

基于千兆以太网的无源光网络系统及其实现技术

杨 壮, 何 岩, 张 傲

(烽火通信科技股份有限公司, 湖北武汉 430074)

摘 要: 以太网无源光网络 EPON 是目前光纤到户宽带接入的主流方式. 时延补偿、动态带宽分配以及局端桥接等是构建 EPON 系统的关键技术. 为了避免多个 ONU 发送冲突, 实现用户端设备的时延补偿和自动加入, 本文采用绝对时标来补偿不同光网络单元(ONU)往返时间的差异, 完成其往返时间的计算和动态测距. 上行链路动态带宽分配则采用基于逻辑链路标识(LLID)的流量统计算法, 结合其服务水平协议(SLA), 获得了较低的延时特性和很高的带宽利用率. 在 EPON 光线路终端(OLT)中借助动态过滤数据库技术实现了一个 OLT 和多个 ONU 的逻辑链路 MAC 仿真, 解决了 EPON 和常规以太网 LAN 的兼容性问题. 这些技术方案在武汉邮电科学研究院(WRI)完成的 863 科技攻关项目中均进行了严格的测试, 结果符合预期要求. 提供的现场测试数据表明研制的样机系统能很好支持多种业务的综合接入.

关键词: 以太网无源光网络; 光纤到家; 动态带宽分配; 绝对时标; 动态过滤数据库; 逻辑链路标识; 服务水平协议

中图分类号: TN929. 11 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112(2004)12A-078-04

Research and Implementation of Gigabit Ethernet Passive Optical Network System

YANG Zhuang, HE Yan, ZHANG Ao

(Fiberhome Telecommunications Technologies Co., LTD. WuHan, HuBei 430074, China)

Abstract: Ethernet Passive Optical Network is playing a vital role in today's fibre to the home broadband access engineering. Delay compensation, Dynamic Bandwidth Allocation (DBA) and bridging are key technologies in EPON system design. To avoid several ONUs transmit collision and realize the ONU's plug and play function, absolute timestamp was used in the round trip delay compensation design, thus calculation of the round trip time (RTT) and ranging process can be easily done on timestamp bases. Also a native statistic algorithm based on each LLID, combining with its Service Level Agreement (SLA) and RTT value, was deployed in upstream DBA. It can bring low delay and high efficiency to bandwidth allocation. The proposed dynamic filtering database method was applied in EPON center system bridging, which achieved one OLT to many ONUs logic link MAC emulation, to comply with the traditional Ethernet LAN. These solutions have been tested strictly in WRI 863 R&D project and the results all accord with the anticipated analysis. The field experiment data given prove that the prototype system behaves very well when running triple play services.

Key words: ethomet passive optical network (EPON); FTTH; DBA; absolute timestamp; dynamic filtering database; Logical link ID(LLID); SLA

1 引言

随着因特网的快速发展, 宽带用户的不断增加, 光纤到户 (FTTH) 成为必然趋势. 目前的主流接入技术是 ADSL 和 FTTx + LAN 的应用, 但它们都存在带宽瓶颈和维护困难等问题, 不能满足人们对带宽日益增长的需求以及对交互式多媒体业务的渴望. 基于千兆以太网的无源光网络系统 (EPON) 是国际上 2001 年以来逐渐兴起的一项光纤宽带接入新技术. 由于光通信成本的不断降低, 迅速开发和使用这种具有带宽和传输距离绝对优势的光纤接入系统, 成为各个电信运营商和设备制

造商提高竞争力的主要手段. 中国国家高技术研究发展 (863) 计划通信领域在 2001 年 12 月将基于千兆以太网无源光网络系统 (EPON) 的研发列为重大课题进行攻关. 武汉邮电科学研究院承担了该课题, 并于 2004 年 2 月顺利通过验收.

与传统的接入方式相比, EPON 有许多优势:

首先, EPON 技术具有高带宽. EPON 的下行信道为百米千兆的广播方式, 而上行信道为用户共享的千兆信道. 这比目前的接入方式, 如 Modem、ISDN、ADSL 甚至 ATM PON (下行 622/155Mbps, 上行共享 155Mbps) 都要高得多.

其次, EPON 技术具有高可靠、低成本、免维护等突出优

点. 由于在局端和远端设备之间只有无源光分路器和一些连接器件, 不需要供电和人工维护; PON 是一种一点对多点的网络拓扑, 可以很大程度上减少对光纤资源和光收发器件的需求, 降低系统的成本.

第三, EPON 利用以太网协议作为二层传输技术, 符合下一代网络的发展方向, 极具实用价值. 由于千兆以太网无源光网络 (EPON) 系统具有上述优势, 实现一种经济高效的光纤接入系统, 实现光纤到家庭, 彻底消除带宽瓶颈就变得更加刻不容缓了. 本文首先就 EPON 的技术实现路线与总体方案进行分析, 然后着重对系统所采用的测距与时延补偿、动态带宽分配以及 EPON 桥接技术进行理论分析, 并提出解决办法.

2 技术实现路线与总体方案

EPON 具有经济而高效的结构. 在网络拓扑结构上, 以太网无源光网络采用光纤分支技术, 利用无源双星 (PDS) 或树型结构和特殊的点对多点的多址协议, 使得多个光网络单元 (ONU) 共享一个光线路终端 (OLT), 众多的用户分摊一个 ODN 的初建成本和运行成本. 在信号传输体制上, EPON 使用 1310nm 和 1490nm (或者 1550nm) 波长来分别传送上、下行方向的信息, 信息的传输格式都采用以太网帧传输方案, 速率均为 1000Mbps, ONU 到端局距离可长达 10~20 公里.

表 1 系统模块配置表

模块划分	模块名称	基本功能	主要参照标准
OLT 的 ODN 接口处理	无源双星接口模块	提供 1 路远端线路终端, 还提供 1000Base LX	802.3ah 标准、802.3z 标准
OLT 控制模块	CPU 控制盘	提供网管接口和控制功能	遵从 SNMP 标准
OLT 交换	交换背板	提供 8G 以太交换功能	IEEE 802.1p、IEEE 802.1q
ONU 接口盘	百兆接口盘	提供 16 路 10/100M 接口	802.3x
ONU 用户接口处理	以太网网络无源接口盘	提供 1 路远端线路终端, 还提供 1000Base LX	802.3ah 标准、802.3z 标准

统模块配置表). EPON 接口上下行均能提供千兆的带宽, 最大可支持 1 比 32 的分路比和 20 公里的测距范围. 具有动态带宽分配功能, 提高了上行带宽利用率并具有强大的网管功能, 同时易于建设、扩展、维护和管理, 可根据客户的需求定制带宽服务.

远端设备具有适用于不同场合的远端设备形态. 可用于 FTTB 和 FTTH. FTTB 远端设备一般可提供 36 个 10/100 以太网端口和 1 个千兆以太网口. 系统的技术指标包括各种接口的指标和 EPON 的传输段的指标. 局端的上联接口和远端的用户接口指标与通常的以太网技术规范一致. EPON 的传输段在物理层和数据层接口均遵守相应的 IEEE802.3 技术规范.

3 EPON 关键技术的实现

EPON 的关键技术既包括自动发现、动态测距、动态带宽分配等与 PON 特性相关的技术难点, 还包括以太网特性在无源光网络中的扩展应用.

正如数学上 4 元数虽然是复数的直接的扩张, 然而却是一项伟大的发明一样, EPON 的传输协议也是以太网协议发展的重大改进. EPON 的实现思想也是继承以太网的核心遗传因

EPON 的上行通道采用了时分多址 (TDMA) 技术, 整个系统复杂度较高. 我们选择了研发大型 FPGA (现场可编程门阵列) 的方式来解决 EPON 传输汇聚的难题. 局端芯片使用两片百万门级的 FPGA, 远端使用一片百万门级的 FPGA.

EPON 传输汇聚符合 IEEE802.3ah 标准草案, 即 EPON 传输段采用标准以太网帧结构, 间插具有 MPCP 协议的以太网控制帧. 在逻辑层面, 芯片可以支持 1:32 的分路比, 实现不小于 20 公里的自动测距功能和自动注册功能.

系统的总体方案如下: EPON 系统具远程接入的系统结构, 设备包括局端设备 (OLT) 和远端设备 (ONU) 2 种设备 (参见图 1 EPON 网络结构及设备).

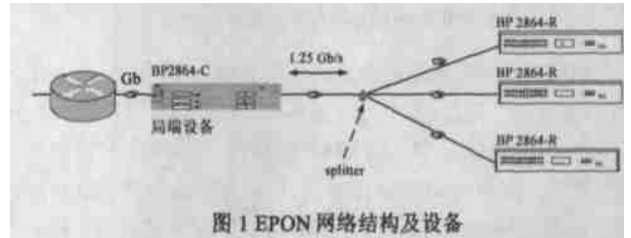


图 1 EPON 网络结构及设备

局端设备具有 8G 以上的二层交换能力, 可以提供四路 EPON 接口卡. 每个 EPON 接口卡除了提供接入侧 EPON 接口外, 还提供一个千兆的上联端口, 与城域网相连 (参见表 1 系

子, 将以太网最核心最本质部分保存下来, 添加基于多址接入和远距离传送的成分, 使得传输距离和接入拓扑上取得突破.

EPON 使用测距和时延补偿技术, 完成远距离传送; 使用动态带宽分配实现具有统计复用特性的上行多址接入技术, 使用 EPON 桥, 扩展了以太网的 IEEE 802.1D 生成树协议 (STP).

3.1 测距和时延补偿技术的实现

由于光纤信道 10~20 公里范围传输时延较大, ONU 与 OLT 之间的距离不等将会影响到上行信道的复用, 如果准确测量各个 ONU 到 OLT 的距离并能精确的调整 ONU 的发送时延, 则可以减小 ONU 发送窗口间的间隔, 从而提高上行信道的利用率并减小时延. 另外, 测距过程应充分考虑到整个 EPON 的配置情况. 例如, 系统在工作中加入新的 ONU, 此时对它的测距不应对其他 ONU 有影响.

传统的测距和时延补偿技术不能被采用, 因为以太网有一个明显特殊性, 那就是没有周期性的帧结构. 因为帧结构的时间标杆不存在, 系统测距和时延补偿必须采取特定的办法. 在我们设计的 EPON 系统中采用了绝对时间标签的做法.

时间标签测距法就是通过时间标签在 OLT 与 ONU 之间

的传递, 计算接收的时间标签值和 OLT 本地时钟的之间的差来得到 ONU 的 RTT 值。

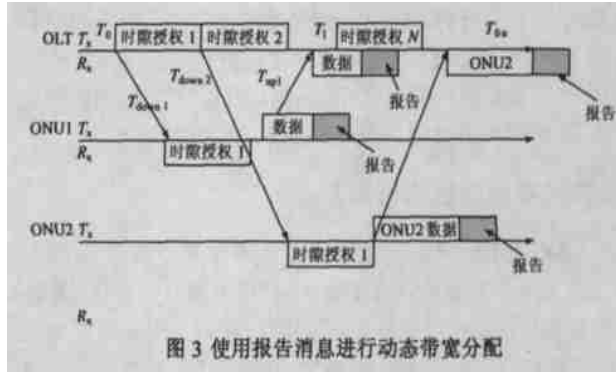


图3 使用报告消息进行动态带宽分配

利用时间标签法进行测距的原理见图 2。图中 T_R 为 ONU 总的响应时间, T_{DOWN} 为下行传输延时, T_{UP} 为上行传输延时, T_{WAIT} 为 ONU 接收到 OLT 的 MPCP 消息(一般为 GATE 消息), 到发送窗口开始之间的等待时间。OLT 在本地时间为 t_0 时, 给 ONU 发送一个 MPCP 帧, 它携带的时间标签值为 $TS = t_0$ 。经过 T_{DOWN} 时间的传输延时后, 这个 MPCP 帧到达 ONU。ONU 将本地时间计数器的值更新为 t_0 , 然后就等待。等待 T_{WAIT} 时间后, 这个 ONU 的发送窗口开始了, 它就发送数据和 MPCP 帧, 并将本地时钟计数器的值 t_1 插入到 MPCP 帧的时标域。ONU 发出的 MPCP 帧经过 T_{UP} 时间的传播延迟后到达 OLT。

可以看出, 当 OLT 收到 ONU 的 MPCP 时, 本地时钟计数器的绝对时标值减去收到的 MPCP 中时间标签域的值, 就可以得到用于补偿 ONU 距离远近的 RTT 值了。

为了使 ONU 的注册不受其他 ONU (或者在工作、或者在注册) 的影响, 通过周期性开设测距窗口, ONU 在窗口内随机延迟进行注册, 大大增强了系统的稳定性和效率。

3.2 上行信道动态带宽分配技术的实现

上行信道的动态带宽分配是 EPON 技术的核心技术。动态带宽分配的焦点将是普通的 TDMA 的实现方法动态指定远端系统的接入者, 使上行信道的公平性、带宽利用率、时延和时延抖动等指标达到要求。最简单的预测带宽的需求是基于短时间带宽实际利用率统计的方法。一个特例就是根据已经注册的 ONU, 系统自动平均分配带宽。

但许多研究表明, 大多数网络业务流(由 http, ftp, VBR 视频应用所产生的)都具有自相似性和长范围相关。因而短时间带宽实际利用率统计的方法有一定的局限性。只有通过反馈, 统计带宽需求信息, 才可以实现最佳的 DBA 设置。系统中反馈带宽需求, 提高带宽利用率。

下面我们给出了这个算法的高度概括:

- ⊗ OLT 使用授权(Grant)方式, 指定 ONU 发送窗口;
- ⊗ 接收到 Grant 后, ONU 按照 PON 的时标, 在 Grant 规定的时刻开始传送数据, 传送数据的数量为该授权窗口的大小;
- ⊗ ONU 使用报告消息(REPORT)反馈队列长度信息。

图 3 使用报告消息进行动态带宽分配的情况。为

了简化例子, 我们考虑只有 2 个 ONUs 的系统。ONU 可以得到一个 Grant 所指定的窗口内通过发送报告消息(REPORT)发送它在下一个周期中所要求的字节数, 参与动态带宽分配的竞争。OLT 就根据这个报告消息(REPORT)信息来更新它的带宽配置表。带宽配置表可以是固定的, 即根据每一个 ONU 的服务水平协议(SLA), 或者是动态的——根据网络负载的平均值。

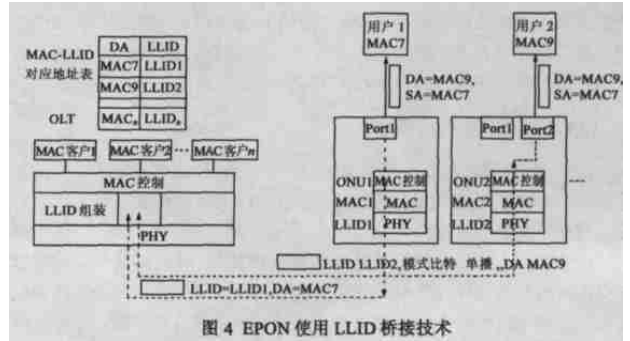


图4 EPON 使用 LLID 桥接技术

动态带宽分配的计算量很大, 需要技术平台。武汉院所研制的芯片和系统具有动态带宽分配硬件加速功能, 可以支持各种动态带宽算法。系统具有内置 CPU, 实现动态带宽分配算法。

3.3 EPON 桥接技术的实现

从理论上讲, OLT 与 ONU 之间是一个点到多点的网络, 存在 EPON 和常规以太网 LAN 的兼容性问题。常规以太网是一个点到点网络或者多点到多点的网络。这种点到点的网络不存在目的地不明确的问题。对多点到多点的网络则采用广播的方式, 由于传输距离近也没有问题。EPON 是一个点到多点的网络长距离传输网络, 若简单地采用广播方式, 网络的效率很低。

利用逻辑链路标示(LLID)来指示 OLT 与 ONU 之间传送的以太网包, 建立一种 OLT 与 ONU 之间逻辑连接, 是一个很好的思想。事实上, 利用 LLID 可为每一个 ONU 与 OLT 之间建立若干条点到点的逻辑链路, 即一个 ONU 可以分配多个 LLID, 分别传递不同类型或不同用户的业务。

针对 EPON 和常规以太网 LAN 的兼容性问题, 我们提出了利用 LLID 动态过滤数据库技术来实现 EPON 桥接并付诸于实现。在设计中, 我们将 OLT 的 PON 端口定义成 LLID 网

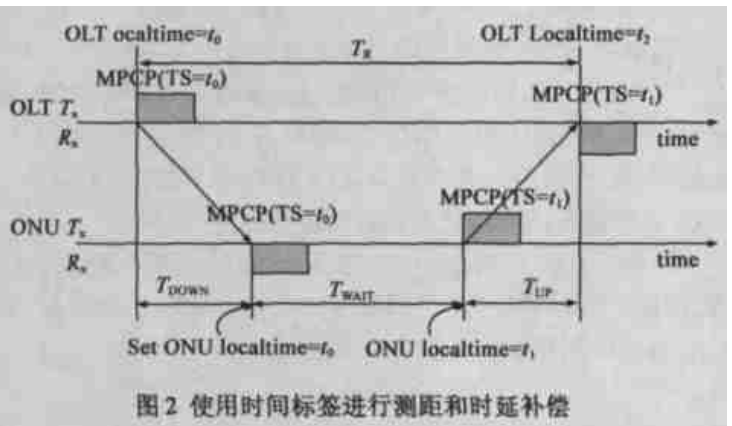


图2 使用时间标签进行测距和时延补偿

桥,即在一个物理端口上定义若干个逻辑端口,每一个逻辑端口与一个 ONU 之间建立一条逻辑链路,用 LLID 标识.在 PON 端口上,不再基于物理 MAC 地址进行寻址或转发,而是基于 LLID 来进行帧的转发,过滤或反射,而且还规定从一个逻辑端口上接收到的帧,不能再从同一个逻辑端口上发送.这样不但解决了与现有的符合 IEEE 802.1D 标准的网桥等设备的兼容性,同时又实现了 PON 端口的反射功能,最大限度地利用了 EPON 的下行单播能力.所研制的芯片和系统具有单播能力,可自动学习和组装逻辑链路标识(LLID),实现分布式网络交换,提高了网络效率.

如图 4 所示,OLT 通过学习功能可建立一个 MAG LLID 的对应地址表.OLT 要发送一个单播帧到 ONU1 的用户 1 (MAC7).OLT 通过查找本地地址表,发现这个帧的 DA 属于 LLID1 所标识,就在帧的前导码中插入自己的 LLID1 后,通过 PON 端口将这个帧发送到 ONU,同样 OLT 在 MAC-LLID 对应地址表中查找到与 MAC9 对应的 LLID 值为 LLID2,OLT 便将帧的 LLID 值转换成 LLID2,设置模式比特(MB)为单播,ONU2 将会发现这个帧的 LLID 与自己的相符合,便接收这个帧,而其他的 ONU,包括 ONU1 都不会接收这个帧.

通过设置,LLID 还可以进一步与用户端口绑定,这样 ONU2 直接将 LLID2 的数据包桥接到端口 2,再通过端口 2 将帧提交给用户 2.这就实现了不同端口分别传递不同类型或不同用户的业务功能.

动态过滤数据库、动态带宽分配的实现在 802.3ah 协议中并没有明确的解决方案,但是 EPON 系统和芯片的研制者必然要面对这些难题.在这些技术的研究上,我们获得了多项核心专利.

4 实验结果

利用所研制的系统,我们搭建了图 5 所示的实验平台.在网管界面设置好各 ONU 端口的个数均为 2 个 100Mb/s,每个端口分配 1 个 LLID.OLT 的上

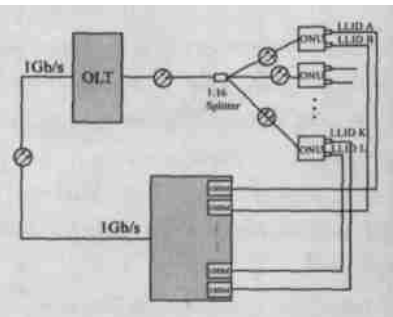


图 5 实验平台示意图

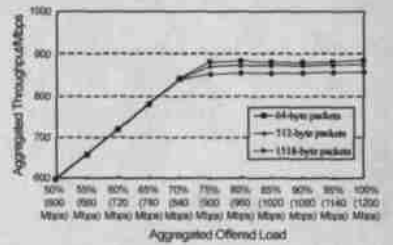


图 6 各种负载下吞吐量

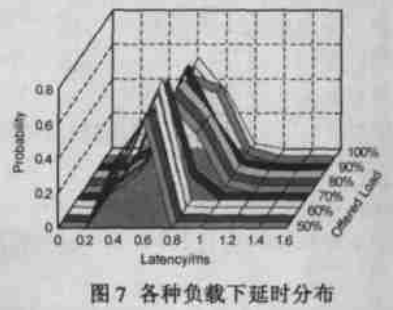


图 7 各种负载下延时分布

联端口为 1 个 1000Mb/s. 其中 LLID A 的优先级最高,其他 LLID 的优先级相同.借助 Smarbits 网络分析仪,我们获取了在各种网络应用情况下的性能统计数据.图 6 和图 7 分别给出了吞吐量和延时的测试结果.可以看出,系统的健壮性很好,具有较高的吞吐量特性和很低的延时,高优先级的逻辑链路可以获取更好的服务质量,满足各种业务的应用需求.

5 总结

本文论述了武汉邮电研究院 863 课题所研制的符合 802.3ah 协议 EPON 系统的总体方案和实现技术路线.文章对该系统中所使用的关键技术,测距与时延补偿、动态带宽分配以及 EPON 桥接技术进行了理论分析,给出了实现这些关键技术的要点.

技术发展本身的意义在于应用,将 EPON 技术应用在终端用户上是各个设备生产商和运营商最为关心的问题.目前除了日本、韩国以外,中国也已经开始了 EPON 试点,进入 FTTH 大发展的前夜.中国在光纤到户进程中,采用 EPON 技术的宽带接入系统必然成为主要角色.

参考文献:

- [1] G Pesavento, M Kelsey. PONs for the broadband local loop [J]. Light wave, PennWell, 1999, 16(10): 68- 74.
- [2] G Kramer, B Mukherjee, G Pesavento. Ethernet PON (ePON): Design and analysis of an optical access network [J]. Photonic Network Communications, 2001, 3(3): 307- 319.
- [3] W Leland, M Taqqu, W Willinger, D Wilson. On the self similar nature of ethernet traffic (extended version) [J]. IEEE/ ACM Transactions on Networking, 1994, 2(1), 1- 15.
- [4] IEEE draft P802. 3ah/ D3. 3 TM, Media Access Control Parameters, Physical Layers and Management Parameters for Subscriber Access Networks [S].
- [5] IEEE Standard 802. 1D, Standard for Information Technology—Telecommunications and Information Exchange Between Systems—Local and Metropolitan Area Networks—Common Specifications—Part 3: Media Access Control (MAC) Bridges [S]. 1998.

作者简介:

杨 壮 男, 1962 年出生于湖北省武汉市, 863 专家, 教授级高级工程师, 硕士生导师, 《光通信研究》编委, 主要兴趣的领域是光通信传输系统, 接入系统, 主持了多项国家重点项目的研究工作. E-mail: yz@wri. com. cn.



何 岩 男, 1963 年出生于河南省洛阳市, 教授级高级工程师, 硕士生导师, 《光通信研究》编委, 主要兴趣的领域是接入系统, 先后主持了武汉邮电科学研究院承担的国家 863 计划重大(子)课题“全业务接入系统(ATM-PON)”和“基于千兆以太网的无源光网络(EPON)”的研究工作, 申请专利 5 项.