

文章编号:1001-5078(2007)01-0059-03

利用色散管理抑制中距光相位共轭系统的边带不稳定性

刘耀明¹, 李庆山²

(1. 桂林工学院电子与计算机系, 广西 桂林 541004; 2. 杭州电子科技大学通信工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:文章从理论上分析了光相位共轭系统中边带不稳定性产生的机理及其危害, 提出了利用色散管理来减小边带不稳定性影响的方法。数值模拟和分析结果表明: 色散管理能够有效地抑制边带不稳定性。

关键词:光通信; 边带不稳定性; 色散管理; 相位共轭

中图分类号: TN929.11 **文献标识码:** A

Suppression of Sideband Instability in Midway Optical Phase Conjugation by Using Dispersion Management

LIU Yao-ming¹, LI Qing-shan²

(1. Department of Electronics & Computer, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China;

2. College of Communication Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: The generating mechanism of sideband instability and the corresponding impairments are analyzed theoretically. A scheme for suppression of sideband instability using dispersion management is proposed. The numerical simulation and analyzed results demonstrate that the scheme can suppress the sideband instability effectively.

Key words: optical communication; sideband instability; dispersion management; phase conjugation

1 引言

在高速光纤通信系统中, 色散效应和非线性效应导致的脉冲展宽是限制系统传输距离与传输速度的关键因素。

光相位共轭(OPC)技术由于能够同时且有效地进行光纤色散补偿及非线性失真复原, 补偿效率高, 且该技术同信号比特率、调制方式无关, 因而得到了广泛的理论和实验研究^[1-5]。然而, 光相位共轭系统最终性能也受到三阶色散(TOD)和边带不稳定性(SI)效应的限制^[2]。2001年 K. Pasu 等^[6]通过数值模拟演示了在对光相位共轭系统三阶色散补偿的条件下, 成功获得了单信道 100Gb/s 光信号在 10000km 光纤上的传输。文献^[7]分析了高阶色散作用下, 超短高斯脉冲信号在中距相位共轭系统中的传输特性, 提出了利用高阶色散管理和相位共轭

技术来补偿三阶色散引入的信号失真以及畸变。但是在相关研究中, 很少考虑边带不稳定性对光相位共轭系统的影响。如果边带不稳定性发生在信号带宽内, 信号波形将会失真和畸变。这就必须考虑边带不稳定性对光相位共轭系统的影响。文献^[8]提出了利用强色散管理来抑制长距离波分复用(WDM)系统中边带不稳定的方法。因此, 希望利用该方法也能抑制光相位共轭系统中边带不稳定性效应。

本文给出了典型的相位共轭传输系统, 分析了相位共轭技术对二阶色散和非线性效应补偿的原理。讨论了光相位共轭系统中边带不稳定性产生的

作者简介: 刘耀明(1978 -), 男, 助教, 硕士, 主要从事光通信技术的研究。

收稿日期: 2006-05-24

机理及其危害,尝试利用色散管理对边带不稳定性进行抑制。数值模拟了色散管理和非色散管理光相位共轭系统一阶边带不稳定性,并对结果进行了分析。

2 光相位共轭原理

典型的相位共轭传输系统采用中距相位共轭方式^[9],如图1所示。入射端(Tx)初始输入信号经过前半段光纤系统(0~L)的传输,信号光发生了失真。该失真信号经过置于系统中点的相位共轭器,产生失真信号的复共轭。再经过后半段光纤系统(L~2L)的传输,在输出端(Rx)得到初始信号的复共轭。于是,系统在传输过程中,由于群速度色散和自相位调制效应所引起的信号波形失真和畸变得到准确补偿。

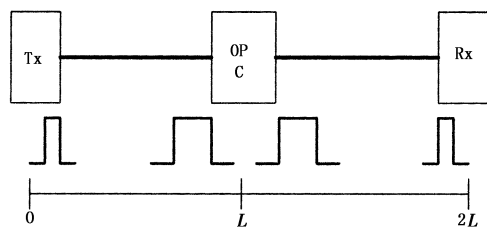


图1 中距光相位共轭系统结构图

光脉冲在光纤中的传输可用非线性薛定谔方程(NLSE)描述:

$$\frac{\partial A}{\partial z} = -\frac{\alpha}{2}A - \frac{i}{2}\beta_2 \frac{\partial^2 A}{\partial T^2} + i\gamma|A|^2A \quad (1)$$

其中, A, z, α, γ, T 分别表示信号的复振幅、传输距离、衰减系数、非线性系数和传输时间; β_2 表示信号的二阶色散系数。

令线性算符 D_T 为:

$$D_T = -\frac{\alpha}{2} - \frac{i}{2}\beta_2 \frac{\partial^2}{\partial T^2} \quad (2)$$

非线性算符 N_T 为:

$$N_T[A(z, T)] = i\gamma|A|^2A \quad (3)$$

经过传输距离 L ,式(1)的解可写为:^[9]

$$A(L, T) = \exp\left\{LD_T + \int_0^L N_T[A(z, T)]dz\right\}A(0, T) \quad (4)$$

在中点处对信号脉冲共轭,即对式(4)取相位共轭,可得:

$$A^*(L, T) = \exp\left\{LD_T^* + \int_0^L N_T^*[A(z, T)]dz\right\}A^*(0, T) \quad (5)$$

忽略衰减,算符为:

$$D_T^* = -D_T \quad (6)$$

$$N_T^*[A(z, T)] = -N_T[A(z, T)] \quad (7)$$

当信号 $A^*(L, T)$ 传输相同距离 L 时,假设光纤的传输特性相同,则有:

$$A(2L, T) = \exp\left\{LD_T + \int_0^L N_T[A(z, T)]dz\right\}A^*(L, T) \quad (8)$$

将式(5)~式(7)代入式(8),有:

$$A(2L, T) = A^*(0, T) \quad (9)$$

这表明:当入射信号经过长度为 $2L$ 的光相位共轭系统传输时,在输出端可以得到输入信号完整的复共轭。二阶色散和自相位调制导致的信号失真与畸变可以完全复原和补偿。

3 边带不稳定性抑制

在长距离的光传输系统中,为了维持接收端良好的信噪比(SNR),需要周期性地使用集总式放大器。这样,光纤损耗和周期性增益会形成信号功率在系统长度内周期性分布,并通过光纤非线性Kerr效应产生光纤折射率的周期性变化。这一过程在光纤内形成了虚光栅。当虚光栅的波矢量与信号边带分量的波矢量相匹配时,在信号边带分量处,虚光栅和信号之间会产生共振,导致这些分量沿传输线指数增长,这一现象称为边带不稳定性。如果边带不稳定性发生在信号带宽内,信号波形将会失真。由于在实际光相位共轭系统中,信号功率分布并不是相对中点对称的,那么边带不稳定性就不能补偿。

实际上,采用色散管理技术能够减小边带不稳定性的影响。因为局部光纤色散的增加使得边带不稳定性的阶数更高,导致很难满足相位匹配条件^[7-8]。基于色散管理的光相位共轭系统如图2所示,其中OPC、SMF、DCF、Tx、Rx分别为光学共轭器、单模光纤、色散补偿光纤、系统入射端和输出端。假定该系统中单模光纤和色散补偿光纤具有相同长度,它们之间由一放大器连接,光学共轭器之前和之后的色散图对称分布。

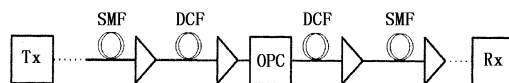


图2 基于色散管理的光相位共轭系统图

为了证明通过色散管理能够减小边带不稳定性增益,我们数值模拟了图2所示色散管理光相位共轭系统的一阶边带不稳定性增益。由于在长距离传输系统中,低阶边带不稳定性比高阶边带不稳定性更容易满足相位匹配条件,而且导致更严重的信号

失真和畸变。在图2所示色散管理光相位共轭系统中,相关参量取值如下:

组成该系统单模光纤的损耗系数 α_2 和非线性系数 γ_1 分别为 0.2dB 和 $1.6\text{ W}^{-1}\text{km}^{-1}$,色散补偿光纤的损耗系数 α_2 和非线性系数 γ_2 分别为 0.25dB 和 $4.8\text{ W}^{-1}\text{km}^{-1}$ 。色散管理周期为 80km ,光纤局部色散 $|D|$ 为 $17\text{ps}/(\text{km}\cdot\text{nm}^{-1})$ 。通过数值模拟可以得到基于色散管理的光相位共轭系统一阶边带不稳定性增益与输入信号功率和补偿间隔的关系图,如图3所示。

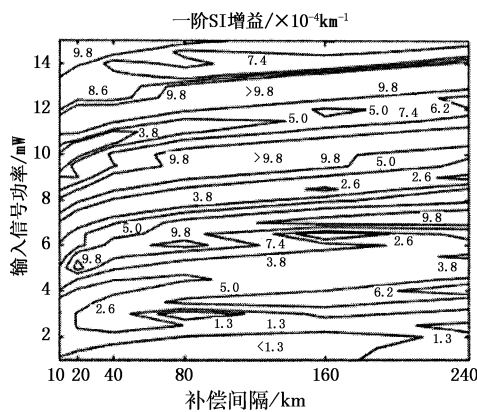


图3 色散管理条件下一阶SI增益与输入信号功率和补偿间隔关系图

图4所示为非色散管理条件下,光相位共轭系统一阶边带不稳定性增益与输入信号功率的关系图。在这种情况下,假定传输的光纤为色散位移光纤(DSF),其损耗系数 α 和非线性系数 γ 分别为 0.2dB 和 $2.6\text{ W}^{-1}\text{km}^{-1}$ 。

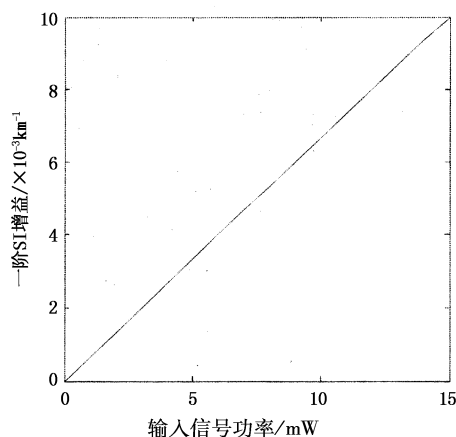


图4 非色散管理条件下一阶SI增益与输入信号功率关系图

从图3可以看出,对于较低的输入功率 P_0 ,边带不稳定性增益也是比较低的。这表明在相对短的传输距离内边带不稳定性不会影响信号的传输。与图4的情况相比,即使在较高的输入功率下,基于色散管理的光相位共轭系统产生的边带不稳定性增益

也相对较低。图4表明边带不稳定性增益几乎随输入功率线性增长。

4 结论

本文给出了光相位共轭技术同时补偿色散和非线性效应的原理,并从理论上分析了光相位共轭系统中边带不稳定性产生的机理,讨论了其对信号波形的危害,利用色散管理方法对边带不稳定性进行抑制。通过数值模拟得到了色散管理和非色散管理下光相位共轭系统一阶边带不稳定性增益与输入信号功率的关系图。从图中可以看出,采用对称的色散补偿方法能够有效地抑制光相位共轭系统中边带不稳定性。

参考文献:

- [1] Kikuchi K, Lorattanasane C. Compensation for pulse waveform distortion in ultra-long distance optical communication systems by using midway optical phase conjugator [J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 1994, 6(1): 104 - 105.
- [2] Lorattanasane C, Kikuchi K. Design theory of long distance optical transmission systems using midway optical phase conjugation [J]. J. Lightwave Technol., 1997, 15(6): 948 - 955.
- [3] Watanabe S, Shirasaki M. Exact compensation for both chromatic dispersion and Kerr effect in a transmission fiber using optical phase conjugation [J]. J. Lightwave Technol., 1996, 14(3): 243 - 248.
- [4] 钱锋, 王向朝, 王学锋, 等. 脉冲相位共轭光研究的进展 [J]. 光电子·激光, 2001, 12(5): 536 - 539.
- [5] 步扬, 张向阳, 王向朝. 脉冲啁啾对相位共轭通信系统性能的影响 [J]. 光电子·激光, 2004, 15(6): 683 - 687.
- [6] K Pasu, A Tuptim, K Kikuchi. Feasibility of 100 Gb/s 10 000 km single-channel optical transmission by midway optical phase conjugation in incorporated with third-order dispersion compensation [J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 2001, 13(4): 293 - 295.
- [7] 步扬, 王向朝. 基于高阶色散管理和相位共轭技术的色散补偿 [J]. 光学学报, 2004, 24(11): 1525 - 1529.
- [8] P Kaewplung, A Tuptim, K Kikuchi. Complete analysis of sideband instability in chain of periodic dispersion-managed fiber link and its effect on higher-order dispersion-managed long-haul wavelength division multiplexed systems [J]. J. Lightwave Technol., 2002, 20(11): 1895 - 1907.
- [9] 步扬, 王向朝. 自陡峭效应对相位共轭系统脉冲传输的影响 [J]. 中国激光, 2005, 32(4): 475 - 480.