

文章编号: 0258-7025(2008)12-1872-06

波长漂移对时域相位光码分多址编解码器性能的影响

郑吉林 王荣 蒲涛 卢麟 朱英勋 陈鹏

(解放军理工大学通信工程学院, 江苏 南京 210007)

摘要 光码分多址(OCDMA)系统中,编解码器的性能是影响系统整体性能的关键因素之一,而波长漂移会影响编解码器的性能。在分析等效相移超结构光纤光栅(EPS-SSFBG)作为光码分多址相位编解码器的基础上,仿真研究了不同码字、不同码长、不同编码带宽、不同编码效率和不同折射率调制深度的编解码器对波长漂移的容忍度(WDT)。仿真结果表明,光源与编解码器之间的波长漂移容忍度较大;若光源脉宽相对较宽,光源的中心波长偏移编解码器的中心波长一定值时,解码输出的自相关峰旁瓣比(P/W)反而提高;不同码字、不同编码效率、不同折射率调制深度都会不同程度地影响波长漂移容忍度。

关键词 光通信;光码分多址;等效相移超结构光纤光栅;波长漂移;脉宽

中图分类号 TN 929.11

文献标识码 A

doi: 10.3788/CJL20083512.1872

Effects of Wavelength Deviation on Performance of Temporal Phase Optical Code-Division Multiple-Access En/Decoder

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

(Institute of Communication Engineering, PLA University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210007, China)

Abstract The performance of optical en/decoder is one of the key factors affecting the whole performance of optical code-division multiple-access (OCDMA) system. Wavelength deviation influences the performance of en/decoder. The wavelength-deviation-tolerance (WDT) of equivalent phase shift superstructure fiber Bragg grating (EPS-SSFBG) encoder/decoder is investigated with different optical codes, different code sizes, different encoding bandwidths, different encoding efficiencies and different refractive index modulation intensities, based on the analysis of EPS-SSFBG as OCDMA encoder/decoder. The result shows that the WDT between optical source and encoder/decoder is relatively moderate, the auto-correlation ratios of P_A to the maximum wing level (P/W) increases when the center wavelength of source deviates from that of encoder/decoder with wide input pulse width. The WDT is influenced by different optical codes, different frequency efficiencies and different refractive index modulations.

Key words optical communication; optical code-division multiple-access; equivalent phase shift superstructure fiber Bragg grating; wavelength deviation; pulse width

1 引言

光码分多址(OCDMA)系统具有异步接入、全光处理、软容量、保密性好等优点,并且配置灵活、网管方便,是未来全光接入网极有竞争力的方案。在众多可实现的光码分多址编/解码方案中,基于超结

构光纤光栅(SSFBG)的时域相位编/解码方案具有长码长、码字容量大、码片速率高、自互相关性能好、扩频增益高、编码效率高等突出优点,此外,超结构光纤光栅本身价格低廉、制作灵活、易于耦合等特点显示出在工程应用方面突出的优势,因此这种编解

收稿日期:2008-01-14;收到修改稿日期:2008-04-17

基金项目:国家自然科学基金(60502003)和江苏省自然科学基金创新人才项目(BK2007501)资助课题

作者简介:郑吉林(1982—),男,湖南人,博士研究生,主要从事光码分多址技术方面的研究。

E-mail: zhengjilins@126.com

导师简介:王荣(1962—),男,江苏人,教授,博士生导师,主要从事集成光电子学、光网络方面的研究。

E-mail: wr-njice@163.com

码方案越来越受到关注^[1~7]。

编解码器的性能是影响系统整体性能的关键,在实际应用中,影响编解码器性能的因素很多,如光源脉冲宽度^[8~10]、编解码器反射率的大小^[8]、地址码的选择^[8]等。要实现真正意义的通信,必须要保证系统长时间的稳定可靠,而一般情况下,编码器和解码器身处异地,由于编解码器是温度、应力^[11]等物理因素的敏感器件,外界环境变化将会导致编解码器各自频谱的变化,从而引起编解码性能的变化,因此必须要采取措施保证光源与编解码器之间、编码器和解码器之间的频谱保持相对稳定,或者将相互之间的频谱漂移控制在一定的范围之内。但是,研究波长(频谱)漂移对编解码器性能影响的文献较少,文献[8]分析了特定参数超结构光栅编解码器的相关性能随温度的变化情况,但是不同参数的光纤光栅编解码器对波长漂移的容忍度(WDT)尚未进行比较分析和系统研究。本文针对基于等效相移超结构光纤光栅^[3](EPS-SSFBG)的编解码器,比较分析了光源与编解码器之间的波长漂移以及在不同码字、不同码长、不同编码带宽、不同编码效率和不同折射率调制深度的情况下编码器和解码器之间的波长漂移对编解码性能的影响。

2 等效相移超结构光纤光栅及相位编/解码理论模型

对于均匀采样的布拉格光纤光栅,沿 z 方向的折射率调制函数为

$$\Delta n(z) = A(z)S(z)\exp(j2\pi z/\Lambda) + c. c, \quad (1)$$

式中 $A(z)$ 为沿 z 方向慢变化的切趾函数, $S(z)$ 为周期采样函数, Λ 为光栅周期。根据傅里叶级数理论, (1) 式又可表示为

$$\Delta n(z) = A(z) \sum_m F_m \exp(j2m\pi z/P) \times \exp(j2\pi z/\Lambda) + c. c, \quad (2)$$

式中 \sum 项为 $S(z)$ 的傅里叶级数展开。

如果采样函数变为 $S(z - \Delta P)$, 则第 m 级鬼栅的折射率调制函数变为

$$\Delta n_m(z) = \begin{cases} F_m [\exp(j2\pi z/\Lambda) + j2m\pi z/P] & z \leq z_0 \\ F_m [\exp(j2\pi z/\Lambda) + j2m\pi z/P - j\theta] & z > z_0 \end{cases}, \quad (3)$$

式中 $\theta = 2m\pi\Delta P/P$ 。当 $\Delta P = \pm P/2$ 且 m 为奇数时

即可在鬼栅中引入 π 相移。如果将 z 方向上相位的变化 $\varphi(z)$ 引起的啁啾代入光栅的采样函数, 则 $S(z)$ 变为 $S[f(z)]$, 其中啁啾函数 $f(z) = z - [\varphi(z)/2\pi]P$ 。由 $f(z)$ 的表达式可以看到, 带有码字信息的相位变化 $\varphi(z)$ 可以通过改变光栅取样函数的周期 P 来实现, 从而达到与相移光栅编/解码器等效的效果。图 1^[8] 为相位编码原理。

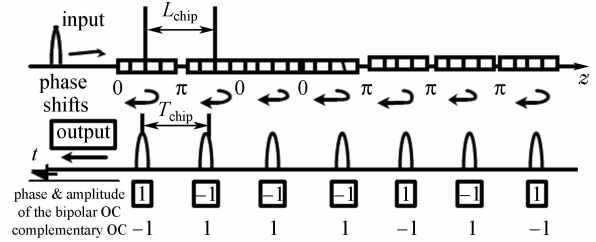


图 1 相位编码原理

Fig. 1 Principle of phase encoding

对于弱光栅, 其波矢量响应 $F(k)$ 与空间折射率调制分布函数 $\Delta n(z)$ 满足傅氏关系^[1]

$$F(k) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \Delta n(z) e^{jkz} dz, \quad (4)$$

由(4)式可以得到光栅的频率响应 $H(\omega)$, 则光栅的冲激响应为频率响应傅里叶逆变换

$$h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} H(\omega) e^{-j\omega t} d\omega, \quad (5)$$

在实际系统中, 通常用一阶高斯脉冲来描述光脉冲源

$$x(t) = \exp\left[-\frac{\ln 2}{2} \left(\frac{2t}{T_{\text{FWHM}}}\right)^2\right], \quad (6)$$

式中 T_{FWHM} 为脉冲的半峰全宽(FWHM)。

则 OCDMA 编解码过程可表示为

$$r(t) = x(t) \times h(t) \times h'(t), \quad (7)$$

$$R(\omega) = X(\omega) \times H(\omega) \times H'(\omega), \quad (8)$$

式中 $r(t), R(\omega)$ 分别为解码输出的时域和频域信号, $h(t), h'(t)$ 和 $H(\omega), H'(\omega)$ 分别为携带了地址码的编码器和解码器的时域和频域响应。

由(8)式可知, $X(\omega), H(\omega), H'(\omega)$ 三者任何一个发生了偏移等同于自变量 ω 替换为 $\omega - \Delta\omega$, $\Delta\omega$ 为波长偏移量, 那么解码输出 $r(t), R(\omega)$ 的特性将会发生改变, 编解码器的性能受到了影响。

3 编解码性能仿真分析

在研究解码输出的自相关峰旁瓣比(P/W)随波长漂移而变化的情况中, 定义一个参数(WDT)作为衡量编解码器性能对波长偏移的容忍度

$$\text{WDT} = \Delta\omega \Big|_{P/W = \frac{\max(P/W)}{2}},$$

WDT 表示当 P/W 下降到最大值一半时的波长漂移量。注意到这里考虑的是 P/W 变化的相对量,能够反映出波长漂移对解码性能的影响程度,WDT 越大,波长漂移的影响就越小。

还引入一个概念作为仿真参数之一:编码效率 η

$$\eta = \frac{\text{Code size}}{\text{Encoding bandwidth}},$$

编码效率 η 反映了编解码器在编码带宽内携带多大编码信息的能力, η 越大,表示在相同编码带宽内承载了更长的码字,当然频谱利用率就越高。

图 2 为研究编解码性能的仿真模型。基于该仿真模型,仿真分析了两种波长漂移的情形:1)光源的中心波长与编解码器发生漂移;2)在光源波长稳

表 1 光源中心波长发生漂移光源及编解码器参数

Table 1 Parameters of optical sources and en/decoders when CW of optical sources deviate from those of en/decoders

Optical source			En/Decoder			
Pulse shape	Pulse width /ps	CW /nm	Code type	Code size	CW /nm	BW /nm
1st order Gauss pulse	2.5~5.5 (step=1)	Tunable	Gold	31/63/127	1546	5

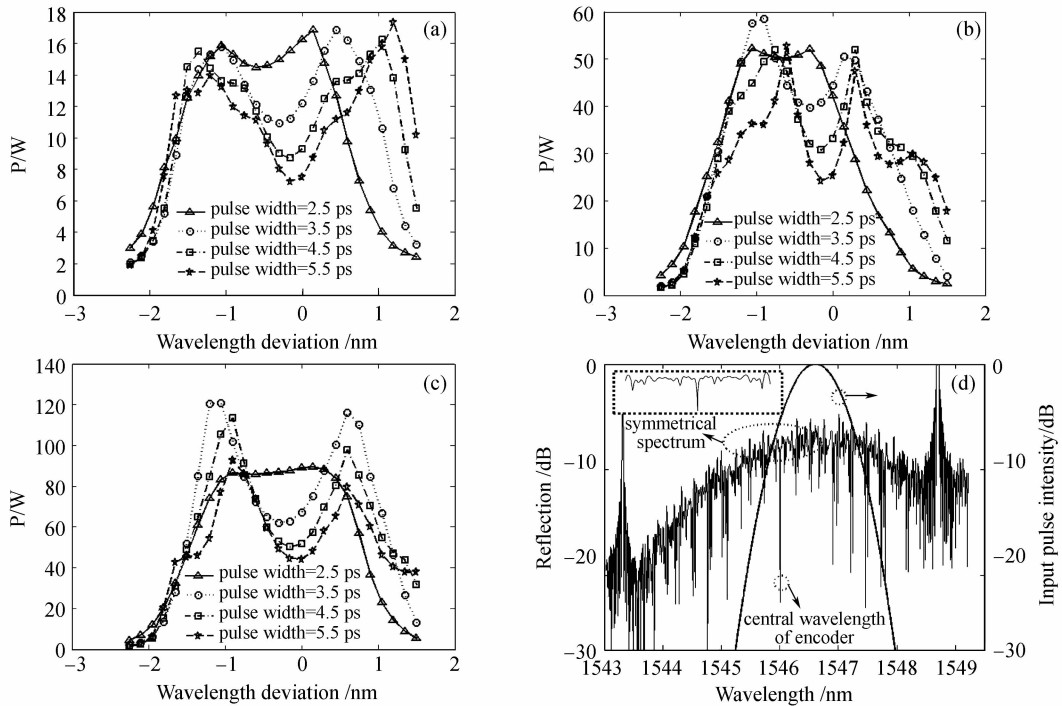


图 3 光源谱偏移编解码器谱时的解码性能(P/W)变化。(a) 31 位码字;(b) 63 位码字;(c) 127 位码字;(d) 光源偏移编码器的频谱

Fig. 3 Performance (P/W) versus wavelength deviation between optical source and en/decoder. (a) 31-chip code; (b) 63-chip code; (c) 127-chip code; (d) spectrum of optical source and encoder

仿真结果如图 3 所示,从结果可以看出,编解码器对光源的 WDT 在 2 nm 左右,这是一个很大的值,远远大于目前激光器的波长控制精度,这说明,这种情况下的波长漂移对编解码器性能的影响是比较弱的。

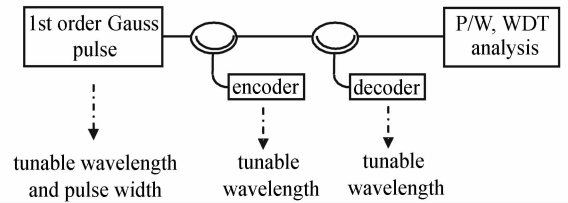


图 2 仿真模型

Fig. 2 Model of simulation

定的前提下,编码器谱与解码器谱发生漂移。

3.1 光源的中心波长与编解码器发生漂移

这种情况下,假设编解码器之间的频谱是严格对准的,而光源的中心波长(CW)发生漂移,光源及编解码器的仿真参数如表 1 所示。

高,这个现象通过仔细分析一个编码器频谱的细节容易得出结论。图 3(d)是一个码长为 127 位的编码器的频谱,可以发现,频谱是关于编码中心波长对称的,这与频谱也就是时域的傅氏变换是关于某个频率对称的这一结论相吻合,因此,体现在编解码器反射谱里的编码信息(码字)也是关于中心波长对称的。也就是说,在编码带宽内,中心波长任何一侧的反射谱已经能够包含所有的编码信息,那么当较窄的光源频谱覆盖编解码器频谱时,只有偏移光源中心波长才能较完全地包含所有编码信息,获得较高

表 2 编码带宽相同前提下光源及编解码器参数

Table 2 Parameters of optical sources and en/decoders under the same BW condition

Optical source			En/Decoder			
Pulse shape	Pulse width /ps	CW /nm	Code type	Code size	CW /nm	BW /nm
1st order Gauss pulse	3~14 (step=1)	1546	Gold	31/63/127	Tunable	5

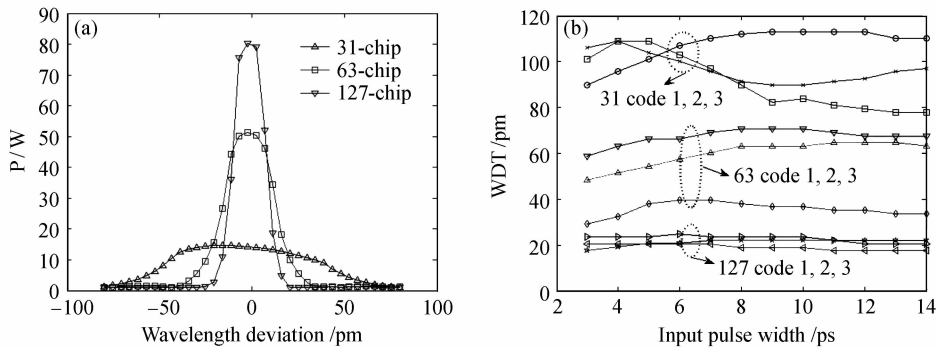


图 4 编解码器之间的频谱偏移导致性能的变化。(a) 自相关峰旁瓣比;(b) 波长偏移容忍度随光源脉宽的变化

Fig. 4 Performance versus wavelength deviation between encoder and decoder. (a) P/W; (b) WDT versus input pulse width

编解码器之间的频谱偏移导致 P/W 的变化,很明显,码字越长,虽然零波长偏移时的 P/W 越高,但是,对波长偏移的容忍度是越低的,31 位编解码器的 WDT 明显大于 127 位的。(b)表示 31/63/127 位的编解码器的 WDT 随入射高斯脉冲的脉宽(FWHM)的变化,其中 31 位的编解码器的 WDT 大约为 100 pm,63 位的 WDT 大约为 50 pm,127 位的 WDT 大约为 20 pm。这说明,编码带宽固定时,码长越高,编码效率(码长与编码带宽的比值)越高,WDT 值越低,并且 WDT 与码长大致呈线性反比例关系,同时,从仿真结果(b)还可看出,即使对于同

表 3 编码效率相同前提下光源及编解码器参数

Table 3 Parameters of optical sources and en/decoders under the same encoding efficiency condition

Optical source			En/Decoder						
Pulse shape	Pulse width /ps	CW /nm	Team@ η_1 /nm		Team@ η_2 /nm		Team@ η_3 /nm		
			BW ₃₁	BW ₆₃	BW ₃₁	BW ₆₃	BW ₁₂₇	BW ₆₃	BW ₁₂₇
1st order Gauss pulse	3~16 (step=1)	1546	5.4	10.8	2.7	5.4	10.8	2.7	5.4

解码性能。因此这对于研究光源与编解码器之间的匹配问题具有一定的参考价值。

3.2 编码器谱与解码器谱发生漂移

这种情况下,假定光源波长保持稳定,编码器和解码器的频谱发生漂移,对四种情形进行仿真分析。

3.2.1 不同码长,相同编码带宽

针对采用 31/63/127 位 Gold 序列的编解码器,仿真分析了编码带宽(BW)相同的前提下编解码器之间波长漂移的影响。仿真参数如表 2 所示。

仿真结果如图 4 所示,(a)表示 31/63/127 位的

一码长而言,所选的地址码不同,会导致解码性能的 WDT 不同。

3.2.2 不同码长,相同编码效率

仍然针对采用 31/63/127 位 Gold 序列的编解码器,仿真分析了 3 组编码效率相同的前提下波长漂移的影响。具体仿真参数如表 3 所示。

仿真结果如图 5 所示,处于同一个虚线圈内的曲线表示不同码长、同一个编码效率,从结果可以看出,如果排除不同码字造成的 WDT 差异这一因素,编码效率相同的编解码器的 WDT 值也较为接近,这与 3.2.1 节的结论是吻合的。

表 4 相同码字,不同编码效率下光源及编解码器参数

Table 4 Parameters of optical sources and en/decoders under the same code, different encoding efficiency conditions

Optical source			En/Decoder							
Pulse shape	Pulse width /ps	CW /nm	31-chip /nm		63-chip /nm			127-chip /nm		
			BW	BW'	BW	BW'	BW''	BW	BW'	BW''
1st order Gauss pulse	3~14 (step=1)	1546	5.4	10.8	2.7	5.4	10.8	2.7	5.4	10.8

表 5 不同折射率调制深度下光源及编解码器参数

Table 5 Parameters of optical sources and en/decoders under different refractive index modulation intensity conditions

Optical source				En/Decoder			
Pulse shape	Pulse width /ps	CW /nm	Code type	Code size	CW /nm	BW /nm	$\Delta n / \times 10^{-5}$
1st order Gauss pulse	3~16 (step=1)	1546	Gold	63	Tunable	5	10/50/80

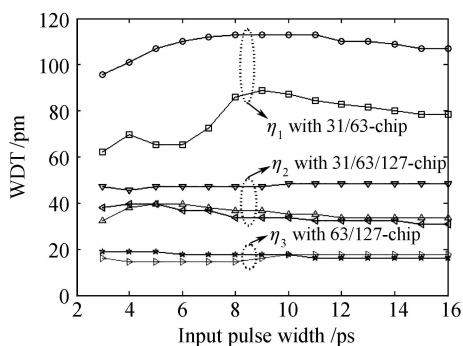


图 5 3组编码效率相同而码长不同波长漂移的影响

Fig. 5 Effects of wavelength deviation with 3 teams of the same encoding efficiency but different code size

3.2.3 不同编码效率,相同码字

针对采用 31/63/127 位的 Gold 序列的编解码器,仿真分析了对于同一码字而编码效率不同的情形下波长漂移的影响。具体仿真参数如表 4 所示。

仿真结果如图 6 所示,从结果可以看出,虽然采用的地址码字相同,但编码带宽不一样,其 WDT 会不一样,并且 WDT 基本上与编码效率呈线性反比关系。

3.2.4 不同折射率调制深度,相同码字,相同带宽

针对采用 63 位的 Gold 序列的编解码器,仿真分析了不同折射率调制深度下波长漂移的影响。具体仿真参数如表 5 所示。

仿真结果如图 7 所示,可以看出,折射率调制深度不同,WDT 值有一些细小的差别,但是影响不是很大。

4 结 论

仿真分析了不同码字、不同码长、不同编码带宽、不同编码效率、不同折射率调制深度等各种情况下的时域相位编解码器对波长漂移的容忍度,仿真结果表明,编码效率是影响 WDT 的一个重要因素,编码效率越高,WDT 值就越小,反之亦然。这说明

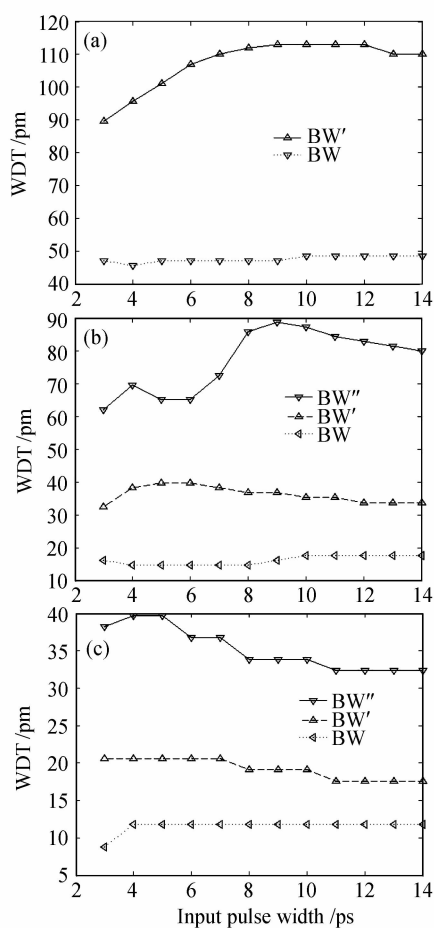


图 6 同一码字、不同编码效率波长漂移的影响

(a) 31 位码字;(b) 63 位码字;(c) 127 位码字

Fig. 6 Effects of wavelength deviation under different coding efficiencies and same code. (a) 31-chip code; (b) 63-chip code; (c) 127-chip code

编码效率与 WDT 是一对矛盾,同时,在同一编码效率的前提下,采用的码字不同,折射率调制深度不同,也会引起 WDT 的一定差异。因此在设计编解码器器件时,需要综合考虑上述因素以使编解码性能最优化,同时,根据仿真分析的方法和结果,在对作为编解码器的光纤光栅进行封装时,波长偏移容

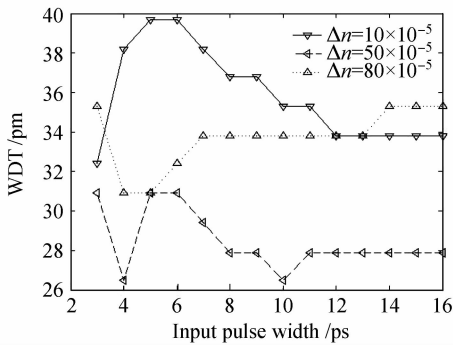


图 7 不同折射率调制深度下波长漂移的影响

Fig. 7 Effects of wavelength deviation under different refractive index modulation intensities

忍度可以作为一个重要的参考量值;在对整个系统优化设计研究光源与编解码器的匹配问题时,3.1节的结论具有一定的参考意义。

参 考 文 献

- 1 P. Chiong Teh, Periklis Petropoulos, Morten 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
- 2 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
- 3 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
- 4 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
- 5 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
- 5 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
- 6 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
- 6 Zhu Yingxun, Wang Rong, Pu Tao. Fiber Bragg grating based time phase en-decoder with multiple wavelength channels [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(11):1522~1526
- 6 朱英勋,王荣,蒲涛. 具有多个波长通道的光纤光栅相位编/解码器[J]. *中国激光*, 2007, **34**(11):1522~1526
- 7 Lu Lin, Wu Weilei, Fang Tao *et al.*. 2.5 Gbit/s 60 km optical code division multiple access transmission experiment based on equivalent phase shift super structured fiber Bragg grating en/decoder [J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(3):418~421
- 7 卢麟,吴伟磊,方涛等. 基于等效相移超结构光纤光栅编解码器的2.5 Gbit/s 60 km 光码分多址传输实验[J]. *中国激光*, 2008, **35**(3):418~421
- 8 X. Wang, Koji Matsushima, Akihiko Nishiki *et al.*. High reflectivity superstructured FBG for coherent optical code generation and recognition [J]. *Opt. Express*, 2004, **12**(22):5461~5465
- 9 Zheng Jilin, Wang Rong, Pu Tao *et al.*. Effects of source duty ratio on performance of OCDMA encoders/decoders [J]. *Optoelectronic Technology*, 2007, **27**(1):8~11
- 9 郑吉林,王荣,蒲涛等. 光源占空比对 OCDMA 编解码器性能的影响[J]. *光电子技术*, 2007, **27**(1):8~11
- 10 Fang Tao, Li Yuquan, Wang Rong. Study of pulse width effect on performance of optical code-division-multiple-access en/decoder [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(11):1939~1943
- 10 方涛,李玉权,王荣. 脉宽对光码分多址编解码器性能的影响[J]. *光学学报*, 2007, **27**(11):1939~1943
- 11 Jiang Ying, Pang Cuizhu, Chen Genxiang *et al.*. The characteristic of the fiber Bragg wavelength along the change of temperature and stain and its compensation [J]. *Optical Communication Technology*, 1999, **23**(3):213~216
- 11 蒋英,庞翠珠,陈根祥等. 光纤光栅布喇格波长随温度和应力的变化特性及其补偿[J]. *光通信技术*, 1999, **23**(3):213~216