

基于偏振度的偏振模色散补偿中检测信号对不同归零码型的响应研究*

段高燕^{1,2} 李喜红^{1,2} 王 刚^{1,2} 张建忠^{1,2} 张晓光^{1,2}
张 茹^{1,2} 于 丽^{1,2} 杨伯君^{1,2}

(1 北京邮电大学理学院 49 信箱,北京 100876)

(2 北京邮电大学光通信与光波技术教育部重点实验室,北京 100876)

摘 要 从理论上数值分析和比较了一阶和二阶偏振模色散对各种光调制码型(RZ、CSRZ、RZ-DPSK、CSRZ-DPSK)的偏振模色散的影响,结果表明:不同码型的偏振度大不相同,RZ 码受偏振度影响最大,CSRZ-DPSK 码受二阶偏振模色散的影响最小,在补偿系统中更适合缓解偏振模色散。

关键词 光纤通信;偏振模色散;偏振度;调制码型

中图分类号 TN929.11;O436.3 **文献标识码** A

0 引言

近年来,偏振模色散(PMD)的补偿技术^[1]成为研究热点.采用新的传输码型也是提高有效补偿的技术之一.目前考虑较多的传输码型是归零(RZ)码,因为其占空比和平均发射功率的减小而具有较好的光纤非线性容忍度.但由于 RZ 码的频带宽,其色散容忍度较差,为此提出了一些改进的新型调制码型(如载波抑制归零码(CSRZ)、基于差分相移键控的归零码(RZ-DPSK)、基于差分相移键控的载波抑制归零码(CSRZ-DPSK)).这些调制码型既能保持 RZ 码较好的传输性能,又具有更高的谱效率,有望提高系统的色散和 PMD 容忍度.本文基于 PMD 补偿系统,利用偏振度(DOP)作为反馈信号,数值分析了一阶和二阶 PMD 对 RZ、CSRZ、RZ-DPSK、CSRZ-DPSK 四种不同码型 DOP 的影响,证实了采用新型调制格式的码型能够明显地改善系统 PMD 的容忍度.

1 以 DOP 作反馈信号的补偿原理

在 PMD 补偿系统中一般地以偏振度作反馈信号来评价补偿 PMD 性能的优劣,判断 PMD 对系统的影响.对于一束单一频率的光,设在斯托克斯空间的三个分量为(s_1, s_2, s_3),则偏振度 D 的定义为^[2]

$$D = \frac{\sqrt{s_1^2 + s_2^2 + s_3^2}}{s_0} = \frac{s}{s_0} \quad (1)$$

s_0 为光强度,对于完全偏振光, D 为 1,对于部分偏

振光, $D < 1$.

设信号的频谱形状 $f(\omega)$,并满足归一化条件 $\int_{-\infty}^{+\infty} |f(\omega)|^2 \frac{d\omega}{2\pi} = 1$.入射光偏振态与频率无关,在两个偏振主态上的归一化投影分量为 $[a \ b]^T$,则经光纤传输后两偏振方向上的琼斯矢量可表示为 $[s_{ax} \ s_{ay}]^T = M(\omega)[a \ b]^T$, $M(\omega)$ 为光纤的琼斯矩阵^[3],将琼斯矢量转化为相应的 Stokes 参量 \hat{s} ^[4],得到光信号输出平均偏振态在整个信号频谱范围内平均

$$\mathbf{r} = \int \frac{d\omega}{2\pi} |f(\omega)|^2 \hat{s} \quad (2)$$

式中

$$\hat{s} = \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_{ax}s_{ax}^* - s_{ay}s_{ay}^* \\ s_{ax}s_{ay}^* + s_{ax}^*s_{ay} \\ i(s_{ax}s_{oy}^* - s_{ax}^*s_{oy}) \end{pmatrix}$$

则矢量 \mathbf{r} 的模就是信号的 DOP,可看出信号的 DOP 就是其频谱上各个频率分量的 DOP 对功率谱加权平均的结果.

2 数值结果及分析

采用琼斯矩阵方法,并利用式(2),模拟研究了一阶和二阶 PMD 对不同码型 DOP 的影响.

2.1 一阶偏振模色散对 DOP 的影响

四种码型的 DOP 随着差分群时延(DGD)的变化情况如图 1.码型的初始脉冲宽度均为 8 ps.几种码型的 DOP 初始下降的速度相差不多,但是 RZ 和 CSRZ 码下降后又开始上升,呈现来回波动状态,这就使得在补偿过程中容易陷入过多的局部极大值,给搜索算法增加了难度.而 RZ-DPSK 和 CSRZ-DPSK 码型的 DOP 整体呈单调下降趋势,没有波动状况,这对 PMD 补偿是非常有利的,也不会使得搜索算法陷入局部极值.

*国家自然科学基金(No. 60577046 和 60578043)资助和国家高技术发展计划“863”项目(No. 2001AA122041)
Tel:010-62281490 Email:miss_yaner@sohu.com
收稿日期:2004-10-20

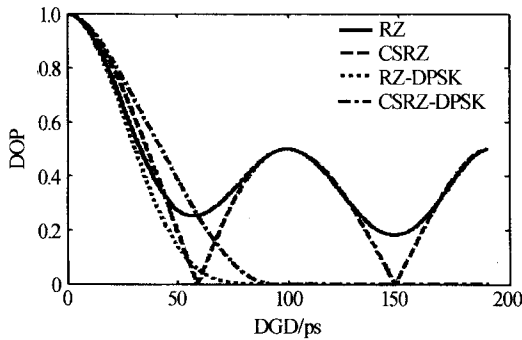


图 1 DGD 对不同码型 DOP 的影响
Fig. 1 The influences of DGD on DOP of different formats

2.2 二阶偏振模色散对 DOP 的影响

二阶 PMD 分为两项, 形式为

$$\tau_{\omega} = \Delta\tau_{\omega} \hat{q} + \Delta\tau \hat{q}_{\omega} \quad (3)$$

式中, $\Delta\tau_{\omega}$ 表示 DGD 相对于频率的变化率, 称为偏振相关色散 (PCD), \hat{q}_{ω} 表示主偏振态 (PSP) 方向相对于频率的变化率, 称为 PSP 旋转速率 (PSP rotation rate), 这一项的 $\Delta\tau \hat{q}_{\omega}$ 同时也称为去偏振项. 本文数值分析了 PCD 和 PSPrr 两项对不同信号 DOP 的影响.

分析 RZ 码 DOP 的结果如图 2, 可看出二阶 PMD 对 RZ 码的 DOP 影响很大. DOP 与 DGD 有一定的单调性, 但其单调性与 PCD 的大小又有关, DGD 较小时, PCD 增大, DOP 变小, 而 DGD 较大时 DOP 又随 PCD 变大, 随后就出现来回振荡情况, 如图 2 (a). 而 PSPrr 对 DOP 的影响就更大, 如图 2

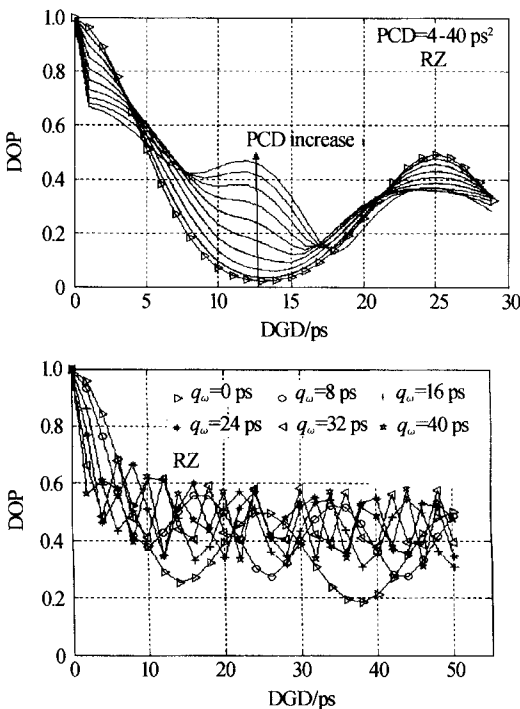


图 2 二阶 PMD 对 RZ 码 DOP 的影响
Fig. 2 The influence of the second-order PMD on DOP of RZ format

(b), 其波动性变化杂乱无章, 非常明显. 可见, 二阶偏振模色散对 RZ 码的 DOP 影响很大, 特别是在 DGD 较大时易出现较大的振荡现象, 这就使得在补偿大的 PMD 时出现多个极大值, 对开发补偿算法增加了难度, 若选择的算法不合适, 会因陷入局部极值而得不到补偿.

CSRZ 码是一种改进的新型 RZ 码调制格式. 它采用相邻脉冲反相位传输, 既保持 RZ 码较好的传输特性, 又具有更好的谱特性. 从图 3 (a) 可看出当 DGD 为某一固定值时随着 PCD 的增大, DOP 基本上是一致的, 并没有太大明显变化; 而且不管 PCD 为何值, 码型的 DOP 随着 DGD 的变化曲线始终是相同的. 这说明 PCD 对 CSRZ 码的 DOP 影响不明显. 这对于 PMD 补偿实验是非常有利的. 但主态旋转率就不同了. 在 DGD 较小时, 不管旋转率变化如何, DOP 整体呈单调下降趋势, 但在 DGD 增大时, 又出现了波动情况, 如图 3 (b). 当 DGD 为某一固定值时, 随着 PSPrr 的增大, DOP 值上下起伏, 也没有规律可言. 可见 PSPrr 对此种码型的 DOP 影响很大. 但与 RZ 码相比, CSRZ 码的 DOP 受到 PSPrr 的影响比较大, PCD 的影响不明显, 说明 CSRZ 码用于 PMD 补偿实验中其补偿性能要比用 RZ 码更好一些.

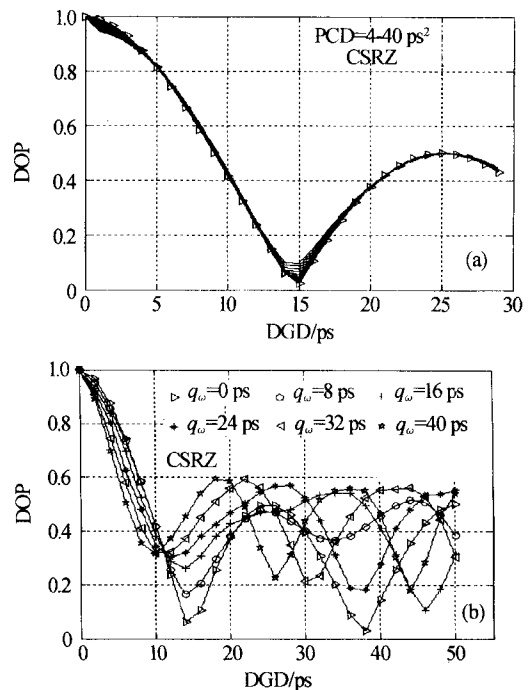


图 3 二阶 PMD 对 CSRZ 码 DOP 的影响
Fig. 3 The influence of the second-order PMD on DOP of CSRZ format

在基于 DPSK 的调制格式中, 目前使用最多的是 RZ-DPSK 和 CSRZ-DPSK 两种格式. 前种格式相邻“1”码和“0”码之间相位相差 π ; 而后种信号格式又进

一步将相邻脉冲间相位反相的特性叠加在原有信号上面,进一步使信号相位分布均匀. 将这两种码型用于 PMD 补偿系统中,数值结果如图 4、图 5. 对于 PCD 项,如图 4(a)和图 5(a). 当 $DGD < 10$ ps 时,两种码型的 DOP 值随 PCD 的增加略有下降;当 $DGD > 10$ ps 后,所得 DOP 值均随着 PCD 增大又有增加趋势. 但比较之下,CSRZ-DPSK 码的 DOP 受

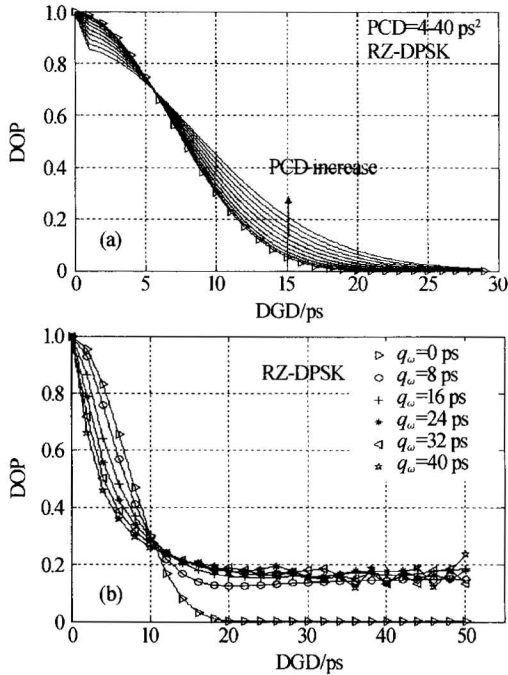


图 4 二阶 PMD 对 RZ-DPSK 码 DOP 的影响
Fig. 4 The influence of the second-order PMD on DOP of RZ-DPSK format

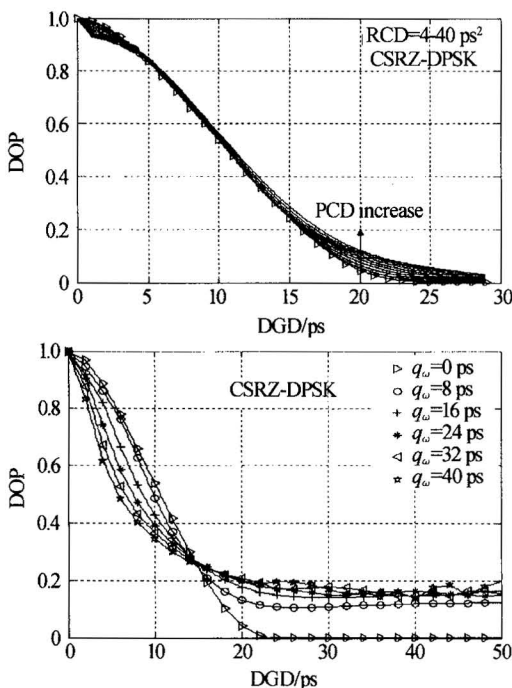


图 5 二阶 PMD 对 CSRZ-DPSK 码 DOP 的影响
Fig. 5 The influence of the second-order PMD on DOP of CSRZ-DPSK format

PCD 的影响更小,曲线更趋于同一条线,如图 5(a). 随着 PCD 从 4 到 40 ps² 的变化,两种码型的 DOP 都是随着 DGD 的增大而统一地单调下降. 对于 RZ-DPSK 码来讲,在 $DGD < 6$ ps 时,PCD 增大, DOP 变小; $DGD > 6$ ps 时 DOP 又随 PCD 增大而增大,如图 4(a). 而 CSRZ-DPSK 码与之不同,在 DGD 从 5-10 ps 一段, DOP 值不受 PCD 的影响,此范围之外才出现同 RZ-DPSK 码 DOP 相似的情况,如图 5(a). 这些说明随着 PCD 值的变化,两种码型的 DOP 变化都较小,同时,PCD 项对 CSRZ-DPSK 码 DOP 的影响要比对 RZ-DPSK 码 DOP 的影响要小更多.

从图 4(b)和图 5(b)来看, PSPrr 项对两种码型 DOP 的影响相差不多. 对某一固定 PSP 旋转率,两种码的 DOP 均随着 DGD 增加而单调减少. 而当 DGD 一定,如当 DGD 较小时,随着主态旋转率的增加, DOP 单调下降;而当 DGD 较大时, DOP 就随着主态旋转率的增大又单调上升了. 相比 RZ 码和 CSRZ 码,基于 DPSK 的这两种码型, PSPrr 项对 DOP 的影响出现了有规律的单调变化的情况,这说明主态旋转率对 RZ 码和 CSRZ 码的影响更大,从而给补偿过程带来了难度. RZ-DPSK 码和 CSRZ-DPSK 码本身可以说具有减轻 PMD 的性质,适用于更长距离传输系统.

在这四种码型中, RZ 码虽具有较好的光纤非线性容忍度,但因其频带较宽,受 PMD 的影响很大,即使做补偿,由于出现更多 DOP 次极值,在搜索过程中不但会延长补偿时间,更严重的可能会陷入局部极大值. 而 CSRZ 码虽然受到 PSPrr 的影响,但几乎不受 PCD 项的影响,有较好的色散和 PMD 容忍度. 而且它还具有 RZ 脉冲的形状,所以对自相位调制 (SPM)、交叉相位调制 (XPM) 等非线性效应也有较好的容忍度. 将 CSRZ 码用于补偿系统中,更能缓解 PMD 的影响,其补偿性能要比 RZ 码好的多.

而 RZ-DPSK 和 CSRZ-DPSK 两种码型由于受 PCD 的影响不明显,主偏振态旋转率对其的影响也有一定的规律性,若用于 PMD 补偿系统,就有可能能够更好地补偿高阶 PMD. 相比 RZ-DPSK 码, CSRZ-DPSK 码具有更好的谱效率,受 PSPrr 的影响更小一些,更有利于缓解 PMD 的影响.

3 结论

本文基于 PMD 补偿系统,讨论了一阶和二阶 PMD 对四种不同码型的 DOP 的影响,并相应做了数值分析. 比较结果表明, RZ 码受到 PMD 的影响

最大,在 PMD 补偿系统中容易陷入局部极值,补偿搜索时间也较长. CSRZ-DPSK 码受 PMD 的影响最小,具有更好的 PMD 容忍度,更有利于缓解补偿系统中高阶 PMD 的影响.

参考文献

- 1 张晓光,于丽,郑远,等. 光纤通信系统中偏振模色散自适应补偿实验研究. 光子学报,2003,32(12):1474~1478
Zhang X G, Yu L, Zheng Y, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2003, 32(12): 1474~1478
- 2 Kikuchi N. Analysis of signal degree of polarization degradation used as control signal for optical polarization mode dispersion compensation. *J of Lightwave Technol*, 2001,19(4): 480~486
- 3 Poole C D, Wagner R E. Phenomenological approach to polarization dispersion in long single-mode fibers. *Electron Lett*,1986,22(19): 1029~1030
- 4 Gordon J P, Kogelnik H. PMD fundamentals: Polarization mode dispersion in optical fibers. *Proc Nat Acad Sci*,2000,97(9): 4541~4550

The Research of Response of Checking Signals to Different Return-zero Formats in the PMD Compensation Systems Based on Degree of Polarization

Duan Gaoyan, Li Xihong, Wang Gang, Zhang Jianzhong, Zhang Xiaoguang, Zhang Ru, Yu Li, Yang Bojun
School of Science, Beijing University of Posts and Telecommunications, P. O. Box 49, Beijing 100876

Received date:2004-10-20

Abstract In the polarization mode dispersion (PMD) compensation experiment, the degree of polarization (DOP) is used as the most common feedback signal, which reflects PMD and its influence on the transmission system factually. The influences of first-order and second-order PMD on DOP of four optical modulation formats (RZ, CSRZ, RZ-DPSK and CSRZ-DPSK) are compared and mathematically analyzed. The result shows that different formats have different DOP and the second-order PMD has less influence on DOP of CSRZ-DPSK format, which is fitter for mitigating PMD than the other formats in self-adaptive PMD compensation system.

Keywords Optical fiber communication; Polarization mode dispersion; Degree of polarization; Modulation format



Duan Gaoyan was born on Aug. 27, 1976 in Shandong, China. Now she is pursuing her Ph. D. degree in the School of Science of Beijing University of Posts and Telecommunications. Her main research focuses on the study of polarization mode dispersion in high-speed optical fiber communications.