

# 以太网无源光网络中的 QoS 研究

张桂英<sup>1,2</sup>, 吴学智<sup>3</sup>

(1. 解放军理工大学通信工程学院, 南京 210007; 2. 海军指挥学院, 南京 210016; 3. 海军工程大学, 武汉 430033)

**摘要:**在分析以太网无源光网络系统 MAC 协议的基础上, 研究基于 QoS 的动态带宽分配机制, 提出一种新的支持业务的 QoS 的动态带宽分配算法。该算法采用限制性带宽分配方法和基于优先级的调度方式, 基于业务的通信量特征对各类业务预分配传输带宽。仿真结果表明该算法在时延和吞吐量性能上优于现有算法。

**关键词:**以太网无源光网络; 服务质量; 动态带宽分配

## Research of QoS in Ethernet Passive Optical Networks

ZHANG Gui-ying<sup>1,2</sup>, WU Xue-zhi<sup>3</sup>

(1. Institute of Communication Engineering, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007;

2. Institute of Navy Command, Nanjing 210016; 3. University of Navy Engineering, Wuhan 430033)

**【Abstract】**This paper addresses dynamic time slot assign mechanism. By analyzing MAC protocol in Ethernet Passive Optical Network(EPON), it proposes a new Dynamic Bandwidth Allocation(DBA) algorithm for supporting QoS. The algorithm adopts limited bandwidth allocation, priority-based scheduling and allocates bandwidth in advance for various types of traffic. Simulation demonstrates that the algorithm enhances QoS metrics such as average delay and throughputs over other protocols.

**【Key words】**Ethernet Passive Optical Network(EPON); Quality of Service(QoS); Dynamic Bandwidth Allocation(DBA)

近几年出现的以太无源光接入网(Ethernet Passive Optical Network, EPON)结合了成熟的以太网技术和高带宽的PON技术, 由此成为目前最具吸引力的宽带接入网解决方案<sup>[1]</sup>。下一代的宽带接入不仅要求能提供高速的Internet接入业务, 更要能提供多种业务并满足其QoS。由于EPON是一个点对多点结构的网络, 下行方向利用广播方式传输, 上行方向采用多个光网络单元(Optical Network Unit, ONU)共享传输媒质的多址接入方式, 因此为了提高传输效率, 并避免ONU间发生冲突, 选取一种适当的动态带宽分配机制对支持QoS十分必要。

### 1 EPON 的体系结构和原理

#### 1.1 EPON 的体系结构

EPON 系统通常采用树形拓扑结构, 一个典型的 EPON 系统由光线路终端(Optical Line Termination, OLT)、光网络单元和光分路器(Passive Optical Splitter, POS)3个部分组成, 其基本体系结构见图1。

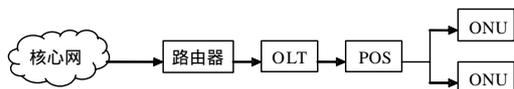


图1 EPON 树型拓扑结构

在图1中, OLT位于中心, 提供接入网到MAN或WAN的接口, 管理 ONU 的信令和监控业务, 还可以针对用户对 QoS/SLA 的不同要求进行带宽分配。POS是连接OLT 和ONU 的无源设备, 其功能是分发下行数据并集中上行数据。EPON 在上行方向多个ONU共享一个传输介质, 为了能够有效共享上行传输带宽, 需要采用一种适当的带宽分配方法。考虑到以太网业务的突发性, 动态带宽分配(Dynamic Bandwidth Allocation, DBA)是比较合适的选择, 即OLT每次分配的时隙

正好是ONU的带宽需求。因此, 使用了多点控制协议(MPCP)<sup>[2]</sup>。通过MPCP, OLT可以动态地给每个ONU分配带宽, 并在多个ONU之间灵活地仲裁传输。多点控制协议由IEEE802.3ah 任务组制定, 其位于MAC控制层, MPCP依靠GATE和REPORT两个以太控制帧来为每个ONU分配带宽。GATE帧被OLT用来为ONU分配传输窗口。REPORT帧被ONU用来向OLT报告当前的状态。但MPCP并没有涉及具体的DBA方案和传输调度算法, 仅给出了一个框架。

#### 1.2 轮询协议的设计

在利用 MPCP 设计一个有效的轮询协议时, 需要考虑以下因素:

(1)公平性

轮询协议一般是基于周期的。在每个轮询周期中, 各个 ONU 被访问一次, 并基于带宽请求被分配一个传输窗口。如果 OLT 允许 ONU 一次性发送缓冲区内所有数据包, 则高负载的 ONU 可能独占上行信道, 这对于低负载 ONU 来说是不公平的。为了解决这个问题, OLT 应限制每个 ONU 的传输带宽。

(2)效率

由于所有 ONU 共享上行信道, 因此要考虑信道的利用率, 常规的轮询策略引入了系统空闲时间。空闲时间由两部分组成:  $T_{\text{idle}} = RTT + DBA\_TIME$ 。其中,  $RTT$  是 REPORT/GATE 消息往返时间;  $DBA\_TIME$  是 DBA 生成授权表的时间。通常  $RTT$  占整个周期的 10%, 因此, 对于上行带宽利用率而言,  $RTT$  是一个不可忽视的重要因素, 减少或消除系统空闲

**作者简介:**张桂英(1962 -), 女, 副教授、博士研究生, 主研方向: 宽带通信网络; 吴学智, 副教授

**收稿日期:**2007-06-30 **E-mail:** wuzhangfa2003@yahoo.com.cn

时间是 DBA 算法设计中的重要目标之一。

### (3)QoS

考虑到ONU支持多种业务的需求,通常将业务分为EF, AF和BE 3 种类型。不同的业务被ONU安排到不同的优先级队列,并共享其缓冲区,当缓冲区满时,新进入的高优先级业务将替代低优先级业务,低优先级业务则被丢弃。ONU通过REPORT信息将缓冲区中的多队列状态报告给OLT, MPCP 允许一次报告 8 个队列<sup>[2]</sup>。缓冲区中的队列需要按一定的调度规则进行调度传输,通常采用严格优先调度(Strict Priority Scheduling, SPS),但这种调度方式会使低优先级业务遭受不公平的时延和分组丢弃,例如,在等待时间(ONU从发出REPORT到发送缓冲区中的数据之间的时间)内到达的EF将比先到达的AF和BE优先得到服务。因此,对严格优先调度作如下限制:先调度等待时间以前到达缓冲区的数据,如果传输完缓冲区中所有数据后,目前的时隙还可以传输数据,才对在等待时间到来的分组进行传输。这种调度方法称为基于优先级调度(Priority-based Scheduling, PS)<sup>[3]</sup>。

## 2 动态带宽分配算法

### 2.1 限制性带宽分配算法

目前几种常用的带宽分配方案包括限制性带宽分配(Limited Bandwidth Allocation, LBA)、基于信贷的分配(credit-based)以及弹性分配(elastic allocation)等<sup>[4]</sup>。在上述各种方案中,限制性带宽分配方案呈现出较好的性能<sup>[5]</sup>。

在限制性带宽分配方案中,时隙分配受最小保证带宽限制。当 ONU 的请求带宽小于最小保证带宽时,按其要求分配带宽;否则,按最小保证带宽分配。最小保证带宽为

$$B_i^{\text{MIN}} = \frac{(T_{\text{cycle}} - N \times T_g) \times B}{8} W_i$$

其中,  $T_{\text{cycle}}$  表示周期;  $T_g$  表示防卫带宽;  $B$  为PON的传输速率;

$W_i$  表示根据SLA分配给每个ONU的权重,  $\sum_{i=1}^N W_i = 1$ 。由于以太网业务具有突发性,上述限制带宽算法不能充分利用轻载ONU所节余的带宽,因此提出了改进的算法EBR (Excessive Bandwidth Reallocation),其基本思想是把轻载ONU剩余的带宽公平地在重载ONU之间进行再分配:

$$B_i^g = B_i^{\text{MIN}} + B_i^{\text{excess}}$$

$$B_i^{\text{excess}} = (B_{\text{total}}^{\text{excess}} \times R_i) / \sum_{k \in K} R_k$$

$$B_{\text{total}}^{\text{excess}} = \sum_i (B_i^{\text{MIN}} - R_i), B_i^{\text{MIN}} > R_i$$

其中,  $B_i^g$  表示OLT分配的带宽;  $R_i$  表示ONU<sub>*i*</sub>要求的带宽;  $M$ 是轻载ONU的数量;  $K$ 是重载ONU的数量。

### 2.2 改进的 DBA 算法

EPON系统的QoS保证主要取决于MAC协议的效率,由于MPCP协议已经由IEEE 802.3ah 任务组标准化,目前的研究主要集中在带宽分配和传输调度方面<sup>[5]</sup>。

在常规的限制性带宽分配算法(DBA1)中,OLT首先对每个ONU的EF业务分配带宽,然后为AF, BE分配带宽,如果所有请求带宽小于最小限制带宽,按其要求进行分配;否则按最小限制带宽进行分配。这种算法的主要缺点是报告收集时间较长,因为必须收到所有ONU的REPORT才能进行带宽分配。

文献[3]提出了一种增强的带宽分配算法(DBA2),考虑了在等待时间内到达的EF类业务,为其预分配传输带宽并改进了调度方式:对于轻载ONU,OLT可以及时调度;对于重

载ONU,须等收到所有REPORT信息后,OLT才能进行带宽分配。这种算法改善了业务的时延特性,但改变了每个业务周期ONU的服务顺序,因为轻载ONU总是先得到服务。为了解决上述问题,本文提出一种新的算法——DBA3。DBA3基于优先级调度策略,采用了限制带宽分配算法和一种新的业务量预测方法,并且对等待时间到达的各类业务均预先分配传输带宽。具体如下:

设ONU<sub>*i*</sub>的最小带宽参数为  $B_i^{\text{MIN}}$ , 则

$$B_i^{\text{MIN}} = B_i^{\text{EF}} + B_i^{\text{AF}} + B_i^{\text{BE}}$$

其中,  $B_i^{\text{EF}}, B_i^{\text{AF}}, B_i^{\text{BE}}$  分别是EF, AF, BE的最小带宽参数。

为了便于说明算法,还定义了下列参数:(1)  $T_{i,n}$ , 发送区间,指ONU<sub>*i*</sub>两次发送报告信息之间的间隔;(2)  $T_{i,n}^w$ , 等待时间,指ONU<sub>*i*</sub>从发出REPORT到发送缓冲区中的数据之间的时间。

在发送区间 $n$ , ONU<sub>*i*</sub>在分配的传输窗口内传完数据后,发出REPORT信息,请求分配下一区间( $n+1$ )的发送带宽:

$$R_{i,n+1}^c = \begin{cases} B_{i,n}^c + \lambda \times T_{i,n}^w & \text{if } c \in \text{EF} \\ (1 + T_{i,n}^w / T_{i,n}) B_{i,n}^c & \text{if } c \in \{\text{AF, BE}\} \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $R_{i,n+1}^c$  是 $c$ 类业务的请求带宽;  $B_{i,n}^c$  是ONU<sub>*i*</sub>在发送区间 $n$ 发出请求时,缓冲区中 $c$ 类业务的业务量;  $\lambda$ 为EF业务的平均到达率。为了改善业务的时延特性,式(1)为各类业务预分配了传输带宽。由于EF业务可近似为泊松分布,按照Little公式进行带宽估算;而具有自相似特性的AF, BE业务可按照区间 $n$ 的业务量进行估算。

收到REPORT后,OLT立即进行带宽分配:

$$B_{i,n+1} = \min \left\{ \sum_c R_{i,n+1}^c, B_i^{\text{MIN}} \right\}, c \in \{\text{EF, AF, BE}\} \quad (2)$$

具体到每类业务,OLT首先为EF, AF分配带宽,剩余带宽分配给BE。即

$$B_{i,n+1}^c = \min \{ R_{i,n+1}^c, B_i^c \}, c \in \{\text{EF, AF}\} \quad (3)$$

$$B_{i,n+1}^{\text{BE}} = B_{i,n+1} - B_{i,n+1}^{\text{EF}} - B_{i,n+1}^{\text{AF}} \quad (4)$$

## 3 仿真研究

本文利用NS2对DBA1, DBA2和DBA3的性能进行了仿真研究。系统模型如图1所示。EPON系统参数如下:链路容量为1 Gb/s;ONU数量为16;OLT与ONU间距离为20 km;防卫时间为1  $\mu$ s;最大周期为2 ms;REPORT信息大小为64 B。业务量模型结合泊松分布和自相似模型,以0.7的 $H$ 参数产生具有自相似特点的AF, BE, 分组大小分布范围为64~1518;EF服从泊松分布,分组大小为70 B;每个ONU支持3个优先级队列,共享10 MB缓冲区;设EF, AF, BE的比例分别为20%, 40%, 40%;负载变化范围为0.1~0.9。

DBA1算法即常规算法,采用改进的限制带宽分配算法和严格优先调度方式;DBA2基于优先级调度方式和EBR算法,并为EF业务预分配估算带宽,优先为轻载ONU提供服务;DBA3采用限制带宽分配算法和基于优先级调度方式,3类业务均预先分配传输带宽。比较内容包括平均分组延迟和吞吐量,其中,时延包括排队时延、传播时延以及分组处理时延。

由图2~图5可以看到,由于对业务按优先级进行了分类,高优先级业务比低优先级业务时延特性好得多。在3种带宽分配算法中,DBA3的时延性能最好。图5比较了3种算法的吞吐量,重载情况下DBA3的最大吞吐量有较大提高。

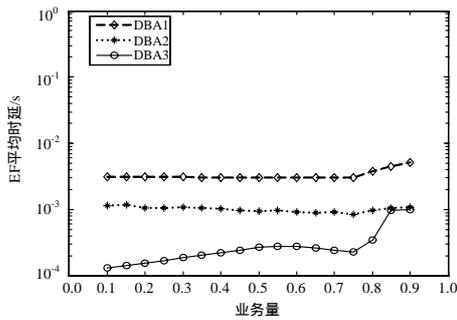


图2 EF平均时延比较

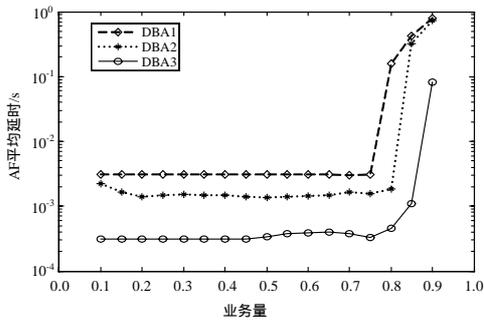


图3 AF平均时延比较

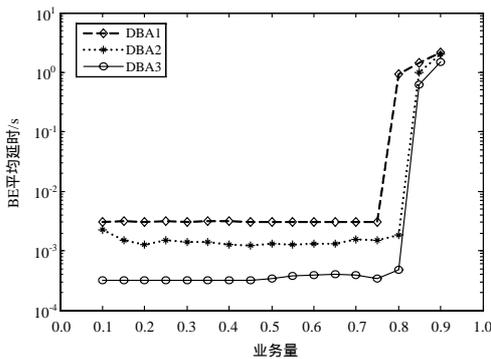


图4 BE平均时延比较

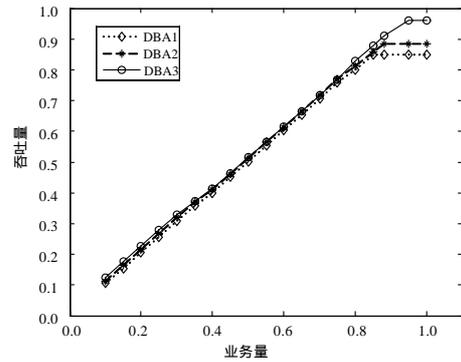


图5 吞吐量比较

#### 4 结束语

随着各种应用的发展,以太网无源光网络的服务质量越来越重要。针对现有算法在支持服务质量方面的不足,本文设计了一种新的DBA算法,对业务进行了优先级分类,并为各类业务预分配了传输带宽,采取了对REPORT信息进行及时处理以及不变的ONU服务顺序等机制,有效地改善了业务的时延和吞吐量性能,仿真研究也验证了上述结论。

#### 参考文献

- [1] Kramer G, Pesavento G. Ethernet Passive Optical Network(EPON): Building a Next Generation Optical Access Network[J]. IEEE Commun. Mag., 2002, 40(2): 66-73.
- [2] IEEE 802.3ah. Ethernet in the First Mile Task Force[Z]. [2007-03-12]. <http://www.ieee802.org/3/efm/index.html>.
- [3] Assi C M. Dynamic Bandwidth Allocation for Quality of Service over Ethernet PONs[J]. IEEE JSAC, 2003, 21(9): 1467-77.
- [4] Kramer G A, Mukherjee B, Pesavento G. IPACT: A Dynamic Protocol for an Ethernet PON(EPON)[J]. IEEE Commun. Mag., 2002, 40(2): 74-80.
- [5] Zheng Jun, Mouftah H T. Media Access Control for Ethernet Passive Optical Networks: An Overview[J]. IEEE Commun. Mag., 2005, 43(2): 145-150.

(上接第122页)

根据表1中4种情况下的发射功率收益可以得到如下结论:(1)采用置信度补偿机制和传统的预测机制分别降低系统的中断概率20%和30%。(2)本文的置信度补偿机制比传统的预测机制更有效地降低了系统的中断概率。(3)将预测及置信度补偿方案结合,进一步提高了系统的性能,降低了中断概率约15%。(4)仿真的预测建立在精确预测功率调整量均值的基础之上,因此,置信度补偿的效果优于预测功率调整量的方案。上述结论是应用于多业务分层系统的补偿方案的优势所在。由于补偿原理相同,因此对于信道衰落的补偿机制也可以得到类似的结论。

#### 5 结束语

本文的功率补偿方案降低了中断概率,并将传统功率控制算法顺利地应用于多层次多业务CDMA系统中。但此方案只提供了较好的发射功率收益,提高了系统容量。而如何在特定的功率控制算法下得到最优的信道容量仍值得探讨,如

何精确地预测功率的调整量也是一个值得研究的方向。

#### 参考文献

- [1] 丁方忠,李韩,秦家银.多业务类分层结构CDMA系统下行链路的功率控制[J].中山大学学报,2005,44(2):34-38.
- [2] Kim J Y, Gordon L S, Ian F A. Macrodiversity Power Control in Hierarchical CDMA Cellular Systems[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2001, 19(2): 266-276.
- [3] 李继龙,陈宇,邱晶.多业务CDMA系统的速率控制与功率分配[J].电路与系统学报,2005,10(2):1-5.
- [4] Zorzi M. On the Analytical Computation of the Interference Statistics with Applications to the Performance Evaluation of Mobile Radio Systems[J]. IEEE Trans. on Communications, 1997, 45(1): 103-109.
- [5] 朱立东,吴诗其.多业务CDMA蜂窝移动通信系统的功率控制[J].通信学报,2003,24(6):81-89.