

16×40 Gbit/s DWDM 系统色散补偿和调制方式研究

张鹏飞, 王华奎

(太原理工大学 信息工程学院, 山西 太原 030024)

摘要:对传输容量为 16×40 Gbit/s、传输距离为 500~2 000 km 的 DWDM(密集波分复用)系统进行了研究。分析了不同调制方式(CSRZ(载波抑制归零)码、DRZ(双二进制归零)码和 MDRZ(改进的双二进制归零)码)、不同色散补偿方案(前置、后置和中间色散补偿)对系统传输性能的影响。仿真结果表明,当传输距离超过 1 500 km 后,MDRZ 码能够很好地抑制 FWM(四波混频)效应,提高系统性能;中间色散补偿方案比前置色散补偿和后置色散补偿有更好的补偿效果。

关键词:密集波分复用;载波抑制归零;双二进制归零;改进的双二进制归零

中图分类号:TN 914 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-8788(2013)01-0001-04

Research on dispersion compensation and modulation mode for 16×40 Gbit/s DWDM systems

Zhang Pengfei, Wang Huakui

(College of Information Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: In this paper, a 16×40 Gbit/s DWDM systems with a long haul (500~2 000 km) is studied and the effects of different modulation modes (Carrier-Suppressed Return-to-Zero (CSRZ), Duobinary Return-to-Zero (DRZ) and Modified Duobinary Return-to-Zero (MDRZ)) and dispersion compensation (pre-, post- and intermediate) schemes on its transmission performances analyzed. Simulation results show that when the transmission distance is beyond 1 500 km, the Four-Wave Mixing (FWM) effects are well suppresses in the MDRZ mode so that its performances are improved, and better compensation results are achieved when the intermediate dispersion compensation scheme is adopted than the other two.

Key words: DWDM; CSRZ; DRZ; MDRZ

0 引言

影响光纤通信朝着高速率、大容量、长距离发展的主要因素是光纤的色散和非线性效应。而不同的信号调制方式会对系统的非线性效应产生很大的影响,所以,选择合适的调制方式和合理的色散补偿方案就成为了系统设计的关键。

1 调制方式

(1) CSRZ(载波抑制归零)码

CSRZ 码与传统的 RZ(归零)码相比,光谱效率更高,基座更窄,有较好的抗 SPM(自相位调制)和 GVD(群速度色散)的能力。图 1(a)所示为 40 Gbit/s CSRZ 码的产生框图。从图中可以看出,经过第 1 个 MZ(马赫-曾德)调制器的 RZ 光信号直接进入了由频率为传输速率的一半(20 Gbit/s)的正弦波发生器调制的第 2 个 MZ 调制器,经过两个 MZ 调制器后,CSRZ 信号便产生了。两个 MZ 调制器的使用,在两个相邻的比特之间引入了 π 的相位变化,这样载波的频谱就被抑制,抗 SPM 的能力得到加强。其频谱图如图 1(b)所示。

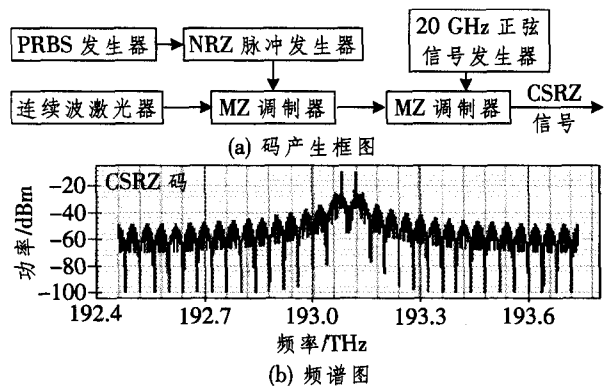


图 1 CSRZ 码产生框图及频谱图

(2) DRZ(双二进制归零)码

DRZ 码因为其光调制宽度可以压缩频谱而受到人们的关注。图 2 所示为 40 Gbit/s DRZ 码产生框图及频谱图。在图 2(a)中,先用双二进制预编码器、NRZ(非归零)码脉冲发生器和双二进制编码器产生一个 NRZ 的双二进制信号,经过第 1 个 MZ 调制器后,用一个频率为 40 Gbit/s、相位为 -90° 的正弦波发生器调制第 2 个 MZ 调制器,便得到了 DRZ 信号。预编码器用异或门实现。DRZ 码的特点是两个相邻的 1 之间间隔奇数个 0 时相位反转。

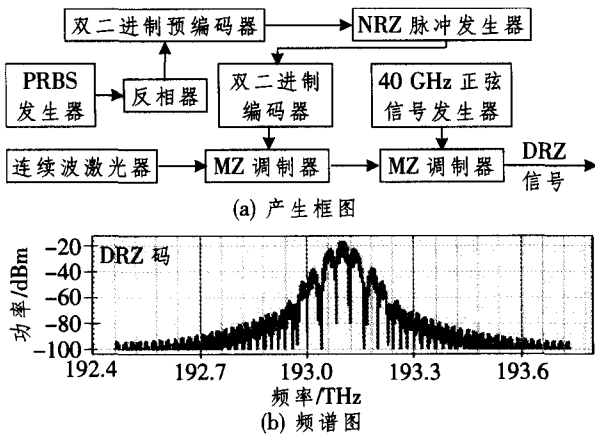


图2 DRZ码产生框图及频谱图

(3) MDRZ(改进的双二进制归零)码

MDRZ码也称为载波抑制MDRZ。图3(a)给出了40 Gbit/s MDRZ码的产生框图。如图所示,MDRZ码可以用两个MZ调制器来实现,延迟相减电路通过第1个MZ调制器产生非归零双二进制信号,然后用一个频率为40 Gbit/s、相位为-90°的正弦波发生器调制第2个MZ调制器,便得到了MDRZ信号。其频谱如图3(b)所示。MDRZ码的特点是0码的相位保持不变,1码之间相位反转。

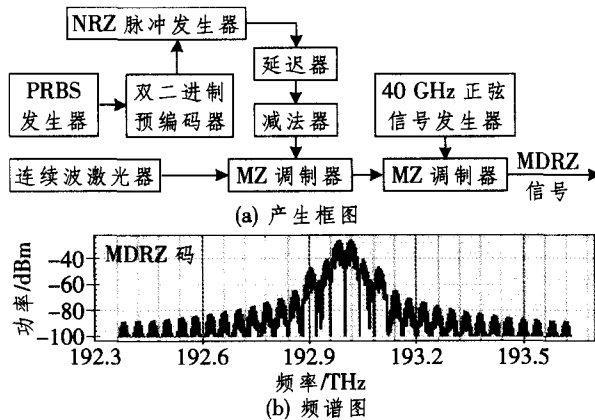


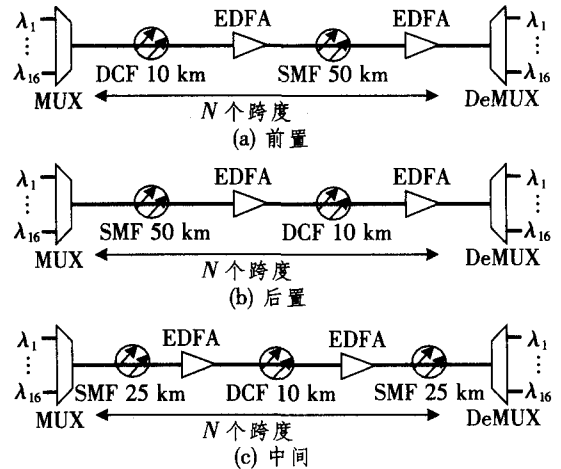
图3 MDRZ码产生框图及频谱图

这3种RZ码的时钟都易提取,且信号平均功率小,都适合于高速传输系统。从上述频谱图中可以看出,在40 Gbit/s传输系统中,CSRZ码的谱宽最宽,所以其色散容限也最小。MDRZ码集CSRZ码和DRZ码的优点于一身,是3种RZ码中带宽最窄的码型,在载波处也没有线型谱,色散和非线性容忍度最高,能够有效地克服单信道传输系统的SPM影响,利于避免DWDM传输系统的XPM(交叉相位调制)和FWM(四波混频)效应。

2 色散管理方案

近年来,针对长距离通信引入的色散,人们提出

了很多补偿方案,DCF(色散补偿光纤)以其补偿带宽大、技术相对成熟和简单、对传输格式和比特率透明、升级潜力大等优点而得到广泛应用。本文采用DCF对传输过程中的色散进行补偿,并具体提出3种色散补偿方案,即前置、后置和中间色散补偿方案。3种补偿方案具体表述如下:DCF放置在线路SMF(单模光纤)之前,称为前置补偿方案;放在线路SMF之后,称为后置补偿方案;放在两段线路SMF之间,称为中间补偿方案。如图4所示。



EDFA:掺铒光纤放大器;MUX:复用器;DeMUX:解复用器
图4 色散补偿方案框图

3 仿真

本文利用OptiSystem搭建了一个16信道且信道间隔均匀的DWDM(密集波分复用)光传输系统,具体参数见表1。此仿真系统由发送、传输和接收3部分组成。发送部分包括CW(连续波)激光阵列、调制器(上述3种)和光MUX。传输部分包括SMF、EDFA和DCF。接收部分包括光DeMUX、光电接收器、滤波器、3R再生器和比特误码率分析仪。

表1 仿真参数

参数	值
比特率/Gbit/s	40
序列长度	256
每比特样本数	32
信道间隔/GHz	25
第1信道中心频率/THz	192.9
信道容量/Gbit/s	16×40
传输距离/km	50×N N=10~35

在40 Gbit/s系统中,连接跨距的设计非常重要,跨距内SMF和DCF的长度(L_{SMF} 、 L_{DCF})和色散值(D_{SMF} 、 D_{DCF})必须满足 $D_{SMF}L_{SMF} = D_{DCF}L_{DCF}$,以使一阶色散得到完全补偿。本文中设跨距长度为

50 km,采用 CW 激光阵列,后接前文介绍过的调制器。仿真中采用的光纤的参数见表 2。每段光纤后都接有 EDFA 对光纤损耗进行补偿。放大器的噪声因数设置为常量 6 dB。本文只考虑光纤中传播的标量理论,即所有光波最初都是线偏振的,并在传输过程中保持其偏振状态不变,不考虑双折射现象和偏振模色散现象。

表 2 光纤参数

参数	值	
	SMF	DCF
衰减常量 α / dB/km	0.2	0.5
色散参量 D / ps/(nm·km)	17	-85
色散斜率 S / ps/(nm ² ·km)	0.075	-0.300
纤芯有效面积 A_{eff} / μm^2	70	22
非线性折射率系数 n_2 / m ² /W	2.6×10^{-20}	2.6×10^{-20}

4 结果与讨论

我们根据仿真后得到的 Q 值和眼图张开程度来判断 16×40 Gbit/s DWDM 传输系统在 3 种不同的调制方式和 3 种不同的色散补偿方案下的优劣。选取第 1 信道(最高频率)的输出结果作为研究对象,因为这个信道受色散和非线性影响最大,信号质量最容易变差。

图 5 所示为 3 种不同色散补偿方案下,传输距离为 700 km 时,不同调制方式随输入功率变化 Q 值的变化曲线。从图中可以看出,随着输入功率的增大,3 种码的 Q 值都在增大,当输入功率 > 1 dBm 后,3 种码的 Q 值开始下降。这说明,输入功率低时,传输系统的性能随着输入功率的增大在提高;输

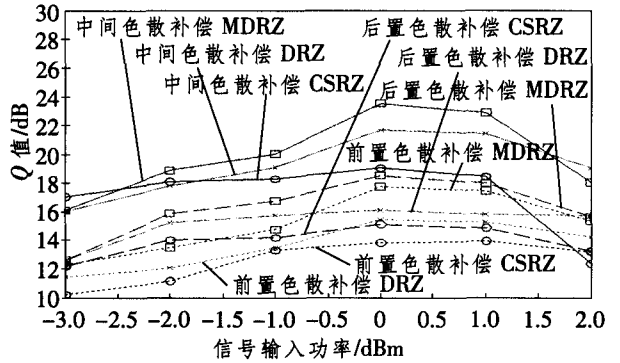


图 5 不同色散补偿方案下 3 种调制方式在不同输入功率下的 Q 值

入功率高时,由于非线性产生 XPM 和 FWM,使信道间出现串扰,进而影响了系统的性能。还可以看到,在前置和后置色散补偿下,所有码型的 Q 值都不高,而在中间色散补偿方案中,MDRZ 码的 Q 值曲线是最好的。使用 MDRZ 码,在中间色散补偿的条件下,输入功率为 0 dBm 时,得到的 Q 值最大。我们从图 6~图 8 所示的第 1 信道的眼图中也可以得到相同的结论。虽然,CSRZ 码能够很好地抑制由于频谱宽度的压缩引起的 GVD 和 SPM,但在大容量 DWDM 系统中,由相位变化引起频谱展宽进而导致的信道间的 XPM 和 FWM 却是导致系统性能下降的主要因素。而 DRZ 调制方式和 MDRZ 调制方式能够有效抑制由非线性串扰和信道间 FWM 引起的时域抖动,并且能够抑制传统归零信号谱中出现的离散频率成分。相对 CSRZ 码,DRZ 码和 MDRZ 码更有优势。所以最好的眼图是在使用 MDRZ 码和中间色散补偿方案时出现的,如图 8(c)所示。

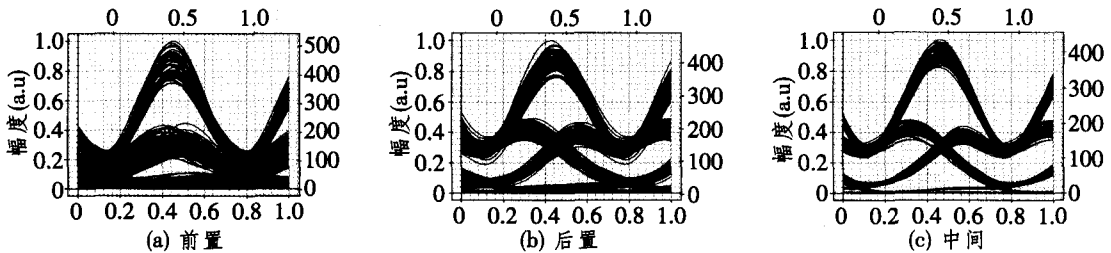


图 6 不同色散补偿方案时 CSRZ 码的输出眼图

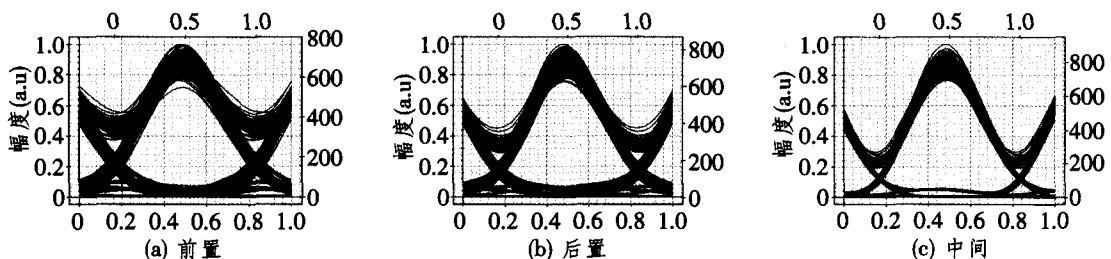


图 7 不同色散补偿方案时 DRZ 码的输出眼图

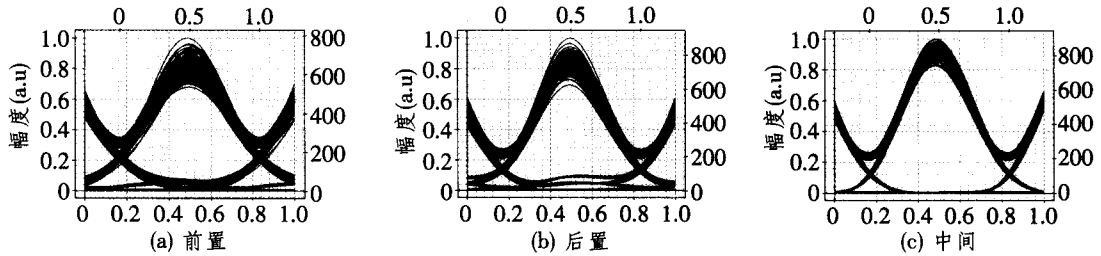


图8 不同色散补偿方案时MDRZ码的输出眼图

图9显示了使用中间色散补偿方案,输入功率为0 dBm时,不同调制方式下系统性能随传输距离的变化。从图中可以看出,当传输距离超过1 050 km时,由于信道间FWM现象和EDFA的放大自发辐射效应,CSRZ调制方式的Q值降低到10 dB以下,DRZ调制方式可以保持Q值在10 dB以上时传输1 500 km,而MDRZ调制则可传播1 700 km。

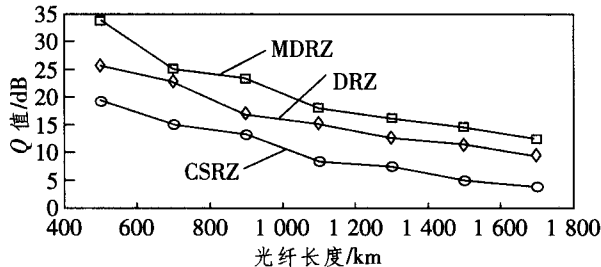


图9 中间色散补偿方案下,3种调制方式Q值随传输距离变化的曲线

5 结束语

本文分别在CSRZ、DRZ和MDRZ 3种调制方式下,对传输速率为40 Gbit/s、频率间隔为25 GHz的DWDM系统进行了仿真研究,并通过改变输入功率的大小,比较了前置、后置和中间色散补偿方案的优劣。仿真中我们观察到,MDRZ调制对使用传统RZ信号时所产生的杂散信号有很好的抑制作用,而使用CSRZ调制、DRZ调制,在传输距离超过1 500 km后,会引起频谱的展宽和Q值下降。当输入功率从-3 dBm增加到0 dBm时,Q值随之增大;输入功率超过1 dBm后,非线性效应开始显现,由于FWM及XPM的作用,Q值开始下降。当整个

系统使用MDRZ调制方式和中间色散补偿方案时,Q值达到最高,系统性能最好。

参考文献:

- [1] Kaler R S, Sharma A K, Kamal T S. Simulation results for DWDM systems with ultra-high capacity [J]. J Fiber Integrated Opt, 2002, 21 (5):243-262.
- [2] Winzer P J, Essiambre R J. Advanced optical modulation formats [J]. Proceedings of the IEEE, 2006, 94 (5): 952-985.
- [3] 姚迪,胡毅,高繁荣,等. 改进型光双二进制码的选择与实现 [J]. 光通信研究,2008,(4): 5-7.
- [4] Singh A, Sharma A K, Kamal T S, et al. Simulative investigations of power penalty for DWDM link in the presence of FWM [J]. Proceedings of the Optik-Int J Light Electron Opt, 2008, 2(5):136-147.
- [5] Singh S, Kaler R S. Simulation of DWDM signals using optimum span scheme with cascaded optimized semiconductor optical amplifiers [J]. Proceedings of the Optik-Int J Light Electron Opt,2007, 11(8): 74-82.
- [6] Bosco G, Carena A, Curri V, et al. On the use of NRZ, RZ, and CSRZ Modulation at 40 Gb/s with narrow DWDM channel spacing [J]. J Lightwave Technol, 2002, 20 (9): 1694-1702.
- [7] Dahan D, Eisenstein G. Numerical comparison between distributed and discrete amplification in a point-to-point 40-Gb/s 40-WDM-based transmission system with three different modulation formats [J]. J Lightwave Technol, 2002, 20 (6): 379-382.
- [8] 苏翼凯,冷鹿峰. 高速光纤传输系统 [M]. 上海:上海交通大学出版社,2009. 117-121.