

• 学术论文与技术报告 •

光分组交换技术研究

邱 昆, 凌云, 郑 勉, 武 同, 沈 鑫

(电子科技大学 宽带光纤传输与通信网技术教育部重点实验室 成都 610054)

【摘要】光分组交换技术克服了限制光网络发展的电子瓶颈, 具有最小的交换粒度, 是一种理想的光交换技术。文中介绍了光分组交换的基本原理和关键技术, 并总结了在光分组交换中——副载波标签产生, 竞争解决, 全光时钟恢复和2R再生技术中所开展的研究工作和取得的研究成果。

关键词 光分组交换; 副载波标签; 竞争解决; 全光时钟恢复; 全光再生

中图分类号 TN929.11

文献标识码 A

Optical Packet Switching Technology

QIU Kun, LING Yun, ZHENG Mian, WU Tong, SHEN Xin

(Key Laboratory of Broadband Optical Fiber Transmission and Communication Networks UEST of China, Ministry of Education Chengdu 610054)

Abstract Optical packet switching can conquer the electronic bottleneck that confines the development of optical networks. The switching granularity of optical packet switching is smaller than that of optical circuit switching or optical burst switching. The principle and key technologies of optical packet switching is introduced in this paper. The research results are shown, including the generation of single-sideband subcarrier label, contention resolution, all-optical clock recovery and 2R regeneration.

Key words optical packet switching; subcarrier label; contention resolution; all-optical clock recovery; all-optical regeneration

光网络作为有线通信网络的主要组成部分, 具有很高的带宽和良好的抗干扰性能, 在骨干网和接入网中都得到了广泛的研究和发展。密集波分复用(DWDM)技术的发展, 发掘出了光纤作为光信号传输信道的巨大带宽。2001年, NEC和Alcatel公司分别实现了单纤10.9 Tb/s(273×40 Gb/s)和10.2 Tb/s(256×40 Gb/s)的传输容量。但光信号处理能力的发展却相对缓慢, 特别是光逻辑器件和光随机存储器的缺乏使得现在光网络的交换形式仍要采用光电转换后, 在电域内进行存储, 路由和交换。这就要求基于光电光转换(O/E/O)的路由器具有巨大的存储容量和高速的信号处理能力, 因此电子处理速率和光纤传输速率的失配导致了光网络交换的电子瓶颈, 制约了光网络发展。而解决电子瓶颈的一个最有效的方法就是使用光交换形式来代替电交换形式。

按交换的粒度来分, 光交换主要可以分为光线路交换(Optical Circuit Switching, OCS), 突发包粒度的光突发交换(Optical Burst Switching, OBS)以及分组粒度的光分组交换(Optical Packet Switching, OPS)。其中由于OPS交换粒度小, 能与IP分组很好地兼容, 是最适合IP网络发展的理想方案。

1 OPS基本原理

如图1所示OPS网络由核心交换节点, 边缘节点和客户接入网络组成, 采用通用多协议标签交换

收稿日期: 2005-08-31

作者简介: 邱 昆(1964-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事光纤通信系统方面的研究。

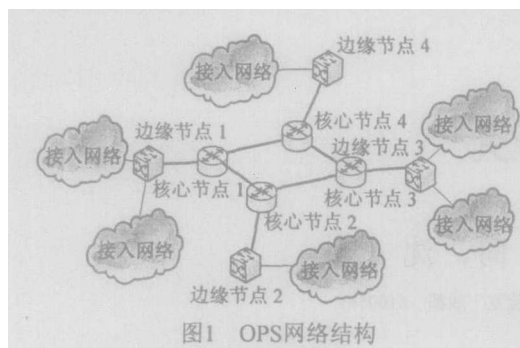


图1 OPS网络结构

(Generalized Multi-Protocol Label Switching, GMPLS)的基本思想, 将路由和交换分开^[1]。边缘节点主要完成光标签链路的建立, 光分组的产生和光标签的加载; 核心交换节点主要完成光分组的交换, 光标签的更新, 竞争解决和光分组再生的功能。根据光分组是定长或变长, OPS可分为同步和异步工作模式。同步OPS是基于时隙的交换, 光分组在进入交换矩阵前需要进行分组级同步, 具有较高的吞吐率。异步OPS适应IP分组变长的特点, 光分组在进入交换矩阵前不需要同步, 但控制和调度复杂, 吞吐率比同步OPS低。

图2为核心交换节点同步工作原理图, 囊括了光分组交换中的各关键技术^[2]。由于光逻辑器件的缺乏, 输入的光分组需经过分束器取出一部分光信号经过光电转换后提取标签信息, 以实现交换和其他相关功能的控制。为了实现标签更新, 需要根据标签转发表, 在光域实现旧标签的擦除和新标签的写入。为了解决多个分组竞争同一个输出端口, 需要引入竞争解决单元。为了克服传输和交换过程中光分组信号的劣化, 须对光分组进行全光再生。

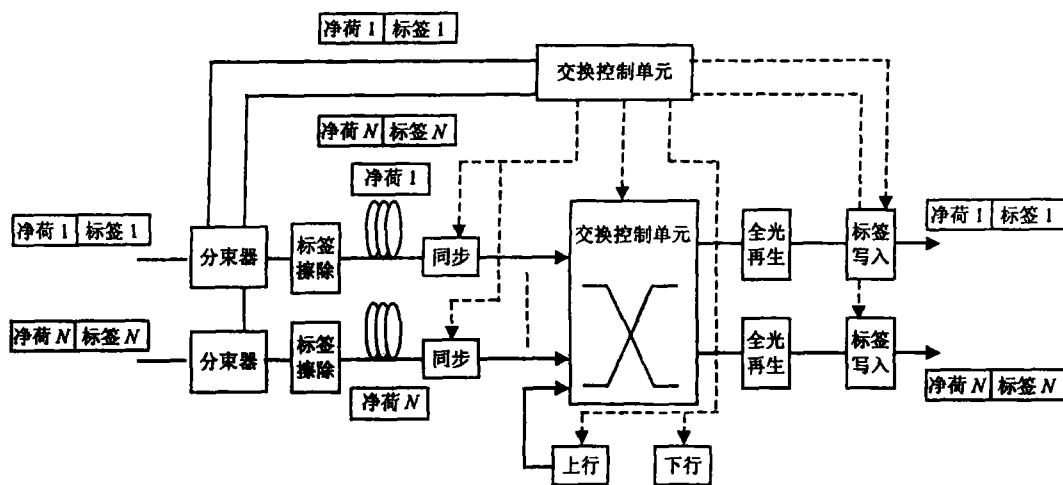


图2 同步OPS基本原理图

2 OPS关键技术研究

2.1 单边带副载波复用标签产生方案

光分组由标签和净荷两部分组成。光标签携带了光分组的路由和交换信息, 必须具有易于提取、更新, 不干扰净荷信号等特点。现有的光标签形式有副载波标签(Subcarrier Label), 串行比特标签(Bit-serial Label), 正交调制标签(Orthogonal-Modulation Label)和光正交码标签(Optical-Orthogonal-Code Label)^[3]等。由于副载波标签比串行比特和光正交码标签易于实现标签的分离和写入, 副载波标签光分组的净荷信号比正交调制标签的净荷信号具有更高的消光比, 因此副载波标签受到普遍的关注。

由于光纤中色散的影响, 双边带副载波(Double Sideband Subcarrier Multiplexing, DSB-SCM)标签信号的接收功率将随着光纤长度和副载波频率余弦波动, 即射频衰减效应(Radio Frequency Fading Effect, RFEE)^[3]。而采用单边带副载波((Single Sideband Subcarrier Multiplexing, SSB-SCM)标签能够很好的克服RFEE。为此, 文献[4]提出了一种单边带副载波标签光分组的产生方案。

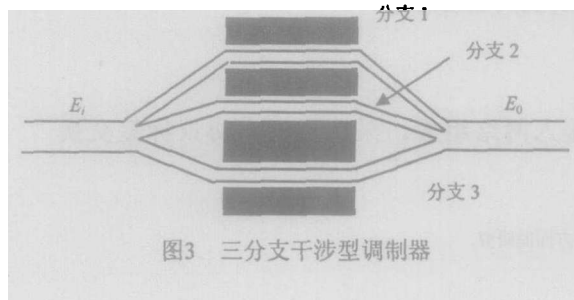


图3 三支干涉型调制器

如图3所示, 该方案采用三支干涉型调制器结构, 分支1实现净荷信号的相位调制; 分支2附加相移 $\pi/2$ 和实现副载波标签信号的相位调制; 分支3实现与分支2副载波相位差 $\pi/2$ 的副载波标签信号的相位调制。图4为输出光分组信号的时

域波形和光功率谱, 由光功率谱可以看到该方案实现了SSB调制。理论分析表明该方案在实现SSB调制的同时, 在线形区调制副载波标签, 避免了采用副载波标签信号和净荷在电域合成后用Mach-Zender调制器调制时, 将副载波信号移到非线性区的问题。

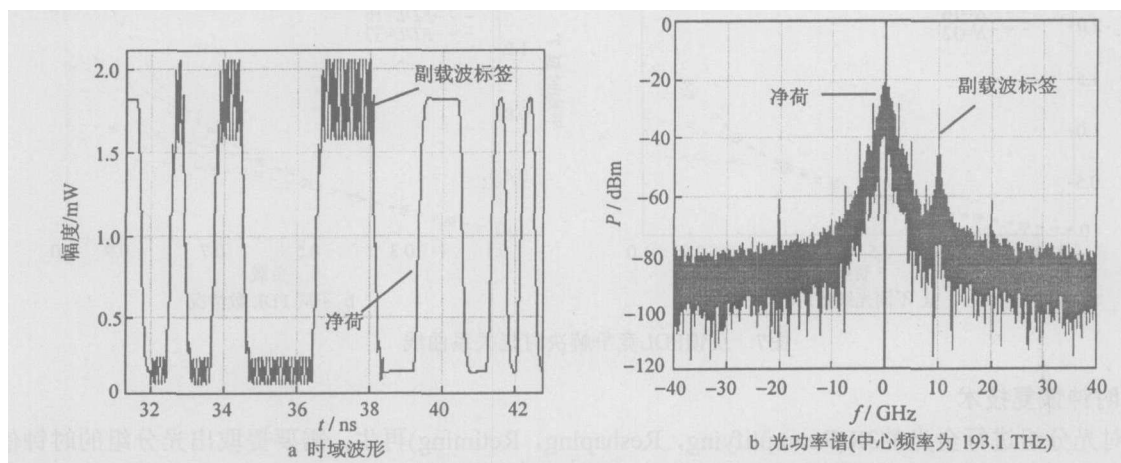


图4 SSB-SCM标签的时域波形和光功率谱图

2.2 竞争解决技术

光分组交换的竞争解决技术有波长转换(Wavelength Conversion), 光纤延迟线(Fiber Delay Line, FDL)和偏射路由(Deflection Routing), 但由于缺少光随机存储器, 使得竞争解决技术受到许多约束(如波长转换时的波长转换器数目和空闲波长数, FDL的延迟时间, 偏射路由时的网络拓扑结构等)。

在波长转换竞争解决技术中, 按照波长转换器的共享方式可以分为: 每个波长通道分配一个波长转换器的SPC(Single-Per-Channel); 每条光纤链路共享波长转换器的SPL(Share-Per-Link); 节点共享波长转换器的SPN(Share-Per-Node)。SPC结构的丢包率是SPL和SPN的丢包率极限, SPN比SPL节约波长转换器, SPL比SPC节约波长转换器, 如图5所示(负载为0.5, 光纤数为16, 波长数为 M)。三种结构的丢包率均随着波长数的增加而减小, 随着光纤数的增加而小幅度增大。SPN结构的丢包率随着波长转换器总数的增加, 首先改善的是低负载的丢包率, 当增加到一定数目时改善中负载的丢包率, 最后改善高负载的丢包率, 如图6所示(波长转换器的数目为 wc)^[5]。

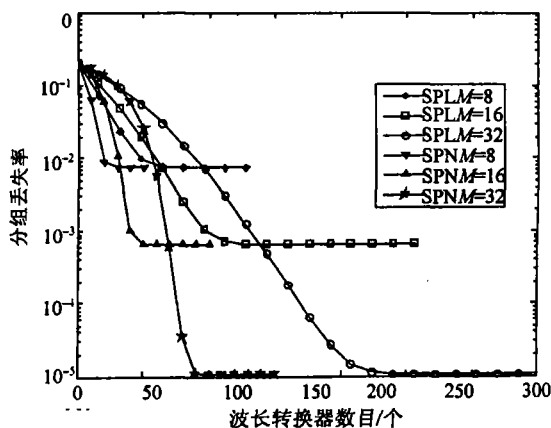


图5 SPL和SPN的丢包率曲线

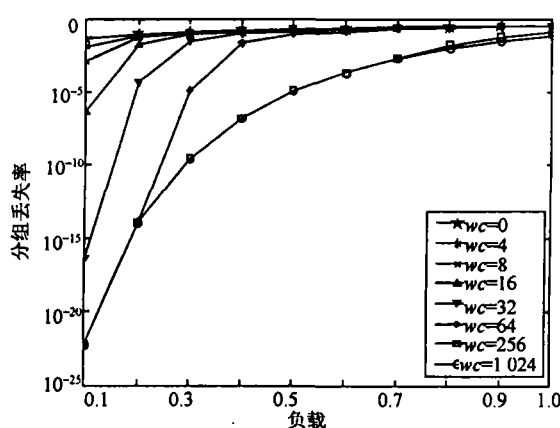


图6 SPN的丢包率曲线

在FDL竞争解决技术中, 按FDL结构可以分为前向和反馈两种结构, 本文着重研究了反馈FDL结构竞争解决方案的性能。在反馈FDL结构中, 对低负载丢包率的改善非常明显, 对高负载的丢包率的改善则非常有限; 随着FDL数目的增加, 丢包率不会趋于极限值, 这是与波长转换器的不同之处。反馈FDL结构的平均时延, 在低负载时与交换光纤数和FDL数关系不大, 在高负载时随交换光纤数的增加而减小, 随FDL

数目的增加而增大,如图7所示(T 为时隙大小)^[9]。

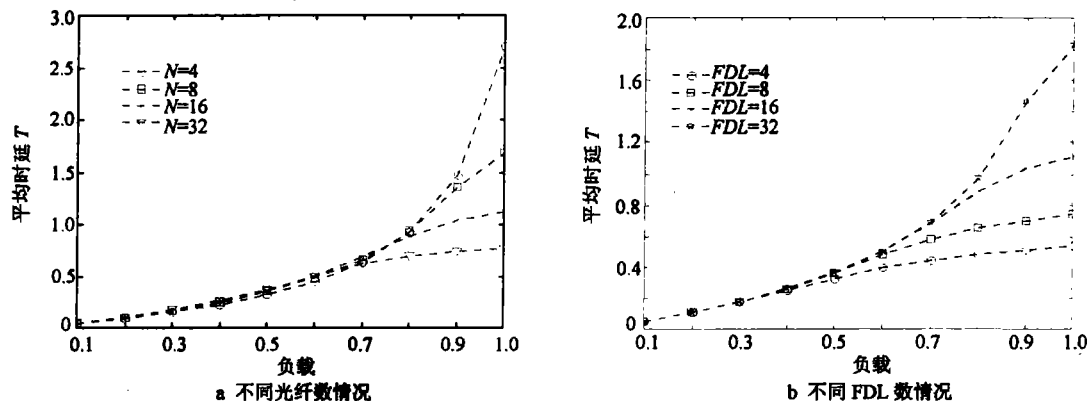


图7 反馈FDL竞争解决时延关系曲线

2.3 全光时钟恢复技术

为了对光分组进行全光的3R(Reamplifying, Reshaping, Retiming)再生,需要提取出光分组的时钟信号。现有的全光时钟恢复技术有:锁模半导体激光器,锁模光纤环激光器,DFB激光器和光锁相环技术。其中锁模激光器能提取高速时钟信号,但体积大,不易集成,温度稳定性差;光锁相环技术对光信号的功率要求高;而基于DFB激光器自脉动原理进行时钟恢复,具有体积小,稳定性好,锁定时间快等具有较好的应用前景。

在基于双区DFB(Two-Section DFB)激光器时钟恢复技术的研究中^[6],采用双区折射率耦合DFB激光器,在一区和二区电流分别为56 mA和87.5 mA的情况下,获得65.625 GHz的自脉动频率,恢复出了64 Gb/s RZ码信号的时钟信号,输出时钟脉冲宽度为8.75 ps,消光比8.6 dB,如图8所示。自脉动输出信号的调制深度随着双区间耦合系数的减小而减小。具有较大耦合系数的增益耦合DFB激光器的自脉动输出信号,比耦合系数普遍偏小的折射率耦合DFB激光器的自脉动输出信号具有更大的调制深度。只有当激光器自脉动频率和注入信号时钟频率差在一定的范围内时,才能恢复出注入信号的时钟信号,该范围称为锁定范围。从注入光分组信号到恢复出时钟信号的时延称为锁定时间。图9为锁定范围,锁定时间和注入光功率的关系。可以看到锁定范围与注入信号功率成正比,锁定时间随着注入功率的增加而减小。

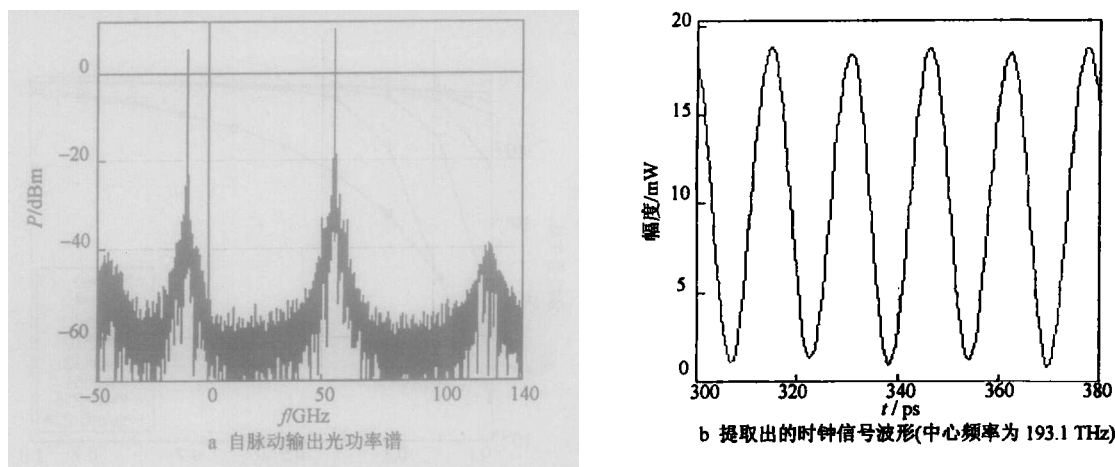


图8 TS-DFB激光器自脉动输出光功率谱和提取出的时钟信号波形

由于RZ码具有很强的时钟谱线,所以易于实现时钟信号的恢复。但NRZ码的时钟谱线很弱,不能直接进行时钟恢复。为了恢复出NRZ码的时钟信号,必须采用时钟增强技术,将NRZ码转变成RZ码或PRZ码。文献[7-8]提出了一种采用光纤中交叉相位调制效应,将NRZ码转变成上升延和下降延分别产生一个脉冲的PRZ码。

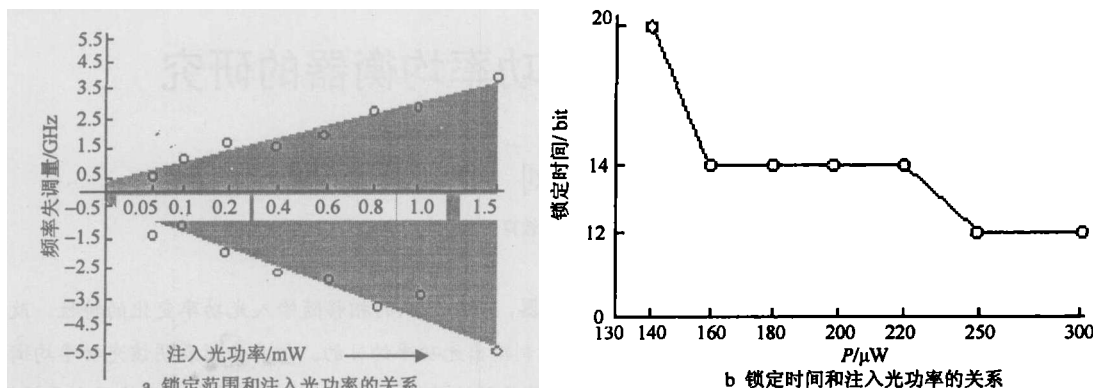


图9 锁定范围, 锁定时间和注入光

2.4 全光2R再生技术

在光分组信号抖动不严重时, 可以避免复杂的时钟恢复和光判决, 而选取2R再生(Reamplifying, ReShaping)技术来抑制噪声和提高消光比。理想的2R再生器的输入输出关系为阶跃型传递函数, 如图10所示, A区平坦抑制噪声, B区陡峭提高消光比, C区平坦提高输入功率的动态范围。2R传递函数的实现方案有: 基于SOA的Michelson或Mach-Zehnder干涉仪结构; 采用光滤波器滤出光纤中的自相位调制(Self-Phase Modulation, SPM)展宽的频谱; 可饱和吸收器; 简并双稳态半导体激光器等^[9]。基于光纤SPM效应的2R再生器对光功率的要求高, 文献[10]对基于SOA中SPM效应的2R再生器进行了研究。当一定光能量的脉冲经过饱和SOA时, 在脉冲的前沿, 频谱将产生红移; 在脉冲的后沿, 频谱将产生蓝移, 如图11所示。由于噪声信号功率低, 不能产生像信号脉冲那么宽的频移, 因此使用光学滤波器滤出红移的频谱分量, 即实现了对噪声信号的抑制, 提高了消光比。图12为2R再生前和再生后的信号眼图。

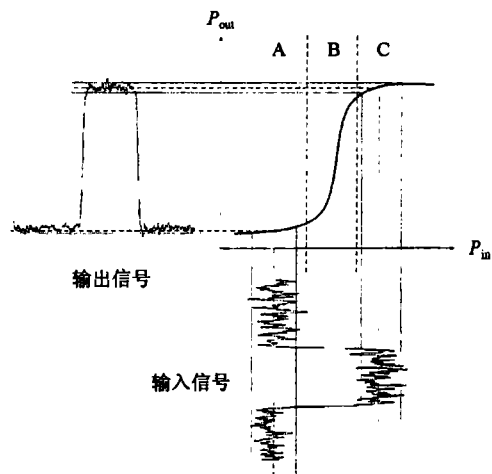


图10 2R再生器传递函数

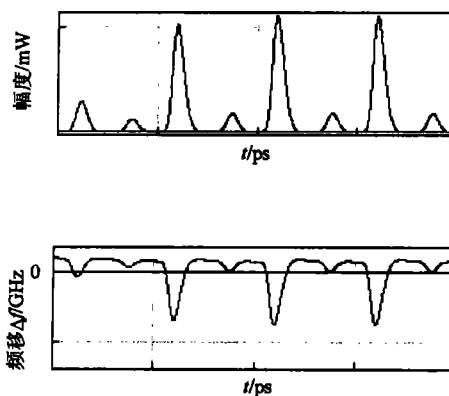


图11 脉冲信号的功率与对应的啁啾

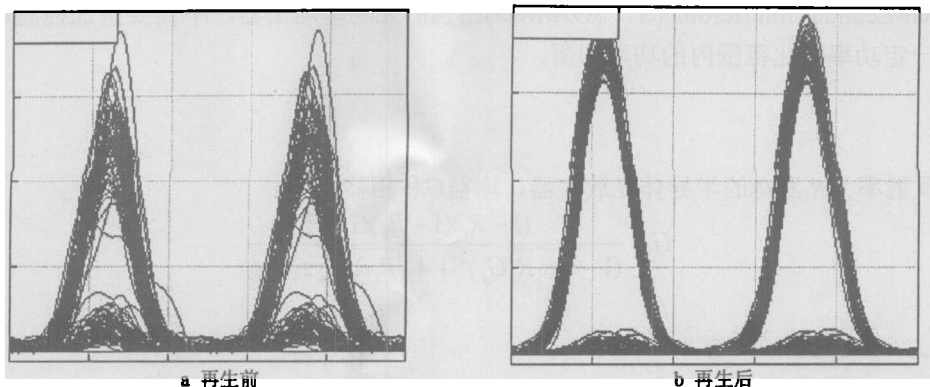


图12 信号眼图

(下转第950页)

相同QoS要求业务的复用关系,此时效率较高且成本增加不多;(3) 如果ONU接入的业务不仅数量多而且QoS要求各不相同,则可以考虑一个T-CONT复用多个不同QoS 要求业务的复用方式,此时使用的T-CONT数量最少并且汇聚效率最高,但是ONU的成本也最高。

参 考 文 献

- [1] ITU-T Rec.G984.3 Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): transmission convergence layer specification [S]. 2004
- [2] ITU-T Rec.G983.4. A broadband optical access system with increased service capability using dynamic bandwidth assignment. [S]. 2001
- [3] ITU-T Rec.G984.2. Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): physical media dependent (PMD) layer specification. [S]. 2004

编 辑 熊思亮

(上接第889页)

3 结 束 语

在光分组交换中,无论从器件设计、系统结构的搭建到网络模型的建立都还存在着许多的难题。光标签无论是全光处理还是光电混合处理都存在各自的缺点,新型的标签格式和标签处理技术,特别是光逻辑器件还有待进一步的研究。现有的竞争解决技术使得系统结构变得更加复杂,且受到各种条件约束,缺乏灵活性,光随机存储技术的研究迫在眉睫。正像1960年红宝石激光器将人类带入了激光技术时代,1970年Corning公司第一根衰减20 dB/km的光纤将人类带入了光纤通信时代,我们完全有理由相信光分组交换技术将把人类带入一个全新的光网络时代。

参 考 文 献

- [1] Joen M Y, Zhong Pan, Jing Cao, et al. Demonstration of all-optical packet switching routers with optical label swapping and 2R regeneration for scalable optical label switching network applications[J]. Lightwave Technol., 2003, 21(11): 2 723-2 733
- [2] 郑 勉, 邱 昆, 凌 云. 光分组交换关键技术研究[C]. 中国西部青年学术会议论文集-通信与信息技术, 成都: 四川省科学技术协会, 2004, 242-245
- [3] Zhu Z Q, Hernandez V J, Joen M Y, et al. RF photonics signal processing in subcarrier multiplexed optical-label switching communication systems[J]. Lightwave Technol., 2003, 21(12): 3 155-3 166
- [4] 郑 勉, 邱 昆, 凌 云. 一种副载波复用OLS光分组产生方案[J]. 电子科技大学学报, 2004, 33(6):659-662
- [5] 郑 勉. 光分组交换中副载波标签和竞争解决技术的研究:[学位论文][D]. 成都: 电子科技大学, 2005
- [6] 武 同. 全光再生技术及其在光分组交换中的应用研究:[学位论文][D]. 成都: 电子科技大学, 2005
- [7] Wu Tong, Qiu Kun. High speed fiber-based clock enhancement of NRZ data[J]. Chinese Optical Letters, 2005, 3(4): 193-195
- [8] 武 同, 邱 昆. 高速非归零码的全光时钟恢复研究[J]. 电子科技大学学报, 2004, 33(6):671-673
- [9] 沈 鑫. 全光再生技术及其在光分组交换中的应用研究:[学位论文][D]. 成都: 电子科技大学, 2005
- [10] 沈 鑫, 邱 昆, 张崇富. 一种基于半导体光放大器的全光2R再生器[J]. 电子科技大学学报, 2004, 33(6): 726-729

编 辑 徐安玉