

文章编号: 0253-2239(2008)08-1434-07

利用遗传算法优化线性啁啾光栅性能

吕 博^{1,2} 龚桃荣^{1,2} 许 鸥^{1,2} 鲁韶华^{1,2} 张 峰^{1,2} 秦 曦^{1,2} 曹继红^{1,2} 王目光^{1,2}
张建勇^{1,2} 简水生^{1,2}

(¹ 全光网络与现代通信网教育部重点实验室, 北京 100044; ² 北京交通大学光波技术研究所, 北京 100044)

摘要 针对制作可用于 40 Gb/s 全光色散补偿的宽带线性啁啾光栅时出现带内群时延纹波波动较大等问题, 提出了一种通过设计和改变切趾函数的参量来优化线性啁啾光栅的新方法。该方法实现简单, 只需根据需要设计具有不同滚降特性的切趾函数, 同时利用遗传算法来优化切趾参量, 结合传输矩阵法经过 200 代获得了低带内时延纹波的线性啁啾光栅。数值结果验证了采取非对称分段切趾法在保持反射谱宽和平坦性的同时可以抑制带内群时延纹波的优越性。利用该方法制作了反射谱工作带宽为 1.06 nm、时延纹波不超过 45.60 ps、可用于大容量密集波分复用系统(DWDM)色散补偿的线性啁啾光纤光栅。

关键词 光通信; 线性啁啾光栅; 遗传算法; 切趾函数; 群时延纹波

中图分类号 TN929.11 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS20082804.1434

Performance Optimization of Linear Chirped Gratings Using Genetic Algorithm

Lü Bo^{1,2} Gong Taorong^{1,2} Xu Ou^{1,2} Lu Shaohua^{1,2} Zhang Feng^{1,2} Qin Xi^{1,2}
Cao Jihong^{1,2} Wang Muguang^{1,2} Zhang Jianyong^{1,2} Jian Shuisheng^{1,2}

(*Key Laboratory of All Optical Network & Advanced Telecommunication Network, Ministry of Education, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China*
Institute of Lightwave Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract The performance of linearly chirped gratings is optimized by designing and changing the parameters of apodization functions, aiming at some issues such as the unexpectedly fluctuating group delay ripple (GDR) in chirped fiber Bragg grating (CFBG) which are applied to achieving all-optical dispersion compensation in 40 Gb/s optical communications. This method is proposed by selecting some apodization functions with different roll-off characteristics, using genetic algorithm to optimize the apodizing parameters, and combining with transfer matrix method to gain the linearly chirped gratings with low group delay ripple after 200 generations. The numerical results validate the superiority that the ripple occurring in valid bandwidth of flat reflection spectrum can be restrained by adopting asymmetrically partial apodization. Moreover chirped Bragg grating fibers are fabricated of which reflection spectrum bandwidth of 1.06 nm and its delay ripple no more than 45.60 ps, and can be used in dense wavelength division multiplexing system (DWDM) with high capacity.

Key words optical communications; linearly chirped gratings; genetic algorithm; apodization function; group delay ripple (GDR)

1 引 言

线性啁啾光栅制成的色散补偿器件成本较低、相对带宽较宽、与现有传输系统兼容性好, 在多信

道、大容量密集波分复用(DWDM)传输系统的全光色散补偿方面具有广阔应用前景^[1]。啁啾光栅的优势在于补偿方式灵活可变、插入损耗小、带内噪声抑

收稿日期: 2007-12-04; **收到修改稿日期**: 2008-02-20

基金项目: 国家 863 计划(2007AA01Z258)和国家自然科学基金(60337010)资助课题。

作者简介: 吕 博(1981-), 男, 博士研究生, 主要从事全光交换网络、光传输以及全光信号处理等方面的研究。

E-mail: fengdieer_13@126.com

导师简介: 简水生(1929-), 男, 博士生导师, 中国科学院院士, 主要从事光纤通信、光电子器件、光纤传感、全光网络、空间光通信及电磁兼容等方面的研究。E-mail: ssjian@center.bjtu.edu.cn.

制能力强和非线性系数低,但是当啁啾光栅应用于实际的传输系统中时,由于制作工艺产生的非理想特性会带来诸多问题^[2,3],如带内的群时延纹波会造成光信号的波形失真与码间干扰,造成传输脉冲扭曲变形,产生较大误码率,反射谱旁瓣会降低系统信道的隔离度等等。因此合理设计光栅制作参量进而制作出优质的线性啁啾光栅是非常重要的。人们已经在光栅设计方面做了诸多理论数值研究,如傅里叶变换法^[4]、基于 Gel'fand-Levitan-Marchenko (GLM) 积分方程的精确解法^[5]、逆向散射法^[6]以及遗传算法^[7,8]等等。在这些方法中,遗传算法具有普适性好、设计灵活、计算并行处理能力强等优点成为本文光栅设计的首选方案。

遗传算法是一种模仿自然选择和生物遗传进化的局部搜索优化方法,具体操作为从一任意种群出发,根据自然界优胜劣汰原则通过选择、交叉和变异对种群进行算法处理并计算相应的适应度,经过多次迭代得到满意的优良个体为止,过程如图 1 所示。可以选择若干光栅参量或光栅制作条件作为待求种群,以所得到的光栅性能指标如反射谱平坦性、光栅带宽、透射深度或时延纹波等作为目标函数和相应的适应度函数进行优化处理。充分考虑方案的可行性,主要对光栅制作的切趾函数进行了优化设计,因为切趾技术可以有效地抑制光栅两端折射率调制突变形成的法布里-珀罗 (Fabry-Pérot, F-P) 效应^[9],而且相关的切趾板结合光栅曝光技术^[10,11]的稳定性较高、可重复性以及操作简易性较强,易制作出优化的线性啁啾光栅光纤。

为折射率变化条纹可见度, Δn_g 和 $\varphi(z)$ 分别为折射率调制的幅度和相位变化,这些参量共同作用决定了光栅的诸多特性,包括反射透射谱,时延特性等等。在本文中我们只考虑线性啁啾光纤光栅,即光栅周期沿光栅轴向的变化只是线性的,所以啁啾量为常数。通常为了计算啁啾光栅的时延特性和反射谱,可以把光栅的折射率调制看作是对光纤折射率的一种微扰,利用传输矩阵法将光栅分成若干小区间逐步求解,即可求出任意波长下的光栅反射系数,进而求得光栅的反射谱、群时延和色散。选取传输矩阵法与遗传算法相结合,合适的划分区间值能够保证计算精度减小截断误差,同时又注意防止因为运算量过大而出现应用遗传算法时搜索过慢的问题。

3 遗传算法设计过程

如引言所述,应用切趾技术来对折射率幅度进行调制,制作相应的切趾板可以有效地抑制偏离理想特性的反射谱旁瓣,大大降低群时延纹波,是一种能够优化啁啾光栅性能的简易方案。折射率调制函数 $\Delta n(z)$ 可以用如下关系表示:

$$\Delta n(z) = \Delta n_0 f(z), \quad -L/2 \leq z \leq L/2 \quad (2)$$

式中 Δn_0 为未经过切趾处理的折射率变化量(通常为一常数), $f(z)$ 定义为切趾函数,传统常用的切趾函数根据切趾陡度因子的不同^[13]有 Gauss、Super-Gauss、Hamming、Blackman、Tanh 和 Cauchy 函数等等。这些切趾函数对光栅进行全切趾,造成色散值、有效带宽和反射率减小,但是又不可避免地带来光栅带宽的损失和带内色散平坦区窄化,很显然光栅的整体性能会下降,所以该方案不能作为本文参量设计的首选;在文献[14]中采用对光栅部分切趾的方法,即保持中间交流折射率调制强度的稳定,而只引入光栅两端调制幅度的渐变就可以有效地控制反射谱的有效带宽又同时抑制了时延纹波。根据这种方案结合常用切趾函数的渐变特性同时采用部分切趾,进行了有效地参量控制,探索利用遗传算法设

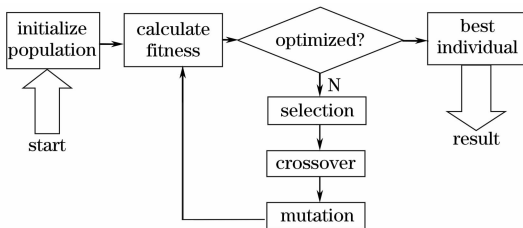


图 1 遗传算法流程图

Fig. 1 Flow chart of genetic algorithm

2 啁啾光栅耦合理论及数值解法简介

线性啁啾光纤光栅的周期沿光栅长度方向呈线性变化,其轴向折射率分布可表示为^[12]:

$$n(z) = n_0 + \Delta n_g \left\{ 1 + v \cos \left[\frac{2\pi}{\Lambda} z + \varphi(z) \right] \right\}, \quad (1)$$

$$-L/2 \leq z \leq L/2$$

式中 Λ 为折射率调制函数的周期, L 为光栅长度, v

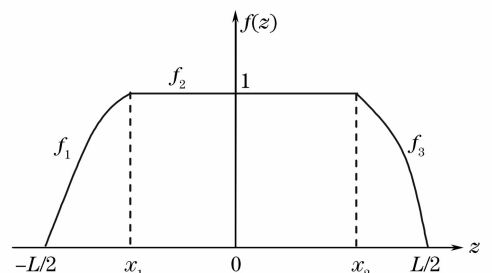


图 2 分段法切趾函数设计框图

Fig. 2 Chart of subsection-method apodization function design

计出优化的切趾函数。

3.1 变量参量设计

首先引用切趾比例^[14] $AR = L_{ap}/L$, 其中 L_{ap} 为在切趾函数中的实际切趾长度。所设计切趾函数采用分段处理的方法, 满足部分切趾的要求。切趾比例由分段函数的相对位置坐标 x_1, x_2 决定, 同时切

趾函数的滚降特性将强烈依赖于所设计的切趾位置, 可表示为 $f_1(x_1)$ 和 $f_3(x_2)$, 其中 f_1, f_2 和 f_3 为各个区间函数如图 2 所示。

根据滚降特性不同, 所尝试的函数结合切趾位置 x_1, x_2 可以表示为

1) 汉明(Hamming)型:

$$\begin{cases} f_1: \frac{1}{2}\{1 + \cos[H_1(z - x_1)]\}, & -L/2 \leq z \leq x_1; \\ f_2: 1 & x_1 < z < x_2; \\ f_3: \frac{1}{2}\{1 + \cos[H_2(z - x_2)]\}, & x_2 \leq z \leq L/2; \\ H_1 = \frac{\pi}{L/2 + x_1}; & H_2 = \frac{\pi}{L/2 - x_2}; \\ |x_2 - x_1| = (1 - AR)L, & -L/2 < x_1 \leq x_2 < L/2. \end{cases} \quad (3)$$

2) 梯型(Ladder-shaped):

$$\begin{cases} f_1: \frac{z + L/2}{x_1 + L/2}, & -L/2 \leq z \leq x_1; \\ f_2: 1 & x_1 < z < x_2; \\ f_3: \frac{z - L/2}{x_2 - L/2}, & x_2 \leq z \leq L/2; \\ |x_2 - x_1| = (1 - AR)L, & -L/2 \leq x_1 \leq x_2 \leq L/2. \end{cases} \quad (4)$$

3) 超高斯(Super-Gauss)型:

$$\begin{cases} f_1: \exp\left[-G_1\left(\frac{z - x_1}{L}\right)^4\right], & -L/2 \leq z \leq x_1; \\ f_2: 1 & x_1 < z < x_2; \\ f_3: \exp\left[-G_2\left(\frac{z - x_2}{L}\right)^4\right], & x_2 \leq z \leq L/2; \\ G_1 = -\ln C\left(\frac{L}{L/2 + x_1}\right)^4; & G_2 = -\ln C\left(\frac{L}{L/2 - x_2}\right)^4; \\ |x_2 - x_1| = (1 - AR)L, & -L/2 < x_1 \leq x_2 < L/2. \end{cases} \quad (5)$$

为了保证函数滚降特性, 定义辅助参量 C , 这里取 $C = 10^{-3}$ 。

4) 柯西(Cauchy)型:

$$\begin{cases} f_1: \frac{1 - C_1[(z - x_1)/L]^2}{1 - (z/L)^2}, & -L/2 \leq z \leq x_1; \\ f_2: 1 & x_1 < z < x_2; \\ f_3: \frac{1 - C_2[(z - x_2)/L]^2}{1 - (z/L)^2}, & x_2 \leq z \leq L/2; \\ C_1 = \left(\frac{L}{L/2 + x_1}\right)^2; & C_2 = \left(\frac{L}{L/2 - x_2}\right)^2; \\ |x_2 - x_1| = (1 - AR)L, & -L/2 < x_1 \leq x_2 < L/2. \end{cases} \quad (6)$$

3.2 建立目标函数

利用遗传算法的目的是调整输入参量使输出结果优化或达到期望值, 在这里希望在保证光栅反射

谱带宽标准的同时, 使其带内时延纹波达到最小化, 时延纹波定义为在给定反射谱带宽内, 先对时延曲线进行最小二乘法拟合, 再计算各波长时延大小与

拟合直线的差值(单位 ps),如果定义 $\tau(\lambda_i)$ 为光栅在波长为 λ_i 的时延,则该波长处的群时延纹波可表示为

$$\text{ripple}(\lambda_i) = |\tau(\lambda_i) - a\lambda_i - b|, \quad \lambda_i \in B. \quad (7)$$

式中 B 为反射谱工作带宽内的波长集合,通常取 3 dB 带宽。 a, b 为直线拟合系数满足

$$\begin{cases} (\sum_i \lambda_i^2)a + (\sum_i \lambda_i)b = \sum_i \lambda_i \tau(\lambda_i), \\ (\sum_i \lambda_i)a + b = \sum_i \tau(\lambda_i), \end{cases} \quad (8)$$

纹波的大小决定了时延曲线的平滑程度,所以目标函数应该反映出时延曲线的整体性能,选取最大时延纹波目标函数,兼顾光栅反射谱的工作带宽和群时延曲线的平坦性,避免了由多目标函数处理所带来的难以找到全局最优解的问题,目标函数表示如下:

$$\text{objectfunction} = \max\{\text{ripple}(\lambda_i)\}. \quad \lambda_i \in B \quad (9)$$

3.3 求解步骤

第一步:选取一种切趾函数(3)~(6),对输入参量 x_1, x_2 进行染色体编码,并生成初始种群。

第二步:利用传输矩阵法计算时延和反射谱,确定工作带宽,进而得到时延纹波。

第三步:利用遗传算法进行迭代,经过若干代得到优化结果。

第四步:所得到的最佳个体进行染色体译码即为所设计参量。

3.4 计算结果

参照表 1 所示仿真设计参量进行数值计算.图 3 是不同切趾比例 AR 条件下,不同滚降特性的遗传代数与目标函数关系曲线图,结果表明:1)随遗传迭代数增加,切趾函数的形状发生变化,影响到了交流折射率调制幅度由光栅中心向两端的下降程度,光栅的端面反射被大大削弱,从而逐渐使产生的反射谱旁瓣和时延纹波降低,提高了啁啾光栅的整体性能;2)切趾比例的增加可以得到更小的时延纹波,但是不宜过大,因为过大的切趾比例将会使光栅带宽损失过于严重,反而会让光栅性能恶化;3)不同的切趾函数因为滚降特性和具体的切趾位置不同,最终优化的结果有所区别。总体来说当切趾比例较小时,采用下降较快的梯形切趾函数效果较好,如图 3(a)所示,迭代次数 200,切趾比例 $AR=10\%$ 条件下其切趾效果可让最大纹波 ≤ 44.13 ps,好于其他切趾方案;当增加切趾比例以后,Hamming 切趾的优势较为明显,切趾性能突出,如图 3(b)、图 3(c)所示, $AR=20\%, 30\%$ 时,Hamming 切趾方案的最大时延纹波分别 ≤ 35.14 ps 和 30.66 ps。

表 1 仿真设计参量

Table 1 Parameter for simulation design

Parameters of transferring matrix method	
Length of grating L /cm	14
Effective refractive index n_{eff}	1.45
Sweeping range λ /nm	1545.6~1557.6
Subsection number M	200
Δn_0	10^{-4}
Parameters of genetic algorithm	
Initial population	30
Crossover ratio	0.8
Mutation ratio	0.001
Terminated generation	200
Length of chromosome	23
Experimental environment of simulation	
CPU	Pentium4 2.5 GHz
Operation system	Windows XP
Memory	512 MB
Language	MATLAB 7.0.1

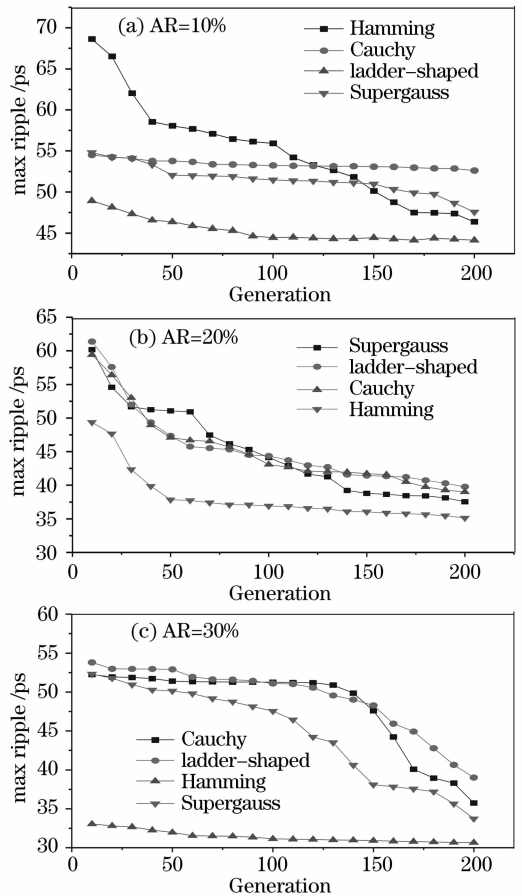


图 3 遗传代数-最大时延纹波曲线

Fig. 3 Curve of genetic generation-max ripple
综合考虑,采取切趾比例为 30% 条件下的 Hamming 切趾方案为宜,图 4 为该条件下由遗传算法经过 200 代后的各切趾函数图。

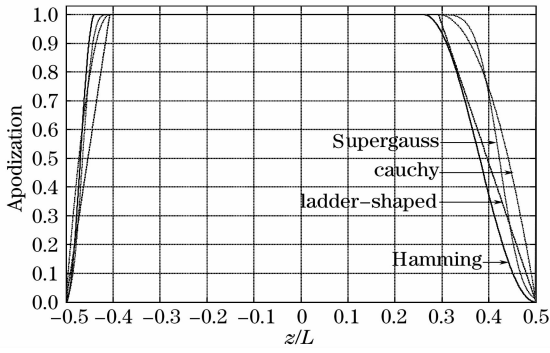


图 4 遗传算法优化后的各个切趾函数

Fig. 4 Apodization functions after GA optimization

图 4 所示的切趾函数均呈非对称特性。根据谐振理论^[15,16], 折射率的突变将形成两个宽带反射镜, 啁啾光栅中各个布拉格反射点之间会形成若干 F-P 谐振腔, 出现振荡的纹波, 而且靠近光栅输入端的长波长处形成的时延纹波周期较大, 远离输入端的短波长处形成的时延纹波周期较小; 非对称结构切趾在光栅两端切趾陡度不同, 切趾陡度越大, 切趾程度越弱, 因为长波长端会出现较大纹波, 所以应该加大切趾比例, 减小切趾陡度, 有效抑制长波长端的局部谐振效应, 从而形成了图 4 中出现的非对称型结构, 证明利用遗传算法所设计的切趾优化光栅时延纹波方案是合理有效的。

4 试验验证及讨论

利用非对称 Hamming 函数制作的非对称幅度切

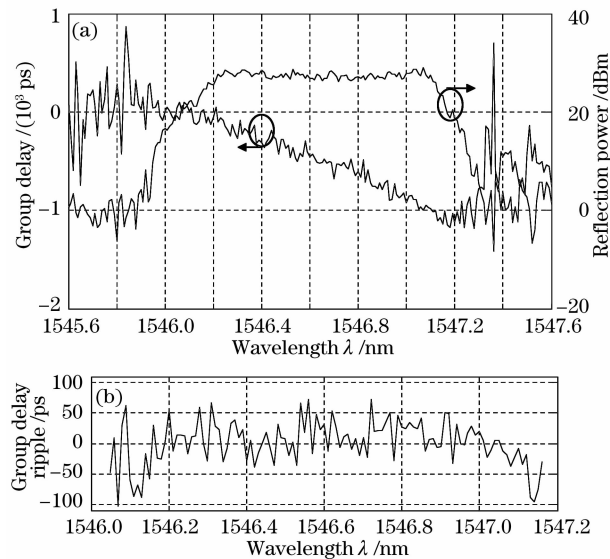


图 5 未切趾的原始光栅实测结果。(a) 反射谱和时延特性, (b) 时延纹波特性

Fig. 5 Measured results of original grating. (a) Reflection spectrum and group delay, (b) group delay ripple

趾板, 切趾比例 $AR=30\%$, 采用光束扫描紫外曝光精确扫描相位掩模法^[11,17]制作出线性啁啾光栅, 写入的紫外光源为 KrF 准分子激光器, 波长为 248 nm, 光敏光纤由普通单模光纤在室温、 1.115×10^7 Pa 氢气中氢载 8 星期制成。经过 Perkin Elmer 公司的 CD400 色散特性分析仪测出(测量方法为相移法, 调制频率 70 MHz)光栅的反射谱、时延特性及时延纹波如图 5 和图 6 所示, 实测参量见表 2。

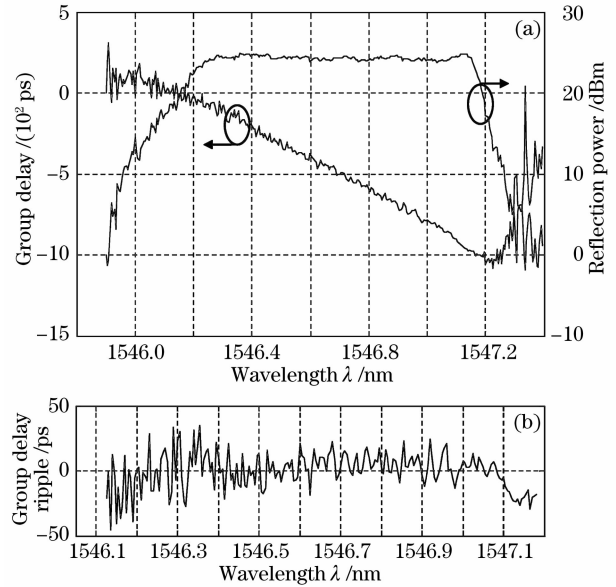


图 6 优化切趾后的光栅实测结果。(a) 反射谱和时延特性, (b) 时延纹波特性

Fig. 6 Measured results of optimized apodization grating. (a) Reflection spectrum and group delay, (b) group delay ripple

表 2 光栅实测参量

Table 2 Measured parameters of gratings

	Without apodization	Apodization
Central wavelength / nm	1546.1	1546.65
Dispersion value / (ps/nm)	-967.42	-972.71
3 dB bandwidth / nm	1.12	1.06
Max GDR / ps	103.82	45.60

分析所测结果可知, 经过宽带切趾之后的啁啾光栅中心波长比原始制作的光栅略大, 这是因为由遗传算法所优化的 Hamming 切趾是非对称的, 影响了折射率调制包络效果, 造成中心波长会有一定微小的偏移(0.24 nm); 切趾后的光栅工作带宽减小 0.06 nm, 反射谱功率下降[比较图 5(a)和图 6(a)可知], 这是由于切趾使氢载光纤两端的曝光量降低造成的, 文献^[18]表明光栅长度一定时工作带减小会让色散补偿量增大, 表 2 所测色散量结果与其一致; 同时切趾

优化以后光栅的反射谱变得平坦,时延曲线呈线性关系,最大时延纹波远远小于未切趾时的 103.82 ps,其最大时延纹波 45.60 ps 比由理论设计的非对称 Hamming 滚降切趾函数的理想结果 30.66 ps 稍大(遗传迭代数 200),这是由于切趾板制作精度、紫外曝光能量稳定性以及相位掩模板的非理想特性等诸多因素造成的。总体来说利用遗传算法切趾方案让光栅的工作带宽、反射谱、色散量和时延纹波达到了最佳组合,试验结果验证了理论上优化结果的可行性。制作出工作带宽大于 1 nm,时延纹波不超过 45.60 ps 的线性啁啾光栅。图 7 为 40 Gb/s 非归零(NRZ)光信号传输 433 km G.652 普通单模光纤采用我们自主研制的掺铒光纤(EDFA)光放大器经过全光栅色散补偿之后的眼图,由 Agilent8164 示波器测出,光信噪比 OSNR 约为 3.59,抖动(Jitter)(RMS)约为 1 ps,在误码率 BER = 10^{-10} 标准下的功率代价约为 2.2 dB,传输结果表明这种光栅可以用于 40 Gb/s 密集波分复用(DWDM)传输系统的全光色散补偿。

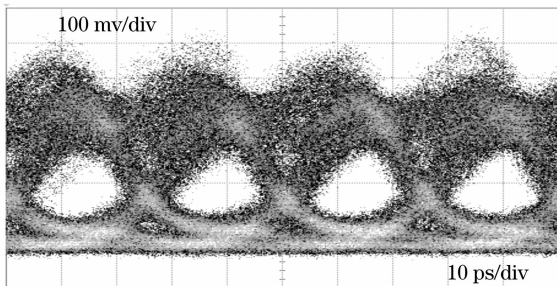


图 7 全线性啁啾光纤光栅色散补偿方案 40 Gb/s 非归零光信号传输 433 km 后的信号眼图

Fig. 7 Eye diagram of 40 Gb/s NRZ optical signal after 433 km compensation with all linearly chirped fiber Bragg gratings dispersion compensation scheme

5 结 论

设计了具有不同滚降性质的汉明型、梯形、超高斯型和柯西型的部分切趾函数,利用遗传算法结合传输矩阵法优化了线性啁啾光栅工作带宽内的群时延纹波参量,该方法所设计的切趾板实现简单且成本较低,具有很好的普适性和灵活性,并不局限于线性啁啾光栅的参量设计与优化。数值结果表明经过 200 代以后,切趾比例 $AR = 30\%$ 的非对称 Hamming 切趾函数可以很好抑制光栅的时延纹波,能够在保证反射谱带宽的基础上优化光栅整体性能,让光栅的工作带宽、反射谱、色散量和时延纹波

达到了最佳组合,从而验证了非对称切趾对带内试验纹波抑制的有效性。在此基础上利用非对称单侧曝光切趾法^[14]制作出 3 dB 工作带宽为 1.06 nm,时延纹波不超过 45.60 ps 的线性啁啾光栅,该器件可以用于 40 Gb/s 密集波分复用传输系统的全光色散补偿,具有一定的科研价值和较为广阔的应用前景。

参 考 文 献

- Jian Shuisheng, Zhao Yucheng, Wei Daoping *et al.*. Dispersion compensation experimental on 19 ps pulse width over 133 km single mode fiber with tunable chirp and wavelength gratings[J]. *Science in China*, 1999, **42**(2): 165~170
- L. Xiang, W. Xing, A. H. Gnauck *et al.*. Analysis of loss ripple and its application to the mitigation of optical filtering penalty[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2005, **17**: 82~84
- Z. Lin, C. Minghua, Z. Yejin *et al.*. Impacts of cascaded filters with group delay ripples on 40 Gb/s WDM transmission system [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2002, **14**: 1518~1520
- J. A. Dobrowolski, D. Lowe. Optical thin film synthesis program based on the use of Fourier transforms[J]. *Appl. Opt.*, 1978, **17**(9): 3039~3050
- E. Peral, J. Capmany, J. Marti. Design of fiber grating dispersion compensators using a novel iterative solution to the Gel'fan-Levitan-Marchenko coupled equations [J]. *Electron. Lett.*, 1996, **32**(10): 918~919
- R. Fececi, M. N. Zervas, M. A. Muriel. An efficient inverse scattering algorithm for the design of nonuniform fiber Bragg gratings[J]. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1999, **35**(8): 1105~1115
- J. Skaar, K. M. Risvik. A genetic algorithm for the inverse problem in synthesis of fiber gratings [J]. *J. Lightwave Technology*, 1998, **16**(10): 1928~1932
- Mu Kejun, Zhou Xiaojun, Ren Guorong *et al.*. Reconstruction of parameters of fiber gratings from time-delay [J]. *Chin. J. Lasers*, 2007, **34**(5): 688~693
- 穆柯军, 周晓军, 任国荣等. 用遗传算法从时延特性重构光纤光栅参量[J]. *中国激光*, 2007, **34**(5): 688~693
- Guan Baiou, Yu Youlong, Ge Chunfeng *et al.*. Theoretical studies on transmission characteristics of fiber grating Fabry-Pérot cavity[J]. *Acta Optica Sinica*, 2000, **20**(1): 34~38
- 关柏鸥, 余有龙, 葛春风等. 光纤光栅法布里-珀罗腔透射特性的理论研究[J]. *光学学报*, 2000, **20**(1): 34~38
- Jin Xiaofeng, Zhang ZhongXian. Non-uniform optical fiber grating response[J]. *Acta Optica Sinica*, 1999, **19**(6): 721~727
- 金晓峰, 张仲先. 非均匀光纤光栅响应特性的研究[J]. *光学学报*, 1999, **19**(6): 721~727
- Xie Zenghua, Ning Tigang, Pei Li *et al.*. Fabrication of 13 cm linearly chirped fiber grating[J]. *Acta Optica Sinica*, 2001, **21**(11): 1381~1383
- 谢增华, 宁提纲, 裴丽等. 13 cm 长线性啁啾光纤光栅的研制[J]. *光学学报*, 2001, **21**(11): 1381~1383
- T. Erdogan. Fiber Grating Spectra[J]. *IEEE J. Lightwave Technology*, 1997, **15**(8): 1277~1294
- D. Paster, J. Capmany, D. Ortega *et al.*. Design of apodized linearly chirped fiber gratings for dispersion compensation[J]. *J. Lightwave Technology*, 1996, **14**(11): 2581~2588
- Liu Yan, Zheng Kai, Tan Zhongwei *et al.*. Good performance of chirped fiber Bragg gratings obtained by asymmetrically one-side exposure apodization[J]. *Acta Physica Sinica*, 2006, **55**(11): 5859~5865

- 刘 艳,郑 凯,谭中伟 等. 非对称单侧曝光切趾使啾啾光纤光栅获得优化性能[J]. 物理学报, 2006, **55**(11): 5859~5865
- 15 M. Sumetsy, B. Eggleton, C. de sterke. Theory of group delay ripple generated by chirped fiber gratings[J]. *Optics Express*, 2002, **10**(7): 332~340
- 16 Tan Zhongwei, Liu Yan, Ning Tigang *et al.*. The generation of group delay ripple of chirped fiber gratings [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2004, **2**(1): 18~20
- 17 Ning Tigang, Liu Yan, Tan Zhongwei *et al.*. Impact on dispersion compensated system using chirped fiber Bragg grating with delay ripple[J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(9): 1064~1067
- 宁提纲,刘 艳,谭中伟 等. 光纤光栅时延波动对传输系统性能的影响[J]. 光学学报, 2003, **23**(9): 1064~1067
- 18 Pei Li, Jian Shuisheng, Xie Zenghua *et al.*. Dispersion compensation optical fiber grating with low ripple coefficient[J]. *Acta Optica Sinica*, 2002, **22**(3): 336~339
- 裴 丽,简水生,谢增华 等. 低纹波系数色散补偿光纤光栅的研究[J]. 光学学报, 2002, **22**(3): 336~339

《光学学报》“空间光学”专题征稿启事

随着国家对空间技术发展的不断重视,“神舟计划”、“嫦娥计划”的深入实施,国内空间技术不断发展,其中空间光学技术发挥了极其重要的作用。为集中反映“空间光学”领域国内外的最新发展,《光学学报》计划 2008 年 12 月推出“空间光学”专题栏目,特向国内外专家征集“空间光学”方面原创性的研究论文。

征稿范围包括:

- 空间观测与遥感
- 空间目标探测
- 空间信息链路技术
- 天基光电对抗
- 其他空间光学领域

截稿日期:

2008 年 10 月 5 日。

投稿方式及格式:

可直接将稿件电子版发至邮箱:gxxb@mail.shcnc.ac.cn(主题标明“空间光学专题投稿”)。投稿文体不限,语种不限,其电子版请使用 MS-Word 格式。有任何问题请发邮件至 gxxb@mail.shcnc.ac.cn 询问。