

论业务量相关性对排队性能的影响¹

晏冠华 金跃辉 程时端

(北京邮电大学程控交换技术与通信网国家重点实验室 北京 100876)

摘 要 探讨业务量的相关性对排队系统性能究竟会带来什么样的影响,对于高速网络中流量控制机制和资源分配算法具有非常重要的意义。该文采用了一种独特的方法,来分析业务量的相关性在一定的网络环境下对于排队系统性能的影响。仿真的结果显示:一定时间尺度范围内的长期相关性导致排队性能的恶化,而且这种影响对于增加缓冲区的大小并不十分敏感。而且,业务量序列的边际分布和 Hurst 参数仍不足以充分决定排队性能的好坏。

关键词 业务量相关性, 自相似业务量, 排队性能, Hurst 参数

中图分类号 TN919.3

1 引言

从 20 世纪 80 年代以来,对于真实通信网(包括以太网,广域网,ISDN,7 号信令网等)业务量的大量监测数据表明:这些网络的业务量在很大的时间尺度下都呈现出统计自相似特征(或分形特征);而且,这种自相似特征不随网络的拓扑结构,用户数量,服务和利用类型的变化而消失^[1]。尽管如此,自相似业务量模型在实际应用中仍然受到很大的阻力,其中一个主要原因是^[2]:业务量的长期相关性对网络的排队性能究竟会带来什么样的影响呢?

直观看来,由于长相关业务量的突发性更为明显,导致拥塞易于积累,从而恶化网络的排队性能。还有研究表明,长期相关性似乎对于业务量整形不敏感^[3]。甚至有人得出自相似性是 ATM 的“坟墓”这样偏激的结论。因此,长期相关性的坚持者认为必须将其纳入网络资源分配和调度的考虑中,才能消除由此可能对网络性能的不利影响^[4]。

然而,也有人认为^[4],尽管长期相关现象在许多网络的业务量中确实存在,但在有限缓冲区的网络中,传统的业务量模型已经足够描述与缓冲区大小成比例的有限拖尾长度的自相关结构,因此,没有必要在现有的排队分析模型和流量控制算法中引入自相似特征的因素。

为了进一步深入地了解业务量所呈现出来的相关性(既包括长期相关性,也包括短期相关性)可能对网络排队性能的影响,本文采取了一种独特的分析方法,即不同程度地破坏真实业务量数据中的长期相关性或短期相关性,然后分别考察新的业务量数据序列对于排队性能的影响。本文将按照如下结构进行组织。第 2 节对一个真实业务量数据序列进行分析;同时,我们对这个数据序列进行不同方式的重组织,从而破坏原有数据序列的长期相关性或者短期相关性,并对所得到数据序列的自相似程度进行估计。在第 3 节中,我们讨论各数据序列在不同的缓冲区长度和不同的排队系统负载条件下的排队性能。最后,我们对全文加以总结。

2 真实业务量数据的分析及其重组织

我们采用的业务量数据序列是电影“星球大战”的 MPEG-I 数据子集。该数据集的长度为 10000 个画面组(GOP)。该数据集的均值为 3927 信元/画面组,标准方差为 1439.5 信元/画面组如图 1 所示。

我们把“星球大战”数据集集中的 $N(N = 10000)$ 个数据划分成 m 个等长的数据块,并采取两种方式对原有数据进行重组织。一种方案是将 m 个数据块之间的相对顺序打乱,目的是破坏原有数据集的长期相关性,但是保存其短期相关性。另一种方案是将 m 个数据块内部数据的相对顺序打乱,目的是破坏原有数据集的短期相关性,但是保存其长期相关性。

¹ 2000-04-01 收到, 2000-08-20 定稿
诺基亚中国研发中心资助

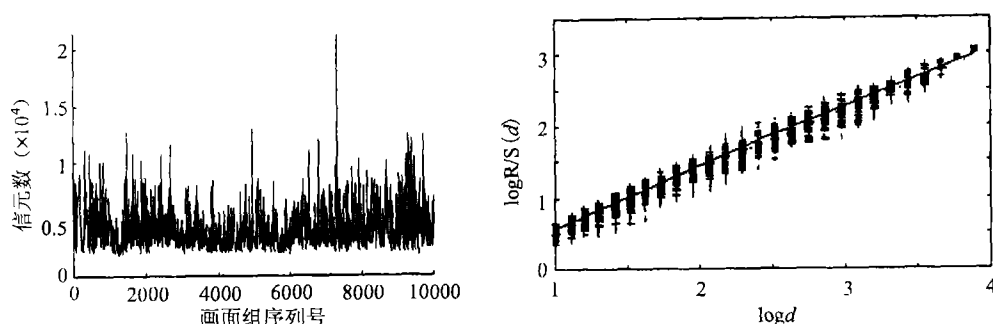


图1 “星球大战”数据集的序列片段及其 Hurst 参数估计
(R/S 分析法估计 Hurst 参数示意图中曲线斜率为 H .)

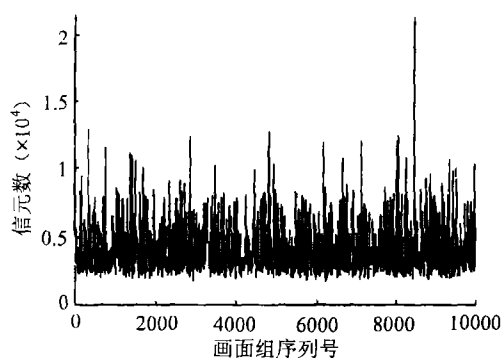
在本实验中, m 分别取值为 10, 100, 1000。为了后面论述的方便, 我们这样表示所得到的新数据集。原始数据集被定义为序列 0。序列 1, 2, 3 采用第一种数据重组织方案, m 分别取值为 10, 100, 1000。序列 4, 5, 6 采用第二种数据重组织方案, m 分别取值为 10, 100, 1000。所产生的新业务量序列如图 2 所示。另外, 实验所采用的打乱算法为对原数据序列进行随机排序, 即假设一个一维数组 $A[1 \cdots m]$, 取 $[1 \cdots m]$ 上均匀分布的随机数 k , 调换 $A[m]$ 与 $A[k]$, 然后再考察 $A[1 \cdots m-1]$, 依此类推, 直至 $A[1 \cdots 1]$ 。为了增强随机效果, 我们重复多次打乱操作。

我们采用 R/S(rescaled adjusted range) 分析法对序列 1-6 分别估算 Hurst 参数, 结果如表 1 所示。通过分析结果可以发现, 数据块之间顺序打乱, 将导致 Hurst 参数降低, 也就是说, 所得的数据序列长期相关程度将相对降低。同时, 数据块大小 m 越大, 重组织后所保留的长期相关性的成分也就越多, 从而 Hurst 参数的值也就越大。这与试验的结果相吻合。

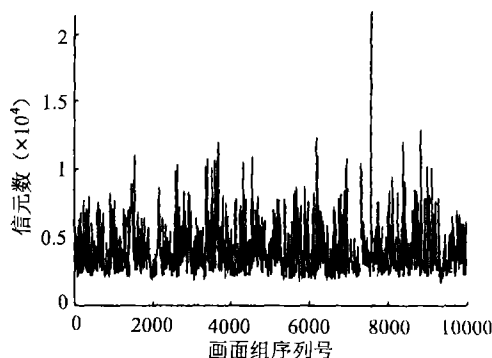
表 1 各序列的 Hurst 参数估计 (R/S 分析法)

打乱方案	组间打乱			组内打乱		
分组大小	10	100	1000	10	100	1000
序列号	1	2	3	4	5	6
Hurst 参数估计	0.5692	0.7255	0.8747	0.8192	1.0345	0.9260

对于将数据块内部各数据的相对顺序打乱, 而保持数据块之间的相对顺序, 实验结果显示 Hurst 参数都保持较高的值。这意味着新的数据序列的长期相关性仍然很强。显然, 由于实验的初衷便是为了破坏真实业务量序列的短期相关性, 而保持其长期相关性, 并且 Hurst 参数用来刻画业务量的长期相关程度, 所以, 实验结果也与预期目标相一致。



(1) 序列 1



(2) 序列 2

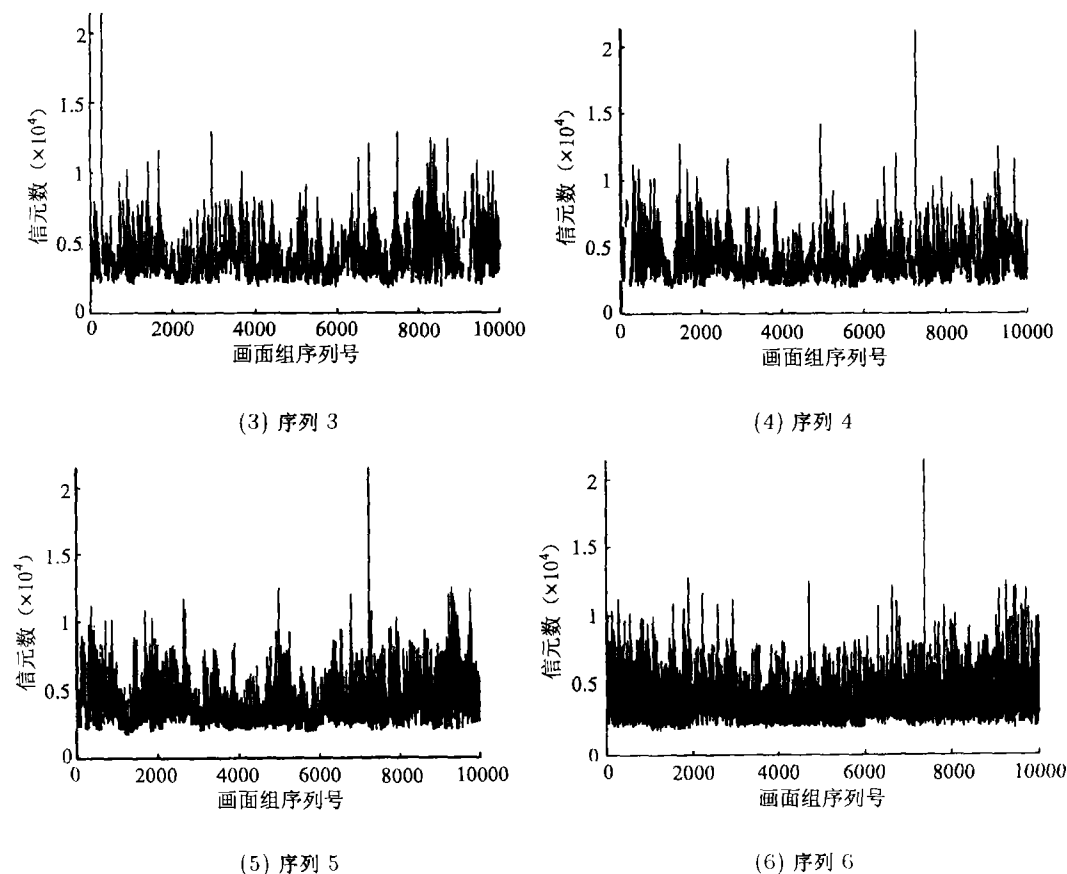
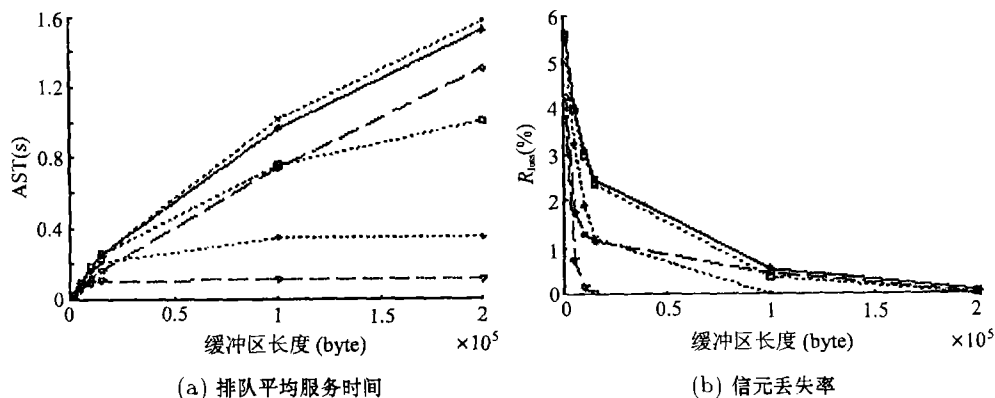


图 2 重组织后的数据序列图

3 数据序列的排队性能分析

为了考察各个序列的排队性能, 我们设计了一个单服务器、服务时间服从确定分布的排队系统。该排队系统的输入参数包括: 排队系统的负载 ρ , 缓冲区的长度 buffer-size 。而此排队系统的输出参数为: 平均服务时间 AST , 信元丢失率 R_{loss} 。

首先, 我们考察排队系统负载 ρ 一定时 ($\rho = 0.8$), 排队系统的性能与缓冲区大小 buffer-size 之间的关系。实验结果如图 3 所示。

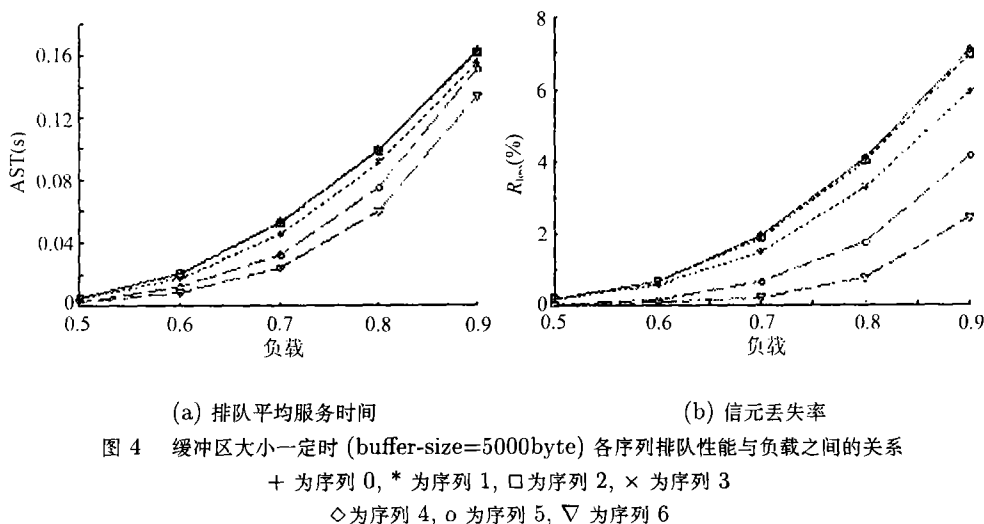
图 3 系统负载一定时 ($\rho = 0.8$) 各序列排队性能与缓冲区大小之间的关系

+ 为序列 0, * 为序列 1, □ 为序列 2, × 为序列 3

◇ 为序列 4, o 为序列 5, ▽ 为序列 6

队列缓冲区大小的增加, 序列的平均服务时间增加的越不明显, 而信元丢失率曲线的拖尾越不明显。另外, 从图 3 中我们还发现序列 0 与序列 4 的平均服务时间曲线与信元丢失率曲线都完全重合, 这表明, 极小时间尺度内的短期相关性的改变, 对于排队性能来说几乎毫无影响。

我们接着考察在有限缓冲区大小 (buffer-size=5000 byte) 的条件下, 排队系统负载 ρ 对各序列排队性能的影响。实验结果如图 4 所示。



从图 4 可以看出, 各序列在排队系统负荷逐步增加的同时, 平均服务时间与信元丢失率都呈非线性增加, 而各序列的相对关系表明, 在一定缓冲区大小 (buffer-size=5000byte) 的条件下, 随着系统负荷的增加, 平均服务时间与信元丢失率在短期相关性保持不变时对长期相关性的改变并不十分敏感, 但短期相关性改变的时间尺度足够大时, 系统负荷的增加导致序列平均服务时间与信元丢失率增加的程度减弱。

综合上面的实验结果, 我们发现 Hurst 参数并不是唯一决定排队性能的因素。因为各序列都是原数据序列的重组织, 因此它们有着同样的边际分布。在这样的条件下, 尽管对于序列 1 至序列 3 来说, 遵循着 Hurst 参数越大排队性能越差这样的规律, 但是对于序列 4 至序列 6 来说, 它们并不遵循这一原则。序列 4 至序列 6 的 Hurst 参数都接近 1, 这意味着它们具有很强的长期相关性, 但是, 它们的排队性能却未必很坏, 甚至对于序列 6 来说, 它的排队平均服务时间和信元丢失率相对其它序列来说都是最小的。

事实上, 对于原数据序列进行重组织的第二种方案来说, 当数据块大小 m 增加足够大时, 此时进行组内打乱破坏的不仅仅是短期相关性, 还覆盖到原有数据序列的长期相关性。因此, 实验结果说明, 只是一定时间尺度范围内的长期相关性会对排队性能带来非常明显的影响。

4 结 论

大量对于真实网络的业务量统计发现, 它们在很长的时间上都呈现自相似特征。尽管如此, 在实际应用中, 自相似业务量模型的使用仍然遇到一定的阻力, 原因在于对下面两个问题缺乏理想的回答^[2]: (1) 现有分组网络中自相似现象产生的物理原因是什么? (2) 自相似现象对于网络和协议的设计和性能分析会带来什么样的后果?

探讨业务量的相关性对排队系统性能究竟会带来什么样的影响, 对于高速网络中流量控制机制和资源分配算法具有非常重要的意义。本文采取一种独特的方法, 来研究业务量的相关性对于排队性能的影响。首先我们对真实业务量序列进行分组, 并按照组内打乱和组间打乱两种方案来对原序列进行重组织, 然后考察在不同条件 (缓冲区大小和系统负载) 下新序列的排队性能。实验结果显示, 当系统负荷保持不变时, 随着缓冲区的增大, 业务量在一定时间尺度内的长期相关性越强, 排队系统的性能恶化程度越明显。而在一定缓冲区的条件下, 随着系统负荷的增加, 排队系统的性能对长期相关性的改变并不十分敏感。

另一个重要的结论是: 业务量序列即使在相同边际分布的条件下, Hurst 参数仍不足以充分描述排队系统的性能。该结论意味着, 仍然存在除了业务量序列边际分布和自相关结构以外的因素影响网络的排队性能。

参 考 文 献

- [1] 蔡弘、陈惠民、李衍达, 自相似业务模型—通信网络突发业务建模的新方法, 通信学报, 1997, 18(11), 51-59.
- [2] W. Willinger, M. S. Taqqu, R. Sherman, D. V. Wilson, Self-similarity through high-variability: statistical analysis of ethernet LAN traffic at the source level, Proc. of the ACM/Sigcomm'95 U.S.A., 1995.
- [3] S. Molnár, A. Vitécs, On modeling and shaping self-similar ATM traffic, Proc. of ITC15, Washington, D.C., 1997, 1409-1420.
- [4] M. M. Krunz, A. M. Makowski, Modeling video traffic using $M/G/\infty$ input processes. A compromise between Markovian and LRD models, IEEE J. on Selected Areas in Communications, 1998, 16(5), 733-748.

RESEARCH ON THE IMPACT OF TRAFFIC DEPENDENCE ON QUEUEING PERFORMANCE

Yan Guanhua Jin Yuehui Cheng Shidian

(National Laboratory of Switching Technology and Telecommunication Networks,
Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract The impact of traffic dependence on queueing performance is of great significance to traffic control mechanism and resource allocation algorithm in high-speed networks. This article adopts a unique method to analyze the influence that the traffic dependence brings to the queueing performance under given network conditions. The results of simulation show that long-range dependence during a certain time scale will deteriorate the queueing performance, and that such an effect is insensitive to increasing the buffer size. Also the marginal distribution and Hurst exponent of traffic series are inadequate to determine the queueing performance.

Key words Traffic dependence, Self-similar traffic, Queueing performance, Hurst exponent

- 晏冠华: 男, 1977 年生, 现在美国 Dartmouth College 攻读计算机科学博士学位, 研究方向为网络安全与通信网络仿真。
- 金跃辉: 女, 1965 年生, 硕士, 副研究员, 研究方向为因特网的理论与技术, 包括 TCP/IP 协议及改进机制, 因特网的业务质量, IP 网的性能分析与仿真, 宽带网的可靠性与生存性等。
- 程时端: 女, 1940 年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为宽带通信网与计算机网的理论与关键技术, 包括 ATM 和 IP 网的性能分析、流量控制、业务质量, ATM 交换机和高速 IP 路由器实现的关键技术, 网络安全策略与实现, 网络和协议的仿真, ATM 和 IP 网络支持话音通信的技术等。