

基于 S 排队的被动队列管理算法

谢立春*

(浙江工业职业技术学院 电气工程学院, 浙江 绍兴 312000)

(* 通信作者电子邮箱 lc_xie1974@163.com)

摘要:为了解决网络拥塞问题,基于“弃头”方式建立了一种新的被动队列管理算法(DFSQ)。该算法首先利用 S 排队推导网络队长的数学表达式,并提出丢包概率和丢包策略。同时,通过仿真实验深入研究了影响网络队长的关键因素,并将 DFSQ 与随机早期检测算法(RED)、“弃尾”算法进行对比分析,结果表明 DFSQ 算法性能更优。

关键词:被动队列管理;弃头;S 排队;队长;丢包

中图分类号: TP393.07 **文献标志码:** A

Passive queue management algorithm based on synchronized queue

XIE Li-chun*

(College of Electrical Engineering, Zhejiang Industry Polytechnic College, Shaoxing Zhejiang 312000, China)

Abstract: In order to mitigate the network congestion problem, a new passive queue management algorithm Drop Front n based on Synchronized Queue (DFSQ) was proposed by Drop Front. In this algorithm, the network queue length was deducted with synchronized queue, and drop packet probability and drop packet strategy were presented. Then, a simulation was conducted to research on the key influencing factors of queue length. The results show that, compared with Random Early Detection (RED) and Drop Tail algorithm, the performance of DFSQ is better.

Key words: passive queue management; drop front; synchronized queue; queue length; drop packet

0 引言

随着 Internet 规模的快速增长,网络拥塞日趋严重。如何提高网络传输效率、减少拥塞发生变得更加重要。目前提出了许多主动队列管理(Active Queue Management, AQM)和被动队列管理(Passive Queue Management, PQM)方法。AQM 机制克服了传统队列管理造成的全局同步等问题,较早使用的主动队列管理方法是随机早期检测(Random Early Detection, RED)算法^[1-2],它利用上一次的平均队长和当前的队长来检测拥塞的发生。在当前队长达到一定阈值后,就以一定概率随机丢弃某个数据包,以达到通知源端拥塞的目的。但 RED 算法存在着参数设置敏感等问题,导致配置复杂,很难达到最优。之后,在 RED 算法基础上提出了其他一些改进算法,如 BLUE^[3-4], REM^[5], PI^[6], PID^[7], CHOKe^[8]等。

由于主动队列管理增加了硬件资源和运算量的开销,并且存在参数设置敏感、响应滞后等缺陷,所以大量被动队列管理策略在实际队列管理中进行了应用。而被动队列管理策略常采取“弃尾(Drop Tail)”方式^[9-10],即随着缓冲区的溢出而丢包,却容易出现全局同步、死锁^[11]以及持续的满队列状态。另外两种被动管理机制是“随机丢弃(Random Drop)”和“弃头(Drop Front)”方式。当队列满时,“随机丢弃”从队列中随机找出一个包丢弃以让新来的包进入队列,而“弃头”方式从队列头部进行丢包处理,以便让新数据包进入队列。“随机丢弃”和“弃头”方式虽然都解决了同步和死锁现象,但仍存在满队列问题。文献[12]针对目前使用最多的弃尾被动队列管理进行改进,提出了两次随机丢包的被动队列管理算法,改善了弃尾队列管理的缺陷。文献[13]在弃尾被动队列管

理的基础上,提出 N 次弃头的被动队列管理算法,改善了弃尾队列管理的缺陷,有效改善了往返延时(Round Trip Time, RTT)和速度公平性。

在上述工作基础上,本文基于“弃头”方式建立一种新的被动队列管理(Drop Front n based on Synchronized Queue, DFSQ)算法。该算法首先利用 S 排队(Synchronized Queue)^[14-15]建立整个网络队长的数学表达式,阐述了 DFSQ 的丢包策略。同时通过仿真实验研究了 DFSQ 算法与其他算法之间的性能优劣,并分析了影响网络队长的主要因素。

1 DFSQ 算法

假设如图 1 所示的 S 排队网络中,所有节点到达和离开的业务流服从成批 Bernoulli 过程,同时该系统带有反馈机制。节点 a_1 以平均批量 z 到达业务流,节点 a_c 的业务流以平均概率 β 离开,以概率 η ($\eta = 1 - \beta$) 返回节点 a_1 。

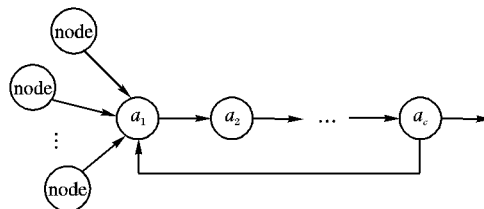


图 1 网络结构示意图

因此,本文在“弃头”方式的基础上,结合 S 排队提出了一种新的被动队列管理算法(DFSQ)。假设 Q_a 和 Q_b 分别为节点 a_c 发生拥塞时队长的上下限阈值, q 为 a_c 的实际网络队长, q_{back} 和 Q_{back} 分别为节点 a_c 反馈回节点 a_1 的实际流量以及下限阈值。 Q_a 和 Q_b 是由理想的平均队长决定的。一般来说, Q_a

和 Q_b 之差应大于往返响应时间内平均队长的增加值,以避免由于路由器丢弃过多的包而导致全局同步,传统的一些算法一般将 Q_a 设置为 Q_b 的 2 ~ 3 倍,而平均队长可根据实际网络队长 q 进行统计获取。

DFSQ 算法描述如下:

- 1) 节点 a_c 接收新的数据包;
- 2) 计算当前 a_c 的实际网络队长 q ;
- 3) 当 $q \geq Q_a$, 不进行丢包处理, 跳转到 1);
- 4) 当 $Q_a \geq q > Q_b$, 并且 $q_{\text{back}} > Q_{\text{back}}$, 以概率 p_{b1} 丢弃该队列前 $N(N \geq 2)$ 个数据包, 否则跳转到 5);

$$p_{b1} = \frac{q}{Q_a} \frac{q_{\text{back}} - Q_{\text{back}}}{q_{\text{back}}} \quad (1)$$

- 5) 如果 $Q_a \geq q > Q_b$, 并且 $q_{\text{back}} \leq Q_{\text{back}}$, 以概率 p_{b2} 丢弃该队列前 N 个数据包, 否则跳转到 6);

$$p_{b2} = \frac{q}{Q_a} \frac{Q_{\text{back}} - q_{\text{back}}}{q_{\text{back}}} \quad (2)$$

- 6) 如果 $q > Q_a$, 则以概率 1 丢弃该队列前 N 个数据包;
- 7) 算法结束。

与其他算法不同之处在于, DFSQ 算法借用节点 a_1 获得的反馈流量 q_{back} 作为辅助判断依据。当 $q_{\text{back}} \leq Q_{\text{back}}$ 时, 说明节点 a_c 可能因为拥塞而反馈回节点 a_1 的流量减少。

2 网络队长计算

上述 DFSQ 算法中关键问题在于如何求解实际网络队长, 这里结合 S 排队进行研究。令节点 $a_j (j = 1, 2, \dots, c)$ 的服务率为 μ_j , 到达的批量为 $z_i (i = 1, 2, \dots, c)$, 并且流量以几何批量到达节点 a_1 :

$$\lambda_x = p^x \bar{p} \quad (3)$$

其中: p 为到达概率, $x = 1, 2, \dots$ 。

假设节点 a_j 处的离开函数 θ 服从参数为 μ_j 的截尾几何分布^[16], 并存在一非负的几何序列 $\varphi(j)$, 满足:

$$\sum_j \varphi(j) = 1 \quad (4)$$

若 $\varphi(j) = k\mu^{-j}$, 则有:

$$\varphi(j) = \left(1 - \frac{p}{\mu}\right) \mu^{-j} \quad (5)$$

那么离开函数 θ 可表示为:

$$\theta = \frac{\mu_j \mu_j^i}{1 - \mu_j^{m_j+1}} \quad (6)$$

其中, m_j 表示节点 j 在某时刻离开的业务流数, $0 \leq i \leq m_j$ 。

当 $\mu_j > p$ 时, 排队网络处于平衡状态, 队列是稳定并且可逆的, 则节点 j 处的稳态队长分布为:

$$\pi_j(m_j) = \left(1 - \frac{p}{\mu_j}\right) \frac{p}{\mu_j} \left(\frac{p}{\mu_j}\right)^{m_j} (1 - \mu_j^{m_j+1}) \quad (7)$$

同时, S 排队满足串联网络乘积解。根据文献[16]中的公式:

$$\pi = \prod_{j=1}^c \pi_j(m_j) \quad (8)$$

稳态下网络队长可表示为:

$$q = \pi_1(m_1) \pi_2(m_2) \cdots \pi_c(m_c) \quad (9)$$

其中:

$$\pi_j(m_j) = \frac{1}{m_j!} \left(\frac{z}{\beta \mu_j}\right)^{m_j} e^{-\frac{z}{\beta \mu_j}} \quad (10)$$

3 数学仿真

为了验证上述 DFSQ 算法的有效性, 本文结合 OPNET 和

Matlab 进行了深入研究。首先, 在 OPNET 中建立如图 1 所示的拓扑结构图(这里假设串联的节点数目 $c = 5$), 并且按照 Bernoulli 分布来产生业务流。在图 2 中统计了 DFSQ 算法、随机早期丢弃 RED 算法和弃尾算法的在 100 s 内从节点 a_1 到节点 a_c 传输有效包个数。从图 2 可以看出, DFSQ 算法传输的有效包个数明显多于其他两种算法, 而 RED 算法的性能是最差的。

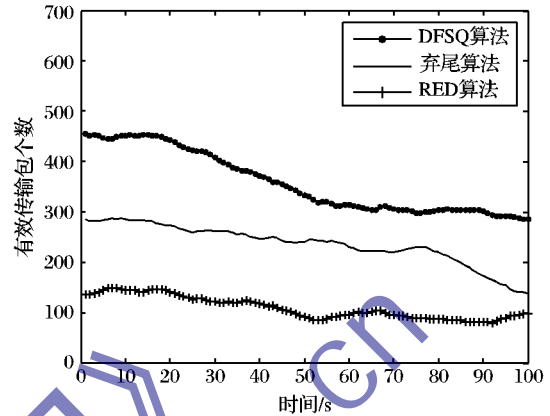


图2 三种算法的传输有效包个数比较

并且对于 DFSQ 算法, 图 3 显示了 100 s 内在不同丢包数 N 下的有效传输包个数。从图 3 可以看出, $N = 5$ 时有效传输包的个数最优, 但这并不意味着丢弃更多的包能够获得更多的有效传输包。对于 N 取何值性能最优还需要结合实际情况进一步研究。

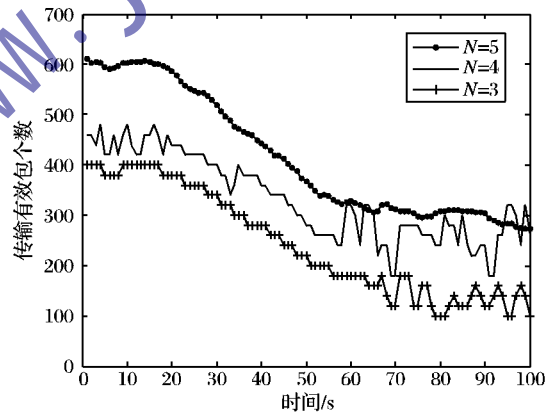


图3 不同 N 下传输有效包个数比较

本文利用 Matlab 研究了影响网络队长的关键因素。假设节点服务率 μ_j 和 m_j 相同, 针对不同节点数目, 图 4 显示了网络队长与服务率之间的关系。从图 4 可以看出, 服务率与网络队长呈现出负相关。同时, 节点数目对网络队长也产生重要影响。如果需要达到相同的网络队长, 节点数目越多所对应的服务率越大。这说明节点数目越多将会造成更多的流量排队现象。

图 5 给出了不同节点数目下网络队长与尾节点 a_c 的流量反馈概率 η 之间的关系。由图 5 可以发现, 反馈概率与网络队长呈现出正相关。在极限情况下 ($\eta = 1$ 时), 所有的流量将全部反馈回节点 a_1 , 此时将形成一闭合网络。并且当处于同一网络队长时, 节点数目越多所对应的反馈概率越大, 这说明增多节点能够更快地消化反馈回的流量。

4 结语

本文在“弃头”方式的基础上, 建立了一种新的被动队列

管理算法 DFSQ。该算法首先利用 S 排队推导了网络队长的数学表达式,提出了丢包概率以及丢包方法。并且通过对比 RED 和“弃尾”算法,验证了 DFSQ 算法的有效性。同时仿真实验深入研究了影响网络队长的关键因素。在后续研究中,可考虑结合 BLUE、CHOCe 等算法建立一套完整的队列管理方法。

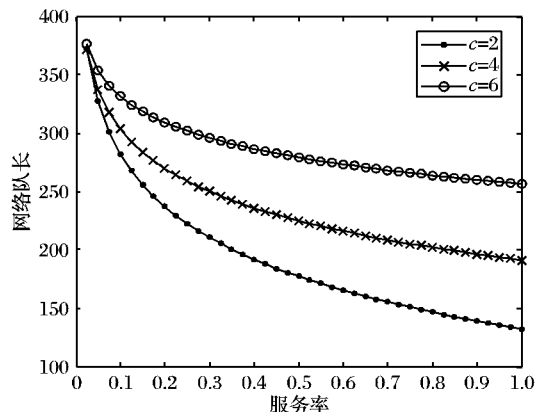


图 4 网络队长与服务率之间的关系

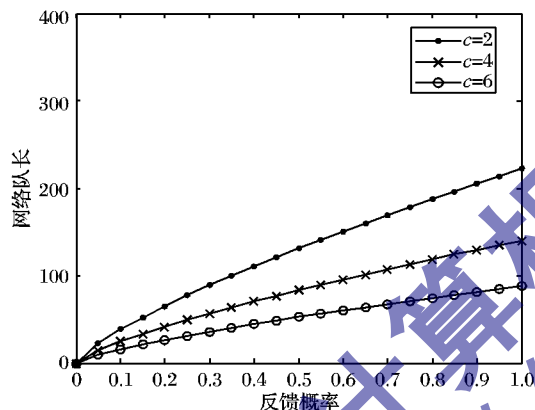


图 5 网络队长与反馈概率之间关系

参考文献:

- [1] 任丰原, 林闯, 王福豹. RED 算法的稳定性: 基于非线性控制理论的分析[J]. 计算机学报, 2002, 25(12): 1302-1307.
- [2] 黄磊, 吴春明, 姜明, 等. REDu: 一种新的识别并惩罚非适应流的主动式队列管理算法[J]. 电子学报, 2010, 38(8): 1759-1762.
- [3] 刘伟彦, 孙雁飞, 张顺颐. 一种参数自适应的队列管理算法——自适应 BLUE[J]. 电子与信息学报, 2009, 31(2): 462-466.
- [4] 吴春明, 姜明. SBlue: 一种增强 Blue 稳定性的主动式队列管理算法[J]. 通信学报, 2005, 26(3): 68-74.
- [5] ATHURALIYA S, LOW S H, LI V H, et al. REM: Active queue management[J]. IEEE Networking, 2001, 15(3): 48-53.
- [6] HOLLOT C V, MISRA V, TOWSLEY D, et al. On designing improved controllers for AQM routers supporting TCP flows[C]// IN-FOCOM 2001: Proceedings of the Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer Communications Societies. Piscataway, NJ: IEEE, 2001, 3: 1726-1734.
- [7] 伍铁斌, 刘祖润, 王俊年. 改进的混沌算法在 PID 参数整定中的应用[J]. 电子测量与仪器学报, 2007, 21(4): 59-62.
- [8] WEN SHU-SHAN, FANG YU-GUANG, SUN HAI-RONG. Differentiated bandwidth allocation with TCP protection in core routers[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2009, 20(1): 34-47.
- [9] 任丰原, 林闯, 刘卫东. IP 网络中的拥塞控制[J]. 计算机学报, 2003, 26(9): 1025-1034.
- [10] ZHENG CHANG-YONG, DAI YUE-HUA, CHEN JUN-NING. Is current active queue management really necessary[C]// ETCS'09: Proceedings of the 2009 First International Workshop on Education Technology and Computer Science. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2009: 538-541.
- [11] BRADEN B, CLARK D, CROWCROFT J, et al. RFC 2309, Recommendations on queue management and congestion avoidance in the Internet[S]. IETF, 1998.
- [12] 姜文刚, 孙金生, 王执铨. 两次随机丢包的被动队列管理算法[J]. 系统仿真学报, 2011, 23(5): 987-997.
- [13] 姜文刚, 孙金生, 王执铨. N 次弃头的被动队列管理算法[J]. 小型微型计算机系统, 2011, 32(9): 1849-1853.
- [14] TICKOO O, SIKDAR O. Modeling queuing and channel access delay in unsaturated IEEE 802. 11 random access MAC based wireless networks[J]. IEEE / ACM Transactions on Networking, 2008, 16(4): 878-891.
- [15] TANG YING-HUI, YUN XI, HUANG SHU-JUN. Discrete-time Geom/G/1 queue with unreliable server and multiple adaptive delayed vacation[J]. Journal of Computational and Applied Mathematics, 2008, 220(1/2): 439-455.
- [16] 田乃硕, 徐秀丽, 马占友. 离散时间排队论[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [8] LEE S-B, CHOI Y-H. A resilient packet-forwarding scheme against maliciously packet-dropping nodes in sensor networks[C]// Proceedings of the Fourth ACM Workshop on Security of Ad Hoc and Sensor Networks. New York: ACM, 2006: 59-70.
- [9] 王新胜, 詹永照, 王良民. 无线传感器网络选择性传递攻击协同防御方法[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2011, 32(4): 449-455.
- [10] HAI T H, HUH E N. Detecting selective forwarding attacks in wireless sensor networks using two-hops neighbor knowledge[C]// 2008 Seventh IEEE International Symposium on Network Computing and Applications. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2008: 325-331.
- [11] LEE H Y, CHO T H. Fuzzy-based reliable data delivery for countering selective forwarding in sensor networks[C]// Proceedings of the 4th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing: Building Smart Worlds in Real and Cyber Spaces, LNCS 4611. Heidelberg: Springer-Verlag, 2007: 535-544.
- [12] 马锋, 潘勇. 一种规避传感器网络选择性转发攻击的方法[J]. 电子设计工程, 2011, 19(21): 159-162.
- [13] 江长勇, 张建明, 王良民. 无线传感器网络中的选择转发攻击检测[J]. 计算机工程, 2009, 35(21): 140-143.
- [14] 方震, 赵湛, 郭鹏, 等. 基于 RSSI 测距分析[J]. 传感技术学报, 2007, 20(11): 2526-2530.
- [15] 李光林, 朱怡安. 基于最优转发策略的无线传感器网络随机路由协议[J]. 计算机工程与设计, 2010, 31(17): 3803-3806.
- [16] 宋飞. 无线传感器网络安全路由机制的研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2009.

(上接第 2715 页)