

一种改进的 RED 主动队列管理算法

何 阳,周井泉

(南京邮电大学 电子科学与工程学院,江苏 南京 210003)

摘 要:主动队列管理(Active Queue Management, AQM)算法是网络拥塞控制中非常重要的研究领域之一。为了使 RED 算法丢包概率的计算更加平滑,文中在 RED-r 的基础上对其丢包概率的计算进行了改进,提出了一个名为 IMRED-r 的新算法,采用分段二次圆函数计算丢包概率,实现了动态网络环境中队列长度的稳定,并且减少了参数的设置。基于 NS2 的仿真结果表明,IMRED-r 算法在复杂的网络环境里具有更好的鲁棒性和稳定性,比 RED、RED-r 主动队列管理算法优越。

关键词:网络拥塞控制;主动队列管理;鲁棒性;RED;RED-r;IMRED-r

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)08-0111-03

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.08.028

An Improved RED Active Queue Management Algorithm

HE Yang, ZHOU Jing-quan

(College of Electronic Science and Engineering, Nanjing University of
Posts and Telecommunication, Nanjing 210003, China)

Abstract: Active Queue Management (AQM) algorithm is one of very important research field of network congestion control. In order to make the probability calculation of dropping packets of RED algorithm smoother, improved the calculation of the probability of dropping packets on the basis of RED-r, and presented a new algorithm named IMRED-r, used the piecewise quadratic round function to calculate the probability of dropping packets, then kept the queue length stable in the dynamic network environment, reduced the amount of RED parameters. The simulation results based on NS2 demonstrated that the algorithm had better stability and robustness in the complex network environment. Compared with RED and RED-r, the algorithm is advantageous.

Key words: network congestion control; AQM; robustness; RED; RED-r; IMRED-r

0 引 言

随着互联网用户规模的日益增大,互联网的拥塞状况也日益加剧。为了解决网络拥塞问题,仅仅依靠源节点提供的 TCP 拥塞控制机制是不够的,必须让网络本身也参与到拥塞控制中去。因此,基于中间节点的拥塞控制成为解决网络拥塞的研究热点。

基于中间节点的拥塞控制主要包括队列调度和队列管理两个部分。前者主要用于解决数据网络带宽的分配,着重致力于网络公平性研究。后者主要根据路由的情况选择一定的丢包/标记概率来维持路由中队列的稳定性。队列管理算法通常可以分为两个部分:被动队列管理(PQM)算法和主动队列管理(AQM)算法。其中,PQM 算法首先给队列设置一个最大值(以

包为单位),然后开始接收数据包进入队列直到满队列,随后到达的数据包只有到队列长度下降才会被接收。传统的弃尾算法(Drop-Tail)就采用了该机制。由于弃尾算法只有等到队列满了才丢包,这样很容易造成数据流的死锁、满队列、全局同步以及持续队满造成的延迟较大等^[1,2]。

Floyd^[3]于 1993 年提出了著名的随机早期检测(Random Early Detection, RED)拥塞控制机制,有效地改进了传统弃尾算法。RED 算法通过计算平均队列长度反映网络拥塞的变化情况,当平均队列长度迅速增大即拥塞逼近时,通过增大标记/丢包概率通知发送端,使发送端适当地降低发送速率缓解拥塞。但是,RED 算法对参数的设置较为敏感,并且当平均队列长度大于队列长度上限时,则丢包概率突变到 1 过于激

收稿日期:2012-11-07

修回日期:2013-02-20

网络出版时间:2013-04-22

基金项目:江苏省普通高校研究生科研创新基金(CXLX12_0471)

作者简介:何 阳(1989-),男,江苏南京人,硕士研究生,研究方向为网络的可靠性技术;周井泉,博士,教授,硕士生导师,研究方向为通信网络的信息管理和控制。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130422.1729.062.html>

进。随后, Floyd 等人^[4]和 Feng 等人^[5]分别提出了 GentleRED 和 ARED 算法, 前者改进了 RED 算法丢包概率计算的设计模式, 即平均队列长度大于队列上限时, 丢包概率随队列长度的增加线性增加到 1。后者增加了最大丢包概率增加系数和减小系数, 根据拥塞状况自适应地调整丢包概率的大小。虽然 RED 算法的性能得到了改善, 但是 GentleRED 对参数的设置敏感, 遭遇突发流时队列的稳定性和鲁棒性较差, ARED 对参数的设置更加复杂和敏感。为了避免 RED 的缺陷并且减少 RED 的设置参数, 文献[6]中的 RED-r 算法, 采用二次圆函数来计算丢包概率, 在网络时延一定时, 能较好地抗拒突发流, 保持队列稳定。文中在前者的基础上, 提出了 IMRED-r 算法, 采用分段二次圆函数计算丢包概率, 在保持较少参数设置的同时, 还进一步增强了队列的鲁棒性。

1 RED-r 算法

RED-r 算法采用二次圆函数^[6]计算丢包概率, 一方面减少了 RED 的参数设置, 另一方面增强了平均队列长度的稳定性。

RED-r 主要分为两个部分:

a) 计算平均队列长度。RED-r 算法的平均队列长度 avg 是根据瞬时队列长度 q 和瞬时队列长度加权系数 w_q ($0 < w_q < 1$) 计算得来, 并据此来计算丢包概率。

$$avg \leftarrow (1 - w_q) \times avg + w_q \times q \quad (1)$$

b) 计算丢包概率。当 $avg < q_{min}$ 时, p_b 等于 0; 当 $avg > v_{max}$ 时, p_b 等于 1; 当 $q_{min} < avg \leq v_{max}$ 时, p_b 的计算公式如下:

$$p_b = 1.0 - \sqrt{1 - \left(\frac{avg - q_{min}}{v_{max} - q_{min}} \right)^2}, \quad avg \leq \min(v_{max}, Q_{max}) \quad (2)$$

其中, v_{max} 和 Q_{max} 分别代表的是虚拟的上限值和队列物理缓冲的最大长度, 并且可以设置虚拟的上限值大于队列物理缓冲的最大长度。

RED-r 把 p_b 直接作为实际丢包概率, 不需要设置 q_{max} 和 max_p 的值, 只需要设置 v_{max} 和 q_{min} 的值, 因此比 RED 算法设置的参数要少。由于二次圆函数的非线性特性, 使丢包率的计算变得比较平滑, 可以减小队列抖动。

2 IMRED-r 算法

为了进一步提高 RED 算法抗突发流的性能, 文中在相同的平均队列计算方法的前提下, 采用分段二次圆函数计算丢包概率。

IMRED-r 算法主要对丢包概率 p_b 的计算方法进行了改进, 采用分段二次圆函数计算 p_b , 并且以 p_b 作为实际丢包概率。当平均队列长度较小时, 采用下凹型函数段; 当平均队列长度较大时, 采用上凸型函数段。并且以 $((q_{min} + v_{max})/2, 1/2)$ 坐标作为拐点, 可以证明该分段函数是连续的。同 RED 和 RED-r 算法相比, IMRED-r 算法在 avg 增加过大时, 通过采用上凸型函数计算得到更大的丢包概率, 更加有效地抑制队列变长, 减小队列抖动。当 avg 减小过快时, 采用下凹型函数计算得到的丢包概率比 RED-r 算法更小, 可以更加有效地稳定队列长度。IMRED-r 的丢包概率曲线和 p_b 的计算公式分别如图 1 和式(3)所示。

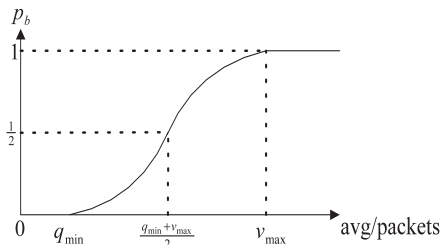


图 1 IMRED-r 丢包概率计算方法

$$p_b = \begin{cases} 0, & avg < q_{min} \\ \frac{1}{2} - \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{(avg - q_{min})^2}{(v_{max} - q_{min})^2}}, & q_{min} \leq avg < \frac{q_{min} + v_{max}}{2} \\ \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{(avg - v_{max})^2}{(v_{max} - q_{min})^2}}, & \frac{q_{min} + v_{max}}{2} \leq avg < v_{max} \\ 1, & avg \geq v_{max} \end{cases} \quad (3)$$

采用分段二次圆函数, 可以使得丢包概率变化更加平滑和理想, 能更有效地抗拒突发流造成的队列抖动。和文献[7,8]中复杂的 AQM 算法相比, IMRED-r 算法的计算量较小。

3 IMRED-r 算法的仿真与分析

利用 NS2^[9] 软件对算法进行仿真, 最新的 NS2 版本 ns-allinone-2.35 里包含了 RED、GentleRED 以及 ARED 算法, 对于 RED-r 和 IMRED-r 算法需要自行添加, 添加步骤参考文献[10~12]。仿真的网络拓扑结构图如图 2 所示。

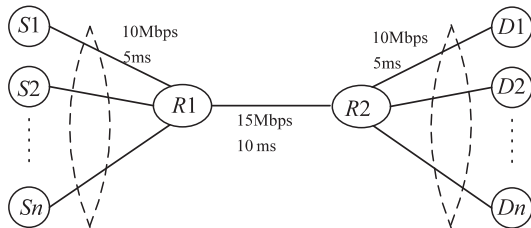


图 2 仿真的网络拓扑结构图

路由器 R_1 和 R_2 之间的链路为瓶颈链路,容量为 15Mbps(约 3750packets/s),时延为 10ms。 $S_1 \cdots S_n$ 为 TCP 发送端,均为 FTP 业务源,到路由器 R_1 的链路容量为 10Mbps,时延为 5ms。 $D_1 \cdots D_n$ 为接收端节点,到路由器 R_2 的链路容量为 10Mbps,时延为 5ms。各节点的缓存队列长度均为 800packets,数据包为 500packets。仿真过程中,除了瓶颈链路的主动队列管理算法采用 RED、RED-r 和 IMRED-r,其他链路的队列管理均采用 Drop-Tail 算法。

3.1 动态网络环境中队列长度稳定性的比较

在图 2 中,首先启动 60 个 TCP 发送端,到了 30s 再启动 120 个 TCP 发送端,60s 时停止 90 个发送端,直到 100s 发送结束。RED、RED-r 和 IMRED-r 的参数设置为: $q_{\min} = 50\text{packets}$, $q_{\max}/v_{\max} = 250\text{packets}$,其余参数的设置均为 NS2 默认值。仿真结果如图 3 所示。

70packets;RED-r 控制的队列长度从 130packets 变化到了 165packets 左右,队列长度变化 35packets,变化幅度小于 RED 算法;IMRED-r 控制的队列长度从 100packets 变化到接近 120packets,队列长度变化了 20packets,其队列的变化的幅度和过渡时间明显小于 RED 和 RED-r 算法。到了 60 秒,发送端由 180 个减少为 90 个,RED 控制的队列长度变为 120packets 左右,队列长度变化了 130packets,队列抖动幅度很大;RED-r 控制的平均队列长度从 165packets 下降约为 105packets,队列长度变化了 60packets,变化幅度小于 RED 算法;IMRED-r 控制的队列长度从 120packets 下降约为 80packets,队列长度变化了 40packets,变化幅度明显小于 RED 和 RED-r 算法。

从以上分析可以看出,RED 算法控制的平均队列长度最大,在遭遇突发流时队列的过渡时间很长即鲁棒性较差。RED-r 算法控制的平均队列长度居中,出现突发流时的队列长度变化幅度较小,过渡时间较短,这说明 RED-r 较 RED 在抗突发流的性能上有了明显的改进。IMRED-r 算法控制的平均队列长度最小,出现突发流时其队列的过渡时间最小,队列长度变化幅度明显小于前两者。显然,在抗突发流方面,即鲁棒性方面,文中提出的 IMRED-r 算法的性能最优。

3.2 链路利用率、丢包概率和吞吐量的比较

链路利用率、丢包概率和吞吐量都是衡量队列算法的重要的性能指标。文中通过仿真对 RED-r 和 IMRED-r 的链路利用率、吞吐量以及丢包率变化情况进行了比较,设定 TCP 发送端数量分别为 60 和 120,瓶颈链路的时延为 20ms,其他参数不变,结果如表 1 所示。

表 1 两种算法的链路利用率、丢包率以及吞吐量的比较

算法	链路利用率(%)		丢包概率(%)		吞吐量(k bit/s)	
	$N = 60$	$N = 120$	$N = 60$	$N = 120$	$N = 60$	$N = 120$
IMRED-r	95.65	95.70	5.49	11.50	14631.21	14643.72
RED-r	95.61	95.79	4.61	11.52	14629.60	14652.15

从表 1 中可以看出,在负载 $N = 60$ 的情况下,IMRED-r 算法的链路利用率高、吞吐量大,优于 RED-r 算法;在负载 $N = 120$ 的情况下,IMRED-r 的丢包率小,优于 RED-r,但以吞吐量稍小于 RED-r 为代价。

总之,IMRED-r 和 RED-r 在链路利用率、丢包概率和吞吐量三个指标上性能相差不多,综合抗突发流性能考虑,IMRED-r 算法更好。

4 结束语

主动队列管理(AQM)技术,作为一种拥塞控制策
(下转第 121 页)

图 3 RED、RED-r 和 IMRED-r 队列长度变化

从图 3 中可以看出,RED、RED-r 和 IMRED-r 控制的平均队列长度均随着 TCP 发送端的数目变化而改变。0 至 30 秒一共有 60 个 TCP 发送端发送数据,RED、RED-r、IMRED-r 控制的平均队列长度分别约为 180packets、130packets 和 100packets。到了 30 秒,发送端由 60 个突然变为 120 个,RED 控制的队列长度由 180packets 变到接近 250packets,队列长度的过渡时间很长,队列抖动幅度很大,平均队列长度变化了

助人们快速获取、分析和利用有效信息,它的发展必将引起社会各界的普遍关注。

参考文献:

[1] 暴建民. 物联网技术与应用导论[M]. 北京:人民邮电出版社,2011:37-59.

[2] Fukatus T, Kiura T, Hirafuji M. A web-based sensor system with distributed data processing approach via web application [J]. Computer Standards & Interface, 2011, 33 (6): 565 - 573.

[3] Fukatsu T, Hirafuji M. Field monitoring using sensor-nodes with a Web server[J]. Journal of Robotics and Mechatronics, 2005, 17(2): 164-172.

[4] Fukatsu T, Hirafuji M, Kiura T. Construction of support tools to assist an Agent System[C]//Proceedings of IAALD-AFITA-WCCA 2008. Tokyo, Japan: [s. n.], 2008: 221-227.

[5] Tillett R D. Image analysis for agricultural processes: a review of potential opportunities[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1991, 50: 247-258.

[6] Shimoda N, Kataoka T, Okamoto H, et al. Automatic pest counting system using image processing technique[J]. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 2006, 68 (3): 59-64.

[7] Reyns P, Missotten B, Ramon H, et al. A review of combine sensors for precision farming[J]. Precision Agriculture, 2002, 3(2): 169-182.

[8] 卢伟佳. 用于高速交通监控系统的图像传感器选择[J]. 世界电子元器件, 2007(10): 19-20.

(上接第 113 页)

略,对于提高网络的服务质量起到了很大的作用。文中鉴于 RED 算法的不足,提出了 IMRED-r 算法,采用分段二次圆函数计算丢包概率,减少了参数设置的同时,还能实现在复杂的网络环境中保持队列稳定,提高了抗拒突发流的能力。最后,通过 NS2 仿真验证了 IMRED-r 算法的有效性。

参考文献:

[1] Zheng Changyong, Dai Yuehua, Chen Junning. Is current active queue management really necessary[C]//Proc. of the 1st International Workshop on Education Technology and Computer Science. Washington DC: IEEE Computer Society, 2009: 538-541.

[2] Stanojevic R, Shorten R N, Kellett C M. Adaptive tuning of drop-tail buffers for reducing queueing delays [J]. IEEE Communications Letters, 2006, 10(7): 570-572.

[3] Floyd S, Jacobson V. Random early detection gateways for congestion avoidance[J]. ACM/IEEE Trans. on Networking, 1993, 1(4): 397-413.

[4] Floyd S. Recommendation on using the "Gentle_" variant of

[9] Cheng H H, Shaw B D, Palen J, et al. Development and field test of a laser-based nonintrusive detection system for identification of vehicles on the highway [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2005, 6(2): 147-155.

[10] 傅和平,王爱芳,张栓记,等. 调制式红外光汽车速度识别系统的研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(8): 1531-1534.

[11] 林 凌,韩晓斌,丁 茹,等. 微型感应线圈车辆传感器[J]. 传感技术学报, 2006, 19(4): 994-1000.

[12] 何小华. 基于车辆运行噪声的交通量在线统计算法研究[D]. 长春:东北师范大学, 2008.

[13] Shi Zengqiang, Chung D D L. Carbon fiber-reinforced concrete for traffic monitoring and weighing in motion[J]. Cement and Concrete Research, 1999, 29(3): 435-439.

[14] Du Yilin, Jiang Cheng, Xiao Han, et al. Study of SAW Ice Sensor Application to Highway Airstrip [C]//Proc. of The 2009 Symposium on Piezoelectricity, Acoustic Waves and Device Applications. [s. l.]: [s. n.], 2009: 121-124.

[15] 贾雯杰,柴 炜,张 聪. 光电式传感器在自动控制窗上的应用[J]. 科技传播, 2011(8): 109-110.

[16] 黎粤华,王述洋. 家居安防远程通信系统的设计与实现[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(9): 117-124.

[17] Han Yingchao, Li Hongmei, Qiu Jinghui. The Analysis and Summary About Energy Saving Technologies of Wireless Sensor Network [C]//Proc. of 2011 International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology. [s. l.]: [s. n.], 2011: 883-885.

RED algorithm [EB/OL]. 2008 - 11 - 15. <http://www.icir.org/floyd/red/gentle.Html>.

[5] Feng Wuchang, Kandlur D D, Saha D, et al. A self-configuring RED gateway [C]//Proc. of IEEE INFOCOM. New York: IEEE Communications Society, 1999: 1320-1328.

[6] 姜文刚,孙金生,王执铨. 改进的 RED 队列管理算法: RED-r [J]. 计算机应用研究, 2012, 29(7): 2632-2634.

[7] 张少博,李 钢,康 军. 基于神经网络监督控制的拥塞控制算法研究[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(2): 657-660.

[8] 陈炳卿,牛玉刚. 一种基于 RBF 网络的参数自调整 REM 算法[J]. 华东理工大学学报: 自然科学版, 2010, 36(3): 428-432.

[9] 刘 俊,徐昌彪,隆克平. 基于 NS 的网络仿真探讨[J]. 计算机应用研究, 2002(9): 54-57.

[10] 王晓曦,王秀丽,周津慧,等. NS2 网络仿真器功能扩展方法及实现[J]. 小型微型计算机系统, 2004, 25(6): 1009-1014.

[11] 魏蛟龙,肖艳华,张 弛. NS 体系结构及其扩展[J]. 计算机仿真, 2004, 21(8): 179-182.

[12] 陈亚军,肖建华. 基于 NS-2 的网络仿真与扩展[J]. 计算机系统应用, 2005(5): 84-87.

一种改进的RED主动队列管理算法

作者：[何阳](#)，[周井泉](#)，[HE Yang](#)，[ZHOU Jing-quan](#)
作者单位：[南京邮电大学 电子科学与工程学院, 江苏 南京, 210003](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2013(8)

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201308028.aspx