

# 基于排队论的网络通信系统的建模与分析

张柏生, 任剑锋, 孟相如  
(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

**摘要:**首先对 M/M/1 模型进行了较深入的介绍,并以此为基础,对网络通信处理过程进行了建模分析,得出了服务时间、发送速率、接收缓冲区的大小之间的数学关系。在系统软件乃至工程设计中,可据此结论进行测试和分析。

**关键词:**网络通信;建模;排队论;M/M/1 模型;缓冲区

**中图分类号:**TP393      **文献标识码:**A      **文章编号:**1009-3516(2002)03-0059-04

网络通信处理一般模式是:发送单元负责将待发送的数据按照某种格式编码后,通过建立起来的网络信道传送到接收方。而接收方至少运行一个监听单元对信道进行监听,当监听到信息后,通知接受模块,将其送入缓冲区,继续监听。缓冲区中的数据先经过解码,然后根据解码得到的数据(消息)类型,送入处理队列中,按照特定的调度算法,等待处理单元的处理。这一处理过程可能发生在物理上分离的主机之间,也可能是同一台计算机的程序之间。而后者可以看作前者的特殊情况,所以本文主要讨论前者。

## 1 M/M/1 队列长度与 Little 定律

在进行建模分析以前,先介绍一下必要的数学知识。

根据 M/M/K 队列理论,当到达过程为泊松过程,服务时间为指数分布时,排队问题的解具有极简单的形式。若假定系统为单一服务台系统,则其数学模型为 M/M/1 队列<sup>[1]</sup>。在下面将分析的通信系统模型中,两个 M 分别代表发送方的输出过程和接收方的处理过程为马尔可夫过程,服从泊松分布,1 代表一条信道。

令  $N(t) = t$  时刻队列长度,则  $t$  时刻队长为  $n$  的概率表示为

$$P_n(t) = P[N(t) = n]$$

利用概率论的知识不难得出以下方程组<sup>[1]</sup>

$$P_n(t) = \lambda P_{n-1}(t) + \mu P_{n+1}(t) - (\lambda + \mu) P_n(t) \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

$$P_0(t) = \mu P_1(t) - \lambda P_0(t) \quad (2)$$

其中  $\lambda$  为到达率,  $\mu$  为服务率。

在这里,我们更关心的是上述方程组的稳态解,即当  $t \rightarrow \infty$ ,  $P_n(t)$  的解。解得

$$P_n = \rho^n (1 - \rho) \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

其中  $\rho = \lambda/\mu \leq 1$  为服务台的使用率。用  $N$  表示在平衡状态下的队长,则

$$N = \sum_{n=0}^{\infty} n P_n = \sum_{n=0}^{\infty} n \rho^n (1 - \rho) = \frac{\rho}{1 - \rho} \quad (4)$$

需要指出的是  $N$  在此真正的含义是进入处理模块和存储在缓冲区的所有数据包的平均数量,若用  $N_q$  表示缓冲区内的数据包的平均数,则有如下关系式<sup>[2]</sup>

$$N_q = N - \rho = \frac{\rho}{1 - \rho} - \rho = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \quad (5)$$

Little 定律<sup>[5]</sup>是指信息在网络中贮存的平均数等于信息进入网内的平均速率与此信息在网内滞留时间

收稿日期:2001-05-25

作者简介:张柏生(1969-),男,河北唐山人,硕士生,主要从事 ATM 与 IP 网络的研究。

的乘积。即:

$$N = \lambda T \quad (6)$$

此公式的普遍性在于适用于任何包含网络要素的“闭合区域”,从而可以用,“闭合区域”,代替前述的“网络”。

## 2 模型的建立与分析

简单地用框图来表示的话,发送和接收处理过程具有图 1 所示的模式。在图 1 中,将接收方划分为接收模块和处理模块是出于分析上的方便。发送方将数据编码后,由发送单元送入网络通道中。相应地,接收单元将接收到的数据放在缓冲区中,经过解码和调度后送入处理单元进行处理。

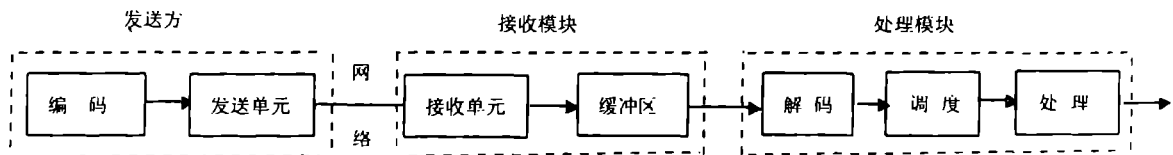


图 1 网络通信的一般模式

根据上面提到的排队论的知识,图 1 所示的通信过程可抽象为图 2 所示的模型。

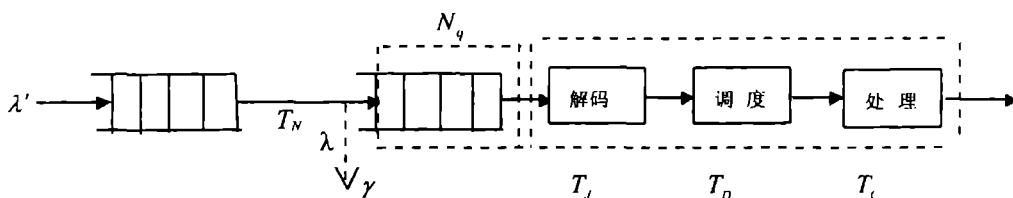


图 2 通信过程的抽象模型

其中:  $\lambda$  为发送方的数据包输出速率,  $T_N$  为网络传输时延,  $\lambda$  为数据包到达接收模块的速率,  $N_q$  为缓冲区中的数据包包个数,  $\gamma$  为接收模块的数据丢失率,  $T_s = T_J + T_D + T_C$  为数据包在队列中的服务时间,  $T_J, T_D, T_C$  分别为解码、调度和处理时间。

发送方以一个输出速率为  $\lambda$  的队列加以抽象。网络传输过程,假定没有数据丢失(一般采用 TCP/IP 协议可保证无数据丢失),则可以只考虑网络的传输时延  $T_N$ 。接收方是一个典型的 M/M/1 排队系统,其参数如图 2 中所示。在这种处理系统中,一般来说,主要关心的几个参数包括:①缓冲区的长度  $N_q$ 。它确定在保证丢失率为可接收的数值范围内,应为系统分配的缓冲区大小。②输入速率  $\lambda$ 。它确定在保持多大的输入速率下,具有确定缓冲区大小的系统能够在一定的时间范围内,处理完数据,不产生丢失。③系统服务时间  $T_s$ 。系统处理时间越短越好。设处理模块(服务台)的使用率为  $\rho$ ,图 2 中所示的各个变量均为随机变量,发送方和接收方的输出队列和输入队列均可假定为泊松分布。根据上述排队论的知识可以得出该系统在稳态下

$$N_q = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \quad (7)$$

若把处理模块看作一个闭合区域,则由上面提到的 Little 定律,将参数代入式(6)得:

$$\rho = \lambda T_s \quad (8)$$

由图 2 知:

$$\lambda = \lambda' \quad (9)$$

将式(8)、(9)代入式(7)并整理得:

$$(\lambda T_s)^2 + \lambda T_s N_q - N_q = 0 \quad (10)$$

式(10)是关于  $\lambda, T_s, N_q$  的三元方程式,其意义很直观,也就是说,只要在服务时间、发送速率、缓冲区大小三者中有两项为已知的条件下,都可以求得第三者的值。这在软件评估、系统测试、效率分析方面具有广泛而重要的应用。

### 3 实验结果及分析

下面是对在两台计算机之间用可视电话(基于软件)系统进行通信的测试和分析。该实例中,基本的处理数据流包括音频、视频和控制信息。根据实际的应用,对其中两种情况进行了测试:

1) 根据最大发送速率,确定系统所需的接收缓冲区的大小。在上面进行的分析中,考虑的是稳态下的均值。按排队论只能确保系统的丢失率小于某一个值。在测试中,通过近似极限状态(最大发送速率)来确保所测得的参数能够满足系统对丢失率的要求。测得的结果为:①发送速率如图3(a)所示,平均发送时间为72 ms,求得发送速率为13.89 bps。②接收方的服务时间如图3(b)所示,其平均时间为45 ms。

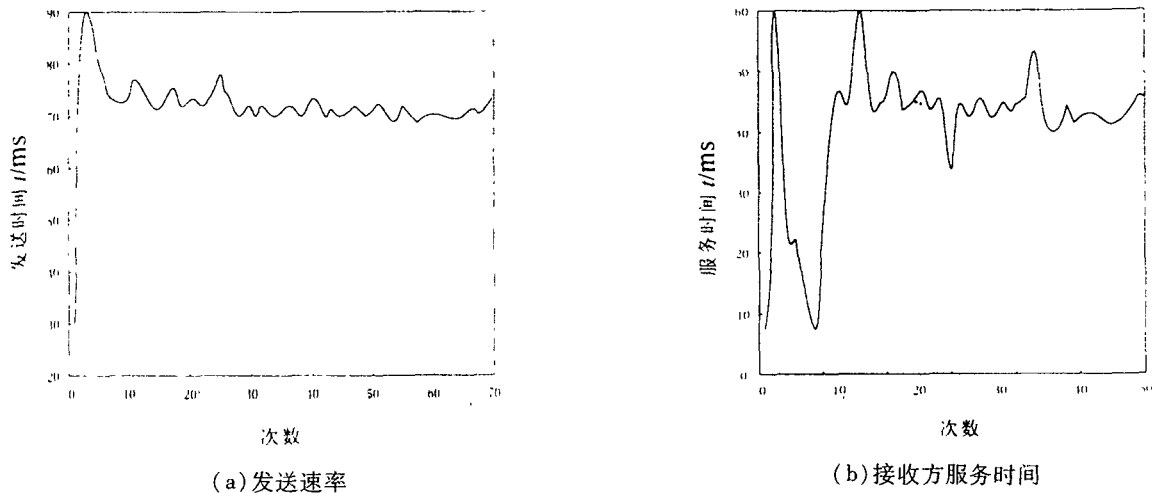


图3 实验数据曲线图

由式(9)得出: $\lambda = \lambda' = 14$ ,代入式(5)得  $N_q = \frac{(14 \times 0.045)^2}{1 - 14 \times 0.045} \approx 1.07$ ,考虑到以本式计算的是稳态值,所以在实际中取2。

2) 根据系统能提供的最大缓冲区的数目,确定发送方的最大发送速率。对一般的客户机,根据其配置情况,可以计算出系统软件最大能分配的内存缓冲区数目。此时,可以利用式(7)、(8)、(9)计算出系统发送方的最大发送速率。测试和计算的结果与情况1)类似。

网络通信关系到整个网络的稳定、效能,将排队论的理论用于分析其通信处理过程,具有很大的优越性,一方面将研究对象(发送、接收和处理过程)抽象化,便于利用精确的数学语言来描述,另一方面抛弃了次要因素,一定程度上简化了研究对象,使得建模和分析成为可能。

#### 参考文献:

- [1] 华兴(美). 排队论与随机服务系统[M]. 上海:上海翻译出版公司,1987.
- [2] 陈鑫林. 现代通信中的排队论[M]. 北京:电子工业出版社,1999.
- [3] J. L. 哈蒙德, P. J. P. 奥赖利. 计算机局域网性能分析[M]. 北京:人民邮电出版社,1991.
- [4] 米沙. 施瓦茨. 计算机通信网的设计与分析[M]. 北京:人民邮电出版社,1984.
- [5] Lucantoni DM. New Results on the Single Server Queue with a Batch Markovian Arrival Process[J]. Stochastic Models, 1991, 7(1):105 - 108

(编辑:门向生)

ZHANG Bai - sheng, REN Jian - feng, MENG Xiang - ru

(The Telecommunication engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an710077, China)

**Abstract:** This paper first presents a deeper introduction to the M/M/I model, and then, based on this, the modeling analysis of the process of network communication. As a result, a mathematic equation is obtained, which shows the relations among the Service Time, Send Rate and the Buffer Size. In the design of system software and project, test and analysis can be done on the basis of this conclusion.

**Key Words:** network communication, modelization, queueing theory, M/M/1 model, buffer

(上接第 26 页)

3) JAVA 技术开发的 WEB 故障管理及性能管理等系统的实现中采用 B/S 结构,使得客户端可以直接访问服务器,客户端不需要任何资源,提高了系统的可移动性能,同时增加了系统本身的灵活性。

#### 参考文献:

- [1] 孟洛明. 现代网络管理技术[M]. 北京:北京邮电大学出版社,1999.
- [2] 姚 军,李学仁. 基于主动网络的新型网络管理模式[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2001,2(4):66-69.
- [3] 王 柏. 分布计算环境[M]. 北京:北京邮电大学出版社,1999.

(编辑:门向生)

## The conception of Constructing a communication Network Management System Based on INTERNET

LIU Shou - yi, SUN Yan

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

**Abstract:** This paper advances a construction conception of communication network management system based on INTERNET, offers the explanation of the system framework and some key technology, describes the composition of the system and the corresponding functions and summarizes the schema of communication network management system based on INTERNET.

**Key Words:** communication network management; XML; APPLE