

一种新的 Ad Hoc 网络主动队列管理方法

段 谟 意

(南京铁道职业技术学院 软件学院, 江苏 南京 210031)

摘 要: 针对 Ad Hoc 网络拥塞问题提出了一种新的主动队列管理方法. 该方法首先基于离散时间 Erlang 消失系统建立了转移概率矩阵, 并且推导了平均队长的数学表达式. 同时结合节点服务率和业务流到达率给出了系统的丢包策略, 最后通过仿真实验深入研究了丢包率与利用率之间的关系, 结果表明它们之间成正相关.

关键词: 主动队列管理; 丢包策略; Erlang 消失系统; 平均队长; 服务率

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)12-0108-04

A Novel Active Queue Management Method of Ad Hoc Network

DUAN Mo-yi

(School of Software Engineering, Nanjing Railway Vocational and
Technical College, Nanjing 210031, China)

Abstract: In order to mitigate the congestion of Ad Hoc network, a novel active queue management method is proposed. In this method, transition probability matrix is presented base on discrete time Erlang loss system at first, and the mathematic formula of average queue length is derived. Then, the drop strategy is designed with node service rate and traffic arrive rate, and a simulation was conducted to research on the relationships between drop rate and utilization rate. The result shows that drop rate is positive correlation with utilization rate.

Key words: active queue management; drop strategy; Erlang loss system; average queue length; service rate

1 引言

无线 Ad Hoc 网络是一种完全由多个无线节点组成的自组织网络, 广泛应用于民用通信和军事领域, 但是由于受到节点带宽较低、能量受限和动态拓扑等因素影响, 给这种网络的拥塞处理带来了较大困难. 文献[1]针对拥塞控制提出了组播算法, 使得 Ad Hoc 网络吞吐量得以提高. 文献[2]为了克服网络容量分析中的某些不足, 基于 MMPP 的节点收/发服务模型提出了一种新的随机分析方法, 并运用矩阵几何法研究了 Ad Hoc 网络性能和网络容量.

对于拥塞的处理传统方法采用弃尾策略, 但存在诸如全局同步、流的不公平性等严重缺陷. 解决弃尾缺陷的方法之一是进行主动队列管理 (Active Queue Management, AQM), 其首要任务是在路由器队列溢出之前通过丢弃数据包或采用显式拥塞指

示通知端源端发生了拥塞. 目前国内外学者对此做了大量工作. 文献[3]通过考虑 RED 机制的离散时间排队系统, 研究了业务源为具有突发性 MMBP-2, 并且利用二维离散时间马尔科夫链建立 RED 机制. 文献[4-5]利用 PID 方法研究网络拥塞的控制算法. 文献[6]提出了一种新的队列管理方案, 即通过调整队列阈值来改变业务流到达率, 从而实现对平均时延的控制. 文献[7-9]通过考虑实际网络系统参数的不确定性, 针对传统的线性化控制器难以获得令人满意的效果, 在鲁棒控制理论的基础上提出了解决参数不确定性问题. 文献[10]根据数据流标记概率提出一种能够在 DDOS 攻击下保证现有正常网络流量的弹性随机公平蓝色算法, 该算法能够识别良性数据流并进行更新操作. 文献[11]研究了多瓶颈链路的网络的主动队列管理方法.

本文利用于离散时间 Erlang 消失系统^[12-13]提

出了一种新的主动队列管理策略(Erlang-based Early Drop, EED),并推导平均队长和丢包率的数学表达式,同时通过仿真实验深入分析该策略的有效性.

2 主动队列管理策略描述

假设在如图1所示的一个 Ad Hoc 网络中, B_n ($n=1, 2, \dots$)节点和 C_m ($m=1, 2, \dots$)节点之间的通信都需要经过中继节点 A_c ($c=1, 2, \dots$)进行转发. 将 B_n 和 C_m 节点发送的业务流视为到达顾客, 中继节点 A_c 视为多服务源, 其服务策略采用先到先服务. 由于 Ad Hoc 网络中节点的不稳定性, 其服务率可能动态变化, 因此传统的主动队列管理方法不再适合描述. 本文结合节点服务率和业务流到达率给出了一种新的主动队列管理策略 EED.

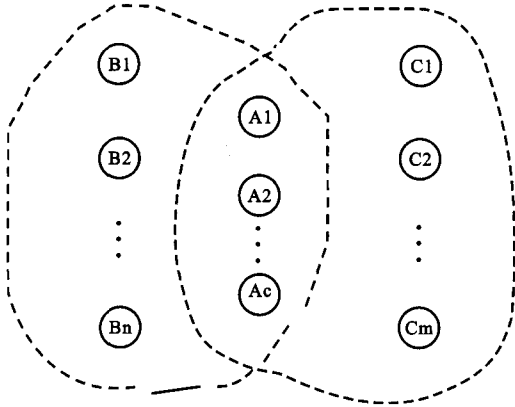


图1 网络拓扑结构图

定义 Ad Hoc 网络的 EED 主动队列管理的丢包率 p_d 为:

$$p_d = \frac{\rho - 1}{\rho} \frac{Q}{B} \quad (1)$$

其中, Q 为稳态下的平均队长, B 为缓冲区长度, ρ 为利用率, 且 $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$.

那么, EED 主动队列管理策略描述如下:

- (1) 当 $0 < \rho < 1$ 并且 $0 < \frac{Q}{B} < 1$ 时, 不进行任何丢包处理;
- (2) 当 $\rho \geq 1$ 并且 $0 < \frac{Q}{B} < 1$ 时, 说明已经发生拥塞现象, 以 $\frac{p_d}{2}$ 概率进行丢包处理;
- (3) 当 $\rho \geq 1$ 并且 $\frac{Q}{B} \geq 1$ 时, 说明拥塞现象已经明显, 对到达数据包全部进行丢包处理.

3 平均队长

从上述 EED 主动队列管理策略的描述可以看出, 丢包概率主要是受到节点服务率、业务流到达率以及平均队长影响. 由于节点服务率和业务流到达率可以进行统计分析, 所以关键问题就在于计算平均队长. 以下给出平均队长的具体计算方法.

假设到达业务流服从 Bernoulli 分布, p 表示业务流的平均到达率, μ 表示节点 A_c ($c=1, 2, \dots, c$) 的平均服务率. 这里采用离散时间 Erlang 消失系统进行研究. 令 Q_t 表示 t 时刻系统到达的业务流, $\{Q_t, t \geq 0\}$ 是一个时齐 MC, 设系统转移概率 p_{ij} 为:

$$p_{ij} = P\{Q_t = j | Q_{t-1} = i\} \quad (2)$$

其中, $t \geq 1$.

假设其状态空间 Ω 有限, 且 $\Omega = \{0, 1, 2, \dots, C\}$, 那么转移概率矩阵 $\tilde{p}$ 可以表示为:

$$\tilde{p} = \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{10} & p_{11} & p_{12} & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{c0} & p_{c1} & p_{c2} & \cdots & \cdots & p_{c\alpha} \end{bmatrix} \quad (3)$$

其转移概率 p_{ij} 为:

当 $1 \leq j \leq i \leq c$ 时,

$$p_{ij} = \bar{p} C_i^{i-j} \mu^{i-j} \bar{\mu}^j + p C_i^{i-j-1} \mu^{i+1-j} \bar{\mu}^{j-1} \quad (4)$$

当 $i=c, j=c$ 时,

$$p_{ij} = \bar{\mu}^c + p C_i^i \mu \bar{\mu}^{c-1} \quad (5)$$

其中, r 为业务流的丢包数. 令:

$$Q(x) = \sum_{k=0}^{\infty} x^k \pi_k \quad (6)$$

根据文献[13]和相关推导可得:

$$\begin{aligned} Q(x) &= (\bar{p} + xp) Q(\mu + x\bar{\mu}) + \pi_c p (1-x) (\bar{\mu}x)^c \\ &= \bar{p} \sum_{k=0}^{\infty} x^k \sum_{j=k}^{\infty} \pi_j C_j^{j-k} \mu^{j-k} \bar{\mu}^k + \\ &\quad p \sum_{k=0}^{\infty} x^k \sum_{j=k-1}^{\infty} \pi_j C_j^{j-k+1} \mu^{j-k+1} \bar{\mu}^{k-1} + \pi_c p \bar{\mu}^c x^c \end{aligned} \quad (7)$$

所以稳态下平均队长:

$$E(Q) = \frac{\bar{p}}{\mu} (1 - \pi_c \bar{\mu}^c) \quad (8)$$

根据离散时间 Erlang 消失系统, 当 $(t-1, t)$ 时有 c 个业务流在服务, 并且 $(t, t+1)$ 上无业务流完成服务, 此时到达的业务流将会被丢弃. 所以其丢弃概率:

$$p_r = \pi_c \bar{\mu}^c \quad (9)$$

当 $0 < p < 1$ 并且 $0 < \mu < 1$ 时, $\{Q_t, t \geq 0\}$ 是不可约、非周期的. 令 $\Pi = \{\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_c\}$ 表示稳态

下业务流的队长分布,由平衡方程 $\prod \tilde{P} = \prod$ 可求得 π_c .

结合式(8)和(9)可得:

$$E(Q) = \frac{\rho}{\mu} (1 - p_r) \quad (10)$$

4 仿真实验

根据上述 EED 主动队列管理策略和丢包率的计算方法,利用 OPENT 进行仿真实验. 通过在 OPENT 中建立如图 1 的拓扑结构,深入分析影响平均队长和丢包率的因素. 图 2 显示了平均队长与服务率之间的关系. 从图中可以看出,随着服务率的增加平均队长是随之减小的,直至趋于平稳. 这与通常的理解也一致,服务率增加意味着系统性能提高,对业务流的服务时间减少,业务流的等待时间也减少,从而使平均队长下降.

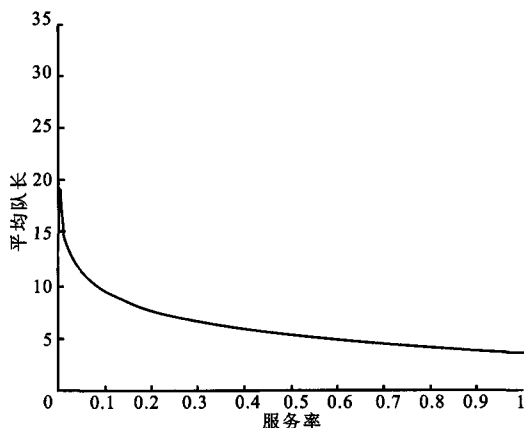


图 2 平均队长和服务率之间的关系

图 3 显示了丢包率 p_d 与利用率 ρ 之间的关系. 从图 3 的整体趋势可以看出,随着利用率的增加丢包率是随之增加的. 根据文中提出的 EED 主动队列管理策略,当 $0 < \rho < 1$ 时不进行任何丢包处理,此时

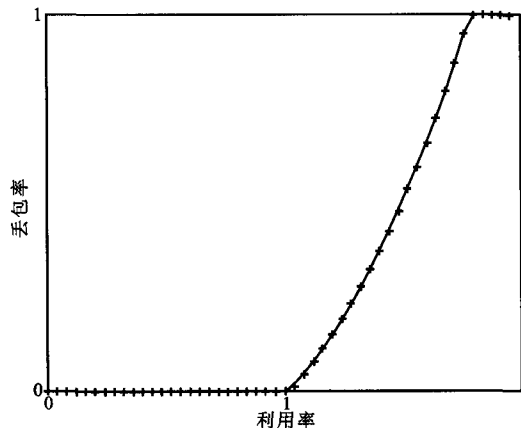


图 3 丢包率和利用率之间的关系

$p_d = 0$; 当利用率 ρ 进一步增加并且超过 1 时,说明已经发生拥塞现象,系统将以 $\frac{p_d}{2}$ 概率进行丢包处理,如图 3 中间曲线部分所示,以此通知源端减少发送数据包,达到主动调整队列、降低拥塞程度的目的;直到 $\frac{Q}{B} \geq 1$ 时,系统将会全部丢弃所有到达数据包.

从以上分析可以看出,本文提出的 EED 主动队列管理策略对缓解 Ad Hoc 网络拥塞程度起到了一定作用.

5 结束语

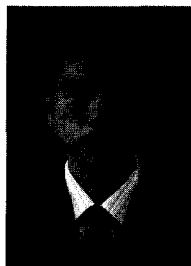
本文基于离散时间 Erlang 消失系统提出了一种新的主动队列管理策略. 通过建立转移概率矩阵推导了平均队长的数学表达式,从而获得了系统丢包率的计算方法. 同时,根据 EED 主动队列管理策略针对影响平均队长、丢包率的因素(如服务率、利用率等)进行了数学仿真,实验表明该策略具有一定的可行性. 在今后的研究中,可考虑结合 PID、CHOCe 等方法建立一套完整的 Ad Hoc 网络主动管理系统.

参考文献:

- [1] Peng J, Sikdar B, Cheng L. Multicasting with localized control in wireless Ad hoc networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2009, 8(1): 52-64.
- [2] 韩松, 顾国昌, 邓迎春. 基于 M/ MMPP/ 1 节点模型的无线 Ad Hoc 网络容量分析[J]. 计算机学报, 2011, 34(9): 1679-1687.
- [3] Guan L, Awan I U. Discrete-time performance analysis of a congestion control mechanism based on RED under multi-class bursty and correlated traffic[J]. Journal of Systems and Software, 2007, 80(10): 1716-1725.
- [4] Wang Hong-wei, Yu Chi, Jing Yuan-wei. Network congestion control algorithm based on T-S fuzzy observer[J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2010, 31(4): 461-464.
- [5] Chen C K, Kuo H H, Yan J J. Ga-based PID active queue management control design for a class of TCP communication networks[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(2): 1903-1913.
- [6] Lim L B, Guan L. Controlling mean queuing delay under multi-class bursty and correlated traffic [J]. Elsevier Journal of Computer and System Sciences,

- 2010,77(5):898-916.
- [7] Chen Q, Yang O W W. Robust controller design for AQM router[J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2007,52(5):938-943.
- [8] Zhang Y, Kang S R, Loguinov D. Delay-independent stability and performance of distributed congestion control[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2007,15(5):838-851.
- [9] Zheng F, Nelson J. An H_∞ approach to the controller design of AQM routers supporting TCP flows[J]. Automatica, 2009,45(3):757-763.
- [10] 张长旺,殷建平,蔡志平,等. 抗 DDoS 攻击的主动队列管理算法[J]. 软件学报,2011,22(9):2182-2192.
- [11] Manfredi S, Bernardo M D, Garofalo F. Design, validation and experimental testing of a robust AQM control[J]. Control Engineering Practice, 2009 (17): 394-407.
- [12] Kim B. Tail asymptotics for the queue size distribution in a discrete-time Geo/G/1 retrial queue [J]. Queueing System, 2009(61):243-254.
- [13] 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.

作者简介:



段谟意 男,(1964—),副教授. 研究方向为计算网络.

(上接第 107 页)

- [8] Wenqing yuan. Research on Prototype Framework of a Multi-threading Web Crawler for E-commerce[C]// Management and Service Science(MASS). China, wuhan;IEEE,2009:20-22.
- [9] Xiao-Guang Liu, Jun Lee. K-divided bloom filter algorithm and its analysis[C]//Proc of FGCN. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2007: 220-224.

作者简介:

姚卓女,(1990—),硕士研究生. 研究方向为网络信息安全.

蔡晓东 男,(1955—),教授,博士生导师. 研究方向为网络信息安全.

姚焯 男,(1971—),副教授. 研究方向为网络信息安全.