

软交换系统一般话务量模型的研究

康巧燕, 孟相如, 王建峰

(空军工程大学电讯工程学院, 陕西西安 710077)

摘要: 分析了软交换的话务特性, 建立了软交换的一般话务量模型, 即分别考虑呼叫的到达服从 Bernoulli 分布、Poisson 分布和 Pascal 分布的情况。在此基础上, 给出了软交换系统排队过程的系统状态图。最后, 推导出软交换一般话务量计算的数学公式, 为软交换系统的分析与设计提供了理论上的依据。

关键词: 软交换; 话务量模型; 排队系统; 系统状态图

中图分类号: TN911.1 文献标识码: A 文章编号: 1009-3516(2005)05-0046-04

软交换技术由于结合了传统语音网络的可靠性和 IP 网络的灵活性及开放性等特点, 很好地解决了从传统的电话交换网向下一代包交换网过渡的问题, 成为下一代网络的核心技术。但在实际应用过程中仍然有许多需要解决的问题, 其中, QoS 保证是发展软交换急于要解决的问题之一, 而话务量模型是解决 QoS 的基础。软交换中的交换方式是分组交换, 在分组网中, 语音包的到达与突发的非语音包的到达有着不同的统计特性, 因而建立能精确反映语音包到达过程统计特性的模型, 是设计符合 VoIP QoS 要求的软交换网络的关键。许多研究只考虑了通话的呼叫数不变时语音包的到达特性^[1-3], 而未考虑通话的呼叫数也是随机的, 或没能揭示语音包的到达与讲话的呼叫数之间的内在联系, 文献[4]同时考虑了语音包的随机性和讲话的呼叫数的随机性, 也揭示了语音包的到达与讲话的呼叫数之间的内在联系, 但是在建模时, 文献[1]只考虑了呼叫的到达服从 Poisson 分布的情况, 然而由于用户的网络行为具有不可预知的特性(即在短时间内, 用户的网络流量相对稳定和均匀; 但从长期看, 用户的网络流量不均匀, 具有突发性), 现实的网络业务却还包括平滑和峰值的情况, 因此仅仅进行泊松分布的讨论是不够精确的。

1 软交换系统的一般话务量模型

本文在文献[4]研究的基础上, 使用文献[5]中提出的 BPP(Bernoulli - Poisson - Pascal) 模型来讨论软交换系统的话务量模型。在文献[5]中定义具有无限服务台的系统在稳态时服务器忙的个数的方差 D 和均值 M 的比值 Z 为峰值因素(或称为业务突发度), 当 $Z < 1$ 时排队系统业务量处于平滑状态, 用 Bernoulli 分布来表达; 当 $Z = 1$ 时排队系统业务量处于一般的业务状态, 用 Poisson 分布来表达; 当 $Z > 1$ 时排队系统业务量处于高突发状态, 用 Pascal 分布来表达。

软交换系统的排队过程分为两部分: 呼叫的到达与离去和语音的传送。呼叫的到达与离去与传统的 PSTN 中的排队过程一致, 可采用 $G/M/\infty$ 排队模型。而语音的传送, 软交换只有在呼叫讲话时才有数据(语音包)传送, 因此, 在软交换的话务量模型中不仅要考虑某时刻在系统呼叫的个数, 还要考虑这些呼叫中有多少个正在讲话。

本文所提出的软交换的话务模型是: 排队系统的业务由 n 个业务源提供(n 可为 ∞), 它们随机地产生呼叫; 呼叫的到达服从一般分布 G , 分为 3 种情况, 即 Bernoulli 分布、Poisson 分布和 Pascal 分布; 由系统为其接续而进入通话状态(不考虑优先级, 先到先服务, FIFS); 系统的服务率(通话的持续时间)符合负指数分布

收稿日期: 2005-04-20

作者简介: 康巧燕(1980-), 女, 福建永春人, 博士生, 主要从事宽带网络技术研究;

孟相如(1964-), 男, 陕西西安人, 教授, 博士生导师, 主要从事宽带网络技术研究。

M;排队规则为等待不拒绝,也即排队系统为 G/M/n;在通话状态的呼叫随机地处于讲话状态与静默(听话)状态;在静默状态的呼叫不产生语音包;在讲话状态的呼叫按照一定的速率产生语音包;某一时刻产生的语音包与这一时刻正在讲话的呼叫数相同,这些语音包进入一个队列,系统(媒体网关)按照一定的速率从队列中取出语音包并将其发往通话的另一方(先到先服务, FIFS)。

现在设 P_i^∞ 为 G/M/ ∞ 系统稳态时的分布概率, P_i 为 G/M/n/n 系统稳态分布时的分布概率,如果考虑一个具有无限服务台的排队系统,则 BPP 的具体模型可以描述如下(如图 1 所示):

1) 设排队系统的业务由有限个业务源(设为 n 个)提供,若其顾客到达速率随服务器忙的个数的增加而降低,对应于图 1 中 $\lambda_i = \lambda(n-i)$ 的情况。可认为此时系统的业务量比较平滑,系统达到稳态时有 i 个服务器在忙的概率为

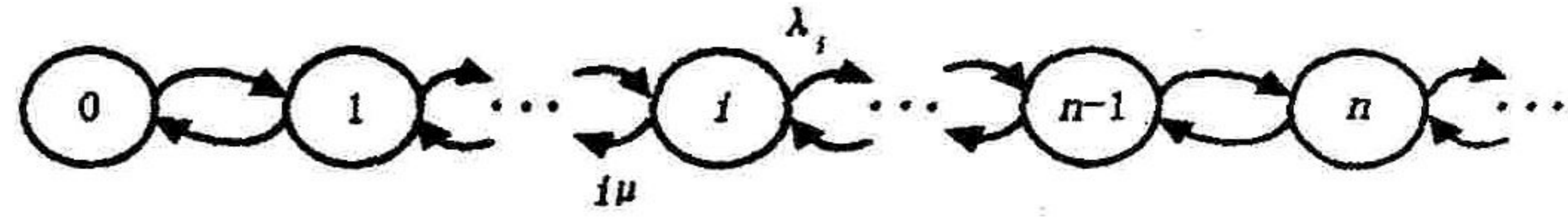


图 1 BPP 模型状态转移图

$$P_i^\infty = C_n^i \left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu}\right)^i \left(\frac{\mu}{\lambda + \mu}\right)^{n-i} \quad (1)$$

上式就是 Bernoulli 分布,其突发因子 $Z = \frac{M}{D} = \frac{\mu}{\lambda + \mu} < 1$ 。

2) 若服务系统的呼叫到达速率恒定,对应于图 1 中 $\lambda_i = \lambda$ 的情况。可认为此时系统的业务突发度适中,系统达到稳态时有 i 个服务器在忙的概率为

$$P_{(i)} = \frac{\rho^i}{i!} e^{-\rho} \quad (\rho \text{ 为系统排队强度, } \rho = \lambda/\mu) \quad (2)$$

上式即为经典的 Poisson 分布,其突发因子 $Z = 1$ 。

3) 若服务系统的顾客到达速率随服务器忙的个数的增加而增加,对应于图 1 中 $\lambda_i = \alpha + (1 - \alpha)\beta$ (其中 $\alpha > 0, 0 < \beta < 1$) 的情况。可认为此时系统的业务突发度较高,系统达到稳态时有 i 个服务器在忙的概率为

$$P_i^\infty = C_{a+i-1}^i (1 - \frac{\beta}{\mu})^a (\frac{\beta}{\mu})^i \quad (3)$$

其中 $a = \frac{\alpha}{\beta}(1 - \beta)$,上式就是 Pascal 分布,令 $\mu = 1$,得突发因子 $Z = \frac{1}{1 - \beta} > 1$ 。

上边讨论的是理想的情况,在实际使用的网络中,对应的排队系统中的服务台的个数有限,比如上面所设的有 n 个。则此时 BPP 模型就应该被修正成截去的 Bernoulli 分布、截去的 Poisson 分布和截去的 Pascal 分布。其表达式可以写成:

截去的 Bernoulli 分布:
$$P_i = \frac{C_n^i \left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu}\right)^i \left(\frac{\mu}{\lambda + \mu}\right)^{n-i}}{\sum_{i=0}^n C_n^i \left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu}\right)^i \left(\frac{\mu}{\lambda + \mu}\right)^{n-i}} \quad (4)$$

截去的 Poisson 分布:
$$P_i = \frac{\frac{\rho^i}{i!}}{\sum_{i=0}^n \frac{\rho^i}{i!}} \quad (5)$$

截去的 Pascal 分布:
$$P_i = \frac{C_{a+i-1}^i \left(\frac{\beta}{\mu}\right)^i}{\sum_{i=0}^n C_{a+i-1}^i \left(\frac{\beta}{\mu}\right)^i} \quad (6)$$

2 软交换系统状态图

在软交换系统中,我们所关心的话务量问题有两个:一是系统中有多少个呼叫,二是这些呼叫中有多少个正在通话。所以在状态图中每一个状态 S 有两个数字下标,第一个数字下标是系统中的呼叫数,第二个数字下标是正在通话的呼叫个数。

假定话源数无穷多,对任一状态 $S_{i,j}$ (i 表示系统中的呼叫数, j 表示正在通话中的呼叫数),设第 i 个呼叫

的到达率为 λ_i , 其中, 对于 Bernoulli 分布, $\lambda_i = \lambda(n - i)$; 对于, Poisson 分布, $\lambda_i = \lambda$; 对于 Pascal 分布, $\lambda_i = \alpha + (i - \alpha)\beta (\alpha > 0, 0 < \beta < 1)$ 。假定服务窗口为 n , 每个窗口的服务率为 μ , 而服务率与系统中的呼叫数有关, 即状态 $S_{i,j}$ 的服务率为 $i\mu$ 。每个呼叫讲话的概率为 q , 状态 $S_{x,i}$ 中有 j 个讲话的呼叫, 则状态 $S_{i,j}$ 变为 $S_{i,j-1}$ 的概率为 $j(1 - q)$, 即 j 个讲话的呼叫中有一个进入静默状态的概率。状态 $S_{i,j}$ 变为 $S_{i,j+1}$ 的概率为 $(i - j)q$, 即 $(i - j)$ 个不讲话的呼叫中有一个进入讲话状态的概率。从而可以得到软交换的系统状态如图 2 所示。

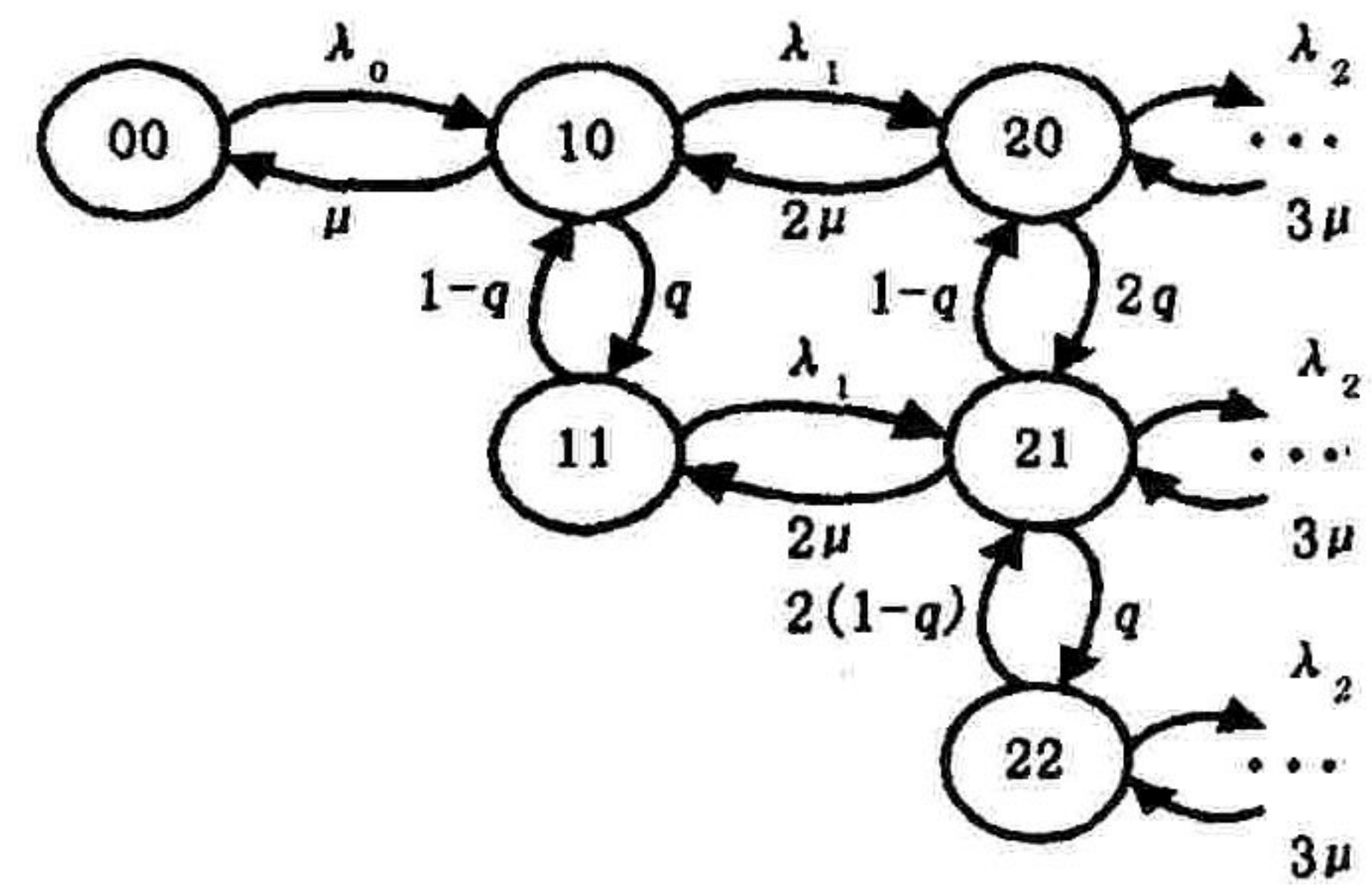


图 2 软交换系统的状态转移图

3 话务量计算

由系统状态图得到系统状态方程

$$\begin{cases} \lambda_0 P_{0,0} = \mu_{1,0} \\ (\lambda_i + i\mu + iq)P_{i,0} = (i + 1)\mu P_{i+1,0} + \lambda_{i-1}P_{i-1,0} + (1 - q)P_{i,1} & i > 0 \\ [i(1 - q) + \lambda_i]P_{i,i} = qP_{i,i-1} + (i + 1)\mu P_{i+1,i} & i > 0 \\ [\lambda_i + i\mu + j(1 - q) + (i - j)q]P_{i,j} = \lambda_{i-1}P_{i-1,j} + (i + 1)\mu P_{i+1,j} + \\ (j + i)(1 - q)P_{i,j+1} + (i - j + 1)P_{i,j-1} & i > 0 \quad 0 < j < i \end{cases} \quad (7)$$

及一个归一条件
$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^i P_{i,j} = 1 \quad (\text{当服务台为无限多时, } n = \infty) \quad (8)$$

令 $P_i = \sum_{j=0}^i P_{i,j}$, 即将系统状态图中每一列合并成为一个状态而形成了 G/M/n 的排队系统, 即第 i 列的状态概率和为 P_i 。对于每一列 i 都有下列状态方程:

$$\begin{cases} iqP_{i,0} = (1 - q)P_{i,1} \\ [(i - j)q + j(1 - q)]P_{i,j} = (i - j + 1)qP_{i,j-1} + (j + 1)(1 - q)P_{i,j+1} & 1 < j < i \\ qP_{i,i-1} = i(1 - q)P_{i,i} \end{cases} \quad (9)$$

由每一列的系统状态图和状态议程可知, 每一列是一个二项分布。因而有

$$P_{i,j} = C_i^j q^j (1 - q)^{i-j} P_i \quad (10)$$

由此得到了系统状态图中每一个状态的状态概率 $P_{i,j}$, 也即系统中有 i 个呼叫, 并且这 i 个呼叫中有 j 个正在讲话的概率, 这个概率和概率密度函数 P_i 有关。根据不同的呼叫到达率, P_i 的表示式对应于上一节中的式(1) ~ (6)。

例如, 当呼叫的到达服从 Poisson 分布时, 把式(3) 代入式(10) 得:

$$P_{i,j} = C_i^j q^j (1 - q)^{i-j} P_i = C_i^j q^j (1 - q)^{i-j} \frac{\rho^i}{i!} e^{-\rho} \quad (11)$$

软交换语音包的传送过程只关心系统中有多少个正在讲话的呼叫, 而不关心系统中有多少个呼叫。因此, 令:

$$P'_{(j)} = \sum_{i=j}^n P_{i,j} = \sum_{i=j}^n C_i^j q^j (1 - q)^{i-j} P_i \quad (\text{当服务台为无限多时, } n = \infty) \quad (12)$$

即系统中有 j 个讲话的呼叫的概率, 它是系统状态图中每一行状态的概率和。

由于软交换只有在呼叫讲话时才有数据(语音包) 传送, 则在某一时刻产生的 j 个语音包的到达和这一时刻系统中有 j 个讲话的呼叫服从相同的分布。

闲期是系统处于无讲话的呼叫状态后到有一个呼叫讲话之间的时间, 因而与呼叫讲话的到达规律相同, 闲期概率为

$$P'_{(0)} = \sum_{i=0}^n (1 - q)^i P_i \quad (\text{当服务台为无限多时, } n = \infty) \quad (13)$$

例如, 当呼叫的到达服从 Poisson 分布, 且服务台为无限多时, 有

$$P'_{(j)} = \sum_{i=j}^{\infty} P_{i,j} = \frac{(\rho q)^j}{j!} e^{-\rho q} \quad (14)$$

即当呼叫到达服从 Poisson 分布时,系统中有 j 个讲话的呼叫的概率服从 Poisson 分布,且在这一时刻产生的 j 个语音包的到达也服从 Poisson 分布。不过,到达率由 λ 修正为 λq ,也即系统排队强度从 ρ 修正为 ρq 。从而得到其期望和方差,即 $E(j) = D(j) = \rho q$ 。这一结果表明,呼叫到达服从 Poisson 分布地系统中平均有 ρq 个讲话的呼叫,其方差也是 ρq 。闲期概率为 $P'_{(0)} = \frac{(\rho q)^0}{0!} e^{-\rho q} = e^{-\rho q}$ 。

4 结束语

本文在文献[4]研究的基础上,使用文献[5]中提出的 BPP(Bernoulli - Poisson - Pascal)模型,把文献[4]建立的软交换系统的话务量模型扩展到一般情况,即分别考虑呼叫的到达服从 Bernoulli 分布、Poisson 分布和 Pascal 分布的情况,使模型能更精确地描述实际的软交换网络的话务量特性。文中给出了软交换的一般系统状态图及其排队分析,推导出系统中有 i 个呼叫并且这 i 个呼叫中有 j 个正在讲话的概率 $P_{i,j}$ 、系统中有 j 个讲话的呼叫的概率,以及闲期概率的一般公式,得到在软交换中语音包的到达率与系统中讲话的呼叫率服从相同的分布,闲期时间的到达也与呼叫讲话的到达规律相同。

本文所建立的模型,在一定程度上,对于软交换网络的规划与设计、软交换的呼叫管理控制、网络应用的设计开发和计费策略制定等可以提供理论上的支持。存在的问题是,该模型没有考虑呼叫的优先级。

参考文献:

- [1] Bruno R, Garroppo R G, Giordano S. Estimation of Token Bucket Parameters of VoIP Traffic[A]. High Performance Switching and Routing, Atm 2000[C]. Heidelberg Germany, 2000.
- [2] Fiedler M, Carlsson P, Nilsson A. Voice and Multi - Fractal Data in the Lnternet[A]. Local Computer Networks[C]. Tampa/FL, 2001.
- [3] Zheng L, Zhang L R, Xu D. Characteristics of Network Delay and Delay Jitter and Its Effort on Voice Pver IP (VoIP) [A]. International Conference on Communications IEEE/ICC [C]. St - Petersburg,2001.
- [4] 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.
- [5] Subramaniam S. A Performance Model for Wavelength Translation with Non - Possion Traffic[J]. Proc, of Infocom, 1997,(4): 499 - 506.

(编辑:门向生)

The Study of General Traffic Model of Softswitch System

KANG Qiao -yan, MENG Xiang - ru, WANG Jian - feng

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

Abstract:Based on the analysis of the traffic attribute of softswitch system, this paper introduces a general traffic model of softswitch, i.e. respectively taking three arrival processes - - - Bernoulli process, Poisson process and Pascal process into consideration. Based on this, a queuing system status diagram of softswitch system is given. And the formula of calculating softswitch traffic is deduced, which provides theoretical bases for the design and analysis of a softswitch system.

Key words: softswitch ; traffic model ; queuing system ; system status diagram