

基于 CWDM 的 EPON MAC 层技术研究

蔡明珠, 覃春桃, 陈逸舟

(南京邮电大学 光电工程学院, 江苏 南京 210003)

摘要: 针对基于时分复用的 EPON 不能充分利用光纤资源的问题, 提出了一种结合 CWDM 和 EPON 技术的低成本多波长 EPON 系统。分析了系统 MAC 层技术的变化, 探讨了 ONU 注册、测距和上行带宽分配方案, 设计了一种适用于多波长 EPON 系统的动态带宽分配算法。仿真结果表明该算法能充分利用多波长 EPON 的带宽资源, 具有高效性。

关键词: EPON; 粗波分复用; 动态带宽分配; 带宽效率

中图分类号: TN915

文献标识码: A

Design of MAC based on CWDM for EPON

CAI Ming Zhu, QIN Chun Tao, CHEN Yi Zhou

(Optoelectronics Engineering School, Nanjing University of Posts and Telecommunication, Nanjing 210003, China)

Abstract: For TDM-based EPON can not make full use of the fiber resources, this article proposes a low cost multi-wavelength system which combines technologies of CWDM and EPON. Analyzes the changes of MAC layer technology and discusses the scheme of ONU registration, Ranging and the bandwidth allocation in upstream channel. At last this article proposes a DBA algorithm which is used in multi-wavelength EPON. The results of the simulation show that this algorithm can take the advantage of multi-wavelength EPON and gain a good bandwidth utilization efficiency.

Key words: EPON; CWDM; DBA; bandwidth utilization.

以太无源光网络 EPON 技术集合了代表未来网络融合趋势的 IP 和无源光网络 PON 的结构, 被认为是下一代网络体系结构中全光接入网领域的最佳解决方案之一。但是基于时分复用的 EPON 中所有的 ONU 共用一个带宽资源, 大大限制了每一个 ONU 的可用带宽。WDM-PON 系统采用双纤双向的传输方式, 每一个 ONU 具有一个波长资源, 系统的总带宽可达到 Gbit/s 量级, 具有高带宽、高安全、高 QoS 等优点, 是无源光网络技术发展的最终方向。但是多波分复用器件的发展还未成熟, WDM-PON 系统结构复杂, 成本比 EPON 的成本高很多, 而且对于目前业务需求而言, WDM-PON 的带宽太大。鉴于这种情况, 本文提出将 CWDM 技术和 EPON 技术相结合, 低成本地提高 EPON 系统的带宽。文中介绍了多波长 EPON 的结构, 探讨了多波长 EPON 的 MAC 层技术的变化, 提出了一种高效的多波长 EPON 系统动态带宽分配算法。

1 多波长 EPON 系统

本文提出的多波长 EPON 系统通过对接入网业务带宽需求趋势和成本两方面分析, 波长扩展方案设计上行《微型机与应用》2010 年第 4 期

使用 2 个工作波长 (λ_1, λ_3), 下行使用 3 个工作波长 ($\lambda_0, \lambda_2, \lambda_4$)。上行在 1310 nm 工作波长基础上, 扩展一个波长 1330 nm; 下行在 1510 nm 工作波长基础上, 扩展波长 1531 nm 和 1571 nm, 同时保持使用 1550 nm 作为下行射频 CATV 的业务传送。该波长方案具有不对称性, 综合考虑了接入网业务流不对称的特点。其中 λ_0, λ_1 为各 ONU 的公共信道。系统框图如图 1 所示。

系统结构总体采用 EPON 的树形结构, 具有多波长

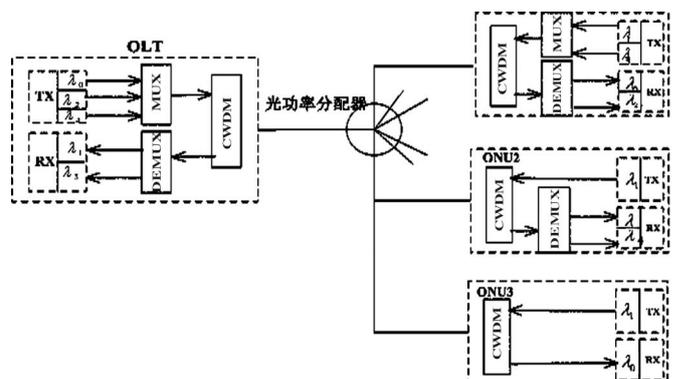


图 1 多波长 EPON 系统结构

上行资源的 ONU (称之为扩展 ONU) 的发送端前使用一个波分复用器 (MUX) 对发送信号进行复用; ONU 的数据接收端前使用一个波分解复用器 (DEMUX) 对接收信号进行解复用; OLT 的接收端和发送端前分别加入一个 DEMUX 和 MUX。当系统的扩展波长数少量增加时, 可以通过增加 MUX 和 DEMUX 的分支数实现升级; 当系统的扩展波长数大量增加时可以通过多级多波长 EPON 等结构实现升级。

在数据链路技术上, 多波长 EPON 上下行分别采用 TDMA 和 TDM 技术。下行方向, OLT 采用广播的方式在不同信道上向 ONU 发送 Ethernet 帧组成的下行帧, 数据帧头包括目的 ONU 的 LLID 号和波长信道标号。ONU 收到全部数据帧后, 在与波长信道标号相应的接收机端口接收属于自己的数据, 丢弃其他数据。上行采用 TDMA 接入方式, 将每一个上行信道分为多个时隙, 每一个信道上的每一个时隙安排 ONU 发送上行分组, 由 OLT 控制 ONU 在一定的信道上按照一定的顺序发送 Ethernet 上行帧。

2 多波长 EPON 的 MAC 层关键技术

在 EPON 基础上引入 CWDM 技术的同时, 传统 EPON 的 MAC 层将面临带宽资源分配、测距等升级的问题。面临的问题包括控制帧的扩展、上行数据信道的控制与分配、测距与发送时刻的控制及带宽资源的综合分配等。

2.1 MAC 控制帧的扩展

首先是 EPON 的 MAC 控制帧的扩展问题。考虑到与单波长 EPON 系统的兼容, 多波长 EPON 系统的 MAC 层仍采用 MAC 控制帧来实现 OLT 与 ONU 的 MAC 层的信息传递, 5 种 MAC 控制帧均在公用信道上传输。主要对 REGISTER_REQ MPCPDU 和 GATE MPCPDU 进行扩展。GATE MPCPDU 保持 802.3ah 中定义的 GATE 帧格式不变, 内容上增加了授权信道 (Grant #n Wavelength) 域, 该域只在正常工作模式下才有意义, 表示授权传输的数据在哪个信道上传输; REGISTER_REQ MPCPDU 保持 802.3ah 中定义的 REGISTER_REQ 帧格式不变, 内容上扩展了 Flags 域, 将注册的 ONU 分为普通 ONU 和扩展 ONU, 同时增加了 ONU 工作波长 (Wavelength) 域, 该域用于 ONU 注册时向 OLT 报告其具有的波长资源。

2.2 测距技术

测距技术是保证上行 TDMA 正常运行的关键, 测距程序分为两步: 一是在新加入的 ONU 安装调试阶段进行的初始的静态测距, 这是对物理距离差异进行的时延补偿; 二是在通信过程中实时进行的动态测距, 以校正由于环境温度变化和器件老化等因素引起的时延漂移。ONU 的环回时延 (RTT) 的计算公式如下:

$$RTT = T_{\text{transmit}} + T_{\text{ONUreceive}} + T_{\text{ONUoffset}} \quad (1)$$

ONU 的注册通过 MAC 控制帧的传递完成, MAC 控

制帧均在公共波长信道上传输, 因此 T_{transmit} 只与 ONU 的物理距离有关, 不同的 ONU 静态粗测所得的往返时延 (RTT) 与 ONU 具有的波长资源没有关系。在数据传送阶段, 具有扩展波长的 ONU 传输数据的信道不唯一, T_{transmit} 与 ONU 的物理距离和传输信道均有关系。 T_{transmit} 的计算公式^[2]为:

$$t(\lambda) = \frac{L}{c} \left[A - \frac{B}{\lambda^2} \right] \quad (2)$$

式(2)中 A 、 B 均为常数, 与折射材料有关, B 为 10^{-10}cm^2 量级, c 为光速 $3 \times 10^8 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。式(2)对 λ 求导, 则波长间隔为 $\Delta\lambda$ 波长信道的传输时延差计算公式为:

$$\Delta t(\lambda) = \Delta\lambda \times \frac{dt(\lambda)}{d\lambda} = \frac{BL\Delta\lambda}{c} \times \frac{2}{\lambda^2} \quad (3)$$

多波长 EPON 中信道波长间隔为 140 nm, 以上行波长 1310 nm, 传输距离 20 km 代入式(3)可得 Δt 为 $2.8 \times 10^{-14} \text{s}$ 。EPON 的时延精度在 10^{-10}s 量级, 多波长 EPON 系统的信道间隔引起的时延差与其相比完全可以忽略不计, 即多波长 EPON 中不同的传输信道的环回时延 (RTT) 近似相等。因此系统可采用 EPON 的测距技术, 并且只需对公共信道进行测距。

2.3 上行带宽资源分配

多波长 EPON 系统具有 2 条上行数据信道, 如何能最大发挥多波长系统的带宽资源优势是 DBA 算法的重点。文中提出一种基于业务等级的适用于多波长 EPON 的高效动态带宽分配算法。算法的指导原则是保证业务优先等级的同时充分利用多信道资源, 减轻公用信道负担, 提高业务授权效率。

将业务分为语音业务和数据业务, 数据业务分为 H、M 和 L 三个等级, 设 BW_1 为扩展带宽资源, BW_0 为公用带宽资源, n 为扩展 ONU 的数目, N 为系统 ONU 总数, Q_i^H 和 B_i^H 为扩展 ONU_{*i*} 的 H 等级业务请求带宽和授权带宽, Q_0 为公用信道上的 H 等级业务请求总带宽, Q_H 为普通 ONU 的 H 等级业务请求总带宽。算法的主要步骤:

(1) 分别在扩展信道和公用信道上为扩展 ONU 和普通 ONU 分配固定带宽 B_f , 此带宽用于传送语音业务;

(2) 若 $BW_1 - nB_f \geq \sum_{i=1}^n Q_i^H$, 则 $B_i^H = Q_i^H$, 使用公用信道的 ONU 数目为 $N - n$, $Q_0 = Q_H$; 否则 $B_i^H = [(B_f - nB_f) \cdot Q_i^H] / \sum_{i=1}^n Q_i^H$, 且使用公用信道的 ONU 数目为 N , $Q_0 = Q_H + (B_i^H - B_i^H)$;

(3) 若 $BW_0 - (N - n)B_f \geq Q_0$, 则满足所有 ONU 的 H 等级业务请求, 将剩余带宽用于下一个等级业务的带宽分配; 否则按照公平原则为 ONU 的 H 等级业务分配带宽;

(4) 对 M 和 L 等级请求进行带宽分配, 带宽分配步骤与 H 等级的相同, 直至对公用信道的带宽分配完毕。

《微型机与应用》2010 年第 4 期

3 带宽分配算法仿真

为了评估动态带宽分配算法的性能,对该算法进行了计算机仿真。仿真采用的软件平台为 Visual C++ 6.0,模型中,设置系统的 ONU 数目为 32。在网络中,业务流具有突发性,有时候业务量很大。为了分析不同的业务请求下多波长 EPON 的性能,分别对业务最大请求数 M 为 32 MB 和 128 MB 时的 32 ONU 多波长 EPON 系统进行仿真。

从图 2 和图 3 可看出,各等级业务的授权效率和系统带宽利用率均与扩展 ONU 数目、系统负载有关。系统负载较小时,各等级业务的授权效率和系统的带宽利用率随扩展 ONU 数目的增长而增加,当扩展 ONU 的数目大于 16 时处于稳定状态。而系统负载较大时,扩展 ONU 的数目为 6 之前,总带宽利用率、扩展波长资源利用率和各等级业务授权效率均快速增长;当扩展 ONU 的数目大于 6 后,系统的带宽利用率、各信道带宽利用率和各等级业务授权效率趋于稳定,最终带宽利用率均达到 90% 以上,各业务等级的授权效率均为 60% 以下。

系统业务负载较小时,可用带宽资源足以承担业务请求,当扩展 ONU 的数目大于 ONU 的总数的一半时,总可用带宽资源已得到充分利用,随着扩展 ONU 数目

的不断增长系统处于比较稳定的状态。当业务负载较大时,扩展 ONU 的数目大于 ONU 总数的 1/3 时,系统的带宽综合利用率,且稳定。但是由于负载太大,系统的可用带宽远远不能满足要求,带宽利用率的微小变化对业务等级的授权效率影响不明显。

从多波长 EPON 的系统结构中可以看出,系统的主要改动在于 ONU 端和 OLT 端,扩展 ONU 数目越多,升级成本越高,但算法仿真分析结果表明扩展 ONU 数目越大系统资源效率越高,大于 ONU 总数的一半后系统资源效率比较稳定。因此,扩展 ONU 的数目在带宽利用率和升级成本间将存在一个折衷值。

随着社会信息技术的不断发展和光网络技术的不断进步,波分复用技术与 EPON 技术的结合是高带宽光网络发展的必然方向。在 TDM-PON 发展至 WDM-PON 的过程中,兼有 EPON 技术和 CWDM 技术高带宽、低成本特点的多波长 EPON 技术,具有的低成本、高带宽、高效率等优点,应该是目前扩展 EPON 带宽最值得研究的方案之一。带宽分配算法及光收发端机的设计与实现在后续的工作中将进一步研究。

参考文献

- [1] IEEE Standards Department. IEEE 802.3ah. 2004.
- [2] 张明德,孙晓茵. 光纤通信原理与系统(第 3 版)[M]. 南京:东南大学出版社, 2003.
- [3] JEONG J Y, HYUN H Y, TAE Y K, et al. A WDM-Ethernet hybrid passive optical network architecture [EB/OL]. ICAC2006, 2006(3): 1754-1757.
- [4] 张洋,陈雪. 一种公平的 EPON 动态带宽分配算法[J]. 电路与系统学报, 2004, 9(6): 61-63.
- [5] 陈雪. 无源光网络技术(第 1 版)[M]. 北京:北京邮电大学出版社, 2006.
- [6] 张艳辉,陶智勇,张卫丰. EPON 数据链路层的关键技术研究[J]. 光通信技术, 2003(12): 24-26.
- [7] LIN Ru Jian. Next generation PON in emerging networks[EB/OL]. IEEE. 2008.
- [8] 刘武,胡保民,刘德明,等. 一种保证 EPON 中 DBA 公平性的算法[J]. 光通信研究, 2006(5): 38-40.

(收稿日期: 2009-10-31)

作者简介

蔡明珠,女,1984 年出生,在读硕士研究生,主要研究方向为光网络及其接入技术;
覃春桃,女,1984 年生,在读硕士研究生,主要研究方向:光网络及其接入技术;
陈逸舟,男,1984 年生,在读硕士研究生,主要研究方向光网络及其接入技术。

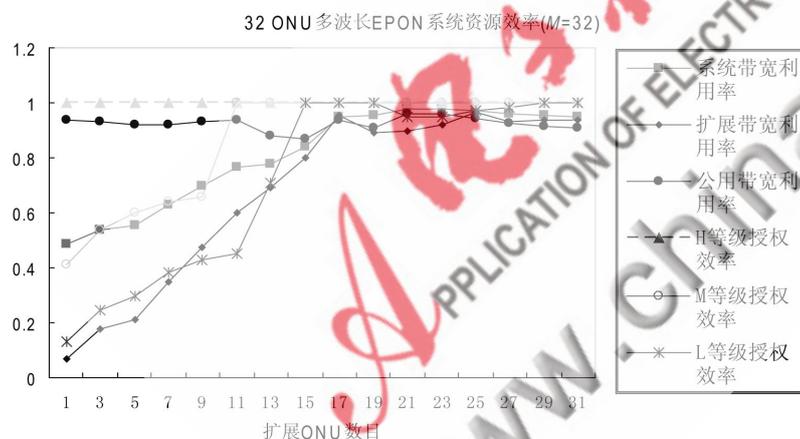


图 2 低负荷 32 ONU 多波长 EPON 系统

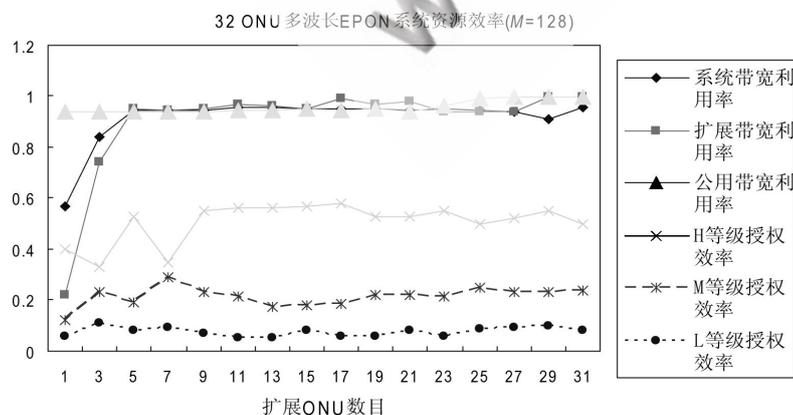


图 3 高负荷 32 ONU 多波长 EPON 系统