

文章编号: 0253-2239(2007)09-1580-5

# 产生暗归零码光标记信号的新方案\*

邵宇丰 陈 林 文双春 余建军

(湖南大学计算机与通信学院, 长沙 410082)

**摘要:** 在对预编码、调制和编码过程进行改进的基础上,提出了一种利用一个双臂马赫-曾德尔铌酸锂调制器和一个电信号时延器产生可调占空比和消光比的光暗脉冲归零码二进制信号的新方案。实验证明这种信号能用传统的二进制强度调制-直接检测系统的接收机进行检测。实验得到了在调节电信号时延器时速率为 2.5 Gbit/s 的光暗脉冲归零码二进制信号的频谱变化规律,以及占空比分别为 0.25, 0.35, 0.60 和 0.80 时光暗脉冲归零码二进制信号的误码率和眼图。此外,利用该方案产生的光暗脉冲归零码二进制信号可以作为标记在光标记交换网络中得到应用。

**关键词:** 光纤通信; 光暗归零信号; 马赫-曾德尔铌酸锂调制器; 误码率; 眼图  
中图分类号: TN929.11 文献标识码: A

## A Novel Scheme for Generation of Optical Dark Return-to-Zero Label Signals

Shao Yufeng Chen Lin Wen Shuangchun Yu Jianjun

(School of Computer and Communication, Hunan University, Changsha 410082)

**Abstract:** A novel scheme to generate binary optical dark return-to-zero (RZ) signals with tunable duty cycle and extinction ratio is proposed, through modifying the process of precoding, modulating and coding. The optical dark return-to-zero signals are easily generated only by using a dual-arm Mach-Zehnder LiNbO<sub>3</sub> modulator along with an electrical signal time-delay device. It is demonstrated experimentally that the optical dark return-to-zero signals can be directly measured by a conventional binary intensity modulation-direct detection (IM-DD) receiver. When the electrical signal time-delay device at 2.5 Gbit/s is adjusted, the changes of optical spectra, the bit-error rate curves, and the eye diagrams of the optical dark return-to-zero signal for duty of cycles 0.25, 0.35, 0.60 and 0.80 are obtained experimentally. Moreover, optical dark return-to-zero signals generated by this novel scheme can be used as labels, in optical label switched networks.

**Key words:** optical fiber communication; optical dark return-to-zero signal; LiNbO<sub>3</sub> Mach-Zehnder modulator; bit error rate; eye diagram

## 1 引 言

传统的电控路由交换模式将不能适应未来人们对信息交换速率的要求。随着光通信的光纤到户 (FTTH), 自动交换光网络 (ASON) 等技术的普遍使用, 如果不断地将光信号变成电信号, 通信网络的成本耗费将会成为其发展的瓶颈。为了解决这些问

题, 人们在光通信网络中引进了光分组交换方案<sup>[1]</sup>。由于光标记交换技术具有高速率, 低成本的特点, 所以是未来光分组交换网络发展中极有应用前景的技术之一。在目前提出的不同的光标记交换技术中, 正交标记技术产生的光分组数据信号具有很高的频谱效率。但正交标记技术面临的主要问题是产生的

\* 国家自然科学基金(10674045, 10576012)、国家教育部新世纪优秀人才支持计划和高等学校博士学科点专项科研基金(20040532005)资助课题。

作者简介: 邵宇丰(1977-), 男, 湖南长沙人, 博士研究生, 主要从事先进码型调制和编解码技术、光标记交换技术等方面的研究。E-mail: shaoyufeng2006@yahoo.com.cn

导师简介: 文双春(1966-), 男, 湖南邵阳人, 教授, 博士生导师, 主要从事光纤通信、非线性光学、激光技术等方面的研究。E-mail: scwen@vip.sina.com

收稿日期: 2006-12-13; 收到修改稿日期: 2007-04-16

光标记和光数据包的消光比不高,由于小的消光比使得光标记和光数据包容易被破坏。为克服这个问题,提出了不同的解决方案,如使用电子解码技术或暗脉冲归零码二进制信号<sup>[2~6]</sup>。Chow 和 Tsang 提出了将半比特周期延迟的暗脉冲归零码二进制信号作为信息负荷,将差分相移键控(DPSK)信号作为标记的一种新方案<sup>[7]</sup>。虽然该方案可以应用于光标记交换网络,但是消耗的光功率过高,并且其中产生暗脉冲归零码二进制信号的关键装置——非线性光学环路镜(NOLM)难以在运行时保持稳定。参考文献[8],本文提出了一种采用双臂马赫-曾德尔铌酸锂(Mach-Zehnder LiNbO<sub>3</sub>)调制器<sup>[9,10]</sup>和电信号时延器来产生光暗脉冲归零码二进制信号的新方案。

## 2 光暗脉冲归零码二进制信号的产生

为了避免单个信号码元的传输错误相继影响以后的码元,导致接下来所有码元的错误传播<sup>[9]</sup>,在光通信系统中必须进行传输前的预编码。基于同样的考虑,也需要对光暗脉冲归零码二进制信号的传输码元在传输前进行预编码。

设输入的二进制码元序列为  $\{d_k\}$ , 首先将发送端的  $d_k$  转换成  $c_k$ , 其规则是

$$d_k = c_k \oplus c_{k-1}, \quad (1)$$

$$c_k = d_k \oplus c_{k-1}, \quad (2)$$

这里  $\oplus$  表示模 2 加运算。然后把  $\{c_k\}$  当作发送端的

输入码元序列,得到接收波形在相应抽样时刻获得的值:

$$b_k = c_k + c_{k-1}, \quad (3)$$

若对(3)式作模 2 加处理,则得到

$$[b_k]_{\text{mod}2} = [c_k + c_{k-1}]_{\text{mod}2} = c_k \oplus c_{k-1} = d_k, \quad (4)$$

(4) 式的结果说明,对  $b_k$  做模 2 处理后能直接得到发送端的  $d_k$ , 并不需要预先知道  $d_{k-1}$ , 而且能避免码元的错误传播。其中,把(2)式变成  $c_k$  称为预编码。

设发送的信号为

$$V(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_k q(t - kT), \quad d_k = 0, 1 \quad (5)$$

式中  $q(t)$  为发送的脉冲波形(值得注意的是,发送的是非归零矩形脉冲),  $T = 1/R$  ( $R$  为码元的传送速率) 为码元时间宽度。所以经过(2)式预编码后的发送信号是

$$V_1(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k q(t - kT). \quad c_k = 0, 1 \quad (6)$$

文献[12]指出采用逻辑异或门、1 bit 电信号时延器和信号翻转器来共同组成预编码的差分编码器。其中的异或门电路,如图 1(a)所示。然而,在进行 2.5 Gbit/s 及其以上的高速率数据信号传输时,用图 1(a)异或门中的反馈路径实现 1 bit 延迟很困难,于是采用不涉及反馈路径延迟的电路如图 1(b)所示:当数据是高电平时,计数器改变状态,进行加 1 模 2 的运算;当数据是低电平时,计数器保持不变状态,进行加 0 模 2 的运算。

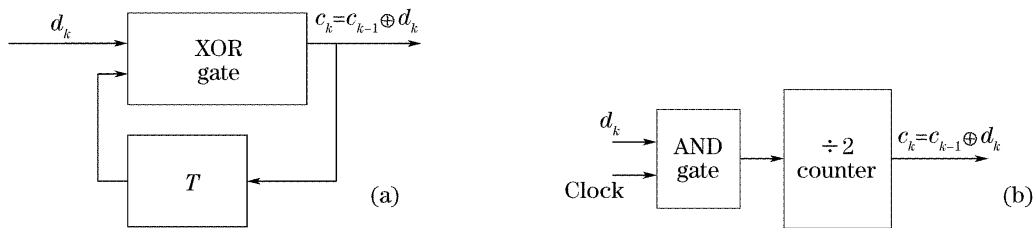


图 1 (a)异或门电路, (b)除 2 计数器电路

Fig. 1 (a) Logical XOR gate, (b) divide-by-2 counter

预编码后,再使发送信号  $V_1(t)$  产生  $\tau$  ( $0 < \tau \leq T$ ) 的时间延迟,生成如下的延迟信号:

$$V_2(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k q(t - kT - \tau), \quad c_k = 0, 1 \quad (7)$$

再用信号  $V_1(t)$  和  $V_2(t)$  调制光载波以产生光暗脉冲归零码二进制信号。这一步采用如图 2(a)所示传输特性(电压摆幅为  $2V_\pi$ ,  $V_\pi$  为调制器开关电压)的双臂马赫-曾德尔 LiNbO<sub>3</sub> 调制器来实现。从图 2(a)中信号的发送功率和偏置电压(DC bias)的关系可

以得出:当发送的电信号经预编码后为“1”码时,双臂马赫-曾德尔 LiNbO<sub>3</sub> 调制器输出低功率的光信号;当发送的电信号经预编码后为“0”码时,双臂马赫-曾德尔 LiNbO<sub>3</sub> 调制器输出高功率的光信号。这就是信号  $V_1(t)$  和  $V_2(t)$  调制光载波可以产生光暗脉冲归零码二进制信号的原因。光暗脉冲归零码二进制信号的预编码输出、预编码延迟输出以及最后的编码输出过程如图 2(b)所示。

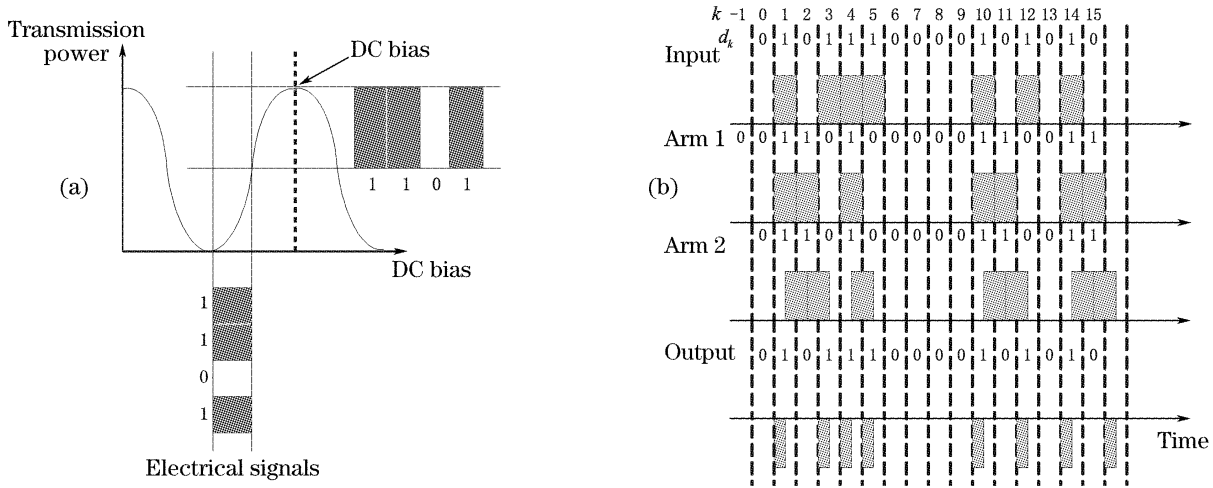


图 2 光暗脉冲归零码二进制信号的调制、预编码和编码

Fig. 2 Principle for binary optical dark return-to-zero signal modulation, pre-coding and coding

设输入双臂马赫-曾德尔 LiNbO<sub>3</sub> 调制器前端未经调制的载波信号光场为

$$E_{in}(t) = |E_0| \exp(j\omega_c t), \quad (8)$$

式中  $|E_0|$  为光载波信号的场强,  $\omega_c$  为光载波信号的频率。因为双臂马赫-曾德尔 LiNbO<sub>3</sub> 调制器两调制臂的输入信号分别为  $v_1(t)$  和  $v_2(t)$ , 则由此所导致的相位变化为  $\Delta\varphi(t) = \frac{\pi}{v_\pi} [v_1(t) - v_2(t)]$ , 所以经过双臂马赫-曾德尔 LiNbO<sub>3</sub> 调制器后输出的信号光场为

$$E_{out}(t) = \frac{1}{2} [E_{in}(t) + E_{in}(t - \tau)] = E_{in}(t) \cos \frac{\pi}{v_\pi} \left[ \frac{v_1(t) - v_2(t)}{2} \right] \times \exp \left\{ j \frac{\pi}{v_\pi} \left[ \frac{v_1(t) - v_2(t)}{2} \right] \right\}, \quad (9)$$

(9)式描述了输出的光暗脉冲归零码二进制信号光场的数学表达式。可以得出, 该信号的强度和相位都与  $v_1(t)$  和  $v_2(t)$  有关。如果定义消光比为发送信号“1”码时的光功率与发送信号“0”码时的光功率

之比值, 那么信号  $V_1(t)$  和  $V_2(t)$  的幅度不能太小, 否则产生的光暗脉冲归零码二进制信号不能归零, 从而导致消光比的值很小, 不利于信号的传输和检测。从图 3 可以看出, 只要通过电信号时延器来改变输入信号  $v_2(t)$  的延时值( $\tau$ ), 就可以导致式(9)中输出信号光场的光强和相位变化, 从而输出不同占空比和消光比的光暗脉冲归零码二进制信号。

### 3 实验结果及分析

完整的光暗脉冲归零码二进制信号的发送装置如图 3 所示。图 3 中的两个电信号放大器具有相同的性能, 两路经过电信号放大器后的驱动信号电压相等。放大后的两路驱动信号电压必须小于或者等于双臂马赫-曾德尔 LiNbO<sub>3</sub> 调制器的半波电压。工作在调制器前的电信号时延器是时间可调器件, 通过调节电信号时延器使  $\tau$  在一个比特周期的时间内取不同值, 可以获得不同占空比和消光比的光暗脉冲归零码二进制信号。

实验中连续波激光器的工作频率是 193.1 THz,

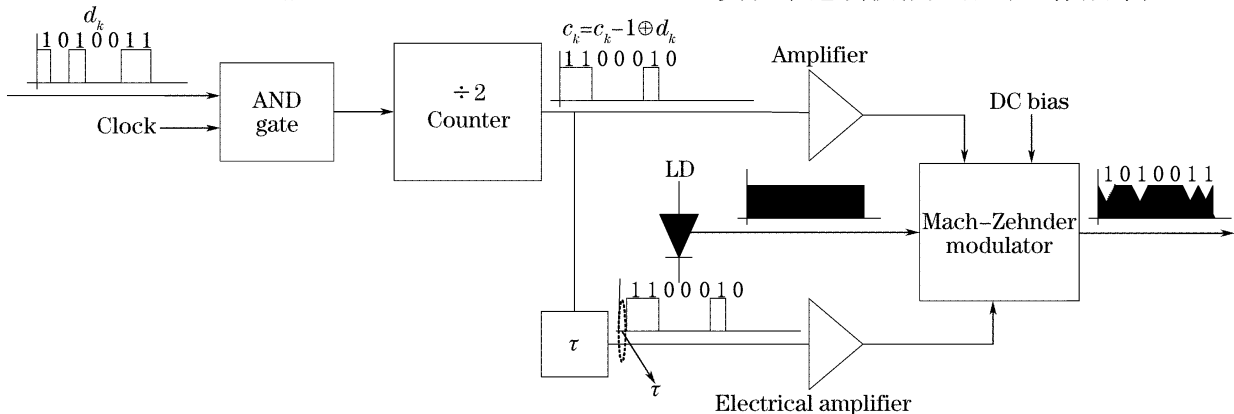


图 3 光暗脉冲归零码二进制信号的发送方案

Fig. 3 Experimental setup for optical dark return-to-zero signal transmission

输出功率为 10 dBm;先采用伪随机信号发生器产生长度为  $2^{31}-1$ , 比特率为 2.5 Gbit/s 伪随机二进制序列电信号;经过预编码后将该信号输入码型生成器中产生非归零(NRZ)二进制信号,该信号的数据比特从“0”码到“1”码和从“1”码到“0”码在电信号域的转换时间设为 15 ps;再将产生的非归零二进制信号分成两路经过电信号放大器产生驱动电信号,该电信号的峰峰值幅度电压为 7.2 V;最后,采用带宽

为 7 GHz 的雪崩光电二极管(APD)直接检测信号。

图 4 为  $\tau$  取不同值时光暗脉冲归零码二进制信号的频谱变化。当  $\tau$  的取值增大时,其频谱宽度变窄,其原因是时延值的变大(图 3 中  $\tau$  值变大)导致了双臂马赫-曾德尔 LiNbO<sub>3</sub> 调制器两臂的输入信号  $[v_1(t)$  和  $v_2(t)]$  在时间上不同步的程度更显著,产生了不同占空比的光暗脉冲归零码二进制信号,从而导致了输出信号频谱的变窄。

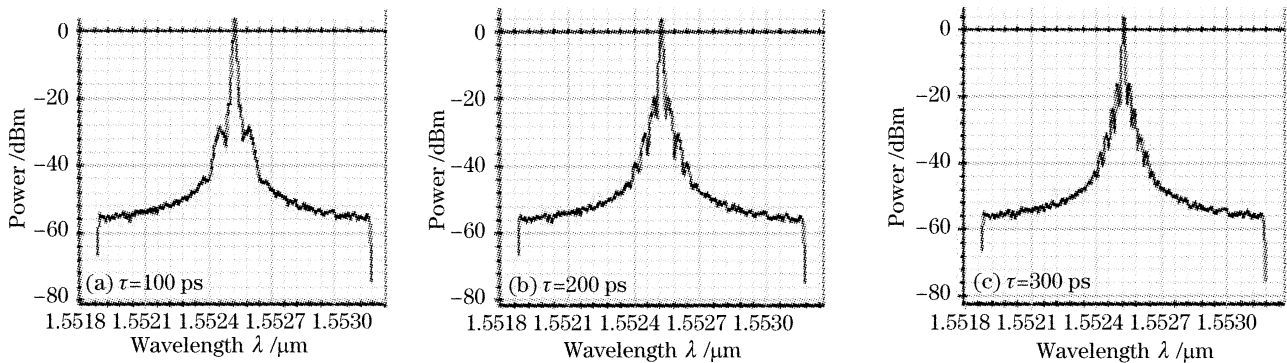


图 4 不同时延值时光暗脉冲归零码二进制信号的频谱变化

Fig. 4 Measured spectra of binary optical dark return-to-zero signal with different time delays between two-arm electrical signals

图 5 为在不同占空比取值下光暗脉冲归零码二进制信号的误码率和眼图。不难看出,接收功率一致时,占空比取值越大的光暗脉冲归零码二进制信号其眼图越宽,同时误码率越低。其原因是当发送的光暗脉冲归零码二进制信号占空比取值较小时,在输出的信号中,双臂马赫-曾德尔 LiNbO<sub>3</sub> 调制器直流偏置的输出功率值在总输出功率值中所占的比

例相对越大,因此接收灵敏度会随之下降。当占空比取到最小值 0.25 时,消光比的值缩减到大约 4 dB,此时接收机的灵敏度非常低,对于在接收检测信号时非常不利。所以在实际中必须通过调节电信号时延器,输出占空比和消光比相对较高的光暗脉冲归零码二进制信号,以利于接收机对输出对信号的检测。

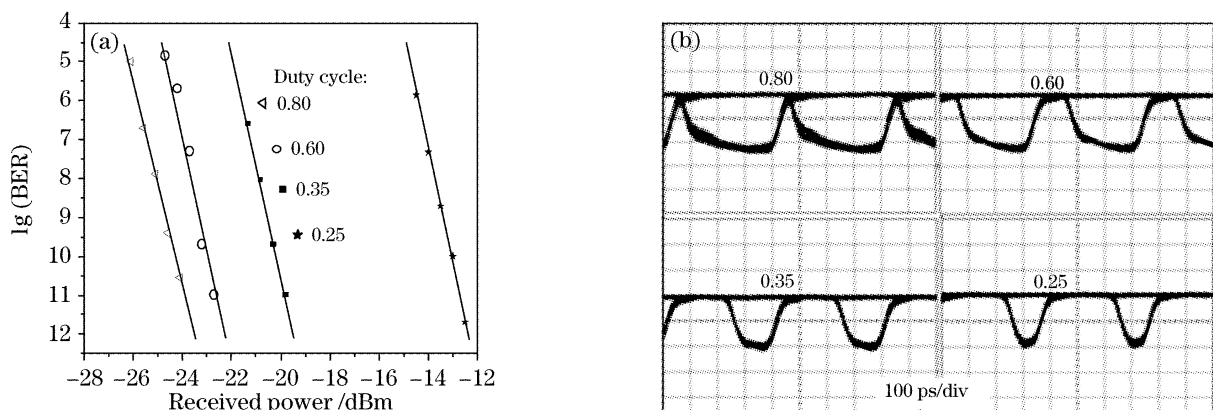


图 5 不同占空比取值下光暗脉冲归零码二进制信号的误码率(a)和眼图(b)

Fig. 5 Measured bit-error rate curves (a) and eye diagrams (b) of the optical dark return-to-zero signal with different duty cycles

## 4 结 论

提出了光暗脉冲归零码二进制信号在高速率数据信号传输前预编码的一种改进方案,并通过一个双臂马赫-曾德尔 LiNbO<sub>3</sub> 调制器和一个电信号时延器产生了一种新型光暗脉冲归零码二进制信号;

实验证明了这种光暗脉冲归零码二进制信号的占空比和消光比均可调,并且能用传统的二进制强度调制-直接检测(IM-DD)系统的接收机进行检测。实验结果表明了产生的 2.5 Gbit/s 光暗脉冲归零码二进制信号在不同占空比取值情形下频谱的变化规

律,以及误码率和眼图的特性。通过实验,证明了这种光暗脉冲归零码二进制信号能用传统的二进制强度调制-直接检测系统的接收机检测信号,从而可以在常规的光纤通信传输网络中得到应用。我们已经将本方案产生的 2.5 Gbit/s 光暗脉冲归零码二进制信号作为标记,并采用相位调制器产生的 10 Gbit/s 差分相移键控信号作为信息负荷,在光标记交换网络中进行信息传输和交换。

### 参 考 文 献

- 1 Yun Ling, Kun Qiu, Mian Zheng. Separation and insertion of optical bit-serial label in optical packet switching[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2006, **4**(3): 138~140
- 2 M. Ohm, J. Speidel. Quaternary optical ASK-DPSK and receivers with direct detection [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2003, **15**(1): 159~161
- 3 N. Chi, J. Zhang, P. V. Holm-Nielsen *et al.*. Transmission and transparent wavelength conversion of an optically labeled signal using ASK/DPSK orthogonal modulation [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2003, **15**(5): 760~762
- 4 M. Zitelli. Optical phase and intensity modulation using dark pulses[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2004, **16**(8): 1972~1974
- 5 S. Hayase, N. Kikuchi, K. Sekine *et al.*. Proposal of 8-state per symbol (binary ASK and QPSK) 30-Gbit/s optical modulation / demodulation scheme[C]. *ECOC*, 2003, Paper Th2. 6. 4: 204
- 6 X. Liu, X. Wei, Y.-H. Kao *et al.*. Quaternary differential-phase amplitude-shift-keying for DWDM transmission [C]. *ECOC*, 2003, Paper Th2. 6. 5: 1010~1011
- 7 C. W. Chow, H. K. Tsang. Optical label encoding and swapping using half-bit delayed dark RZ payload and DPSK label [J]. *Opt. Exp.*, 2005, **13**(14): 5325~5330
- 8 Jianjun Yu. Generation of modified duobinary RZ signals by using one single dual-arm LiNbO<sub>3</sub> modulator [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2003, **15**(10): 1455~1457
- 9 Zhang Huijian, Zuo Meng, Zhong Jinshun *et al.*. Study of two stage modulation formats in high-speed dense wavelength division multiplexing systems[J]. *Chin. J. Lasers*, 2005, **32**(6): 815~819 (in Chinese)  
张慧剑,左 萌,钟锦舜 等. 高速密集波分复用系统中的二级调制格式研究[J]. *中国激光*, 2005, **32**(6): 815~819
- 10 Chen Yong, Cao Jihong, Chen Ting *et al.*. Optimal modulation formats for 2560 km optical transmission with low-power penalty [J]. *Acta Optical Sinica*, 2006, **26**(3): 331~335 (in Chinese)  
陈 勇,曹继红,陈 婷 等. 优化调制格式实现 2560 km 低代价无误码传输[J]. *光学学报*, 2006, **26**(3): 331~335
- 11 R. Ramaswami, K. N. Sivarajan. *Optical Networks: a Practical Perspective* [M]. Le Zichun transl., Second edition, Beijing: China Machine Press, 2004. 167~168 (in Chinese)  
Rajiv Ramaswami, Kumar N. Sivarajan. *光网络: 上卷 光纤通信技术 与 系统*[M]. 第二版, 乐孜纯译, 北京: 机械工业出版社, 2004. 167~168
- 12 T. Franck, P. B. Hansen, T. N. Nielsen *et al.*. Duobinary transmitter with low intersymbol interference[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1998, **10**(4): 597~599