

文章编号: 0253-2239(2010)s100210

基于布拉格光纤光栅和啁啾光纤光栅的编解码器研究

赵立龙¹ 任亚飞² 李传起^{1,3} 孙婷婷¹

¹南京信息工程大学数理学院, 江苏 南京 210044
²南京信息工程大学电子与信息工程学院, 江苏 南京 210044
³广西师范大学电子工程学院, 广西 桂林 541004

摘要 提出一种基于布拉格光纤光栅(FBG)和啁啾光纤光栅(CFBG)的二维编解码器。分析了FBG编解码器在对应波长不匹配时,造成了解码输出的自相关光功率的减弱,进而劣化系统的误码率。实验分析了解码器在不同波长偏差、不同跳频数下光功率的变化。根据CFBG反射宽光谱特性,提出了基于CFBG的解码器,给出了CFBG参数。结果表明,基于CFBG的解码器在一定程度上提高了解码输出功率,降低了对编解码器的波长匹配精度的要求,同时还可以实现色散补偿。

关键词 光纤布拉格光栅;编解码器;波长偏差;啁啾光栅

中图分类号 TN253 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201030.s100210

Research on Coder-Decoder Based on Fiber Bragg Grating and Chirped Fiber Bragg Grating

Zhao Lilong¹ Ren Yafei² Li Chuanqi^{1,3} Sun Tingting¹

¹College of Physics and Maths, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210044, China
²College of Electronic and Information Engineering, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210044, China
³Electronic Engineering College, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi 541004, China

Abstract A two-dimensional code/encode based on chirped fiber Bragg grating (CFBG) and fiber Bragg grating (FBG) is proposed. The degradation of autocorrelation peak with wavelength mismatch of the FBG, and the deterioration of bit error rate consequentially, are investigated. The experimental result of output power versus different mismatch wavelengths and hops is given. The results indicate that the decoder based on CFBG can improve output power a little, which also decrease wavelength matching accuracy and provide dispersion compensation.

Key words fiber Bragg grating; encoder/decoder; wavelength mismatch; chirped fiber Bragg grating

OCIS codes 060.3735; 060.2330; 050.2770

1 引 言

近年来,随着宽带信息数据量的急速增加,结合了光纤的海量带宽和电码分多址的优点,具有大带宽、高保密性以及异步传输等优势的光码分多址(OCDMA)技术颇受国内外研究者的关注,现已成为下一代光纤通信技术的热门选择之一^[1~4]。基于布拉格光纤光栅(FBG)的OCDMA编/解码器是一种全光纤器件,具有制作工艺简单、成本低、体积小、

插入损耗低、光纤参数易于调整可实现变址功能等优点,特别是FBG具有产生超长光学码的能力,因此基于FBG的OCDMA已经成为目前研究的热点^[5,6]。由于制作工艺、环境和波长调谐的精度难以控制,编解码器的相应波长存在不匹配的情况,进而使得编解码器的性能下降^[7,8],但对于如何解决波长偏差对输出解码功率下降问题的研究很少。本文分析了编解码器在不同跳频数、不同波长偏差下

收稿日期: 2010-06-20; **收到修改稿日期**: 2010-07-07

基金项目: 江苏省自然科学基金面上项目(BK2008437)和校科研基金(S8109005001,20080287)资助课题。

作者简介: 赵立龙(1978—),男,博士,讲师,主要从事光纤通信方面的研究。E-mail: nk_endy@163.com

的解码输出功率和误码性能的变化,提出基于啁啾光纤光栅(CFBG)的解码器,模拟了基于CFBG的解码器在波长不匹配情况下输出功率变化,实验结果表明,基于CFBG的解码器可以改善由于光栅中心波长不匹配的系统的性能,实现色散补偿。

2 基于FBG的二维编解码系统

通过布拉格光栅可以在时域-频域上同时实现编/解码。图1是基于光纤光栅串联结构的编/解码器。编码装置由一系列初始中心波长相同的FBG

串联组成,每个光栅中心反射波长可由压电陶瓷装置调节光栅周期进行改变,实现波长编码,反射的具体中心波长由用户的地址序列码控制。而光栅的位置起到光纤延时线的作用,使不同的频谱分量在时域上分开,从而实现二维时-频域混合编码。解码器的设计与编码器一致,只是反向放置。但在实际操作过程中,对压电陶瓷的精确控制十分困难,同时还有所处环境,应力、应变或其他物理量发生变化时,可能造成相应反射波长的偏移,进而影响输出功率及解码的精度。

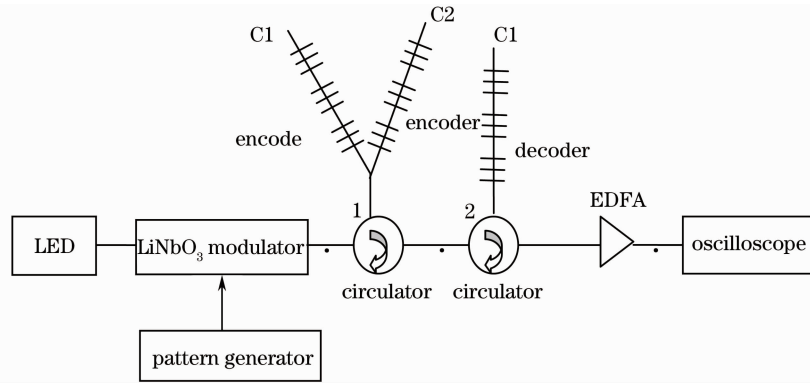


图1 基于FBG的二维编解码器

Fig. 1 Two-dimensional encoder/decoder based on FBG

3 中心波长偏差对输出功率的影响

受到光纤光栅制作的精度以及压电陶瓷调谐精度及光栅所处环境,应力、应变或其他物理量发生变化等因素影响,编码器和解码器中对应的光栅反射中心波长存在不严格匹配的现象,势必会造成一部分光脉冲序列在系统解码输出时部分丢失,甚至完全丢失,这将降低输出信号的峰值功率强度,进而影响系统的误码率。

根据FBG反射谱特性可知,光脉冲通过光纤光栅后反射回来的信号功率谱可以用高斯函数近似表示,这里不考虑脉宽展宽效应。则通过编码器后的总体光功率谱为^[9]

$$P_e(\lambda) = \sum_{i=1}^{P_h} R_{ei} \exp\left[-(4\ln 2/B_G^2)(\lambda - \lambda_{ei})^2\right], \quad (1)$$

假设所有光纤光栅反射谱的半值全宽相同,取 $B_G = 0.2 \text{ nm}$ 。则解码后输出的自相关峰值功率强度^[9]

$$I_d = \int_{-\infty}^{\infty} P(\lambda) P_e(\lambda) P_d(\lambda) d\lambda = \sum_{i=1}^{P_h} \frac{S_\lambda R_{ei} R_{di} B_G \sqrt{\pi}}{\sqrt{8\ln 2}} \exp\left[-\frac{2\ln 2}{B_G^2}(\Delta\lambda_i)^2\right], \quad (2)$$

式中 P_h 为编码器中跳频波长的个数, R_{ei} 和 λ_{ei} 分别为编码器中第 i 个光纤光栅的峰值反射率和布拉格波长, $P(\lambda)$ 、 $P_e(\lambda)$ 和 $P_d(\lambda)$ 分别为光源、编码器和解码器的功率谱。 S_λ 为光源的功率谱密度并且是平坦的。 R_{di} 为解码器中第 i 个光纤光栅的峰值反射率。 $\Delta\lambda_i$ 为编码器与解码器中第 i 对光纤光栅的中心波长偏差。为了方便计算,对自相关峰值功率强度进行归一化处理得到:

$$I = \frac{1}{P_h} \cdot \sum_{i=1}^{P_h} \exp\left[-\frac{2\ln 2}{B_G^2}(\Delta\lambda_i)^2\right]. \quad (3)$$

图2是用Matlab数值模拟的编/解码器的跳频波长数 P_h 为2个、3个和4个时系统解码输出的归一化自相关峰值功率强度随中心波长偏差的变化曲线。由图2可以看出随着中心波长不匹配度的增大,系统接收到的解码信号输出平均功率也随之降低,进而影响系统解码性能。以上分析的前提是任一个光栅中心波长的偏差不会影响其他光栅的信道解码输出。同时还可以看到,当编解码器中波长不匹配的跳频数确定时,随着总跳频波长数的增加,解码输出功率下降幅度减慢,系统的性能得到了改善。这是由于较多的跳频数对应的FBG阵列拥有更大

的总带宽,单一 FBG 对的中心波长偏差所带来的能量损失也就相对较小。

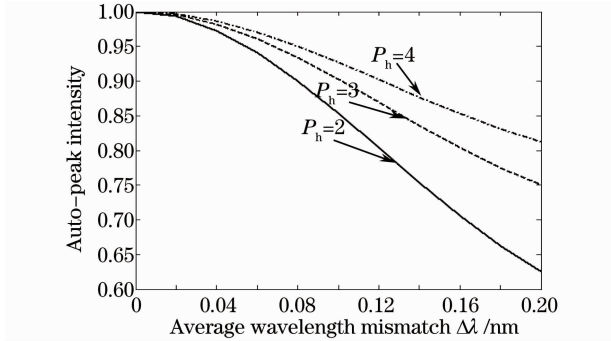


图 2 峰值功率随波长偏差的变化

Fig. 2 Peak intensity versus mismatch

由以上实验可以看出解码光栅的中心波长不匹配会造成解码时输出光功率下降,进而影响误码率。我们可以通过采用 CFBG 光栅作为解码器,在稍微降低光栅反射率的情况下,扩大反射波长范围,从而在一定程度上改善由于中心波长不匹配造成的输出功率骤减的情况。

4 基于 CFBG 的解码器

CFBG 是指其光栅周期不再是常数,而是位置的函数,该结构使得宽带光经过 CFBG 后,将会反射某个范围内的入射光,形成有一定带宽范围的反射谱。CFBG 的反射波形宽度为数纳米,实际反射谱宽度和反射率可以通过调节相应的光栅写入条件及光栅长度、啁啾量、折变量等参数来制作出所需啁啾光栅。

本文利用传输矩阵法分析线性啁啾光栅的反射谱特性。传输矩阵法是将啁啾光栅分成有限多个小段,把每段看作是均匀光栅的级联叠加近似。满足这种近似的分段条件是: $\Delta Z \gg \Lambda$, 即所分的段数 $n \ll 2N_{\text{eff}}L/\lambda_D$, 其中 Λ 为光栅周期, N_{eff} 有效折射率, L 光栅长度。令 R_i 和 S_i 是通过第 i 段光栅后的场振幅,则经过该段的传输矩阵 F_i 后为

$$\begin{bmatrix} R_i \\ S_i \end{bmatrix} = F_i \begin{bmatrix} R_{i-1} \\ S_{i-1} \end{bmatrix},$$

式中

$$F_i = \begin{bmatrix} \cosh\left[s\Delta z - i\frac{\sigma}{s}\sinh(s\Delta z)\right] & -i\frac{k}{s}\sinh(s\Delta z) \\ i\frac{k}{s}\sinh(s\Delta z) & \cosh\left[s\Delta z - i\frac{\sigma}{s}\sinh(s\Delta z)\right] \end{bmatrix}$$

式中 $s = \sqrt{k^2 - \sigma^2}$, $\Delta z = L/M$ 都是第 i 段“均匀”光栅的本地值。由每一段的矩阵可以求得整个光栅的传输矩阵 $\begin{bmatrix} R_M \\ S_M \end{bmatrix} = F_M \cdot F_{M-1} \cdots F_1 \begin{bmatrix} R_0 \\ S_0 \end{bmatrix}$, 根据初始条件可以求出啁啾光栅反射系数 $\rho = S_M/R_M$, 反射率 $R = |\rho|^2$ 。

数值模拟用啁啾光栅设计参数如下:有效折射率 $N_{\text{eff}} = 1.452$, 啁啾量 $C = 0.03 \text{ nm/cm}$, 光栅长度 6 cm 。在 Matlab 中用传输矩阵法得到的不同折变量的啁啾光栅的反射光谱图,如图 3 所示。由图 3 可见,随着折变量的增大,光栅的反射率峰值增大,反射带宽增加。同时还可以改变啁啾量、光栅长度等参数进而改变反射率和反射谱宽。但具体反射谱宽要根据所选码字和用户数而定。这里以 $\delta n = 6 \times 10^{-4}$ 作为所选啁啾光栅参数,和 FBG 相比其反射光谱宽度增加 0.2 nm 。

以上述所示参数的 CFBG 作为解码器,用 Matlab 模拟了基于 CFBG 的解码器在不同波长偏差下解码输出功率变化曲线,如图 4 所示。从图示

曲线可以看出波长偏差在 0.1 nm 以内,解码输出功率基本不变;当波长偏差大于 0.1 nm 时,输出功率随着波长偏差的增大而增大。与 FBG 解码器相比基于 CFBG 的解码器对一定范围内波长偏差情况下的输出功率有明显改善,此结果说明基于 CFBG 的编解码器是具备一定的抗波长偏移能力。且文献[10]已经制作出反射率为 92% , 半高宽为 5 nm 的啁啾光栅,进一步证实方案的可行性。

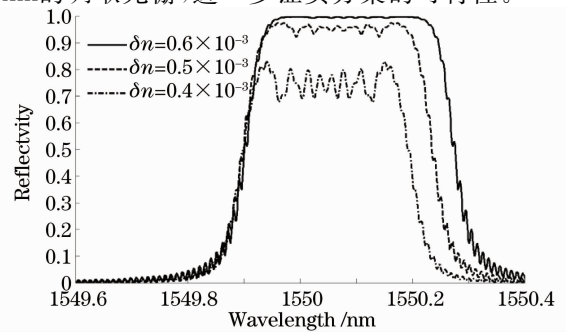


图 3 不同折变量的啁啾光栅反射谱

Fig. 3 Reflective spectra of different index changed in the chirped grating

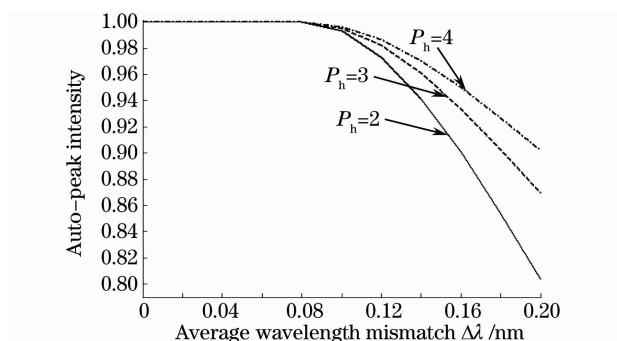


图 4 基于 CFBG 的峰值功率随波长偏差的变化

Fig. 4 Peak intensity based on CFBG versus mismatch

5 结 论

通过分析编解码器在对应波长不匹配时造成解码输出的光功率的减弱,提出基于 CFBG 的二维解码器。结果表明,基于 CFBG 的解码器在一定程度上解决了光栅中心波长不严格匹配导致的自相关解码输出的光脉冲峰值功率减小的问题,进而降低了编解码器波长匹配精度的要求。但基于 CFBG 的解码器的反射谱宽与码字和用户数间的关系需要进一步研究。

参 考 文 献

- 1 A. Stock, E. H. Sargent. The role of optical CDMA in access networks[J]. *IEEE Commun. Mag.*, 2002, **40**(9): 83~87
- 2 Li Chuanqi, Sun Xiaohan *et al.*. Analysis of the net-structure and key-apparatus of fiber-optic networks[J]. *Chinese J. Quantum Electronics*, 2005, **22**(3): 326~333
李传起, 孙小菡等. OCDMA 系统组网技术和核心部件的分析研究[J]. *量子电子学报*, 2005, **22**(3): 326~333
- 3 Taro Hamanaka, Xu Wang, Naoya Wada *et al.*. Ten-user truly asynchronous gigabit OCDMA transmission experiment with a 511-chip SSFBG en/decoder[J]. *J. Lightwave Technol.*, 2006, **24**(1): 95~102
- 4 Yitang Dai, Xiangfei Chen, Jie Sun *et al.*. High-performance, high-chip-count optical code division multiple access encoders-decoders based on a reconstruction equivalent-chirp technique[J]. *Opt. Lett.*, 2006, **31**(11): 1618~1620
- 5 Wang Xu, Wang Xuhua, Sun Yanbin *et al.*. Recent progresses of OCDMA networks and related devices [J]. *J. Semiconductor Optoelectronics*, 2007, **28**(2): 451~457
王旭, 王旭华, 孙燕斌等. OCDMA 系统和相关器件研究进展[J]. *半导体光电*, 2007, **28**(2): 451~457
- 6 Yu Zhihui, Yu Chongxu, Wang Kuiru *et al.*. Effect of direct current apodization on fiber Bragg gratings[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, **14**(6): 935~938
于志辉, 余重秀, 王葵如等. 直流切趾对光纤光栅特性的影响[J]. *光学精密工程*, 2006, **14**(6): 935~938
- 7 Li Chuanqi, Zhou Xu, Zhu Yingchun *et al.*. The spectral analysis of the fiber Grating arrays encoder/decoder [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(12): 3277~3281
李传起, 周 谔, 朱迎春等. 光纤光栅阵列编解码器反射谱性能研究[J]. *光学学报*, 2009, **29**(12): 3277~3281
- 8 Zheng Jilin, Wang Rong, Pu Tao *et al.*. Effects of wavelength deviation on performance of temporal phase optical code-division multiple-access en/decoder [J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(12): 1872~1877
郑吉林, 王 荣, 蒲 涛等. 波长漂移对时域相位光码分多址编解码器性能的影响[J]. *中国激光*, 2008, **35**(12): 1872~1877
- 9 Taeil Chae, Hark Yoo, Yonghyub Won. Wavelength mismatch tolerance in wavelength-hopping and time-spreading optical CDMA systems[J]. *IEICE Trans. Commun.*, 2003, **E86-B**(6): 2015~2018
- 10 Wei Zhanxiang, Qin Li, Wei Xin *et al.*. Fabrication of chirped fiber Gratings using fiber Bragg gratings[J]. *Acta Optica Sinica*, 1999, **19**(11): 1563~1566
韦占雄, 秦 莉, 韦 欣等. 用布拉格光纤光栅制作啁啾光纤光栅[J]. *光学学报*, 1999, **19**(11): 1563~1566