

文章编号: 0258-7025(2009)05-1124-05

基于超结构光纤光栅的双边带编/解码器

陈 鹏 王 荣 蒲 涛 朱英勋 卢 麟 郑吉林 杨 庆

(解放军理工大学通信工程学院, 江苏 南京 210018)

摘要 分析了基于等效相移(EPS)技术的超结构光纤光栅(SSFBG)相位编/解码器的原理及特点,提出并实现了一种双边带编/解码器。该编/解码器在不改变光纤光栅长度的前提下,实现了+1级和+3级编解码谱的级联,并很好地继承了等效相移技术所具有的设计灵活、制作精度低和与波分复用(WDM)系统兼容能力强等诸多的优点。理论及实测数据仿真结果均表明,在光脉冲源匹配最佳的前提下,双边带编/解码器较传统等效相移编/解码器而言,使得基于该光纤光栅相位编/解码器的窄带相干光码分多址(OCDMA)系统的编解码性能提高了3 dB,通过对比分析得到其本质原因在于双边带编/解码器结构提高了其单位长度内携带的相位信息量。

关键词 光通信; 光码分多址; 超结构光纤光栅; 相位编/解码器; 等效相移

中图分类号 TN929.11 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL20093605.1124

Double Band En/Decoder Based on Super Structured Fiber Bragg Gratings

Chen Peng Wang Rong Pu Tao Zhu Yingxun Lu Lin Zheng Jilin Yang Qing

(People's Liberation Army University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210018, China)

Abstract Principle and characteristic of super-structured fiber Bragg grating (SSFBG) en/decoder based on equivalent phase shift (EPS) are analyzed, and double band en/decoder is proposed. The +1st and +3rd spectra are successfully linked by designing grating structure with unchanging grating length. The new en/decoder well inherits the advantage of traditional equivalent phase shift, such as flexible design, low manufacture precision and strong wavelength-division-multiplex (WDM) compatible ability. The theoretical and experimental data indicate that double band en/decoder meliorates the en/decoder performance of coherent optical code division multiplex access (OCDMA) system by 3 dB. The essence is the improvement of phase information in unit grating length.

Key words optical communication; optical code division multiplex access; super-structured fiber Bragg grating; phase en/decoder; equivalent phase shift

1 引 言

光码分多址(OCDMA)技术因其具有其他复用技术所不具备的优点,如高速、异步、宽带、可靠及随机接入性,而成为实现未来全光接入网的主要技术之一^[1~3]。最近,编/解码器在紧凑性、可靠性和检测技术方面的进步使得基于窄脉冲光源的相干光码分多址系统得到了较快的发展^[2]。目前用于编解码制作的器件主要有光纤延迟线(OFDL)^[3]、平面光

波导(PLC)^[4]、阵列波导光栅(AWG)^[5]和光纤布拉格光栅(FBG)^[6~8],其中基于超结构光纤光栅(SSFBG)的编/解码器因其具有长码长、高速率和良好的相关性能而在相干OCDMA系统中得到了广泛的应用^[2,9,10]。在SSFBG编/解码器制作方面,传统的真实相移超结构光纤光栅(TPS-SSFBG)需要纳米级的制作精度^[6,7]。最近,等效相移超结构光纤光栅(EPS-SSFBG)的提出将制作精度降到了

收稿日期: 2008-06-10; 收到修改稿日期: 2008-09-01

基金项目: 国家自然科学基金(60502003)资助课题。

作者简介: 陈 鹏(1983-),男,硕士研究生,主要从事光信息处理技术方面的研究。E-mail: bigroc.chen@163.com

导师简介: 王 荣(1962-),男,教授,博士生导师,主要从事集成光电子学和光网络方面的研究。

E-mail: wr-njice@163.com

参数为:光栅周期 Λ 为 533.89 nm,采样周期 P 为 413.3 μm ,相对折射率调制深度为 1×10^{-4} ,得到相应的编码带宽 BW 为 4 nm。

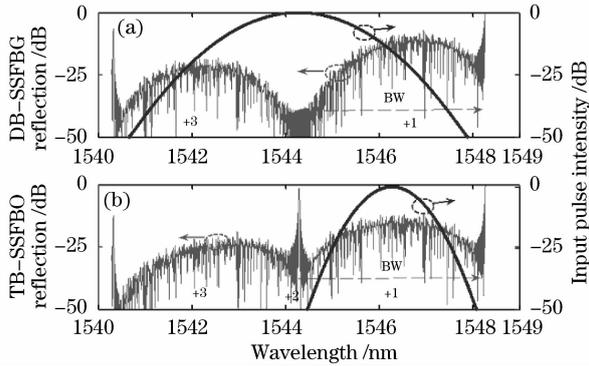


图 1 双边带(a)和传统(b)编/解码器编解码方案对比图
Fig. 1 Comparison of double band (a) and traditional (b) en/decoder schemes

3 系统性能仿真

基于超结构光纤光栅相位编/解码器的窄带相干 OCDMA 系统中,决定系统编解码性能的参量有自相关峰值(Peak)、自相关峰值与最大旁瓣的比值(PWR)及自相关峰值与互相关峰值的比值(PCR)^[9,14],其中 PWR 和 PCR 是衡量系统在接收端解码性能好坏的重要参量,并与编/解码器所携带的码字信息自身的性能有关。系统性能测试原理如图 2 所示,输出端时域脉冲信号可认为由两部分组成,一个是 SSFBG (code A) 经匹配滤波器 SSFBG (matched code A) 解码后的输出波形,其能量的峰值与最大旁瓣的比值即为 PWR,另一个是另外一个用户的编码信息 SSFBG (code B) 经 SSFBG (matched code A) 解码后的输出波形,峰值与其最大峰值的比值即为 PCR。所以 PWR 和 PCR 分别是用于衡量系统自编解码性能和抗多用户干扰性能好坏的物理量。

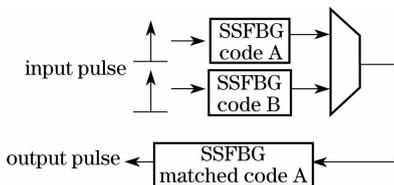
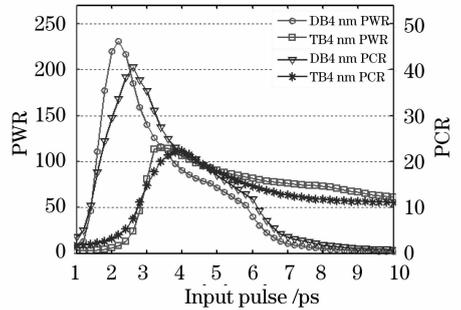
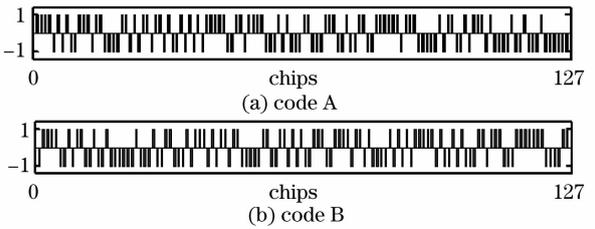


图 2 编解码性能测试图

Fig. 2 Setup for en/decoder performance test

根据上面的测试方法,对传统编/解码器和双边带编/解码器进行系统编解码性能仿真。光脉冲近似为高斯型,其中码字信息如图 3(a)和(b)所示,利用 code A 制作的 SSFBG 相位编/解码器的 PWR

理论值为 255,利用干扰用户 code B 制作的 SSFBG 与其 PCR 理论值为 49。



(c) PWR and PCR vs input pulse width

图 3 所选用的码字及两种编/解码器的性能理论仿真对比图
Fig. 3 Codes, and comparison of PWR and PCR between TB and DB en/decoder based on theoretical simulation data

图 3(c)为两种不同编/解码器的 PWR 和 PCR 随输入光脉冲半峰全宽的变化图,DB4 nm 表示 BW 为 4 nm,采用的是双边带编/解码器。图中能得到如下的结论:传统编/解码器在输入脉冲光源的半峰全宽等于码片周期 $T_{\text{chip}} = 2 \times n_{\text{eff}} \times P/c$ (约为 4 ps) 时性能达到最佳,PWR 和 PCR 分别为 114 和 22,双边带编/解码器由于实际使用的编码带宽为 BW 的两倍,所以在脉冲光源的半峰全宽等于码片周期一半时性能达到最佳,PWR 和 PCR 分别为 231 和 41.2,相对传统编/解码器性能提高了 3 dB 左右,所以双边带编/解码器能在最佳匹配光源脉宽的前提下大幅度提高 SSFBG 编/解码器的性能。

4 原理验证性实验

目前本实验室采用的是 244 nm 的氩离子倍频激光器,PI 精密位移台和均匀相位掩模板等来制作 SSFBG 相位编/解码器,其中根据各个采样周期内采样方式的不同可分为冲击采样和方波采样两种。对于方波采样而言,考虑到用于双边带编/解码器的 SSFBG 需要在原有的采样点处向后平移四分之一采样周期,如果采用占空比为 0.25 的方波采样法,结合四分之一采样周期的位移量后,基本上就等效于占空比为 0.5 的方波采样,但是利用该方法制作 SSFBG 相位编/解码器时需要利用一个挡板来对激光器的光斑进行调整,使其尽可能接近方波的

形状。对于冲击采样来说,光斑半峰全宽与四分之一一个采样周期相当时,相邻的两个曝光点间会有一些影响,仿真结果表明对+3级反射谱的形状影响很大,所以实验制作时需要将光斑半峰全宽尽可能调到小于四分之一一个采样周期,以减少相邻曝光点间的影响。本实验室利用的是冲击采样的方式来制作 SSFBG 相位编/解码器,相应的制作光栅参数如下:光斑半峰全宽为 $80 \mu\text{m}$,布拉格反射波长 $\lambda_D = 1548.22 \text{ nm}$ 。对于制作好的 SSFBG 相位编/解码器,利用 LUNA 光矢量分析仪进行测量得到其反射率的幅度和群时延数据。

为了验证第3节的结论,分别实验制作了3根(DB4 nm#1-codeA, DB4 nm#2-codeA, DB4 nm#1-codeB)双边带编/解码器和两根(TB4 nm#1-codeA, DB4 nm#1-codeB)传统 SSFBG 相位编/解码器,采样周期 P 均为 $413.3 \mu\text{m}$,对应的 BW 为 4 nm 。图4(a)为利用 LUNA 测量得到的 DB4 nm#1-codeA 和 DB4 nm#2-codeA 的 SSFBG 反

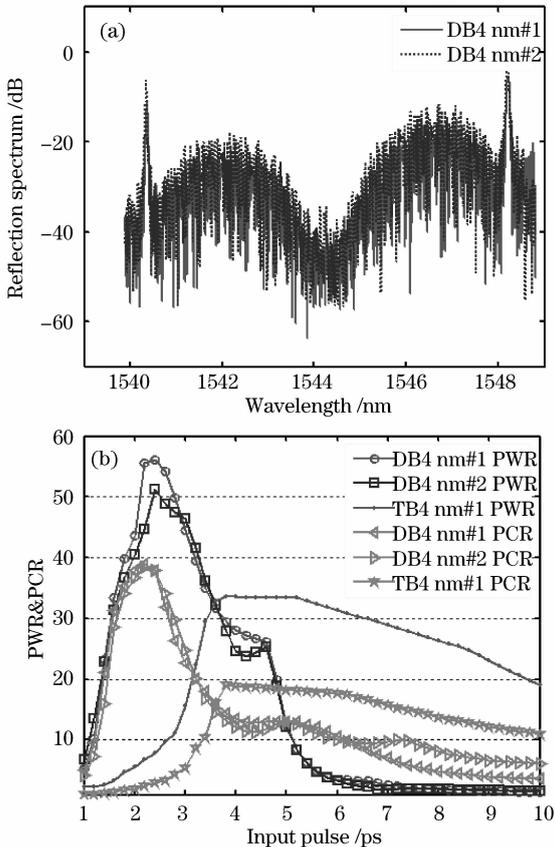


图4 实验结果。(a)实测双边带编/解码器反射谱;(b)传统与双边带编/解码器实测数据仿真 PWR 和 PCR 对比图

Fig. 4 Experimental results. (a) reflection spectrum of fabricated DB-SSBG; (b) comparison of calculated PWR and PCR based on measured data between DB-SSFBG and TB-SSFBG en/decoder

射谱幅度频率图,与理论数据非常吻合。图4(b)为利用上述实测光栅数据和 Gaussian 脉冲模拟光源得到的系统编解码性能仿真图,分别为双边带编/解码器与传统编/解码器的 PWR 和 PCR 随光脉冲源半峰全宽变化的对比图,其结果与理论数据仿真结果较为一致。

5 原理分析

基于等效相移与真实相移的 SSFBG 相位编/解码器本质上的区别在于:前者通过移位 $P/2$ 和 $3P/2$ 来表征相位的突变信息,所以是否能正确地携带相应的相位信息与等效鬼栅的级数 (m) 密切相关。而后者是通过位移 $\Lambda/2$ 来表征相位的突变信息,所以其每一级反射峰都平等地携带有相同的相位信息,具体见表1所示。

表1 EPS 各级相移量与 TPS 的对比

Table 1 Comparison of equivalent phase shift based on TPS and EPS

Series of ghost grating m	Phase shift	Position shift / Equivalent phase shift	
		EPS	TPS
0	$0 \sim \pi$	$0 \times P/2/0$	
	$\pi \sim 0$	$0 \times 3P/2/0$	
+1, -1	$0 \sim \pi$	$\pm 1 \times P/2/\pi$	$\Lambda/2 / \pi$
	$\pi \sim 0$	$\pm 1 \times 3P/2/\pi$	
+2, -2	$0 \sim \pi$	$\pm 2 \times P/2/0$	
	$\pi \sim 0$	$\pm 2 \times 3P/2/0$	

基于 EPS 的 SSFBG 相位编/解码器各个采样周期间有3种距离差: $P, P/2, 3P/2$,通过对每个采样周期移位 $P/4$ 后,相应的距离差变为 $3P/4, P/4, 5P/4$,所以各级鬼栅携带的相位信息如表2所示。

表2 光栅结构改进前后 EPS 各级等效相移量对比

Table 2 Comparison of equivalent phase shift in traditional and improved grating structure based on EPS

Series of ghost grating m	Equivalent phase shift	
	EPS($P, P/2, 3P/2$)	EPS($3P/4, P/4, 5P/4$)
0	$0, 0, 0$	$0, 0, 0$
+1	$0, \pi, \pi$	$3\pi/2, \pi/2, \pi/2$
+2	$0, 0, 0$	π, π, π
+3	$0, \pi, \pi$	$\pi/2, 3\pi/2, 3\pi/2$

可见,新的光栅结构对于不同级数的鬼栅来说,相位编码的方案不同,本质上可以看作是一种多信道编解码的结构,所以双边带编/解码器能在光栅长度不变的前提下增加其携带的信息量,因而提高了系统的编解码性能。

6 结 论

分析了基于等效相移技术的 SSFBG 相位编/解码器所具有的特点,并在此基础上提出了一种新的双边带 SSFBG 相位编/解码器,其很好地继承了 EPS 技术所具有的 SSFBG 相位编/解码器设计灵活、制作精度低和与波分复用(WDM)系统兼容能力强等诸多优点,同时又有效地提高了单位长度 SSFBG 所携带的信息量,在光源脉冲宽度与其编解码谱匹配最佳的前提下,双边带编/解码器性能较传统的编/解码器有大幅度的提高。

参 考 文 献

- 1 Ken-ichi Kitayama, Xu Wang, N. Wada. OCDMA over WDM PON-solution path to gigabit-symmetric FTTH [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2006, **24**(4): 1654~1662
- 2 Taro Hamanaka, Xu Wang, Ken-ichi Kitayama *et al.*. Ten-User truly asynchronous gigabit OCDMA transmission experiment with a 511-chip SSFBG en/decoder[J]. *J. Lightwave Technol.*, 2006, **24**(1): 95~101
- 3 N. Wada, Ken-ichi Kitayama. A 10 Gb/s optical code division multiplexing using 8-chip optical bipolar code and coherent detection[J]. *J. Lightwave Technol.*, 1999, **17**(10): 1758~1765
- 4 J. A. Salehi, A. M. Weiner, J. P. Heritage. Coherent ultrashort light pulse code-division multiple access communication systems[J]. *J. Lightwave Technol.*, 1990, **8**(3):478~491
- 5 H. Tsuda, H. Takenouchi, T. Ishii *et al.*. Spectral encoding and decoding of 10 Gbit/s femtosecond pulses using high resolution arrayed-waveguide grating[J]. *Electron. Lett.*, 1999, **35**(14): 1186~1188
- 6 P. C. Teh, Periklis Petropoulos, M. Ibsen *et al.*. Phase encoding and decoding of short pulses at 10 Gb/s using superstructured fiber Bragg gratings [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2001, **13**(2): 154~156
- 7 P. C. Teh, Periklis Petropoulos, M. Ibsen *et al.*. A comparative study of the performance of seven- and 63-chip optical code-division multiple access encoders and decoders based on superstructured fiber Bragg gratings [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2001, **19**(9): 1352~1365
- 8 Yan Meng, Yao Minyu, Zhang Hongming *et al.*. OCDMA encoding/decoding experiments based on superstructured fiber Bragg grating with equivalent phase shift [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(2): 221~224
- 9 燕 萌,姚敏玉,张洪明 等. 基于等效相移光栅的光码分多址编/解码实验[J]. *中国激光*, 2006, **33**(2): 221~224
- 10 Xu Wang, Koji Matsushima, Akihiko Nishiki *et al.*. High reflectivity superstructured FBG for coherent optical code generation and recognition[J]. *Opt. Express*, 2004, **12**(22): 5457~5468
- 11 Pu Tao, Wang Rong, Li Yuquan. Non-Gaussian approximation method for phase encoding optical code division multi-access system [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(1): 10~14
- 12 蒲 涛,王 荣,李玉权. 相位编码光码分多址系统中的非高斯分析方法[J]. *光学学报*, 2007, **27**(1): 10~14
- 13 Yitang Dai, Xiangfei Chen, Dianjie Jiang *et al.*. Equivalent phase shift in a fiber Bragg grating achieved by changing the sampling period[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2004, **16**(10): 2284~2286
- 14 Zhu Yingxun, Wang Rong, Chen Peng *et al.*. Orthogonal quaternary phase OCDMA en/decoder based on super structured fiber Bragg gratings[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(4):653~658
- 15 朱英勋,王 荣,陈 鹏 等. 基于超结构光纤光栅的正交四相光码分多址编/解码器[J]. *光学学报*, 2008, **28**(4):653~658
- 16 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
- 17 Tao Pu, Yingxun Zhu, Peng Chen *et al.*. Novel encoder/decoder using subsampled Bragg grating for a WDM-compatible OCDMA system[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2007, **19**(22): 1807~1809