

基于小波变换的 GPON 动态带宽分配算法研究

陈福都¹, 李维民¹, 张淳民², 张丽娟¹

(1. 空军工程大学电讯工程学院, 陕西西安 710077; 2. 西安交通大学理学院, 陕西西安 710049)

摘要: 利用小波变换将自相似性业务的长相关性转化为短相关性, 并对网络业务流量进行预测。将得出的结果应用于吉比特无源光网络 (GPON) 的动态带宽分配, 提出一种改进的动态带宽分配算法。

关键词: 吉比特无源光网络 (cPON); 动态带宽分配算法 (DBA); 小波变换; 长相关性; 短相关性

中图分类号: TN915.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2006)05-0042-03

近几年来, 国内外学者通过对大量的通信网络业务流的测量发现: 通信网络业务在很长时间范围内都具有相关性, 即业务流到达具有长时相关性。对于这类业务流, 通常可以利用维纳滤波等方法根据自相似性^[1] 业务流的性质来预测流量。然而, 人们对短相似性业务的预测方法更为成熟, 根据已有的马尔科夫分析的结论和排队分析的一些基本方法, 可以对以泊松流作为业务源的短相关排队系统进行深入的性能分析, 并且得到等待时间, 队列长度等性能参数的精确结论。因此, 预测通信网络业务流量的另一种方法是将自相似网络流量所具有的长相似性转换为短相关性 (Short Range Dependence, SRD) 来分析, 进而预测流量。对于同样具有长相关性的 GPON (Gigabit - cable Passive Optical Network) 上行业务流。也可以用这种方法来预测流量。由此, 提出了一种新的 GPON 上行动态带宽分配 (Dynamic Bandwidth Allocation, DBA) 方法。

1 小波变换进行流量预测的原因

小波变换是分析具有尺度不变性的随机过程的最重要的研究方法之一。这里直接引用 Flandrin 在文献 [2] 中对具有长相关特性的分形高斯噪声进行小波分析的结论。该结论假设 $x(t)$ 是一个分形高斯过程, 并且该过程的 Hurst 指数 H 满足 $0.5 < H < 1$ 。令 $d(j, m)$ 是 $x(t)$ 的小波系数, 则有:

1) 对于任何时间尺度 j , 过程 $d(j, m)$ 是一个平稳过程, 并且具有相同的统计特性。

2) 当 $|2^{-j}m - 2^{-k}n| \rightarrow +\infty$ 时有 $E[d(j, m)d(k, n)] \approx |2^{-j}m - 2^{-k}n|^{-2(R-H)}$ 。

该结论说明, 对于一个 Hurst 指数为 H 的自相似随机过程, 对其进行小波变换时, 如果小波的正规性 R 满足 $R > H + 0.5$, 此时小波变换的输出 (小波变换的系数) 在同一尺度下序列的相关函数是可积的, 即小波变换的输出在同一尺度下构成序列不具有长相关特性。

2 小波变换预测自相似业务流量的方法

以数据业务为主的网络流量是呈自相似性的。因此, 可以利用小波变换将其长时相关性转换为短时, 并对业务流量进行预测。基于小波变换的自相似业务流量的预测是建立在最小方差迭代算法的基础上的。

2.1 最小方差迭代算法^[3]

在采用最小方差算法在小波域对小波系数进行预测的时候, 可以采用最小方差估计的迭代算法, 也就是用一个已知的初始值开始最小方差算法, 然后每次获得一个新的小波系数时, 根据这个新的采样中所包含的

收稿日期: 2006-03-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40537031)

作者简介: 陈福都 (1980-), 男, 福建永春人, 硕士生, 主要从事光通信与信息网络技术研究。

信息,对预测滤波器的系数进行更新。在迭代算法中,费用函数 $E(n)$ 是对误差平方的加权和,即: $E(n) = \sum_{i=1}^n \beta(n,i) |e(i)|^2$ 。上式中, $\beta(n,i)$ 是加权系数,并且满足 $0 < \beta(n,i) \leq 1$ 。在费用函数中引入加权系数 $\beta(n,i)$ 是为了保证过去的的数据对滤波器系数的影响会逐渐减弱,从而使得滤波器的系数在非平稳的条件下能够随着新获得的数据中统计特性的变化而产生相应的变化。在最小方差的迭代算法中最常用的加权系数形式是 $\beta(n,i) = \lambda^{n-i}$,其中 $i = 1, 2, \dots, n$, λ 是一个接近但小于 1 的正常数。所以,费用函数为 $E(n) = \sum_{i=1}^n \lambda^{n-i} |e(i)|^2$ 。用 $\hat{W}(n)$ 表示费用函数最小的预测滤波器的系数,可以证明 $\hat{W}(n)$ 满足: $\Phi(n)\hat{W}(n) = Z(n)$ 。其中, $\Phi(n)$ 是 $M \times M$ 的相关矩阵,定义为: $\Phi(n) = \sum_{i=1}^n \lambda^{n-i} d(i)d^H(i)$ 。小波系数 $z(n)$ 是 $M \times 1$ 的滤波器的输入 $P(n)$ 和被预测的真实值之间的互相关向量,即 $z(n) = \sum_{i=1}^n \lambda^{n-i} d(i)p^*(i)$ 。可知,要求最佳预测滤波器的系数,只需要求解 $\Phi(n)$ 的逆即可。根据矩阵求逆的迭代算法,利用已知的小波系数来对下一个小波系数进行线性预测的最小方差迭代算法可以实现以下过程:

- 1) 初始化预测滤波器的系数和相关矩阵的逆矩阵。其中, δ 是一个数值很小的正常数, I 是单位矩阵。
 $p(0) = \delta^{-1} I$; $\hat{W}(0) = 0$; $U(0) = 0$ 。
- 2) 计算增益向量 $k(n)$,用于对预测滤波器系数更新。
 $k(n) = (\delta^{-1} P(n-1)u(n)) / (1 + \lambda^{-1} u^H(n)P(n-1)u(n))$ 。
- 3) 获得 1 个小波系数时,计算预测和真实值之间误差。 $\xi(n) = d(n) - \hat{W}^H(n-1)u(n)$ 。
- 4) 利用增益向量 $k(n)$ 对预测滤波器的系数进行更新。 $\hat{W}(n) = \hat{W}^H(n-1) + k(n)\xi(n)$ 。
- 5) 对相关矩阵的逆矩阵进行更新。 $p(n) = \lambda^{-1} p(n-1) - \lambda^{-1} k(n)u^H(n)P(n-1)$ 。
- 6) 更新预测滤波器的输入。 $u(n+1)(i) = \begin{cases} u(n)(i+1) & 1 < i \leq n-1 \\ d(n) & i \neq k \end{cases}$ 。
- 7) 对小波系数进行预测。 $p(n) = \hat{W}^H(n)u(n+1)$ 。
- 8) 每次有新的小波系数的时候,重复步骤 2、3、4、5、6、7。

在这个算法中,我们利用 M 个最近的小波系数对下一个小波系数进行预测,所以 $u(n)$ 、 $k(n)$ 和 $\hat{W}(n)$ 都是 $M \times 1$ 的向量,而 P_n 是 $M \times M$ 的矩阵。

2.2 基于小波变换的自相似业务流预测^[4]

假设网络流量在小波域中呈现的短程相关特性可用线性相关近似,并且采用最小方差迭代算法在小波域里对网络流量的小波系数进行预测。在这个基础上,基于小波变换的网络流量预测算法可以总结如下:

- 1) 每次观测到一个新的网络流量数据,对网络流量数据进行小波变化,得到一个新的输出(小波系数);
- 2) 在新得到小波系数之后,在小波域里调用最小方差的迭代算法,对下一个小波系数进行预测;
- 3) 利用预测的小波系数进行逆的小波变换,得到预测的网络流量;
- 4) 每次观测到新的网络流量数据的时候,重复步骤 1,2,3。

3 一种限制带宽的动态带宽分配算法

由于 GPON 在上行方向多个 ONU 共享传输介质,所以必须采取一定的业务带宽调度方案进行控制。GPON 一般采用动态带宽分配(DBA)方式。这里介绍一种基于轮询机制的动态带宽分配策略^[5]。

下面以一个含有 N 个 ONU 的 GPON 系统为例来具体分析这种动态带宽分配算法。

首先作如下定义:上下行传输速率相等都为 R Mbps,授权周期为 T_c ,表示所有 ONU 循环发送一次的总时间。带宽授权周期的大小直接影响 GPON 系统的性能:带宽授权周期太小,系统的上行传输时延变小,但保护时间间隔 T_g (各个 ONU 时隙由 T_g 分开)对带宽的消耗会变大,即带宽利用率越低;带宽授权周期太大,系统带宽利用率高,但上行传输时延将变大。定义 B_i^{\max} 表示 ONU _{i} 的最大保证带宽(单位 Byt),即为重负载下 OLT 分配给 ONU _{i} 的最大带宽: $B_i^{\max} = \frac{(T_c - NT_g)R_i}{8} W_i$, N 为 GPON 中 ONU 的数目, W_i 是基于服务等级

协约(SLA)分配给每个 ONU 的权重, $\sum_{i=1}^N W_i = 1$, R_i 为 ONU_i 向 OLT 申请的带宽, B_i^e 是 OLT 给 ONU_i 的授权带宽。 B_i^e 的计算可以通过下列式子得到: $B_i^e = \begin{cases} B_i^{\max} & R_i \geq B_i^{\max} \\ R_i & R_i < B_i^{\max} \end{cases}$

这种方法就称为限制带宽分配。

4 基于小波变换预测流量的带宽分配算法

带宽分配的目标是在 ONU 和 OLT 之间有效公平地划分时隙, 而动态仲裁的最大难点是 OLT 如何知道 ONU 数据缓存器中待发信息的长度。这可以通过轮询^[6] Request/Grant 来解决: 每个 ONU 向 OLT 发送 Request 消息来报告 ONU 中的状态变化情况, OLT 收到 Request 消息后更新授权分配表, 通过 DBA 模块来执行带宽分配计算, 然后给 ONU 分配不同的传输窗口, 授权方式通过 Grant 消息来传递给各个 ONU (如图 1 所示)。

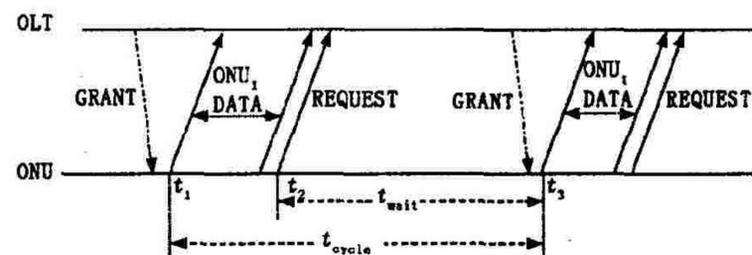


图 1 轮询机制与等待时间关系图

图中, 以 ONU_i 为分析对象, 假设 t_1 到 t_3 为它的第 n 个循环周期。那么, t_1 至 t_2 为 ONU_i 的发送窗口, t_2 到 t_3 则为 ONU_i 等待下一个周期发送窗口的等待时间。在 t_{wait} 时间内, ONU_i 空闲不发送数据, 大量数据将会到达 ONU 的数据缓存器。在限制带宽分配算法中, 即使上行链路空闲, t_{wait} 时间内到达的数据也要等待至少一个周期的时间才能发送出去。在 t_2 时刻 Request 消息报告的是 ONU_i 当前数据缓存器中待发信息的长度, 而这个状态报告却用来作为经过 t_{wait} 时间下一周期带宽分配的依据。显然, 这没有实时的反映 ONU 中的状态变化情况。因此, 在限制带宽分配算法的基础上提出基于预测的带宽分配改进算法。过程如下: 在 ONU 发送 Request 消息的时候, 向 OLT 报告的是经过 t_{wait} 时间后 ONU 的数据缓存器的状态信息, 这就需要对 ONU 的业务流量做出预测。因为 ONU 的业务具有长时相关性, 所以可以采用基于小波变换对业务流量进行预测的方法来对 t_{wait} 时间内到达的数据做一个预测。假设在 t_i 时刻发送 Request 消息, 所申请的带宽为 R_i ; 记当前 ONU_i 数据缓存器中待发信息的长度为 q_i , 预测 t_{wait} 时间内到达的数据量为 \hat{q}_{wait} 。改进算法中, $R_i = q_i + \hat{q}_{wait}$ 。式中, \hat{q}_{wait} 的值通过基于小波变换对业务流量进行预测求得。

5 结束语

吉比特无源光网络(GPON)是未来实现宽带、多业务综合接入的最有前景的技术手段。如何有效公平地分配上行带宽是 GPON 系统中很重要的问题之一, 解决该问题的关键技术是动态带宽分配策略。本文在基于小波变换对网络业务流量预测的基础上, 提出了一种对限制带宽分配算法的改进算法。由于小波变换是分析具有尺度不变性的随机过程的最重要的研究方法之一, 能有效分析、预测具有自相似性的网络流量。因此, 提出的这种改进算法对于 GPON 上行动态带宽分配的研究具有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] Tsunyi Tuan, K Park. Multiple Time Scale Congestion Control for Self-Similar Network Traffic[J]. Performance Evaluation, 1999, (5): 359-386.
- [2] Wornell G W. Wavelet Based Representations for the 1/f Family of Fractal Processes[J]. IEEE Communications Magazine, 1993, 81: 1428-1450.
- [3] 杨福生. 小波变换的工程分析与应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [4] 王新. 自相似网络流量的建模与预测[D]. 北京, 清华大学电子工程系, 2003, 51-52.
- [5] Kramer G, Mukherjee B, Pesavento G. IPACT: A Dynamic Protocol for An Ethernet PON (EPON)[J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(2): 75-77.

(下转第 47 页)