

MPEG 标准 VBR 视频业务新模型及其性能研究

李生红¹, 刘泽民²

(1. 上海交通大学电子工程系浩然大楼 19 楼, 上海 200030; 2. 北京邮电大学电信工程学院, 北京 100876)

摘 要: 迄今为止, MPEG-1 标准下的可变比特率(VBR)视频业务建模问题还没有得到很好的解决. 鉴于此, 本文在分析这类业务统计特性的基础上, 对这类业务提出了一种新的帧层模型. 该模型可以很好地体现这类业务的一、二阶统计特性. 通过使用该模型模拟实际视频信号, 也显示了该模型在体现实际业务排队性能上的有效性.

关键词: ATM 网络; 可变比特率视频业务; 业务建模; 长相关性; 活动图像专家组 (MPEG)

中图分类号: TN141.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2000) 01-0042-03

A New Model for MPEG VBR Video Traffic and Its Performance Study

LI Sheng-hong¹, LIU Ze-min²

(1. Department of Electronic Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China;

2. School of Telecommunications, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: So far, the problem of modelling MPEG-1 VBR video traffic has not been solved well. For this reason, based on the analysis of their statistical properties, this paper presents a new frame-layer traffic model for the type of traffics. The model can reflect. The first and second order statistical properties of the type of traffics well. By using it to imitate real video signal, it is also show that the model can approximate the performance of real traffic in a queue effectively.

Key words: ATM networks; variable bit rate video traffic (VBR video traffic); traffic modelling; long-range dependence; Moving Picture Expert Group (MPEG).

1 引言

业务建模是 ATM 网上的一个重要课题. ATM 网的许多性能分析和控制机制都需要合适的业务模型. 鉴于业务的一、二阶统计特性对 ATM 网的许多性能分析和控制机制的效果好坏有重要影响^[1,2], 所以一个业务模型应尽可能反映实际业务的这两种统计特征.

迄今为止, 虽然众多学者已为未来 ATM 网上的一个主要业务类型——VBR 视频业务提出了大量模型^[3~6], 然而, 对于 MPEG 编码标准下的视频业务, 目前对其每帧所含信元数的建模都是间接实现的^[5,6], 还没有模型在对这类业务进行建模时同时考虑各类帧的一阶统计特性及各类帧之间的相关性, 所以它们在反映这些特性方面都存在着不足.

鉴于以上原因, 本文在分析 MPEG-1 编码标准下的 VBR 视频业务的统计特性基础上, 给出了一种能够直接对该类业务每帧信元数进行建模的基于扩展自相似过程的业务模型. 该业务模型可以很好地反映这类视频业务的上述统计特性. 在仿真实验中, 通过使用该模型模拟实际视频信号, 证明了它能够很好地近似实际业务的排队性能.

本文第二部分简要介绍了 MPEG 视频编码标准的有关内容并分析了这种编码标准下的视频业务的统计特性; 第三部

分详细描述了本文所提出的 MPEG-1 标准下的视频业务新模型; 在第四部分, 通过仿真实验, 验证了本文所给模型的有效性; 最后, 对全文进行了总结.

2 MPEG-1 标准下的视频业务特性

就视频业务而言, MPEG 将是被普遍采用的编码标准. 对于该标准, 目前经常遇到的是两种方案, 即 MPEG-1 和 MPEG-2. MPEG-1 是基于 DCT 的, 并且使用有运动补偿的帧间双向预测. MPEG-2 完全引用了 MPEG-1 的上述基本结构, 并对此进行了扩展. 就 ATM 网上视频信号传送而言, MPEG-2 功能扩展的一种表现是 MPEG-2 允许分层编码, 而 MPEG-1 却不允许. MPEG 编码标准通常使用 I、P、B 三种帧类型, 其中, I 帧仅使用了帧内编码技术; P 帧使用了基于前一个 I 帧或 P 帧的运动补偿技术; B 帧也使用了运动补偿技术, 但其补偿既基于前一个 I 帧或 P 帧, 又基于下一个 I 帧或 P 帧, 即, 就该类帧而言, 对于图像中的每个宏块, 都要计算前后两个运动矢量, 然后根据前后两个最佳匹配块, 具体选择补偿方式: 从前一个 I 帧或 P 帧补偿, 从下一个 I 帧或 P 帧补偿, 或者从前后两个方向进行补偿. 通常, I 帧的比特数/帧比 P 帧的要少, 而 B 帧的比特数/帧最少. 在 MPEG 编码标准中, 经常以确定的周期序列对帧进行排列, 例如, “IBBPBB”, 如此周期帧序列中的每

收稿日期: 1998-10-12; 修订日期: 1999-04-12

基金项目: 邮电部科技专题项目资助课题

一个周期都被称为一个图像组 GOP(如图 1 所示).MPEG 编码标准允许一个 GOP 可以含有任意的帧数,并且 GOP 中的不同类型的帧的排列方式是任意的,所以,MPEG 标准下的 VBR 视频业务的统计特性会随 GOP 格式的不同而改变,文献[7]在这方面进行了详细讨论.由于目前许多编码器都使用 MPEG-1 方案,并且使用 MPEG-2 方案的编码器输出的基层信息流与使用 MPEG-1 方案的编码器输出的信息流的统计特性极其相似,兼之 MPEG-1 方案中常使用的 GOP 格式为“IBBPBBPBBPBB”,所以,本文对 MPEG-1 标准下的 GOP 格式为“IBBPBBPBBPBB”的视频业务的统计特性进行了研究,分析了许多视频信号数据集.由于“Starwars”数据集是广泛被使用的具有代表性的数据集,所以在此仅给出该数据集的特性,其它视频信号数据集的特性与该数据集的特性是相似的.对于该数据集,表 1 中列出了它的一些统计值.此外,对于这一数据集中的每种帧类型,其每帧的信元数的概率分布密度直方图分别如图 2(a)~2(c)中的实线所示,可见每类帧的概率分布都近似服从形状参数大于 1 情形下的 Gamma 分布.图 3 给出了该数据集的帧相关性曲线,从该曲线可见,MPEG-1 标准下的视频业务具有长相关性,并且还具有明显的周期性尖峰,前者是由于视频业务的强突发性造成的,而后者却与 MPEG 编码标准有关.

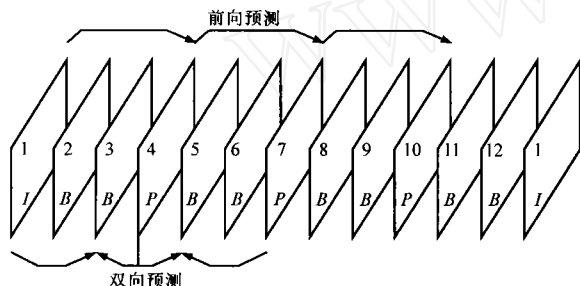


图 1 MPEG 编码序列的一个图像组 GOP

表 1 Starwars 的统计值

	I 帧	P 帧	B 帧
均值(信元)	156.625	60.3958	18.7917
标准差(信元)	51.6863	38.6533	12.5904

3 MPEG-1 标准下的视频业务新模型

基于上述对 MPEG-1 视频业务统计特性的分析,在此,给出一种新的用于直接建模该类业务每帧所含信元数的模型,如下

$$x(n) = a_n e^{b_n [B_f(nd) - B_f((n-1)d)]} \quad (1)$$

其中, $x(n)$ 代表第 $n(n \geq 1)$ 帧所含有的信元个数, d 为一代表时间间隔的正常数; a_n 、 b_n 是由帧类型所决定的常数,分别如下所示;

$$a_n = \begin{cases} A_1, & I \\ A_2, & P \text{ 帧} \\ A_3, & B \end{cases} \quad (2) \quad b_n = \begin{cases} B_1, & I \\ B_2, & P \text{ 帧} \\ B_3, & B \end{cases} \quad (3)$$

而 $B_f(nd) - B_f((n-1)d)$ 是扩展自相似过程的增量过程,该增量过程是一可以具有长相关性的零均值高斯过程,其方差

为 $f(d)\delta_1^2$,相关函数表达式如下式(4)所示,其中,函数 $f(\cdot)$ 被称为增长函数^[8].

$$r_x(n, d) = \frac{\delta_1^2}{2} \{f[d(n+1)] + f[d(n-1)] - 2f(nd)\} \quad (4)$$

在该模型中,由于 $B_f(nd) - B_f((n-1)d)$ 是高斯过程,所以利用下述性质^[9]:假如随机变量 $Y = \ln X$ 服从正态分布 $N(\mu, \delta^2)$,则随机变量 $X = e^Y$ 服从对数正态分布 $LN(\mu, \delta^2)$,其均值为 $E[X] = e^{(\delta^2/2) + \mu}$,方差为 $\text{Var}[X] = e^{2\mu + \delta^2}(e^{\delta^2} - 1)$,易导出,由该模型所给出的 I、P、B 类帧的每帧信元数的边缘概率分布分别服从对数正态分布 $LN(\ln A_1, B_1^2 f(d)\delta_1^2)$, $LN(\ln A_2, B_2^2 f(d)\delta_1^2)$, $LN(\ln A_3, B_3^2 f(d)\delta_1^2)$.由于在上一部分对 MPEG-1 视频业务的统计特性的分析过程中已指出,这类业务的每类帧的边缘分布都近似服从形状参数大于 1 情形下的 Gamma 分布,而根据数学知识可知,形状参数大于 1 情形下的 Gamma 分布与具有相同均值和方差的对数正态分布是很相似的,所以本文所给模型的每类帧的边缘分布都可以很好地近似实际业务的相应边缘分布.

下面,再研究该模型的相关性.相关性 $r(m)$ 定义如下

$$r(m) = \frac{\text{cov}[x(1), x(m+1)]}{\text{Var}[x(1)]}, \quad m \geq 0 \quad (5)$$

利用式(1),上述正态分布和对数正态分布的关系,扩展自相似过程的定义^[8],以及等式(4),可得方差 $\text{Var}[x(1)]$,协方差 $\text{Cov}[x(1), x(m+1)]$ 的表达式分别为

$$\begin{aligned} \text{Var}[x(1)] &= E[x(1)^2] - E[x(1)]^2 = A_1^2 e^{2B_1^2 f(d)\delta_1^2} \\ &\quad - A_1^2 e^{B_1^2 f(d)\delta_1^2} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{Cov}[x(1), x(m+1)] &= E[x(1)x(m+1)] - E[x(1)] \\ &\quad \cdot E[x(m+1)] = A_1 a_{m+1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\cdot e^{\frac{\delta_1^2}{2} [B_1^2 f(d) + b_{m+1}^2 f(d) + B_1 b_{m+1} [f((m+1)d) + f((m-1)d) - 2f(md)]]} \\ &\quad - A_1 a_{m+1} e^{\frac{\delta_1^2}{2} f(d) (B_1^2 + b_{m+1}^2)} \end{aligned} \quad (7)$$

所以,

$$\begin{aligned} r(m) &= \frac{a_{m+1} e^{\frac{\delta_1^2}{2} [b_{m+1}^2 f(d) + B_1 b_{m+1} [f((m+1)d) + f((m-1)d) - 2f(md)]]}}{A_1 e^{\frac{\delta_1^2}{2} B_1^2 f(d)\delta_1^2} - A_1 e^{\frac{\delta_1^2}{2} B_1^2 f(d)\delta_1^2}} \\ &\quad - \frac{a_{m+1} e^{\frac{\delta_1^2}{2} b_{m+1}^2 f(d)\delta_1^2}}{A_1 e^{\frac{\delta_1^2}{2} B_1^2 f(d)\delta_1^2} - A_1 e^{\frac{\delta_1^2}{2} B_1^2 f(d)\delta_1^2}} \end{aligned} \quad (8)$$

对于该式,由于其分子中所含有的 $\frac{\delta_1^2}{2} [f((m+1)d) + f((m-1)d) - 2f(md)]$ 正是扩展自相似过程的增量的相关性表达式,所以根据扩展自相似过程的增量可以具有长相关性,可得 $r(m)$ 可以具有长相关性.此外,就本文所给的模型而言,其参数 a_n 、 b_n 是随时间周期性变化的,所以通过式(8)可以得到,其相关函数随着自变量 m 的增加出现周期性尖峰.这两点正符合第二部分所述 MPEG-1 视频业务的二阶统计特性的分析结果.

4 仿真实验

为了验证本文所给模型的有效性,在这一部分,利用了

Starwars 视频信号数据集. 该数据集的统计特性已在第二部分给出. 利用本文给出的模型模拟该视频信号. 对于该模型, 为了匹配实际业务的统计特性, 在此使用了下述方法估计它的特定参数值, 所估计到的结果如表 2 所示: 令 $d=1/24$, $\delta_1^2=1$, $f(s)=((2H+\rho(2-2H))/(2H-\rho(2-2H))-1)/(1-|\rho|)$ $(1-\rho|s|^{1+H})+(2H+\rho(2-2H))/(2H-\rho(2-2H))|s|^{2H}$, 其中, $0.5 < H < 1$, $-1 < \rho < G(H)$, $0.75 < G(H) < 1$. 基于该模型的 I、P、B 类帧的每帧信元数的边缘概率分别服从对数正态分布 $\text{LN}(\ln A_1, B_1^2 f(d) \delta_1^2)$, $\text{LN}(\ln A_2, B_2^2 f(d) \delta_1^2)$ 和 $\text{LN}(\ln A_3, B_3^2 f(d) \delta_1^2)$, 令实际业务各类帧的均值和方差分别与模型所得到的各类帧的均值与方差相等, 则可得到三个简单二元方程组, 解这些方程组就可得到 $|A_1, A_2, A_3, B_1^2 f(d), B_2^2 f(d), B_3^2 f(d)|$ 的估计值. 然后, 借助这些估计值, 并使用最小均方误差法让式(8)所给出的相关特性 $r(m)$ 拟合实际业务的相关特性曲线, 即可得到参数 $|H, \rho, B_1, B_2, B_3|$ 的估计值. 图 2 及图 4 的实验结果表明, 基于上述参数估计值, 本文模型的统计特性能够很好地匹配实际业务的统计特性.

表 2 模型的特定参数估计值

待定参数	A_1	A_2	A_3	B_1
估计值	148.7356	50.8697	15.6116	7.2410
待定参数	B_2	B_3	H	ρ
估计值	3.1962	13.7145	0.98	0.0

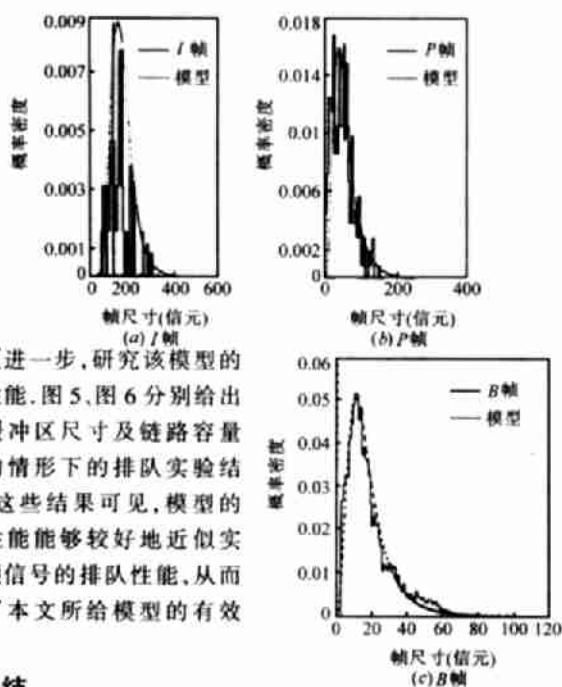


图 2 各类帧的概率密度

5 总结

本文在对 MPEG-1 标准下的 VBR 视频业务的统计特性进行分析的基础上, 提出了一种新的业务模型. 该模型能够很好地体现这类视频业务的边缘概率分布特性及长相关性, 并且还可体现由于采用 MPEG 编码标准所导致的周期性尖峰. 通过使用该模型模拟实际视频信号, 我们也指出了其能够很好地匹配实际业务的排队性能. 值得指出的是, 虽然本文所给的模型是在 GOP 格式为

“IBBPBBPBBPBB”下进行分析的基础上提出的, 但是, 从对式(1)所给模型的特性的分析可见, 该模型不受 GOP 格式的影响, 由于缺少相应 GOP 格式的视频业务数据, 所以本文未通过仿真实验验证在其它 GOP 格式下该模型的有效性.

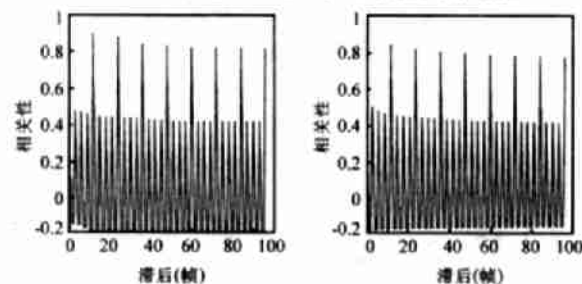


图 3 Starwars 的相关性

图 4 模型的相关性

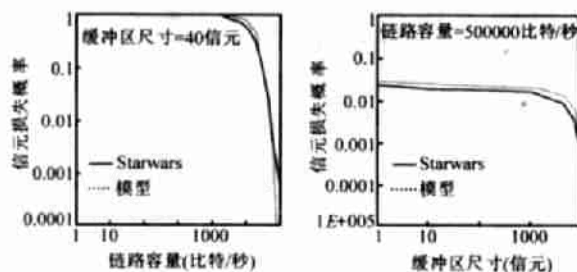


图 5 缓冲区尺寸不变情形下链路容量与信元损失概率的关系

图 6 链路容量不变情形下缓冲区尺寸与信元损失概率的关系



李生红 分别于 1993 及 1996 年在吉林工业大学获取学士和硕士学位并于 1999 年 7 月在北京邮电大学获博士学位. 目前, 在上海交通大学从事博士后研究工作. 研究兴趣包括 ATM 关键技术的研究、智能方法在通信领域的应用以及高阶统计量在信号处理领域的应用.

刘泽民 教授, 博士生导师, 电子学报常务编委和 IEEE 高级会员. 于 1951 年毕业于上海交通大学. 目前在北京邮电大学电信工程学院任教. 研究兴趣包括神经网络、模糊系统和高速通信网.

参考文献

- [1] H. Michiel, K. Laevens. Teletraffic engineering in a broad-band era. Proceedings of the IEEE, 1997, 85(12): 2007 ~ 2033
- [2] D. P. Heyman, T. V. Lakshman. IEEE/ACM Trans Networking, 1996, 4(1): 40 ~ 48
- [3] P. R. Jelenkovic, B. Melamed. Automated TES modeling of compressed video. IEEE INFOCOM'95, Boston, 1995, 2: 746 ~ 752
- [4] J. Beran, R. Sherman, M. S. Taqqu, et al. IEEE Trans Comm., 1995, 43(2/3/4): 1566 ~ 1579
- [5] M. R. Ismail, et al. Modeling Prioritized MPEG Video Using TES and a Frame Spreading Strategy for Transmission in ATM Networks. Proc. Infocom'95, 1995: 762 ~ 770
- [6] B. Jabbari, et al. IEEE Trans. Circuits and Sys. For Video Tech., 1993, 3(3): 199 ~ 207

(下转第 38 页)

向的信号,用位置信息表示曲线,并完成积累作用.该阵列中不同位置的积分元之间没有连接,而 TFS 的输出是这些元的激励信号.

在位置 (i, j) 的积分元用 $u_{ij}^{\text{SAR}}(t)$ 表示,它的膜方程(自激积累方程)为:

$$\frac{du_{ij}^{\text{SAR}}(t)}{dt} = -\eta^{\text{SAR}} u_{ij}^{\text{SAR}}(t) + \sum_{\alpha, \beta} \sum_{k, l} \sum_{n, m} TF_{ij}^{\alpha\beta}(k, l, n, m, t) \quad (18)$$

式中 $(\alpha, \beta) \neq (i, j)$, 参数 η^{SAR} 控制漏出的速度.该元的响应即系统的输出是:

$$u_{ij}^{\text{SAR}}(t) = \begin{cases} v_{ij}^{\text{SAR}}(t), & v_{ij}^{\text{SAR}}(t) \geq 0 \\ 0, & v_{ij}^{\text{SAR}}(t) < 0 \end{cases} \quad (19)$$

6 讨论

虽然点火率能较好地表示强度,但它是以丧失定时和瞬时表示的功能为代价的,这是点火率神经模型存在的理论缺陷.为了实施时分操作,必须使用脉冲元.但脉冲元却不易表达瞬时强度.因此点火率形式和脉冲形式表示各有长短处.

从计算的观点,视觉曲线在空间分布的任意性对现有神经计算模型构成严重挑战.因此在本系统之前还没有实现空间动态搜索和时间区分的神经计算机制.事实上,即使没有神经硬件的限制,如采用其它方法,曲线增强仍然是困难的问题.本系统已经能够用于自然图像的处理,而过去的神经计算方法仅能针对人造图像.我们的体会是:必须使用不确定的但又克服随机性的统计方法,一次给出确定结论的方法均是不可取的.

参考文献

- [1] Z. Li. A neural model of contour integration in the primary visual cortex. *Neural Computation*, 1998, 10: 903 ~ 940
- [2] S. Grossberg & E. Mingolla. Neural dynamics of form perception: boundary completion, illusory figures, and neon color spreading. *Psychophys. Review*, 1985, 92: 173 ~ 211
- [3] S. Grossberg & E. Mingolla. Neural dynamics of perceptual grouping: textures, boundaries, and emergent segmentations. *Percep. Psychophys.* 1985, 38: 141 ~ 171
- [4] S. Grossberg & D. Somers. Synchronized oscillations during cooperative feature linking in a cortical model of visual perception. *Neural Networks*, 1991, 4: 453 ~ 466
- [5] Y. Hirakura, Y. Yamaguchi, H. Shimizu, & S. Nagai. Dynamic linking among neural oscillators leads to flexible pattern recognition with figure-ground separation. *Neural Networks*, 1996, 9: 189 ~ 209

郭雷 工学博士,西北工业大学教授、博士生导师,国家杰出青年科学基金获得者.主要研究领域:视觉计算、神经计算、信号处理和模式识别.



刘天明 1999 年西北工业大学硕士毕业,现为上海交通大学博士生.

(上接第 44 页)

- [7] O. Rose. Statistical properties of MPEG video traffic and their impact on traffic modeling in ATM systems. *Proc. 20th Ann. Conf. on Local Computer Networks*, 1995: 397 ~ 406
- [8] M. K. Lance, C. C. Jay Kuo. *IEEE ICASSP'94*, New York, 1994, 4: IV-125 ~ IV-128
- [9] 沈信祥等. 现代工程数学手册. 武汉市: 华中工学院出版社, 1995, IV: 80 ~ 81