

自相似网络的时延抖动性能仿真分析^①

胡玉清¹ 郭小军¹ 宋正阳² (1.空军工程大学 航空管制系 北京 100166;
2.中国农业科学院 农业信息研究所 北京 100081)

摘要: 自相似性对网络性能产生了影响是当前的研究热点。建立了一种基于 FBM 的自相似网络排队时延抖动分析模型,重点讨论了自相似流量作为输入时对排队系统的时延抖动的影响。对理论分形流量和实际测量流量进行了仿真实验,验证了结果的正确性和有效性。实验结果表明:自相似流量长相关强弱的程度对排队系统时延抖动特性具有非常不同的影响,尤其是在缓存较大的情况下。同时,还发现网络流量中长相关发生作用时状态转变与排队系统本身的参数也有关,这是新的发现,对实时业务的网络性能评价具有重要的参考意义。

关键词: 自相似流量;排队模型;时延抖动;分形布朗运动;长相关

Simulation Performance Analysis of Delay Jitter for Self-Similar Traffic

HU Yu-Qing¹, GUO Xiao-Jun¹, SONG Zheng-Yang²

(1. Air force Department of Air Traffic Control, Beijing 100166, China; 2. Agricultural Information Institute of CAAS, Beijing 100081, China)

Abstract: The focus of current research is how Self-similarity impacts network performance. A queuing delay jitter model, based on FBM for self-similar network, is proposed and self-similar traffic as input on the impact of the delay jitter of queuing system is discussed, which is important. Theory fractional traffic and actual measured traces are used to simulate experiment. Simulation confirms the correctness and efficiency of these results. The experimental results demonstrate that the degree of the long-range dependence for the self-similar traffic has quite a different impact on the delay jitter of queuing system, especially on the condition of a large buffer size. The state changes of long-range dependence is related to the parameters of queuing system. These findings are new, which is an important reference for the performance evaluation of real-time network.

Keywords: self-similar traffic; queuing model; delay jitter; fractional brownian motion(FBM); long-range dependence

1 引言

自从发现自相似特性在网络业务中存在以来,自相似性对网络性能有什么影响?其服务质量保证的问题都日益为业界所关注。随着网络的发展,音视频业务已经在网上开展,Beran^[1]等人的研究发现,音视频也存在自相似性和长相关的特性,而音视频传输过程中对 QoS 的要求非常高,尤其对于包的延迟和抖动非

常敏感,所以研究对延迟和抖动敏感的自相似流量输入时的排队性能非常重要。

目前已经提出了多个自相似业务模型,如 FBM、FARIMA、重尾分布、稳定分布等,其中最简单和最常用的是 Norros^[2]提出的分形布朗运动流量模型。饶云华^[3]根据 Norros 提出的分形布朗运动缓冲区溢出概率计算公式对平均时延和时延抖动进行过一些研

^① 基金项目:国家自然科学基金(60572143)

收稿时间:2010-01-08;收到修改稿时间:2010-02-13

究,给出了平均时延和时延抖动的计算公式,但这些公式不准确,使仿真结果存在误差。匡罗贝^[4]等利用饶云华的分析结果进行了一些性能研究,但他只分析了平均排队时延的性能,没有分析时延抖动的性能,同时由于公式的局限性,仿真结果存在较大误差。

针对以上性能研究只集中在一阶特性上,对二阶特性时延抖动的研究很少,而且推导出来的公式不准确,结果又误差很大的问题,本文做了以下几方面的工作。首先,用数学方法讨论出了网络平均排队时延抖动的解析公式,进而建立自相似业务排队模型;其次,对实际网络业务进行参数估计,利用分形高斯噪声(FGN)产生精确自相似流量;最后,利用前面产生的自相似流量驱动 OPNET 仿真,验证理论结果的正确性和研究自相似性对网络性能有哪些影响。本文的创新点:发现时延抖动对网络性能产生的影响,仅仅依靠延长缓冲区的长度是不能改变排队系统的性能,还跟系统的参数有关。

2 自相似网络排队时延抖动模型

为了刻画自相似业务, Norros 提出了如下的分形布朗运动业务模型:

为了刻画自相似业务, Norros 提出了如下的分形布朗运动业务模型:

$$A(t) = mt + \sqrt{am} B_H(t), t \geq 0 \quad (1)$$

其中 $A(t)$ 代表 t 时间内到达的流量, $m > 0$ 为流量的平均速率, a 为方差系数, $B_H(t)$ 为具有 0 均值、自相似参数 $0 < H < 1$ 和增量方差 $Var[B_H(t)] = |t|^{2H}$ 的标准分形布朗运动。

由式(1)可知, $A(t)$ 是一个具有稳定增量的高斯过程,均值为: $E[A(t)] = mt$, 方差为:

$Var[A(t)] = maVarB_H(t) = mat^{2H}$, 当 $0.5 < H < 1$ 时, 具有长相关特性。

$$variance[A(t)] / mean[A(t)] = \frac{mat^{2H}}{mt} = at^{2H-1}$$

即方差/均值的比率依赖于计算的持续时间。令 $t=1$, 则 $variance[A(t)] / mean[A(t)] = a$, 可见, 参数 a 为到达过程的“峰值”, 描述流量波动的幅度。

基于式(1), Norros 推导出了无限缓存条件下队列长度大于 x 的概率的计算公式:

$$P(X > x) = \exp\left(-\frac{(C-m)^{2H}}{2amH^{2H}(1-H)^{2-2H}} \cdot x^{2-2H}\right) \quad (2)$$

$$\text{令 } K = 2 - 2H, \quad K_2 = \frac{(C-m)^{2H}}{2amH^{2H}(1-H)^{2-2H}}$$

根据式(2), 可得队列长度的余分布函数为:

$$F(X > x) = e^{-K_2 \cdot x^K}$$

队列长度的分布函数为:

$$F(X < x) = 1 - e^{-K_2 \cdot x^K}$$

概率密度函数为:

$$P(x) = \frac{dF}{dx} = K \cdot K_2 \cdot e^{-K_2 \cdot x^K} \cdot x^{K-1}$$

① 平均队列长度:

$$E(B) = (1/K_2)^{1/K} \Gamma(1/K + 1, K_2 b^K)$$

需要说明的是, 上面的不完全 gamma 函数的定义与一般数学书上的定义不一致, 这里采用的是 matlab 中的定义方式。

② 时延 $E(T_d) = E(B)/C$

其中, C 为服务速率。

③ 队长方差为: $D(B) = E(B^2) - E^2(B)$, 其中

$$E(B^2) = \int_0^b x^2 \cdot P(x) dx = (1/K_2)^{2/K} \cdot$$

$$\int_0^{K_2 b^K} u^{2/K+1} \cdot e^{-u} du$$

$$= (1/K_2)^{2/K} \cdot \Gamma(2/K + 1, K_2 b^K)$$

④ 时延抖动

$$D(T_d) = \frac{D(B)}{C} = \frac{E(B^2) - E^2(B)}{C}$$

3 模型分析

根据式(4), 本节对自相似网络平均排队时延抖动进行仿真分析。使用 matlab 分析。下面分析不同缓冲区长度、不同负载、不同 Hurst 系数下的时延抖动之间关系。

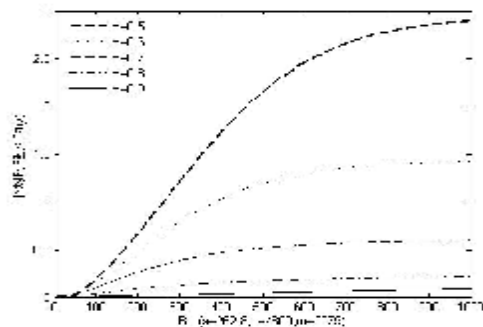
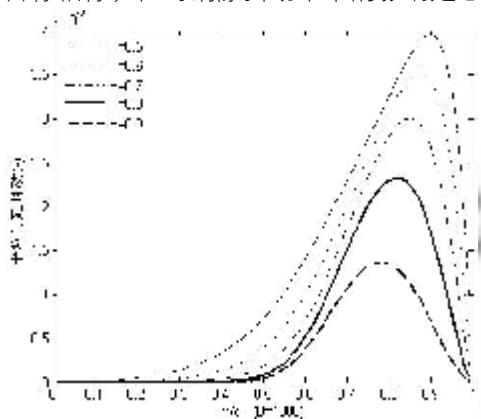
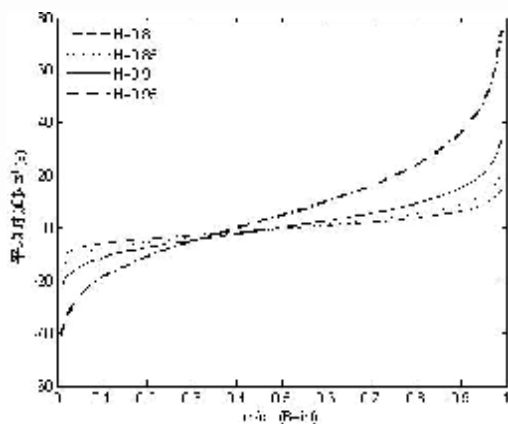


图1 缓冲区与时延抖动的关系

图 1 所示的是服务速率 $C=4800$ K bit/sec, $m=2279$ K bit/sec, $a=262.8$ K bit.sec, 即利用率 $m/C=0.47$ 时, 时延抖动与缓冲区长度之间的关系曲线。图 1 可以看出在缓冲区长度较小时, 时延抖动随缓冲区长度线性增加, 然后逐渐稳定在一个固定的值上, 这与实际情况是相符的。这是由于分组的排队时延引起的, 通常的做法是在接收端采用缓冲处理, 在将包输出之前对时延抖动进行吸收。虽然这与减小时延的目标相悖, 但对消除抖动带来的影响是必要的。



(a) 小缓存下负载与时延抖动的关系



(b) 大缓存下负载与时延抖动的关系

图 2 负载与时延抖动的关系

从图 2 可以看出系统参数(如负载)是排队系统产生时延抖动的一个原因。图 2(a)显示在小缓存下, 始终是 Hurst 系数越大, 时延抖动越小, 并且在负载达到 0.6 时, Hurst 系数大的时延抖动还非常小; 但是当负载增加到一定程度后, 不论怎样的自相似流量, 抖动都出现了峰值, 然后开始下降, 并且 Hurst 系数越小, 开始下降的拐点越靠后, 这个发现说明了在小缓存下, 负载对自相似程度越低的排队时延抖动影响

越大。为了进一步的验证, 增大缓存, 如图 2(b)所示, 时延抖动出现了不同的变化趋势, 而且还出现了状态转变, 这是个新的发现。在负载较小时, 跟小缓存的情况一样。反之, 增大负载到(0.4)时, Hurst 系数越大, 时延抖动越大并且急剧增加。由此可见, 在大缓存下, 负载增加到一定程度, 对自相似程度越高的排队时延抖动影响越大。

4 仿真验证

为了更好地说明自相似网络排队时延抖动模型, 验证上面的理论分析结果, 为实际网络流量测量、网络设计和性能评价提供有用的参考依据, 在 OPNET 网络仿真中, 仿真模型为多流量源聚合, 单排队队列, 单服务器, 搭建如图 3 所示的网络拓扑结构, 创建结点模型如图 4[5]。其中 src 模块为自相似流量产生模块; 排队模型中的 queue 模块进程模型为 acb_fifo, 是面向包的 FIFO 队列; 统计量在 queue 模块处收集; sink 模块的进程模型为 sink, 是将所有队列 queue 发送的包销毁。

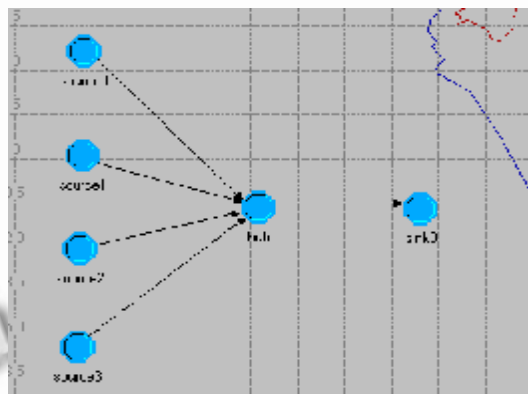


图 3 网络拓扑结构

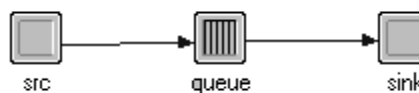


图 4 结点模型

在实际网络流量中, 从一个分组到另一个分组时延变化就称为抖动, 因此, 时延与缓冲区长度、负载、Hurst 系数之间的关系, 也即时延抖动与它们之间的关系。仿真数据由分形高斯噪声(FGN)产生[6], FGN 是 FBM 的增量过程, 所产生的是具有单一 Hurst 系数

的精确自相似过程,可以动态调节模型的 H, v, m 等参数。为了便于比较,我们采用的是贝尔实验室测量的实际流量数据 PAug.TL 在时间尺度为 100ms 时的参数统计: $H=0.873$, 平均到达率 $m=318.186$ packets/s, 方差 $v=323.559$ 。然后根据 pAug.TL 实际流量数据的统计参数,通过 FGN 模型产生 65536 个精确自相似流量(理想流量),将该理想流量作为仿真输入,驱动 OPNET 进行网络仿真,统计相应的性能参数。

由仿真结果图 5 可见,缓冲区较小时,平均排队时延随缓冲区长度线性增加,并且自相似程度小即突发性低的流量其时延较大。这种变化也就引起了同样时延抖动,与理论分析结果是一致的。为了进一步的验证我们的理论分析结果,我们仿真了负载与时延之间的关系,时延我们是对其取对数。在设置缓冲区较大的情况下,与理论分析结果是吻合的。

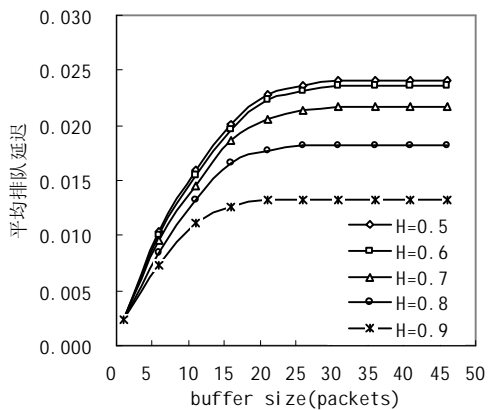


图 5 缓冲区和时延的关系

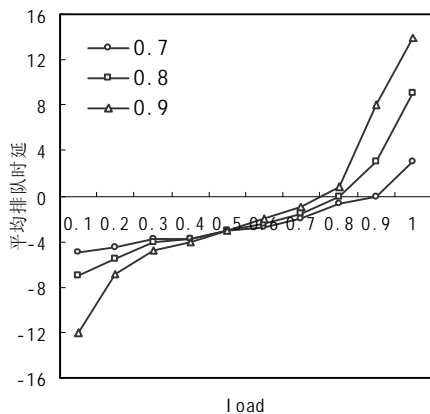


图 6 负载与时延的关系

5 结论

本文针对自相似二阶特性对网络性能产生的影响,采用理论分析和实际测量流量驱动 OPNET 仿真,研究表明:网络流量的长相关强弱的程度对排队性能产生了不同的影响;当长相关较弱,缓存较小时,突发性小自相似程度低的流量,排队时延抖动越大;然而,当长相关较强时,对缓冲区长度的需求随流量的突发性的增长也快速增长,这时自相似程度高的排队时延也会随之变大,并由此带来时延抖动的增大,所以缓存的继续增加对于长相关较强的流量来说不能改善排队系统的性能。仿真还发现,网络流量长相关强弱对系统参数如负载的要求也类似。因此仅仅依靠延长缓冲区长度不能保证 QoS,还应该根据情况,采用不同的系统参数如负载,使时延和时延抖动得到很好地控制;以上分析和仿真结果可为不同时延抖动限制情况下实时业务的设计和性能分析提供参考。

参考文献

- 1 Beran J, Sherman R, Taqqu Murad S, et al. Long-range dependence in variable-bit-rate video traffic. IEEE Transactions on Communications, 1995, 4(3): 1566 - 1579.
- 2 Norros I. On the use of fractional brownian motion in the theory of connectionless networks. IEEE J. Select. Areas Commun, 1995, 13(6): 953 - 962
- 3 饶云华,徐重阳.自相似网络通信量的分析与建模.华中科技大学学报(自然科学版), 2005, 30(5): 9 - 11.
- 4 匡罗贝,等.一种自相似网络平均排队延时分析模型.系统仿真学报, 2006, 8: 59 - 65.
- 5 司丽娜,胡玉清.基于 OPNET 的自相似网络仿真与性能分析.计算机工程与设计, 2009, 8(15): 3550 - 3551.
- 6 Beran J. Estimation, Testing and Prediction for Self-Similar and related processes [Ph.D dissertation]. ETH.Zurich, 1986.