

用级联光纤光栅补偿色散在 G. 652 光纤上 4 × 10Gbps 无电中继低代价传输 640km

宁提纲, 谭中伟, 刘 艳, 裴 丽, 傅永军, 简水生

(北方交通大学光波技术研究所, 北京 100044)

摘 要: 用计算机控制扫描法写入的低偏振模色散(PMD < 1. 2ps) 切趾啁啾光纤光栅级联补偿了 4 × 10Gbps 在 G. 652 光纤上传输 640km 的色散, 功率代价不大于 1. 5dB, 光栅引入的损耗小于 4dB, 并研究了光源波动时系统功率代价的变化. 实验表明总的功率代价不与光栅组的数目或光栅组数目的平方根成比例关系, 为长距离无中继在 G. 652 光纤传输用光栅补偿色散提供了实验依据, 光栅的时延纹波不是各组单个光栅纹波的简单叠加, 而是与光栅的位置及 EDFA 增益有关.

关键词: 光纤光栅; 色散补偿; 级联光栅; 功率代价波动

中图分类号: TN929. 11 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2002) 08 1097-03

4 × 10Gbps WDM Transmission over 640km of G. 652 Fiber Using Cascaded Chirped Fiber Bragg Gratings Dispersion Compensation with Low Power Penalty

NING Ti gang, TAN Zhong-wei, LIU Yan, PEI Li, FU Yong-jun, JIAN Shui sheng

(Institute of Lightwave Technology, Northern Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: The good quality cascaded multiwavelength chirped fiber Bragg grating (MFBG) were written using scanning mask/fiber technique. The MFBG had low PMD (< 1. 2ps) and low insertion loss (< 4dB). Dispersion of 4 × 10Gbps WDM transmission over 640km of G. 652 fiber was compensated using MFBG with all channels' power penalty less than 1. 5dB. We had studied fluctuation of power penalty when source wavelength changed ±20GHz around ITU-T center. The fluctuation was less than 0. 2dB. The experiment showed that overall penalty was proportional either to the number or to the square root of the number of the MFBG employed along the link. Ripple of overall MFBG delay and fluctuation of overall MFBG reflectivity were not simply piled up, but related with the place of MFBG and line amplifier gain.

Key words: chirped fiber bragg grating; cascaded FBG; dispersion compensation; fluctuation of power penalty

1 引言

随着人们对信息的要求越来越多, 要求传输网的速率越来越高, 从 2. 5Gb/s 到 10Gb/s, 光传输网上的电子设备成为成本的主体和瓶颈; 随着传输速度的提高, 光纤的色散严重制约了无中继传输距离, 如果中继的话, 由于电子瓶颈又会制约传输速率的提高和极大的增加了系统成本. 掺铒光纤(EDFA)放大器工作在 1550nm 窗口, 而目前全世界铺设的上亿公里通信光纤大部分为普通单模光纤(G. 652 光纤), 其零色散点位于 ~ 1310nm, 在 1550nm 有 ~ 17ps/(km. nm) 的色散, 色散已成为对已铺设光纤通信系统进行升级扩容的主要障碍. 延长无中继传输距离的有效办法是采用色散补偿, 色散补偿光纤(DCF: Dispersion Compensating Fiber)近年来得到了广泛的研究^[1], 并在一些场合得到了应用, 但由于 DCF 的结构特点, 因

此损耗大、成本高, 补偿 80 km SMF 光纤所需要的 DCF 有 20dB 左右的损耗(因模场不匹配, SMF 与 DCF 的接头损耗占 DCF 引入损耗的很大部分), 需增加一个 EDFA; 有效面积小导致非线性高^[2]; 偏振模色散大, DCF 的色散斜率比普通光纤(G. 652 SMF) 大几倍, 在 WDM 系统中只能对其中一路完全补偿^[2, 3], 残留色散严重限制了 WDM 无电中继传输距离.

色散补偿的另一可行方案是采用啁啾光纤光栅, 啁啾光纤光栅完全与 SMF 兼容, 具有体积小, 损耗低, 对偏振不敏感, 易实现对 DWDM 通道进行特定的色散补偿, 可滤掉 EDFA 的自发辐射噪声(ASE)^[4, 5]; 啁啾光纤光栅不仅可以补偿整个系统的色散, 而且可以补偿 DCF 补偿后的残留色散^[3]; 啁啾光纤光栅可以补偿固定的色散^[4, 5], 同样可以实现动态色散补偿^[6]. 本文采用四个带宽 0. 4nm 左右的啁啾光栅级联, 组成

梳状滤波器似的模块,梳状形可以更多地滤掉 EDFA 的 ASE 噪声,减少邻近信道干扰;补偿 $4 \times 10\text{Gbps}$ WDM 在 640 km 普通单模光纤的色散用了 4 组这种级联的光栅,并且用可调波长激光器以 0.05 nm 精度测试在整个光栅带内的功率代价,这种高速长距离 WDM 传输色散补偿尚未见报道。

2 啁啾光纤光栅

写入光栅用的光敏光纤是氢载 SMF-28 光纤,室温下 135 atm 氢载 4 周,氢载结束时的气压为 85 atm ,写入方法是高精度计算机控制扫描紫外曝光相位掩模法,掩模板的啁啾量是 0.4 nm ,切趾采用切趾函数发生器产生升余弦平方信号,切趾目的是降低光栅时延纹波,每组光栅分别由中心波长分别为 1549.321 nm 、 1550.920 nm 、 1552.521 nm 、 1554.132 nm ,符合 ITU-T 的波长标准, 3 dB 带宽为 0.42 nm 左右的光栅各一个组成,共 4 组,单根光栅的有效长度为 132 mm ,光栅之间的隔离带宽在光栅峰值下降 20 dB 处大于 0.8 nm ,光栅隔离带可以更进一步地减少 EDFA 的 ASE 对系统性能的影响。把每组中光栅按中心波长由短到长依次记为 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 ,每个光栅用英国 EG&G 公司的色散分析仪 (CD400) 测得时延量为 2700 ps/nm ,单个光栅时延纹波小于 $\pm 10\text{ ps}$,4 组相同中心波长的光栅用步长 1 pm 分辨率测得总的时延纹波不大于 $\pm 25\text{ ps}$,用 HP8164A 激光源测得光栅在中心波长 $\pm 0.2\text{ nm}$ 内的反射率波动小于 0.5 dB ,这 4 组光栅的插入损耗(包含环形器损耗)都不大于 4 dB 。

光栅采用侧写入法,光栅的偏振模色散(PMD)一般较大,由于本实验中用的光栅写入采用改进的方法,用 HP 8509B 偏振分析仪采用琼斯矩阵法测得四组光栅串起来的 PMD 都小于 1.2 ps ,对所有光栅偏振相关损耗(PDL)都小于 0.15 dB 由于光栅波长随温度变化的特性,对所用的光栅进行了温度补偿,温度补偿后光栅的温度系数为 $5 \times 10^{-4}\text{ nm/K}$,组内光栅的安排见图 1。

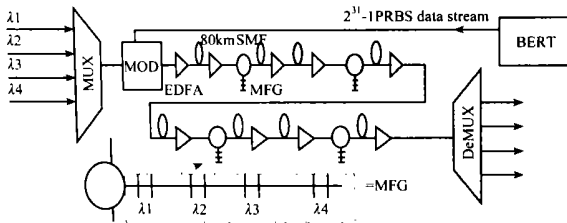


图 1 $4 \times 10\text{Gbps}$ DWDM 传输系统示意图

3 传输补偿实验

每个光栅用来补偿 160 km 的 G.652 SMF 的色散,典型商用光纤间距为 80 km ,因此一个光栅可以补偿两间距的色散,4 组啁啾光栅模块可以补偿 $4 \times 10\text{Gbps}$ 伪随机码流 (PRBS) $2^{31} - 1$ 调制的信号在 SMF 上传输 640 km 的色散,更长距离的传输在进一步研究中,色散补偿实验系统框图如图 1 所示。4 个波长间隔为 200 GHz ,光源的波长对应光栅的中心波长,也符合 ITU-T 的 WDM 波长标准,4 个光源发出的激光经合波器 (MUX) 合波后由 $2^{31} - 1$ PRBS 10 Gbps 非归零码 (NRZ) 数据流

的调制,调制器(MOD)调制后的信号经 EDFA 放大到 0 dBm 再送入光纤每 80 km 的间距传输,线路用 EDFA 每 80 km 放大一次,每信道后接光栅的 EDFA 输出功率为 5 dBm ,总的输出功率为 11 dBm ,中间没有后接光栅的 EDFA 每信道输出功率为 3 dBm ,总的输出功率为 9 dBm ,这种放大设置是考虑到更多路复用 EDFA 的放大能力有限。

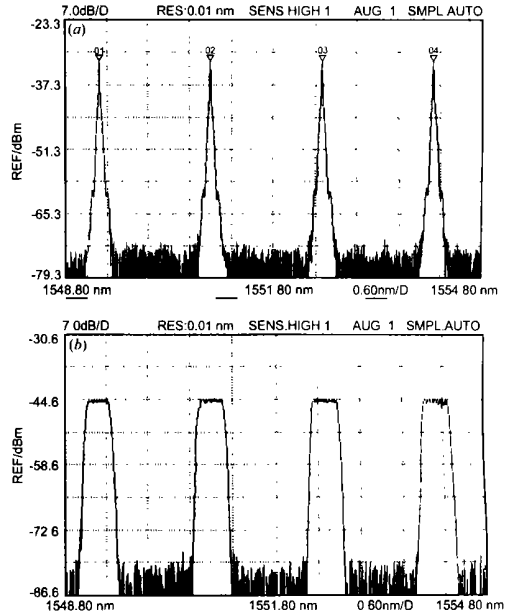


图 2 光源光谱 (a) 和光栅的反射谱 (b)

信号调制后的信噪比 (OSNR) 大于 25 dB ,如图 2 (a) (信号输入光谱仪前加了衰减),4 组光栅串接起来的反射谱,如图 2 (b)。用分波器分出每路信号,用 Anritsu MP1570A 分析仪测试误码率 (BER),测试结果如图 3;4 路的无

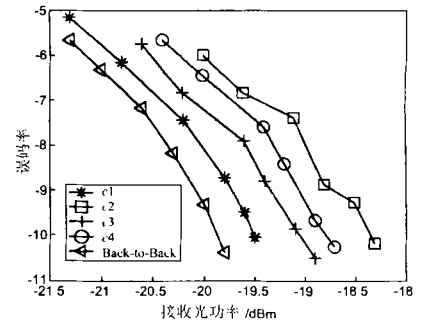


图 3 误码率测得的各路误码率

误码功率代价分别为 0.5 dB 、 1.5 dB 、 0.9 dB 、 1.1 dB ,代价都不大于 1.5 dB ,在实际系统中,光源不可能固定在一个波长不变,ITU-T 规定 200 GHz 间隔 WDM 中波长漂移应不大于 $\pm 20\text{ GHz}$,在我国邮电部技术规定 YDN 120 1999 中有同样的要求,因此我们用惠普

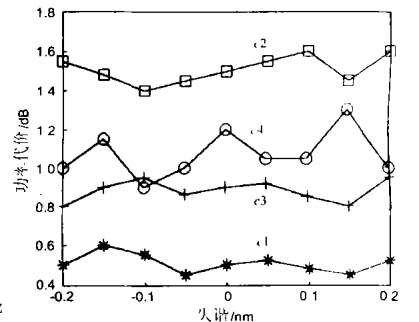


图 4 每路在光栅带内无误码功率代价的波动

HP 8164A 可调光源以 0.05nm 步长测 4 路光栅阻带内的功率代价, 代价波动小于 0.2dB, 如图 4, 这说明光栅的一致性很好; 图 3、图 4 中 c_1 、 c_2 、 c_3 、 c_4 分别是代表 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 . 系统分波后用 Tektronis CSA 8000 通信信号分析仪测得 4 路的眼图如图 5, 信号眼图都张得比较开.

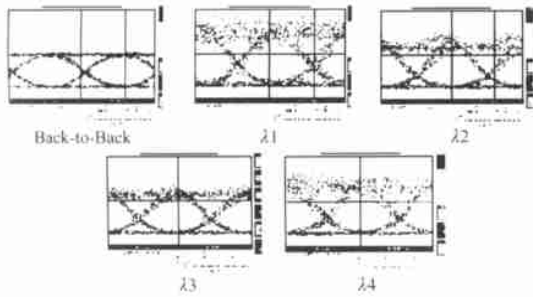


图 5 背靠背和各路传输 640km 后的眼图

图 2 系统中光栅的安排, 而不是传输 160km 后再补偿是基于以下分析, 信号在调制后先放大, 经 80km 又放大, 已经有了两个放大器, 如果不加光栅滤除 EDFA 的 ASE, 就会影响信号的消光比, 增大系统的功率代价, 在这种方案中最后 80km 没有光栅滤波, 是分波器 (DeMUX) 充当了滤波器的作用. 实验验证上述分析是正确的, 每传输 160km 再补偿的无误码功率代价比图 2 的系统安排要高 1~2dB, 说明长距离系统中 EDFA 的 ASE 影响很大, 这又体现出光栅色散补偿比 DCF 好的一个方面. 几组光栅串接起来, 总的时延纹波不是简单的为同波长光栅纹波相加或是成光栅个数平方根成比例关系, 有较复杂的成因, 有待进一步研究; 同样, 总的光栅带内反射率波动与光栅的位置、放大器的增益系数有关, 在用多个光栅进行长距离全光传输的色散补偿时, 适当的光栅“管理”会提高整个系统的性能.

4 结论

用多组啁啾光纤光栅对长距离传输色散补偿, 补偿 640km 普通单模光纤传输 4× 10Gbps 的 WDM 的功率代价都不大于 1.5dB, 这在长距离无中继大容量系统中是十分有意义的. 在整个光栅阻带内以 0.05nm 步长测得功率代价波动小于 0.2dB, 实验观察了多个光栅时延波动、阻带内反射率波动的特性, 以及实现光栅“管理”提高系统性能.

参考文献:

- [1] S K Shin, C H Kim, Y C Chung. Directly modulated 2.5Gbps × 16-channel WDM transmission over 640 km single mode fiber using dispersion compensating fiber [J]. IEEE Photonics Tech Lett., 1999, 11(6): 742–744.
- [2] Solur-Ling Tzeng, Hung-chun Chang, Yung-Kuang Chen. Limiting amplified multiwavelength dispersion compensator incorporating chirped fiber gratings and optical amplifier for DWDM systems [J]. Optics Communications, 1999, 169: 81–86.
- [3] Willner A E, Feng K-M, Lee S, et al. Tunable compensation of channel degrading effects using nonlinearly chirped passive fiber Bragg gratings [J]. IEEE J Selected Topics in Quantum Electronics, 1999, 5(5): 1298–1311.
- [4] F Ouellette. Dispersion cancellation using linearly chirped Bragg grating filters in optical waveguides [J]. Opt. Lett., 1987, 12(10): 847–849.
- [5] A H Gnanck, L D Garrett, F Forghieri, et al. 8× 20Gbps 315 km, 8× 10Gbps 480 km WDM transmission over conventional fiber using multiple broad band fiber gratings [J]. IEEE Photonics Tech. Lett., 1998, 10(10): 1495–1497.
- [6] B J Eggleton, John A Rogers, Paul S Westbrook, et al. Electrically tunable power efficient dispersion compensating fiber Bragg grating [J]. IEEE Photonics Tech. Lett., 1999, 11(7): 854–856.

作者简介:



宁提纲 男, 1968 年 10 月出生于湖南省隆回, 在读博士, 研究方向: 主要从事高速光纤通信网和高速光纤通信网关键器件的研究, 特别是光纤光栅的写入及其在光通信系统中的应用的研究, 参加过 2 项“863”, 一项国家重大自然科学基金, 已发表论文 30 多篇.



谭中伟 男, 1978 年 10 月出生于河南省罗山县, 在读博士, 研究方向: 从事光纤通信, 光纤器件, 光纤传感等方面的研究工作.