

文章编号 1004-924X(2007)01-0022-05

LiNbO₃ 外调制器的 10 Gbit/s 光纤传输系统

郭玉彬, 霍佳雨, 靳江涛, 王天枢, 闫红伟, 李沛然

(吉林大学 通信工程学院, 吉林 长春 130012)

摘要: 建立了一个 10 Gbit/s 光纤传输系统平台, 实现了 10 G 光信号无中继、无误码传输, 系统采用了 NRZ 码、高性能的 GaInAsP 多量子阱 DFB 激光器、LiNbO₃ 电光调制器。进行了系统的传输实验, 得到了系统的各项指标参数, 分析了影响系统传输质量的因素, 研究了传输系统中的一些关键问题。无中继距离为 84 km, 采用了 CWDM 技术对信号进行复用。在误码率为 10^{-12} 时, 接收机的最小接收光功率可达到 -26.76 dBm。系统的功率代价为 0.49 dB, 没有出现误码率平台。实验还对发送光信号的消光比与接收机灵敏度之间的关系进行了研究, 连续观察 24 h 无误码。

关键词: 光通信; 消光比; 眼图; 光接收灵敏度

中图分类号: TN929.1; TN761 **文献标识码:** A

10 Gbit/s fiber-optic transmission system using a LiNbO₃ external modulator

GUO Yu-bin, HUO Jia-yu, JIN Jiang-tao, WANG Tian-shu, YAN Hong-wei, LI Pei-ran

(College of Communication Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: A structure of 10 Gbit/s fiber-optic transmission system was established to achieve 10 G optical signal transmission without relay and bit error. This system consists of NRZ format, GaInAsP multiple-quantum-well DFB lasers and LiNbO₃ electro-optic modulator. The transmission experiment was carried out to obtain the parameters of the system. The effect on transmission quality were also analyzed and some key questions were studied. Experimental results show that the transmission distance without relay is about 84 km. Using CWDM technology for multiplex signal, the sensitivity of receiver is about -26.76 dBm at BER = 10^{-12} , and the power penalty is about 0.49 dB without BER floor in the system. In the experiment, the relationship between extinction ratio and optical receiver sensitivity was also investigated, and the system runs continuously for 24 hours without error.

Key words: optical communication; extinction ratio; eye-diagram; optical receiver sensitivity

1 引言

光纤作为现代通信的主要传输手段,在通信网中起着重要作用。高锟和 Hockham 在 1966 年首先讨论了利用光纤作为通信介质的可能性^[1],1970 年激光器和低损耗光纤这两项关键技术的重大突破,使光纤通信开始从理想变成可能。目前,10 Gbit/s 技术发展迅速,逐渐成为人们研究的热点。10 Gbit/s 光传输设备有着良好的应用前景,很多复用系统都是基于 10 Gbit/s 的传输链路。因此,研究 10 Gbit/s 光纤传输系统有着重要的意义。

本文建立了一个 10 Gbit/s 光纤传输系统平台,实现了 10 G 光信号在 84 km 链路上的无中继、无误码传输。进行了系统传输实验,得到了系统的各项指标参数,分析了影响系统传输质量的因素,研究了传输系统中的一些关键问题。

2 传输系统实验装置

无论怎样复杂的光纤通信系统,其基本单元都是点对点的传输链路。本文所研究的是一个点一点的光纤传输系统,其结构原理框图如图 1 所示。整个光传输系统包括码型发生器,电 MUX,光 MUX,光 DEMUX,电 DEMUX,电光外调制功能,码型检测,视频传输等几个主要功能单元,同时存在低速率的电信号,10 G 电信号,10 G 光信号,并且每路不同的信号都可以分别分路出来做其他的处理。

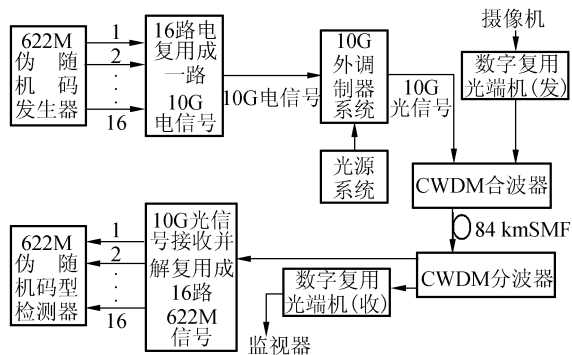


图 1 10 Gbit/s 光纤传输系统实验框图

Fig. 1 Experiment setup

在本系统中,622 M(622.08 Mb/s)伪随机码

发生单元主要实现 NRZ 码型输出的功能,通过将 16 路的 622 M 电信号进行复用,得到 10 G(9.95328 Gb/s)的电信号。10 G 外调制系统单元将电信号转换成光信号,选用的调制器是高性能的 LiNbO₃ 电光调制器^[2]。该光学强度调制器基于 Mach-Zehnder 干涉仪结构,在 X 切铌酸锂晶体上采用高稳定性的钛扩散工艺制作而成,具有优越的稳定性,适合高速率、长距离的光纤传输系统使用。其插入损耗 ≤ 7 dB,消光比(DC) ≥ 20 dB,电光带宽 (-3 dBe) ≥ 10 GHz,调制速率达 10 Gbit/s,零啁啾,具有十分良好的调制性能。光源系统实现 10 G 光信号输出的功能,采用高性能的 1 550 nm GaInAsP 多量子阱 DFB 激光器,MQW 有源区和内建 DFB 光栅使其具有低阈值、高效率、窄线宽和动态单模等优异特性。该激光器的输出光功率在 $-40 \sim 10$ dBm 可调,线宽为 0.12 nm,边模抑制比大于 40 dB,具有良好的单模特性。

摄像头采集的视频信号通过数字复用光端机转换为 1 510 nm 的光信号,通过 CWDM 合波器与 1 550 nm 的光信号进行复用,复用后的信号在 84 km 的光纤中传输,传输光纤采用标准的 G.652 光纤,在 1 550 nm 处的色散是 17 ps/(nm·km)。传输 84 km 后,复用信号通过 CWDM 分波器进行解复用,1 510 nm 的光信号通过数字复用光端机与监视器相连^[3,4],通过监视器可以看到摄像头所采集的图像,依据图像的清晰程度以及是否失真等,可以从感官上判断系统的传输质量。数字复用光端机的发射光功率为 -1.54 dBm,接收灵敏度可达到 -35 dBm。视频信号经过系统传输后,在监视器上看到的摄像头所采集的图像十分清晰,而且并未出现失真的情况,有着良好的质量。在接收端,解复用后的 1 550 nm 的光信号经过光电转换成为 10 G 的电信号,10 G 电信号又被解复用为 16 路的 622 M 电信号,622 M 电信号被送入 622 M 伪随机码型检测器,该检测器和前面所提到的 622 M 伪随机码发生单元可以组合成一个完整的误码检测单元。同时具有 622 M 码型检测判别功能以及外部时钟输入的功能,从而可以配合任何一台标准的 622 M 伪随机码型发生器组合成一台完整的误码检测装置。

3 实验结果

3.1 实验眼图

眼图测量是判断数字光纤传输系统中有无码间干扰、接收性能好坏的最直观的方法。发送端和接收端的 622 M 电信号眼图分别如图 2 和图 3 所示。此时,光源的发射光功率为 6.31 dBm。

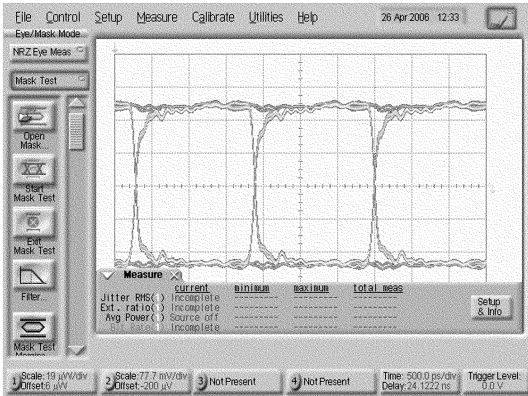


图 2 发送 622 M 电信号眼图

Fig. 2 Eye diagram of 622 M signal (transmitted)

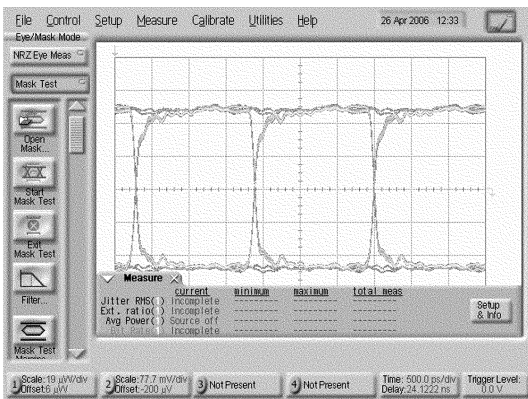


图 3 接收 622 M 电信号眼图

Fig. 3 Eye diagram of 622 M signal (received)

发送的电眼图比较理想,而接收的电眼图与发送电眼图相比几乎没有变化,说明系统的传输性能十分的优越,没有出现误码等现象。一个实际的数字光纤传输系统,应尽力避免码间干扰,而在实验室里观察码间干扰是否存在的最直观、最简单的办法就是眼图分析法。眼图的张开度受噪声和码间干扰的影响,当输出端信噪比很大时,张开度主要受码间干扰的影响,观察眼图的张开度就可以估计出码间干扰的大小。622 M 电信号

眼图的张开度达到 90% 以上,接近 100%。可以认为无码间干扰和信号畸变,信号的信噪比没有恶化。码间干扰、信号畸变使眼开度减小,使眼皮厚度增加,因此,无畸变眼图的厚度为零。而 622 M 电信号眼图眼皮厚度很小,没有产生眼图的畸变。眼图的对称性反映了系统信道传输特性的非线性效应,良好的对称性说明此系统的传输性能并没有受到非线性效应十分明显的影响,传输质量没有受到影响。

经调制后的 10 G 光信号的眼图如图 4 所示,发送的光信号眼图符合模板要求。此时,光信号的消光比为 11.61 dB,眼图的张开度和对称性都很好,交叉点位置没有明显的下降,系统可以无误码地传输信号。图 5 为接收光信号的眼图。

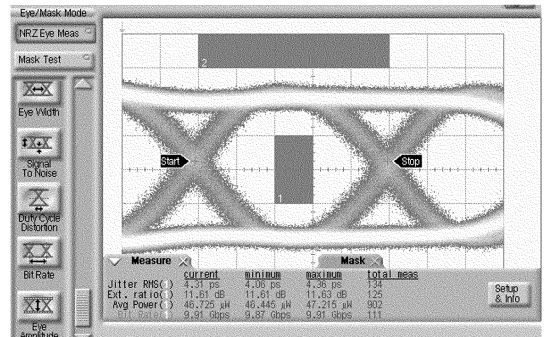


图 4 发送 10 G 光信号眼图

Fig. 4 Eye diagram of 10 G signal (transmitted)

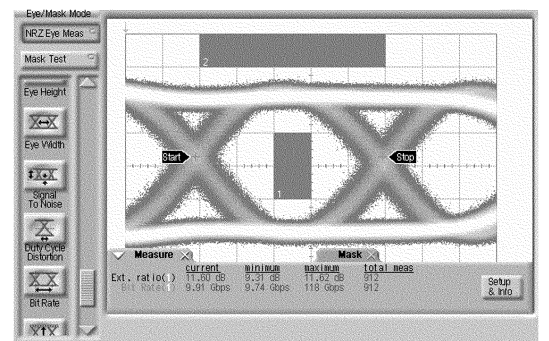


图 5 接收 10 G 光信号眼图

Fig. 5 Eye diagram of 10 G signal (received)

3.2 接收机灵敏度

光纤传输系统的主要指标之一就是光接收机的灵敏度。本传输系统的光接收机灵敏度在背靠背(back to back)时可达到 -27.25 dBm,过载光功率可达到 -1.5 dBm。接收机的最小接收光功率与误码率关系如图 6 所示。

经过 84 km 的光纤传输后,在误码率 $BER=10^{-12}$ 时,接收机的最小接收光功率可达到 -26.76 dBm。通常情况下,将特定误码率下系统的接收灵敏度与背靠背时的接收灵敏度之差称为功率代价(Power Penalty),它是系统的一个重要指标^[5]。该系统的功率代价为 0.49 dB。由图 6 可见,系统没有出现误码率平台(floor)。如果出现误码率平台,则说明系统的性能极度恶化,功率代价很大,无论如何增加光功率,也不能降低系统的误码率。该系统并没有出现误码率平台,而其功率代价也很低,说明系统的性能良好,可以实现无误码传输,符合光纤传输系统的指标要求。

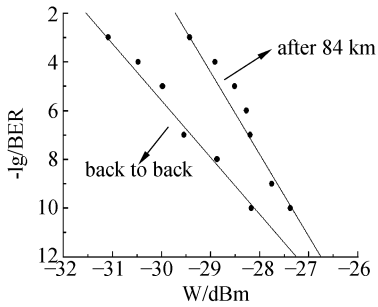


图 6 系统的误码特性

Fig. 6 Bit-error-rate curves

3.3 光信号的消光比与接收机灵敏度

发送光信号的眼图状况以及消光比对接收机灵敏度产生影响^[6,7]。当光信号的眼图恶化时,接收灵敏度会随之下降。光信号的消光比与接收机灵敏度的关系如表 1 所示。

从表 1 可知,消光比为 11.76 dB 时,接收机灵敏度达到 -26.7 dBm。随着消光比的减小,接收机灵敏度逐渐变小,消光比为 8.0 dB 时,接收机的灵敏度仅为 -23.6 dBm。可见,在一定的范围内,高的消光比可以使接收机的灵敏度提高。

但并不是消光比越高越好,随着消光比的不断提高,当达到一定的极限值之后,眼图的交叉点位置可能会不断的变化,眼图交叉点的发散度会加大,眼图会产生恶化,那么接收机的灵敏度势必会下降。所以,发送光信号消光比的适当选择,在传输系统中是十分重要的。对本系统,当发送光信号的消光比为 11.61 dB 时,系统就可以无误码传输,达到比较理想的状态。

表 1 消光比与接收灵敏度的关系

Tab. 1 Relationship between extinction ratio and optical receiver sensitivity

光信号的消光比(dB)	接收机灵敏度(dBm)
11.76	-26.7
11.54	-26
10.17	-24.48
9.6	-24.3
9.0	-24.1
8.5	-23.8
8.0	-23.6

4 结束语

本文进行了 10 Gbit/s 光纤传输系统实验研究,实现了 10 G 光信号的无误码传输。采用 CWDM 技术将数字信号与视频信号进行复用,并在光纤链路中进行传输。系统采用 NRZ 码、高性能的 GaInAsP 多量子阱 DFB 激光器、LiNbO₃ 电光调制器。接收机的灵敏度为 -26.76 dBm,过载光功率为 -1.5 dBm。系统的功率代价为 0.49 dB,没有出现误码率平台。观测了系统收发电信号以及光信号的眼图。分析了发送光信号的消光比与接收机灵敏度之间的关系,当消光比为 11.61 dB 时,系统就可以实现无误码传输。

参考文献:

- [1] KAO K C, HOCKHAM G A. Dielectric-fiber surface waveguides for optical frequencies[C]. *IEEE Proc.*, 1966.
- [2] GHEORMA I L, SAVI P, Jr OSGOOD R M. Thin layer design of X-cut LiNbO₃ modulators[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2000, 12: 1618-1620.
- [3] 朱维安,池凌飞,邱卓华. 数字基带直传在光纤通信系统中的具体实现[J]. *光学精密工程*, 2001, 9(2): 47-52. ZHU W A, CHI L F, QIU Z H. Realization of digital baseband transmission in an optical fiber communication system[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2001, 9(2): 47-52. (in Chinese)
- [4] 李晓滨,解成俊,郭玉斌,等. 光 CDMA 技术及其应用[J]. *光学精密工程*, 2002, 10(5): 487-493.

- LI X B, XIE CH J, GUO Y B, *et al.*. Optical code division multiple access technology and its application[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2002, 10(5): 487-493. (in Chinese)
- [5] KOROTKY S K, GNAUCK A H, KASPER B L. 8 Gbit/s transmission experiment over 68 km of optical fiber using a Ti : LiNbO₃ external modulator[J]. *J. Lightwave Technol.*, 1987, 5: 1505-1509.
- [6] 丁国庆, 邓柱斌. 2.5 Gbit/s 光发射模块消光比与光接收误码特性[J]. *光通信研究*, 2001, 1: 52-55.
DING G Q, DENG Z B. The extinction ratio of 2.5 Gbit/s optical transmitter modules and the error code characteristics of optical receiver modules[J]. *Stud. Opt. Commun.*, 2001, 1: 52-55. (in Chinese)
- [7] 亢俊健, 宁书年, 苏美升, 等. 光收发模块眼图、消光比及灵敏度关系的实验研究[J]. *激光杂志*, 2003, 24(2): 61-62.
KANG J J, NING S N, SU M K, *et al.*. Experiment research on eye-diagram, extinction-ratio and sensitivity of optical receiving-transmitting modules[J]. *Laser J.*, 2003, 24(2): 61-62. (in Chinese)

作者简介: 郭玉彬(1962—), 男, 山东人, 吉林大学通信与信息系统教授, 研究方向为光通信技术。E-mail: gyb@jlu.edu.cn
霍佳雨(1980—), 女, 长春市人, 吉林大学硕士研究生, 主要从事光通信系统方面的研究。