

基于FRA的WDM系统中的色散补偿研究

王艳芬, 邱 昆

(电子科技大学 宽带光纤传输与通信网技术教育部重点实验室 成都 610054)

【摘要】对基于光纤喇曼放大器的宽带波分复用光纤传输系统,在PTDS仿真平台上通过数值仿真,研究了不同的色散补偿光纤的色散补偿方案对系统性能的影响。研究表明,采用色散补偿光纤集总、后置、略欠补偿方案是最佳的色散补偿方案。

关键词 光纤喇曼放大器; 波分复用; 色散补偿; 色散补偿光纤

中图分类号 TN913.24 文献标识码 A

Study on the Dispersion Compensation in WDM Systems Based on Fiber Raman Amplifier

Wang Yanfen, QiuKun

(Key Laboratory of Broadband Optical Fiber Transmission and Communication Networks UEST of China, Ministry of Education Chengdu 610054)

Abstract Through numerical simulation the effect of the different dispersion compensation schemes in WDM systems based on FRA are studied depending on the PTDS software. The results indicate that, employing a lumped, under-compensation and post-position compensation scheme is the most optimal.

Key words fiber Raman amplifier; wavelength division multiplex; dispersion compensation; dispersion compensation fiber

光纤中光信号的传输受损耗和色散两个因素的影响。损耗使光信号在传输的过程中逐渐衰减变弱;而色散使光信号脉冲展宽、强度下降。两者都导致光纤传输系统误码率增加,限制光传输的无电中继距离。掺铒光纤放大器(Erbium Doped Fiber Amplifier, EDFA)和光纤拉曼放大器(Fiber Raman Amplifier, FRA)的出现和应用使损耗对光信号传输的影响变得次要,色散便成为限制光信号传输的主要因素。光纤传输系统的色散容限与系统的速率成反比,因此色散补偿研究已成为光纤通信实现超大容量、超长距离、超高速传输的关键问题之一。一般商用光纤传输系统中敷设的是G652光纤,其零色散波长在1 310 nm处,而在1 550 nm波长处的色散值高达 $16 \sim 20 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}^{[1]}$,因而对于工作在1 550 nm窗口的波分复用(Wavelength Division Multiplex, WDM)光纤传输系统而言,必须对其进行色散补偿。已经提出的色散补偿技术有色散补偿光纤(Dispersion Compensation Fiber, DCF)、啁啾光纤光栅(Chirped Fiber Grating, CFG)、色散支持传输(Dispersion Supported Transmission, DST)、频谱反转(spectral inversion)、预啁啾(per-chirping)和光纤孤子传输(fiber soliton transmission)等技术^[2]。本文采用的是DCF色散补偿技术,因为DCF是一种无源器件,可放置在光纤中的任何位置,且具有可控色散补偿量和足够大的带宽,适合长距离补偿,更易于光纤传输网的升级和扩容。本

收稿日期: 2004-07-12

基金项目: 教育部优秀青年教师教学科研奖励计划项目资助

作者简介: 王艳芬(1980-),女,硕士生,主要从事光纤喇曼放大器及其在WDM通信系统中的应用方面的研究。

文对基于光纤喇曼放大器(Fiber Raman Amplifier, FRA)的WDM宽带光纤传输系统^[3-5], 在PTDS仿真平台上研究DCF放置位置和补偿程度对系统性能的影响。考虑的色散补偿方案包括分布式色散补偿和集中式色散补偿。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进行色散补偿。在每一种补偿方案中又有前置色散补偿和后置色散补偿。仿真的结果表明, 在采用DCF色散补偿的宽带长距离光纤传输系统中, 采用DCF集总、后置、略欠补偿方案, 可使系统的传输性能更佳。

1 仿真系统

本文在仿真实验中采用40信道的WDM传输系统, 每信道采用7阶伪随机非归零码, 信道速率为40 Gbps, 第一路信道的频率为191.4 THz, 信道间隔为100 GHz。仿真系统结构原理如图1所示。

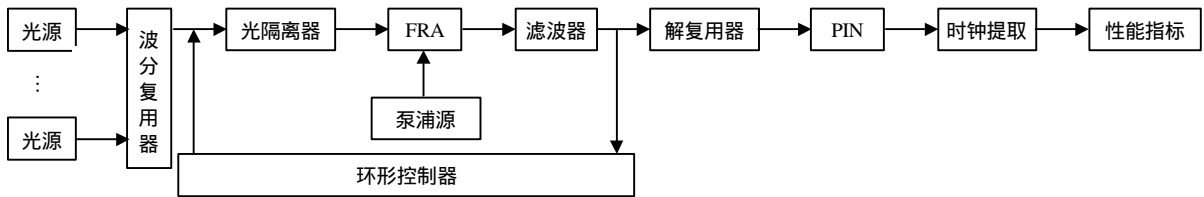


图1 仿真系统结构原理图

信号源发出的40路信号经过波分复用器后, 进入传输环, 采用FRA进行周期性放大。光隔离器的作用是抑制FRA中的双向瑞利散射噪声。信号绕环形控制器传输4周, 经解复用器后提出测试信道(仿真时选用最后一路信道)。DCF共有集总前置(即波分复用器之后传输环之前)、集总后置(即解复用器之后PIN之前)、分布前置(即环形控制器内光隔离器之前)、分布后置(即环形控制器内FRA之后)4种可选取的放置位置, 在本文中没有一一列出。本文仿真实验在德国VPI公司的PTDS平台上进行, 表1列出了仿真系统中使用的光纤的一些典型参数, 仿真时未考虑偏振模色散的影响。

表1 仿真系统中光纤的典型参数

参数	损耗/ dB · km ⁻¹	色散/ ps · nm ⁻¹ · km ⁻¹	色散斜率/ ps · nm ⁻² · km ⁻¹	非线性折射率/ m ² · W ⁻¹	有效模场面积/ μm ²	长度/ km
G652	0.20	16	0.08	2.6 × 10 ⁻²⁰	80	90.00
DCF	0.50	-400(可变)	-0.10	2.6 × 10 ⁻²⁰	50	12.80

从表1可以看出, DCF在缓减色散的同时也给系统带来了副作用, 其衰减系数比G652光纤为大。补偿的色散量越大、补偿光纤越长, 对线路增加的附加损耗越大。所以应尽可能地选择负色散系数高的DCF。要求DCF同时补偿色散和色散斜率很困难, 本文仿真结果对色散斜率仅有一定程度的补偿。

2 仿真结果及其分析

DCF在1 550 nm窗口的负色散可以抵消G652光纤的正色散, D_{TOTAL} 为系统的总色散值, 则:

$$D_{TOTAL} = D_{G652}L_{G652} + D_{DCF}L_{DCF}$$

如果考虑完全色散补偿, 则 $D_{TOTAL}=0$ 。仿真过程中, 分别对DCF的4种不同位置进行研究, 同时固定色散补偿光纤的总长度, 改变DCF的色散系数。在此, 定义一个色散补偿率 $h = \left| \frac{D_{DCF}L_{DCF}}{D_{G652}L_{G652}} \right|$, $h=1$ 为完全补偿, $h < 1$ 为欠补偿; $h > 1$ 为过补偿; 通过研究系统的误码率BER和Q值随色散补偿率h的关系来确定最佳补偿方案。

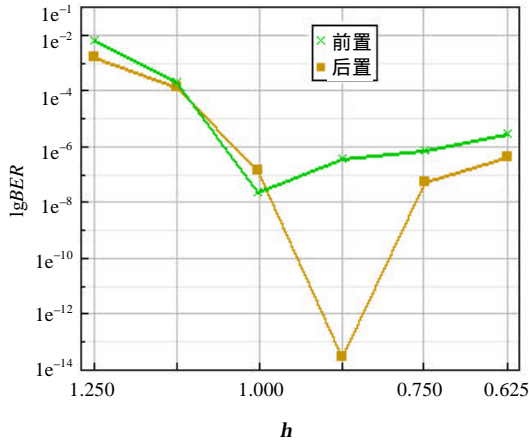


图2 DCF分布后置、分布前置时误码率 $\lg BER$ 随色散补偿率 h 的变化曲线

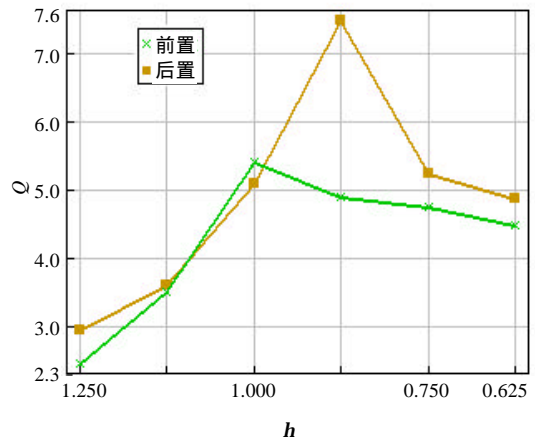


图3 DCF分布后置、分布前置时品质因素 Q 随色散补偿率 h 的变化曲线

图2和图3分别是采用DCF分布式前置补偿、后置补偿时误码率 $\lg BER$ 和品质因素 Q 随色散补偿率 h 变化的曲线图。从图2和图3的比较可以看出,就DCF分布式色散补偿而言,采用后置色散补偿的效果要比采用前置色散补偿的效果好,最佳补偿点的误码率 $\lg BER$ 可以相差约6个数量级, Q 值也有较大的提高,系统的性能明显地改善。同时可以看出最佳色散补偿率为 $h=0.875$,也就意味着采用略欠补偿方案、完全色散补偿方案,四波混频(Four Wave Mixing, FWM)效应特别突出,反而会使系统的性能下降,所以要尽量避免采用完全色散补偿方案。

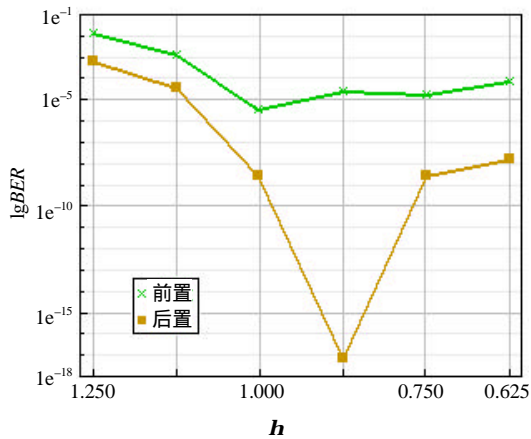


图4 DCF集总后置、集总前置时误码率 $\lg BER$ 随色散补偿率 h 的变化曲线

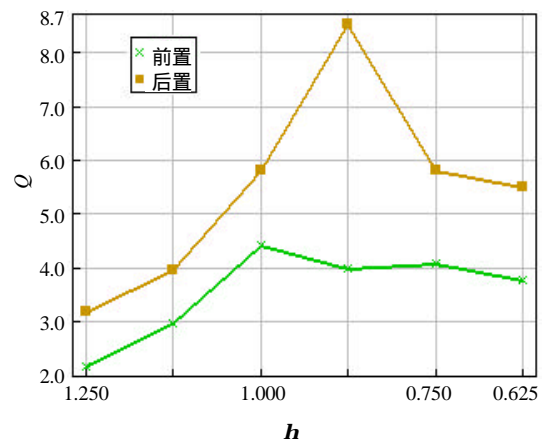


图5 DCF集总后置、集总前置时品质因素 Q 随色散补偿率 h 的变化曲线

图4和图5分别是采用DCF集总式前置补偿、集总式后置补偿时误码率 $\lg BER$ 和品质因素 Q 随色散补偿率 h 变化的曲线图。从图4和图5的对比可以看出,就集总式色散补偿而言,应该选用后置略欠补偿。这是因为DCF前置补偿时,入纤光功率较后置时大得多,由于DCF有效作用面积(相对于G652)较小,因此更容易引起光纤的非线性效应,导致光脉冲严重展宽,系统性能严重恶化。比较图2~4,可以看出集总式色散补偿要比分布式色散补偿效果好,图2和图4中最佳色散补偿点的误码率BER降低了约4个数量级。这是因为采用分布式色散补偿,可使每一段光纤的色散都被补偿,交叉相位调制XPM(Cross Phase Modulation)引起的每一段的相位滞后都是一样的;集总式色散补偿下XPM引起的相移逐段不同,前后影响,相互抵消^[2]。可见,最佳的色散补偿方案是DCF集总、后置、略欠色散补偿方案。

4 结论

在高速WDM光纤传输系统中,利用DCF色散补偿技术可以有效地减弱光脉冲的展宽,提高传输系统的性能。对基于光纤喇曼放大器FRA的宽带WDM系统而言,最佳的DCF色散补偿方案是集总式后置略欠补偿,该方案与DCF的其他补偿方案相比误码率降低了几个数量级, Q 值也有明显的改善;不足之处是DCF光纤成本较高,当传输速率进一步提高,传输距离进一步增大时,其非线性的影响就特别突出了。

参 考 文 献

- [1] 孙学康, 张金菊. 光纤通信技术[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2001
- [2] 毛幼菊, 汪学强. WDM+EDFA+DCF光纤传输系统中色散补偿方案的分析[J]. 激光杂志, 1999, 20(6): 28-31
- [3] 薛 飞, 邱 昆. 一种宽带光纤喇曼放大器的设计[J]. 光电子激光, 2003, 14(4): 372-374
- [4] Masuda H, Kawai S. Wide-band and gain-flattened hybrid amplifier consisting of an EDFA and a multiwavelength pumped raman amplifier[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 1999, 11(6): 647-649
- [5] Chang S H, Kim S K, Chung H S, *et al.* Transient effects and gain-control method in low-noise dispersion-compensating hybrid fiber amplifier[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2003, 15(7): 906-908

编 辑 熊思亮

(上接第646页)

参 考 文 献

- [1] Ciaramella E. Introducing wavelength granularity to reduce the complexity of optical cross connects[J]. IEEE Photon Technol. Lett., 2000, 12(6): 699-701
- [2] Yao S, Mukherjee B. Design of hybrid waveband-switched networks with OEO traffic grooming[C]. OFC 2003, WH3, Ftp://166.111.172.77
- [3] Cao X, Anand V, Qiao C. A waveband switching architecture and algorithm for dynamic traffic[J]. IEEE Communications Letters, 2003, 17(8): 397-399
- [4] Zheng Xiaoping, Qin T, Zhang Hanyi. Dynamic routing and wavelength assignment for two-stage multi-granularity WDM optical networks[J]. Optics Communications, 2004, 229: 191-196
- [5] Noirie L, Blaizot C, Dotaro E. Multi-granularity optical cross-connect[C]. ECOC' 2000, paper 9.2.4 Ftp://166.111.172.77
- [6] Cao X, Anand V. A Study of waveband switching with multilayer multigranular optical cross-connects[J]. IEEE J. Select. Areas Commun., 2003, 21(7): 1081-1095
- [7] Ho P H, Mouftah H T. Routing and wavelength assignment with multigranularity traffic in optical networks[J]. J. Lightwave Technology, 2002, 20(8): 1292-1303
- [8] Izmailov R, Ganguly S, Wang T. Hybrid hierarchical optical networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 8: 88-94

编 辑 徐安玉