APON 的帧结构和 MAC 协议设计及其性能分析

乔耀军, 于晓映, 濮宏图, 管克俭, 陈 雪
(北京邮电大学 125 信箱, 北京 100876)

摘 要: 本文参照以 ATM 为基础的无源光网络(APON)的 G. 983 建议, 提出了一种新的传输帧结构和媒质接入控制(MAC)协议. 传输帧长选为 125μs, 这有利于 STM 业务的接入. 考虑到话音业务对时延敏感并且传输速率较低的特点, MAC 协议对话音业务实行固定带宽分配. 对其它类型的业务则采用基于预留的动态带宽分配方案. 通过建模仿真分析了协议的信元时延(CD)和信元时延变化(CDV)特性.

关键词: 基于 ATM 的无源光网络; 媒质接入控制; 信元时延; 信元时延变化
中图分类号: TP393. 14 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112 (2000) 07-0117-03

Design and Performance Analysis of Frame Structure and MAC Protocol for APON System

QIAO Yao-jun, YU Xiao-ying, PU Hong-tu, GUAN Ke-jian, CHEN Xue
(P. O. Box 125, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: Associated with ITU-T recommendation G. 983 about ATM based passive optical network (APON), a new frame structure and a medium access control (MAC) protocol are presented in this letter. The length of the frame is 125μs, which is very favorable to access STM (Synchronous transfer mode) services. For voice service, because it is sensitive to time delay and has very low bit rate, we adopt fixed bandwidth allocation. But for other services, we use dynamic bandwidth allocation. The CD (cell delay) and CDV (cell delay variation) characteristics of this MAC protocol are analyzed under several service scenarios through computer simulation.

Key words: ATM based passive optical network; medium access control; cell delay; cell delay variation

1 引言

随着传输技术和交换技术的不断发展, 电信网的干线部分已基本实现了光纤化、数字化和宽带化. 然而, 处于电信网边缘的接入网发展却一直很缓慢, 技术落后, 带宽很窄. 接入网已经成为限制信息高速公路建设的瓶颈. 为了向小商业用户和居民用户提供宽带综合业务, 推动光纤接入网的发展, 由 13 家电信运营商和设备生产商于 1996 年成立了全业务接入网(FSAN)小组, 把基于 ATM 的无源光网络(APON)作为支持宽带光纤接入网发展的最佳方案. APON 已经成为接入网中研究和开发的热点[1~3], ITU-T 也于 1998 年 10 月给出了 G. 983 建议. 建议规定上/下行传输帧长约为 152. 7μs, 这不利于周期为 125μs(或其整数倍)的 STM(同步转移模式)业务的接入. 另外, 建议没有给出可用的 MAC 协议, 只给出了一些泛泛的要求. 本文参照 G. 983 建议, 提出了一个新的传输帧结构. 这个帧结构的传输帧长为 125μs, 有利于 STM 业务的接入. 对于 APON 的 MAC 协议, 目前已经有了比较广泛的研究[4~6]. 本文提出的 MAC 协议的带宽分配采用固定和动态两种分配方案相结合, 这样既减小了时延敏感业务的信元时延(CD), 又发挥了 ATM 技术擅长承载宽带综合业务的优势, 提高了带宽利用率. 另外, 光网络单元(ONU)每次上报给位于光线路终端(OLT)处 MAC 控制器的不光是信元的排队数目, 还有信元到达的时间信息, 这种方法可以减小信元时延变化(CDV). 最后, 通过建模仿真分析了 MAC 协议的 CD 和 CDV 特性. 在以下的讨论中, 假定上下行传输速率均为 155. 520Mbit/s, ONU 的数目为 32 个, ONU 与 OLT 之间的最大距离为 20km.

2 传输帧结构

G. 983 提出上行帧由 53 个长度为 56 字节的时隙组成, 下行帧由 56 个长度为 53 个字节的信元构成, 帧周期约为 152. 7μs. 因为 STM 业务的产生周期是 125μs(或其整数倍), 如果用上述帧来承载显然有些不合适. 本文提出的传输帧结构如图 1 所示, 帧周期为 125μs. 下行帧由 44 个长度为 53 个字节的 ATM 信元和 2 个长度为 49 个字节的 PLOAM 信元组成, 每个 PLOAM 信元除了有 5 个字节的信头开销外, 余下的 44 个字节与 G. 983 中 PLOAM 信元的使用方法基本相同. 上行帧由 43 个长度为 56 个字节的时隙和 22 个冗余字节组成. 冗余字节可以用来增强 MAC 协议的健壮性(robustness), 例如当上行 MAC 排队请求信息不能正确接收时可以用它来传送相应的补救消息[2].

收稿日期: 1999-05-24; 修订日期: 2000-02-23
基金项目: 国家自然科学基金(No. 69896242)资助课题; 博士后基金资助课题

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

接入网是位于 V 接口和 T 接口之间的用户接入实体, 具有一定的独立性和可开发性. 从网络分层的角度来看, APON 内部可以看成是由 ATM 层和 PON 段层组成. 以上新定义的传输帧结构中下行方向 PLOAM 信元的长度虽然与 ATM 信元有差异, 但因为下行 PLOAM 信元是由 OLT 产生并插入到下行信元流中, 具体产生办法由开发商自行设计, 并不影响在 V 接口的互通. 把帧长改为与 STM 业务的产生周期一致, 可以改善 STM 业务接入的 CD 和 CDV 性能.

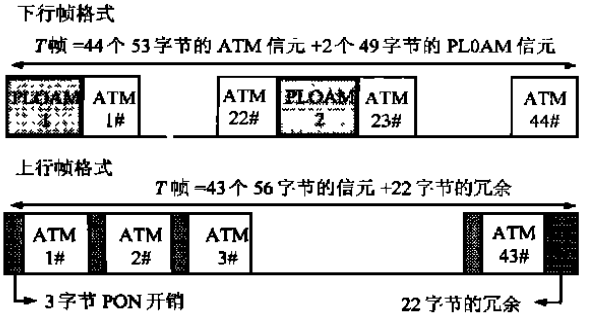


图 1 155. 520Mb/ s 对称 APON 系统的帧结构

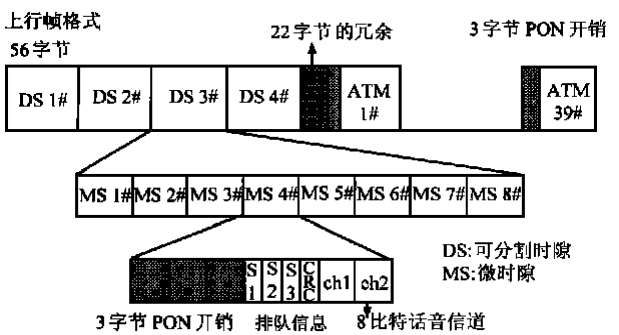


图 2 MAC 协议的上行传输结构

3 MAC 协议描述和准许分配算法

对于 APON 的 MAC 协议设计, 除了要考虑 G. 983 建议和实现成本外, 本文着重强调了减小业务的时延和时延变化, 提高带宽利用率. MAC 协议的上行传输结构如图 2 所示. 位于 OLT 的 MAC 控制器每帧都向所有的 ONU 轮询一次在上一个帧周期内信元的到达情况. ONU 在每一上行帧的前几个时隙传送排队信息. 假设每 8 个用户共用一个上行时隙, 该时隙称为可分割时隙. 这样对于有 32 个 ONU 的 APON 系统, 需要占用 4 个上行时隙. 在图 2 中, 每个可分割时隙分成 8 个长度为 7 个字节的微时隙, 每个微时隙可供一个 ONU 传送 MAC 的请求信息. 在每个微时隙中前 3 个字节用于传送物理层开销, 主要完成突发同步和功率恢复等功能. 接下来的 2 个字节的前 12 比特用于传送 ONU 在上一个帧周期内信元到达的情况, 余下的 4 比特用于循环冗余校验(CRC) . 最后 2 个字节作为传送话音业务的专用信道固定分配给该 ONU, 这样每个 ONU 就有 128kb/ s 的固定带宽传送话音业务. 也就是说, 在 ONU 处, 话音业务可以不打成 ATM 信元形式直接通过专用的话音信道传送给 OLT, 在 OLT 处再做复用或包封处理. 话音业务的直接传输不仅提高了带宽利用率, 还改善了 CD 和 CDV 性能.

用于传输 ONU 排队信息的 12 比特分成三段, 每段 4 比特, 可以标识 15 个时隙的信元到达情况. 也就是说, 在 ONU 处每 15 个时隙间隔统计一次信元到达的情况(最后一段是 13 个时隙) , 利用每段的 4 比特记录下来, 计满一帧后通过轮询给它的微时隙传给 OLT 的 MAC 控制器, OLT 处根据所有 ONU 上报的一帧内信元到达情况分配准许. 不难想象, 统计时间越短, 所记录的信元到达信息就越精确, OLT 分配给 ONU 的准许分布就越接近 ONU 信元的实际到达分布, 即 CDV 就越小. 但具体实现时不但要考虑 CDV, 还要兼顾带宽利用率.

OLT 接到所有 ONU 的排队请求信息后, 开始给 ONU 分配准许. MAC 协议的准许分配算法可以这样理解. ONU 上报的排队请求信息先记录在临时存储器上, 每个请求段对应一个临时存储器. ONU 在某一段上每有一个请求, OLT 的 MAC 控制器就在对应存储器上把 ONU 的序号记录一次. 不同 ONU 上报的排队信息在对应段上相叠加. MAC 控制器收集到上一帧所有 ONU 的信元到达信息后开始分配准许, 准许分配原则如下:

(*A*) MAC 控制器读取不同临时存储器上的排队信息时遵循先进先出(FIFO) 的原则, 在同一个临时存储器上来自所有 ONU 的排队信息采取随机读取方式, 以保证准许分配的公正性. 具体实现时对这种随机读取的简化不会引起协议性能的明显恶化[2].

(*B*) 当某一临时存储器上的总请求数(即某一段上所有 ONU 的排队请求数) 小于对应准许段上可用的准许数时, MAC 控制器要根据需要发送空准许, ONU 检测到空准许后自动忽略. 当某一临时存储器上的总请求数大于对应段上的可用准许数时, MAC 控制器不需要发送空准许, 本准许段内处理不完的总请求任务可顺延到相邻的准许段上完成.

(*C*) 认为测距的优先级比数据的优先级低. 当有测距请求时, MAC 控制器先分析本帧的剩余带宽是否能满足测距开窗. 如果能满足, MAC 控制器就接受该测距请求, 不过此时本帧内的空准许将在满足测距开窗后再发送. (实现了业务不间断测距)

OLT 的 MAC 控制器把分配的准许填写到下行的 PLOAM 信元中, 在下行帧适当的位置广播发送给所有 ONU. ONU 在检测到分配给自己的准许后, 在上行帧的指定时隙发送信元.

表 **1** 业务源参数

源名称	源类型	峰值比特率 Mbit/ s	平均比特率 Mbit/ s	平均突发长度 cell	AAL 字节
*A*1	CBR	10	10	—	1
*B*1	on- off	50	5	100	4
*C*1	WCT	155. 520	10	20	1

表 **2** 业务组合情况

组合方案	业务源组成	业务源个数每个 ONU	ONU 个数	负载率
*S*1	*A*1	2	5	0. 8375
*S*2	*B*1	1	11	0. 4678
*S*3	混合	4* *A*1 2* *A*1+ 1* *C*1	2 1	0. 8758

4 MAC 协议的性能仿真

评价 MAC 协议的两个重要指标是 CD 和 CDV. CD 是指信

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

元从 *T* 接口进入接入网到信元到达 V 接口的时间差. 根据 ITU-T 的 G.982 建议, CD 应该小于 1.5ms(对应 524 个 56bytes/cell 的信元). CDV 体现了接入网对其上行业务流的整形程度, 分为一点 CDV 和两点 CDV 两种. 一般只讨论一点 CDV 为正值的情况, 对应信元流到达的峰值速率提高, 对网络的影响较大. 本文讨论的 MAC 协议, CDV 产生的原因是信元在缓存区中等待的时间差异和上报排队信息的分辨率(每 15 个时隙统计一次) . G.731 建议规定的 CDV 最大取为 250μs(对应 87 个长度为 56 个字节的信元) . APON 的 MAC 协议性能可以通过三种业务类型在不同组合下的仿真结果来衡量[2] . 这三种业务类型分别是: CBR 业务、开-关业务和最坏业务. 本文采用业务源的类型和业务组合种类如表 1 和表 2 所示.

用 MATLAB 语言对表 2 中三种业务组合进行仿真, 分析了 MAC 协议的 CD 和 CDV 性能. 图 3(*a*) 、(*b*) 是 CD 的仿真结果, 在仿真中加入了固定时延 190 个信元. 从图 3 可以发现, CD 约有 50% 小于固定时延 190. CD 有小于 190 的情况是因为 ONU 上报排队信息时以 15 个时隙为单位而 OLT 在分配准许时同一段上不同 ONU 的请求是随机分配的, 致使 CD 有小于固定时延的情况发生. 图 3(*a*) 中的 *S*1 是 CBR 业务的 CD 分布情况, 最大时延不超过 210 个信元; 图 3(*b*) 是纯开关业务组合 *S*2 的 CD 分布情况, 由于这种业务突发性很大, 由暂时过载引起的 CD 较大. 图 3(*b*) 中 CD 的最大值超过了 500 个信元, 但是这种业务对时延要求不高; 图 3(*a*) 中的 *S*3 是 CBR 业务流在有偶发事件干扰时的时延特性, 从中可看出 MAC 协议仍然具有较好的时延特性.

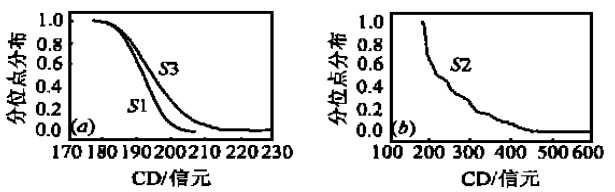


图 3　三种业务组合下的信元时延

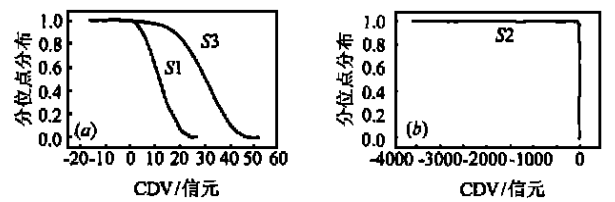


图 4　三种业务组合下的信元时延变化

图 4(*a*) 、(*b*) 是一点 CDV 的仿真结果. 从中不难看出, 在这三种业务组合下, 都具有较小的正的 CDV, 这说明本文提出的 MAC 方案具有较好的 CDV 性能. 对于图 4(*b*) 中产生较大负 CDV 的原因是根据一点 CDV 的定义, 业务流处于开关交替状态时信元的产生间隔与峰值信元间隔比较产生的.

5　结论

本文参照 ITU-T 的 G.983 建议, 提出了一种新的传输帧结构和一套 MAC 协议. 传输帧的帧长为 125μs, 这有利于 STM 业务的接入. MAC 协议是固定带宽分配和动态带宽分配两种分配方案的有机结合, 兼顾了 CD、CDV 和带宽利用率等多种性能要求. 通过计算机仿真证明该 MAC 协议具有较好的 CD 和 CDV 特性.

参考文献

[1] Full Services Access Network, the web site: http://www.labs.bt.com/profsoc/access/index.htm

[2] U. Killat, Ed. Access to B-ISDN via PON's. New York: Wiley, 1996, 1st ed

[3] Yoshi Bessho, Ichiro Yamashita, Kunio Hashimoto and Kenr ichi Nishimura. Advances in FTTH research and development. NTT REVIEW, 1997, 9(5): 26~31

[4] J. Angelopoulos, I. Venieris, E. Protonotarios. A transparent MAC method for bandwidth sharing and CDV control at the ATM layer of passive optical networks. J. Lightwave Technol., 1996, 14(12): 2625~2635

[5] J. Angelopoulos, I. Venieris, G. Stassinopoulos. A TDMA based access control scheme for APON's. J. Lightwave Technol., 1993, 11(5/6): 1095~1103

[6] J.M. Senior, D. J. Abblitt, D. W. Faulkner. Passive optical network performance with TDM and ATM. Proc. SPIE, 2450, Broadband Networks: Strategies and Technologies, Amstersam, Holland, 1995, 564~569



乔耀军　1972 年出生; 1994 年在河北师范学院获理学学士学位, 1997 年在吉林大学获物理学硕士学位, 1997 年至今在北京邮电大学攻读博士学位; 主要从事宽带光纤接入网和波长变换的研究. E-mail: kjguan@bupt.edu.cn



于晓映　1974 年出生; 1997 年在重庆邮电学院获得工学学士学位, 1997 年至今在北京邮电大学攻读硕士学位; 主要从事宽带光纤接入网的研究.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net