

自相似业务流下的服务质量保障

文 军, 任立勇

(电子科技大学计算机科学与工程学院 成都 610054)

【摘要】 将来网络服务质量需要考虑网络业务流固有的自相似性对网络性能的影响, 而传统的网络模型未考虑此因素。该文利用分数布朗运动模型, 建立了一个网络模型, 此模型考虑了业务流的自相似, 以及聚类的特性, 通过控制有效带宽, 提高统计复用效率, 并通过审核控制机制, 提供网络服务。实验证明分数布朗运动模型能如实描述业务流特性, 准确预测业务流的性能, 能够最大限度地利用网络资源, 提高服务质量, 弥补原来网络排队模型的缺陷。

关键词 自相似业务流; 服务质量; 准许控制; 分数布朗运动

中图分类号 TP302 文献标识码 A

QoS Guarantee for Self-Similar Traffic Flows

Wen Jun, Ren Liyong

(School of Computer Science and Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract Network quality of service in future needs to consider the impact of inherent self-similar. Traditional networks ignore this. The paper utilizes Fractional Brownian Motion model to build a network model, which improves statistical multiplexing efficiency by controlling effective bandwidth and provides services by admission control. Experiment verifies that FBM model can realistically describe packet traffic flows, predict their performance, make full use of network resources, and make up the deficiency of conventional queue models.

Key words self-similar traffic; quality of service; call admission control; fractional Brownian motion

在对不同的数据网络的分析过程中, 发现网络业务流在很宽的时间范围内具有突发性。在实际应用中采用排队论分析的结果与实际的性能有很大的差异, 其统计特性可使用自相似性来近似地描述, 自相似性对于不同的时间尺度, 表现出不变性。原因在于传统的网络研究都是基于马尔可夫模型, 排队模型依赖数据通讯量的泊松分布性质, 即到达时间间隔服从负指数分布, 其共同特点是只存在短暂的相关性, 但是网络业务流的实际分布不完全符合泊松分布的特性, 对根据泊松分布特性而设计的网络性能有很大的影响^[1-4]。从排队效果上说, 其显著特点是队列长度衰减慢, 对网络性能有重要的影响, 因此了解网络通讯中自相似性的特点、起因及其对高速网络的设计、管理显得十分重要。为了给业务流提供QoS支持, 需要描述每一个业务流或聚类业务流的需求。使用令牌桶系统可以较为精确定义通信业务流的流量特性, 使用参数来表示每一个业务流, 能够较容易地确定所需的资源, 指标如下: 峰值速率 p (最大传输速率), 令牌桶深度大小 b , 令牌桶速率 r 。文献[5]中提出了有效带宽(EBW)方法, 它使用介于平均速率和峰值速率之间, 对于 n 个业务

收稿日期: 2003-01-03

基金项目: 教育部中国留学基金资助项目

作者简介: 文 军(1968-), 男, 博士, 副教授, 主要从事计算机网络与系统方面的研究。

流复用的连接,确定连接所需总带宽 C 的问题可转化为求解传输速率的总和超过 C 的溢出概率小于给定值的问题。EBW依赖于业务流的特性和链路操作点,它能准确地量化资源的使用,而且估计在不同负载状态下(如带宽,缓冲)的服务质量^[1,6,7]。Norros提出的分数布朗模型描述自相似的特性^[8],其EBW参数依赖于业务流本身和网络中其他的业务流,并因此能够取得统计复用的收益。本文将介绍自相似业务流的统计特性,建立业务流的模型,并用于实现控制和管理高速网络的服务质量。

1 网络模型

网络中到达业务流过程的自相似性不同于传统网络中表现的统计特性,因此过去的数学模型不再适用,需要建立新的数学模型^[9]。为了简化模型,只考虑对队列性能影响较大的因素。分数布朗运动(fractional Brownian motion, FBM)过程是广义布朗运动过程,具有同实际业务流同样的特性,它是一种较好地描述自相似性的工具。比较实际业务流和FBM模型,显示分形布朗运动过程(FBM)与网络业务流有类似的特性,当时间范围较小时符合程度较差,但随着时间范围的加大,一致性的程度显著提高。而且,长程相关性可以只使用三个FBM参数表示网络数据流的特性:平均传输速率 m 、与平均传输速率 m 的波动范围、Hurst参数(表示业务流衰减程度),即 $\{m, H\}$ 描述业务流的特性^[10]。在标准的布朗运动模型,到达过程 $A(t)$ 的形式是: $A(t) = m*t + (*m)^{1/2}*Z(t)$,其中 $Z(t)$ 高斯自相似随机过程,Hurst参数的取值范围为:0.5 H <1。因此, $A(t)$ 包括平均到到达的部分 mt ,和随机的业务流波动部分 $am*Z(t)$ 。Hurst参数通过 $Z(t)$ 反映,下面推导FBM模型下自相似的有效带宽:假设 x 是队列中的缓冲大小,随机过程 $X_t = \sup_{s \leq t} (A_t - A_s - C(t-s))$,其中 X_t 是用参数 $\{m, a, H\}$ 描述的FBM随机过程业务流,是拥塞概率,则有 $e = P(X > x)$,同时,对于 X_t 用参数 $\{m, \alpha, H\}$ 描述的FBM随机过程业务流,有:

$$C = m + H*(1-H)^{(1-H)/H} * (-2a*m*\ln(e))^{1/(2H)} * x^{-(1-H)/H} \quad (1)$$

式中 m 是平均传输速率, x 是缓冲区大小, e 是业务流的拥塞信元丢失率, a 是方差系数, H 是自相似参数。求解 H 的一种方法是使用方差时间的图,其优点是较为直观,但不了解业务流分布的特性;另一种方法使用Whittle估价^[11],平稳随机过程的频谱密度能够表达为 $S(\omega) = \sum_{k=1}^{\infty} P(k)e^{-j\omega k}$, $P(k)$ 是自相关函数,离散随机过程的频谱密度为 $I_N(\omega) = \sum_{k=1}^N x_k e^{j\omega k}$,则 $H = \int_{-\pi}^{\pi} I_N(\omega) / S(\omega) d\omega$ 。队列长度可以使用FBM过程来计算,假设 x 是队列长度,则队列长度超过 x 的概率是:

$$P(V > x) \sim \exp(-cx^{2-2H}) \quad (2)$$

式中 $c = m^{2H-1} [(1-r)/r]^{2H} / (2a*H^H(1-H)^{1-H})$ 。虽然增加缓冲区大小和降低资源利用率可降低数据丢失率,但是,当缓冲区大小增加到一定的程度,缓冲的增加则对数据丢失率的作用影响甚微。通过式(2),能够根据当前网络状况预测所需的缓冲区大小^[11]。

2 网络服务质量保障

2.1 网络资源利用率低的原因

许多的分析研究显示长程依赖性比短程依赖和较弱的长程依赖需要更大的缓冲队列,增加队列长度可以降低包丢失率(CLR),但也增加了传输^[12]。故在考虑服务质量时需要权衡CLR与时间延迟的关系,如网络用户希望服务质量(QoS)保障,并提高网络利用率,根据网络业务流的特点确定所需的各种资源,合理进行业务流的调度,可充分利用系统资源,避免浪费,并达到较高的性能。

2.2 网络服务质量的保障

2.2.1 准许控制

传统的带宽审核控制策略基于马尔可夫模型,为每一个业务流按照峰值速率分配。CAC 根据当前可用带宽确定能否接纳一个新业务流的连接请求时,这种方法导致网络资源利用率低。式(1)明确了有效带宽、缓冲大小、输入平均速率、自相似参数、方差系数和数据包丢失率的关系,它确定达到所需服务质量的带宽大小和分配资源^[11]。

使用连接控制CAC算法, 通过限制业务流的数量满足服务质量的约束条件。CAC用来确定是否能够接纳一个新业务流的连接请求, 一个连接请求被接纳的条件是在维持已有连接服务质量的条件下网络中剩余带宽能够保障新连接服务质量的需求, 同时CAC还应当充分利用系统的资源, 保证网络资源的高利用率。因此, CAC算法的优劣将直接决定网络综合性能, 因为如错误地准许过多的业务流将导致部分业务流不能满足业务流的服务质量要求, 而无必要地拒绝业务流将导致资源浪费, 造成资源利用率低下。使用上面的有效带宽, 能有效地控制业务流, 充分利用网络资源。

2.2.2 缓冲队列处理

传统的管理缓冲区方法通过队列长度的概率确定数据包的丢弃带有一定的盲目性, 原因是不知道将来的数据包流量。通过式(2)能够根据当前网络状况, 预测所需的缓冲区大小。

2.2.3 复用多路自相似业务流参数计算

式(1)提供了预测统计复用多路自相似业务流带宽的方法, 但它并不按照业务流的峰值速率分配资源, 使用有效带宽达到统计业务流复用的增益, 聚合的有效带宽低于每一个业务流带宽总和, 在复用过程中业务流聚合表现出同原来单个业务流不同的特性。当两个自相似业务流复用, 其自相似参数是不同的, 假设分别是 H_1 和 H_2 , 则聚集的自相似参数为 $H=\max(H_1, H_2)$ 。聚集的自相似参数由输入流中较大的自相似参数决定, 此结论很容易从定义中得到。如果输入流具有不同的 m 和 a 值, 则将有不同的自相似参数值, 假设第一个业务流的参数分别是 m_1, a_1 和 H_1 , 第二个业务流的参数分别是 m_2, a_2, H_2 , 则聚合的业务流的平均速率是 m_1+m_2 , 方差系数 a 是 $(m_1*a_1+m_2*a_2)/(m_1+m_2)$, 聚合的业务流的方差系数是输入流加权方差系数的和, 聚合的业务流的自相似参数值是 $\max(H_1, H_2)$ 。

2.2.4 参数测量

业务流的自相似性可用于减少检测的额外开销, 由于在一定范围内的自相似性, 没有必要进行细粒度的测量, 相关业务流参数可以通过粗粒度测量的估计出来, 比如使用分形fractal插值技术可以生成高分辨率的测试数据。

3 实验

实验探讨模型参数对网络性能的影响。多个MPEG输入流复用, 公式中有四个参数, 其中缓冲区大小可以直接设置, 平均速率和方差系数参数由数据流负荷特性决定, 自相似参数由合成数据流确定, 信元丢失率是网络性能的反映^[7]。

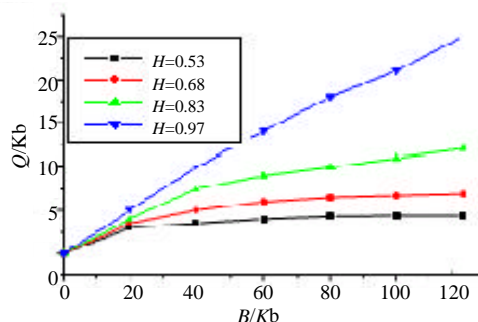


图1 在不同自相似参数下平均队列长度

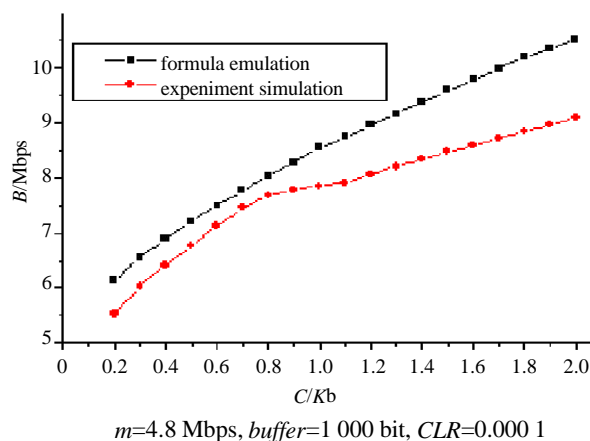
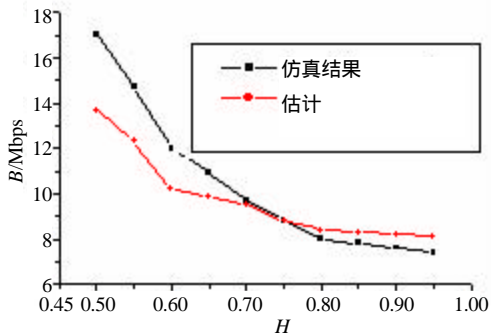


图2 有效带宽与方差系数的关系, 其中与缓冲的关系

图1显示了在不同的自相似参数下缓冲与队列长度的关系, 反映了缓冲区的局限性, 队列长度随缓冲大小同步增长, 自相似参数值越大(即自相似程度越高), 对缓冲大小的需求越大, 但到一定值后缓冲作用明显降低。图2显示有效带宽对方差系数的很敏感, 虽然有一些偏差, 但差值 $<10\%$ 。

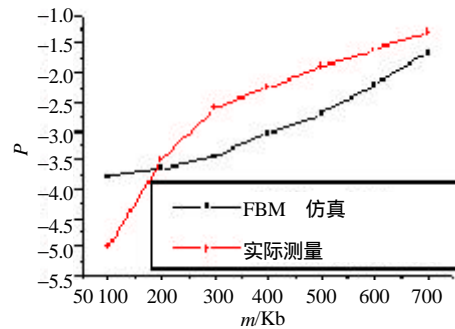
图3显示有效带宽同自相似参数的关系, 自相似参数值越大(即自相似程度越高), 有效带宽递减, 模型与实际基本一致, 误差在于缓冲区低于Norrer的假设, 以及输入数据不完全是Weibull分布所致。图4显示信

元丢失率同平均速率的关系,当平均速率增加,信元丢失率大幅增加,有必要增加系统的资源,如使用缓冲区和网络带宽来降低信元丢失率。



其中 $m=4.8$ Mbps, $buffer=1\ 000$ bit, $H=0.8$, $CLR=0.000\ 1$

图3 有效带宽与自相似参数的关系



$C=4.8$ Mbps, $buffer=1\ 000$, $H=0.8$

图4 CLR的对数与平均速率关系

4 结束语

本文研究了在自相似业务流下的服务质量保障方法,内容有CAC算法和队列策略,通过“有效带宽”,构造网络模型,决定所需的网络资源,如带宽和缓冲。并通过试验,证明了一致性。此模型可用于指导为业务流分配所需的资源,达到网络QoS保障的目的。

本文研究工作同时也得到了电子科技大学青年基金(JX03027)资助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Will L, Murad S T, Walter W, *et al.* On the self-similar nature of rthernet traffic[J]. IEEE Transactions on Networking, 1994, 2(1): 1-15
- [2] Feldmann A. Data networks as cascades: investigating the multifractal nature of internet WAN traffic[C]. In: Proceedings of ACM SIGCOMM '98, 1998. 25-38
- [3] Ronald G A, Moshe Z, Timothy N. Fractal traffic: measurements, modeling and performance evaluation[C]. In: Proceedings, IEEE INFOCOM, 1995. 977-984
- [4] Matthias G, Jean C B. On the relevance of long range dependence in network traffic[C]. In: Proceedings of ACM SIGCOMM '96, Stanford, CA, 1996. 15-24
- [5] Constantinos D, Parameswaran R. A case for relative differentiated services and the proportional differentiation model[J]. IEEE Network, 1999, 13(5): 2-10
- [6] Sahinoglu Z, Tekinay S. Self-similar traffic and network performance[J]. IEEE Multimedia Networks, 1999, 37 (1): 48-52
- [7] Ledesma S, Derong L. A fast method for generating self-similar network traffic[C]. Communication Technology Proceedings, 2000. 54-61
- [8] Ilkka N. A Storage model with self-similar input[J]. Queueing Systems, 1994, 16: 387-396
- [9] Tsybakov B, Georganas N D. Self-similar processes in communications networks[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1998, 44, (5): 1 713-1 725
- [10] Ilkka N. On the use of fractional Brownian motion in the theory of connectionless networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1995, 13(6): 953-962
- [11] Anwar E, Debasis M. Effective bandwidth of general Markovian traffic sources and admission control of high speed networks[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1993, 1: 329-343
- [12] Erramilli A, Roughan M. Self-similar traffic and network dynamics[J]. Proceedings of the IEEE, 2002, 90(5): 800-819

编辑 徐安玉