队列满时才会发出拥塞信号，因此，会使得队列在相当长时间内处于充满（或几乎充满）的状态。

（3）全局同步（global synchronization）问题：由于Internet上数据往往是突发的，导致到达路由器的业务分组也是突发的。在队列已满或几乎已满的情况下，会有大量业务分组丢失，而TCP流具有自适应特性，多个源端发现包丢失就急剧地减小发送窗口，包到达速率就迅速下降，于是网络拥塞得以解除，但源端得知网络不再拥塞后又同时开始增加发送速度，这会再一次导致拥塞发生。然后周而复始地进行下去。这就是所谓的“TCP全局同步”现象。

为了解决以上的问题又提出了“从前丢弃”（drop front）和“随机丢弃”（random drop）机制。当队列满时，前者从队列头部丢包，以便让新包进入队列；后者从队列中随机找出一个包丢弃以让新来的包进入队列。这两种算法虽然在一定程度上解决了“死锁”和“全局同步”问题，但仍没有解决“满队列”问题。由于这几种方法都是在队列满了被迫丢包，因此称为被动式队列管理。

2 主动式队列管理

传统的路由器队列管理方法都是在队列已满的情况下被动地丢弃数据包，由于其被动的处理方式造成满队列问题无法得以解决。但这一问题若是在拥塞发生之前就采取一定的措施预防，那么满队列问题是可以解决的。主动的而非响应的分组丢弃就是一种有效的手段，相应算法构成队列管理策略被称为“主动队列管理（AQM）”。

AQM的主要目标在于更有效地减小排队延时的同时保证较高的吞吐量。围绕这一目标，AQM主要做以下的工作：公平地处理各个数据流，以避免

出现“死锁”现象；早期探测路由器可能发生的拥塞，并通过随机丢弃分组来通知源端采取措施避免可能的拥塞；避免多个数据流由于队列同时溢出而造成的“全局同步”现象；维持一个较小的队列长度，从而在高吞吐量和低延时之间做出合理的平衡。

3 早期随机检测算法

早期随机检测算法RED（Random Early Detection）拥塞控制机制的基本思想是通过监控路由器输出端口队列平均长度来探测拥塞。一旦发现拥塞逼近，就随机地选择丢弃业务分组，从而通知拥塞，使得在队列溢出导致后到达的业务分组全部丢弃之前减小数据发送窗口，降低发送数据的速率，从而缓解网络拥塞。

与Tail Drop相比，RED为队列管理增添了两种机制：

（1）不是等队列满了以后再丢弃到来的分组，而是利用概率判定机制事先丢掉部分分组来预防可能发生的拥塞；

（2）通过平均队列长度来确定分组丢失率，从而尽可能地吸收更多的突发分组。

RED算法主要由两个部分组成：

（1）计算平均队列长度，以此作为对拥塞程度的评估；

（2）计算丢包概率。平均队列长度是用指数加权平均的方法来计算：

$$\text{avg} = (1 - w_q) \times \text{avg} + w_q \times q \quad (1)$$

其中， w_q 为权值， q 为采样测量时实际队列长度。权值 w_q 决定了路由器对输入流量变化的反应程度。因此对 w_q 的选择非常重要，如果 w_q 过大，那么RED就不能有效地“过滤”短暂的拥塞；如果太小，那么avg就会对实际队列长度的变化反应过慢，路由器就不能有效检测到早期的拥塞。

计算平均队列的目的就是为了反映拥塞状况，根据拥塞的程度来计算丢弃包的概率，从而有效地控制平均队列长度。当分组到达时，如果队列的长度小于最小阈值 \min_{th} ，分组安全进入队列，当队列长度大于最大阈值 \max_{th} ，分组全部丢弃，若是队列长度在最小阈值 \min_{th} 和最大阈值 \max_{th} 之间时，按下式计算分组丢弃概率 p ：

$$p = \max_p (\text{avg} - \min_{th}) / (\max_{th} - \min_{th}) \quad (2)$$

$$p_a = p / (1 - \text{count} > p) \quad (3)$$

文章编号:1005-8451(2005)01-0042-03

主动式拥塞控制机制浅析

石 杰, 吴辰文

兰州交通大学 信息与电气工程学院, 兰州 730070

摘 要:分析了 Internet 上出现拥塞的基本原因, 对比了已有的被动式路由器队列管理机制和新兴的主动式队列 (AQM) 管理方法的主要优缺点, 叙述了 AQM 的指导算法——“早期随机检测算法 (RED)”, 自适应控制在 RED 算法中的应用, 提出了存在的问题和研究思路。

关键词:拥塞控制; 被动式队列管理; 主动式队列管理; RED; 自适应控制

中图分类号:TP393.06 **文献标识码:**A

Analysis of active queue management control mechanism

SHI Jie, WU Chen-wen

(College of Information and Electrical Engineering, Lanzhou Jiaotong University,
Lanzhou 730070, China)

Abstract: It was analyzed several reasons that caused Internet congestion, summarized the advantage and disadvantage of passive queue management and active queue management. The guiding algorithm of RED was emphatically analyzed. In the Internet, the adaptive control already was used in RED, such as self-configuring, adaptive RED. The open problems in the AQM and the research direction were discussed.

Key words: congestion control; PQM; AQM; RED; Adaptive Control

拥塞^[1-2]是一种持续网络过载状态, 此时, 用户对网络资源的需求超过了其固有的容量。就 Internet 的体系结构而言, 拥塞是不可避免的, 因为, 在事先没有协商和许可机制的共享网络之中, 几个 IP 分组同时到达路由器, 并期望从同一个端口转发的可能是有的。拥塞导致的直接结果就是分组丢失率上升, 端到端时延增加, 甚至系统出现拥塞崩溃。

在发生拥塞的时候可以通过拥塞控制使 TCP 源端降低发送数据的速率, 从而使得大量的 TCP 流可以共享一条已经拥塞了的链路。TCP 拥塞控制机制对于防止拥塞崩溃 congestion collapse 是可行的, 并且是成功的。

有效性依赖于两个基本的理想假设:

(1) 所有 (几乎所有) 的流都采用了拥塞控制机制; (2) 这些流采用的机制是同质的或者大体上相同, 即 TCP 流是友好的。

随着近几年的计算机网络发展, 特别是多媒体业务的应用, 出现了许多的新问题: 一些应用没有采用拥塞控制机制, 因而不能对拥塞做出反应; 有些应用采用了拥塞控制机制, 但不是 TCP 友好的;

一些用户有意或无意采取了 non-TCP 的控制算法。此外, TCP 拥塞控制自身还有诸如自相似性、效率和公平性等问题存在。因此, 尽管 TCP 拥塞控制机制是必须的而且是功能强大的, 仍然需要在以统计复用技术的基础之上再用一些基于路由器技术的算法对拥塞控制机制加以完善, 这是网络拥塞控制的根本目的。

1 传统的被动式队列管理

由于路由器是基于业务分组交换的网络设备, 在其每一个端口采用带宽统计复用技术, 因此, 路由器必须维护一个或多个队列, 否则, 路由器就无法处理多个业务分组同时从同一个端口转发的问题。对于队列的管理决定着路由器的性能, 路由器有两类队列控制算法: 队列管理算法主要是在必要时通过丢包来管理队列的大小, 队列调度算法决定下一次发送哪一个业务分组。拥塞控制机制主要由队列管理算法决定。其目的就是通过维持较小的队列长度使得网络处于具有低延迟, 但是同时拥有高吞吐量的状态。

传统的路由器队列管理方法主要采取“尾丢

收稿日期: 2004-09-07

作者简介: 石 杰, 在读硕士研究生; 吴辰文, 教授。