

视频会议中的排队论问题的计算机模拟^{*}

马丙鹏¹ 曹 炬¹ 杨树堂² 余胜生²

(华中科技大学数学系¹ 华中科技大学计算机系² 武汉430074)

The Application of Computer Simulation in the Questions of Queue in Multipoint Communications

MA Bing-Peng¹ CAO Ju¹ YANG Shu-Tang² YU Sheng-Sheng²

(Department of Mathematics, HuaZhong University of Science & Technology¹,

School of Computer, HuaZhong University of Science & Technology¹ Wuhan, 430074)

Abstract It is necessary for various users to intercommunicate with each other in multipoint communications. Each users' image and voice can be reached at others' terminals. As to the signs of image, many windows can be opened on a terminated and the participants' images can be on the screen as well. However, as to voice, no matter how fast the speed of transmission is, it is common for listeners to find the great distinctions, between the voice of communications and that of face-to-face communications, which debases the quality of multipoint communications. Therefore, it is vital important to take measures to solve the mixed voices of multipoint communications during a high quality system of multipoint communications. In this article, we try to solve the trouble of voice in speech mixing. The theory of queue is applied in the analysis of voice data of multipoint communications, which forms the mathematic model. From the model, the equations of estate transfer will be obtained. And then through computer simulation, we get the results of equation and data we wanted are presented as well. With the model of queue, massive experiments and curvilinear regression, the relation among the scale of communication, the threshold of working, and the queue buffer is found. Therefore the expansibility problem of voice data of multipoint communications with real-time speech mixing is solved in the last part of this paper.

Keywords Queue, Computer simulation, Multipoint communications

1 语音混合简介

视频会议系统中,多路语音混合分为5个阶段:1)多个终端通过IP网络向完成混合功能的服务器发送多媒体数据。由于是会议信息,其中包含语音、视频及控制、数据信息等。其中,音频和视频信息采用UDP作为传输协议,通过RTP将数据传出去,而数据和控制信息则采用TCP作为传输协议。此时,多点信息是同时并行向混合端发送。2)服务器串行接收来自各用户的数据流,经解码后发往混合模块。3)混合模块串

行接收解码后的数据包,根据各用户数据携带的ID号的不同,将相应的数据包放入到相应的缓冲队列进行缓存。4)混合调度算法根据各缓冲队列中的数据情况,从含数据包的队列(1到N个队列)中各取一个数据包进行实时混合。5)将混合的结果输出。图1为多点语音混合的排队模型。

通过分析,我们认为语音数据的到达和处理是一个典型的排队论问题,然而利用传统的解析方法处理,计算工作量大,结果也不理想,因而我们求助于计算机模拟来解决这一问题。

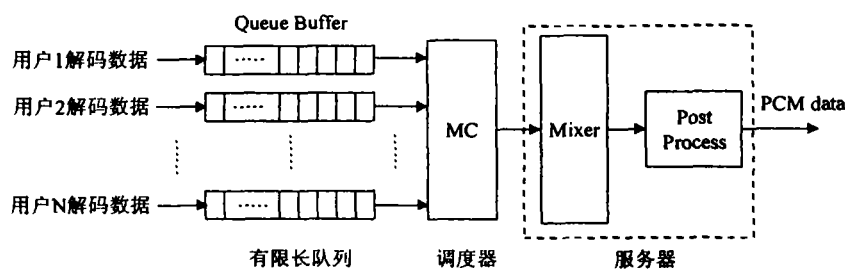


图1 多点语音混合的排队模型

2 计算机模拟简介

计算机模拟是计算数学、计算机技术、概率论和数理统计等学科的交错性研究领域。它通过建立数学模型,在计算机上进行模拟实验,并把实验数据作为原始问题的近似解,是系统分析和系统设计的强有力工具。由于要处理的问题日益复杂,要观测实际系统有时费用昂贵,有时则不太可能用传统的解

析方法和数值分析的方法,因此计算机模拟可降低系统的研制成本,提高系统实验的安全性,随着计算机技术的迅速发展,计算速度的提高和费用的下降,计算机模拟越来越多地应用到自然科学的各个方面。

在实际或者理论中,排队问题可以用数学办法求得答案的究竟还是少数,计算机的普及和发展,使计算机模拟成为可能,在解决排队论问题方面人类跨出了一大步。一般来说模拟

^{*} 本文受国防预研项目(编号15.8.4)资助。马丙鹏 硕士研究生,曹 炬 教授,现主要从事优化排样和最优票价上的研究。杨树堂 博士,研究方向是语音编码、回声消除及网络 QoS。余胜生 教授,博士生导师,从事计算机与多媒体数据处理技术、多媒体网络通讯技术的研究。

的方法可分为两类,第一类称作“跟踪取得法”,属于确定性的模拟,在模拟过程中,先收集有关的统计资料并把这些资料输入模型,然后由模型的演算来观察结果。第二类为“蒙特卡罗法”,是依据现有的资料和凭我们的设计先决定统计的分布,再由分布来产生随机数,以此输入模型来求其结果。在本实验中,我们采用蒙特卡罗法进行模拟。

3 离散时间的排队系统

当用计算机模拟排队论问题时,排队论模型都是离散时间的,离散时间排队问题在计算机及通讯系统中出现是非常自然的事情,其中数据单位看作顾客,而处理机、传输线、通道、终端看作服务台,要求存储或记忆看作排队,这就是一个排队系统,由于处理机是间断时间操作,把处理机的机械循环时间作为基本时间单位或把通道或传输线上的信号的比特时间或

把固定数量的任何数据单元的脉冲持续时间取做基本时间单位,在这种系统中,所有事件的发生(输入,运算,操作,输出)都是在离散时刻出现,这就是一个离散时间的排队系统。

由于服务机构性能的关系,顾客到达与离开有三种类型:

(1)早到达系统:顾客在 $n+0$ 时刻到达系统($n=0,1,2,\dots$),服务完的时刻是 $n-$,而且服务完后离开系统,如图2所示。(2)到达延迟通过系统:顾客在 $n-$ 时刻到达($n=1,2,\dots$),顾客服务完离开系统的时刻为 $n+$ ($n=2,3,\dots$),如图3所示。(3)迟到达立刻存取系统:顾客在 n 时刻到达($n=0,1,2,\dots$),服务完在 n 时刻离开($n=1,2,\dots$)。

离散时间的排队问题可以与连续时间的排队问题平行讨论,连续时间下的 Poisson 流,在离散时间下转换为二项分布流;连续时间下的负指数分布,在离散时间下转换为几何分布。在本实验中,我们采用到达延迟通过系统。

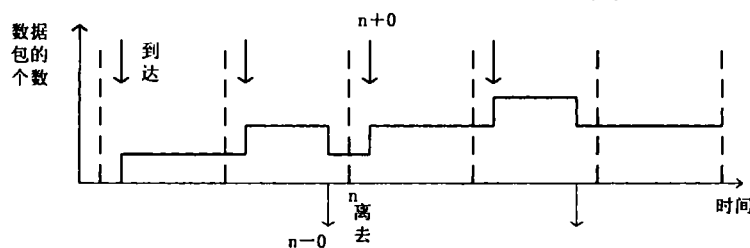


图2 早到达系统

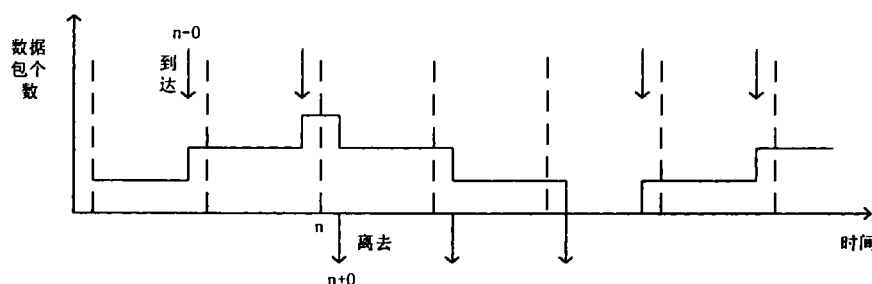


图3 到达延迟通过系统

4 多路语音混合的排队模型

按照排队论理论,我们建立了以下数学模型:

对于有 N 个用户参加的会议,每个用户的数据到达情况相同。单个用户的数据到达流是参数为 λ' 的 Poisson 流, λ' 表示单位时间到达的顾客数(到达率),从而总的顾客到达的间隔时间 τ 服从参数为 $\lambda=\lambda'N$ 的负指数分布,分布密度函数 $a(t)=\lambda e^{-\lambda t}$,平均到达的间隔时间为 T/λ 。服务台启动服务的条件有两个:1)当总的数据包达到预取阈值 Kk 时;2)当单个用户的子队长达到 $SubNn$ 。每次服务的数据包个数视各个用户队列排队状态而定:若某用户对应的队列队长为0,则该用户不接受服务;若不为0,则它将有1个数据包进入服务台接受服务。数据包按照先到先服务的原则进行服务。对于单个用户来说,若到达的数据包个数达到其子队长的阈值 $SubNn$ 时,若再有数据包到达时,则子队长中最先到达的数据包发生丢失,从而保证子队长的数据包个数小于等于 $SubNn$ 。设在 t 时刻有 i 个用户接受服务,则服务台要服务 i 个数据包,服务时间服从参数为 T/i 的定长分布。当所有的数据包都处理完之后,服务停止。

对应模型的状态转移方程描述为:

$$\lambda H_{i-1} = \sum_{j=1}^M g_{i,j} H_{i,j} + \lambda H_i, i=1,2,\dots,Kk-1,$$

$$\begin{aligned} \lambda P_{k-1} + \sum_{i=1}^M P_{k+i} f_{k+i,i} \mu_i + \sum_{i=1}^M g_{k+1,i} H_{i,k} \mu_i \\ = \lambda P_k + P_k \sum_{i=1}^M f_{k,i} \mu_i, k=2,3,\dots,Nn \neq Kk \end{aligned}$$

对于服务状态 Kk ,有:

$$\begin{aligned} \lambda P_{Kk-1} + \lambda H_{Kk-1} + \sum_{i=1}^M P_{Kk+i} f_{Kk+i,i} \mu_i \\ = \lambda P_{Kk} + \sum_{i=1}^M P_{Kk} f_{Kk,i} \mu_i, \end{aligned}$$

对于服务状态1,有:

$$\lambda P_1 + \mu_1 P_1 = \sum_{i=1}^M P_{1+i} f_{1+i,i} \mu_i + \sum_{i=1}^M H_{i+1} g_{i+1,i} \mu_i$$

对于状态0,有:

$$\lambda P_0 = \sum_{i=1}^M P_i f_{i,i} \mu_i$$

约束条件为:

$$H_i = 0, i > Kk-1$$

$$g_{i,i-j} = 0, \text{ if } i-j < 0 \text{ 或 } i > Kk-1$$

$$\sum_{j=1}^M f_{i,j} = 1, i=0,1,\dots,Nn$$

$$f_{i,j} = 0, \text{ if } (i-j) < 0, \text{ 或 } i > Nn$$

其中 M 表示参加会议的人数,即子队长的个数; $SubNn$ 表示子队长的极限长度,若子队长的长度达到此值,服务开始,超

过的部分丢失; Kk 表示总队长中预取量的阈值,当总队长达到此长度后,服务开始; Nn 表示总队长的最大值, $Nn = SubNn * M; H_i$ 表示未开始服务时,总队长中有 i 个数据包的概率, $i = 1, 2, \dots, Kk - 1; P_i$ 表示开始服务后,总队长中有 i 个数据包的概率, $i = 0, 1, 2, \dots, Nn; f_{i,j}$ 表示在状态 i 时服务 j 个数据包的概率; $g_{i,j}$ 表示在未服务的状态 i 时,由于子队长达到 $SubNn$ 启动服务后服务 j 个数据包的概率。

由于该方程涉及的未知量太多, $g_{i,j}, f_{i,j}$ 并没有历史数据可以给出,理论上直接推导属于 NP 难度问题。因此,下面将借助于实际系统的试验数据来获得我们需要的解。

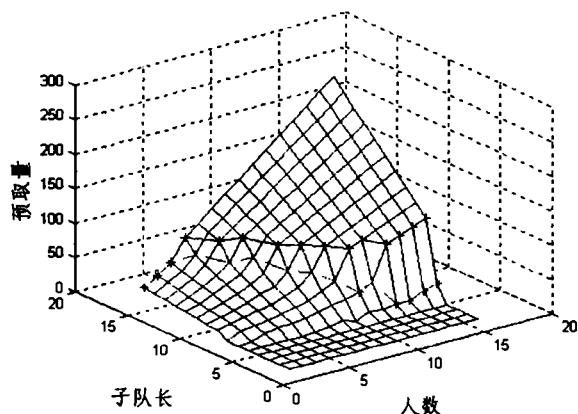


图4 人数与子队长和预取量之间的关系曲线

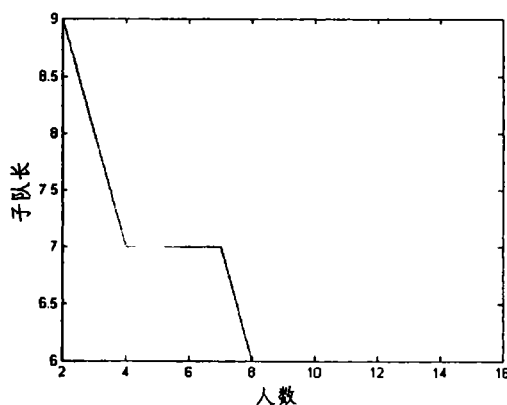


图5 人数与最优的子队长之间的关系曲线

在试验中,我们将事先按照 Poisson 分布确定的数据(代表语音包)向队列中发送,同时系统按照平均服务间隔从队列中取出数据进行服务。系统首先预取一定的数据量 Kk (可调整);在此过程中检测系统的状态(即包含的数据包个数),若

(上接第69页)

hook 是提供的处理函数,也就是我们的主要工作,其原型为:

```
unsigned int nf_hookfn(unsigned int hooknum,
    struct sk_buff *skb,
    const struct net_device *in,
    const struct net_device *out,
    int (*okfn)(struct sk_buff *));
```

它的五个参数将由 NFHOOK 宏传进去。

结束语 本文提出了一种基于层次的监管体系,作为实例,在 Linux 内核实现了非法 VPN 的识别和拦截功能,对实现的几个主要部分和用到的关键技术进行了详细的分析。课

达到开始服务的条件,则开始服务。重复服务足够多次,然后观察各队列中所包含的数据量 Nn (即实际占用的队长)的概率和数据包损失的概率。改变 Kk ,可以获得不同的 Nn 值。另外,调整会议规模,重复多次进行上述试验,又可以获得不同的 Kk 与 Nn 的关系。将试验数据中的多组的子队长、预取量、总队长及损失率数据,并以文件的形式记录下来。根据这些数据,我们可以得到图4和图5。

图4给出了不同会议规模(人数)情况下(考虑1%损失率),子队长($SubNn$ 的可取值)、预取量 Kk 与人数之间的三维关系曲线。在图中,有两条分别连接拐点的曲线。预取量较小的曲线表明实际计算出来的预取量的可取值范围,在该曲线以下的数据均是计算得出的。预取量较大的曲线表明理论上的预取量的可取值,该曲线以上所有数据是为了绘制三维曲线而根据已有的数据估算出的,仅具有参考意义。

在实际应用中,由于考虑会议系统的实时性要求, $SubNn$ 应尽可能取小。故在取值时取可以满足要求的最小的 $SubNn$ 及此时对应的 Kk 。我们绘制出最优子队长(最小的 $SubNn$)与会议规模(人数)之间的关系曲线,如图5所示。

结论 从图4可以看出,当人数(会议规模)固定时,预取量 Kk 与子队长 $SubNn$ 之间近似为线性关系,并且随着人数的增加,预取量 Kk 与子队长 $SubNn$ 的线性系数随之增加(图中,人数增加时, Kk 与 $SubNn$ 之间的关系曲线越陡)。当子队长 $SubNn$ 固定时,人数增加,所需的预取量 Kk 也增加,这同我们在实际中的一般认识是一致的,该图为我们实验的最终图形。若给出参加会议的人数,从该图中可以方便地查出所需的子队长的大小和预取值的大小。从图5中可以看出,当人数小于8时,最优子队长 $SubNn$ 随着人数的增加而减小,在此之后,会议规模再扩大(人数再增加),最优子队长 $SubNn$ 趋于一个恒定值(等于6)。

为了检验计算机模拟所得数据的可靠性,我们对数据在实际系统中进行了验证,即把该模型所得实验结果在视频会议的模拟系统上进行测试,所得的声音效果清晰可辨,完全可以达到会议的要求。

参考文献

- 1 Yang Shutang. Multipoint Communications with Speech Mixing over IP Network, Computer Communications, (待发)
- 2 杨树堂,余胜生,周敬利. 基于分组网络的多点实时语音混合及调度算法. 软件学报,2001,12(9):1413~1419
- 3 CCITT (ITU-T) Rec. G. 711: Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies, Nov. 1988
- 4 孟玉珂. 排队论基础及应用. 同济大学出版社,1989
- 5 华兴(美). 排队论与随机服务系统. 上海翻译出版公司,1987

题组在校园网环境建立了一个仿真 Internet 的实验测试平台,在100Mbps 的满负荷运行下,非法 VPN 连接的识别和拦截率达到98%以上,达到了设计要求。

参考文献

- 1 Doraswamy N, Harkins D 著, 京京工作室译. IPSec 新一代因特网安全标准. 北京:机械工业出版社,1999
- 2 netfilter hacking HOWTO. <http://netfilter.samba.org/unreliable-guides/netfilter-hacking-HOWTO/index.html>
- 3 Linux 2.4 Packet Filtering HOWTO. <http://netfilter.samba.org/unreliable-guides/packet-filtering-HOWTO/index.html>