

文章编号: 0253-2239(2009)03-0608-03

中间跨谱反转技术实现正交信号的 100 km 传输

王葵如 刘 博 忻向军 张 琦 马健新 余重秀 张锦龙

(北京邮电大学电子工程学院光通信与光波技术教育部重点实验室, 北京 100876)

摘要 实验验证了应用中点谱反转技术实现 155 Mb/s~10 Gb/s 频移键控/幅度调制(FSK/IM)正交信号的 100 km 传输。其中,FSK/IM 正交信号的频谱反转由基于半导体光放大器(SOA)的四波混频效应实现,此技术有效克服了 FSK/IM 正交信号在传输中色散带来的影响。实验采用 DFB 激光器作光源,康宁公司生产的标准单模光纤作传输链路,采用长为 1.5 mm,光限制因子为 0.15 的半导体光放大器实现频谱反转。实验中固定 FSK/IM 的中心波长,测试了接收端 FSK 与 IM 信号的眼图,结果发现,标记 FSK 与数据包 IM 的性能良好。

关键词 光通信;光标记交换;中间跨度谱反转;频移键控;色散;半导体光放大器

中图分类号 TN 929.11

文献标识码 A

doi: 10.3788/AOS20092903.0608

Orthogonal Signals 100 km Transmission over Standard Fiber Using Mid-Span Spectral Inversion by Four-Wave Mixing in a Semiconductor Optical Amplifier

Wang Kuiru Liu Bo Xin Xiangjun Zhang Qi Ma Jianxin

Yu Chongxiu Zhang Jinlong

(School of Electronic Engineering, Key Laboratory of Optical Communication and Lightwave Technologies, Ministry of Education, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract 155 Mb/s~10 Gb/s orthogonal FSK/IM signal's transmission over 100 km of standard fiber based on mid-span spectral inversion is experimentally demonstrated. The phase-conjugation is achieved by four-wave mixing in an optimized semiconductor optical amplifier (SOA), which solves the dispersion problem of the FSK/IM orthogonal signal. We use the DFB laser as the optical source, and take the Corning's standard single-mode fiber as transmission link, and adopt the SOA with 500 μm length, and 0.15 optical confinement factor to realize spectral inversion. In the experiment, the central wavelength of orthogonal FSK/IM signal is fixed. We get the eye diagrams of the packet (label) in the IM (FSK) receiver. The results prove that the system has a good performance.

Key words optical communication; optical label switching; mid-span spectral inversion; frequency shifted keying; dispersion; semiconductor optical fiber amplifier

1 引 言

为满足未来光交换网络中的高网络容量需求,高速光纤传输系统已成为研究的热点。在高速光纤传输系统中,光纤的色散与损耗是制约系统性能的两大因素。随着掺铒光纤放大器(EDFA)技术的成熟和广泛使用,损耗问题已得到很好的解决。色散成为限制信号传输距离的主要因素。由于频移键

控/幅度调制(FSK/IM)正交信号^[1~3]具有较宽的频谱,受色散影响大,所以,对 FSK/IM 正交信号的色散补偿十分必要。

目前,已有多种色散补偿方案被提出,如干涉仪补偿法、负色散光纤补偿法、中点谱反转法(MSSI)^[4]等。与其他色散补偿方案相比,中点谱反转技术的显著优势是没有引入冗余的光纤,也就是

收稿日期: 2008-08-26; 收到修改稿日期: 2008-10-15

基金项目:国家自然科学基金(60677004),教育部科学技术研究重点项目(107011),北京市教育委员会共建项目建设计划项目(XK100130737),教育部留学归国人员教学、科研经费建设项目,国家 863 计划(2007AA01Z260),宽带光纤传输与通信网络技术教育部重点实验室(电子科技大学)开放课题和新世纪优秀人才计划(NECT-07-0111)资助项目。

作者简介:王葵如(1962-),女,副教授,主要从事光网络及光纤传感网等方面的研究。E-mail: krwang@bupt.edu.cn

没有增加系统的传输长度。同时,中点谱反转技术部分地抑制了光纤中的非线性效应,从而增大了系统的转发距离^[5,6]。

本文提出应用基于半导体光放大器(SOA)^[7~9]的四波混频效应所产生的频谱反转技术对 FSK/IM 正交信号作色散补偿。在系统传输的中点,由于 SOA 的四波混频效应,FSK/IM 正交信号的频谱被反转,从而使得信号在系统后半段传输时所累积的色散刚好补偿前半段的色散。

2 实验装置

实验装置如图 1 所示,以速率为 155.52 Mb/s,字长为 $2^{15}-1$ 的非归零伪随机码作标记,驱动中心波长为 1560.092 nm 的 DFB 激光器。当偏置电压高于激光器阈值时,由于激光器的频率啁啾,产生具有两个不同频率的频移键控(FSK)光谱。以速率为 10 Gb/s,字长为 $2^{23}-1$ 的非归零伪随机码作为光包,通过马赫-曾德尔调制器加载到 FSK 信号上,从

而形成了以 IM 信号为光包,FSK 信号为标记的正交 FSK/IM 信号。正交 FSK/IM 信号被噪声系数为 6 dB 的掺铒光纤放大器(EDFA)放大后,进入传输链路。传输链路由四盘康宁公司生产的标准单模光纤组成,1550 nm 处光纤的损耗为 0.19 ~ 0.2 dB/km,色散系数为 17 ps/(nm·km),色散斜率为 0.089 ps/(nm²·km),每盘光纤长 25 km。长为 1.5 mm 的半导体光放大器置于传输链路的中点,利用其四波混频效应将信号的频谱反转。在通过 SOA 之前,正交 FSK/IM 信号与一可调谐连续波激光器所发出的光耦合,经一最大输出光功率为 27 dBm 的 EDFA 放大后,一起注入 SOA。在接收端,正交 FSK/IM 信号经 EDFA 放大后,被一分光比为 50:50 的光耦合器(X-Coupler)分光,分别被送到 FSK 与 IM 接收端。在 FSK 接收器前,采用一个中心波长与带宽均可调的带通滤波器将 FSK 信号中的一个频率滤出;而一个波长可调谐,3 dB 带宽为 0.4 nm 的带通滤波器被放置在 IM 接收器前。

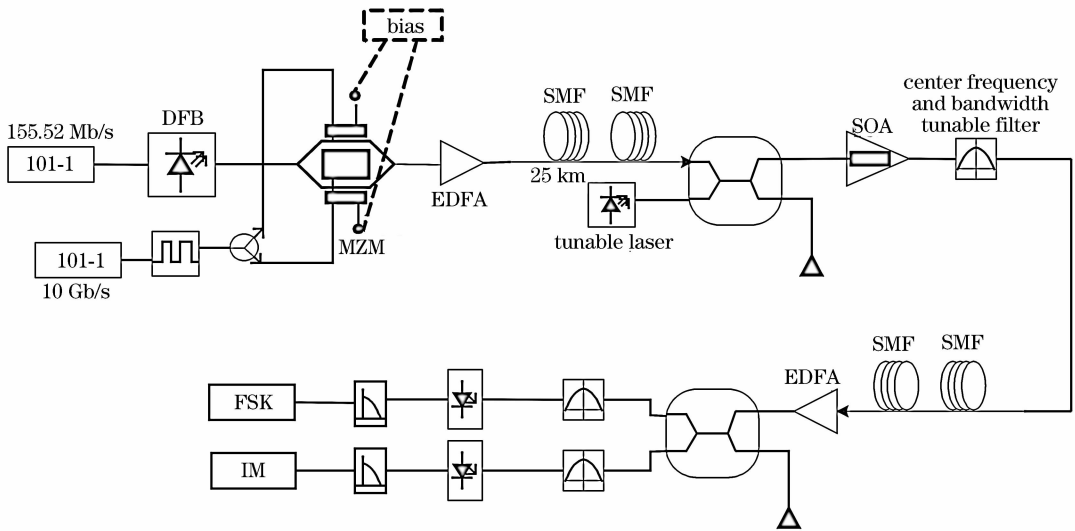


图 1 应用中间跨谱反转技术实现 FSK/IM 正交信号 100 km 传输的实验装置

MZM: 马赫-曾德尔调制器; EDFA: 掺铒光纤放大器; SMF: 单模光纤; SOA: 半导体光放大器

Fig. 1 Experiment of FSK/IM orthogonal signal's 100 km transmission based on mid-span spectral inversion. MZM: Mach-Zehnder modulator; EDFA: Er-doped fiber amplifier; SMF: single-mode fiber; SOA: semiconductor optical amplifier

3 实验结果与讨论

如图 2 所示,抽运光波长设置为 1558.762 nm。FSK 信号的两个频率同时受到强度调制,导致 IM 数据包的传输质量下降。谱均衡后的 FSK 信号效果有所好转。通过成形滤波器或电吸收调制器对标记 FSK 信号实现频谱均衡的方案分别参见文献^[10,11]。本文主要的目的是证实基于 SOA 的

FWM 效应实现 MSSI 功能,所以,本文没有采用谱均衡措施。可以看出频谱反转后,由于 FSK 的频谱不均衡导致 IM 数据包质量进一步恶化,如图 2 所示,FSK 信号的两个频率的峰值功率差加大。但若优化 FSK 的频谱资源,这种情况是可以避免的。

实验测出数据包 IM 信号的眼图(如图 3 所示),此时接收端的光功率为 -12 dBm。实验同样测

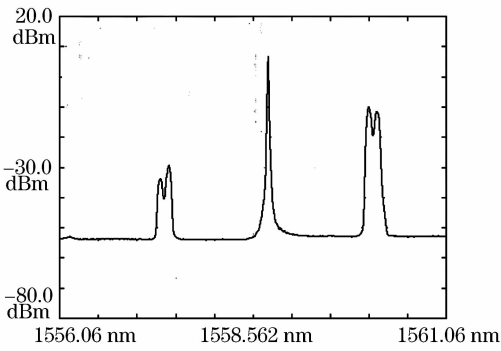


图 2 在传输链路的中间跨度处 SOA 输出端的光谱
Fig. 2 SOA output spectrum in the mid-span of the transmission link

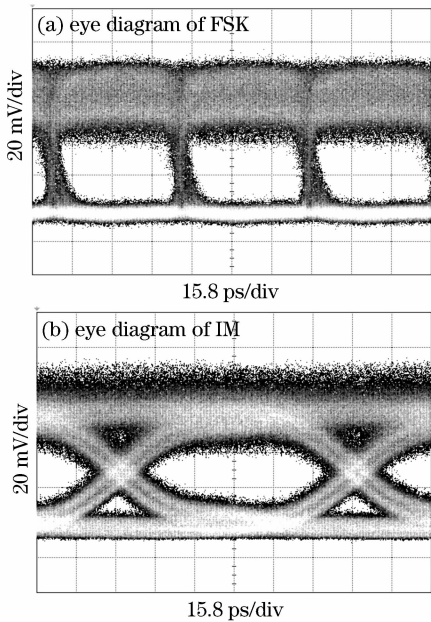


图 3 FSK 与 IM 信号的眼图

Fig. 3 Eye diagram of FSK and IM signal

得标记 FSK 的眼图,从图中可以看出,波形存在一定畸变,这是由于 FSK 信号频谱中的双峰不对称所造成的(如图 2 所示)。对于标记 FSK 信号,光纤中的色散基本没有对其带来影响。

4 结 论

基于 FSK/IM 正交信号的光标记交换是一种很有前景的技术,它将光标记信息与有效净荷信息

加载到同一光波长上以节约波长资源,同时,高速净荷信息始终在光域传输,从而避免了电子器件处理的速度瓶颈。然而,由于标记 FSK 信号频谱较宽,光纤的色散严重制约了高速 IM 净荷信号的传输距离。本文采用长度为 1.5 mm 的商用 SOA,通过四波混频效应来实现 MSSI 技术,从而克服光标记交换(OLS)系统中的色散限制。对 155 Mb/s ~ 10 Gb/s FSK/IM 正交调制光标记/光包进行了 100 km 标准单模光纤传输,实验得到标记 FSK 信号与净荷 IM 信号的眼图,从眼图可知系统性能良好。

参 考 文 献

- 1 D. J. Blumenthal, B.-E. Olsson, G. Rossi *et al.*. All-optical label swapping networks and technologies [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2000, **12**(12):2058~2075
- 2 A. M. J. Koonen, G. Morthier, J. G. L. Jennen *et al.*. Optical packet routing in IP-over-WDM networks deploying two-level optical labeling [C]. *Proc. ECOC*, Amsterdam, the Netherlands, 2001, **10**:608~609
- 3 Y. M. Lin, W. I. Way, G. K. Chang. A novel optical label swapping technique using erasable optical single-sideband subcarrier label [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2000, **8**(12):1088~1090
- 4 A. F. Elrefaie, R. E. Wagner. Chromatic dispersion limitations for FSK and DPSK systems with direct detection receivers [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1991, **1**(3):71~73
- 5 Bob Jopson, Alan Gnauck. Dispersion compensation for optical fiber systems [J]. *Communications Magazine*, 1995, **7**:96~102
- 6 E. N. Lallas, N. Skarmoutsos, D. Syvridis. An optical FSK based label coding technique for the realization of the all optical label swapping [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2002, **10**(14):1472~1474
- 7 Y. Liu, E. Tangdiongga, Z. Li *et al.*. Error-free all-optical wavelength conversion at 160 Gb/s using a semiconductor optical amplifier and an optical bandpass filter [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2006, **1**(24):230~236
- 8 Y. Liu, E. Tangdiongga, Z. Li *et al.*. Error-free 320-Gb/s all-optical wavelength conversion using a single semiconductor optical amplifier [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2007, **1**(25):103~108
- 9 Dar-Zu Hsu, San-Liang Lee, Pei-Miin Gong *et al.*. High-efficiency wide-band SOA-based wavelength converters by using dual-pumped four-wave mixing and an assist beam [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2004, **8**(16):1903~1905
- 10 X. J. Xin, P. S. Andre, A. L. J. Teixeira *et al.*. Improvement of amplitude-shift-keying signal quality by employing an effective spectrum equalization method in a combined FSK/IM modulation scheme [J]. *Chin. Phys. Lett.*, 2005, **8**(22):1948~1950
- 11 Jianfeng Zhang, Nan Chi, P. V. Holm-Nielsen *et al.*. An optical FSK transmitter based on an integrated DFB laser-EA modulator and its application in optical labeling [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2003, **7**(15):984~986