

文章编号: 0253-2239(2007)11-1939-6

脉宽对光码分多址编解码器性能的影响*

方 涛 李玉权 王 荣

(解放军理工大学通信工程学院电信工程系, 南京 210007)

摘要: 光码分多址系统中, 光编解码是影响系统性能的关键因素之一。给出了低折射率相移超结构光纤光栅 (SSFBG) 光码分多址编解码器的数学模型, 采用自相关峰旁瓣比 (P/W)、自互相关峰比 (P/C) 两个参量作为衡量编解码器性能的主要指标, 仿真研究了不同脉宽及不同光栅 (码片) 长度条件下超结构光纤光栅编解码器的性能, 得到了编解码器的 P/W 、 P/C 随输入脉冲宽度及编解码器长度的变化曲线。从对编解码器性能仿真分析的结果可以看出, 当光源脉宽与编解码器的长度满足一定的匹配条件时, 可获得较理想编解码效果, 即可以根据输入脉冲的宽度来选择长度合适的编解码器, 从而获得较好的系统的性能。

关键词: 光通信; 光码分多址; 超结构光纤光栅; 脉宽; 编解码器

中图分类号: TN914.53 文献标识码: A

Study of Pulse Width Effect on Performance of Optical Code-Division Multiple-Access En/Decoder

Fang Tao Li Yuquan Wang Rong

(Department of Telecommunications Engineering, Institute of Communications Engineering,
PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007)

Abstract: Optical en/decoder is one of the key factors affecting the performance of optical code-division multiple-access (OCDMA) system. The mathematical model of OCDMA en/decoder based on phase-shifted superstructured fiber Bragg grating (SSFBG) with low reflectivity is presented, and the performance of SSFBG en/decoder is investigated with different input pulse width as well as grating chip length. Here, the auto-correlation ratios of P_A to the maximum wing level (P/W) and cross-correlation level (P/C) are used to quantitatively evaluate the en/decoder performance, and the curves of the relationship between P/W , P/C and pulse width as well as the grating chip length are obtained. From the analysis of simulation result, we can see when the pulse width and grating chip length meet some condition, optimum en/decode performance can be obtained, namely, an appropriate grating chip length en/decoder can be selected according to input pulse width, which can result in a better system performance.

Key words: optical communication; optical code-division multiple-access; superstructured fiber Bragg grating; pulse width; en/decoder

1 引 言

网络业务的迅猛增长对光传输系统和网络的容量及功能提出了更高的要求。光波分复用 (WDM)、光时分复用 (OTDM) 及二者的结合为高速大容量传输提供了较好的解决方案; 光码分多址 (OCDMA) 技术则可实现多用户同时分享同一光传输介质、异步接入网络系统, 在提高网络的安全性、灵活性、适用性等方面有其独特的优势, 并正在

成为下一代光网络接入技术的有力竞争者^[1~10]。

影响光码分多址系统性能的因素很多, 其中编/解码方案及其相应码字的选择又是光码分复用的关键所在。选择好的编/解码方案及自互相关特性相对理想码字是提高编解码性能、改善系统的整体性能, 增加系统容量关键因素^[2~5, 9]。然而, 在选定编/解码方案及地址码的同时, 脉冲光源对编解码器的性能有一定的影响, 本文针对采用相移超结构

* 国家自然科学基金 (60502003, 60472007) 资助课题。

作者简介: 方 涛 (1978—), 男, 湖北人, 讲师, 主要从事光通信方面的研究。E-mail: juence@163.com

收稿日期: 2007-02-05; 收到修改稿日期: 2007-05-24

光纤布拉格光栅 (SSFBG) 的编解码器, 选用 Gold 码字, 分析仿真了脉冲宽度及码片长度对编解码器性能(自相关峰旁瓣比 P/W , 自互相关峰比 P/C) 的影响, 并得出相应结论。

2 超结构光纤布拉格光栅及相关编/解码理论模型

超结构光纤光栅是一种折射率调制分布沿长度缓慢变化的光纤布拉格光栅, 也叫取样光栅, 即对均匀光栅按照一定的规律在空间上进行采样。相移超

结构光纤光栅是在超结构光纤光栅中不同段间插入相移, 相移的值取决于所采用的编解码方式及地址码的比特模式, 如图 1 所示, 当光脉冲注入后, 相移超结构光纤光栅可以产生一系列相干光脉冲, 这些脉冲的相位则取决于超结构光纤光栅中相移模式。采用超结构光纤光栅可以方便地实现双极性编码, 编码后的比特极性由光脉冲的相位来反映, 相对于单极性编码, 双极性编码能降低通道间(多用户)串扰, 增加用户数, 提高频谱效率^[11]。

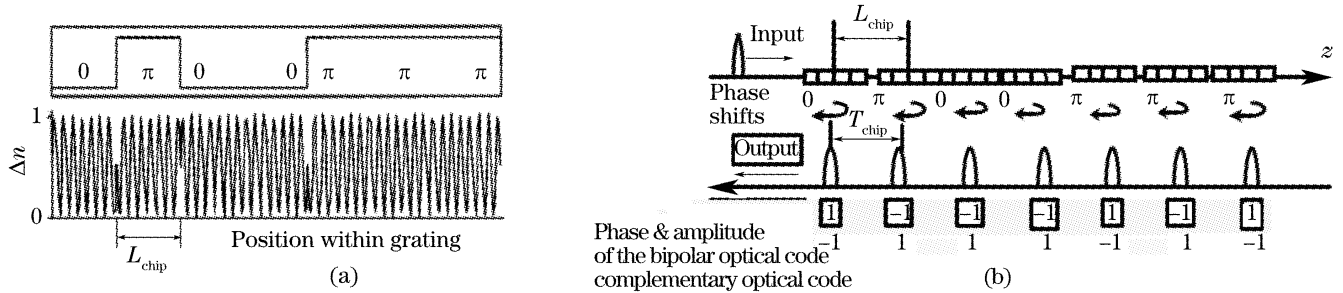


图 1 相移超结构光纤光栅的结构(a)及相位编码原理(b)

Fig. 1 Structure of superstructured fiber Bragg grating with phase shifts (a) and principle for phase encoding (b)

对于低反射率均匀超结构光纤光栅, 光脉冲可以穿透整个光栅, 每一段光栅的反射响应大至相同^[5,6], 波矢量响应 $F(k)$ 可简单表示为空间超结构折射率调制分布函数 $A(x)$ 的傅里叶变换^[6]:

$$F(k) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} A(x) \exp(jkx) dx, \quad (1)$$

这里 $A(x) = S(x)\Delta n(x)$, 其中 $S(x)$ 为取样函数, $\Delta n(x)$ 即布拉格光栅的折射率调制函数:

$$\Delta n(x) = \Delta n[1 + \cos(2\pi x/\Lambda)] \text{rect}(x/l), \quad (2)$$

$l = N_{\text{chip}} \cdot L_{\text{chip}}$ 为光栅长度, N_{chip} 为码片数(或取样个数), L_{chip} 为码片长度, Λ 为布拉格波长。对于图 1 所示的光栅, 折射率调制分布函数为

$$A(x) = \Delta n[1 + (-1)^{P_s(C)} \cos(2\pi x/\Lambda)] \cdot \text{rect}(x/l), \quad (3)$$

C 为所采用的地址码, $P_s(C)$ 为与地址码相关的函数, 取值为 0, 1, 它决定了折射率调制的相移。而波矢量 k 正比于光频率 ω , 即 $k = N_{\text{eff}}\omega/c$, N_{eff} 为光栅的等效折射率。由(1)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反变换:

$$h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} H(\omega) \exp(-j\omega t) d\omega. \quad (4)$$

当光脉冲 $x(t)$ 由光栅反射(编解码)后, 其时域及频域结果分别为

$$y(t) = x(t) * h(t), \quad (5)$$

$$Y(\omega) = X(\omega)H(\omega), \quad (6)$$

$Y(\omega)$, $X(\omega)$ 和 $H(\omega)$ 分别对应于 $y(t)$, $x(t)$ 和 $h(t)$ 的傅里叶变换。

在实际的系统中, 由于器件和传输信道的限制, 光码分多址码字中的每个脉冲都不能是方形的理想脉冲, 通常用一阶高斯脉冲来描述一个实际的脉冲波形:

$$x(t) = S_{\text{pulse}} = \exp\left[-\frac{\ln 2}{2} \left(\frac{2t}{T_{\text{FWHM}}}\right)^2\right], \quad (7)$$

其中 T_{FWHM} 是脉冲的半峰全宽, 表示脉冲的有效持续时间, 在 $t = \pm T_{\text{FWHM}}/2$ 处, 功率是脉冲最大功率的一半。

假设地址码序列 $C1$ 对应的编解码器的冲激响应分别为 $h_1(t)$, $h'_1(t)$, 相应的频响为 $H_1(\omega)$, $H'_1(\omega)$, 经 $C1$ 编解码器后自相关解码结果(时域 r_{auto} , 频域 R_{auto})为

$$r_{\text{self}}(t) = x(t) * h_1(t) * h'_1(t), \quad (8)$$

$$R_{\text{self}}(\omega) = X(\omega)H_1(\omega)H'_1(\omega). \quad (9)$$

由(3)式、(7)式可知改变编解码器的结构 L_{chip} 或脉冲宽度 T_{FWHM} , 将对应不同编解码结果, 同时影响编解码器的性能。

3 编解码性能仿真分析

在无线码分多址中, 电域的解码过程采用的是一种周期相关运算处理(循环卷积), 如(10)式所示,

其中 $\{a_i\}$ 、 $\{b_i\}$ 是所使用的两个码字, 并且 $a_i = a_i + N$, N 为码长, 因此对于所选的扩频序列要求有较好的周期自互相关特性; 在光码分多址中, 基于超结构光纤光栅的相位编/解码器采用的是相干编/解码方案, 而相邻光脉冲是非相干的, 所以解码处理是非周期相关运算(线性卷积), 对应(10)式中的 a_i 应满足当 $i > N$ 时, $a_i = 0$, 因此所选用的码字应具有较好的非周期自互相关特性:

$$C(k) = \sum_{i=1}^N a_i b_{i+k} \begin{cases} a = b & \text{auto-correlation} \\ a \neq b & \text{cross-correlation} \end{cases} \quad (10)$$

如文献[5]中所述, 根据不同的非周期自互相关标准, 从同一码字族的 Gold 码中选出几个字集, 这些码字具有较好自互相关特性, 适用于光码分多址, 即

作为光码(OC); 并用自相关峰旁瓣比(P/W)、自互相关峰比(P/C)两个参量来表示码字自互相关特性, 127 位 Gold 序列光码子集选择情况如表 1 所示。

这里也采用 P/W 、 P/C 作为衡量编解码器性能的主要指标, 随机选用某个字集中两组 127 位的 Gold 序列 C1、C2 作为地址码, 采用这两个码字的超结构光纤光栅编解码器则包含 $N_{\text{chip}} = 127$ 个长度为 $L_{\text{chip}} = cT_{\text{chip}}/(2n)$ 的光栅段, 这里 c 为真空中光速, T_{chip} 为地址码的码片时长, n 为光栅的等效折射率, 当 $n = 1.45$, $T_{\text{chip}} = 6$ ps 即 $L_{\text{chip}} = 0.62$ mm, $\Delta n = 5 \times 10^{-6}$ 时, 所选码字及相对应的超结构光纤光栅编解码器的反射谱如图 2 所示。

表 1 127 位 Gold 序列光码子集

Table 1 Selection of OC subsets from 127-chip Gold codes

127-chip Gold code (total 129 codes)	$P/C >$		17.9					20.5	
	$P/W >$	Number of codes	17.9	30	35	38	42	35	38
		129	110	82	71	48	22	29	19

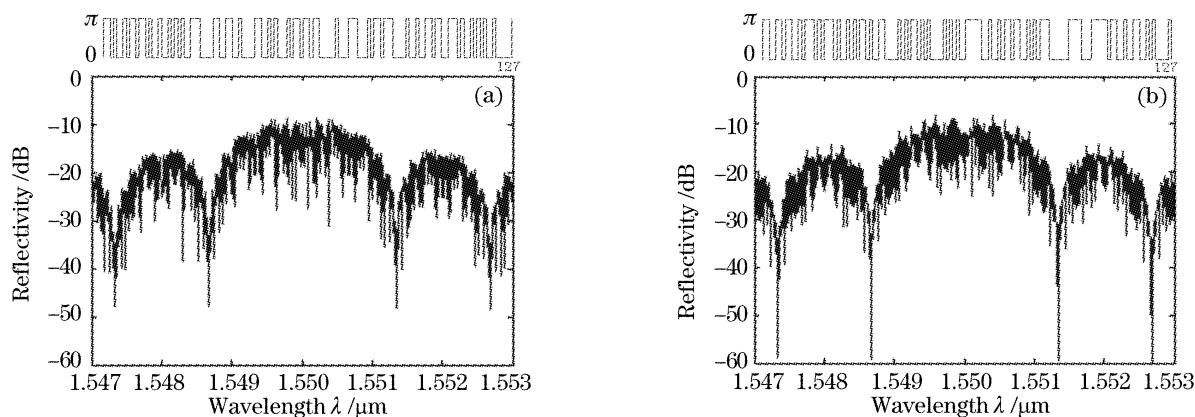


图 2 127 位 Gold 序列及所对应的超结构光纤光栅编解码器反射谱

Fig. 2 Selected 127-chip gold codes and corresponding calculated reflection spectra of SSFBG encodes

图 3 为研究光编解码器相关特性的仿真模型, 假设脉冲光源产生的光脉冲为高斯型, 如(7)式所示, 不同宽度($T_{\text{FWHM}} = 2$ ps, 4 ps, 6 ps, 8 ps)的脉

冲所对应的谱如图 4 所示。如果不考虑各个光器件的损耗, 经解码器后自相关解码结果可以用(8)式、(9)式表示; 若地址码序列 C2 对应的编解码器

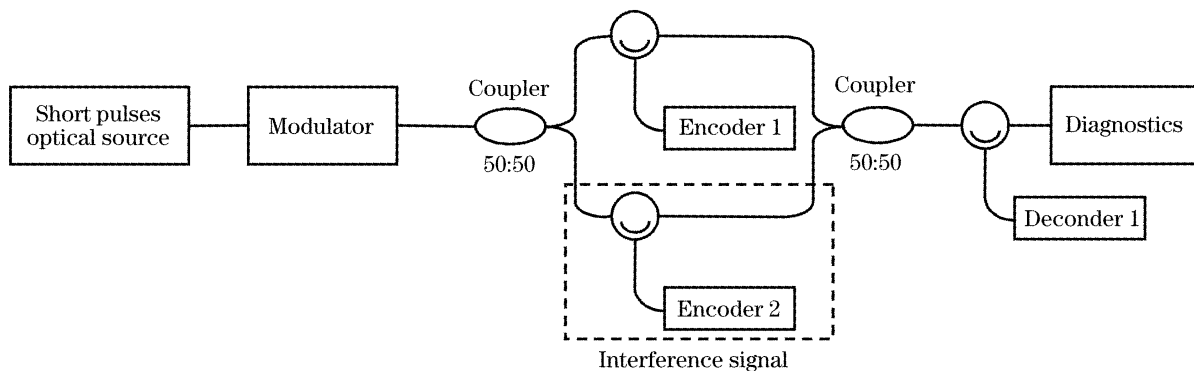


图 3 编解码系统仿真模型

Fig. 3 Simulation model of en/decoding system

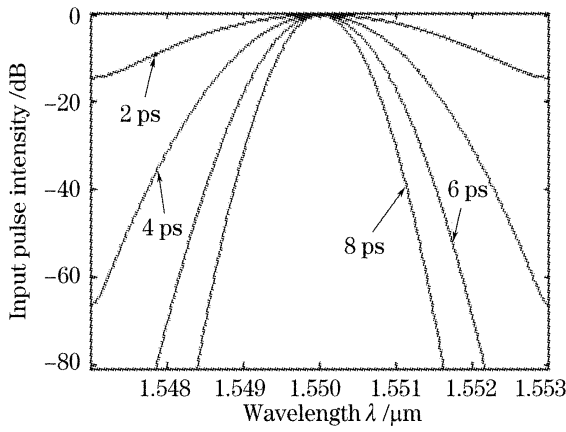


图 4 不同宽度高斯脉冲的频谱

Fig. 4 Spectra of Gauss pulse with different pulse width (Encoder2) 的冲激响应为 $h_2(t)$, 相应的频响为 $H_2(\omega)$, 经解码器后互相关解码结果可表示为

$$r_{\text{cross}}(t) = x(t) * h_2(t) * h_1'(t), \quad (11)$$

$$R_{\text{cross}}(\omega) = X(\omega)H_2(\omega)H_1'(\omega). \quad (12)$$

根据仿真结果 $r_{\text{self}}, r_{\text{cross}}$ 即可得到相应的 P/W ,

P/C 。结果表明在选定编解码器时,即 T_{chip} 不变,采用的光源脉冲宽度越窄,对应的编解码效果越好 ($P/W, P/C$ 的值越大),如图 5 所示编解码器确定时 $P/W, P/C$ 随脉宽变化的情况;而当选定某一确定光源后,即光脉冲的宽度 T_{FWHM} 不变, $P/W, P/C$ 的值随码片长度的变化并不是对应单调递增或递减的关系,如图 6 所示 $P/W, P/C$ 随 T_{chip} 变化的情况,结果表明,当脉宽确定时,我们可以找到一个合适的 T_{chip} (或 L_{chip}),使得 P/W 值较大,同时使得 P/C 的值相对较大,使用与之对应的超结构光纤光栅编解码器时,可以得到相对理想的编解码效果。选取表 1 中所述的不同码字进行仿真研究,仍可以得到相同的结论,图 7 则是对采用 10 个不同的地址码仿真平均后所得到的一个统计结果,近似量化了当光源脉宽 T_{FWHM} 确定后如何选择相对应编解码器的参量 T_{chip} ,从而使得编解码的效果(综合考虑 $P/W, P/C$)最佳。

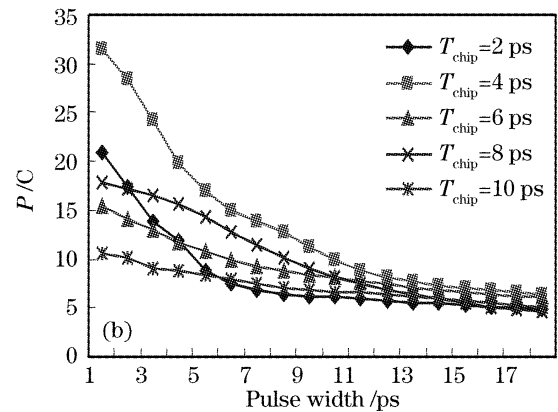
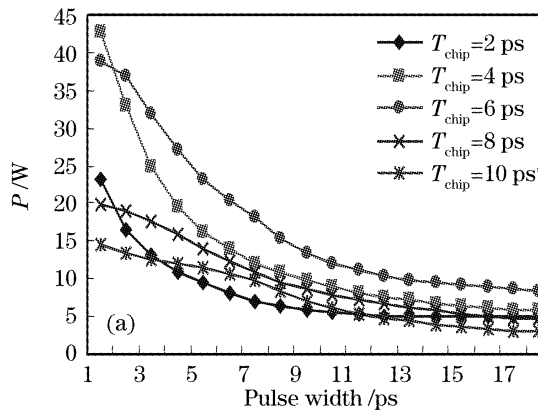


图 5 采用不同脉宽时编解码器的性能

Fig. 5 Performance of en/decoder with different input pulse width

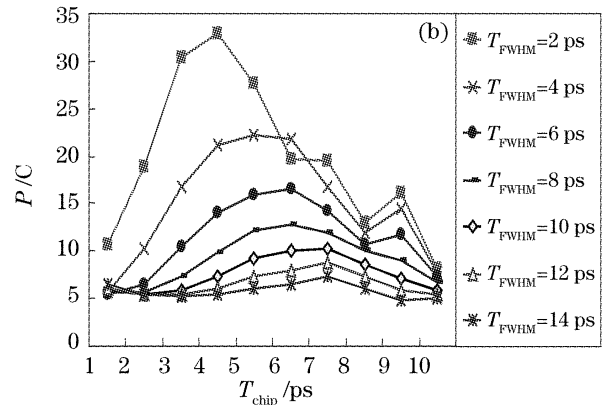
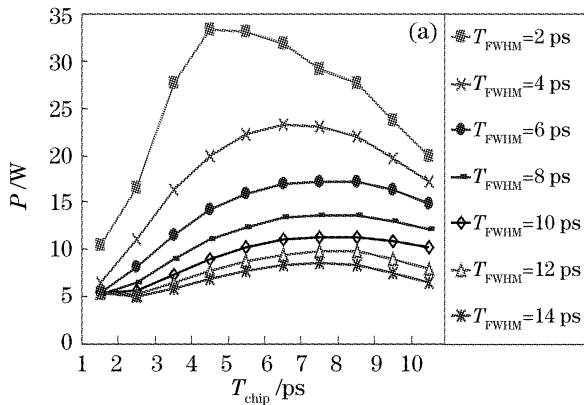


图 6 脉宽确定时不同 T_{chip} 编解码器的性能

Fig. 6 Performance of en/decoder with different T_{chip}

在编解码器的 T_{chip} 值不变时,虽然采用更窄的脉冲能得到更好的相关特性,但过窄的脉冲对应过宽的频谱,将导致在编解码过程降低波长资源的频率效率,即在实际系统的应用时导致能量损失,则接

收端的光功率减小。光通信中采用的是功率检测,因此只是有较好的 $P/W, P/C$ 结果而光功率过小的话,同样不利于接收判决,所以在选择脉冲源和编解码器时应该采用一个折中方案。如图 8 所示,为了获

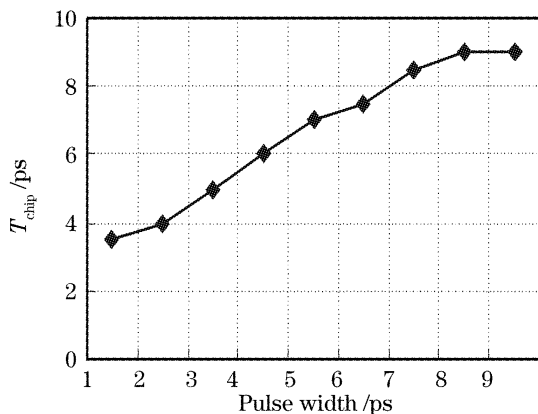


图 7 脉宽确定时所对应的最佳码片长度

Fig. 7 Optimum T_{chip} corresponding to certain pulse width 得较高的波长资源频率效率,在实际应用中应充分利用编解码器中心波长附近的两个零点之间的谱(这里暂称为主级)进行编解码,即虚框内的部分,图中编码器的反射谱对应的 T_{chip} 为 7 ps,当脉冲宽度较小时(如图 8 中 3 ps),脉冲的有效谱宽大于编码器的主级谱宽,即脉冲有效谱宽范围内所对应的编解码器的反射谱有多个零点,则光源的能量(谱)利用得不充分;而当脉冲宽度过大(如图 8 中 10 ps),编码器的主级谱则没有完全参与编码,即编码器的频谱效率低,从而降低了编码器的性能;选择合适的脉宽(如图 8 中大约 6 ps 左右),光源的波长资源以及编解码器的频谱资源都能得到充分的利用,由图 6、图 7 的结果可知当脉宽为 6 ps 时,采用 T_{chip} 为 7~8 ps 的编码器时性能相对最佳,这也基本上与上述折中方案相吻合。

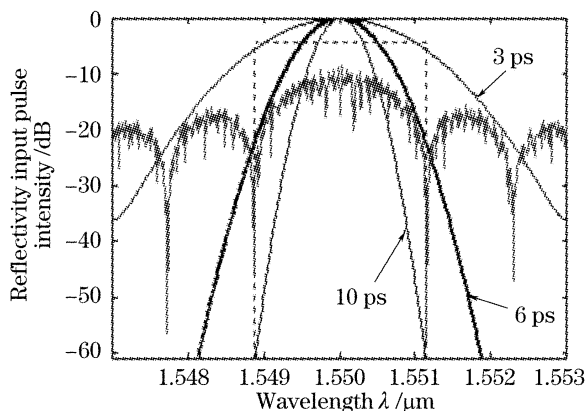


图 8 不同宽度脉冲的谱与编解码器的反射谱
Fig. 8 Spectra of pulses with different width and reflectivity spectra of en/decoder

4 结 论

在光码分多址系统中,选择一个好的编解码方案至关重要,在编解方案相对固定时,光源的选择与编解码器是否匹配也同时对编解码器及整个系统的

性能有较大影响。通过对采用 127 位 Gold 序列的超结构光纤光栅编解码器仿真分析,得知当选用固定的光源或编解码器时,能够找到与之“最佳”匹配的编解码器或光源,即当编解码的频谱资源和光脉冲波长资源都得到充分利用时,性能相对“最佳”。目前,窄脉冲激光器的技术实现相对困难,即在实验和应用中所能选用的光源相关参量(如脉宽)相对比较固定,而超结构光纤光栅的制作具有较好的灵活性,在制作过程中通过选用不同的掩模板,可以得到所需光栅,即根据光源的特性来确定光栅制作中所要选定的关键参量;而当编解码器的结构相对固定,通常编解码器的谱宽较宽,在满足充分利用光源波长资源的前提下,则可以尽可能选择较窄的脉冲光源,以提高编解码的性能。本文的结论有较为重要的实践指导意义。

参 考 文 献

- 1 Wei Huang, M. H. M. Nizam, I. Andonovic *et al.*. Coherent optical CDMA (OCDMA) systems used for high-capacity optical fiber networks-system description, OTDM comparison, and OCDMA/WDMA networking [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2000, **18**(6): 765~778
 - 2 J. A. Salehi. Code division multiple-access techniques in optical fiber networks-Part I: fundamental principles [J]. *IEEE Transactions on Communications*, 1989, **37**(8): 824~833
 - 3 J. A. Salehi, C. A. Brackett. Code division multiple-access techniques in optical fiber networks-Part II: System performance analysis [J]. *IEEE Transactions on Communications*, 1989, **37**(8): 834~842
 - 4 W. C. Kwong, G. C. Yang. Design of multilength optical orthogonal codes for optical CDMA multimedia networks [J]. *IEEE Transaction on Communications*, 2002, **50**(8): 1258~1265
 - 5 Xu Wang, Koji Matsushima, Akihiko Nishiki *et al.*. High reflectivity superstructured FBG for coherent optical code generation and recognition [J]. *Opt. Exp.*, 2004, **12**(22): 5457~5468
 - 6 Peh 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
 - 7 Taro Hamanaka, Xu Wang, Naoya Wada *et al.*. Ten-user truly asynchronous gigabit OCDMA transmission experiment with 511-chip SSFBG en/decoder [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2006, **24**(1): 95~102
 - 8 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 (in Chinese)
 - 9 Yang Shuwen, Pu Tao, Xu Ming *et al.*. Research of algebraic congruent codes used in two-dimensional code division mutiaddress system [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(2): 225~229 (in Chinese)
- 杨淑雯,蒲涛,徐铭等.用于二维光址分多址系统的代数同

- 余码研究[J]. 光学学报, 2004, **24**(2): 225~229
- 10 Zhang Qi, Yu Chongxiu, Xu Daxiong *et al.*. Experiment research of multi-rate optical code division multiple access system based on linearly combined code[J]. *Chin. J. Lasers*, 2006, **33**(5): 626~630 (in Chinese)
- 张琦, 余重秀, 徐大雄等. 基于线性组合码的多速率光码分多

- 址接人系统[J]. 中国激光, 2006, **33**(5): 626~630
- 11 Zhang Chongfu, Qiu Kun. Investigation on application of optical code division multiple access system with bipolar codes[J]. *Chin. J. Lasers*, 2005, **32**(6): 820~824 (in Chinese)
- 张崇富, 邱昆. 光码分多址系统中双极性码的应用研究[J]. 中国激光, 2005, **32**(6): 820~824

欢迎成为《中国光学期刊网》企业会员

中国光学期刊网(<http://www.opticsjournal.net>)是由中科院上海光学精密机械研究所主办、国内光学期刊界共同参与建设的光学期刊网络信息发布平台。自2004年5月开通以来,得到了广大科研工作者、企事业单位人士的好评。

为进一步提高服务水平,中国光学期刊网从2006年起在信息服务上实行会员制度,凡光电子、激光、光通信等相关的企业均可申请成为中国光学期刊网的企业会员,中国光学期刊网将为企业会员提供优质超值的专业服务。

一、会员企业享受的服务包括:

- 1) 企业名称在中国光学期刊网首页的会员企业栏目中出现,并链接到企业自己的网址。
- 2) 会员企业可获赠光学类期刊一份,全年12册,在《中国激光》《光学学报》《激光与光电子学进展》《Chinese Optics Letters》中任选一种。
- 3) 可免费在本站“特别推荐”栏目发布文字信息(含广告)10条,每篇不过2000字。
- 4) 如在中国光学期刊网发布广告,可享受广告报价的80%优惠。
- 5) 优先或免费参加光学期刊网组织的各类学术和业务活动。
- 6) 可免费阅读本网站期刊全文300篇次。

二、会员义务:

- 1) 注册时向中国光学期刊网递交企业真实信息。
- 2) 每年交纳会员费2800元,会员资格从交费之日起计算,一年有效。
- 3) 不得将中国光学期刊网提供给会员的信息转给第三方使用。
- 4) 尊重并保护本网及论文作者的知识产权。
- 5) 在本网发布信息必须遵守中华人民共和国相关法律法规。

三、成为企业会员的步骤:

- 1) 注册成为中国光学期刊网的一般用户,也可以直接填写广告投放申请表单,说明您的意向。
- 2) 来信 mail@opticsjournal.net 告知您已经注册成功。并请告知选择何种期刊及收刊地址、联系人。
- 3) 银行汇款2800元至下列帐户:
 开户行:工商银行上海嘉定支行营业部 户名:中国科学院上海光学精密机械研究所
 帐号:1001700809026400195
- 4) 联系人:郑继承;电话:021-69918253;Email:expert@mail.siom.ac.cn