

文章编号 : 0253-2239(2002)09-1145-04

40 Gbit/s 非等幅编码光时分复用传输系统*

左 鹏¹⁾ 张 帆¹⁾ 伍 剑¹⁾ 林金桐¹⁾ 叶培大¹⁾ 高以智²⁾ 简水生³⁾

(1), 北京邮电大学光通信中心, 北京 100876
(2), 清华大学电子工程系, 北京 100084
(3), 北方交通大学光波所, 北京 100044

摘要 : 4 × 10 Gb/s 非等幅编光时分复用(OTDM)传输系统采用增益开关分布反馈式激光器(GS-DFB)产生超短光脉冲,通过色散补偿光纤(DCF)和梳状色散光纤链(CDPF)实现了脉冲的线性和非线性压缩,利用啁啾光纤光栅实现色散补偿,在接收端,利用电吸收调制器(EAM)实现了光时分复用信号的解复用,同时采用非等幅编码方案提取帧时钟。整个系统经过 122 km 的 G.652 光纤传输之后,误码率小于 10⁻⁹。

关键词 : 光时分复用;分布反馈式激光器;梳状色散光纤链;啁啾光纤光栅;电吸收调制器;非等幅编码

中图分类号 : TN929; TN011 文献标识码 : A

1 引 言

随着对光时分复用系统和网络研究的深入,光时分复用技术的发展已经逐渐引起人们的注意。目前,光时分复用单信道容量已经达到 Tbit/s 的量级^[1];基于这种技术的网络也从局域网逐渐向全光分组网迈进^[2]。同时,光时分复用技术本身所固有的优势逐渐为人们所重视。该技术工作在单波长,避免四波混频等非线性效应;可以实现光分组交换和路由,实现真正意义上的统计复用;由于光时分复用信号是光域的数字信号,可以通过全光再生实现光信号的再定形、再定时和再放大,这符合全光网络规模逐渐扩大的要求。

采用光时分复用技术还将优化现有的波分复用(WDM)网络,如进一步提高波分复用系统的传输容量,利用分组的光时分复用技术,优化目前波分复用网络的交换结构和交换粒度等。

在本文描述的传输系统中,采用梳状色散光纤链对分布反馈式激光器产生的超短光脉冲进行压缩,有助于实现无基座的光脉冲压缩,有效地改善了光脉冲信号的消光比特性^[3],减小了光时分复用信道间的串扰。

由于非线性效应的影响,波分复用系统适合在

单模光纤(SMF)中应用。在本文描述的实验系统中,实现了光时分复用信号在单模光纤中的传输,这将有助于将波分复用技术和光时分复用技术结合在一起。这里采用啁啾光纤光栅色散补偿技术实现了 122 km 的传输,传输链路总色散量接近 2500 ps。

在未来的全光分组网络中,实现分组头部和数据分离将是一个即将面临的课题。目前已有的分离方式包括分组头部采用与数据不同的波长进行传输,副载波方式传送分组头部^[4]等。本文采用非等幅方式实现数据的帧定位,这对未来全光分组网数据定帧进行了有益的尝试。

2 实验系统框图

如图 1 所示,用误码仪的 10GHz 时钟信号驱动增益开关分布反馈式激光器,通过对分布反馈式激光器的偏压和微波功率的控制,可以获得脉冲宽度在 25 ps ~ 50 ps 之间的光脉冲,其主体部分含有线性负啁啾。当脉宽达到 25 ps 附近时,采用色散补偿光纤补偿其线性啁啾,即实现线性压缩,将光脉冲

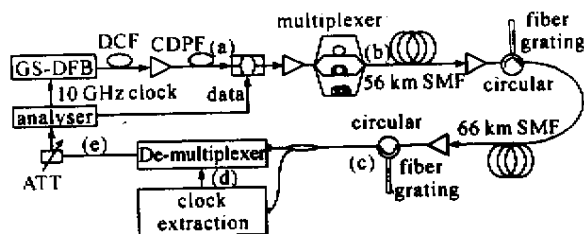


Fig.1 Schematics of 40 Gbit/s OTDM system

* 863 计划通信技术主题重大课题“40 Gbit/s 光时分复用关键技术研究”资助课题。

E-mail : zuopeng@bupt.edu.cn

收稿日期 2001-09-13 ; 收到修改稿日期 2001-11-15

压缩到 $10 \text{ ps} \sim 15 \text{ ps}$ 。随后利用梳状色散光纤链进行光脉冲的无基座非线性压缩,从梳状色散光纤链输出的脉冲宽度可以达到 $5 \text{ ps} \sim 7 \text{ ps}$ 。

重复速率为 10 GHz (与误码仪时钟频率相同) 的脉冲串通过 LiNbO_3 调制器,进行 10 Gbit/s 的数据调制。 10 Gbit/s 的光信息流通过时分复用器之后,复用为 40 Gbit/s 的光时分复用信号。

光时分复用信号通过由单模光纤和啁啾光纤光栅搭配构成的 122 km 的传输链路。

传输后的光时分复用信号由光分支器分成两部分,一部分进入时钟提取单元产生 10 GHz 的帧时钟,另一部分进入电吸收调制器解复用器,实现 40 Gbit/s 的光时分复用信号到 10 Gbit/s 信号的解复用。最后该信号送入误码分析仪进行误码测试。

3 实验结果

如图 1 所示,增益开关分布反馈激光器在误码仪的输出时钟信号的驱动下,产生重复频率为 9.95328 GHz 、脉宽约 23 ps 的光脉冲。该光脉冲经过色散补偿光纤的线性压缩和梳状色散光纤链非线性压缩之后,获得了系统所需的超短光脉冲。经优化设计增益开关分布反馈式激光器的工作状态、色散补偿光纤压缩长度、梳状色散光纤链压缩长度及压缩功率,获得了脉宽约 5 ps 、时间抖动约 1.3 ps 的超短光脉冲,脉冲的线性压缩和非线性压缩后的时域波形分别如图 2 中的曲线 b 和 a 所示。由于示波器响应速率的限制,示波器显示的曲线 a 及 b 的脉冲波形将比实际波形的脉宽要宽。

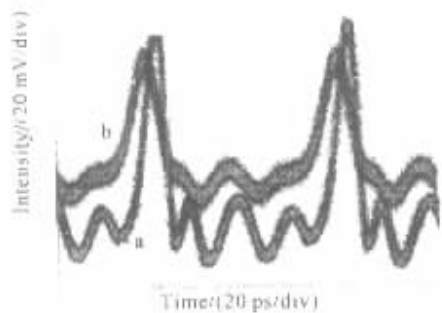


Fig.2 Waveform of ultra-short pulse (Curve a: after, Curve b: before nonlinear compression)

经过非线性压缩后光谱如图 3 所示,脉冲中心波长为 1545.8 nm ,谱宽约 1 nm 。

约 5 ps 的超短光脉冲经 LiNbO_3 调制器调制产生 10 Gbit/s 归零伪随机码(码序列为 $2^{23}-1$) 信号的眼图如图 4 所示。

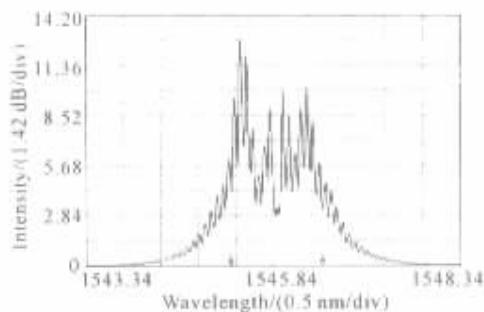


Fig.3 Spectrum of ultra-short pulse after nonlinear compression (point a in Fig.1)

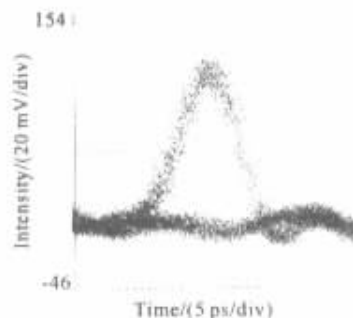


Fig.4 Eye-gram of 10 Gbit/s data stream after modulator
光时分复用器输出的眼图如图 5 所示,其中第四路信号幅度很低。

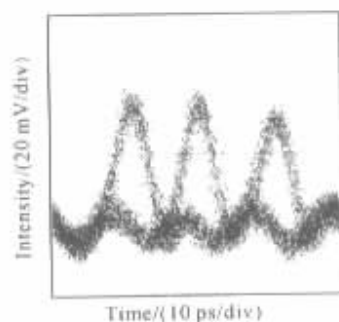


Fig.5 Eye-gram of 40 Gbit/s data stream before 122 km transmission (point b in Fig.1)

复用后的 40 Gb/s 信号首先经过一段长为 56 km 的 $\text{G}.652$ 光纤传输并用一个宽带啁啾光纤光栅进行补偿,之后再经过另一段长为 66 km 的 $\text{G}.652$ 光纤传输并用啁啾光纤光栅补偿。光纤的平均色散为 $17 \text{ ps}(\text{nm} \cdot \text{km})$,损耗为 0.20 dB/km 。 40 Gbit/s 信号经 122 km $\text{G}.652$ 光纤传输并补偿后的眼图见图 6。

由图 6 可见,脉冲宽度基本恢复到了传输前的宽度,同时眼图张开很好,说明信号的信噪可以满足系统的要求。这是由于光纤光栅同时也起到滤波器的作用,抑制了传输链路上掺铒光纤放大器自发辐

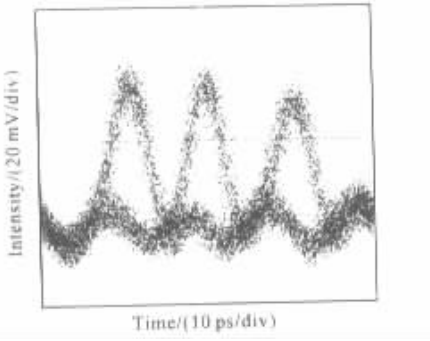


Fig. 6 Eye-gram of 40 Gbit/s data stream after 122 km transmission (point c in Fig. 1)

射噪声的累积。

传输并补偿后的 40 Gb/s 信号经一个 3 dB 耦合器分成两路光信号。一路信号进入时钟提取单元提取 10 GHz 电时钟,另一路信号进入解复用器。解复用后的 10 Gb/s 信号进入误码仪的光接收机进行误码测量。图 7 为提取的电时钟信号。示波器测量得到的时钟信号的抖动为 1.83 ps,考虑到示波器本身的因素,实际时钟抖动量小于 1.4 ps。

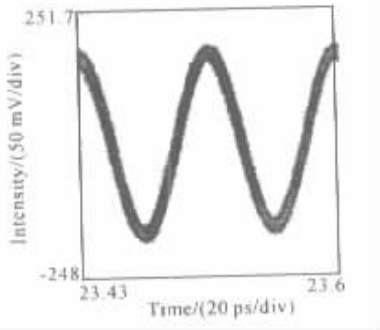


Fig. 7 Extracted 10 GHz frame clock (point d in Fig. 1)

由图 8 可见,时钟信号的幅度随各路信号幅度差别的增大而增大,时钟信号的抖动逐渐减小;图 8 中的抖动值是在示波器统计后的结果。

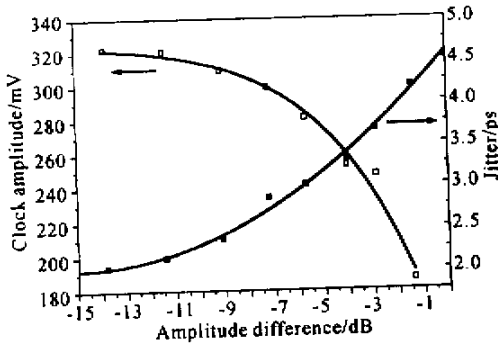


Fig. 8 Amplitude Difference in OTDM Frame vs. amplitude and Jitter of extracted clock

图 9 为解复用后 10 Gbit/s 信号的眼图。由图可见,眼图张开很好。

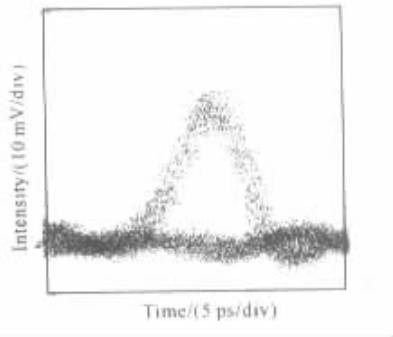


Fig. 9 De-multiplexed OTDM signal (point e in Fig. 1)

经过优化,电吸收调制器解复用器的窗口宽度调整为 12.5 ps,为信道间隔的一半。这种设置兼顾了系统对信号抖动和信道串扰的要求。

图 10 为此系统的误码(BER)测试结果。由图可见,系统能够达到 10^{-9} 误码率的水平。系统整体的功率代价为 7.3 dB,传输功率代价为 1.5 dB。

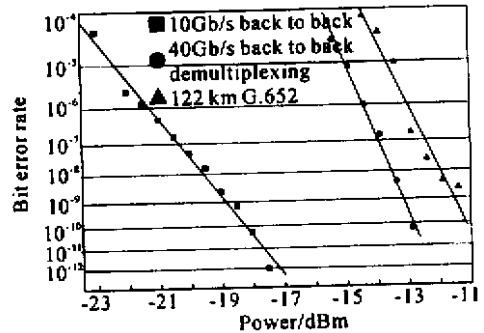


Fig. 10 BER curves of OTDM system

由于采用了与偏振无关的解复用器件以及对光纤光栅的偏振模色散进行了补偿,整个系统在测试过程中很稳定,没有观察到传输链路上偏振模色散对系统性能的影响。

结论 本文报道了 40 Gbit/s 光时分复用传输系统,实现了在 122 km 的普通单模光纤上的高速传输。系统采用增益开关分布反馈式激光器产生超短光脉冲,通过色散补偿光纤和梳状色散光纤链实现了脉冲的线性和非线性压缩;利用啁啾光纤光栅实现色散补偿;在接收端,利用电吸收调制器实现了光时分复用信号的解复用;同时采用非等幅编码方案提取帧时钟。

实验证明了采用非等幅时钟提取方案,时钟信号的幅度随各路信号幅度差别的增大而增大,时钟信号的抖动逐渐减小。本实验对电吸收调制器的解复用窗口进行了优化。在 40 Gbit/s 的传输系统中,当电吸收调制器解复用器的窗口宽度调整为

12.5 ps,为信道间隔的一半时,实验系统的性能最优.这种设置兼顾了系统对信号抖动和信道串扰的要求。

参 考 文 献

- [1] Nakazawa M , Yamamoto T , Tamura K R . 1.28 Tbit/s-70 km OTDM transmission using third- and fourth-order simultaneous dispersion compensation with a phase modulator. *Electron. Lett.* ,2000 ,**36**(24) 2027 ~ 2028
- [2] Barry R A , Vincent W S , Katherine L *et al.* . All optical network consortium-ultrafast TDM networks. *IEEE J.*

Selected Areas in Communications ,1996 , **14**(5):999 ~ 1013

- [3] Toda H , Furukawa Y , Kinoshita T *et al.* . Optical soliton transmission experiment in a comb-like dispersion profiled fiber loop. *IEEE Photonics Technology Lett.* , 1997 , **9**(10):1415 ~ 1417
- [4] Chang G K , Ellinas G , Meagher B *et al.* . A Proof-of-Concept, Ultra-low Latency Optical Label Switching Testbed Demonstration for Next Generation Internet Networks. OFC2000 , WD5-(1 ~ 3) , 2000

40 Gbit/s OTDM System with Unequal Amplitude Coding Methods

Zuo Peng¹⁾ Zhang Fan¹⁾ Wu Jian¹⁾ Lin Jintong¹⁾
Ye Peida¹⁾ Gao Yizhi²⁾ Jian Shuisheng³⁾

(1) , *Optical Center , Beijing University of Posts and Telecommunications , Beijing 100876*)
(2) , *Tsinghua University , Beijing 100084*
(2) , *Northern Jiaotong University , Beijing 100044*)

(Received 13 September 2001 ; revised 15 November 2001)

Abstract : A 40 Gb/s optical time division multiplexing (OTDM) system is presented and discussed. Frame structure of OTDM data stream is designed based on unequal amplitude coding methods. Gain-switched distributed-feedback laser (GS-DFB) and comb-like dispersion profiled fiber (CDPF) are employed to generate the ultra-short optical pulses ; chirped fiber grating for dispersion compensation ; electro-absorption modulator (EAM) for de-multiplexing the 40 Gbit/s data stream. The frame clock (10 GHz) is extracted from the data stream with high Q value electronic filter. After transmission over 122 km single mode fiber (SMF) , bit error rate of the whole system is less than 10^{-9} .

Key words : optical time division multiplexing ; gain-switched distributed-feedback laser ; comb-like dispersion profiled fiber ; chirped fiber grating ; electro-absorption modulator ; unequal amplitude coding