

EPON 和 WDM-PON 的分析比较

胡保民, 刘 武, 卢 曦, 刘 海, 刘德明

(华中科技大学 光电子科学与工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 文章分析了以太网无源光网络 (EPON) 和波分复用无源光网络 (WDM-PON) 的多址技术、物理层关键技术和二层协议, 特别针对这两种技术点对点仿真 (P2PE) 的实现给出了详细的分析, 比较了这两种技术的性能, 最后给出了结论并指出了二者不同的应用方向。

关键词: 以太网无源光网络; 波分复用无源光网络; 时分多址; 波分多址; 点对点仿真

中图分类号: TN915.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8788(2006)06-0024-04

Analysis and comparison between EPON and WDM-PON

Hu Baomin, Liu Wu, Lu Xi, Liu Hai, Liu Deming

(Dept. of Optoelectronics Eng., HUST, Wuhan 430074, China)

Abstract: The multiple address technology, key physical layer technology and layer 2 protocols of EPON and WDM-PON are analyzed. The implementation of Point-to-Point Emulation (P2PE) of the above two technologies is specially analyzed in detail and their performances compared. Finally, a conclusion is given and their respective application fields indicated.

Key words: EPON; WDM-PON; TDMA; WDMA; P2PE

目前最常见的光接入网技术不外乎以太网无源光网络 (EPON) 和千兆无源光网络 (GPON) 两种, 二者的主要差别在于二层协议一个采用以太网, 一个采用与通用成帧规程 (GFP) 类似的 GEM (GPON 封装方法) 帧。在物理层, 以上两种技术下行均采用广播方式, 上行均采用时分多址 (TDMA) 方式。由华中科技大学光电系研究和开发的波分复用无源光网络 (WDM-PON) 和以上两种技术有所不同, 该技术在下行也采用广播方式, 但上行采用波分多址 (WDMA) 方式, 其二层承载协议为以太网。采用 WDMA 可以绕过很多 TDMA 的疑难问题, 拥有更佳的性能。因为目前大量部署的是 EPON 网络, 因此, 本文着重分析比较 802.3ah EPON 和 WDM-PON 的不同和优缺点。

1 EPON 和 WDM-PON 的上/下行技术分析

典型的 EPON 拓扑为树形结构, 其中, 光线路终端 (OLT) 位于根节点, 光网络单元 (ONU) 位于叶子节点, 分叉处为光分路器。EPON 采用单纤双向技术, 其中上行采用 1 310 nm 波长, 下行采用 1 490 nm 波长。EPON 下行采用广播方式, 上行采用 TDMA 技术, 具体参见文献[1]。

WDM-PON 同样采用树形拓扑, 但采用双纤双

向, 其中下行使用 1 310 nm 波长, 上行每个 ONU 采用符合 ITU-T G. 694. 1 规定的密集波分复用 (DWDM) 波长, 或者符合 ITU-T G. 694. 2 规定的

粗波分复用 (CWDM) 波长。在下行方向, WDM-PON 同样采用光分路器进行广播; 在上行方向采用 WDMA (参见图 1 和图 2),

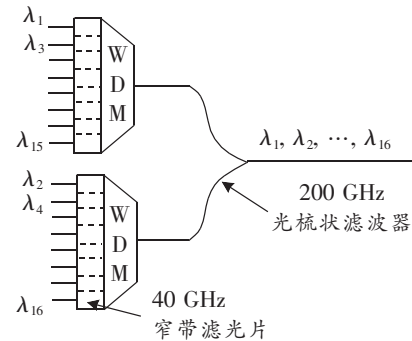


图 1 16 信道 WDM 构成

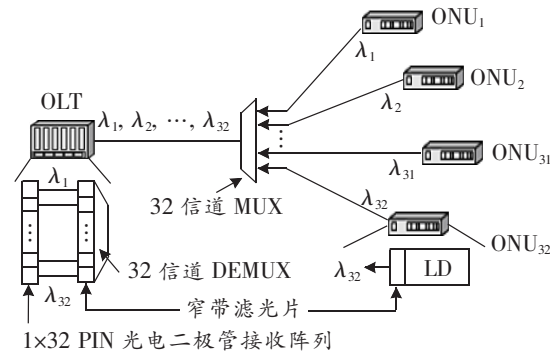


图 2 WDM-PON 的上行方向

分叉处采用光分路器或者 WDM 器件进行合波, 在

收稿日期: 2006-01-10

基金项目: 国家“八六三计划”资助项目 (2001AA122023); 国家创新基金资助项目 (04C26214210710)

作者简介: 胡保民 (1977-), 男, 湖北黄梅人, 博士, 主要从事宽带光接入网的研究。

OLT 内部有波分复用分路器(WDM DEMUX)和对应的光接收阵列,其具体实现方法在下一节描述。

二者主要的不同体现在:EPON 上行采用 TDMA,每个 ONU 使用相同的波长和不同的时隙,OLT 只有一个光接收器;WDM-PON 上行采用 WDMA,每个 ONU 使用不同的波长和独立的信道,OLT 端需要光波分解复用器件和对应的光接收阵列。从以上分析可以得出这样的结论,在下行方向,EPON 和 WDM-PON 的 OLT 数据均采用光分路器分发至每一个 ONU,这一点和以太网的天然广播很相似。在上行方向,对于 EPON 来说 ONU 只和 OLT 通信而不和其他 ONU 通信,从这个意义上讲上行方向类似于点对点(P2P)结构。但是和真正的点对点网络不同,同时来自多个 ONU 的帧仍有可能冲突,为此 EPON 需要有一套机制来确保不同的 ONU 上行帧不会冲突。而对于 WDM-PON 来说,其上行方向每个 ONU 和 OLT 之间都有单独的信道,是真正的点对点网络。

2 EPON 和 WDM-PON 的物理层关键技术比较

在上行采用 TDMA 技术的 EPON 系统中,ONU 的光发射机以突发模式工作,即只在分配给它的时隙内才有功率输出,在其他时间内处于关断状态。因为激光器从关断到正常的功率输出有一个功率建立过程,这样 ONU 的发射机应该采取一定的措施减小和补偿突发时延,为此 ONU 需使用突发发射模块。另外,EPON 中不同 ONU 突发发射到 OLT 的帧经过的路径不同,传输衰减的差异很大,在 OLT 处必须采取相应的突发接收技术,为此 OLT 必须采用突发式光接收模块。关于 EPON 的物理层关键技术参见文献[2]。

而 WDM-PON 的上行方向实现技术在原理上十分简单,图 1 和图 2 给出了 32 信道的 WDM-PON 的物理层的关键技术和低成本实现。图 1 中,我们采用一个 200 GHz 的光梳状滤波器(Interleaver)、两个 400 GHz 间隔的 8 信道 WDM 和 16 个 DWDM 窄带干涉滤光片实现了 16 信道的 WDM。我们再用 1 个 100 GHz 的 Interleaver 级联两个这样的 16 信道 WDM,即可以构成 32 信道的 DWDM 解复用器。图 2 中,ONU 发射端我们采用光电混集成制作技术将 LD 芯片和 DWDM 窄带干涉滤光片集成在一起构成低成本 DWDM 激光器。WDM-PON 的物理层关键技术具体的实现方法可

参见文献[3]。

3 EPON 和 WDM-PON 的二层协议比较

为了在点对多点(P2MP)的结构上实现点对点仿真(P2PE),802.3ah 中引入了一个多点媒体访问控制(MAC)层(作为原来 MAC CONTROL 层的扩展),并对 RS 子层做了扩展,使之支持逻辑链路标识(LLID)^[4]。

多点 MAC 层主要涉及到这样几种关键技术:同步和测距、自动发现以及请求报告和允许处理。

为了保证采用 TDMA 技术的 EPON 系统上行信号不发生碰撞,必须引入定时同步和测距技术。在 OLT 和 ONU 中均有一个 32 位的计数器,每 16 ns 增加一次,用作本地的时间戳。当 OLT 或者 ONU 发送多点控制协议数据单元(MPCPDU)时都会将发送首个 8 位的本地时间置入时间戳域。ONU 在收到 MPCPDU 时会将本地时间戳的值改成所收帧的时间戳域的值,从而完成同步。在 OLT 端,当收到 MPCPDU 时会用本地时间戳的值减去所收帧的时间戳域的值,即可以获知 OLT 到该 ONU 的巡回往返时间(RTT)。为避免环境温度的变化和光电器件的老化等因素造成的 RTT 变化,需要 OLT 端定期的测距。

多点控制协议(MPCP)包含自动发现、请求报告和允许处理 3 个功能。为了完成这 3 种功能,802.3ah 在原 802.3 的基础上新增了 5 种 MAC 控制操作码,分别为 GATE、REPORT、REGISTER_REQ、REGISTER 和 REGISTER_ACK。

自动发现机制可以发现新连上的或离线后重新访问的 ONU,该过程由 OLT 驱动,OLT 会定时地利用 GATE 帧给不在线的 ONU 提供注册机会。OLT 注册 ONU 时会给其分配一个惟一的 LLID,且将该 ONU 的 MAC 同此 LLID 绑定。

请求报告机制主要用于生成和终止 ONU 的队列请求报告,ONU 的队列请求报告可以用于上行带宽请求以及维护 OLT 端的看门狗计数器报警。即使没有带宽请求时,OLT 为了防止和 ONU 同步失效(会造成 ONU 的非法注销),也会定期地发送 GATE 让 ONU 有机会发送 REPORT 帧。

允许处理是 MPCP 中最关键的过程,通过该机制可以保证同一时刻只有一个 ONU 向 OLT 发送数据。在 GATE 消息中会安排对应 ONU 时间窗口的起始时间以及长度,ONU 应该在该时间窗口

起始时发送数据并在窗口结束前关断激光器。为了使 ONU 的本地时间不失效,OLT 必须定期地给 ONU 发送 GATE 帧,哪怕无需安排时间窗口。

EPON 为了支持 P2PE,还必须扩展 RS 子层,使之支持 LLID。和原 802.3 协议不同的地方在于 802.3ah 中修改了原来的前导码/帧起始定界符(Preamble/SFD)。扩展后的 RS 子层在发送时会将原来的 Preamble/SFD 进行替换。而 RS 子层在接收帧并经过合理的处理后,需将修改过的 Preamble/SFD 代之以正常的 Preamble/SFD。

WDM-PON 上行是真正的 P2P 网络,下行行为广播式网络,因此 WDM-PON 的 P2PE 实现起来较 802.3ah EPON 简单得多。为方便说明,图 3 给出了 WDM-PON 的逻辑链路,OLT 侧业务网络接口(SNI)标记为 P_0 ,上行方向 ONU_1 至 ONU_n 对应的端口分别标记为 P_1 至 P_n ,用于下行的 OLT 端口标记为 P_{n+1} 。其中 P_1 至 P_n 的发送方向和 P_{n+1} 的接收方向没有实际的物理连接。为了便于说明工作原理,假定每个 ONU 都是站点,有自己的 MAC 地址,分别标记为 MAC_1 、 MAC_2 至 MAC_n ,并且不考虑组播等特殊包类型。

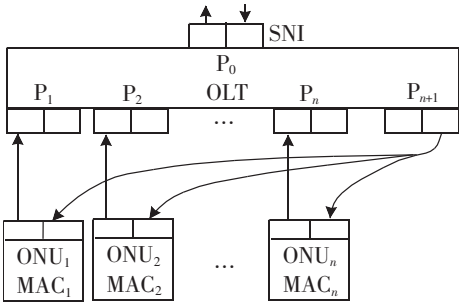


图 3 WDM-PON 逻辑链路

OLT 实际上是个 $n+2$ 端口网桥设备,ONU 则和一个普通的工作站差别不大,为了支持 P2PE,在 OLT 侧需要在原 802.1D 的基础上作一些端口映射和重定向的工作,在 ONU 侧则需要增加一些过滤动作以防止形成环路。WDM-PON 具体工作原理如下:

OLT 端的动作:

- (1) P_0 至 P_n 像正常的 802.1D 设备一样自学习建立地址解析表(ARL)并老化, P_{n+1} 不可能接收到包,但为确保起见,禁止该端口的自学习功能;
- (2) P_0 接收到外部广播包(即从业务网络来的广播包)或接收到外部单播包但在 ARL 中找不到目的地址(DA)对应表项,则仅向 P_{n+1} 转发;
- (3) P_1 至 P_n 接收到外部广播包(即从 ONU 来

的广播包)或接收到外部单播包但在 ARL 中找不到对应的 DA 表项,则仅向端口 P_0 和 P_{n+1} 转发;

(4) P_0 收到外部单播包且在 ARL 中有对应的 DA 表项,如果对应的端口为 P_0 则丢弃,如果对应的端口为 $P_i(1 \leq i \leq n)$ 则转发到 P_{n+1} ;

(5) $P_i(1 \leq i \leq n)$ 收到外部单播包且在 ARL 中有对应的 DA 表项,如果对应的端口为 P_i 则丢弃,如果对应的端口为 P_0 则转发到 P_0 ,如果对应的端口为 $P_j(1 \leq j \leq n$ 且 $j \neq i)$ 则转发到 P_{n+1} 。

ONU 端的动作:

- (1) $ONU_i(1 \leq i \leq n)$ 收到 SA(源地址) = MAC_i 的帧,则丢弃;
- (2) $ONU_i(1 \leq i \leq n)$ 收到 $DA \neq MAC_i$ 的单播帧,则丢弃。

以上机制保证了 OLT 和 ONU 间无论是上行还是下行均为逻辑上的 P2P,且 ONU 间以及 ONU 和 OLT 的 SNI 均能够正常交换。

4 EPON 和 WDM-PON 的性能比较

EPON 因为上行采用 TDMA,其自动发现机制注定会产生问题,原因是:OLT 在没有注册之前不可能知道确切的 ONU 距离分布,从而也不可能给每个离线 ONU 各自安排无冲突的时隙。因此 OLT 发出的自动发现时间窗口是惟一的,所有的离线 ONU 在此期间能同时访问 PON,并且有传输冲突的可能。为了减少冲突,所有的 ONU 需要采用争用算法。为了降低冲突概率,可以为 ONU 到 OLT 的距离人为地模拟一个随机分布,每个 ONU 在发送 REGISTER_REQ 帧前必须等待一个随机的时间,该时间小于自动发现窗口时间。但是即使采用此方法,仍然不能完全避免注册时的冲突。由此会造成离线 ONU 重新上线时间过长的问题。而 WDM-PON 因为其上行方向是点对点网络,所有的 ONU 永远在线,无需注册。

为了让离线的 ONU 有注册的机会并给在线 ONU 分配上行带宽并定期测距或者防止 ONU 侧同步失效,OLT 都会定期向 ONU 发 GATE 帧,这些下行的带内 MPCPDU 的活动不可避免地减少了下行数据通道的吞吐量。同理,为了防止 OLT 侧看门狗时钟告警或者上报注册/带宽请求和定期测距需要,ONU 也会定期地向 OLT 发送 REPORT 帧,这些上行的带内 MPCPDU 的活动也不可避免地减少了上行数据通道的吞吐量。另外,ONU 的数据在上传前必须等待自己的允许周期,不同

ONU 的上行数据中间还有保护时间,更重要的在于以太网帧是变长的,如果正在等待的 ONU 发送之前 PON 上下行链路均在发送长包,则该 ONU 可能等待的时间更长,这些因素都导致 EPON 上行方向时延过大,这对于对时延特别敏感的业务(如 VoIP)十分不利。相比之下 WDM-PON 在上下行方向都不用特殊的控制帧,可以保证有效数据负载完全使用 100% 的理论吞吐量。另外,上行方向使用的是真正的 P2P 网络,发送时无需等待,延时极低。

5 结束语

EPON 和 WDM-PON 在上行分别采用 TDMA 和 WDMA 技术,导致二者在物理层关键技术、二层协议处理上都有较大的区别,由此也决定了二者性能上的差别。可以明显看出采用 WDM-PON 实现简单,性能更加优越。但是这些都是以成本为代价的,而接入网中成本是非常重要的考虑因素。因此,

如果单就光纤到户(FTTH)应用而言,使用 EPON 是较好的选择;而对于光纤到楼(FTTB)应用,则采用 WDM-PON 更有竞争优势。

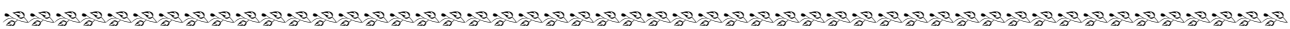
参考文献:

[1] Kramer Glen , Pesavento Gerry . Ethernet Passive Optical Network(EPON): Building a next-generation optical access network [J]. IEEE Communication Magazine, 2002,(2):66- 73.

[2] Nishimura Kazuko , Kimura Hironshi. A 1.25 Gbit/s CMOS burst-mode optical transceiver for Ethernet PON system [J]. IEEE Journal of solid-state circuits, 2005,40 (4):1027- 1034.

[3] Liu Deming, Hu Baomin, Liu Hai. Low-cost DWDM technology used for the Ethernet Passive Network (EPON) [A]. Proceedings of SPIE [C]. Bellingham WA;SPIE,2002.

[4] IEEE Standard 802.3ah-2004, Ethernet in the first mile [S].



(上接第 18 页)

下面的示例程序是笔者实现的一个 Web 服务器应用的框架,通过 Web 的管理界面,用户可以对光设备进行方便、快速的控制和状态显示。

```
void main(void)
{
    .....
    sys_timer_init();
    rs232Dev_uart_init();
    sys_Init ();
    uip_init();
    eepromInit();
    httpd_init();
    while(1)
    {
        uip_len=0;
        uip_len = eth_rcve();
        if(uip_len > 0)
        {
            uip_process(UIP_DATA); }
        if ((unsigned long)(current - start) >=
3000)
        {
            for (i=0; i < UIP_CONNS; ++i)
            {
                uip_conn = &uip_conns[i];
                uip_process(UIP_TIMER); }}
            arp_timer(); }
#ifdef MULTI_SEGMENTS
```

```
{
    for (i=0; i < UIP_CONNS; ++i)
    {
        uip_conn = &uip_conns[i];
        if ((uip_conn->tcpstateflags &
STATE_MASK) == STATE_ESTABLISHED
&& uip_conn->tcpstateflags & UIP_OUT-
STANDING)
            uip_process(UIP_MORE); }} }
```

4 结束语

通过登录控制中心 Web 页面或者通过发送手机短信等方式,嵌入式测控网络模块已成功地应用于光设备的开发中。测控模块不仅能满足对光设备的运行状况进行远程监控和设置的要求,而且由于它具有成本低、体积小等特点,可以作为一个模块直接嵌入到网络测控设备、信息家电等嵌入式应用系统中,这必将大大促进局域网测控系统、信息家电等自动控制设备的发展。

参考文献:

[1] 牟英峰,徐殿国,张东来。基于嵌入式 TCP/IP 协议栈的信息家电连接 Internet 单芯片解决方案 [J]。电子技术应用,2002,(4):38-41。

[2] Behrouz Forouzan. 数据通信与网络 [M]。北京:机械工业出版社,2000。