

## 突发业务环境下 CBR 业务性能的实验分析<sup>1</sup>

洪新伟 徐树公\* 黄载禄 黄立群

(华中理工大学电子与信息工程系 武汉 430074)

\*(清华大学电子工程系 北京 100084)

**摘要** CBR 业务是一类极为重要的实时业务, 能否有效地传递这类业务关系到从现有网络向 ATM 的过渡, 因此 CBR 业务的服务质量是一个值得研究的重要课题. 本文利用计算机仿真的方法, 全面地分析了突发业务环境下, 影响 CBR 业务服务质量的各种因素, 指出复接器占有率、缓冲区容量、背景强度、背景流的自相关特征对 CBR 业务的时延及时延抖动有很大的影响, 尤其是背景流具有长时相关性时, CBR 业务的服务质量将严重恶化, 必须设法加以控制.

**关键词** 时延, 时延抖动, 自相关, TES 模型

**中图分类号** TN913.24

### 1 引言

实时业务是未来 ATM 网中一个极其重要的组成部分, 它主要包括 CBR 业务和实时 VBR (rt-VBR) 业务两大类. 这些业务在传递过程中, 对网络的要求比较高, 不仅要求时延不超过一定的范围, 而且要求较严格地遵守信元间的时序关系, 即避免发生太大的时延抖动, 由于时延及时延抖动对实时业务性能的影响非常大<sup>[1]</sup>, 因此准确地评价及预测时延及时延抖动对实时业务传输及控制有非常重要的意义, 但是 ATM 网的高速率及统计复接特性使时延尤其是时延抖动的分析变得极其困难, 一些理论分析方法对背景业务流都作了不同程度的限制, 未能全面地考虑各种因素的影响<sup>[2,3]</sup>, 因而很多研究都采用了计算机仿真的方法进行分析<sup>[4]</sup>. 本文也由此入手, 对影响实时业务时延及时延抖动的因素作较全面的分析. 鉴于在 ATM 成长初期 CBR 业务将占较重要的地位, 能否有效地传递 CBR 业务关系到从现有网络向 ATM 的过渡, 本文主要针对 CBR 业务展开讨论.

以下首先介绍系统模型, 第 3 节将简要介绍实验数据的产生方法, 第 4 节是实验结果及其意义, 最后是结束语.

### 2 系统模型

CBR 业务的信元是周期性到达的, 但是经过复接器后, 信元将会有一定的时延, 信元间的时序关系也将发生变化, 即产生所谓的时延抖动, 这种变化受复接器服务规则, 缓冲区容量以及背景业务流等多种因素的影响, 实验中考虑某一项因素时, 应该尽量避免其它因素的干扰.

设有两类信元进入复接器, 一类是我们重点讨论的 CBR 信元, 另一类统称为背景流信元. 图 1 为系统工作的示意图, CBR 业务的信元以周期  $\Delta$  到达, 我们以  $\Delta$  为单位时间, 则每单位时间内 CBR 业务到达一个信元, 而到达的背景信元数是一个变量, 设其均值为  $V$ , 复接器的服务速率为  $C$ , 则复接器的占用率为  $\rho = (1 + V)/C$ . 为了保障系统稳定工作应使  $\rho$  小于 1, 同时我们称  $V$  为背景强度,  $V$  越大, 背景流相对于 CBR 业务所占的份额越大.

复接器采用先到先服务原则, 服务时间服从定长分布, 缓冲区可以为有限也可以为无限. 设 CBR 信元与背景信元同时到达时, CBR 信元先进入缓冲区, 在每个服务周期开始的一瞬

<sup>1</sup> 1997-12-02 收到, 1998-09-19 定稿

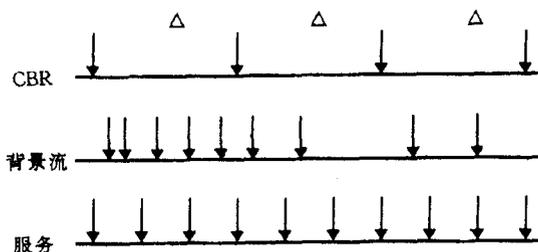


图 1 复接器工作示意图

间, 复接器检查缓冲区中是否有完整的信元, 若有, 则选最早到达缓冲区的进行服务, 若没有则空闲至下一个服务周期。当缓冲区容量为有限值  $K$  时, 预留最后一个单元即第  $K$  个缓冲单元给 CBR 信元, 即当到达的背景信元发现缓冲区有多于或等于  $K - 1$  个信元时, 该信元将丢弃, 而 CBR 信元只有在发现有  $K$  个信元时才被丢弃。这样可以保证在  $\rho$  小于 1 时 CBR 信元不会被丢弃, 这种假设符合网络的实际应用情况, 可以提高 CBR 业务的服务质量, 而且可以使问题的分析简单化。

在实际的网络中, 背景信元流是多种多样的, 但一般说来都会具有不同程度的突发性, 而且在非突发情况下, 问题的分析相对较为简单, 因此本文只讨论突发环境下各种因素的影响, 为此我们选用 TES(Transfer-Expand-Sample) 方法产生背景信元流, 并利用这些背景流进行计算机仿真。

### 3 突发背景流生成

突发业务的一个重要特征是其存在较强的自相关, 因此实验用的背景信元流生成方法应能生成具有特定自相关特性的数据流。TES 模型是一种 VBR 业务模型, 以该模型为基础可以产生任意分布, 任意自相关的数据序列<sup>[5,6]</sup>, 因此非常适合本研究要求。特别地, 利用此方法产生的突发背景流可以具有长时相关性, 使我们通过实验也能对长时相关性作一些讨论。长时相关性是近年来发现的 VBR 业务所具有一个重要特征, 是目前 ATM 研究的一个热点, 有关它对 ATM 中各类业务的影响还有许多有待进一步研究的地方<sup>[4,7]</sup>。

本文以 BellCore 的 Willinger 博士提供的原始视频数据为基础生成实验数据, 该数据是对电影“星球大战”(Starwars) 进行类似 JPEG 压缩所得的帧编码字节数序列, 实验采用此数据的前 14203 帧编码字节数, 假定在 ATM 适配层(AAL) 按每信元 44 字节封装, 不足时以空字节填充, 则此数据的均值约为 613 个信元, 此序列具有长时相关性。有关 TES 模型的详细情况可以参阅文献[5, 6], TES 实验数据的产生步骤如下(仅给出一步相关值为正数的情况):

(1) 利用递推关系式

$$U_n^+ = \begin{cases} U_0, & n = 0; \\ \langle U_{n-1}^+ + V_n \rangle, & n = 1, 2, 3, \dots \end{cases}$$

产生背景序列  $U_n^+$ 。这里  $V_n$  是相互独立的随机修正序列, 具有共同的概率密度函数  $f_v$ , 且  $f_v$  可以是任意的。为简便起见, 实验中选  $V_n$  为在  $[-a, a]$ ,  $0 < a < 0.5$  之间均匀分布的随机序列, 通过改变  $a$  的值可以使最终产生的实验数据具有不同的自相关性质。 $U_0$  是与  $V_n$  独立且在  $[0, 1)$  上均匀分布的随机数,  $\langle x \rangle$  表示取  $x$  的小数部分。

(2) 对  $U_n^+$  进行平滑转换  $S_\xi(y) = \begin{cases} y/\xi, & 0 \leq y < \xi, \\ (1-y)/(1-\xi), & \xi \leq y < 1 \end{cases}$  得到序列  $S_\xi(U_n^+)$ , 其中

$\xi$  是在  $[0, 1]$  之间的任意一个常数, 称之为平滑参数, 因为它可以使产生的数据序列更加平滑。

(3) 用逆变法  $X_n^+ = F^{-1}(S_\xi(U_n^+))$ , 求目标序列  $X_n^+$ , 式中  $F^{-1}$  为目标序列分布函数的逆函数。由于本实验要求产生与 BellCore 的原始数据分布一致的数据序列, 因此需先求出原始数据分布的直方图, 设它由  $N$  个直方单元组成, 第  $k$  个直方单元  $[l_k, r_k)$  的概率为  $p_k$ , 则

$$F^{-1}(x) = \sum_{k=1}^N l_{(c_{k-1}, c_k)}(x) [l_k + (x - c_{k-1}) \frac{w_k}{p_k}], \quad 0 \leq x \leq 1,$$

式中  $w_k = r_k - l_k$ ;  $c_k = \sum_{i=1}^k c_i$ ;  $l_A(x)$  为集合  $A$  的指示函数, 即  $l_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A; \\ 0, & x \notin A. \end{cases}$

按照以上步骤, 通过调整  $a$  和  $\xi$ , 可以产生与源数据同分布但不同自相关的数据序列。并将一帧对应为 CBR 的一个周期。将各数据分别除以 6 和 61, 可得到背景强度为 100 和 10 的数据序列。可以预见背景强度不同不会影响到自相关。图 2 所示是部分实验数据的自相关函数(本文均采用归一化的自相关函数)。从图可以看出 BellCore 的源数据 0 和产生的 TES 数据 1 具有长时相关性, 但源数据的更强一些。数据 2 是完全随机的。数据 3 近似具有短时相关。4 是一条用作参考的负指数曲线, 其参数为源数据 0 的一步自相关值。图 3 列出了数据 1 前 2048 周期内的波形图(背景强度为 100)。

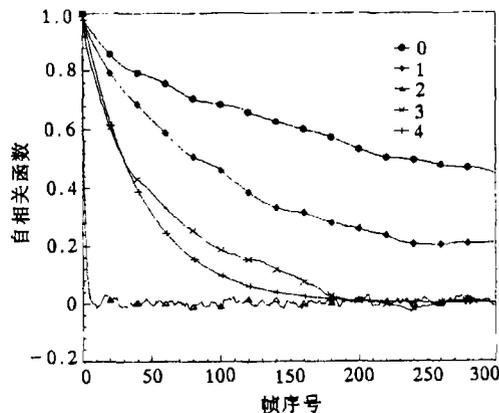


图 2 原始数据的自相关函数 ( $V=100$ )

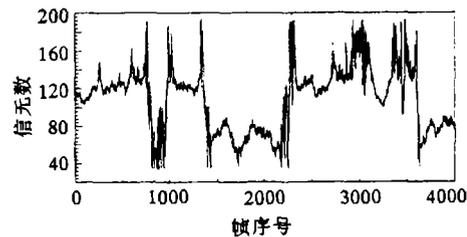


图 3 数据 2 的波形图 ( $V=100$ )

#### 4 实验结果及其意义

利用以上产生的数据, 我们进行了大量的计算机仿真, 限于篇幅, 这里仅在图 4- 图 6 中列出部分实验结果, 根据这些结果, 可以得到一些有意义的结论:

由图 4 可见, 无限排队时, 复接器占用率增加, CBR 业务时延也增加, 而且增加的幅度也越来越快, 在背景流无相关时, 时延很小, 但随着背景流自相关加强, CBR 业务的时延也越来越大; 背景强度越大, CBR 业务的时延也越大。可见复接器占用率、背景流自相关特性和背景强度对 CBR 业务时延都有较严重的影响。

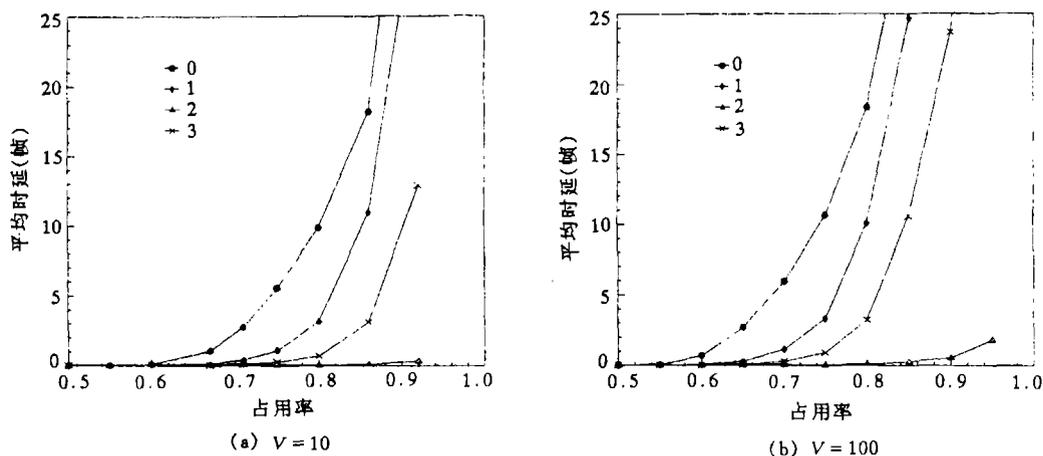


图 4 无限排队时不同占用率与 CBR 业务平均时延关系图

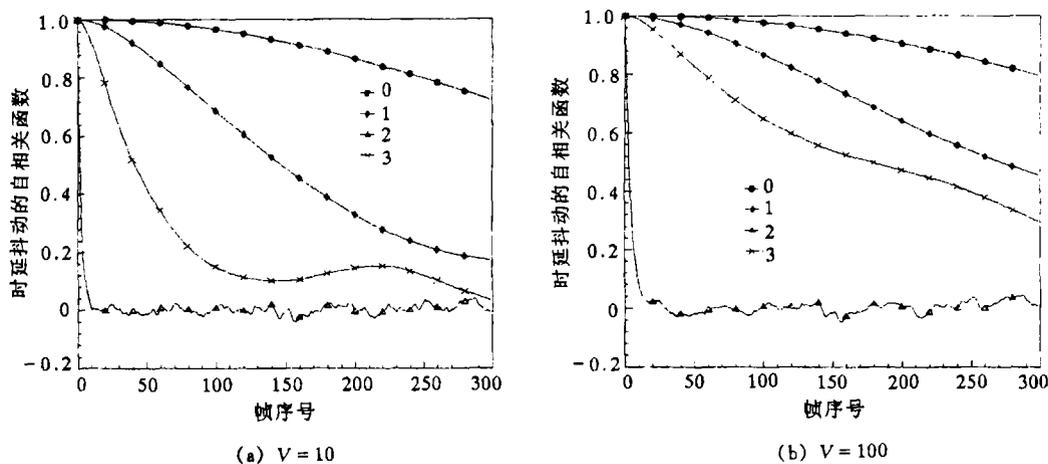


图 5 CBR 业务时延抖动的自相关函数 (复接器占用率为 0.8, 无限排队)

图 5 表明, 无限排队时, 增强背景流自相关, 将导致 CBR 时延抖动的自相关加强, 同时我们注意到除了背景流为无相关时, CBR 时延抖动仍基本为无相关以外, 其它情况下 CBR 时延抖动的自相关都比其对应的背景流的自相关在程度上有所加强。而且背景强度越强, 其加强的程度也越大。

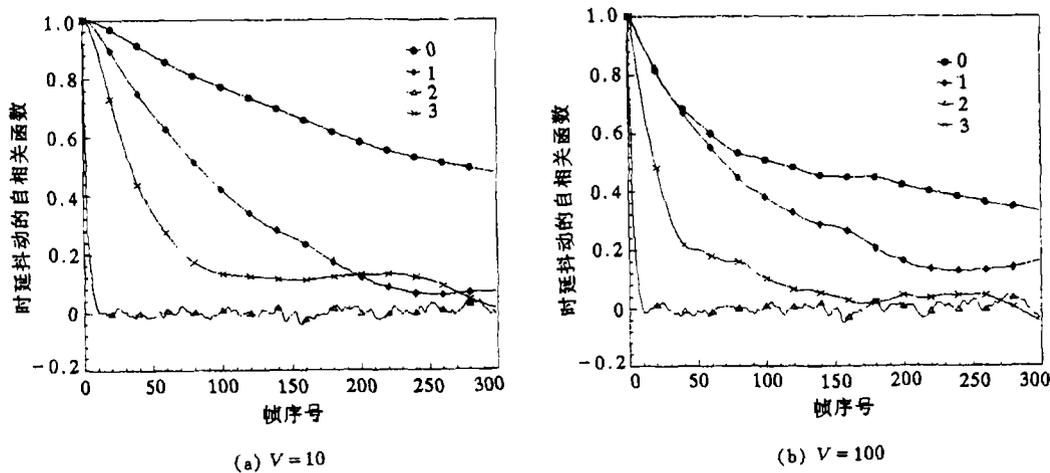


图6 CBR业务时延抖动的自相关函数(复接器占用率为0.8,缓冲区容量为100个信元)

图6列出了占用率为0.8,缓冲区容量为100个信元时,CBR业务时延抖动的情况.有限排队时,背景流自相关增强,也将使CBR时延抖动的自相关加强,但其自相关程度不会超过其对应背景流的,图6(a)甚至可以看到,背景强度较大时,CBR时延抖动自相关比其对应背景流的有明显降低,出现这种现象的一个可能原因是较小缓冲区导致的大量信元丢失屏蔽掉了背景流的部分相关特性.

时延抖动的自相关越强,表明时延更可能在较长的时间段内向同一个方向偏移,这给CBR业务控制带来很多麻烦,需要增加接收端缓冲区容量以保证CBR时钟恢复能正常进行,但增大缓冲区容量,将导致更大的时延,这是与降低实时业务时延的要求相矛盾的.可见背景流的自相关特性对CBR业务影响很大,尤其是具有长时相关性时,CBR业务的服务质量严重恶化,必须尽量加以克服.

由于自相关与突发度有直接的联系,背景业务的自相关越强意味着其突发度越大,由此可见,背景业务的突发特性对CBR的服务质量有很严重的影响.以上的分析表明,设法降低复接器占用率、背景强度、背景流的自相关程度或突发特性可以在一定程度上提高CBR业务的服务质量.

## 5 结束语

本文通过一系列计算机仿真实验,讨论了突发业务环境下CBR业务的性能,指出CBR业务的服务质量受到背景业务相关性、背景强度、复接器占用率等多种因素的影响,尤其是长时相关性的影响不容忽视,在进行流量控制时必须对这些因素加以考虑.

## 参 考 文 献

- [1] Stenmetz R. Human perception of jitter and media synchronization. IEEE J. of SAC, 1996, SAC-14(1): 61-72.
- [2] Matragi W, Bisdikian C, Sohraby K. On the jitter and delay analysis in ATM multiplexer. Proc. IEEE ICC'94, New Orleans, USA: 1994, 738-744.
- [3] Fulton C, Li S Q. Delay jitter corelation analysis for traffic transmission on high speed networks. Proc. IEEE INFOCOM'95, Boston MA, USA: 1995, 717-727.
- [4] Erramilli A, Narayan O, Willinger W. Experimental queueing analysis with long-range dependence packet traffic. IEEE/ACM Trans. on Networking, 1996, N-4(2): 209-223.

- [5] Jagerman D L, Melamed B. The transition and autocorrelation structure of TES process, Part 1: General theory. *Stochastic Models*, 1992, 8(2): 193-219.
- [6] Jagerman D L, Melamed B. The transition and autocorrelation structure of TES process, Part 2: General theory. *Stochastic Models*, 1992, 8(3): 499-527.
- [7] Beran J, Sherman R, Taqqu M S, Willinger W. Long-range dependence in variable-bit-rate video traffic. *IEEE Trans. on Comm*, 1995, COM-43(2/3/4): 1566-1579.

## ON THE EXPERIMENT ABOUT QOS OF CBR TRAFFIC IN A BURSTY ENVIRONMENT

Hong Xinwei    Xu Shugong\*    Huang Zailu    Huang Liqun

*(Electron. and Info. Eng. Dept., Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)*

*\*(Electronical Engineering Department, Tsinghua University, Beijing 100084)*

**Abstract** CBR is one of the most important kinds of real-time traffic in ATM network. Guarantying the quality of service(QOS) of CBR traffic is crucial to the success of ATM technology. So, analyzing the QOS of the CBR traffic is worth studying. The paper analyzes the QOS of CBR traffic in a bursty enviroment through computer simulation. It is found that multiplexer utilization, buffer capacity, background intensity and autocorrelation property of the background traffic can all make hard effects on the delay and delay jitter of CBR traffic. Especially, when the background traffic exhibits long-range dependence, the QOS of CBR traffic will degrade severely. Some control actions should be taken to minimize the effects of all the factors.

**Key words** Delay, Delay jitter, Autocorrelation, TES model

**洪新伟:** 男, 1969 年生, 博士, 主要从事 ATM 技术, 程控交换技术, 智能网技术等方面的研究.

**徐树公:** 男, 1969 年生, 博士, 现在清华大学电子系作博士后研究, 从事图像处理和 ATM 技术等方面的研究.

**黄载禄:** 男, 1937 年生, 教授, 博士生导师, 信息科学与工程学院院长, 从事通信、信号处理等方面的研究工作, 已发表论文 80 余篇, 获多项科研成果奖, 其中 EIM-601 大容量局用数字程控交换机获电子部 1995 年科技进步特等奖.

**黄立群:** 男, 1970 年生, 博士, 从事系统控制和 ATM 技术等方面的研究.