

漏桶算法对输出业务流自相似特性的影响¹

简贵胄 葛宁 冯重熙

(清华大学电子工程系 北京 100084)

摘要: 该文研究了采用漏桶机制对自相似业务实施整形后, 输出业务流自相似性质的变化。半定量地分析和仿真实验表明对于具有长程相关特性的自相似输入业务流, 在负载较重的情形下, 经过漏桶整形后输出业务流的自相似性明显增强, 并且在负载越重时输出业务流的自相似性增强的越多, 从而将加速网络性能的劣化, 提出了对于自相似业务需要不同于传统漏桶机制的新的整形策略的必要性。

关键词: 漏桶算法, 自相似业务流, 长程相关

中图分类号: TN913.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5896(2004)04-0655-04

Effect on Self-similar Characteristics of the Leak-Bucket Output Traffic

Jian Gui-zhou Ge Ning Feng Chong-xi

(Dept. of Electronic Eng., Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract In this paper, the effect on shaping of self-similar traffic is investigated through leaky bucket. Analysis and simulation show that the self-similar character of output traffic of the leaky bucket will be increased for long-range dependence traffic in heavy load condition because of the storage procedure. Furthermore, the heavier the short dependence traffic through the leak-bucket, the worse the performance of the network. Therefore, the storage procedure would be a rational explanation for the generation of the traffic self-similar characteristics.

Key words Leaky bucket, Self-similar traffic, Long dependence

1 引言

在 SDH 光网络上直接传输数据业务, 由于有较高的带宽利用率和易于实现等诸多优点, 成为主干网络上的承载数据业务的重要方式, 并逐渐向接入网络扩展。另一方面局域网和广域网上的数据业务流呈现的自相似性, 被越来越多的研究所证实^[1]。近年来相当多的研究集中于自相似业务流建模的研究^[2,3], 有的则关注于业务流的自相似性对网络拥塞控制算法的影响^[4,5]。具有自相似特性的业务流比起马尔可夫型业务流而言, 将对网络中包括缓存和带宽在内的网络资源有更多的要求^[6]。数据业务的传输必须满足一定的服务质量才能适应各种应用的要求, 通过漏桶机制实现对业务流的整形和监测, 是实现数据业务传输中带宽控制和保证服务质量的一种重要手段。同时对于实际工程而言更关心的是各种原有的算法在业务流自相似性下的影响。自相似业务流通过漏桶机制作用后其输出业务流特性有什么变化? 本文通过分析和仿真实验表明对于具有自相似性的数据业务流, 经过漏桶后的输出, 虽然业务流的输出速率得到有效平滑, 但是并不能改善业务流的自相似性, 相反在重负载情形下, 输出业务流的自相似将增强。而业务流自相似性的增强无疑将加速网络性能的劣化。因此需要针对业务流的自相似特性重新考虑业务流的整形策略, 以减小因自相似增强而带来的负面影响。

2 漏桶的数学模型及其输出业务流性质

漏桶是以固定输出速率和有限容量的缓冲器组成的一个排队服务系统。它的两个主要参数是 C 和 σ , 其中 σ 表示缓冲器的大小, C 表示输出业务流的速率。尽管漏桶的缓冲器大小有

¹ 2002-11-30 收到, 2003-06-03 改回

国家自然科学基金资助课题 (项目编号 69896242)

限, 在具体实现中一般都不是通过漏桶来丢包, 而对违规的数据业务包给予特殊标志, 具体处理留给后面的业务量管理单元根据网络负载的实际情况处理, 以实现网络资源的最佳利用。因此这里的漏桶输出业务流模型也只考虑很低丢包率的情形, 具体分析时则采用单服务器的队列系统来分析这样的漏桶机制, 并假设漏桶的 σ 参数无穷大, 即不存在丢包的情况。设 $X(k)$ 表示 k 时刻输入到队列的业务流大小, $Y(k)$ 表示 k 时刻漏桶输出的业务流的实际大小, 由于队列缓存的存贮效应, $Y(k)$ 的自相关函数 $R_{yy}(k_1, k_2)$ 可以表示为

$$R_{yy}(k_1, k_2) \approx R \left(\sum_j X(k_1) \sum_i X(k_2) \right) \quad (1)$$

从式 (1) 可以看到, 输出业务流中的求和过程相当于低通滤波, 可以有效地平滑输出业务流的大小, 从而有利于后面的流量管理单元进行各种调度策略的实施, 这正是漏桶算法所要达到的基本目标。现在我们考察输出业务流的相关性: 当式 (1) 中求和区间 j 和 i 重叠部分比较大时, 输出业务流的自相关函数值也将增大。设 $P(B_{OC} > C)$ 表示任意时刻缓冲占有量 B_{OC} 大于 C 的概率, 则因为求和过程的区间大小取决于在 k_1 时刻概率 P 的大小, 当这种概率越大时, 求和的区间也就越大, 这样相关性也必然增强。显然这个概率同输入业务流的平均速率 m 和方差 σ 都有关系, 由经典的排队论可以知道当 m 越趋近于 C 即负载越重, 或者业务流速率的方差 σ 越大, 上述概率 P 就越大。这样上面乘积的求和两项必然增大, 从而输出业务流的相关性也必然增强。对于相关函数还与两者的联合概率分布密度有关, 由于越接近的 k_1, k_2 值, 求和部分将有更多的重叠部分, 因此也将具有更大的联合概率密度。随着 $\Delta k = |k_1 - k_2|$ 的增大, 二者的联合概率密度将逐渐减小。对于本身没有相关特性的业务, 当 Δk 的大小超过平均队列长度后, 联合分布概率密度迅速减小, 相关性主要存在于排队长度范围以内的业务流, 因此可以说由于队列存贮效应将引入一定程度的短程相关性。

对于自相似业务, 这种求和过程所引入的相关特性将在更大的时间尺度范围以内起作用, 从而使得长程相关业务的输出业务流的相关性在很大的时间尺度内加强。小波分析可以在不同的尺度观察数据序列的内在联系^[7,8]。下面结合小波分析方法, 进一步说明自相似业务流, 经过漏桶输出之后流特性的变化。

对于小波函数 $\Psi_{j,k}(t) = 2^{-j/2} \Psi(2^{-j}t - k)$, 业务流大小序列 $X(t)$ 用小波分解可以表示为

$$X(t) = \sum_k Cx(j_0, k) \phi_{j_0, k} + \sum_{j \leq j_0} \sum_k dx(j, k) \Psi_{j, k}(t) \quad (2)$$

其中 $Cx(j_0, k)$ 称作尺度系数, $dx(j, k)$ 是小波系数, 分别可以用内积的形式表示如下:

$$Cx(j, k) = \langle X, \varphi_{j, k} \rangle, \quad dx(j, k) = \langle X, \Psi_{j, k} \rangle \quad (3)$$

对于离散序列的小波分解, 都采用数字滤波器组获得, 其中尺度系数是经低通滤波器滤波之后求得, 而小波系数则是经带通滤波器滤波后求得。 H 是表征自相似特性的 Hurst 参数, 对于具有长程相关的自相似随机过程序列, 小波系数具有如下性质: $E|dx(j, k)|^2 \approx C2^{j\gamma}$ 其中 γ 和 H 具有关系 $\gamma = 2H - 1$ 。二级自相似过程应有 $\log_2 E|dx(j, k)|^2 = j\gamma + \log_2 C$, 即 $\log_2 E|dx(j, k)|^2$ 随着 j 线性变化。

小波系数 $dx(j, k)$ 表示的是序列变化的细节信息, 由于缓冲器存贮之后, 输出业务流就相当于通过一个低通滤波, 将使得小波系数 $dx(j, k)$ 的值在较小 j 时更为均匀。对于 $E|dx(j, k)|^2$, 当 j 比较小的时候, 减小很多, 而在 j 较大部分则几乎没有什么变化。这样必然使得 γ 值增大, 从而使得 H 值也变大, 表现为自相似性增强。

对于漏桶的输出业务流模型, 如果不考虑输入序列的内在相关特性, 输出序列事实上是一个完全的更新过程, 每当输出的速率小于最大输出的速率时, 缓冲器耗空一次, 输出序列的统

计特征就表现为出现一个更新点, 输出序列呈现出短程相关性。这个相关性的时间尺度取决于平均队列长度。对于自相似过程, 由临界尺度理论可以知道, 排队过程对业务流的影响和队列长度大小有关, 而较低的丢包率必然导致很长的队列长度, 因此将在原有的相关性上叠加上更强的相关特性, 从而使得自相似过程的 H 参数增大。

3 仿真实验结果

我们从 Sigcom 的网站上获得实际的业务流数据, 选择了伯克利大学劳伦斯实验室的局域网出口业务流 lbl-pkt 数据作为实验研究的对象。选择合适的输出速率使得漏桶工作在负载为 90%、丢包率在 10^{-4} 的条件下, 如图 1 所示是用小波方法估算输入和输出业务流的 $\log_2 E|dx(j, k)|^2 - j$ 曲线。可以看到输出业务流的 γ 曲线具有更大的斜率, 这表明输出业务流比输入业务流具有更大的自相似性。从图中我们还可以看到经过漏桶输出后业务流的小波系数都有所下降但是在较小尺度上下降更多, 并且刻画输出业务流自相似性的 γ 曲线的线性更好。

进一步采用分形布朗运动仿真模型, 生成自相似业务流来考察业务流其它的参数对漏桶输出业务流自相似性的影响^[9]。分形布朗运动模型的业务流一般是用下面的式子表示: $A_t = mt + \sqrt{\alpha m} Z_t$, 式中 Z_t 是归一化分形高斯噪声分布 (FGN), m 表示业务流的平均速率, α 是方差系数, m 和 α 的乘积结果是单位时间内业务流量的方差 σ^2 。

漏桶缓冲器的大小决定着系统的丢包情况, 在我们的仿真实验中漏桶的缓冲器取的足够大, 漏桶输出速率是 $C = 10\text{Mbit/s}$, 输入业务流 $m = 9\text{Mbit/s}$, $\sigma = 1\text{Mbit}\cdot\text{s}$, H 取值为 0.8, 此时系统的负载 L 是 0.9, 输出业务流自相关系数将随着缓冲器的大小而变化。图 2 是在输入业务流量的方差系数不变, 而系统的负载 L 从 0.4 到 0.95 变化条件下所得到的输出业务流的 H 参数变化曲线。从图 2 中可以看到在负载较低的情形下, 输出业务流的 H 参数基本不变; 当负载到 0.8 以后输出业务的 H 参数增大, 输出业务流的自相似增强。改变缓冲器的容量大小得到如图 3 所示的输出业务流 H 参数变化和丢包率的情况。图中横轴表示缓冲器 B 的大小, 可以看到随着缓冲器大小的增加系统的丢包率逐渐下降, 并趋向零, 而输出业务流的 H 参数逐渐增加, 当缓冲器足够大时, 输出业务的 H 参数逐渐趋近某个确定值。但是无论是否丢包输出业务流的 H 参数都比源业务的 H 参数要大。图 4 是保持负载在 0.8, 改变输入业务流的方差, 对漏桶输出业务流的 H 参数的估值结果。可以看到方差大的业务流经过漏桶输出后, 自相似性能增加更为明显。

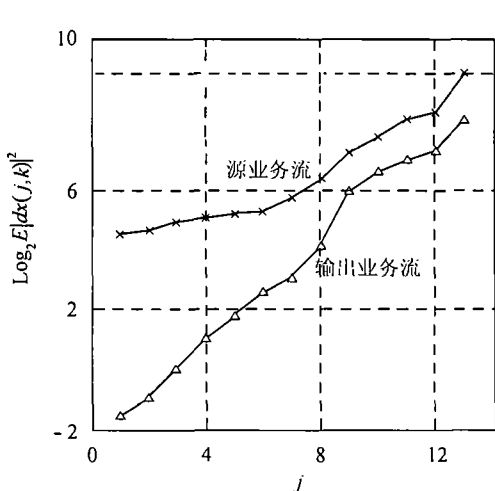


图 1 漏桶前后流的小波系数曲线

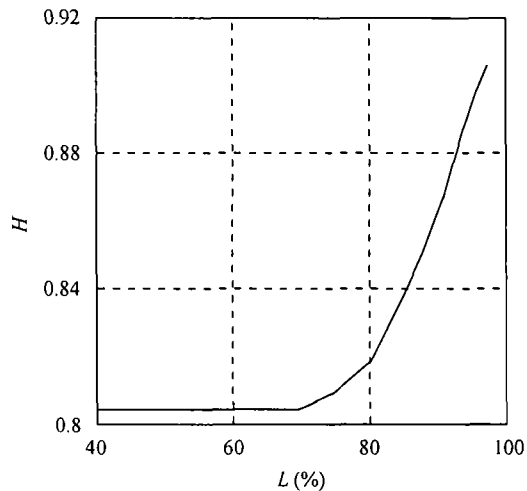
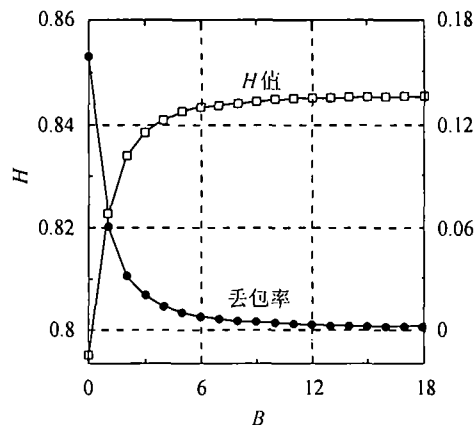
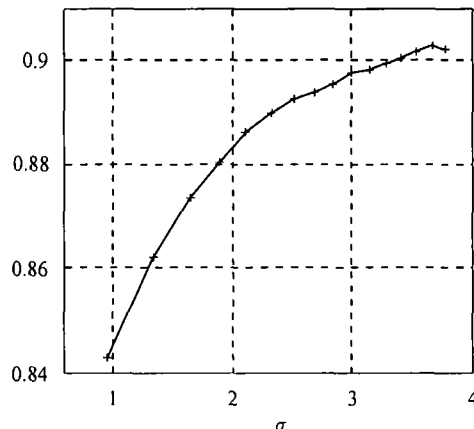


图 2 不同负载下 H 参数的变化

图3 H 随缓冲器大小的变化图4 方差对 H 参数的影响

4 结论

利用漏桶机制实现对输入业务流的平滑, 以便于网络节点设备对传输业务流的管理和网络资源的有效分配, 是现代高速数据网络所采取的基本策略之一。但是漏桶的缓冲机制加上固定输出速率的特性, 将对输出业务流的相关性产生重要影响。我们通过采用半定量的推导和小波分析方法对业务流相关性变化的观察发现, 对于有长程相关特性的自相似输入业务, 在负载较高的情形下, 由于业务流存贮的作用, 将使得输出业务流的自相似性明显增强, 负载越重输出业务流的自相似性将增长的越多, 同时自相似性增加的多少也与漏桶的服务速率和缓冲容量大小等参数有关, 我们用仿真实验验证了上述结论的正确性。同时这些结果也表明由于网络业务流的自相似性应该有不同于传统的漏桶机制的新的业务流整形策略。

参 考 文 献

- [1] Leland W E, Taqqu M S, Willinger W, Wilson D V. On the self-similar nature of ethernet traffic (extended version). *IEEE/ACM Trans. on Networking*, 1994, 2(1): 1-15.
- [2] Li J S. Using autoregressive Gaussian processes with trends and aggregations to model self-similar traffic. *Computer Communications*, 2002, 25(10): 964-971.
- [3] Chandramathi S, Shanmugavel S, Arun A, Prasanna K. A heavy tailed probability distribution function to model self-similar traffic in ATM networks. *IETE Journal of Research*, 2002, 48(1): 27-33.
- [4] Liu Y H, Hu Y, Zhang G Z. TCP-Friendly congestion control algorithm on self-similar traffic network. *Advances in Multimedia Information Processing-PCM Proceeding, China Taiwan Hsinchu*, 2002: 888-895.
- [5] Erramilli A, Roughan M, Veitch D, Willinger W. Self-similar traffic and network dynamics. *Proc. IEEE*, 2002, 90(5): 800-819.
- [6] Tsybakov B, Georganas D. On self-similar traffic in ATM queues: definitions, overflow probability bound, and cell delay distribution. *IEEE/ACM Trans. on Networking*, 1997, 5(1): 397-409.
- [7] Jung-Shian Li, Wolisz A, Popescu-Zeletin R. Fast simulation of self-similar traffic, *Proceedings of the ICC, Atlanta GA, USA*, 1998: 1829-1833.
- [8] Arby P, Veitch D. Wavelet analysis of long-range dependent traffic. *IEEE Trans. on Info. Theory*, 1998, IT-44(1): 2-15.
- [9] Norros I. On the use of fractional Brownian motion in the theory of connectionless networks. *IEEE J. on Selected Areas in Communications*, 1995, 13(6): 953-962.
- [10] Matthew R, Veitch D. Real-time estimation of the parameter of long-range dependence. *IEEE/ACM Trans. on Networking*, 2000, 8(4): 467-477.

简贵曾: 男, 1975年生, 博士生, 主要兴趣为通信集成电路设计、宽带网络。

葛宁: 男, 1970年生, 副教授, 主要领域为宽带网络、SDH光网络、通信ASIC技术。

冯重熙: 男, 1930年生, 教授, 主要研究领域通信网络、宽带接入网络、光网络、通信设备终端技术。