

文章编号:1001-5078(2012)04-0436-04

· 光纤及光通讯技术 ·

不同调制方式混传对光纤通信系统性能的影响

董毅, 赵宇波, 赵尚弘, 田晓飞, 盖美庆
(空军工程大学电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:为研究相位整形不归零(PSNRZ)调制和差分正交相移键控(DQPSK)调制在与二进制幅移键控(OOK)调制混合传输时系统性能的变化情况,在分析不同信道间交叉相位调制(XPM)影响因素的基础上,通过仿真对10 Gb/s OOK-RZ码分别与40 Gb/s PSNRZ码及DQPSK-RZ码混合传输时的系统性能进行了研究。结果表明,与两种码型单独传输相比,混合传输时的系统性能都明显恶化,而DQPSK系统性能恶化尤为严重,最大传输距离减小高达500 km。

关键词:相位整形不归零码;差分正交相移键控;混传;传输距离

中图分类号:TN929.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2012.04.018

Influence of mixed modulations on the performance of optical fiber communication system

DONG Yi, ZHAO Yu-bo, ZHAO Shang-hong, TIAN Xiao-fei, GAI Mei-qing

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: In order to study the change of system performance of PSNRZ and DQPSK modulations when transmitting together with OOK modulation, the performance of systems that mixing 10 Gb/s OOK-RZ code respectively with 40 Gb/s PSNRZ code and DQPSK-RZ code is simulated based on the analysis of influence factors of XPM among different channels. The result shows: compared with the case that the two codes transmit independently, the performance of the mixing system deteriorates obviously, especially the DQPSK system. In this case, the transmission distance decreases by more than 500 km.

Key words: PSNRZ code; DQPSK; mixed transmission; transmission distance

1 引言

PSNRZ调制和DQPSK调制由于能够较好地满足40 Gb/s高速光纤通信系统对色散及非线性效应的要求^[1-2],被普遍认为是下一代光纤通信系统最具应用潜力的两种调制技术。其中,PSNRZ调制是对NRZ码引入啁啾使脉冲在进入光纤的初始阶段有一个压缩的过程,从而缓解色散引起的脉冲展宽;DQPSK调制是采用四进制调制,实现在相同的信息速率条件下使码元速率减半来降低系统对链路性能的要求。

目前,针对PSNRZ调制和DQPSK调制实现方法^[3-5],色散及非线性容限^[6-8]的相关研究已经很

多,为其实际应用提供了大量的理论依据。然而,未来40 Gb/s高速光纤通信网中不可避免地会出现现有的10 Gb/s OOK调制与40 Gb/s PSNRZ调制或DQPSK调制混合传输的现象,那么由于PSNRZ调制和DQPSK调制本身的调制原理不同,以及不同速率及码型混合传输时非线性效应作用,其传输性能必然受到不同程度的影响。因此,有必要对这种混传情况下PSNRZ调制和DQPSK调制系统的性能进行研究,为光纤链路的设计提供一定的参考。

作者简介:董毅(1987-),男,硕士生,主要研究方向为高速光纤通信中的非线性效应。E-mail: dongyi_19870129@sina.com

收稿日期:2011-08-22; **修订日期:**2011-09-13

2 不同信道间的 XPM 效应

当两个以上的光波同时在光纤中传输时,克尔效应将导致其中任一光波信号的相位受到其他光波信号强度起伏的调制,这种相互作用的非线性相位调制现象称为 XPM 效应。XPM 效应的作用机理比较复杂,对于两个信道之间的 XPM 效应,一般可用下面形式的两个耦合非线性薛定谔方程^[9] 进行描述:

$$\frac{\partial A_1}{\partial z} + \frac{1}{V_{g1}} \frac{\partial A_1}{\partial t} + \frac{i}{2} \beta_{21} \frac{\partial^2 A_1}{\partial t^2} + \frac{\alpha_1}{2} A_1 = i\gamma_1 (|A_1|^2 + 2|A_2|^2) A_1 \quad (1)$$

$$\frac{\partial A_2}{\partial z} + \frac{1}{V_{g2}} \frac{\partial A_2}{\partial t} + \frac{i}{2} \beta_{22} \frac{\partial^2 A_2}{\partial t^2} + \frac{\alpha_2}{2} A_2 = i\gamma_2 (|A_2|^2 + 2|A_1|^2) A_2 \quad (2)$$

式中, A_j 为脉冲包络的慢变振幅; v_{gj} 是群速度; β_{2j} 是群速度色散系数; α_j 为光纤损耗系数。方程(1)、(2)分别表示慢变振幅为 A_2 的脉冲对 A_1 的作用和慢变振幅为 A_1 的脉冲对 A_2 的作用。其中,两个方程左边第二、三项表示脉冲在光纤中传输时的色散效应,第四项表示光纤损耗,右边两项分别表示自相位调制(SPM)效应和 XPM 效应。非线性薛定谔方程虽然能够清晰地表述光脉冲在光纤中传输时衰减、色散与非线性效应之间的关系,但却不能直观地反映 XPM 效应与调制信号之间的关系,在实际光纤通信系统中通常采用走离长度的概念来描述 XPM 效应的影响。

由于群速度色散失配,两个不同频率的光脉冲经过一定距离传输后,这两个光脉冲将完全分离而不再发生重叠,它们之间的 XPM 效应也就不存在了,这个距离就称为走离长度,用 L_w 表示,可写为:

$$L_w = \frac{T_0}{|\beta_{11} - \beta_{12}|} \approx \frac{T_0}{|\beta_2(w_1 - w_2)|} \quad (3)$$

式中, T_0 为脉冲宽度; $\frac{1}{\beta_{11}}, \frac{1}{\beta_{12}}$ 代表了两个光脉冲的传输群速度; β_2 表示群速度的色散。同时,色散参数 D 与 β_2 存在以下关系:

$$D = \frac{2\pi c}{\lambda^2} \beta_2 \quad (4)$$

将式(4)代入式(3)可得:

$$L_w = \frac{T_0}{D\Delta\lambda} \quad (5)$$

式中, $\Delta\lambda$ 表示两个相互作用的信道之间的波长间隔。

从以上分析可以看出,当 $\Delta\lambda$ 很小,走离长度 L_w 远大于光纤有效长度时,在光纤有效长度内不会发生光脉冲走离;当走离长度与光纤有效长度相当时, XPM 作用长度由走离长度和光纤损耗共同决定;当 $\Delta\lambda$ 足够大,走离长度 L_w 远小于光纤有效长度时, XPM 引起的干扰大小由走离长度决定,并且与 $\Delta\lambda$ 成反比。而走离长度由脉冲宽度、色散系数和信道间隔共同决定,对于标准单模光纤,色散参数 D 为常数,当信道间隔 $\Delta\lambda$ 一定时,走离长度将由脉冲宽度唯一决定,即脉冲宽度将对 XPM 效应产生重要影响。

利用走离长度的概念可以简单方便地描述信道间隔与 XPM 之间的关系,但这个方法是基于以下两个假设的:①信道间的波长间隔远远大于信道带宽;②在不考虑色散补偿的情况下,光纤长度远大于走离长度。大多数通信系统都能满足第一个假设。从非线性薛定谔方程可知,在常用的光纤中,一个走离长度内有色散引起的信号强度损失可以忽略,这就符合了第二个假设的要求。

3 PSNRZ 及 DQPSK 调制性能的仿真分析

3.1 仿真场景设置

为研究两种调制技术在波分复用系统中的传输性能,设置的仿真场景如图 1 所示。为分析简单且不失一般性,仿真以四信道系统为例进行分析。同时,为使 PSNRZ 及 DQPSK 信号充分置于 OOK 信号的包围之中,以充分观察 XPM 效应的影响,仿真中选择第三信道来传输 PSNRZ 或 DQPSK 信号,一、二、四信道用于传输 OOK 信号。

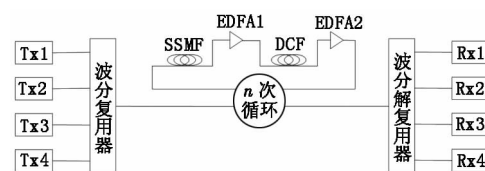


图1 仿真模型

光缆链路由长 80 km 的标准单模光纤(SSMF)、16 km 色散补偿光纤(DCF)及两个掺铒光纤放大器(EDFA)经 n 次循环组成。其中,SSMF 色散系数 $D = 17$ ps/nm · km,色散斜率 $S = 0.075$ ps/nm² · km,非线性折射率系数 $\gamma = 2.6 \times 10^{-20}$ m²/W,衰减系数 $\alpha = 0.2$ dB/km,EDFA1,EDFA2 恰好分别补偿由 SSMF 和 DCF 造成的链路衰减。设置 DCF 参数使每跨段链路存在一定的色散残余,则色散残余量随传输距离的增大而增大,但最大残余量不超过 40 ps/nm。

3.2 仿真结果分析

图 2 给出了 PSNRZ 码和 DQPSK - RZ 码分别与 OOK - RZ 码混合传输时的误码率曲线。由图可以看出,与单独传输时相比,在与 OOK - RZ 码混传时两种系统的误码率均有所升高,这主要是由于两种不同速率信道混传时的非线性效应影响加强了。而比较图 2(a)与图 2(b)可以发现,当误码率升高到 10^{-9} 时,PSNRZ 系统与 DQPSK 系统单独传输的最大距离相当,约为 1400 km,而混合传输时,PSNRZ 系统传输距离减小只有大约 100 km,DQPSK 系统传输距离减小高达 500 km,DQPSK 系统受混传影响明显强于 PSNRZ 系统。

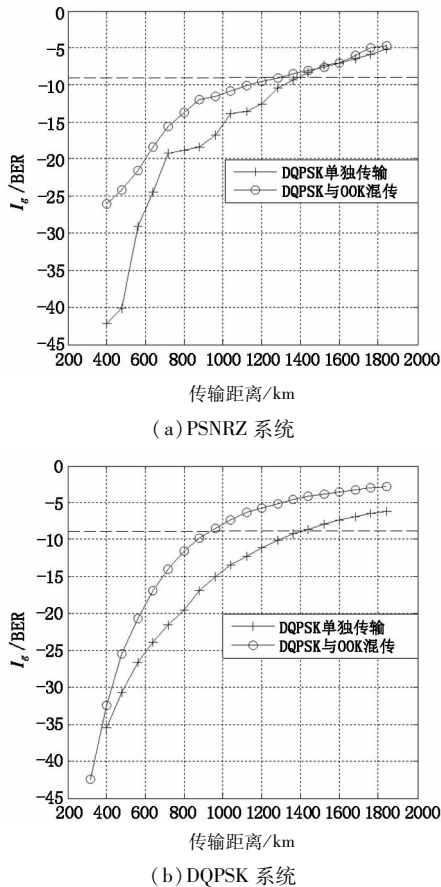


图 2 两种系统的误码率曲线

这种结果可以从式(5)中得到解释。从式(5)可知,两不同频率光脉冲之间的走离长度与脉冲的宽度成正比,相同条件下,脉冲宽度越宽,相互作用的时间越长,XPM 影响越严重。DQPSK 信号的实际码元速率只有 20 Gb/s,其脉冲宽度较 PSNRZ 信号宽,因此在混传系统中受影响较大。图 3 给出了 DQPSK - RZ 码和 PSNRZ 码的传输波形,其中,图 3(a)为 DQPSK - RZ 码的初始波形,图 3(b)、图 3(c)分别为 PSNRZ 码的初始波形及传输 1km 后的

波形。由图可以看出,两种码型的初始脉宽相当,但 PSNRZ 码由于预啁啾的作用,在进入光纤的初始阶段会有一段压缩的过程,经压缩后的脉宽将远远窄于 DQPSK - RZ 码。

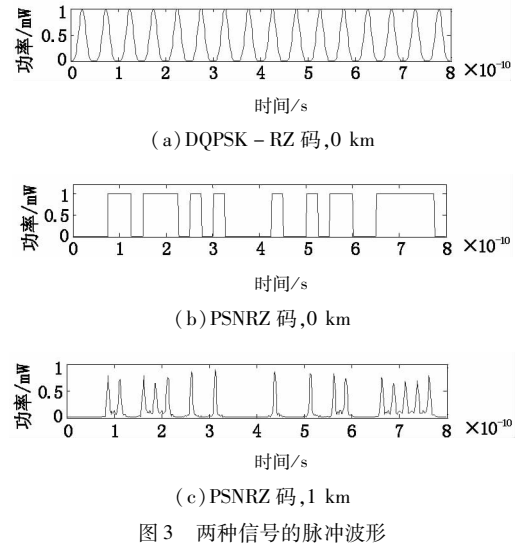


图 3 两种信号的脉冲波形

4 结束语

PSNRZ 调制和 DQPSK 调制由于能够同时提高系统的色散与非线性效应容限,且具有较好的可行性,是高速光纤通信研究中最受关注的两种技术。本文利用走离长度的概念对影响 XPM 效应的因素进行了分析,仿真研究了与 OOK - RZ 码混合传输时 DQPSK 系统和 PSNRZ 系统性能的变化情况,结果表明,与两种系统单独传输相比,混合传输的系统性能都明显恶化,而 DQPSK 系统性能恶化更加严重,最大传输距离减小高达 500 km。

参考文献:

- [1] Klaus M, Shaw J K. Influence of pulse shape and frequency chirp on stability of optical solitons[J]. Optics Communications, 2001, 197(4-6): 491-500.
- [2] R A Griffin, A C Carger. Optical differential quadrature phase-shift key (oDQPSK) for high capacity optical transmission[C]//2002 Optical Fiber Communication Conference, 2002, WX6: 367-368.
- [3] Chen Qiwei, Shao Zhonghao. Simulation of transmission performance of chirped RZ code in fiber[J]. Computer Simulation, 2009, 26(12): 111-114. (in Chinese)
陈琦玮, 邵钟浩. 啁啾归零码在光纤中传输性能的仿真研究[J]. 计算机仿真, 2009, 26(12): 111-114.
- [4] Li Junhong, Wang Zhongqin. Numerical research of initial chirp effect on solitons propagation properties[J]. Laser & Infrared, 2006, 36(3): 193-195. (in Chinese)

- 李俊红,汪仲清. 初始啁啾对孤子传输特性影响的数值研究[J]. 激光与红外,2006,36(3):193-195.
- [5] Llya Lyubomirsky, Chengchung Chien, Yihsiang Wang. Optical DQPSK receiver with enhanced dispersion tolerance [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2008, 20(7):511-513.
- [6] Xin Chen, Bingkun Zhou, Hanyi Zhang, et al. Improvement of dispersion tolerance using phase-modulated NRZ signals in 40 Gb/s transmission systems [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2006, 18(1):37-39.
- [7] Wang Runxuan. Numerical study of initial chirp compensating for fiber dispersion function [J]. Laser Technology, 2005, 29(1):109-112. (in Chinese)
- 王润轩. 初始啁啾补偿光纤色散效应的数值研究 [J]. 激光技术, 2005, 29(1):109-112.
- [8] Carsten Behrens, Robert I Killey, Seb J Savory, et al. Non-linear distortion in transmission of higher order modulation formats [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2010, 22(15):1111-1113.
- [9] G P Agrawa. Applications of nonlinear fiber optics [M]. Jia Dongfang, Translates. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2010. (in Chinese)
- G P Agrawal. 非线性光纤光学原理及应用 [M]. 贾东方, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2010.