

3 模型描述和嵌入 Markov 链

对于经典 Geom/G/1 排队, 引入多重休假和带有启动期的休假策略: 当一个长度 V 的休假结束时, 若系统内有数据包等待, 则终止休假进入一个长度 U 的启动期, U 结束后开始为数据包服务; 若系统内无数据包则重复独立同分布的休假, 直到某次休假结束时系统内已有数据包等待, 进入一个长度 U 的启动期, 启动结束后开始为数据包服务, 服务到所有数据包都被服务完为止, 忙期结束后要经历假期重复上述过程。

模型的基本假设如下:

(1) 到达间隔服从参数为 p 的几何分布。

(2) 服务时间的分布律、均值和母函数为

$$P\{S=j\}=g_j, \quad j=1, \quad E[S]=\sum_{j=1}^{\infty} jg_j, \quad G(z)=\sum_{j=1}^{\infty} z^j g_j$$

(3) 休假时间长度是固定长度, 不妨假设为 c 个时隙, 在一次休假时间 V 内到达的顾客数为 $C_j^{(v)}$ 的母函数为

$$A_v(z)=\sum_{j=0}^c z^j \binom{c}{j} p^j q^{c-j}=(pz+q)^c \quad (1)$$

(4) 启动时间 U 的分布律、均值及母函数为

$$P\{U=j\}=u_j, \quad j=1,2,\dots, \quad E[U]=\sum_{j=1}^{\infty} ju_j, \quad U(z)=\sum_{j=1}^{\infty} z^j u_j$$

在 U 内到达的顾客数 $C_j^{(u)}$ 的母函数为

$$A_u(z)=\sum_{j=0}^{\infty} z^j C_j^{(u)}=\sum_{j=0}^{\infty} z^j \sum_{k=j}^{\infty} u_k \binom{k}{j} p^j q^{k-j}=U(pz+q) \quad (2)$$

(5) 系统内有一个服务台, 到达间隔、服务时间及启动时间相互独立, 且服从先到先服务规则, 该系统简记为 Geom/G/1(E, UMV) 排队。

以 L_n 表示第 n 个顾客离去时刻系统中的顾客数, $\{L_n, n=1\}$ 是队长过程的嵌入 Markov 链。 Q_b 表示忙期开始时系统中顾客数, 其分布列及均值为

$$b_j=P\{Q_b=j\}=\begin{cases} \frac{1}{1-q^c} \sum_{i=1}^j C_i^{(v)} C_{j-i}^{(u)} & j=1,2,\dots,c \\ \frac{1}{1-q^c} \sum_{i=1}^c C_i^{(v)} C_{j-i}^{(u)} & j=c+1 \end{cases}$$

$$E\{Q_b\}=Q_b(z)|_{z=1}=\frac{cp}{1-q^c}+pE[U] \quad (3)$$

3.1 稳态队长和等待时间的随机分解

根据 Foster 准则, 可证 Markov 链 $\{L_n, n=1\}$ 正常返的充要条件是 $\rho=pE[S]<1$ 。

使用边界状态变体模型的结论^[4], 得到稳态指标的随机分解结果。

定理 1 当 $\rho<1$ 时, Geom/G/1(E, UMV) 中稳态队长可分解成 2 个独立随机变量: $L_v=L+L_d$ 。其中, L 是 Geom/G/1 中稳态队长; L_d 的母函数及均值为

$$L_d(z)=\frac{1-q^c-((pz+q)^c-q^c)U(pz+q)}{(cp+pE[U](1-q^c))(1-z)}$$

$$E[L_v]=\rho+\frac{p^2}{2(1-\rho)}E[S(S-1)]+\frac{c(c-1)p+2cpE[U]+p(1-q^c)E[U(U-1)]}{2(c+E[U](1-q^c))} \quad (4)$$

定理 2 当 $\rho<1$ 时, Geom/G/1(E, UMV) 中稳态等待时间可分解成 2 个独立随机变量: $W_v=W+W_d$ 。其中, W 是 Geom/G/1 等待时间, W_d 母函数及均值为

$$W_d(z)=\frac{1-q^c-(z^c-q^c)U(z)}{(c+E[U](1-q^c))(1-z)}$$

$$E[W_v]=\frac{p}{2(1-\rho)}E[S(S-1)]+\frac{c(c-1)+2cE[U]+(1-q^c)E[U(U-1)]}{2(c+E[U](1-q^c))} \quad (5)$$

3.2 忙期、假期及启动期分析

忙循环是指从缓冲区变空开始到缓冲区再次变空为止的时间间隔, 记为 B_c 。忙循环包含忙期 B_v 、全假期 V_G 和启动期 U 。令 $B, B(z)$ 表示经典 Geom/G/1 排队中忙期长度和母函数, 且 $E[B]=E[S]/(1-\rho)$ 。忙期 B_v 指从系统服务第一个顾客开始到缓冲区变空为止的间隔, B_v 的均值为

$$E[B_v]=B_v(1)=\frac{\rho}{1-\rho}\left(\frac{c}{1-q^c}+E[U]\right) \quad (6)$$

由于 V 服从定长分布, 分为 2 个部分: idle 期(能耗较低), 长度记为 I ; listen 期(能耗较高, 但时间较短), 长度记为 L , 因此有 $c=I+L$ 。令 J 表示在一个忙循环中的休假次数, 则 J 的分布列和均值为

$$P\{J=j\}=(1-q^c)(q^c)^{j-1}, \quad j=1, \quad E[J]=\frac{1}{1-q^c} \quad (7)$$

从而全假期及忙循环的平均长度为

$$E[V_G]=E[J]E[V]=\frac{c}{1-q^c}$$

$$E[B_c]=E[B_v]+E[V_G]+E[U]=\frac{1}{1-\rho}\left(\frac{c}{1-q^c}+E[U]\right) \quad (8)$$

以 p_b, p_v, p_u 分别表示稳态下系统处于数据传输期、休眠期、准备传输数据期的概率, 则有

$$p_b=\rho, \quad p_v=\frac{c(1-\rho)}{c+E[U](1-q^c)}, \quad p_u=\frac{E[U](1-\rho)(1-q^c)}{c+E[U](1-q^c)} \quad (9)$$

4 idle 模式节能方案的性能指标

通过以上对 Geom/G/1(ES, UMV) 排队系统指标的数学推导, 得出 idle 类型的性能指标如下:

(1) 数据帧平均响应时间(response time) $E[R]$: 从数据帧到达系统开始传输算起, 直到数据帧离开系统结束传输为止的这段时间, 即

$$E[R]=\frac{p}{2(1-\rho)}E[S(S-1)]+E[S]+\frac{c(c-1)+2cE[U]+(1-q^c)E[U(U-1)]}{2(c+E[U](1-q^c))} \quad (10)$$

(2) 能量节省率 γ : 系统处于休眠状态的概率, 其表达式为

$$\gamma=\frac{I}{c}p_v=\frac{I(1-\rho)}{c+E[U](1-q^c)} \quad (11)$$

(3) 系统切换率 β : 单位时隙内系统在工作模式与休眠模式之间进行切换的次数, 即

$$\beta=\frac{E[J]}{E[B_c]}=\frac{1-\rho}{c+E[U](1-q^c)} \quad (12)$$

5 数值例子及仿真结果

为了更好地说明指标对空闲窗口长度的关系, 给出了性能指标的数值例子及仿真结果。

假定服务时间服从均值为 $E[S]=4$ slot 的几何分布, 监听间隔 $L=1$ slot, 启动时间服从均值为 $E[U]=2$ slot 的几何分布, 系统负载取 $\rho=0.2, 0.5, 0.8$ 。图 2~图 4 给出了性能指标随空闲窗口长度的变化趋势。

图 2 表示在不同负载下 数据包的 $E[R]$ 随 l 的变化趋势。从指标的数值和仿真结果可以看出,在相同的负载 ρ 时,数据包的 $E[R]$ 随 l 的增大而增大。

图 3 表示在不同负载下,系统切换率 β 随 l 的变化趋势。从 β 的数值和仿真结果可以看出,在相同的负载 ρ 时, β 随 l 的增大而减小。

图 4 表示在不同负载下,能量节省率 γ 随 l 的变化趋势。从数值和仿真结果可以看出,在相同的负载 ρ 时, γ 随 l 的增大而增大。

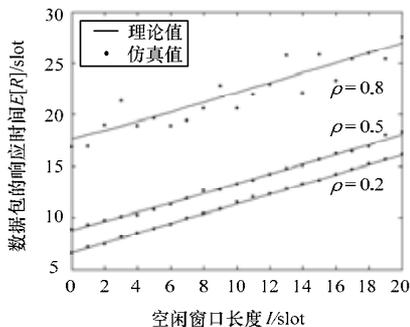


图 2 数据包响应时间与空闲窗口长度的对应关系

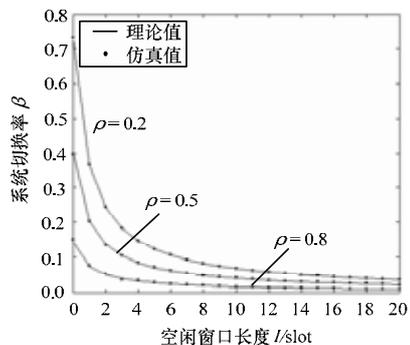


图 3 系统切换率与空闲窗口长度的对应关系

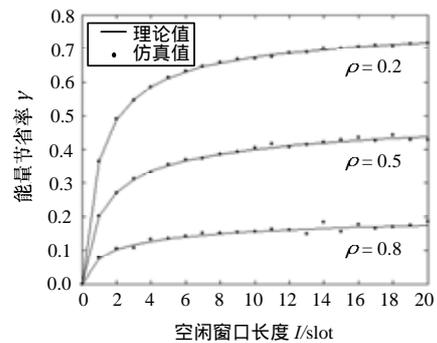


图 4 能量节省率与空闲窗口长度的对应关系

6 结束语

本文分析了 IEEE 802.16e 中空闲模式机制。为更有效地研究性能指标与系统配置参数之间的关系,将缓冲区建模为带启动期的多重休假 Geom/G/1 排队。应用嵌入 Markov 链方法,推导出性能指标的均值。根据排队指标得到空闲模式的性能指标。通过数值例子和仿真结果,进一步说明性能指标与空闲窗口长度之间的关系。

参考文献

- [1] IEEE 802.16e-2006 Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems—Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands[S]. 2006.
- [2] Kim B, Park J, Choi Y H. Power Saving Mechanisms of IEEE 802.16e: Sleep Mode vs. Idle Mode[C]//Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2006: 332-340.
- [3] Yang Xiao. Energy Saving Mechanism in the IEEE 802.16e Wireless MAN[J]. IEEE Communication Letters, 2005, 9(7): 595-597.
- [4] 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.

编辑 顾逸斐

(上接第 105 页)

6 结束语

随着 Internet 应用的日益丰富,其流量也在迅速增加,网络链路拥塞现象越来越严重,因此,网络运营迫切需要合理利用网络资源,并在网络中进行精确的流量控制,才能消除网络拥塞和瓶颈,达到对宽带网络可管理、可控制和可运维的目的。本文设计的逻辑链路可用带宽计算方法和根据可用带宽比在特定链路上进行流量调度算法能有效地控制各链路的流量,改善多链路间负载均衡,提高链路利用率。

未来的研究工作主要包括基于时延约束的多链路路由选择算法和基于处理节点负载的链路迁移。

参考文献

- [1] 梁 昇, 肖宗水, 许艳美. 统计的网络流量异常检测模型[J]. 计算机工程, 2005, 31(24): 123-125.
- [2] 邹柏贤, 姚志强. 一种网络流量平滑化方法[J]. 通信学报, 2004, 25(8): 14-23.
- [3] 邹柏贤, 刘 强. 基于 ARMA 模型的网络流量预测[J]. 计算机研究与发展, 2002, 39(12): 1645-1652.
- [4] 黄启萍. 流量控制与 IP 服务质量[J]. 计算机工程, 2006, 32(11): 144-146.
- [5] 张焕强, 吴志美. Linux 环境下路由器中的网络带宽管理[J]. 软

件学报, 2005, 16(3): 462-471.

- [6] 葛敬国, 马宏伟, 钱华林. Internet 自治系统间负载均衡机制及其性能分析[J]. 计算机应用, 2005, 25(12): 2916-2917.
- [7] Kelly F, Maulloo A K, Tan D K H. Rate Control for Communication Networks: Shadow Prices, Proportional Fairness and Stability[J]. Journal of the Operational Research Society, 1998, 49(3): 237-252.
- [8] Low S, Lapsley D E. Optimization Flow Control, 1: Basic Algorithm and Convergence[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1999, 7(9): 861-874.
- [9] Kunniyur S, Srikant R. End-to-End Congestion Control Schemes: Utility Functions, Random Losses and ECN Marks[C]//Proceedings of INFOCOM'00. Tel Aviv, Israel: IEEE Press, 2000.
- [10] Samrat B, Kenneth C L, Elen Z. On Active Networking and Congestion[R]. College of Computing, University of Georgia Tech., Tech. Rep.: GIT-CC-96-02, 1996.
- [11] Faber T. ACC: Using Active Networking to Enhance Feedback Congestion Control Mechanisms[J]. IEEE Network, 1998, 12(3): 61-65.
- [12] 房一泉, 程 华, 黄建华. Internet 网络流量的自相似性分析[J]. 计算机工程, 2005, 31(23): 104-106.

编辑 张正兴