

波分复用系统中交叉相位调制效应研究*

李中桂** 邱 昆 薛 飞 郑 勉

(电子科技大学通信与信息工程学院 成都 610054)

【摘要】通过数值仿真,研究了在不同色散管理方案下,比特率为40 Gb/s的波分复用系统中交叉相位调制对系统的影响。研究表明,其色散补偿方案采用分布式补偿最好,后置补偿采用略过补偿,而前置补偿通过略欠补偿则可以减小交叉相位调制对系统的影响。

关键词 交叉相位调制; 波分复用系统; 色散补偿; 非线性效应

中图分类号 TN913.24 文献标识码 A

Study on XPM Effects in High Speed WDM Systems

Li Zhonggui Qiu Kun Xue Fei Zheng Mian

(College of Communication and Information Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract Through numerical simulation the XPM effects in WDM systems with different dispersion management schemes are studied. The results indicate that, to suppress XPM effects, distributed dispersion compensation is superior to lumped dispersion compensation. When adopting distributed dispersion pre compensation, under-compensation is superior while over-compensation is better when adopting post compensation.

Key words cross-phase modulation; WDM systems; dispersion compensation; nonlinear effects

交叉相位调制(Cross Phase Modulation, XPM)在高速密集波分复用系统中有非常大的影响^[1],故引起了广泛的关注。由于光纤的非线性效应,光纤的折射率与光纤的瞬时光强有关,从而导致某一信道光的相位与其他在光纤中传输信道的总功率相关,即交叉相位调制。由于光纤的色散与交叉相位调制的相互作用,交叉相位调制引起的频率啁啾将转换为输出光信号的强度起伏和时间抖动^[2,3],从而恶化传输系统性能。同时由于交叉相位调制会引起光信号频谱展宽,在波分复用系统中会引起信道之间的串扰^[4],成为波分复用系统最小信道间隔的一个限制因素。在密集波分复用系统中交叉相位调制已成为一种重要的限制因素,因而深入研究交叉相位调制效应对建设高速的密集波分复用系统有重要意义。

由于交叉相位调制引起的相位调制(PM)通过色散转化为幅度的起伏(AM),所以在系统中通过色散管理可以减小交叉相位调制对系统的影响。色散管理是一种有效的抑制交叉相位调制效应影响的方案^[2],但文献中并没有给出在使用不同色散补偿方案时的优化色散管理方案。在非归零码波分复用通信系统中,对系统性能恶化影响最大的是由于输出光信号中“1”码的强度起伏^[5],本文研究了各种色散管理方案下交叉相位调制效应引起的输出光信号强度起伏的相对大小,从而得到色散管理方案对系统性能的影响,故对色散管理系统的设计有参考价值。

2002年6月26日收稿

* 教育部高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划基金资助项目

** 男 23岁 硕士生 主要从事波分复用系统中的非线性效应方面的研究

1 仿真系统

本文在仿真中采用四信道的波分复用系统, 每信道比特率为40 Gb/s, 信道间隔为100 GHz, 系统的中心频率为193.1 THz, 其仿真系统如图1所示。

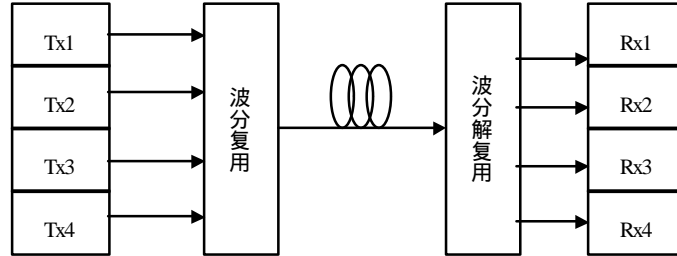


图1 仿真系统

系统中的放大器均为增益与波长无关的理想放大器, 在每一段中放大器完全补偿该段的损耗。为了研究系统中非线性效应的影响, 没有考虑放大器的自发辐射噪声(ASE)和偏振模色散的影响(假定每个信道的偏振方向都一致且在传输过程中保持不变)。本文选取信道2为目标信道, 通过对该信道信号来研究交叉相位调制的影响, 其频率为192.95 THz。在研究系统的非线性效应时对各种非线性效应的隔离是一个困难的问题, 故将信道3的信号取消以确保在信道2不存在由四波混频(Four Wave Mixing, FWM)产生的干扰信号。因自相位调制(Self Phase Modulation, SPM)较难隔离, 所以考虑了有、无交叉相位调制时信道2的情况, 比较多信道情况下自相位调制和交叉相位调制作用的相对强弱。由交叉相位调制的理论分析可以得到^[2], 在采用非归零码的系统中交叉相位调制对“1”码的影响远大于“0”码, 所以采用接收端接收到的“1”码的强度起伏 P_n (定义为“1”码强度的标准方差与“1”码平均强度之比, 并用0.001归一化)来衡量交叉相位调制的程度。本文在VPI公司的PTDS平台上进行仿真, 光脉冲在光纤中的传输方程用分布傅里叶方法求解, 表1给出了仿真系统中使用光纤的主要参数。

表1 仿真系统中光纤的主要参数

参数	损耗/dB · km ⁻¹	色散/ps · nm ⁻¹ · km ⁻¹	色散斜率/ps · km ⁻¹	非线性折射率/m ² · W ⁻¹	有效模场面积 /μm ²
SMF	0.2	18	0.09	2.6×10^{-20}	80
DSF	0.2	-2	-0.01	2.6×10^{-20}	50

2 仿真结果

图2是单信道时信道2“1”码的强度起伏随发射机平均功率的变化情况, 图3是多信道时信道2“1”码强度起伏随平均发射功率变化情况。

比较图2和图3可以看出, 在线性工作区(每信道平均发射功率从1~4 mW)非线性效应几乎不产生影响, 当发射功率增大时, 由于信道自身的自相位调制和其他信道的交叉相位调制效应, 使“1”码的强度起伏增大。从图中容易看出, 在多信道时交叉相位调制的影响比较明显。在以下仿真中, 通过“1”码的强度起伏来估计交叉相位调制对系统的影响。

本文的系统采用色散位移光纤(DSF)为传输光纤, 用普通单模光纤(SMF)对其进行色散补偿。考虑的色散补偿方案包括分布式色散管理和集中式色散补偿。分布式色散补偿是指在每一段链路上都进行色散补偿, 而集中式色散补偿是指将色散补偿模块集中放置于系统的前端或者末端。在每一种补偿方案中又有前置色散补偿和后置色散补偿, 通过数值仿真, 可得出一些对色散管理系统的设计有用的结论。

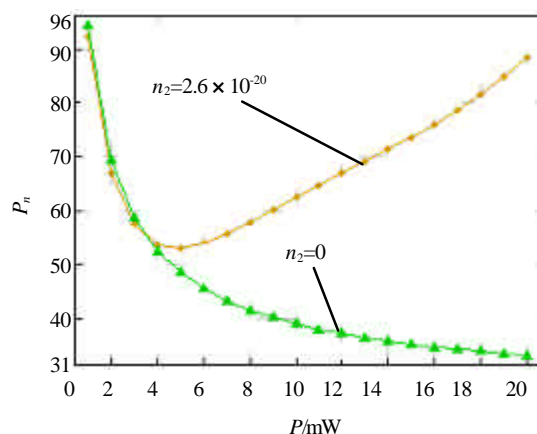


图2 单信道时信道2“1”码强度起伏
随平均发射功率变化曲线

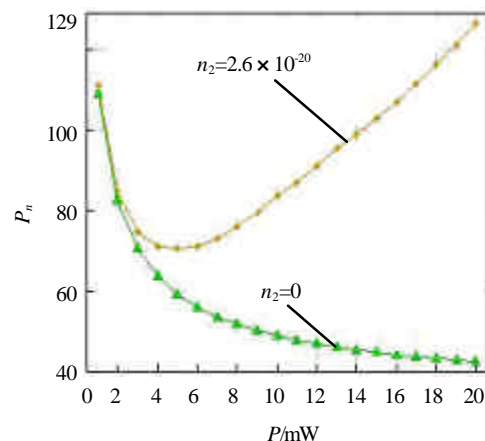


图3 多信道时信道2“1”码强度起伏
随平均发射功率变化曲线

当DSF长度为72 km时,采用后置色散补偿方案“1”码强度起伏随色散补偿程度的变化曲线如图4所示。当SMF长度为12 km时色散被完全补偿,由图4可见,对于后补偿系统需要采用过补偿方案可以最大程度减小交叉相位调制的影响^[6],且最佳补偿比例约为100.25%,对40 Gb/s系统在其色散容限之内。图5是DSF为72 km时,采用前置色散补偿“1”码强度起伏随SMF长度的变化曲线。完全补偿色散时SMF长度为12 km,由图可见当长度为11.9 km时交叉相位调制对系统的影响相对较小,此时对应的色散补偿系数为99.17%,可见在前置补偿系统中为了减小交叉相位调制对系统的影响,需要采用欠补偿的方案^[6]。比较图4、图5还可以看出,在前置色散补偿系统中交叉相位调制的影响要远远大于后置色散补偿系统,因为在这种系统中,有效非线性长度内平均色散较大,从而减小了通过色散补偿来抵消PM-AM转化的作用。

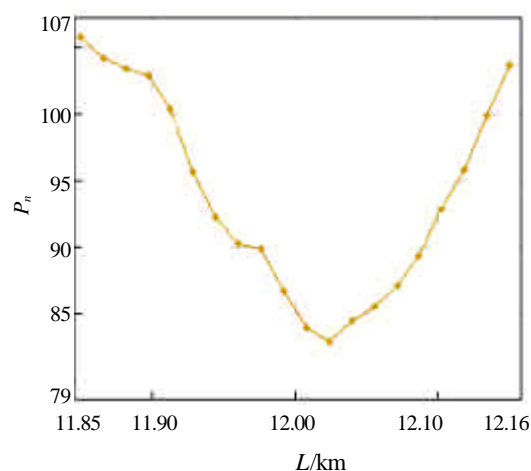


图4 分布式后置色散补偿时“1”码强度起伏与色散补偿光纤长度的变化曲线

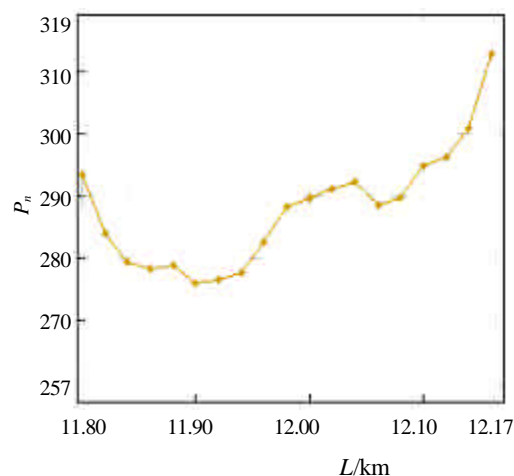


图5 分布式前置色散补偿时“1”码强度起伏与色散补偿光纤长度的变化曲线

图6、图7分别给出了色散集中后置和前置补偿情况下“1”码的强度起伏与每信道平均输入功率的关系,此时色散完全补偿。比较图6和图7发现,集中色散补偿如果采用前置补偿方式,由非线性效应带来的噪声远大于后置补偿方式,此时系统性能严重下降。从图4~7发现,集中色散补偿方式下由非线性效应带来的噪声远大于分布式色散补偿方式。

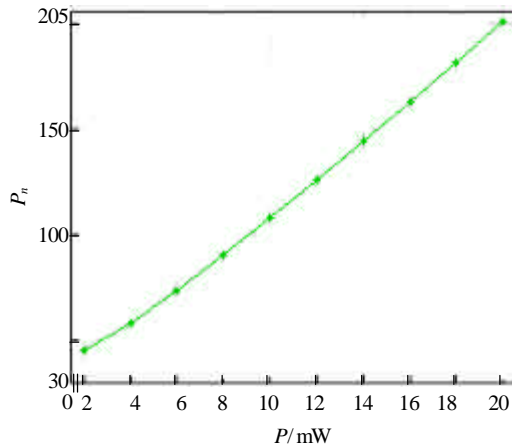


图6 集中式后置色散补偿时“1”码强度起伏与每信道平均输入功率的关系

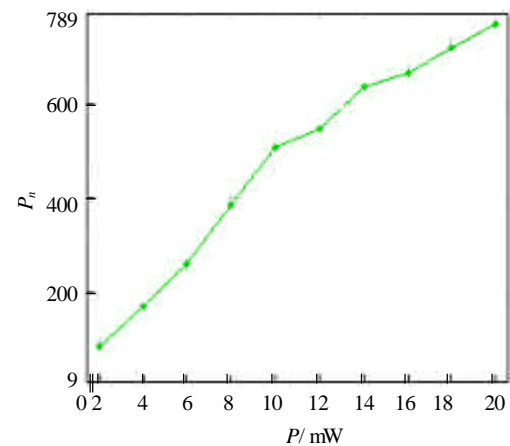


图7 集中式前置色散补偿时“1”码强度起伏与每信道平均输入功率的关系

3 结 论

交叉相位调制在高速波分复用中的影响非常严重,通过与色散的相互作用,会导致信号波形的畸变,同时引起定时抖动,对系统性能有较大的限制。本文通过数值仿真研究了波分复用系统中色散管理方案对交叉相位调制的影响。结果表明,在波分复用系统中采用合适的色散补偿方案可以减小交叉相位调制对系统的影响,而且最好采用分布式色散补偿方案。在分布式色散补偿方案下,采用前置补偿时需要进行欠补偿(即色散补偿比例小于1),采用后置色散补偿时需要进行过补偿(即色散补偿比例大于1),可以最大程度减小交叉相位调制的影响。

参 考 文 献

- 1 Marcuse D, Chraplyvy A R, Tkach R W. Dependence of cross-phase modulation on channel number in fiber WDM systems[J]. J. Lightwave Technol., 1994, 5(12): 885-890
- 2 Shtaif M. Analytical description of cross-phase modulation in dispersive optical fibers[J]. Opt.Lett. 1998, 8(23): 1 191-1 193
- 3 Grigoryan V S. Efficient approach for modeling collision-induced timing jitter in WDM Return-to-Zero dispersion-managed systems[J]. J. Lightwave Technol., 2000, 8(18): 1 148-1 154
- 4 Mikhailov V. Limitation to WDM transmission distance due to cross-phase modulation induced spectral broadening in dispersion compensated standard fiber systems[J]. IEEE Photonics Technology Letters. 1999, 8(11): 994-996
- 5 Eiselt M. Contribution of timing jitter and amplitude distortion to XPM system penalty in WDM systems[J]. IEEE Photon.Technol.Lett., 1999, (11): 748-750
- 6 Thiele H J, Killey R I, Bayvel P. Influence of fiber dispersion and bit rate on cross-phase modulation induced distortion in amplified fiber links[J]. Electronics Letters, 1998, 10(34): 2 050-2 051

编 辑 徐培红