

# 光的单边带传输的性能研究

胡辽林 刘增基 杨国庆

(西安电子科技大学综合业务网国家重点实验室,西安 710071)

**摘要** 对一种光单边带传输系统用MATLAB进行了仿真,结果表明:在完全消光条件下,10 Gb/s 单边带信号在常规单模光纤传输可达 140 km,而双边带仅为 70 km;消光比对双边带传输和单边带传输的影响是不一样的.双边带传输消光比为 10 dB 就够了,单边带传输消光比要在 20 dB 以上,只有消光比大于 20 dB 时单边带传输相对于双边带传输的优越性才逐渐呈现出来.

**关键词** 光纤通信;色散;单边带;双边带;消光比

**中图分类号** TN929.11

**文献标识码** A

## 0 引言

掺铒光纤放大器(EDFA)实用化后,色散就成为限制高速光纤通信系统中继距离的主要因素,对于 1.55 μm 工作波长的 10 Gb/s 常规单模光纤(G.652)传输系统,色散限制的中继距离仅为 60 多公里<sup>[1]</sup>.增加色散限制的中继距离传统上采用光学方法<sup>[2]</sup>,如色散补偿、预啁啾、色散均衡等.近年来,一些有关谱压缩的编码和调制方式被引入到光纤通信中,如多电平编码<sup>[3]</sup>、双二进制编码<sup>[4]</sup>和光的单边带及残留边带调制<sup>[5-8]</sup>.实现光的单边带传输一般有两种方法:一种是用光滤波器滤掉一个边带<sup>[6]</sup>,这种技术较复杂;另一种是用基带信号和它的希尔伯特变换共同来驱动一个或两个调制器<sup>[5]</sup>.本文采用第二种.

采用光单边带传输的主要优点有:1)光的单边带信号的谱宽近似为传统双边带信号的一半,因而色散限制的中继距离可增加一倍;2)带载波的光单边带信号能够自差探测或直接探测,不发生谱的回叠,大部分相位信息能够被保存,因而接收到的信号可以在电域被部分均衡<sup>[5]</sup>;3)采用光单边带传输可以减少光放大器的噪声指数<sup>[9]</sup>.

文献[5,6]研究的是数字信号,文献[7,8]研究的是模拟信号,均没有考虑消光比对单边带传输的影响.本文对 10 Gb/s 单边带和双边带信号在常规单模光纤上传输进行了仿真,详细考察了消光比对其传输的影响,发现消光比对双边带传输和单边带传输的影响是不一样的,这对实际工作有指导意义.

## 1 光单边带传输原理

实现光单边带传输有两种结构<sup>[5]</sup>,如图 1(a)、

(b)所示.结构(a)仅使用一个 Mach-Zehnder(M-Z)调制器,结构(b)使用一个 M-Z 调制器加上一个相位调制器 PM(phase modulator).

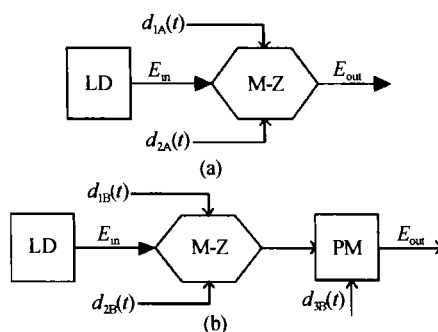


图1 产生光单边带信号的两种结构

Fig.1 Two configurations for generating optical SSB signals

M-Z 调制器的输出电场  $E_{out}$  与输入电场  $E_{in}$  的关系为<sup>[3]</sup>

$$E_{out} = \frac{E_{in}}{2} \exp(j\pi \frac{d_1}{V_\pi}) + \frac{\gamma E_{in}}{2} \exp(j\pi \frac{d_2}{V_\pi}) \quad (1)$$

$$\gamma = \frac{\sqrt{\delta} - 1}{\sqrt{\delta} + 1} \quad (2)$$

式中,  $V_\pi$  为 M-Z 的开关电压,  $d_1$  和  $d_2$  为加在 M-Z 两臂上的信号电压,推挽工作有  $d_2 = \overline{d_1}$ .  $\gamma$  是考虑到输入/输出 Y-分支器的非对称性和 M-Z 两臂损耗不一样等因素而引入的参量,  $0 \leq \gamma \leq 1$ ,  $\gamma$  与消光比  $\delta$  (最大光功率与最小光功率之比)的关系为式(2).完全消光情况下,  $\gamma = 1$ .

相位调制器也能表示为复指数形式

$$E_{out} = E_{in} \exp(j\pi \frac{d_3}{V_\pi}) \quad (3)$$

$d_3$  为加在相位调制器上的驱动电压信号.

对结构(a),为了产生光的单边带信号,加在其上驱动电压信号应为<sup>[5]</sup>

$$d_{1A}(t) = xV_\pi [m(t) + \dot{m}(t)] - \frac{V_\pi}{4} \quad (4)$$

$$d_{2A}(t) = xV_\pi [-m(t) + \dot{m}(t)] + \frac{V_\pi}{4} \quad (5)$$

式中,  $x$  为调制参量,  $m(t)$  为原始 NRZ 二进制序列经过交流耦合后的信号 ( $-0.5 \leq m(t) \leq 0.5$ , 因为 NRZ 的直流分量将影响调制器的偏置点),  $\hat{m}(t)$  为  $m(t)$  的希尔伯特变换.

对结构(b), 为了产生光的单边带信号, 加在其上驱动电压信号应为

$$d_{1B} = xV_{\pi}m(t) - \frac{V_{\pi}}{4} \tag{6}$$

$$d_{2B} = -xV_{\pi}m(t) + \frac{V_{\pi}}{4} \tag{7}$$

$$d_{3B} = xV_{\pi}\hat{m}(t) \tag{8}$$

从数学上可以证明, 两种结构是等效的. 结构(b)容易实现, 但它的成本高, 有插入损耗. 双边带调制时就没有相位调制器. 本文取  $x = 0.5$ .

### 2 仿真模型

光的单边带传输仿真框图如图 2 所示. LD 提供 1.55  $\mu\text{m}$  的连续光波, 信息信号通过图 1(a) 方式调制到光载波上, 光纤被认为无损色散介质, 光电二极管作平方检波.

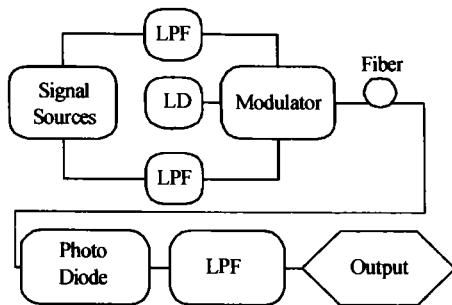


图 2 光的单边带和双边带传输的仿真模型  
Fig. 2 Simulation model for optical SSB transmission system and DSB transmission system

信号源产生  $2^{11}-1$  伪随机二进制序列, 发射机和接收机的低通滤波器 LPF 均为 2 阶 Butterworth 低通滤波器, 3 dB 带宽为 6.5 GHz. 不考虑激光器的线宽和相对强度噪声. 设光电二极管的响应度为 1 A/W, 不考虑暗电流. 低通等效后光纤传递函数为<sup>[1]</sup>

$$H_{fb}(f) = \exp\left(j \frac{\pi D L \lambda^2 f^2}{c}\right) \tag{9}$$

式中  $c$  为自由空间的光速,  $\lambda$  为工作波长,  $L$  为光纤长度,  $D$  为光纤色散系数, 对常规单模光纤 (G. 652 光纤)  $D \approx 17 \text{ ps}/(\text{km} \cdot \text{nm})$ .

### 3 仿真结果

图 3 为 10 Gb/s 双边带和单边带信号在完全消光条件下经过 0 km、80 km 和 160 km 常规单模光纤传输后的仿真眼图. 图 4 为其由色散引起的眼图张开度代价. 眼图张开度代价 (EOP: Eye-opening Penalty) 的定义为

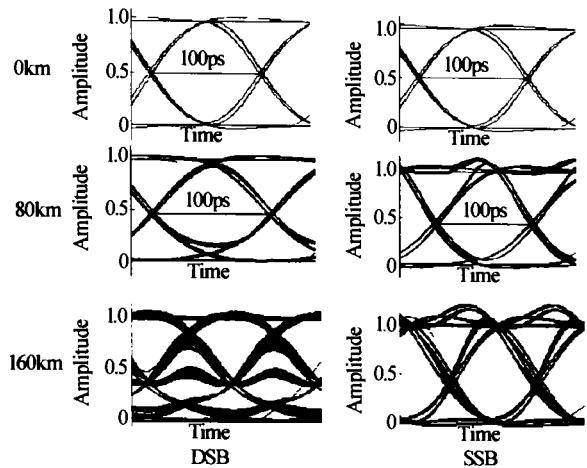


图 3 10 Gb/s 双边带和单边带信号在完全消光下经过 0 km, 80 km 和 160 km 常规单模光纤 (G. 652) 传输后的仿真眼图

Fig. 3 Simulated eye-diagrams of optical 10 Gb/s DSB and SSB signals for 0 km, 80 km and 160 km transmission over G. 652 fiber in the perfect extinction

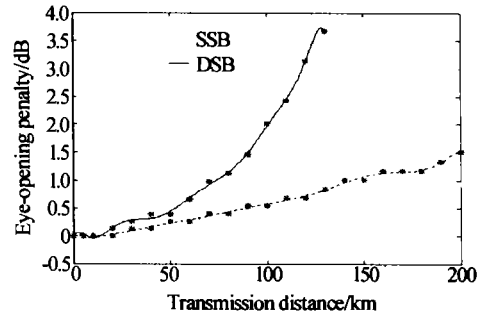


图 4 10 Gb/s 双边带和单边带信号在完全消光下经过常规单模光纤 (G. 652) 传输后由色散引起的眼图代价

Fig. 4 Eye-opening penalty of optical 10 Gb/s DSB and SSB signals duo to fiber chromatic dispersion over G. 652 fiber in the perfect extinction

$$EOP = 10 \log \frac{\text{传输 0km 的眼图张开度}}{\text{传输一定距离后的眼图张开度}} \tag{10}$$

如果以 1 dB 的眼图代价作为传输质量的最大限度, 由图 4 可看出, 10 Gb/s 的双边带信号在常规单模光纤上可传输 70 km (比文献[1]稍大, 因为这里只考虑色散), 而单边带信号可传输 140 km. 因此采用单边带信号传输, 色散限制的中继距离几乎可增加一倍, 这是由于其谱宽压缩了将近一倍.

图 5 为 10 Gb/s 双边带和单边带信号在消光比分别为 10 dB, 20 dB, 30 dB 情况下经过 100 km 常规单模光纤 (G. 652) 传输后的仿真眼图. 图 6 为其由色散引起的眼图张开度代价. 同样以 1 dB 的眼图代价作为传输质量的最大限度, 对双边带传输, 消光比为 10 dB 时色散限制的中继距离就可达 70 km, 与完全消光基本相同, 因此对双边带传输消光比只要 10 dB 以上就够了. 对于单边带传输, 消光比为 10 dB 时色散限制的中继距离仅为 70 km 左右, 不能体现单边带传输的优越性; 当消光比为 20 dB 时

色散限制的中继距离可达 125 km, 此时单边带传输的优越性就体现出来. 因此只有消光比大于 20 dB 时, 单边带传输相对于双边带传输的优越性才逐渐呈现出来. 由于消光比与调制器的性能有关, 高消光比的调制器现阶段不易做到, 只能做到 20 ~ 30 dB. 因此, 要体现单边带传输的优越性, 应尽量提高调制器的性能.

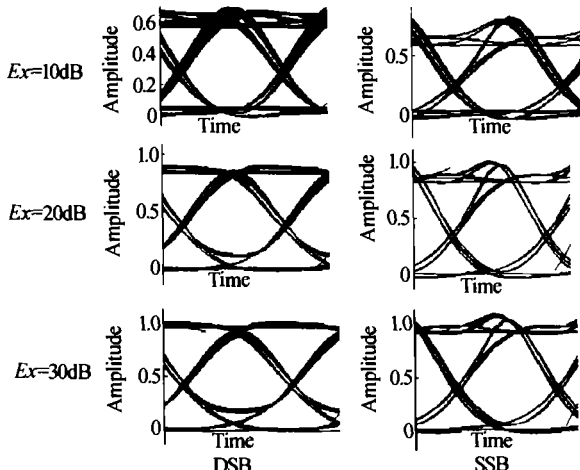


图 5 不同消光比时 10 Gb/s 双边带和单边带信号经过 100 km 常规单模光纤(G. 652)传输后的仿真眼图  
Fig. 5 Simulated eye-diagrams of optical 10 Gb/s DSB and SSB signals transmission over 100 km G. 652 fiber for extinction ratio = 10 dB, 20 dB, 30 dB

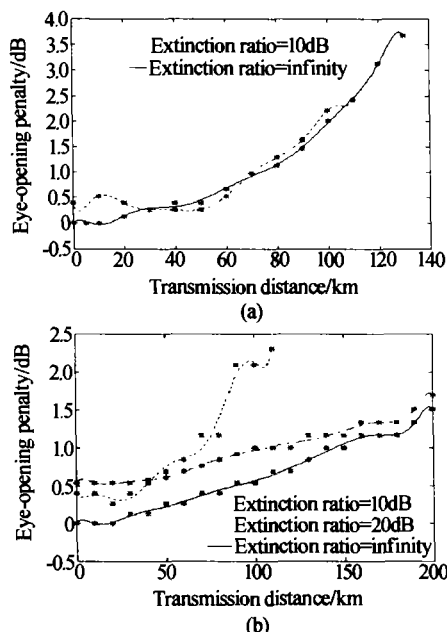


图 6 不同消光比情况下 10 Gb/s 双边带 (a) 和单边带 (b) 信号经过常规单模光纤(G. 652)传输后由色散引起的眼图代价  
Fig. 6 Eye-opening penalty of optical 10 Gb/s DSB (a) and SSB (b) signals due to fiber chromatic dispersion over G. 652 fiber for various extinction ratios

## 4 结论

本文对光的单边带传输进行了仿真, 得到的主要结论如下:

1) 在完全消光条件下, 采用单边带传输比双边带传输色散限制的中继距离几乎增加一倍, 10 Gb/s 单边带信号在常规单模光纤上色散限制的中继距离达 140 km, 而双边带仅为 70 km.

2) 消光比对双边带传输和单边带传输的影响是不一样的. 对双边带传输消光比为 10 dB 就够了, 对单边带传输消光比要 20 dB 以上. 也就是说只有消光比大于 20 dB 时, 单边带传输相对于双边带传输的优越性才逐渐呈现出来. 要保证单边带传输, 应尽量提高调制器的性能.

### 参考文献

- Elrefaie A F, Wagner R E, Atlas D A, et al. Chromatic dispersion limitations in coherent lightwave transmission systems. *J Lightwave Technol*, 1988, 6(5): 704 ~ 709
- 顾晓仪, 李国瑞. 光纤通信系统. 北京: 北京邮电大学出版社, 1999. 328 ~ 335  
Gu W Y, Li G R. Optical Fiber Communication System. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunication Press, 1999. 328 ~ 335
- Walklin S, Conradi J. Multilevel signaling for increasing the reach of 10 Gb/s lightwave systems. *J Lightwave Technol*, 1999, 17(11): 2235 ~ 2248
- Yonenaga K, Kuwano S. Dispersion-tolerant optical transmission system using duobinary transmitter and binary receiver. *J Lightwave Technol*, 1997, 15(8): 1530 ~ 1537
- Sieben M, Conradi J, Dodds D E. Optical single sideband transmission at 10 Gb/s using only electrical dispersion compensation. *J Lightwave Technol*, 1999, 17(4): 1742 ~ 1749
- Yonenaga K, Norimatsu S. Dispersion compensation for homodyne detection systems using a 10 Gb/s optical PSK-VSB signal. *IEEE Photon Technol Lett*, 1995, 7(8): 929 ~ 931
- Smith G H, Novak D, Ahmed Z. Technique for optical SSB generation to overcome dispersion penalties in fibre-radio systems. *Electron Lett*, 1997, 33(1): 74 ~ 75
- Davies B, Conradi J. Hybrid modulator structures for subcarrier and harmonic subcarrier optical single sideband. *IEEE Photon Technol Lett*, 1998, 10(4): 600 ~ 602
- Griffin R A, Lane P M, O'Reilly J J. Optical amplifier noise figure reduction for optical single-sideband signals. *J Lightwave Technol*, 1999, 17(10): 1793 ~ 1796

## Transmission Performance of Optical Single Sideband Signal

Hu Liaolin, Liu Zengji, Yang Guoqing

*National Key Lab. of Integrated Service Networks, Xidian Univ., Xi'an 710071, China*

Received date: 2003-02-20

**Abstract** In this paper, a dispersion-tolerant optical single sideband transmission system is simulated. In the perfect extinction, a 10 Gb/s optical single sideband signal can be transmitted over 140 km of the conventional single-mode fiber(G. 652) and only 70 km for optical double sideband signal with 1 dB eye-opening penalty. The effect of the finite extinction ratio on optical single sideband transmission system is also considered in detail. It is concluded that the optical single sideband transmission has characteristic superior to that of the double sideband transmission only if the extinction ratio is more than 20 dB.

**Keywords** Optical fiber communication; Chromatic dispersion; Single sideband(SSB); Double sideband(DSB); Extinction ratio



**Hu Liaolin** was born in 1968, in Sichuan. He received the B. S. degree in nuclear physics from Sichuan University, Chengdu, China, in 1989 and M. Eng. degree in physical electronics and optical electronics from the University of Electronic Science and Technology, Chengdu, China, in 1996. Currently, he is working toward the Ph. D. degree in communication and information system at Xidian University, Xi'an, China. His current research interests include optical high-speed communication, WDM, OXC, OADM.