

基于非强占优先消息排队系统的软交换性能分析

双 镨 杨放春

(北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室 北京 100876)

摘要: 该文针对多进程共享处理机资源的软交换实体, 提出基于非强占、多优先级消息排队的M/G/1/n排队网络性能分析模型。该模型中消息的处理服从定长分布而不是泊松分布, 并且存在呼叫损失, 更加接近实际系统。给出了消息平均排队时间的解析表达式, 理论分析与仿真结果表明相对于无优先级M/G/1/n排队模型, 上述模型具有更大系统吞吐量, 更高CPU有效负荷, 但呼叫接续时间稍有增加。同时分析了消息缓冲区 n 对于系统性能的影响。

关键词: 软交换; 非强占优先; 排队系统; 吞吐量; CPU有效负荷

中图分类号: TN916.4

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2007)08-1970-04

Performance Analysis of Softswitch Based on Non-preemptive Priority Message Queuing System

Shuang Kai Yang Fang-chun

(State Key Laboratory of Networking & Switching Technology Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: One M/G/1/n queuing network model based on non-preemptive multi-priority messages is proposed for the performance analysis of softswitch entity, which contained multiple processes sharing the same CPU resources. In this model, processing time of messages is drawn from uniform distribution but not exponential distribution and messages exceeding the queue length threshold are discarded orderly according to their priorities. A formula for the mean time of message processing is derived. Academic analysis and simulation results validate that M/G/1/n model with multi-priority messages has larger throughput and higher effective CPU payload than M/G/1/n model with non-priority messages, but has a little longer message processing procedure. Simulation results also indicate that message buffer has a considerable influence on the performance of queuing system.

Key words: Softswitch; Non-preemptive priority; Queuing system; Throughput; CPU payload

1 引言

软交换作为下一代网络控制层的核心设备, 其性能是影响QoS的重要因素。由于软交换只完成信令控制功能, 并且在通用处理机上采用软件来实现, 因此对其性能的分析成为一个比较新的领域。

文献[1]以呼叫为基础建立了软交换的话务模型, 该模型关注呼叫中语音包的特性, 而未对信令消息进行分析。文献[2]以消息为研究对象建立了软交换性能分析模型, 分析了平均会话吞吐率的上限, 并提出一种软交换内部不同进程共享处理机资源的最佳分配策略。该文的分析基于M/M/1排队系统, 并且假定呼叫没有损失, 呼叫中所有消息属于同一优先级。但实际系统要复杂得多, 消息的处理并不服从泊松分布, 呼叫也是有损失的, 而对所有消息采用同一优先级处理也不能有效地利用软交换的处理能力。

文献[3, 4]基于带优先级的消息排队系统分析了SS7网络

的性能, 并引入了呼叫失败后的呼叫重试, 但未给出任何相关的解析表达式。文献[5]结合STP的可靠性, 利用M/G/1排队模型分析了SS7网络的端到端时延, 文献[6]以呼叫为基础, 利用M/G/1排队模型分析了VoIP网络中SIP信令的时延特性, 上述两个文献中都假定系统的缓冲是有限的, 不存在消息的丢失, 因而不能真正反映系统的实际情况。本文借鉴已有研究, 在分析软交换特点基础上提出了基于非强占、多优先级消息排队的M/G/1/n排队网络性能分析模型。该模型更加接近实际系统, 具有更大系统吞吐量, 更高CPU有效负荷。

2 基于多优先级消息的软交换排队系统

为简化分析, 本文讨论软交换在IP中继(替代C4局)场景下普通两方呼叫的性能特性。中继交换局不包含用户数据, 因此处理机资源成为系统的瓶颈。由于处理机资源的有限性, 软交换在处理呼叫过程中接收的新到达信令消息必须排队。当排队长度超过门限值, 后续消息将被丢弃, 造成呼叫损失。本文中排队节点的处理以消息为单位, 但对软交换的性能特性是以呼叫为单位来表示并进行分析。

无优先级系统在重负载情况下, 即新到的呼叫请求数量

2006-01-16收到, 2006-05-31改回

国家自然科学基金(60672121), 长江学者和创新团队发展计划, 国家基础理论研究(973)计划(2003CB314806)和国家863计划(2006AA01Z164)资助课题

非常大时, 由于不存在已有呼叫消息优先处理的机制, 它们平等排队等待处理。系统就会花费大量的资源和处理时间处理新到达的呼叫, 使已有呼叫得不到及时处理。系统响应变慢将导致用户中断呼叫, 系统消耗大量的资源和开销在那些将被用户放弃的呼叫上, 浪费了系统处理能力, 形成恶性循环, 从而导致系统吞吐率的下降。

图1给出了中继交换局中两方呼叫建立、释放过程的消息序列图。本文的分析模型中, 将图1中呼叫相关消息分为3类优先级。IAM, CRCX_O及其响应消息优先级3, 为最低优先级; ANM, RLC, MDCX_2, DLCX及其响应消息优先级1, 为最高优先级; 其余消息优先级2, 为中等优先级^[3]。

在非强占优先的排队系统中, 消息按照优先级排队等待处理, 高优先级消息不能从正在接受处理的低优先级消息处抢占进程。新到达消息首先排队, 如果排队长度超过门限值 N , 那么抛弃队尾消息(最低优先级消息), 即新到达呼叫以及未处理呼叫(排队中的IAM消息)最先被丢弃, 其次是正在接续的呼叫。此优先级机制将新到达呼叫对已有呼叫的接续速度的影响减至最小, 有效切断了恶性循环链。

3 软交换性能分析

软交换特性之一就是多协议接入, 因此本文分析采用文献[7]描述的分层软件体系结构。

假定呼叫的到达服从泊松分布, 尽管同一呼叫中消息是相互关联的, 考虑到连续消息之间的到达间隔与最忙周期的时长相比足够大, 因此可以假定信令消息的到达同样服从泊松分布。用户在呼叫失败后一段时间内会重新发起呼叫, 呼叫重试的间隔时间假定为15s^[3], 此间隔时间相对忙时的呼叫间隔时间足够大, 因此也可以假定呼叫的整体到达率服从泊

松分布。记呼叫到达率为 λ , 那么根据图1可得: $\lambda_a=10\lambda$, $\lambda_b=10\lambda$, $\lambda_c=11\lambda$, $\lambda_d=12\lambda$, $\lambda_e=12\lambda$ 。

图1中Node A, B, C, D, E多个进程共享处理机资源, 协作完成呼叫的接续与释放。由于消息种类有限, 进程处理消息的时长服从一般分布。各个进程处理消息的平均时延之和为系统的平均时延^[4]。记 W_a, W_b, W_c, W_d, W_e 分别为各个进程的平均消息时延, $W_{\text{总}}$ 为平均呼叫接续时间, 那么 $W_{\text{总}}=2W_a+2W_b+4W_c+6W_d+6W_e$ 。

下述分析适用于每一个进程。根据排队理论, 可以得到无优先级M/G/1/n排队系统的各项参数^[8-12]。根据定义以及little公式有

$$W_s = \frac{\rho}{\lambda} + W_q, \quad W_s = \frac{L_s}{\lambda_{\text{接入}}}, \quad L_s = \sum_{i=0}^n iP_i \quad (1)$$

其中 W_s 表示每条消息的平均处理时间(包含排队等待时间与接受处理时间), W_q 表示每条消息的平均排队时间, L_s 表示系统中的消息数(包含正在接受处理的消息), $\rho = \lambda/\mu$ 表示系统的负荷。 λ 表示每秒到达系统的消息数目, 而 $\lambda_{\text{接入}}$ 表示每秒进入系统的消息数目:

$$\lambda_{\text{接入}} = \lambda(1 - P_n) \quad (2)$$

P_i 表示系统中消息数目为 i 的概率, P_n 表示消息数目为 n 的概率, 也就是系统中消息丢弃的概率。

$$P_i = \begin{cases} c\bar{P}(i), & 0 \leq i \leq n \\ 1 - \frac{1 - c(1 - \rho)}{\rho}, & i = n \end{cases} \quad (3)$$

其中

$$c = \left\{ 1 - \rho \left[1 - \sum_{i=0}^{n-1} \bar{P}(i) \right] \right\}^{-1}$$

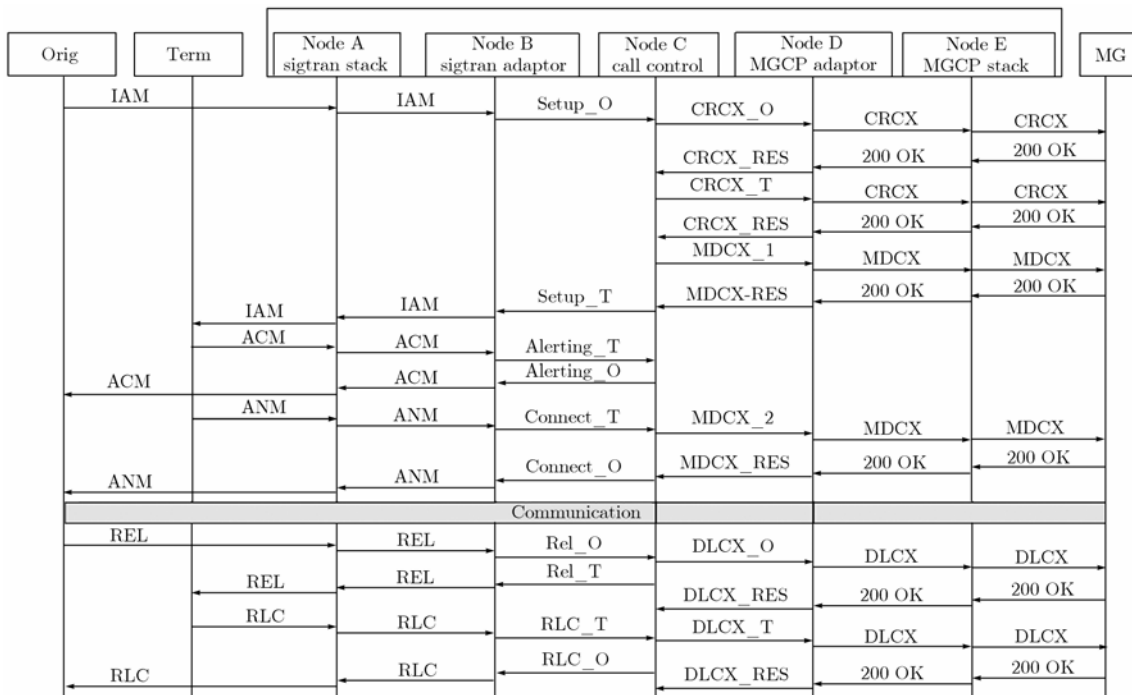


图1 两方呼叫建立、释放消息流程图

$\bar{P}(i)$ 为 M/G/1/∞ 系统中消息数目为 i 的概率, 由于其为一个极其复杂的计算过程, 一般使用式(4)的近似值^[9],

$$\bar{P}(i) = \begin{cases} 1 - \rho, & i = 0 \\ \rho(1 - \hat{p})(\hat{p})^{i-1}, & i \geq 1 \end{cases}, \text{ 其中 } \hat{p} = \exp\left[\frac{2(\lambda - \mu)}{\lambda + \mu^3 \sigma^2}\right] \quad (4)$$

新到达消息等待进程处理完毕当前消息的时间称为“剩余处理时间”, 记为 W_e , 其均值为 \bar{W}_e 。新消息到达系统后, 其排队时间由两部分组成: 进程处理完毕当前消息的时间; 排在队列前面的所有消息平均处理时间之和。故有

$$W_q = \rho \bar{W}_e + \frac{\rho L_q}{\lambda} = \rho \bar{W}_e + \rho W_q, \quad \bar{W}_e = \frac{1 - \rho}{\rho} W_q \quad (5)$$

在带优先级消息的排队系统中, 最高优先级(1级)消息的排队时间包含两部分: 正在排队的所有1级消息平均处理时间之和; 等待正接受处理的消息处理完毕的平均时间。根据式(5)可得 $W_{q1} = \rho_1 W_{q1} + \rho \bar{W}_e$ 。由于排队系统非抢占机制, 1级消息需要等待进程正在处理的任何优先级消息, 故上式中第2项为该进程的总负荷与“剩余处理时间”。

第2、第3优先级消息的排队时间包含3部分: 正在排队的所有高优先级消息平均处理时间之和; 等待正接受处理的消息处理完毕的平均时间; 在排队期间到达的高优先级消息插队造成的等待时间。记新到消息优先级为 l , 那么

$$W_{ql} = \sum_{i=1}^l \rho_i W_{qi} + \rho \bar{W}_e + W_{ql} \sum_{i=1}^{l-1} \rho_i \quad (6)$$

$$W_{ql} \left(1 - \sum_{i=1}^{l-1} \rho_i\right) = \rho \bar{W}_e + \sum_{i=1}^l \rho_i W_{qi} \quad (7)$$

在式(7)中, 用 $(l-1)$ 代替 l , 经过整理可得:

$$\left. \begin{aligned} W_{ql} &= \frac{1 - \sum_{i=1}^{l-2} \rho_i}{1 - \sum_{i=1}^{l-1} \rho_i} W_{q(l-1)} \\ \text{和 } W_{ql} &= \frac{\rho \bar{W}_e}{\left(1 - \sum_{i=1}^l \rho_i\right) \left(1 - \sum_{i=1}^{l-1} \rho_i\right)} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

软交换系统中一条消息的完整处理分布在串行的多个进程中, 进程的功能决定了进程的处理速度, 因此进程对任何一条消息的处理基本是一致的, 服务时间服从长分布, 可得:

$$\sigma^2 = 0 \quad (9)$$

由式(1)–式(5), 式(8), 式(9)可得 W_{q1} , W_{q2} , W_{q3} 。

$$W_{q\text{优}} = \frac{\rho_1}{\rho} W_{q1} + \frac{\rho_2}{\rho} W_{q2} + \frac{\rho_3}{\rho} W_{q3} \quad (10)$$

$$= \rho \bar{W}_e \left[\frac{\rho_1}{\rho(1 - \rho_1)} + \frac{\rho_2}{\rho(1 - \rho_1)(1 - \rho_1 - \rho_2)} + \frac{\rho_3}{\rho(1 - \rho)(1 - \rho_1 - \rho_2)} \right] \quad (11)$$

其中 $\rho = \rho_1 + \rho_2 + \rho_3$, 经过整理可得

$$W_{q\text{优}} = \rho \bar{W}_e \left[\frac{\rho - \rho_1 - \rho_2 + \rho_1 + \rho_2 - \rho \rho_1 - \rho \rho_2}{\rho(1 - \rho)(1 - \rho_1 - \rho_2)} \right] = \frac{\rho \bar{W}_e}{(1 - \rho)} \quad (12)$$

从式(12)可以看出, 带优先级的排队系统中所有消息的平均排队时间与优先级的设置没有关系, 进一步比较式(12)与式(5)可以看出, 带优先级的排队系统与无优先级的排队系统的平均排队时间是相等的。

4 软交换性能仿真数据分析

为了验证上述分析的有效性, 进行计算机仿真。仿真中采用文献[2]提出的处理机资源分配策略, 每个进程首先分配所需的最低处理机资源 $\zeta_k (\zeta_k / \rho_k = 1, k = a, b, c, d, e)$, 然后将剩余处理机资源按照各进程负荷的平方根比例分配(均方分配原则)。在此分配原则下, 在给定处理机资源前提下, 呼叫接续时间最短。在仿真中, 各个消息拥有第2节给出的优先级, 各个模块的消息到达率符合第3节给出的关系。使用 M/D/1/n 排队系统(每次仿真中各模块的 n 相同), 其中 n 为消息缓冲区大小, 分别取 10, 15, 20, 30, 40 等不同值进行仿真实验。

图2显示了带优先级和无优先级排队系统在正常负载下 ($\rho < 1$) 仿真结果与理论计算的呼叫接续时间的比较, 此实验中 n 取 20。从比较结果可以看出, 仿真结果与理论推导是一致的(图中的微小差异是由仿真环境导致的), 当 n 取不同值时, 结果类似。因此证明本文所建的模型与实际情况是符合的, 可以反映出实际系统的特性。本文以消息为对象进行分析, 将各个进程处理消息的平均时延叠加可以得到呼叫的平均接续时间, 而呼叫中任何消息的丢失都将导致该呼叫的失败, 因而无法给出呼叫损失的精确解析表达式。

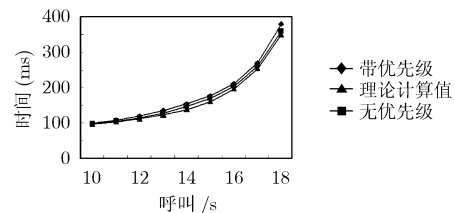


图2 正常负载呼叫接续时间比较

图3与图4分别为带优先级排队系统在正常负载下 ($\rho < 1$) 不同缓冲区大小时的呼叫接续时间与呼叫接通率的比较。从仿真结果来看, 轻负载时, 由于排队的消息数目较少, 缓冲区的大小不会影响呼叫接续时间与呼叫接通率; 重负载时, 缓冲区越大呼叫的接通率越高, 而呼叫接续时间则越长。这一结果是符合理论推导的解析式结论的。从图中可以看到, 缓冲区达到一定程度时, 再增加缓冲区已经无法有效地增加呼叫接通率, 反而使得呼叫的接续时间大大增加。例如在 19 呼叫/秒时, 缓冲区从 $n=30$ 增加到 $n=40$, 呼叫接通率从 97.12 增加至 97.82, 而呼叫接续时间则从 625ms 增加至 760ms。

图5显示了带优先级和无优先级排队系统在正常负载以

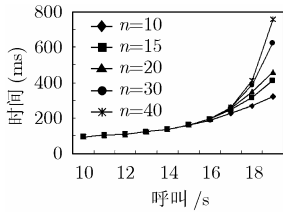


图3 不同缓冲区呼叫接续时间比较

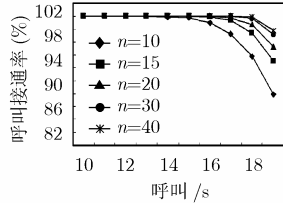


图4 不同缓冲区呼叫接通率比较

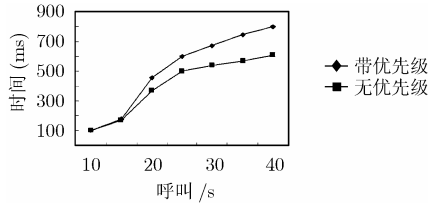


图5 过载呼叫接续时间比较

及过载($\rho > 1$)情况下的呼叫接续时间比较,图6显示了两种排队系统在各种负载情况下的呼叫接通率比较,仿真中 $n=20$ (n 取其他值时情况类似)。由于带优先级排队系统首先拒绝新到达呼叫的消息,因此其呼叫接通率高,在相同情况下处理的呼叫以及消息数目较多,导致其呼叫接续时间稍有增加,但从仿真结果分析,这些时延的增加是可以忍受的。图7显示了两种排队系统在各种负载情况下CPU有效负荷比较,即CPU用于处理“接通的呼叫”的处理时间比率比较。在过载情况下,由于带优先级排队系统按照消息优先级丢弃呼叫,最先丢弃新到达的呼叫,减少了大量到达的新呼叫对系统的冲击,故CPU有效负荷高于无优先级系统,并且维持在一个较稳定的比例。

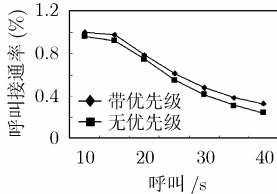


图6 带和无优先级系统呼叫接通率比较

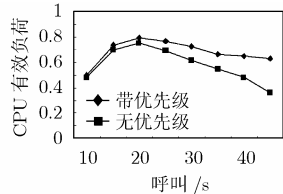


图7 带和无优先级系统CPU有效负荷比较

5 结束语

实际系统中软交换对呼叫的处理并不服从泊松分布,呼叫也是有损失的,而对不同消息分配不同的优先级可以更加有效地利用软交换的处理能力,提高系统吞吐量。本文在深入分析软交换IP中继普通双方呼叫场景的基础上,提出基于非强占、多优先级消息排队的M/G/1/n排队网络性能分析模型。通过对比两个排队系统的仿真结果,验证了带优先级排队系统具有更大的系统吞吐量,更高的CPU有效负荷。但呼叫接续时间有所增加,在可以忍受的范围之内。仿真结果同时表明缓冲区 n 的大小对带优先级排队系统的性能有着较大的影响,在设计系统时需要综合考虑呼叫接通率与接续时间

的需求选取合适的缓冲区。

参考文献

- [1] 刘润杰, 杨放春. 软交换系统话务量模型研究[J]. 通信学报, 2004, 25(8): 9-13.
- [2] 董斌, 陈俊亮. 软交换处理能力预测与资源优化分配策略研究[J]. 北京邮电大学学报, 2004, 27(4): 18-22.
- [3] Rumsewicz M. On the efficacy of using the transfer-controlled procedure during periods of STP processor overload in SS7 networks[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1994, 12(3): 415-423.
- [4] Bafutto M, Paul J, and Willmann G. Capacity and performance analysis of signaling networks in multivendor environments [J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1994, 12(3): 490-500.
- [5] Min Y C, Jae U Y, and Dan K S. Performability analysis of common-channel signaling networks, based on signaling system 7[J]. *IEEE Trans. on Reliability*, 1999, 48(3): 224-233.
- [6] Jung-Shyr W and Peir-Yuan W. The performance analysis of SIP-T signaling system in carrier class VoIP network [A]. Proceedings of the 17th International Conference on Advanced Information Networking and Applications [C]. Washington DC, Mar. 2003: 39-44.
- [7] 李亚波, 陈俊亮, 苏森. 基于通用呼叫控制模型的软交换体系设计[J]. 通信学报, 2003, 24(3): 78-85.
- [8] 陆传赉. 排队论[M]. 北京: 北京邮电学院出版社, 1994: 154-176.
- [9] Hassan M, Sarker R, and Atiquzzaman M. Modeling IP-ATM gateway using M/G/1/N queue [A]. IEEE Global Telecommunications Conference[C]. Sydney: IEEE Press, 1998: 465-470.
- [10] Frey A and Takahashi Y. A note on an M/GI/1/N queue with vacation time and exhaustive service discipline[J]. *Operations Research Letters*, 1997, 21(2): 95-100.
- [11] Harrison P G. Teaching M/G/1 theory with extension to priority queues [J]. *IEE Proceedings-Computers and Digital Techniques*, 2000, 147(1): 23-26.
- [12] Charalabos S, Demetres D, and Kouvatsos. A universal ME solution for and M/G/1 queue with vacation periods[A]. Proceedings of the 15th UK Performance Engineering Workshop [C]. Bristol: Springer-Verlag, 1999: 189-198.

双 锴: 男, 1977年生, 讲师, 博士, 研究方向为下一代网络技术、软交换技术、移动通信技术。
 杨放春: 男, 1957年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为通信软件、智能网与下一代网络技术。