

# 无源光网络的动态带宽分配调度算法

刘沛莹\* 胡钢 靳颖 罗洪斌

(电子科技大学 宽带光纤传输与通信系统技术国家重点实验室 成都 610054)

【摘要】提出了一种建立在询问-应答基础上的新以太网无源光网络动态带宽分配算法。理论分析和仿真结果表明,该算法具有时延低、带宽利用率高等优点。

关键词 无源光网络;光线路终端;光网络单元;询问-应答

中图分类号 TN253 文献标识码 A

## Dynamic Bandwidth Allocation Algorithm for EPON

Liu Peiying Hu Gang Jin Yin Luo Hongbing

(State Key Laboratory of Broadband Optical Fiber Transmission and Communication Networks, UEST of China Chengdu 610054)

**Abstract** We propose a new dynamic bandwidth allocation algorithm, which is based on grant-request method, for ethernet-passive optical network upstream multiple access scheme. It offers low latency and high bandwidth efficiency. Simulation results confirm its excellent performance.

**Key words** ethernet-passive optical network; optical line termination; optical network unit; grant-request

基于以太网的无源光网络(ethernet-passive optical network, EPON)利用PON的拓扑结构实现以太网的接入,主要由位于局端的光线路终端OLT和位于用户端的光网络单元ONU构成。EPON的下行信道(由OLT~ONU)采用广播方式,数据包按MAC地址被相应的ONU提取;上行信道(由ONU~OLT)采用用户共享信道的方式,因而在OLT端需要一种有效的调度算法来控制多个ONU的接入,以实现高效的带宽分配<sup>[1,2]</sup>。本文提出了一种基于询问-应答机制的动态带宽分配算法并作了仿真分析。

### 1 算法的描述

本算法采用询问-应答机制,在OLT和ONU之间交换控制信息。为节省带宽,应尽量使各个ONU的上行数据按接连到达,每个数据窗口之间只间隔一个保护带宽 $B$ 。

#### 1.1 询问-应答机制的描述

OLT以先到先处理为原则处理从ONU发来的请求。OLT有一个信息表,记录了每个ONU的缓冲区和RTT(round-trip time)大小。若某一时刻OLT收到ONU<sub>i</sub>发来的请求,则即时处理,根据请求的信息更新信息表,并立即向ONU<sub>i</sub>发送一个应答信号,准许其在指定时刻发送一定大小的数据。

为简便说明,假设一个系统只有3个ONU。如图1所示,在 $t_0$ 时刻,OLT收到ONU<sub>1</sub>发来的请求,则立即处理并向ONU<sub>1</sub>发送一个应答信号 $G_1$ ,准许其在 $t_1$ 时刻发送6 000 bit的数据。收到 $G_1$ 后,ONU<sub>1</sub>在 $t_1$ 时刻开始发送数据。该数据由6 000 bit的数据和ONU<sub>1</sub>新的请求 $R_1$ 组成。ONU<sub>1</sub>通过 $R_1$ 告诉OLT在请求产生时刻ONU缓冲区里的剩余比特数。若一个ONU清空了缓冲区,就向OLT报告0字节。相应地,OLT向其发送0字节的应答,

允许发送一个新的没有数据请求。因请求和应答时间只消耗很小一部分带宽, OLT接收信道的利用率接近100%。在一段时间后, ONU<sub>1</sub>的数据到达了OLT, OLT用R<sub>1</sub>中的信息以及通过发送G<sub>1</sub>和收到数据的时间来更新信息表。因为已知ONU<sub>1</sub>发送的数据大小, OLT又知ONU<sub>1</sub>发送的最后一个比特到来的时间, 从而可以合理安排ONU<sub>2</sub>发送数据的时间, 使ONU<sub>2</sub>的第一个比特能紧接着ONU<sub>1</sub>的最后一个比特的到来, 其间只隔保护间隔B, 用同样方法可处理ONU<sub>3</sub>的数据及R<sub>3</sub>。

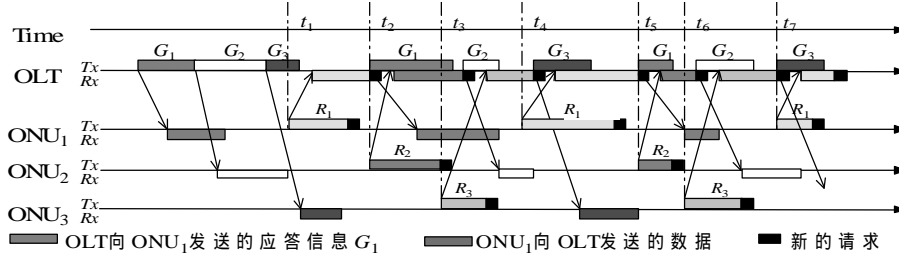


图1 DBA算法的流程

### 1.2 冷启动

冷启动开始时, OLT按顺序每隔300 μs向一个ONU发送0字节的应答作为测距信息, 依次处理收到的请求, 先根据收到的请求信息将状态表更新, 再根据状态表生成新的应答信息并发送给相应的ONU。若隔了300 μs未收到请求, 则将该ONU的RTT标志为TIMEOUT。若有N个ONU, 则冷启动全过程历时300N μs。

启动结束后RTT[i] = TIMEOUT的ONU被标记为未激活的ONU。OLT以1 s的间隔向ONU发送测距应答信息。若连续向某个ONU发送3次应答, 其状态表项都未更新, 则将该ONU标记为未连接的ONU, 每隔1 min向该ONU发送一次应答, 其断开的ONU只占用很少的带宽。

### 1.3 最大传输窗口

为防止上行信道被一个具有大容量的ONU独占, 必须指定一个最大传输窗口。设第i个ONU最大传输窗口为W<sub>max</sub><sup>[i]</sup>, 其请求的窗口大小为W<sub>req</sub>[i], 则采用限制窗口大小法时应答的窗口大小为

$$W^{[i]} = \min(W_{\text{req}}[i] + W_{\text{max}}) \quad (1)$$

### 1.4 包时延分析

包时延D为

$$D = d_{\text{pre}} + d_{\text{grant}} + d_{\text{wait}} + d_{\text{queue}} \quad (2)$$

式中 d<sub>pre</sub> 为包到达的时间与到达后第一个请求发出的时间间隔。用W<sup>[i-1]</sup>表示前一次分配给该ONU的窗口大小, 则d<sub>pre</sub>在[0, (d<sub>grant</sub> + d<sub>wait</sub> + W<sup>[i-1]</sup>/R<sub>u</sub>)]内均匀分布, 其平均值为, d<sub>pre</sub> = (d<sub>grant</sub> + d<sub>wait</sub> + W<sup>[i-1]</sup>/R<sub>u</sub>)/2, 其中d<sub>grant</sub>为新包到来后的第一个请求发出与OLT发来的应答到达的时间间隔, 对于第j个ONU, d<sub>grant</sub>[j] = RTT[j]; d<sub>wait</sub>为从收到应答到该ONU开始发送数据的时间, 假设从t<sub>0</sub>时刻起, OLT开始连续接受数据, W<sub>i</sub>表示某一个ONU某一次发送的数据窗口大小, W<sub>i</sub>'表示该ONU下一次发送的窗口大小。W<sub>i</sub>'为与t<sub>0</sub>时刻所发出的应答对应的数据窗口大小, d<sub>wait</sub>(1) = 0; R<sub>u</sub>为上行数据传输速率, 则有

$$d_{\text{wait}}(n) = \frac{W'_1 - W_n}{R_u} + \sum_{i=2}^{n-1} \frac{W'_i - W_i}{R_u} - [RTT(n) - RTT(1)] \quad n > 1$$

式(2)中d<sub>queue</sub>为从该ONU开始发送数据到该包被发送出去的时间。设q为新包到达时刻包括该新包在内的队列长度, 用W<sup>[i]</sup>表示新包到达后伴随下一个请求所发送的传输窗口大小, 则

$$d_{\text{queue}} = \begin{cases} \frac{q}{R_u} & q \leq W_{\text{max}} \\ \left( d_{\text{grant}} + d_{\text{wait}} + \frac{W_{\text{max}}}{R_u} \right) \left[ \frac{q - W^{[i]}}{W_{\text{max}}} \right] + \frac{(q - W^{[i]}) \bmod W_{\text{max}}}{R_u} & q > W_{\text{max}} \end{cases}$$

### 1.5 缓冲区队列长度分析

在向OLT发送数据的同时每个ONU都会从用户处源源不断地按照速率R<sub>d</sub> bit/μs接收数据, 这些数据保存

在ONU的缓冲区中。ONU收到应答后会按照分配到的窗口大小 $G_w$ 发送上行数据，同时将缓冲区中剩余数据大小上报OLT，申请下个数据窗口 $R_w$ 。设 $Q[i, j]$ 为第 $j$ 个ONU第 $i$ 次开始发送数据的时刻缓冲区中的队列长度， $R[i, j]$ 为同时发出请求的具体发出时刻，故可以得到递推关系式

$$\begin{cases} Q[i+1, j] = R_w[i, j] + \{R[i+1, j] - R[i, j]\}R_d \\ R_w[i+1, j] = Q[i+1, j] - G_w[i+1, j] \end{cases} \quad (2)$$

## 2 仿真结果与分析

仿真结果是单个ONU负载 $w$ 的函数。假设所有的ONU具有相等的负载，对于所有 $N$ 个ONU，提供的网络负载 $f$ 为 $Nw$ 。缓冲区中平均队列长度 $D$ 与网络负载的关系如图2所示，平均包延时 $D$ 与网络负载的关系如图3所示。

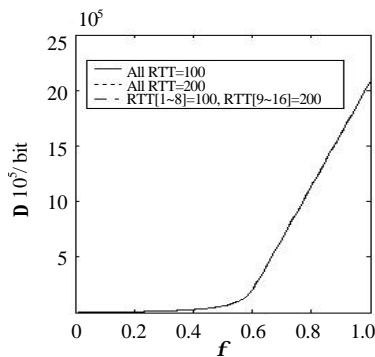


图2 平均队列长度

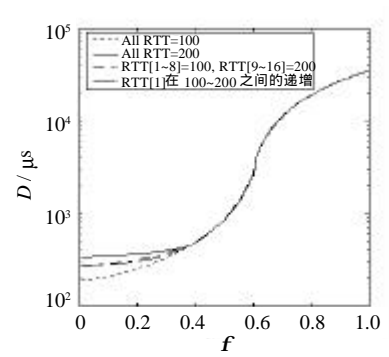


图3 平均包延时

由图2可以看出，平均队列长度与RTT的大小几乎无关。网络负载 $f$ 较小时，OLT能够及时处理各个ONU缓冲区里的数据包，各ONU的缓冲区中的剩余队列大小几乎为0。当 $f$ 增大到约60%后，由于ONU申请的窗口大于最大传输窗口，而由式(1)知OLT分配给ONU的传输窗口一定(最大传输窗口 $W_{max}$ )，因此 $D$ 随网络负载的增加而线性增加，这与式(2)的结果正好吻合。

由理论分析可知，平均包延时与平均RTT和缓冲区的队列长度有关。图3正好验证了这一点：在 $f$ 小于40%时， $D$ 几乎为0，此时影响 $D$ 的主要因素是RTT的大小；在 $f$ 达到中等负荷以后， $D$ 则主要由 $D$ 决定。图3中包延时 $D$ 曲线的变化状况与图2的队列长度 $D$ 变化一致，与理论分析相吻合。

## 3 结束语

通过理论分析和仿真结果表明，本文提出的动态带宽分配算法具有低延迟、高带宽利用率等优点，而且可以通过改变参数 $W_{max}$ 的大小方便地改变给用户分配的保证带宽，从而可适应不同用户的需求。

## 参 考 文 献

- [1] Kramer G, Mukherjee B, Pesavento G. Interleaved polling with adaptive cycle time (IPACT): a dynamic bandwidth distribution scheme in an optical access network[J]. Photonic Network Communications, 2002, 4(1): 89-107
- [2] Osamu Y, Noriyuki O, Noriki M. Dynamic bandwidth allocation for GE-PON[C]. International Conference on Optical Internet, 2002, "COIN.MoA1" 22-24

编辑 徐培红