

文章编号:1001-9081(2010)01-0124-03

一种改进的基于流量预测的动态带宽分配算法

郑宇, 李广军, 钱宇平

(电子科技大学 通信与信息工程学院, 成都 610054)

(zhengyu-629@163.com)

摘要:介绍了一种基于流量预测的上行带宽动态分配算法(P-DBA)。P-DBA算法根据短相关业务(SRD)和自相似、长相关业务(LRD)的流量特征建立了不同的线性预测模型,并在流量变化较快时放弃预测,以减小带宽浪费;同时,在光网络单元中提出一种配合预测机制的公平调度策略。仿真表明P-DBA算法比DBAM算法在端到端延时、丢包率等方面有明显改善。

关键词:以太网无源光网络;动态带宽分配;流量预测;服务质量;公平性

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A

Improved DBA algorithm based on traffic prediction

ZHENG Yu, LI Guang-jun, QIAN Yu-ping

(School of Communication and Information Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu Sichuan 610054, China)

Abstract: P-DBA based on traffic prediction was presented, which established different linear prediction models for the Short-Range Dependence (SRD) and Long-Range Dependence (LRD) traffic and drop prediction to reduce the bandwidth waste when the variation of traffic was rapid, while Optical Network Unit (ONU) used a new local fair scheduling policy adapted to the prediction strategy. The simulation result shows that end-to-end delay, and packet loss rate has been improved obviously, compared with DBAM algorithm.

Key words: Ethernet Passive Optical Network (EPON); Dynamic Bandwidth Allocation (DBA); traffic prediction; Quality of Service (QoS); fairness

0 引言

目前,基于以太网的无源光网络(Ethernet Passive Optical Network, EPON)由于带宽资源丰富、价格低廉、协议简单、实施方便等优点被认为是解决接入网“最后一公里”的重要方案^[1]。图1是EPON的典型网络拓扑。

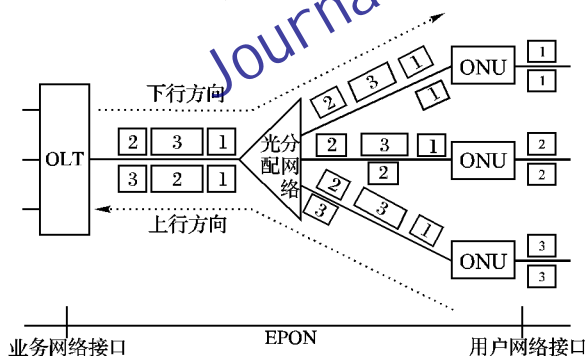


图1 EPON的典型网络拓扑

由图1所示,整个网络由光线路终端(Optical Line Terminal, OLT)、光网络单元(Optical Network Unit, ONU)和光分配网络(Optical Distribution Network, ODN)三部分组成。OLT放在中心局端,提供光/电转换、带宽分配和控制各信道的连接,并有实时监控、管理及维护功能(OAM);ONU位于用户侧,采用以太网协议,实现以太网第二层第三层交换功能。ODN是一个无源光器件,用于广播下行数据和集中上行数据。

由于ONU共享上行信道,为避免冲突并提高带宽利用率,国内外学术界对动态带宽分配算法(Dynamic Bandwidth Allocation, DBA)展开了大量研究。2002年Kramer等人首先提出可变周期交织轮询算法(IPCAT),轮询ONU缓冲区内待发数据长度,根据一定策略分配上行时间窗口^[2-3]。预测各优先级业务的上行流量提前分配带宽,使当前周期(T 周期)报告帧以后到达ONU的数据帧能够在下一周期($T+1$ 周期)直接发送,而无需等到 $T+2$ 周期($T+2$ 排队延时),是一种改善EPON系统QoS的重要手段^[4-7]。文献[5]提出了一种基于上述思想的典型算法(DBAM),核心内容是OLT估计每种优先级业务的流量,根据用户等级协议和每种优先级业务对上行延时的不同要求分配上行带宽,缓解“ $T+2$ ”排队延时问题,提高QoS性能。然而,DBAM的缺点是:1)预测方法比较粗糙,没有考虑平稳的短相关业务和突发性很强的长相关业务的流量特征,以提高预测精度。2)在ONU中缺乏相关机制降低预测失准导致的带宽浪费。

本文改进了DBAM的上述缺陷,提出了一种满足QoS要求和公平性的DBA算法(P-DBA)。该算法针对各种业务流量的特点采用了比DBAM算法更准确的流量预测方法,并在ONU中使用了更有效的调度策略提高带宽利用率。

1 P-DBA 算法

1.1 改进的流量预测和带宽分配的数学模型

根据对时延的不同要求,可将业务划分为延时敏感的加速转发型业务(EF),优先级最高;对延时不敏感但需要保证

收稿日期:2009-07-01;修回日期:2009-08-18。

作者简介:郑宇(1985-),男,四川成都人,硕士研究生,主要研究方向:通信与信息系统;李广军(1950-),男,河北保定人,教授,博士生导师,主要研究方向:通信与信息系统、嵌入式系统、ASIC和SoC设计;钱宇平(1984),男,江苏常州人,硕士研究生,主要研究方向:通信与信息系统。

带宽的保证转发型业务 (AF), 优先级次之; 对延时和带宽都无要求的尽力而为业务 (BE), 优先级最低。

图 1 中的 OLT 和 ONU 通过报告帧 (report) 和授权帧 (grant) 完成信息交互, 过程如图 2 所示。

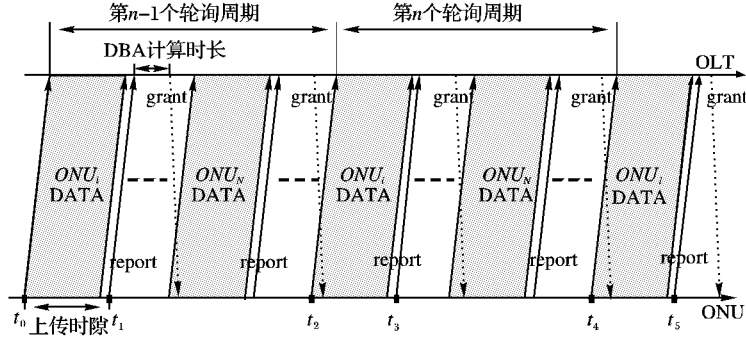


图 2 OLT 授权帧和 ONU 报告帧交互

ONU_i 在上行窗口结束时将缓冲区内积压的各种业务的数据包长度作为带宽申请值装入报告帧发送给 OLT, OLT 根据该值和 DBA 算法计算出下一轮的上传窗口大小和起始时间, 并装入授权帧发送给 ONU_i 。图 2 中 t_1 和 t_3 分别是 ONU_i 第 $n-1$ 轮和第 n 轮的报告帧发送结束的时刻; t_4 是 ONU_i 第 $n+1$ 轮数据帧开始发送的时刻。

在 DBAM 中, 预测第 n 轮的等待区间 (t_3 到 t_4) 到达 ONU_i 的数据包长度为 $T_{i,wait}^n \cdot (Q_{i,j}^n/T_i^{n-1})$ 。其中, $T_i^n = t_4 - t_2$, $T_{i,wait}^n = t_4 - t_3$, $j \in \{EF, AF, BE\}$, 然而 $Q_{i,j}^n$ 是 ONU_i 在 t_3 时刻剩余数据包长度, 并非 t_4 到 t_2 之间到达 ONU_i 的数据包的长度, 导致了预测偏差。讨论一种新的线性估计方法, 设 $D_{i,j}^{n-1}$ 是 t_1 到 t_3 到达 ONU_i 的数据包长度。易知: $D_{i,j}^{n-1} + Q_{i,j}^{n-1} - A_{i,j}^{n-1} = Q_{i,j}^n + OV_{i,j}^n$ 。其中, $A_{i,j}^{n-1}$ 是 t_2 到 t_3 之间 ONU_i 实际上传业务 j 的数据包的长度; $OV_{i,j}^n$ 是 t_1 到 t_3 丢弃的数据包的长度。由于 EF 和 AF 业务的优先级较高, 网络未满载时丢包较少, 因此, 当 $j \in \{EF, AF\}$ 时, $D_{i,j}^{n-1} \approx Q_{i,j}^n + A_{i,j}^{n-1} - Q_{i,j}^{n-1}$ 。

BE 业务优先级最低, 被丢弃的数据包的长度 $OV_{i,BE}^n$ 远远大于前两种业务, 所以 $D_{i,BE}^{n-1}$ 不能准确测量, 为降低 OLT 的资源消耗, 直接设 $D_{i,BE}^{n-1} \approx Q_{i,BE}^{n-1}$ 。

EF 业务的流量短时相关 (Short Range Dependence, SRD), 突发性较弱, 近似为恒定速率。第 n 轮 EF 业务的预测值为:

$$P = (D_{i,EF}^{n-1}/T_i^{n-1}) \cdot T_{i,wait}^n \quad (1)$$

其中 $T_{i,wait}^n = t_2 - t_0$ 。

考虑 EF 业务的包长固定为 L_p 个字节, 式 (1) 修正为:

$$P_{i,EF}^n = \lfloor (P + 0.5 \cdot L_p) / L_p \rfloor \cdot L_p \quad (2)$$

其中, $\lfloor \cdot \rfloor$ 代表向下取整。

AF 和 BE 业务流量自相似、长相关, 具有较强的突发性, 预测失准造成较大的带宽浪费。首先定义第 $n-1$ 轮到 $n-M$ 轮 ONU_i 的业务 j ($j = AF, BE$) 的流量均值和变化因子分别为:

$$\begin{cases} Ave_{i,j}^{n-1} = (1/M) \cdot \sum_{k=n-M}^{n-1} D_{i,j}^k / T_i^k \\ Var_{i,j}^{n-1} = (1/M) \cdot \sum_{k=n-M}^{n-1} |Ave_{i,j}^{n-1} - D_{i,j}^k / T_i^k| \end{cases} \quad (3)$$

预测 $T_{i,wait}^n$ 内到达 ONU_i 的数据包长度为:

$$P_{i,j}^n = \begin{cases} Ave_{i,j}^{n-1} \cdot T_{i,wait}^n, & Var_{i,j}^{n-1} \leq \beta \cdot Ave_{i,j}^{n-1} \\ 0, & Var_{i,j}^{n-1} > \beta \cdot Ave_{i,j}^{n-1} \end{cases} \quad (4)$$

式 (4) 的意义是当前 M 轮的流量变化因子大于平均值的 β 倍时设置 $P_{i,j}^n$ 为 0, 即放弃流量估计。

流量预测后, ONU_i 的业务 j 申请第 $n+1$ 轮使用的带宽为:

$$R_{i,j}^{n+1} = Q_{i,j}^n + P_{i,j}^n; 1 \leq i \leq N$$

设 $S_{i,total}$ 为 SLA 规定的最大授权窗口, 满足三种业务 QoS 要求的带宽分配方案为:

$$B_{i,EF}^{n+1} = \min(R_{i,EF}^{n+1}, S_{i,total}) \quad (5)$$

$$B_{i,AF}^{n+1} = \min(R_{i,AF}^{n+1}, \max(S_{i,total} - B_{i,EF}^{n+1}, 0)) \quad (6)$$

$$B_{i,BE}^{n+1} = \min(R_{i,BE}^{n+1}, \max(S_{i,total} - B_{i,EF}^{n+1} - B_{i,AF}^{n+1}, 0)) \quad (7)$$

1.2 ONU 本地调度策略

AF 和 BE 业务流量的突发性较强, 因此预测带宽 $P_{i,j}^n$ 可能超过或者低于实际需求。以太网数据包的不可分割性会导致大包阻塞^[7], 降低上行带宽的利用率, 增加端到端延时。如果严格按照 1.1 节划分的时间段上传 AF 和 BE 业务数据包会加剧带宽浪费现象。在不影响公平性的前提下, 在一定程度共享 AF 和 BE 业务的上行带宽, 对提高网络接入性能具有积极作用。设业务 j 与 j' , 满足条件 $j \cup j' = \{AF, BE\}$, 则本地调度策略如下:

1) 业务 j 队列非空且余下时隙 $\Delta_{i,j}^n$ 不够发送该队列头部长度为 $L_{j,HEAD}$ 的数据包。如果业务 j' 队列头部长度为 $L_{j',HEAD}$ 的数据包满足条件 $\Delta_{i,j}^n \geq L_{j',HEAD}$, 发送该数据包; 如果 $j' = BE$, $j = AF$ 且 $\Delta_{i,j}^n + B_{i,j'}^n \geq L_{j',HEAD}$, 则发送该数据包并同时进入业务 j' 的上行发送时间段, 否则等待整个上行发送时段结束。

2) 业务 j 队列为空, 且上行时隙剩余 $\Delta_{i,j}^n$, 等待 t_j 后没有业务 j 的数据包到达。如果业务 j' 队列头部的数据包满足 $\Delta_{i,j}^n - t_j \geq L_{j',HEAD}$ 则发送该数据包, 完毕后查看业务 j 是否有新数据包到达, 没有则返回继续执行策略 2); 如果 $j = AF$, $\Delta_{i,j}^n - t_j < L_{j',HEAD}$ 且 $\Delta_{i,j}^n - t_j + B_{i,j'}^n \geq L_{j',HEAD}$ 则直接发送该数据包并进入业务 $j' = BE$ 的上行发送时间段。

上述调度方法的主要优点是网络负担较轻时, 实现了预测带宽 $P_{i,j}^n$ 的部分共享; 网络负担较重时, 减少大包阻塞导致的带宽浪费。

2 仿真性能与分析

EPON 系统的仿真平台共有 16 个 ONU, 光纤链路的上下行速率为 1 Gbps, 而用户到 ONU 的接入速率为 100 Mbps。ONU 的缓存区为 10 Mb, RTT 设定为 0.000 1 ~ 0.000 19 s。EF 业务数据包长度固定为 70 Byte, 到达间隔服从泊松分布; AF

和 BE 业务数据包长度为 64 ~ 1518 Byte,服从均匀分布;自相似流量的 Hurst 参数为 0.8。整个网络流量从 0.05 到 1 变化,其中 20% 为 EF 流量、40% 为 AF 流量、40% 为 BE 流量。本文把文献[5]中的 DBAM 算法作为参考算法;两种算法的最大授权窗口为 6250 Byte。P-DBA 算法的 M 为 4, β 为 0.5, t_f 为 0。

图 3~5 是三种业务的端到端延时图。端到端延时指从数据包到达 ONU 到 OLT 收到这个数据包的延时。P-DBA 的端到端延时比 DBAM 明显下降,主要原因是更准确地预测了三种业务的流量,提高了在下一轮直接发送等待区间内到达的数据包的概率,从而降低了“ $T+2$ ”排队延时;同时,本地调度策略使 AF 和 BE 业务带宽在一定程度上共享减少了浪费,提高了上行带宽的利用率。

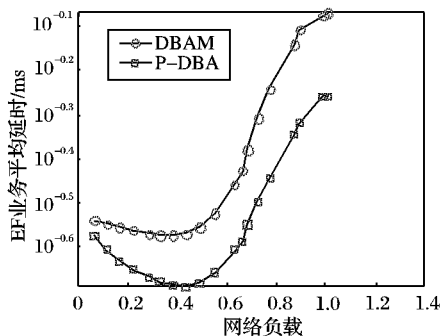


图3 EF业务端到端延时

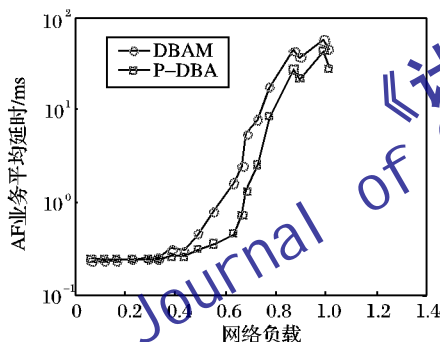


图4 AF业务端到端延时

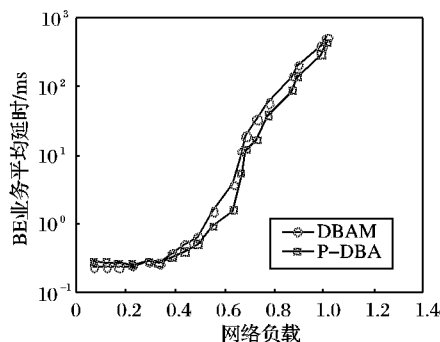


图5 BE业务端到端延时

丢包率指缓冲区已满造成的包丢失数量与网络中数据包总量的比值,由于 P-DBA 算法中数据包被积压在 ONU 缓冲区的时间减少,增大了可用的存储资源,因此可容纳更多的突发数据包,从而降低了丢包率。带宽利用率指 ONU 实际使用的带宽与授权带宽的比值,从图 7 可知 P-DBA 算法的带宽利用率与 DBAM 相比有明显提高。综上,P-DBA 算法较好地满足了各业务的 QoS(如上行延时等)要求。

3 结语

本文通过改进 DBAM 算法的两点缺陷,提出了基于流量预测保证不同业务 QoS 的 P-DBA 算法。本算法对流量平稳的 EF 业务和突发性较强的 AF 和 BE 业务采用不同的预测模型;同时,为减小预测失准导致的带宽浪费,在流量波动较大时段放弃预测。ONU 的本地调度策略允许 AF 和 BE 业务在一定程度上共享上行带宽从而提高了带宽利用率。仿真结果证明了新算法的有效性。

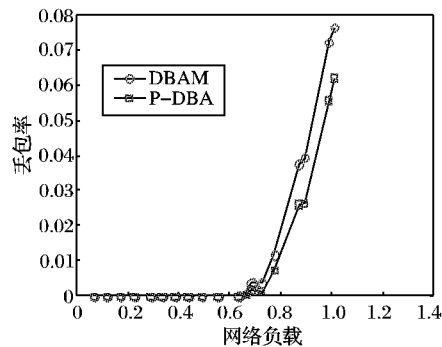


图6 丢包率

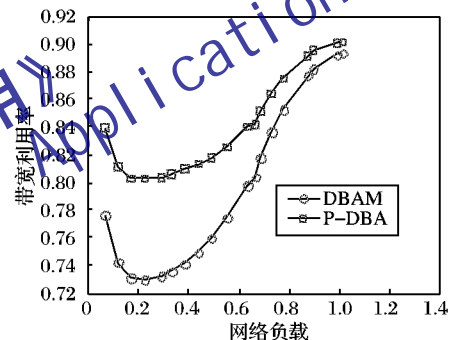


图7 带宽利用率

参考文献:

- [1] PESSAVENTO G, KELSEY M. PONs for the broadband local loop [J]. *Lightwave*, 1999, 16(10): 68-74.
- [2] KRAMER G, MUKHERJEE B, PESAVENTO G. IPACT: A dynamic protocol for an Ethernet PON [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2002, 40(2): 74-80.
- [3] ZHU YONGQING, MA MAODE. IPACT with grant estimation (IP-CAT-GE) scheme for Ethernet passive optical networks [J]. *IEEE Journal of Lightwave Technology*, 2008, 26(14): 2055-2063.
- [4] ASSI C M, YE YINGHUA, DIXIT S, *et al.* Dynamic bandwidth allocation for quality-of-service over Ethernet PONs [J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2003, 21(9): 1467-1477.
- [5] LUO Y, ANSARI N. Bandwidth allocation for multiservice access on EPON [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2005, 43(2): 16-21.
- [6] HWANG I S, SHYU Z D, KE L Y, *et al.* A novel early DBA mechanism with prediction-based fair excessive bandwidth reallocation scheme in EPON [C]// *Proceedings of the 6th International Conference on Networking*. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2007: 75-81.
- [7] KRAMER G, SINGHAL N K, DIXIT S. Fair queueing with service envelopes (FQSE): A cousin-fair hierarchical scheduler for subscriber access networks [J]. *Optical Society of America*, 2003, 22(8): 1497-1510.