

一种新的实际网络流量性能刻画方法

魏 娟¹, 游 磊², 胡 俊³

(1 成都师范学院, 四川 成都 611130; 2 成都大学 信息科学与技术学院, 四川 成都 610106;
3 成都师范学院 计算机系, 四川 成都 611130)

摘 要: 针对网络节点发生失效而产生的性能问题, 提出了一种新的流量预测算法 (Prediction algorithm based — FARIMA model for Breakdown, PFB). 该算法首先利用排队理论推导了存在失效节点时流量平均队长的数学表达式, 并结合 FARIMA 模型建立了预测方法. 同时, 通过数学仿真分析了平均队长与服务率等影响因素之间的关系. 实验结果表明该算法具有较好的适应性, 与原始流量的标准差为 12.13.

关键词: 失效; 性能; 排队; FARIMA 模型; 平均队长

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)03-0035-03

A Novel Depict Method of Actual Traffic Performance

WEI Juan¹, YOU Lei², HU Jun³

(1 Chengdu Normal University, Chengdu 611130, China;
2 Information Science and Technology College, Chengdu University, Chengdu 610106, China;
3 Department of Computer, Chengdu Normal University, Chengdu 611130, China)

Abstract: In order to mitigate the performance problem by network node breakdown, a novel traffic prediction algorithm (Prediction algorithm based — FARIMA model for Breakdown, PFB) is proposed. At first, the mathematic formula for average queue length in steady state is derived with queuing theory in this algorithm, and the prediction method is established by FARIMA Model. Then, a simulation was conducted to research on the relationships between average queue length and service rate. The result shows that it has good adaptability, and the standard deviation between prediction traffic and original traffic is 12.13.

Key words: breakdown; performance; queueing; FARIMA model; average queue length

1 引言

随着网络规模的增大, 节点的有效性对网络性能产生了重要影响. 如何准确有效地分析和评估节点有效性成为研究的热点. 对此, 国内外学者做了大量工作. Sahinoglu M 和 Libby D L^[1]利用概率表达式对网络的可靠性进行评估. 为了综合考虑通信网业务量因素和连通性, 刘爱民和刘有恒^[2]提出通信网的可靠性评价测度. 文献[3]在网络部件失效情况下利用概率加权法研究了网络性能状况, 即对满足业务要求的状态概率求和. Felemban E 等^[4]综合考

虑了如何同时满足区分不同时延性和可靠性需求, 重点讨论了网络层与 MAC 层在同时支持区分性服务时, 对通信范围、能量效率的要求.

同时, 排队理论也应用于节点有效性与网络性能的研究. 唐应辉等^[5]通过考虑离散时间多重休假成批到达的 $Geom^x/G/1$ 排队系统, 研究了队长的瞬态性质和稳态性质. 赵丹和邓斌^[6]研究了离散时间 $GI/Geo/1$ 的多重休假排队. Luo C Y 和 Tang Y H^[7]针对排队系统的稳态提出了单重休假排队模型.

在上述工作基础上, 本文针对网络节点的失效

收稿日期: 2012-06-16; 修回日期: 2012-07-19

基金项目: 国家自然科学基金(61071162); 四川省教育厅科研项目(11ZA300); 成都大学校基金(2011XJZ10)

情况,利用带有故障的排队模型研究业务流的性能变化,建立稳态条件下平均队长的数学表达式,并且通过仿真实验分析影响平均队长的因素。

2 算法描述

假设存在如图 1 所示的网络采用先到先服务策略。其中,节点 A 点作为服务节点,节点 $B_n (n=1, 2, \dots)$ 以概率 w_n 发生故障而失效,并以概率 θ_n 维修成功, λ 和 η 分别表示无故障和有故障情况下节点 A 处聚合业务流的到达率, μ 表示节点 A 的服务率。

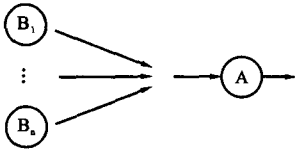


图 1 网络拓扑结构图

由于实际业务流具有长相关特性,本文结合 FARIMA 模型^[8]来对节点 A 的业务流性能进行研究。假设基于 α 稳定分布的 FARIMA(p, d, q) 模型表示为:

$$\Phi_p(B)(1-B)^{-d}Y(k) = \Theta_q(B)Z_a(k) \quad (1)$$

自相似流量 $X(k)$ 可表示为:

$$X(k) = \sum_{m=0}^{\infty} c(m)Z_a(k-m) \quad (2)$$

其中,

$$c(m) = b(m) + \sum_{j=1}^p \varphi_j c(m-j) - \sum_{k=1}^q \theta_k b(m-k) \quad (3)$$

$$m = 0, 1, \dots$$

根据上述对节点失效的业务流性能研究,这里结合 FARIMA 模型提出如下预测算法(Prediction algorithm based-FARIMA model for Breakdown, PFB):

Step 1 在某时隙 t 初始化节点 B_n 和节点 A 的状态参数;

Step 2 由文献^[9],并根据式(4~7)建立系统平衡关系^[9]:

$$(\lambda + \mu + w)p_{1,1} = \mu p_{1,2} + \theta p_{2,1} \quad (4)$$

$$(\lambda + \mu + w)p_{1,k} = \lambda p_{1,k-1} + \mu p_{1,k+1} + \theta p_{2,k}, \quad k \geq 2 \quad (5)$$

$$(\eta + \theta)p_{2,1} = w p_{1,1} \quad (6)$$

$$(\eta + \theta)p_{2,k} = w p_{1,k} + \eta p_{2,k-1}, \quad k \geq 1 \quad (7)$$

Step 3 计算稳态下节点 A 的流量平均队长,将此作为 FARIMA 模型输入的自相似流量 $X(k)$;

Step 4 利用式(8)选择截尾参数 M 和样本参数 N :

$$X(n) = \sum_{m=0}^{M-1} c(m)Z_a(n-m) \quad (8)$$

其中, $n=0, 1, \dots, N-1$;

Step 5 使用式(8)计算系数 $c(m), m=0, 1, \dots, M+N-1$, 并采用基二 FFT 算法计算 $c(m)$ 的离散傅立叶变换 $\hat{c}(m) = D_{M+N}(c(m))$;

$$\begin{cases} c(0) = 1 \\ c(m) = \frac{\Gamma(m+d)}{\Gamma(d)\Gamma(m+1)} \end{cases} \quad (9)$$

其中, Γ 为伽马函数;

Step 6 产生 $M+N$ 个独立同分布的标准对称 α 稳定分布变量 $Z(m)$, 然后使用基二 FFT 算法计算周期拓展 $Z(m)$ 的离散傅立叶变换 $\hat{Z}(m) = D_{M+N}(Z(m))$;

Step 7 使用基二 FFT 算法计算乘积 $(\hat{c} \hat{Z})$ 的反傅立叶变换,并且

$$Y(t) = D_{M+N}^{-1}(\hat{c} \hat{Z}(m)) \quad (10)$$

其中, $\hat{c} \hat{Z}(m) = \hat{c}(m)\hat{Z}(m)$, $Y(t)$ 即为预测的流量。

Step 8 令 $t=t+1$, 跳转到 Step 1, 直至循环结束;

Step 9 算法结束。

3 平均队长

假设某时刻 t 节点 B_n 无失效现象,此时节点 A 到达业务流的概率和对应的生成函数分别记为 $P_{1,k}$ 和 $G_1(x)$;若节点 B_n 发生失效,节点 A 到达业务流的概率和对应的生成函数分别记为 $P_{2,k}$ 和 $G_2(x)$,那么节点 A 对应的生成函数 $G(x)$ 记为:

$$G(x) = G_1(x) + G_2(x) \quad (11)$$

根据稳态下系统的平衡关系^[9],由式(5)可得:

$$\begin{aligned} & (\lambda + \mu + w)(G_1(x) - x p_{1,1}) \\ &= \lambda x G_1(x) + \frac{\mu}{z}(G_1(x) - x p_{1,1} - x^2 p_{2,1}) + \\ & \theta(G_2(x) - x p_{2,1}) \end{aligned} \quad (12)$$

根据式(12):

$$(\eta + \theta - \eta x)G_2(x) = w G_1(x) + x(\eta + \theta)p_{2,1} - w x p_{1,1} \quad (13)$$

通过文献^[9]相关结论,当 $\eta > 0$ 时,稳态下节点 A 的流量平均队长为:

$$\begin{aligned} & G'(1) \\ &= \frac{\eta}{\theta} + \frac{\theta(\eta(\lambda - \mu - w) - \lambda\theta) - \eta(\lambda(\mu - \lambda) - w\eta)}{\theta(\mu\theta - \eta w - \lambda\theta)} \\ &= \frac{\lambda^2 \eta - \theta w \eta - \theta^2 \lambda - \mu \lambda \eta}{\theta(\mu\theta - \eta w - \lambda\theta)} \end{aligned} \quad (14)$$

4 数学仿真

为了验证 PFB 算法的有效性,在 NS2 中建立了图 1 所示的网络拓扑结构,并且基于分形布朗运动(Fractional Brownian Motion,FBM)模型^[10]产生 2000 个长相关流量进行仿真验证,令平均到达率为 2279 kb/sec,相关程度 $H=0.9$. 同时将仿真结果在 MATLAB 中进行分析,评价网络节点的有效性. 这里将前 1000 个数据作为先验信息,利用 PFB 算法预测的结果与 FBM 产生的后 1000 个数据进行比较,如图 2 所示. 可以看出,PFB 算法预测流量与原始流量较为接近,分析其标准差为 12.13,说明该算法具有一定的预测精度.

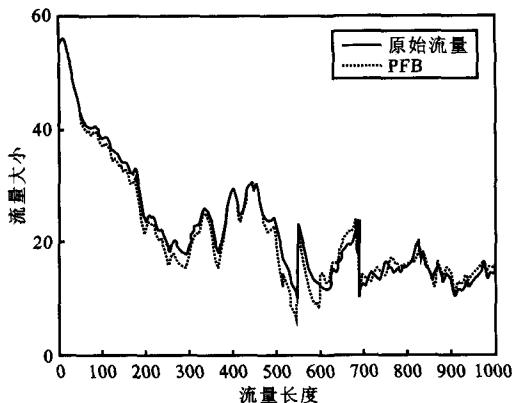


图2 PFB算法预测流量比较

其次,这里深入分析影响业务流性能的主要因素. 假设 $w=0.2, \theta=0.7$ 和 $\eta=0.5$,图 3 显示了不同业务流到达率 λ 下平均队长 L 和服务率 μ 之间的关系. 可以看出,平均队长和服务率之间仍然呈现出负相关趋势. 但是在小服务率下, λ 越大对应的平均队长越小,其性能越好;当处于大服务率下时,曲线发生了突变, λ 越小对应的平均队长越小,其性能越好.

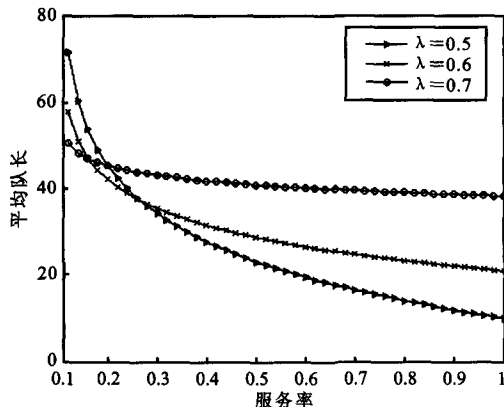


图3 不同业务流到达率 λ 下平均队长和服务率之间的关系

同时,假设 $w=0.2, \theta=0.7$ 和 $\lambda=0.6$,图 4 显示了不同业务流到达率 η 下平均队长 L 和服务率 μ 之间的关系. 可以看出,平均队长随着服务率的增加先是增加,达到最大值后随之减小,最后趋于稳定状态. 这说明在小服务率下,节点 B_n 如果存在失效,到达节点 A 的流量越多,将会对系统造成更大的影响.

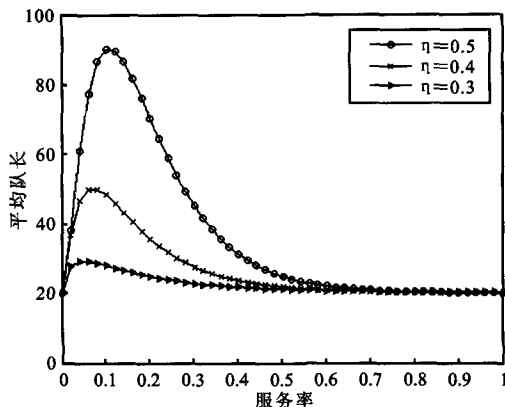


图4 不同业务流到达率 η 下平均队长和服务率之间的关系

5 结束语

本文针对节点失效的流量性能进行研究,提出了一种新的预测算法 PFB. 该算法利用故障排队模型推导了流量平均队长表达式,并结合 FARIMA 模型建立流量预测方法. 同时通过数学仿真深入分析了影响流量性能的主要因素,实验结果也验证了 PFB 算法的有效性. 以后的研究工作可以结合带启动时间的排队系统、成批到达排队系统等进行分析,建立一套完整的网络性能评价体系.

参考文献:

- [1] Sahinoglu M, Libby D L. Measuring availability indexes with small samples for component and network reliability using the Sahinoglu-Libby probability model [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2005, 54(3): 1283-1295.
- [2] 刘爱民,刘有恒. 部件不可靠下的通信网业务性能分析 [J]. 电子学报, 2002, 50(10): 1459-1462.
- [3] Xiaolong Wu, Shahram Latifi. Substar reliability analysis in star networks [J]. Information Sciences, 2008, 178(10): 2337-2348.
- [4] Felemban E, Lee C G, Ekici E. MMSPEED: multi-path multi-SPEED protocol for QoS guarantee of reliability and timeliness in wireless sensor networks [J]. IEEE Transactions Mobile Computing, 2006, 5(6): 738-754.

(下转第 42 页)

22(10):1090 - 1104.

- [7] Messer K, Mastas J, Kittler J, et al. XM2VTSDB: The extended M2VTS database[C] // Proceedings of IEEE Int. Conf. USA: Washington, AVBPA, 1999:72

- 77.

- [8] Liu Z, Liu G. Fusion of color, local spatial and global frequency information of face recognition[J]. Pattern Recognition, 2010, 43(8):2882-2890.

作者简介:



唐西西 女, (1980-), 硕士研究生, 讲师. 研究方向为计算机视觉、模式识别.

梁 鹏 (1981-), 博士研究生. 研究方向为计算机视觉、机器学习和模式识别.

沃 焱 (1975-), 博士, 硕士生导师. 研究方向为图像处理.

贾西平 男, 博士, 讲师. 研究方向为数据挖掘和人工智能.

(上接第 37 页)

- [5] 唐应辉, 黄蜀娟, 云曦. 离散时间多重休息的 Geom^x/G/1 排队系统的队长分布[J]. 电子学报, 2009, 37(7): 1407-1411.
- [6] 赵丹, 邓斌. 基于最大熵的延迟启动/关闭 N 策略 M/G/1 可修排队稳态队长分布[J]. 数学的实践与认识, 2010, 40(18): 140-147.
- [7] Luo C Y, Tang Y H. The transient solution of queue-length distribution for discrete time Geometry/G/1 queue[J]. Applied Mathematics: A Journal of Chinese Universities: Series B, 2007, 22(1): 95-100.
- [8] Nolan J, Panorska A. K estimation of stable spectral measures[J]. Math Computer Modeling, 2001, 4(8): 1113-1122.

- [9] 唐应辉, 唐小我. 排队论[M]. 北京: 科学出版社, 2006.

- [10] Xianhai TAN, Yuanhui Huang, Weidong Jin. Modeling and performance analysis of self-similar traffic based on FBM[C] // 2007 IFIP International Conference on Network and Parallel Computing - Workshops. Brazil: São Paulo, 2007: 543-548.

作者简介:

魏 娟 女, (1983-), 研究方向为流量管理.

游 磊 男, (1974-), 博士. 研究方向为测控技术.

胡 俊 男, (1982-), 博士. 研究方向为网络优化.