

APON 系统上行接入的研究*

曾清海** 邱 昆 唐明光 罗正华

(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)(大唐电信光通信公司 成都 610062)

【摘要】 介绍了基于 ATM 的无源光网络(APON), 对该系统的接入机制进行了深入讨论。由于其结构的特殊性, APON 需要特殊的 MAC 协议, 利用优先级队列模型, 对 APON 系统提供的多种优先级业务进行了理论分析, 并得出了有益的结论。

关键词 异步转移模式; 无源光网络; 接入; 队列模型

中图分类号 TN914.52

随着社会的进步和技术的飞速发展, 人们对视频点播、可视电话、互联网等宽带业务的需求不断增加, 使通信网络的宽带化成为必然。为此, 电信主干网基本实现了线路光纤化、交换宽带化。但是, 作为通信最后1 km 的接入网却由于占整个通信网络50%~70%的投资而发展滞后, 成为制约宽带业务发展的瓶颈。因此, 加快宽带接入网的建设引起了电信网规划部门和业界人士的极大关注。

接入网是从电信网端局到最终用户之间的网络, 提供主干网和用户设备或用户网络之间的信息传输通道, 可采用电话双绞线、光纤、同轴电缆和大气等多种传输媒质或其组合。现存的接入网以电话接入网和有线电视网为主, 所以到最终用户的传输媒质也以双绞线和同轴电缆为主。围绕这两种传输媒质, 有关专家提出了多种宽带接入方案, 但为最终用户提供的带宽受到媒质本身和技术等的限制。

光纤的容量非常大, 所以光纤到家(FTTH)是最理想的宽带接入。但是, 光纤到家成本太高, 一步到位难以实现。为此, 人们提出了光纤到路边或大楼(FTTC/B)的过渡方案, 即是从电信局按星型或树型结构将光纤铺设到路边或大楼内, 再通过电话双绞线网络或 CATV 同轴电缆网络为用户提供宽带业务的一种接入方案。在局内和路边/大楼(光纤网络的两端)使用特殊的设备实现业务透明传输。FTTC/B 的光纤网络以基于 ATM 的无源光网络(PON)最为引人注目, 将 ATM 的多业务、多比特速率能力和统计复用功能与无源光网络的透明宽带传输能力相结合, 是一种较为理想的过渡方案。

1 APON^[1]

无源光网络(PON)是没有光放大器等有源光器件的光纤网络。APON 则是采用 ATM 传输方式的无源光网络, 在 OLT 和 ONU 之间传输的是经过激光调制的 ATM 裸信元。

1.1 APON 的结构

APON 的参考结构如图1所示。APON 起始于电信局侧的光线路终端(OLT), 终止于路边/大楼的光网络单元(ONU), 两者之间通过光纤线路连接。一个 APON 系统拥有一个 OLT 和8~32个 ONU, ONU 的数目最多可达64个。OLT 是树型结构光纤分布网络(ODN)的树根, ONU 是叶子。ODN 中使用无源光分支器进行光分路, 从 OLT 到 ONU 称为下行方向, 从 ONU 到 OLT 称为上行方向。上、下行方向既可以使用同一根光纤传输, 也可以使用单独的光纤进行传输。若使用同一根光纤, 则上、下行方向采用不同波长的调制光波。

2000年5月29日收稿

* 国家科委863高科技项目

** 男 28岁 博士生

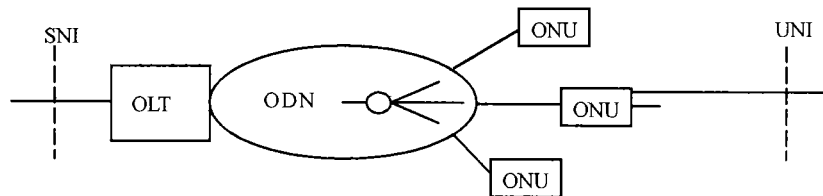


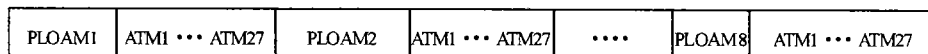
图1 APON 的参考结构

1.2 APON 的传输方式

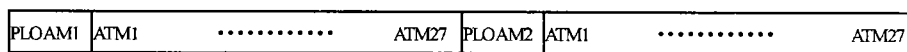
APON 系统下行采用 TDM 方式广播信息, 各 ONU 通过信元头中的 VPI/VCI 识别数据信元。上行使用 TDMA 方式接入, ONU 通过下行帧中的接入控制信息来确定是否接入与何时接入, 下行帧中的接入控制信息由 OLT 根据 ONU 上报的队列情况进行设置。由于上行接入存在媒质共享, 所以不同 ONU 的信息在光分枝器处汇合时有可能产生信号交叠, 从而影响 ONU 信息的正确接收。为此, APON 采用测距技术, 准确测出各 ONU 到 OLT 的信号往返时延 T_r 。选定一个比最大往返时间略大的时间为标准往返时延 T_s (又称均衡时延), 每个 ONU 通过加入校准时延 T_d 使信号经过其往返时间为标准往返时延。以最远 ONU 到 OLT 的距离为 20 km 计算, 均衡时延大约为 80Δ (定义上行帧中 1 个时隙跨越的时间为单位时间, 并记作 Δ)。

1.3 APON 的帧结构

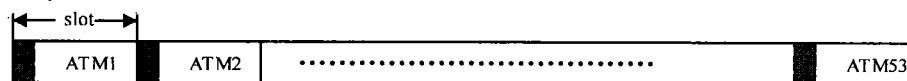
根据 G.983 建议, APON 上、下行速率有两种方案, 即下行 622.080 Mb/s、上行 155.520 Mb/s 和上/下行均是 155.520 Mb/s, 其帧格式如图 2 所示。图中, PLOAM 是物理层运行、管理和维护, 图 2c 中各时隙的阴影为 3 字节开销, ATM 信元的位置也可以是 PLOAM 信元或整个时隙用作可分割时隙。



(a) 速率为 622.080 Mb/s 的下行帧结构



(b) 速率为 155.520 Mb/s 的下行帧结构



(c) 上行帧结构

图2 APON 的上、下行帧结构

下行帧中的 PLOAM 信元用于传 OLT 和 ONU 之间的协调信息。在每帧的头两个 PLOAM 信元中含有 53 个授权 (一种长 1 字节的标识码, 根据具体的 ONU 和授权类型进行编码), 其中数据授权占绝大多数, 用来准许各 ONU 上行发送 ATM 数据信元。某 ONU 得到几个数据授权, 就能上发几个 ATM 数据信元。由此可见, 对各 ONU 上行接入带宽的分配, 具体表现为 OLT 在下行帧的头两个 PLOAM 信元中为各 ONU 提供多少个数据授权。除了数据授权外, 还有 PLOAM 授权、测距授权等 6 种授权, 用于管理信元等其他上行接入准许。

1.4 MAC 协议

APON 系统的上行接入采用“上报-准许-发送”的方式由 OLT 集中控制, 所以该系统的 MAC 协议主要涉及帧结构、上报策略和时隙分配算法, 帧结构已由 G.983 建议规定。在 G.983 建议中没有给出上报策略, 但提到了一种特殊的上行时隙——可分割时隙, 即可分割成多个更小的微时隙的一种上行时隙。G.983 建议指出, 可以使用可分割时隙中的微时隙来传 ONU 的上行发送缓冲队

列信息给 OLT, 每个微时隙为一个 ONU 所使用, 本文讨论的就是这种上报策略。时隙分配算法的优劣与上报策略有关。如图3所示, 由于从上报到发送不可避免地存在时间滞后, 所以 OLT 不可能根据 ONU 发送时的实际情况进行时隙分配, 使任何时隙分配算法都存在分配偏差, 一个优良的时隙分配算法应该尽可能地减少这种偏差。

假定可分割时隙位于上行帧的帧头, 可分割时隙的数目由 ONU 的数目和可分割时隙的具体划分决定。上行接入过程为: 在上行帧的帧头, ONU 将在上一帧内各级业务新到达的信元数目上报给 OLT, OLT 收到上报后, 结合以前的上报和时隙分配情况进行新的时隙分配, 分配结果通过紧接着的一个下行帧送到 ONU, ONU 根据分配结果判断下一个上行帧的接入。

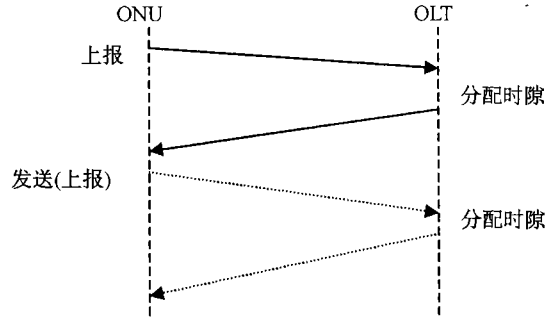


图3 APON 系统上行接入示意图

2 上行接入理论分析^[2, 3]

由上面的分析可知, APON 系统上行接入的排队模型是一种特殊的具有优先级的 *M/GI/1* 排队模型^[4], 不仅服务时间固定, 并且服务开始的时刻也是周期性的。因此, 需研究这样一种排队模型: 泊松到达、固定服务时间和开始服务时刻、单服务装置、无限缓存、无限客源和非抢占优先的先来先服务(FCFS)的队列。在这个排队模型中, 一个 ATM 数据信元就是一个顾客, 上行时隙是服务装置。由于上行时隙是串行提供的, 因此, 只能看作一个服务装置。另外, 对所有信元, 服务时间都固定为 $\mu^{-1} (\mu^{-1} = 1\Delta)$ 。假定上行接入业务分成 R 级, 第 j 级 ($j=1, 2, \dots, R$) 业务信元按平均值为 λ_j 的泊松分布到达。总的到达速率为

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_R$$

等级 i 的某一信元到达后的平均等待时间为^[5]

$$E[W_i] = E[W_i^1] + E[W_i^2] + E[W_i^3]$$

式中 W_i^1 为新顾客到达后, 正在被服务顾客还需服务的时间; W_i^2 为已在队列中等待服务的所有顾客需要的服务时间; W_i^3 为在等待过程中到达的更高优先级 ($1 \sim i-1$ 级) 的顾客需要的服务时间。令

$$\hat{\lambda}_i = \sum_{j=1}^i \lambda_j \quad \hat{\rho}_i = \sum_{j=1}^i \rho_j = \sum_{j=1}^i \frac{\lambda_j}{\mu_j}$$

式中 ρ_i 是等级 i 业务所提供负荷。

综合考虑等级 $1 \sim R$ 业务的服务时间 S , 可得

$$[S] = \sum_{j=1}^R \frac{\lambda_j}{\lambda} \mu_j^{-1} = \mu^{-1}$$

$$E[S^2] = \sum_{j=1}^R \frac{\lambda_j}{\lambda} \frac{K_{s_j} + 1}{\mu_j^2} = \mu^{-2}$$

式中 $K_{s_j} = \frac{\sigma^2(s_j)}{E^2[s_j]} = 0$ 是等级 j 业务服务时间的平方变异系数。

根据更新过程可知, 新信元到达后到下一个时隙开始的平均等待时间为

$$E[W_i^1] = E[\bar{S}] = \frac{E[S^2]}{2E[S]} = \frac{1}{2} \mu^{-1}$$

已经假设业务等级为 i 的信元在队列中的等待时间为 $E[W_i]$, 应用 Little 公式便可得到在队列中等级 i 业务的平均信元数

$$E[N_i] = \lambda_i \cdot E[W_i] \quad i = 1, 2, \dots, R$$

因此

$$E[W_i^2] = \sum_{j=1}^i E[N_j] \mu_j^{-1} = \sum_{j=1}^i \lambda_j E[W_j] \mu^{-1}$$

同样, 利用 Little 公式可知在信元等待期间到达的等级 j 的平均信元数为

$$E[M_j] = \lambda_j E[W_i]$$

因此

$$E[W_i^3] = \sum_{j=1}^{i-1} E[M_j] \mu_j^{-1} = \sum_{j=1}^{i-1} \lambda_j E[W_i] \mu^{-1}$$

综合上述三个平均等待时间, 得

$$E[W_i] = E[W_i^1] + E[W_i^2] + E[W_i^3] = \left(\frac{1}{2} + \sum_{j=1}^i \lambda_j E[W_j] + \sum_{j=1}^{i-1} \lambda_j E[W_i] \right) \mu^{-1}$$

将上式化简, 可得

$$E[W_i] = \frac{1}{2(1-\hat{\rho}_{i-1})(1-\hat{\rho}_i)} (\text{Tcell}) \tag{1}$$

式(1)是对 $i > 1$ 的情况下得出的, 对 $i=1$, 即最高优先级的业务, 容易得到

$$E[W_1] = \frac{1}{2(1-\rho_1)} (\text{Tcell})$$

若令

$$\rho_0 = 0 \quad \hat{\rho}_i = \sum_{j=0}^i \rho_j$$

则式(1)适用于所有等级($i=1, 2, \dots, R$)的业务。

从式(1)可以看出, 等级 i 业务的平均信元等待时间与等级从 $1 \sim i$ 的业务所提供的负荷有关, 而与 i 级以上的业务所提供的业务无关, 这是按优先级服务原则的必然结果。等级 i 业务的平均信元等待时间随 $1 \sim i$ 等级业务所提供的负荷的增加而增加。当 $1 \sim i$ 等级业务所提供的总负荷趋于满负荷时, 第 i 级业务的平均信元等待时间将趋于无穷大。当达到满负荷时, 队列的状态不稳定, 信元平均等待时间没有稳态解。

3 计算机仿真结果

本文对上节建立的理想接入模型进行了两次计算机仿真, 仿真参数如表1所示。在第一次实验中, 假定只有一种优先级的业务, 其信元到达过程是均值为 λ 的泊松过程。在第二次实验中, 假定有两种优先级的业务, 信元到达过程是均值为 $\lambda_i (i=1, 2)$ 的泊松过程。为简单起见, 取 $\lambda_1 = \lambda_2$ 。仿真实验通过负载量的变化来仿真这两种优先级业务信元在 ONU 队列中的平均等待时间。

表1 仿真参数

| 仿真参数 | 仿真值 | |
|----------------|--------------------|--------------------|
| | 实验1 | 实验2 |
| 业务等级数 | 1 | 2 |
| 实验时间长 | 4 000帧 | 3 000帧 |
| 负载量 | 等级1业务 1~50 信元/帧 | 等级2业务 1~25 信元/帧 |
| 变化 | | |
| ONU 数目 | 16 | |
| 下行速率 | 155.520 Mb/s | |
| 上行速率 | 155.520 Mb/s | |
| 各 ONU 信元到达平均速率 | 相等 | |
| 各 ONU 信元到达分布 | 泊松流到达 | |
| 服务时间长 | 定长(1时隙) | |
| 各 ONU 缓冲区大小 | 不受限 | |

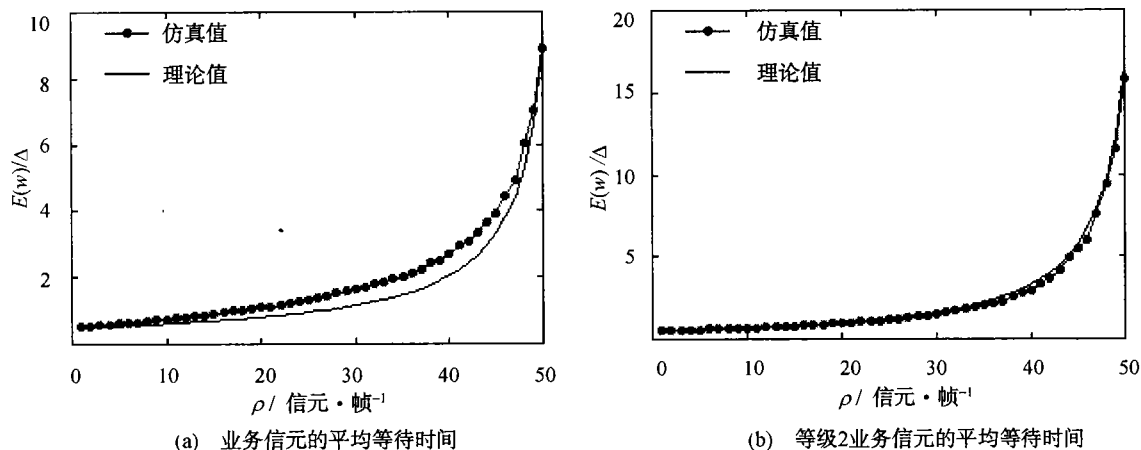


图4 信元平均等待时间与负载量的关系

图4a、4b 分别是实验1、2的结果。从图中可以看出, 仿真数值与使用理想接入模型推导所得的理论值相吻合。由此可见, 该模型及其理论分析适用于 APON 系统理想接入的情况。在实际系统中, 由于 ONU 之间不能相互监测, 其接入必须由 OLT 集中控制, 导致本来可以尽快接入的信元由于没有得到准许而被迫等待。等待时间的长短与使用的 MAC 协议有关。因此 MAC 协议应该在兼顾各等级业务的接入延时变化等参数的同时, 使各等级业务信元的平均等待时间尽可能地向上计算所得的理论值靠近, 以满足不同业务对这些参数的不同要求。

4 结束语

在实际应用中, APON 系统提供多种业务优先级的宽带接入。本文从理论上计算出各优先级业务信元的平均等待时间, 有助于设计出高效率的适用于 APON 系统的 MAC 协议。此外, APON 系统上行接入建立的排队模型可以推广到所有 ATM 复接系统。

参 考 文 献

- 1 ITU-T, G983. High speed optical access systems based on passive optical network, 1998
- 2 陈鑫林. 现代通信中的排队论. 北京: 电子工业出版社, 1999
- 3 盛友招. 排队论及其在计算机通信中的应用. 北京: 北京邮电大学出版社, 1998
- 4 钱炜宏, 李乐民. 具有多优先级的 ATM 交换机的平均延时. 电子科技大学学报, 1997, 26(4): 341~345
- 5 钱炜宏, 李乐民. 输入/输出 ATM 交换机在突发性业务下的性能. 电子科技大学学报, 1997, 26(6): 576~579

Study of Upstream Access for APON System

Zeng Qinghai Qiu Kun Tang Mingguang

(National Key Lab of Optical Fiber Transmission and Communication Networks, UEST of China Chengdu 610054)

Luo Zhenghua

(Datang Group Chengdu 610054)

Abstract In this paper, a passive optical network based on ATM (APON) is presented, and APON's access mechanism is anatomized. APON needs a special MAC protocol because of its special structure. Setting up a queuing model with priority, a theoretic analysis of APON system for the support of services with several priorities is given, and some useful conclusion is met.

Key words asynchronous transfer mode; passive optical network; access; queuing model