文章编号: 1000-5889(2005)01-0100-04

# 语音信息两类业务流模型的分析

王庆生[1], 黎锁平[2]

(1. 兰州理工大学 计算机与通信学院, 甘肃 兰州 730050; 2. 兰州理工大学 理学院, 甘肃 兰州 730050)

**摘要**: 针对语音信息在分组交换网上的传输特性,分析了现代通信网中两类业务流模型:Markov 调制 Poisson 过程(MMPP)模型和流体流动模型的基本原理、特点及其适用于描述业务流的类型. 并对 MMPP(2)/M/1 系统的排队性能和流体流动模型的建模机理进行了分析.从而为语音传输系统的仿真模拟及传输网络的管理奠定了基础.

**关键词**: 语音流; Markov 调制 Poisson 过程; 流体流动模型; 分组交换网

**中图分类号**: TN915.01 **文献标识码**: A

# Analysis of two traffic models of speech information

WANG Qing-sheng[1], LI Suo-ping[2]

(1. School of Computer and Communication, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China; 2. School of Sciences, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China)

**Abstract**: Aiming at the characteristics of speech information transmitted on packet switch network, the basic principle, features, and traffic types, suitable for description, of two traffic models in modern communication network, i.e. the model of Markov modulated Poisson process and fluid flow model, are analyzed. In addition, the queue performance of MMPP(2)/M/1 system and modelling mechanism of fluid flow model are also analyzed, so that a basis for simulation of speech transmitting system and transmitting network management is provided.

**Key words**: speech flow; Markov modulated Poisson process; fluid flow model; packet switch network

在通信网中,无论是电路交换网还是分组交换网,窄带综合业务数字网(N-ISDN)还是宽带综合业务数字网(B-ISDN),对网路管理和网路交换技术的研究而言,都需要通过建立相应的业务流模型,分析网络的传输性能,确保传输质量,最大可能地利用网路资源.传统的电信网络,业务比较单一,所以大多数业务流模型是针对语音业务与数据综合业务的,用基于泊松过程(连续时间)或贝努利过程(离散时间)的数学模型就能较准确地描述其特性.随着网络业务种类的增多,关于语音、视频、图像、数据的综合传输模型国内外有很多学者都作了大量的研究,提出了很多方案[1~6].本文对较为适合语音流及其综合业务的两类主要模型——Markov 调制 Poisson 过程模型和流体流动模型的原理、特点及其适应性作了分析探讨,并对语音业务流的建模机理和系统的排队性能进行了分析.

## 1 马尔科夫调制泊松过程及其排队系统的性能分析

### 1.1 马尔科夫调制泊松过程

马尔科夫调制泊松过程 MMPP(Markov modulated Poisson process)是一种双随机泊松过程[1],它的强度(即泊松过程的平均到达率 $\lambda$)是由一个 Markov 链调制,当链的状态为 $i$ 时,强度取常数 $\lambda_i$. 所以 MMPP 是由一个 Markov 链的生成矩阵和一个Poisson 过程的强度向量所确定.图1所示为一分组数据源[5],$X_t$ 表示传输线上的分组数据流速率.

当 $t_n < t < t_{n+1}$ 时,令 $X_t = \lambda(n)$, 当开关接触 $S_a$ 时, $X_t$ 为一强度为 $\lambda_1$ 的Poisson 过程; 当开关接触 $S_b$ 时, $X_t$ 为一强度为 $\lambda_2$ 的Poisson 过程(如图 2 所示).开关的转换时间忽略不计, $X_t$ 构成一个两状态 Markov 链(MC)调制的Poisson 过程(MMPP(2)).

收稿日期: 2003-12-01
基金项目: 甘肃省自然科学基金(ZS032-B25-031)
作者简介: 王庆生(1978-),男,山东高唐人,硕士生.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

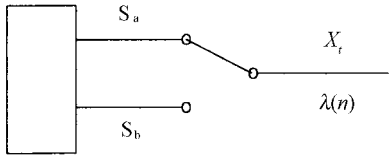


**图 1　分组数据源**

**Fig.1　Packet data source**

MC 的状态空间为 $E=\{\lambda_1,\lambda_2\}$,且 $P\{\lambda(n)=\lambda_i\}=\pi_i$ $(i=1,2)$.

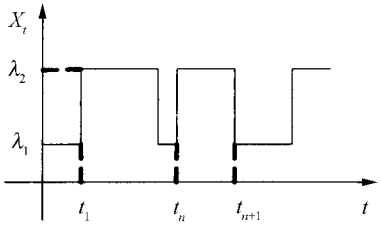


**图 2　流速率二状态 Poisson 过程**

**Fig.2　Two state flow rate Poisson process**

MMPP 过程可以用 4 个参数来表述:$\lambda_i$ $(i$ 为状态,$i=1,2)$ 为各状态的信元到达率,$r_i$ 为各状态的平均持续时间.在状态 $i$,持续时间服从负指数分布.MMPP 过程适合模拟语音、数据的叠加流的统计特性.

### 1.2　开关泊松过程

开关泊松过程 IPP (Interrupted Poisson process)是 MMPP(2)的一种特殊情况.IPP 可以这样描述:一个强度为 $\lambda$ 的 Poisson 流经过一条线路,在线路上有一个开关,它的断开和合上的时间长度皆随机,合上的平均时间长度为 $r^{-1}$,断开的平均时间长度为 $w^{-1}$,在线路的另一端得到的就是开关 Poisson 过程,简记为IPP.IPP 可以看作一个两状态的 MMPP,用以调制的 Markov 过程有 $\boldsymbol{Q}$ 矩阵:

$$\boldsymbol{Q}=\begin{bmatrix}-w & w\\ r & -r\end{bmatrix}$$

Poisson 强度矩阵为 diag $(0,\lambda)$,该模型适合于 $n$ 个语音源的叠加流的建模.

### 1.3　MMPP(2)/M/1 系统的性能分析

设 MMPP(2)的参数为 $r_1$、$r_2$、$\lambda_1$、$\lambda_2$.则 MMPP(2)可以看作是一个 Poisson 源(参数为 $\lambda$)与一个 IPP 源的叠加,记这个IPP 源的参数为 $\lambda'$、$\omega$、$r$.则相应于 MMPP(2)⇔M+IPP 的对应关系有如下的参数对应:

$$\lambda_2\leftrightarrow\lambda,\quad \lambda_1\leftrightarrow\lambda+\lambda',\quad r_1\leftrightarrow r,\quad r_2\leftrightarrow\omega$$

利用率守恒原理及 Poisson 过程和开关 Poisson 过程模型的解[1],可得三次方程:

$$\lambda_1\lambda_2u^3-[\lambda_1\lambda_2+\lambda_1+\lambda_2+(r_1\lambda_2+r_2\lambda_1)]u^2+[\lambda_1+\lambda_2+r_1+r_2+1]u-1=0$$

令 $u_1$、$u_2$、$u_3$ 是方程的根,且满足

$$0<u_1<1<u_2<\lambda_2^{-1}<u_3<\infty$$

再令 $w_i=u_i^{-1}$,且它们满足

$$0<w_3<\lambda_2<w_2<1<w_1<\infty$$

记 $Q^{\mathrm{I}}$ 为系统中IPP 顾客看到的顾客数,$Q^{\mathrm{P}}$ 为系统中强度为 $\lambda_2$ 的 Poisson 顾客看到的顾客数,$Q^{\mathrm{A}}$ 为系统中任意顾客看到的顾客数,记 $q^{\mathrm{I}}$、$q^{\mathrm{P}}$、$q^{\mathrm{A}}$ 为不包括正在服务的顾客数,平均到达率为

$$\rho=(\lambda_1r_2+\lambda_2r_1)/(r_1+r_2)$$

则有

$$P_j^{\mathrm{I}}=P[Q^{\mathrm{I}}=j]=(u_2-1)A_2w_2^j-(u_3-1)A_3w_3^j$$

$$P_j^{\mathrm{P}}=P[Q^{\mathrm{P}}=j]=(1-\rho)\lambda_2^j+\frac{(\rho-\lambda_2)A_2(u_2-1)}{\lambda_2-w_2}(\lambda_2^j-w_2^j)+\frac{(\rho-\lambda_2)A_3(u_3-1)}{\lambda_2-w_3}(-\lambda_2^j+w_3^j)$$

$$P_j^{\mathrm{A}}=P[Q^{\mathrm{A}}=j]=\left(1-\frac{\lambda_2}{\rho}\right)P_j^{\mathrm{I}}+\frac{\lambda_2}{\rho}P_j^{\mathrm{P}}$$

式中

$$A_2=\frac{w_2(1-w_3)(w_2-\lambda_2u_1)}{(1-\lambda_2u_1)(w_2-w_3)}$$

$$A_3=\frac{w_3(1-w_2)(w_3-\lambda_2u_1)}{(1-\lambda_2u_1)(w_2-w_3)}$$

这些量的均值为

$$E[Q^{\mathrm{I}}]=\frac{1}{u_3-1}+\frac{1}{u_2-1}-\frac{\lambda_2u_1}{1-\lambda_2u_1}$$

$$E[Q^{\mathrm{P}}]=\frac{\lambda_2}{1-\lambda_2}+\frac{\rho-\lambda_2}{1-\lambda_2}\left(1+E[Q^{\mathrm{I}}]\right)$$

$$E[Q^{\mathrm{A}}]=\left(1-\frac{\lambda_2}{\rho}\right)E[Q^{\mathrm{I}}]+\frac{\lambda_2}{\rho}E[Q^{\mathrm{P}}]$$

尾部概率为

$$P^{\mathrm{I}}_{>j}=P[Q^{\mathrm{I}}>j]=A_2w_2^j-A_3w_3^j$$

$$P^{\mathrm{P}}_{>j}=P[Q^{\mathrm{P}}>j]=\frac{(1-\rho)\lambda_2^{j+1}}{1-\lambda_2^{j+1}}+\frac{(\rho-\lambda_2)A_2(u_2-1)}{\lambda_2-w_2}\left[\frac{\lambda_2^{j+1}}{1-\lambda_2}-\frac{w_2^{j+1}}{1-w_2}\right]+\frac{(\rho-\lambda_2)A_3(u_3-1)}{\lambda_2-w_3}\left[\frac{-\lambda_2^{j+1}}{1-\lambda_2}+\frac{w_3^{j+1}}{1-w_3}\right]$$

$$P^{\mathrm{A}}_{>j}=P[Q^{\mathrm{A}}>j]=\left(1-\frac{\lambda_2}{\rho}\right)P^{\mathrm{I}}_{>j}+\frac{\lambda_2}{\rho}P^{\mathrm{P}}_{>j}$$

在队列中的(不包括正在服务的)顾客数的均值分别为

$$E[q^{\mathrm{I}}]=E[Q^{\mathrm{I}}]-(A_2-A_3)$$

$$E[q^{\mathrm{P}}]=E[Q^{\mathrm{P}}]-\rho$$

$$E[q^{\mathrm{A}}]=\left(1-\frac{\lambda_2}{\rho}\right)E[q^{\mathrm{I}}]+\frac{\lambda_2}{\rho}E[q^{\mathrm{P}}]$$

令 $d_{\mathrm{I}}$ 为IPP 到达所经历的时延,$d_{\mathrm{P}}$ 为强度为

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$\lambda_2$ 的Poisson 到达所经历的时延，$d_A$ 为任意到达所经历的时延.则时延分布的余函数分别为

$$D_I(t) = P[D_I > t] = A_2 e^{-(1-w_2)t} - A_3 e^{-(1-w_3)t}$$

$$D_P(t) = P[D_P > t] = \rho e^{-(1-\lambda_2)t} + \frac{(\rho-\lambda_2)A_2}{\lambda_2 - w_2}(e^{-(1-\lambda_2)t} - e^{-(1-w_2)t}) + \frac{(\rho-\lambda_2)A_3}{\lambda_2 - w_3}(e^{-(1-w_3)t} - e^{-(1-\lambda_2)t})$$

$$D_A(t) = \left(1 - \frac{\lambda_2}{\rho}\right) D_I(t) + \frac{\lambda_2}{\rho} D_P(t)$$

均值分别为

$$E[d_I] = \frac{A_2}{1-w_2} - \frac{A_3}{1-w_3}$$

$$E[d_P] = \frac{1}{1-\lambda_2}(\rho + (\rho-\lambda_2)E[d_I])$$

$$E[d_A] = \left(1 - \frac{\lambda_2}{\rho}\right) E[d_I] + \frac{\lambda_2}{\rho} E[d_P]$$

## 2 语音信息流体流动模型

### 2.1 语音流的流体流动模型建立的基础

随着分组交换的计算机网络的迅速普及，人们希望一直使用电路交换技术在遍布全球的电话网上传输的语音信息能在这种分组交换的数字网上传输.由于语音信息是连续的位流，且其传输对延迟时间有很严格的限制，这样建立分组复用语音流的流体流动模型就十分必要[6].

在通信上，人类的对话过程可分为交替出现的两个阶段：活跃的语涌阶段（即产生信元的阶段）和不活跃的沉默阶段（即停顿不发声的阶段）.

当假定这两种阶段（或称为状态）在时间长度上服从指数分布时，则可以用两状态的生灭过程模型描述一个单一的语音源.在语涌阶段语音源以速率 $v$（单位：信元/s）产生信元，令参数 $\lambda$ 代表逃离沉默状态的速率，$\alpha$ 定义为逃离语涌状态的速率.这样平均语涌时间就是 $\alpha^{-1}$s，平均沉默时间就是 $\lambda^{-1}$s.一个谈话者处于活跃状态的概率，也就是谈话者活跃因子，是 $\lambda/(\lambda+\alpha)$.在基于ATM 的分组交换的计算机网络中，语音信号与其它的数据信息一样被打包成固定大小的信元，多个语音源以统计复用的形式共用一个链路，有时需要在一个缓冲区中等待.当 $N$ 个独立的语音源复用时就可以得到图 3 所示的联合传输的 $N+1$ 状态的生灭过程模型.状态指的是活跃信息源的数量，其中 $J_u$ 被称做负载不足状态，$J_0$ 被称为负载过剩状态.

流体流动模型是基于这样一种假设产生的：在语涌阶段产生的信元数很大，以致于就像一个连续

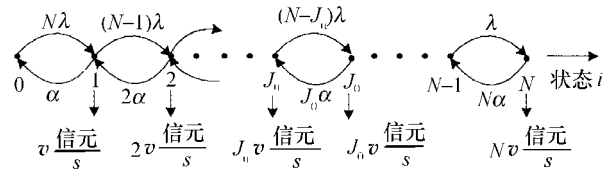


**图 3 $N$ 个语音源的联合模型**

**Fig.3 United model of $N$ speech sources**

的流体流动一样[2~4].这样缓冲区容积变成了一个连续随机变量 $x$，这就是流体流动分析中的流体.$x$ 的单位用在语涌阶段到达的信元数来定义.一个语音源若在平均长度为 $\alpha^{-1}$ 的语涌阶段以 $v$ 信元/s 的速率产生信元，那么缓冲区容积 $x$ 在语涌阶段平均要增加 $v/\alpha$ 信元，称此为信息单元.缓冲区容量 $x$ 就是一个随机变量，其统计规律正是要求解的.

### 2.2 流体流动模型的建立

设有 $N$ 个独立同分布的源，这些源独立地在状态ON 和OFF 之间交替变更，状态的持续时间皆为指数分布，其参数分别为 $\alpha$ 和 $\lambda$，则状态ON 的平均持续时间长度为 $\alpha^{-1}$，状态OFF 的平均持续时间长度为 $\lambda^{-1}$.源处于状态ON 的概率为 $\lambda/(\lambda+\alpha)$.在状态ON 期间源以均匀的速率产生信息，其速率为 $v$，缓冲器通过一个输出信道传送消息使缓冲器内的消息减少，信道的最大传输速率设为 $vC$.信息单位取为一个源在状态ON 的平均持续时间长度内产生的信包数即 $v/\alpha$.当 $r$ 个源处在ON 状态时，缓冲器中信息源的到达率为 $\alpha r$.只要缓冲器不空，缓冲器的瞬时变化率为 $\alpha(r-C)$.在缓冲器空时，只要 $(r-C)<0$ 缓冲器就一直保持空.再设缓冲器的容量为无限，且业务量强度 $\frac{N\lambda}{C(\alpha+\lambda)}<1$，这是系统稳定的条件.

若在时刻 $t$，处于状态ON 的源数为 $i$，在此后的 $\Delta t$ 时间内或者一个新的ON 源开始，或者一个源从状态ON 回到OFF，或者源保持 $t$ 时刻的状态不变，其他事件发生的概率几乎为零.因为状态ON 与OFF 的持续时间皆为指数分布，以上 3 个事件的概率分别为 $(N-i)\lambda\Delta t$，$i\alpha\Delta t$ 和 $1-[(N-i)\lambda+i\alpha]\Delta t+o(\Delta t^2)$，其他事件的概率为 $o(\Delta t^2)$.

令 $P_i(t,x)$ $(0\leqslant i\leqslant N, t\geqslant 0, x\geqslant 0)$ 是在时刻 $t$ 有 $i$ 个源处于状态ON，缓冲器中的信息数不超过 $x$ 的概率，则

$$P_i(t+\Delta t,x) = [N-(i-1)]\lambda\Delta t P_{i-1}(t,x) + (i+1)\alpha\Delta t P_{i+1}(t,x) + (1-[(N-i)\lambda+i\alpha]\Delta t)P_i(t,x-\alpha(i-C)\Delta t) + o(\Delta t^2)$$

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

将 $P_i(t, x-\alpha(i-C)\Delta t)$ 移至等式左边,然后在等式两边除以 $\Delta t$,再令 $\Delta t \to 0$ 取极限,得

$$\frac{\partial P_i}{\partial t} + \alpha(i-C)\frac{\partial P_i}{\partial x} = (N-i+1)\lambda P_{i-1} - [(N-i)\lambda + i\alpha]P_i + (i+1)\alpha P_{i+1}$$

令 $F_i(x)$ 是在 $i$ 个源处于状态 ON,缓冲器中的信息数不超过 $x$ 的稳定概率,即

$$F_i(x) = \lim_{t\to\infty} P_i(t, x)$$

则 $\frac{\partial P_i}{\partial t} = 0$,对 $i \in \{0, 1, 2, \cdots, N\}$,

$$\alpha(i-C)\frac{\mathrm{d}F_i(x)}{\mathrm{d}x} = (N-i+1)\lambda F_{i-1}(x) - [(N-i)\lambda + i\alpha]F_i(x) + (i+1)\alpha F_{i+1}(x)$$

这里 $0 \leqslant i \leqslant N$, $F_{-1}(x) = F_{N+1}(x) = 0$. 这就是借以求出 $F_i(x)$ 的等式. 为使系统有空($i < C$)和满($i > C$)两种状态有 $C < N$.

上面的等式可以用特征值的方法求出. 补偿概率分布函数 $G(x)$ 代表缓冲区中信息数超过 $x$ 的概率,即:$G(x) = 1 - F(x)$. 补偿概率分布函数 $G(x)$ 经常用于衡量信元丢失的概率,将这个概率转换为以信元为单位的信元丢失概率或者说缓冲区溢出概率 $P(l > i) = G(i/v)$,整个计算过程可以用编程语言(如 C,Matlab 等)来实现.

用流体流动模型分析分组复用语音源主要的参数有:输入端语音源数 $N$,信息生成速率 $v$,平均语涌时间间隔 $\alpha^{-1}$,平均沉默时间间隔 $\lambda^{-1}$,效率 $\rho$. 这些参数都对信元丢失率产生影响,但主要研究语音源数 $N$ 和信元生成速率 $v$.

## 3　结语

以上对通信网络的两类信源模型及其适用的业务类型做了分析研究,这两种模型在描述业务流特性方面具有各自不同的特点.

流体流动模型是对离散信元流使用连续信息流的形式进行近似的一种有效的抽象方法,它忽略了缓冲区容量的高频变化,只抽象地反映原始到达过程的长期变化现象,因此可以用来描述业务流的突发性.

对于 VBR 业务,如视频通信,一帧内的数据在空间上具有较强的相关性,而帧与帧之间的数据在时间上具有较强的相关性,MMPP(2)模型能从微观和宏观两个层次上描述这种性质,因此 MMPP(2)模型适合于描述业务流的相关性.

总之,当信元模型比较简单、涉及的信源参数少时,在理论上易于对业务流进行分析,但是模型本身可模拟的信源特性具有局限性. 例如对突发性描述不够、信元之间的相关性不够等. 另一方面,若在对信源建模时考虑的方面比较多,例如对信源本身的突发性、相关性等模拟得比较准确,同时又考虑了白噪声等诸多因素时,又会导致信源模型参数太多,理论分析复杂,参数获取困难等结果.

此外,数字图像业务的兴起使得业务流的特性日趋复杂,数字图像业务流要比语音业务流复杂的多. 一方面,数字图像业务具有突发性,这一点与具有周期性的语音业务不同;另一方面,数字图像业务需要很大的带宽,在传输数字图像时需要对其进行压缩编码以便充分利用信道资源. 这样,数字图像业务流依赖于编码方式,在对其进行建模时既要反映数字图像业务流的实际,又要方便对它进行性能分析,增加了难度. 因此,寻找简单、准确、通用性强的信源模型至今仍是各国学者研究的热点问题之一.

**参考文献**:

[1] 陈鑫林. 现代通信中的排队论[M]. 北京:电子工业出版社,1999.

[2] MITRA D. Stochastic theory of a fluid model of producers and consumers coupled by a buffer [J]. Adv Appl Prob, 1988(20): 646-676.

[3] LI S. A general solution technique for discrete queuing analysis of multimedia traffic on ATM [J]. IEEE Transactions on Communications, 1991, 39(7): 1 115-1 132.

[4] LI S, MARK J W. Traffic characterization for integrated services network [J]. IEEE Transactions on Communication, 1990, 38(8): 1 231-1 243.

[5] 陈　涛,孟相如,陈中云. 一种具有自相似性的分组业务流模型[J]. 桂林电子工业学院学报,2002,22(3):14-17.

[6] 白　媛,翟宝峰. 分组语音流的流体流动模型[J]. 锦州师范学院学报:自然科学版,2002,23(3):30-33.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net