

色散补偿光纤的分波长色散补偿

申 静,潘 建

(沈阳工业大学 信息科学与工程学院,沈阳 110870)

摘要:为了改善长距离、高速率波分复用(WDM)光纤传输系统中色散补偿光纤(DCF)的色散补偿效果,提出针对不同载波频率的分波长色散补偿方法。使用Optisystem软件,采用分波长色散补偿方法搭建WDM系统并和传统后置色散补偿方法进行比较。针对速率为80Gb/s的高斯脉冲幅度调制WDM光纤传输系统的传输性能要求,进行色散补偿光纤的分波长色散补偿方法和后置色散补偿方法的仿真实验。实验结果表明:分波长色散补偿方法能有效提高WDM系统的Q值。

关键词:波分复用;色散补偿光纤;Q参量

中图分类号:TN914 文献标识码:A 文章编号:1002-5561(2019)02-0027-03

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2019.02.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Wavelength division dispersion compensation based on dispersion compensation fiber

SHEN Jing, PAN Jian

(School of Information Science and Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China)

Abstract: In order to improve the dispersion compensation effect of dispersion compensation fiber (DCF) in long-distance and high-speed wavelength division multiplexing (WDM) optical fiber transmission system, a wavelength-division dispersion compensation method for different carrier frequencies is proposed. Using Optisystem software, the WDM system is constructed by wavelength-division dispersion compensation method and comparisons with traditional post-dispersion compensation methods. In view of the transmission performance requirement of Gauss pulse amplitude modulation WDM optical communication system with a rate of 80Gb/s, simulation of wavelength division dispersion compensation and post dispersion compensation is implemented. The results show that the proposed dispersion compensation scheme gets better system performance in Q-factor.

Key words: WDM; DCF; Q-factor

0 引言

衰减、色散和非线性效应一直是限制光纤传输系统实现长距离、高速率和大容量传输的主要因素。在光纤传输系统中,色散效应会随着传输距离而累积增大,通过光信号频谱展宽脉冲造成码间干扰,导致信号误码增加,进而限制波分复用(WDM)系统的传输距离和传输速率。因此,在构建80Gb/s及以上的高速率、

长距离WDM系统时,必须采用合理的色散补偿方法。

色散补偿光纤(DCF)补偿法^[1]具有补偿带宽大、性能稳定、透明补偿和升级潜力大等优点,已在实际的光纤通信工程中得到广泛应用。目前,WDM系统中常用的DCF色散补偿方法有3种:前补偿^[2]、后补偿^[3]和对称补偿^[4,5]。考虑到单模光纤(SMF)中色散参量会随载波频率变化而变化(即存在色散斜率),在WDM系统中各个载波长之间频率跨距大而导致各路载波对应的色散值出现较大差异。因此,本文提出一种应用于WDM系统的分波长色散补偿方法,对各路载波长进行精确色散补偿。

1 WDM系统的两种色散补偿方案

色散补偿是以光纤薛定谔传输方程中的线性关系为理论依据,使用DCF补偿方法并考虑传输方程中

收稿日期:2018-08-09。

基金项目:辽宁省教育厅一般项目(项目号:L2015390)资助。

作者简介:申静(1984-),男,博士,现任沈阳工业大学讲师。研究方向是光纤通信中的全光信号处理,在全光加法器方面有较多的研究心得体会。曾在SCI检索发表了基于PPLN波导的全光逻辑信号处理方面的论文,现主持辽宁省教育厅一般项目“基于PPLN波导的全光逻辑信号处理研究”。



申静,潘建:色散补偿光纤的分波长色散补偿

的三阶色散时,可以得到色散参量和传输距离满足如下关系:

$$D_{1\lambda_r}L_{n1}+D_{2\lambda_r}L_{n2}=0 \quad (1)$$

$$D_{1\lambda_n}L_{n1}+D_{2\lambda_n}L_{n2}=0 \quad (2)$$

$$D_{1\lambda_n}=D_{1\lambda_r}+S_1(\lambda_n-\lambda_r) \quad (3)$$

$$D_{2\lambda_n}=D_{2\lambda_r}+S_2(\lambda_n-\lambda_r) \quad (4)$$

其中, λ_r 为 SMF 的参考波长, λ_n 为 WDM 系统中的载波波长。 $D_{1\lambda_n}$ 和 $D_{1\lambda_r}$ 分别为 SMF 在 λ_n 和 λ_r 波长处的色散参量值, $D_{2\lambda_n}$ 和 $D_{2\lambda_r}$ 分别为 DCF 在 λ_n 和 λ_r 波长处的色散参量值。 L_{n1} 和 L_{n2} 分别为参考频率通道中 SMF 和 DCF 的长度, L_{n1} 和 L_{n2} 分别为其它载波通道中 SMF 和 DCF 的长度, S_1 和 S_2 分别为 SMF 和色散补偿光纤在参考频率处的色散斜率。

1.1 后色散补偿

DCF 的后色散补偿方法是在每一段传输距离中将 DCF 放在传输 SMF 后以实现传输光纤补偿色散。在 WDM 系统中,利用 DCF 进行后色散补偿时情况满足 $S_2=0$, $D_{2\lambda_n}=D_{2\lambda_r}$,则 $L_{n1}=L_{n2}$,即默认各通道色散参量相同。后色散补偿方案的缺点是没有考虑传输的 SMF 存在色散斜率 S_1 。4 波长 WDM 系统采用后色散补偿方法的补偿原理框图如图 1 所示。

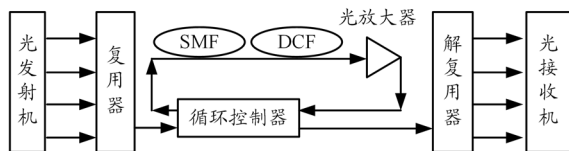


图 1 采用 DCF 的后色散补偿方法的补偿原理框图

1.2 分波长色散补偿

分波长色散补偿是先根据不同波长的不同色散系数,使用 DCF 在复用器前对每一个载波波长进行一定的色散补偿,再对复用的多个波长进行多路统一色散补偿。

在 WDM 系统中使用无色散斜率的 DCF 进行色散补偿时,令 $L_{n1}=L_{n2}$,即各波长通道在复用器后的传输光纤长度相同,可以得到复用器前各光纤通路 DCF 的长度为:

$$\Delta L_{n2}=L_{n2}-L_{n1}=\frac{L_1 \cdot S_1(\lambda_r-\lambda_n)}{D_{2\lambda_r}}=\frac{L_1 \cdot S_1(\lambda_n-\lambda_r)}{|D_{2\lambda_r}|} \quad (5)$$

由于传输 SMF 存在色散斜率,而 WDM 通信系统中,各个波长频率跨距较大,导致每个波长对应的色

散参量 D 各不相同。当不使用具有负色散的 DCF 时,无法完全精确补偿各路载波色散。分波长色散补偿方案正是不使用负色散斜率 DCF 的情况下,实现对 WDM 系统中的每个波长进行精确色散补偿。该方法使用无色散斜率的 DCF,先根据传输光纤的参考频率、色散参数、色散斜率、各个波长的频率间隔和传输距离计算出参考频率载波(波长)以外的各个载波因色散斜率引起的多余色散量,然后结合 DCF 的色散参数在复用器之前分波长地对这些多余色散量进行精确补偿。4 波长 WDM 系统采用分波长色散补偿方法的补偿原理框图如图 2 所示。

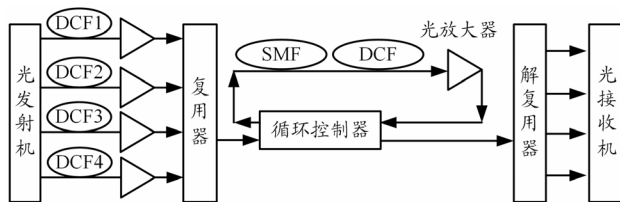


图 2 采用 DCF 的分波长补偿方法的补偿原理框图

2 系统仿真与仿真参数

本文使用 Optisystem 软件,搭建 8 个载波频率分别为 190.6THz、191.0THz、191.4THz、191.8THz、192.2THz、192.6THz、193.0THz 和 193.4THz 的后色散补偿和分波长补偿 2 套波分复用系统(即每套系统有 8 个载波通道)。系统都采用高斯脉冲幅值键控调制方式,占空比为 0.5,速率为 80Gb/s,传输距离为 300km。分波长色散补偿是在传统后色散补偿方式中,在 WDM 之前添加 DCF 来精确补偿各载波色散;在复用干路上进行后色散补偿时,DCF 的长度以传输光纤在参考频率 193.4THz 处的色散参量为标准进行计算,SMF 长 250km,DCF 长 50km;在复用器前使用 DCF 分别对每个载波进行色散补偿,根据色散斜率与传输距离算出分波长补偿中 8 路载波需要的前置 DCF 长度 ΔL_{n2} 依次为 5.0323km、4.2966km、3.5731km、2.8524km、2.1349km、1.4204km、0.7088km 和 0km。在后色散补偿系统中,光放大器用来补偿 300km 光纤的传输损耗。

仿真系统中,输入功率从 1dBm 递增到 20dBm,接收端使用光接收机接收各通道的光信号,然后使用眼图分析器得到各通道的系统 Q 值和信噪比。仿真中使用的 SMF 和 DCF 的参数如表 1 所示。

3 仿真结果分析

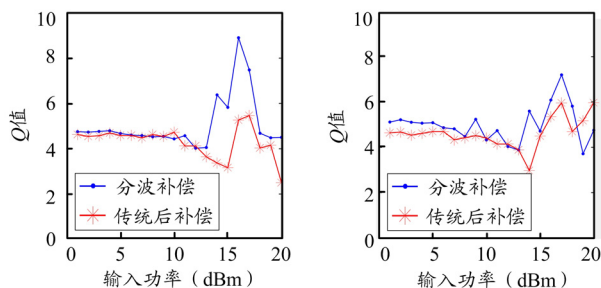
仿真得到通道 2 和通道 4 的系统 Q 值随输入功

表 1 仿真中使用的 SMF 和 DCF 的参数

参数	单位	G.652 光纤	DCF
长度	km	250	50
衰减系数	dB/km	0.2	0.5
色散参数	$\text{ps} \cdot (\text{nm} \cdot \text{km})^{-1}$	17	-85
色散斜率	$\text{ps} \cdot (\text{nm}^2 \cdot \text{km})^{-1}$	0.075	0
有效面积	μm^2	80	26
参考频率	THz	193.4	193.4
差分群时延	$\text{ps} \cdot \text{km}^{-1}$	0.2	0.2

率变化的变化情况如图 3 所示,通道 6 和通道 8 的系统 Q 值随输入功率变化的变化情况如图 4 所示。

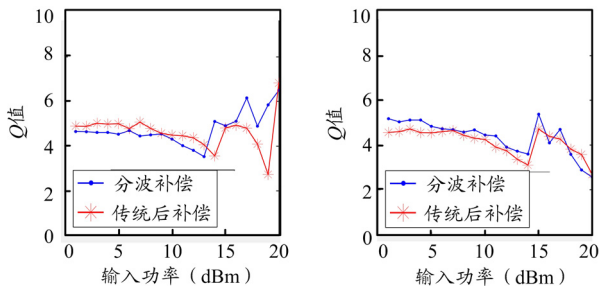
从图 3 和图 4 可以得到 2 个系统的最佳输入功率都在 17dBm 附近。当输入功率比较低时,2 个系统的各通道 Q 值都比较低,这是由于输入功率较小,系统信噪比较大造成的。当各路输入功率超过 18dBm 时各路 Q 值都呈现下降趋势,这是由于功率过大造成光纤非线性效应增强,使得光信噪比降低造成的。



(a) 通道 2 对比图

(b) 通道 4 对比图

图 3 通道 2 和通道 4 对比图

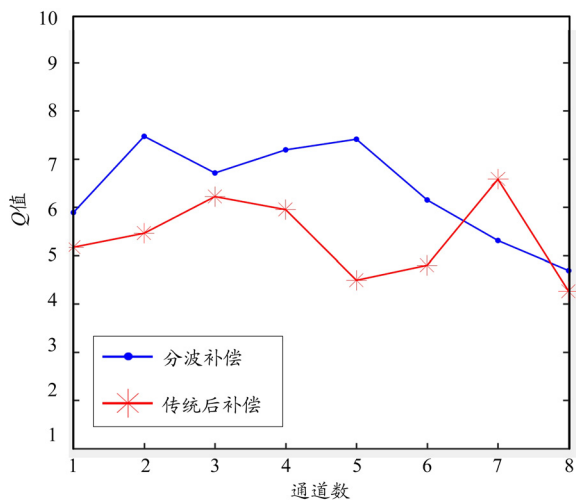


(a) 通道 6 对比图

(b) 通道 8 对比图

图 4 通道 6 和通道 8 对比图

接近最佳输入功率时 2 个系统的 Q 值对比如图 5 所示。从各载波通道对比来看,分波长补偿方法的系统 Q 值明显高于后色散补偿方法。以上仿真结果表明:分波长色散补偿方法能更精确地补偿系统色散,从而进一步提高 WDM 系统的传输性能。

图 5 输入功率为 17dBm 时 2 系统 8 个通道的 Q 值对比

4 结束语

本文介绍了 WDM 光纤通信系统中传统后色散补偿和分波长色散补偿 2 种色散补偿方法,后者通过色散斜率计算出 WDM 系统中每一个载波通道的具体色散参量,从而在 WDM 前对各路载波进行精确预补偿,再结合复用器与解复用器之间光纤传输线路上的色散补偿来完成总的色散补偿。采用 Optisystem 软件进行方案验证,仿真实验结果表明:分波长色散补偿方法效果优于传统后色散补偿方法,但 2 次色散补偿必然增加了 WDM 系统的成本,因此分波长色散补偿方法更适合用于补偿长距离高速率 WDM 系统中的色散。

参考文献:

- [1] MANPREET Kaur, HIMALI Sarangal. Performance Comparison of Pre, Post and Symmetrical-Dispersion Compensation Techniques using DCF on 40Gbps WDM System [J]. International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering, 2015, 4(3): 494-496.
- [2] BINDIYA Jain, MANOJ Kumar. Simulative analysis of pre-and post compensation using CRZ format in WDM optical transmission link[J]. Optik, 2010, 121(21): 1948-1954.
- [3] MANPREET Kaur, ATUL Mahajan. Simulation Analysis of 32 Channel WDM System using SMF 28 Optical Fiber at Various Power Levels [J]. International Journal of Computer Applications, 2016, 152(3): 17-20.
- [4] SAYEEDA Khatoon, JAISWAL A K, ADITI Agrawal. Performance Evaluation of Post and Symmetrical DCF Technique with EDFA in 32x10, 32x20 and 32x40Gbps WDM Systems [J]. International Journal of Current Engineering and Technology, 2017, 7(4): 1416-1421.
- [5] KAUR Rupinderjit. Performance Analysis of WDM Link Using Different DCF Techniques at 20Gb/s[J]. International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering, 2015, 4(4): 867-872.