

文章编号: 0253-2239(2007)02-0219-6

# 一种用于衍射光元件优化设计的快速算法的研究

刘伯晗 吴丽莹 张 健

(哈尔滨工业大学超精密光电仪器工程研究所, 哈尔滨 150001)

**摘要:** 讨论了傅里叶迭代算法对初始相位敏感的缺陷机理, 提出用伪随机相位编码作为傅里叶迭代算法初始值的改进算法来克服相位敏感缺陷。改进算法具有加快迭代收敛速度、提高恢复图像强度准确性的优点。将该算法产生的任意期望图样的相位全息图写入纯相位液晶空间光调制器上, 在远场成功地再现了期望图样。算法迭代 10 次可产生衍射效率接近 85% 的一幅相位全息图。作为一种快速相位恢复算法它在相控阵激光雷达以及光束敏捷偏转等领域有重要意义。

**关键词:** 信息光学; 傅里叶迭代算法; 相位编码; 相位全息; 空间光调制器

中图分类号: O438 文献标识码: A

## Fast Phases Retrieval for Diffraction Optical Devices Optimal Design

Liu Bohan Wu Liying Zhang Jian

(Institute of Ultra-Precision Optoelectronic Instrument Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

**Abstract:** The shortcoming that the iterative Fourier transform algorithm (IFTA) is sensitive to initial phases is discussed. An improved IFTA algorithm with the initial phases generated by the pseudorandom phases encoding method is proposed to overcome the shortcoming. The improved method has the merits of fast iterative convergence and higher precision for image retrieval. When the retrieval kinoform generated from the improved algorithm is input into a phase-only liquid crystal spatial light modulator, the expected far-field image is obtained again. A kinoform with the diffractive efficiency of 85% can be generated within 10 loops. As a quick phase retrieval algorithm, it is of value in the fields of phased array laser radar and agile beam steering.

**Key words:** information optics; iterative Fourier transform algorithm; phases encoding; kinoform; spatial light modulator

## 1 引 言

在射线晶体学、光学显微镜、信息光学中经常涉及到从目标的傅里叶模值恢复目标图像相位问题, 该问题可视为衍射过程的一个逆过程。通常, 仅由单一空间(空域或者频域)内的模值进行相位恢复是不够的, 还应至少限制另一对应空间内的模值或者相位分布。在夫朗禾费衍射系统中, 最为典型的情况是在已知输出面内的振幅分布, 而输入面通常为固定模值(比如单位值), 通过优化设计输入平面上的纯相位分布, 由该纯相位分布经过傅里叶变换准

确再现期望强度分布。纯相位液晶空间光调制器作为一种可变衍射光学元件, 较传统的机械转台更适用于光束的动态偏转设计。它具有精确、响应快、无机械惰性、自由灵活、衍射效率高、多目标同时追踪等特点, 因而在激光寻的、制导以及多目标威胁预警和反击中有着重要的研究价值。然而, 如何找到一种快速收敛的相位恢复方法来适应当前可变衍射光学元件相位优化实时性要求的任务越来越迫切, 这已经引起众多研究者的兴趣<sup>[1]</sup>。为此, 本文以讨论傅里叶迭代算法对初值敏感的局限入手, 提出用相

作者简介: 刘伯晗(1977—), 男, 吉林长春人, 博士研究生, 主要从事光电测试, 空间光学信息处理方面的研究。

E-mail: hit\_bohanliu@yahoo.com.cn

导师简介: 张 健(1944—), 男, 江苏无锡人, 教授, 博士生导师, 主要从事光电精密测量及信息处理方面的研究。

E-mail: zjlab@hit.edu.cn

收稿日期: 2006-04-10; 收到修改稿日期: 2006-06-23

位编码初始相位的改进 Gerchberg-Saxton(GS)算法<sup>[2]</sup>,并与原来算法进行比较,给出了算法的收敛特性。此外还将该算法计算出的相位全息图写入液晶空间光调制器进行了实际图型的再生实验。

## 2 改进算法

遗传算法和模拟退火等优化算法费时且计算复杂,适合于离线的优化设计,而 GS 及其改进算法则是一种经过实践证明的快速有效算法<sup>[2,3]</sup>。为了问题说明的方便,约定输出面用小写字母表示,与之对应的输入面用大写字母表示。对于夫朗禾费衍射系统,输出面与输入面间存在简单的傅里叶对应关系。恢复问题可以这样描述:假设最终期望得到的目标图像强度用  $I_0 = |g_0|^2$  来表示,如果能在输入面找到一组相位信息  $\phi(X)$  分布(模值为定值,即  $G(X) = |G| \exp[\phi(X)]$ ,  $|G|$  为常数,当该相位信息变换到输出面,强度值恰与期望的强度分布足够接近时,那么该相位分布就是我们欲找的满足期望强度分布的相位恢复优化解。

### 2.1 GS 算法的缺陷

下面简单回顾一下 GS 算法的机理。作为一种误差递减的迭代算法,GS 算法通过在两个域空间限定模值,然后进行反复迭代,直到强度误差(简称迭代误差)满足要求后,输出结果。经典算法循环迭代部分包括 4 个步骤:

- 1) 对目标进行傅里叶变换;
- 2) 用期望的幅值(强度的平方根)代替变换结果的模值;
- 3) 反傅里叶变换;
- 4) 用已知幅值(多为测量值)代替变换结果的模值。

具体流程图如图 1<sup>[4]</sup>。

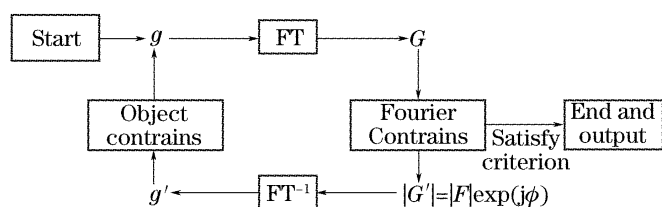


图 1 GS 算法流程图

Fig. 1 Flow chart of GS algorithm

该算法具有较好的快速收敛性,很大的设计灵活性和较高的计算收敛效率,但是其对初始值非常敏感,易陷入局部极小点,严重情况时,甚至陷入收敛的停滞区。产生的主要原因是计算模值和限制模值的失配。一般情况下,傅里叶变换对是一个互相

对应的复数对,既有幅度信息又有相位信息。可是,在算法开始时要利用期望的幅度分布进行傅里叶变换,得到  $G$  的初始值,而对于纯相位衍射元件  $G$  的幅度信息一般是固定的(最常见的是  $G$  的模值为单位值的纯相位函数),所以由  $g_0$ (实数集合)傅里叶变换得到的幅度信息一般情况下是不可能恰为  $G$  的幅度信息,于是就产生了这种模值不对应的矛盾。其次,由于实际的衍射光学元件都具有一定量化(台阶)相位,带来了设计中的量化误差是设计值与期望值失配的另一原因。这些原因都可能构成算法收敛变慢,甚至停滞。如何让算法对初值不敏感,如何让算法加速收敛走出“陷阱”,已成为大家研究改进算法的热点。中国科技大学张静娟等采用加权串行迭代算法来减少对初值的依赖,然而该算法实际上是多个逼近目标的 GS 算法串联,这无形中附加了巨大的计算量<sup>[5]</sup>。清华大学田克汉等提出杨顾算法的改进算法(实际上是一种扰动牵引方法),使目标函数产生一个平移,使本来由于初始值的选取不当而陷入局部最有点的迭代过程,跳出局部极小,来降低迭代过程对初始值的敏感性,不足之处是具体问题需要分区处理,导致了算法应用的局限<sup>[6]</sup>。

### 2.2 改进的 GS 算法

如果能够找到一种相位编码技术,采用这种编码技术产生的相位,能够依照统计学的大数定律将某一复数的信息编码到纯相位复数中去,那么,这个纯相位函数就与这个全复数在概率角度上是“等价的”,这样就可以将幅度信息和相位信息统一融合到相位信息中去,而不是像以前那样仅取复数相位信息不考虑幅度信息。伪随机编码技术就是这样的一种编码技术。通过这种方法产生的相位值,其傅里叶变换得到的远场图依大数规律逼近期望图形。

伪随机相位编码是对期望的振幅编码到相位中去的一种编码技术。它是一种统计概率意义上的编码<sup>[7,8]</sup>。为了简化,只讨论一维情况,结论很容易推广到二维情况。对于处于纯相位空间光调制器输入面上第  $i$  个( $X = X_i$ )像素点,其复数透过率  $G_i(X)$  可表示为

$$G_i(X) = \text{rect}(X - X_i) \exp(j\phi_i), \quad (1)$$

其中  $\text{rect}()$  为矩形函数,  $\phi_i$  是  $X_i$  处的像素的相位值。

透过率的数学期望为

$$EX[G_i(\phi)] = \bar{G}_i(\phi) = \langle \text{rect}(X - X_i) \exp(j\phi_i) \rangle, \quad (2)$$

其中  $\langle \rangle$  表示求数学期望,假设各个像素的电压是独立

控制的,则各个相位角  $\phi_i$  是互相独立的随机变量,

$$\overline{G}_i(\phi) = \text{rect}(X - X_i) \langle \exp(j\phi_i) \rangle = \text{rec}(X - X_i) \exp(j\overline{\phi}_i) R_i(1), \quad (3)$$

其中  $R_i(1)$  是随机变量  $(\phi - \overline{\phi}_i)$  在角频率为 1 时的无偏特征函数。无偏特征函数的定义为

$$R(\omega) = \langle \exp(j\omega\phi) \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} \exp(j\omega\phi) p_\phi(\phi) d\phi, \quad (4)$$

其中  $p_\phi(\phi)$  为概率密度。这里,

$$R_i(1) = \int_{-\infty}^{+\infty} \exp(j\phi_i) p(\phi) d\phi = 2\pi F^{-1} \{ p_\phi(\phi) \},$$

$F^{-1}\{\cdot\}$  表示傅里叶逆变换。当随机变量  $\phi_i$  均匀分布时,设总体相位延展为  $v_i$ ,则特征函数  $R_i(1)$  可以积分求出,有

$$R_i(1) = \text{sinc}\left(\frac{v_i}{2\pi}\right), \quad (5)$$

其中  $\text{sinc}(x) = \frac{\sin(\pi x)}{\pi x}$ 。将(5)式代入(3)式,然后取模运算得到期望的振幅值,用  $G_{ie}$  表示,有  $G_{ie} = |\overline{G}_i(\phi)| = \text{sinc}\left(\frac{v_i}{2\pi}\right)$ ,反解这个关系式,可得随机变量分布  $v_i$ ,

$$v_i = 2\pi \text{sinc}^{-1}(G_{ie}), \quad (6)$$

根据期望的振幅  $G_{ie}$  计算出  $v_i$ ,由计算机产生  $[0, 1]$  上的均匀随机数  $N_{iran}$ ,该点的相位差表示为

$$\delta\phi_i = (N_{iran} - 1/2)v_i. \quad (7)$$

设空间光调制器第  $i$  个像素相位的期望值为  $\overline{\phi}_i$ ,空间光调制器的相位可以表示为

$$\phi_i = \overline{\phi}_i + \delta\phi_i = \overline{\phi}_i + 2\pi(N_{iran} - 1/2)\text{sinc}^{-1}(G_{ie}). \quad (8)$$

至此,完成了纯相位编码。其编码的过程可以概括为:首先对期望的或者是欲逼近的远场数字图像的幅度进行傅里叶变换,得出其在频谱空间的振幅和相位,该幅值和相位分别对应  $G_{ie}$  和  $\overline{\phi}_i$ ,然后通过(8)式完成全复数到纯相位复数的编码表示。以这种方法表示的相位作为后续迭代算法的初始相位值。由于该编码过程是一个统计概率的随机过程,所以编码得到相位也就以大数规律收敛于期望的全复数,从而可以在统计意义上实现相位恢复。用这种方法得到的相位值不同于进行一次简单的傅里叶变换得到的初始值,这种方法可以看作一种由外部系统提供的初始值,而不是仅仅在正反傅里叶变换系统内部产生的初始值。因而由这种方法产生的相位初值就在统计意义上带有更多期望信息,产生的相位更加合理。

### 2.3 算法流程

算法流程如图 2 所示。

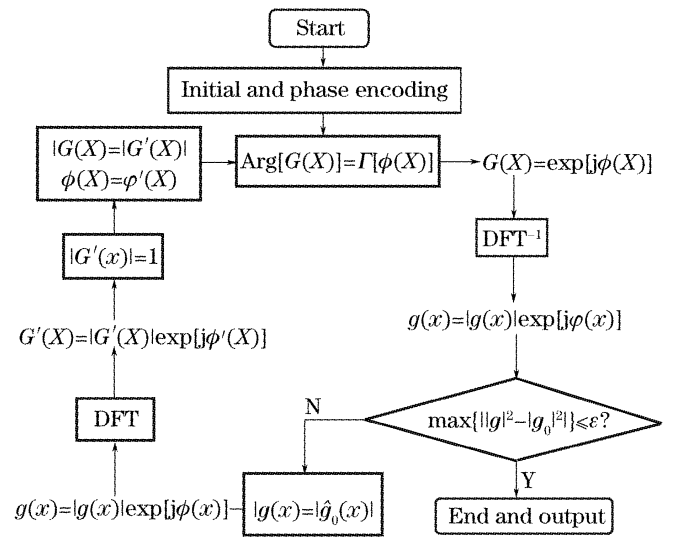


图 2 改进算法流程图

Fig. 2 Flow chart of the improved algorithm

算法流程中  $\text{Arg}(\cdot)$  表示取辐角运算,  $\Gamma[\phi(x)]$  表示把相位值进行分级次量化,  $g_0(x)$  为归一化的期望振幅分布,  $\epsilon$  为一正数接受阈值。由于采用离散傅里叶变换,有能量关系:

$$\sum_{x=0}^{N-1} |g(x)|^2 = \frac{1}{N} \sum_{X=0}^{N-1} |G(X)|^2, \quad (9)$$

在处理过程中涉及到不同变换域间的能量的变化因子。为了处理的简单,需要对期望的振幅分布进行“能量归一处理”。当  $G$  为单位纯相位分布时 ( $|G|=1$ ),对于期望振幅分布为  $g(x)$  的来说,与其对应的归一化表示为:

$$\hat{g}(x) = g(x) / \sqrt{\sum_{x=0}^{N-1} |g(x)|^2}, \quad (10)$$

处理过程就是用每一期望的振幅除以总强度和的平方根。

图 2 中的改进算法流程是从原来的 GS 算法改进而来。在算法初始化部分,将欲逼近的远场衍射图经过上述归一处理得其归一幅度 [用实数值  $|g_0(x)|$  表示],再进行反傅里叶变换,将得到的幅度和相位值分别和(8)式中的  $\overline{\phi}_i$  和  $G_{ie}$  相对应,根据(8)式随机编码方法,将幅度和相位值全部编码到相位上,即得到纯相位表示方法。然后,再将这些纯相位值作为初始值送到原来 GS 算法中开始傅里叶迭代。首先将相位值进行分级量化,因为实际的空间光相位调制器只能对相位值进行分级数字量化表示。这里采用  $2^m$  的幂指数形式表示相位,其中的指数  $m$  为量化级次。接着将这些相位值逐像素地转化成灰度数字图像  $G(X)$ ,便得到一个相位(全息)图。对该相位

图表示的纯相位复数进行反傅里叶变换得到  $g(x)$ , 对  $g(x)$  的模值进行判断, 如果它与期望的强度图像  $g_0(x)$  的幅度满足逼近条件, 则程序退出并输出相位灰度图, 否则令  $g(x)$  的模值等于  $g_0(x)$  的模值而保持相位不变从而得到新的  $g(X)$ , 接着对其进行反傅里叶变换得到新的物空间函数  $G'(X)$ , 接下来将其相位保持不变而将其幅值置 1, 再进行相位分级量化进入下一次循环, 直到得到满意的相位值解。

2.4 改进算法的特点

本算法是一个迭代逼近优化算法, 程序最后输出期望强度函数  $g_0(x)$  的相位信息的优化值。为了得到算法误差随迭代次数下降曲线, 特定义强度平均误差百分数为

$$\bar{E}_{\text{error}} = \frac{\sum_{\Omega} (|I_{ij} - \bar{I}_{ij}|)}{\sum_{\Omega} \bar{I}_{ij}} = \left[ \frac{\sum_{\Omega} (|r_{ij}^2 - \bar{r}_{ij}^2|)}{\sum_{\Omega} \bar{r}_{ij}^2} \right] \times 100\%, \quad (11)$$

定义平均衍射效率为

$$\bar{E}_{\text{eff}} = \frac{\sum_{\Omega} I_{pq}}{\sum_{\Omega} \bar{I}_{ij}} = \frac{\sum_{\Omega} r_{pq}^2}{\sum_{\Omega} \bar{r}_{ij}^2} \times 100\%, \quad (12)$$

式中, 设整个  $(256 \text{ pixel} \times 256 \text{ pixel})$  输出(像)平面区域为  $\Omega$ , 点  $(i, j) \in \Omega$ ;  $I_{ij}$  为  $(i, j)$  像素点的优化设计强度,  $\bar{I}$  为所设计的期望强度;  $\Omega'$  为  $\Omega$  内感兴趣的研究区域, 其中点  $(p, q) \in \Omega'$ 。

迭代效果如图 3 所示, 其中图 3(a) 是一幅  $256 \text{ pixel} \times 256 \text{ pixel}$  强度源图。5 次迭代后的效果图为图 3(b), 图 3(c)。图 3(d) 为相应迭代特性对比曲线。由图 3 可见, 两种算法在开始迭代后, 都用较少次迭代即可进入收敛的平稳区, 在迭代次数超过 20 次以后误差几乎没有太大变化, 衍射效率接近 90%。其中改进的算法下降得更快, 大约在 10 次以后进入了收敛平稳区, 其收敛的误差(大于 20 次)也比原来算法小一些。在以往的算法中, 通常取迭代次数的参考值为 20 次, 由于改进的算法具有更快的收敛速度和更高的收敛精度, 实际应用中, 为了达到快速产生衍射图性要求, 在牺牲不太多的衍射效率情况下, 可以考虑采用更少的迭代次数, 迭代次参考值为 10 次时衍射效率仍接近 85%, 以节省运算时间。

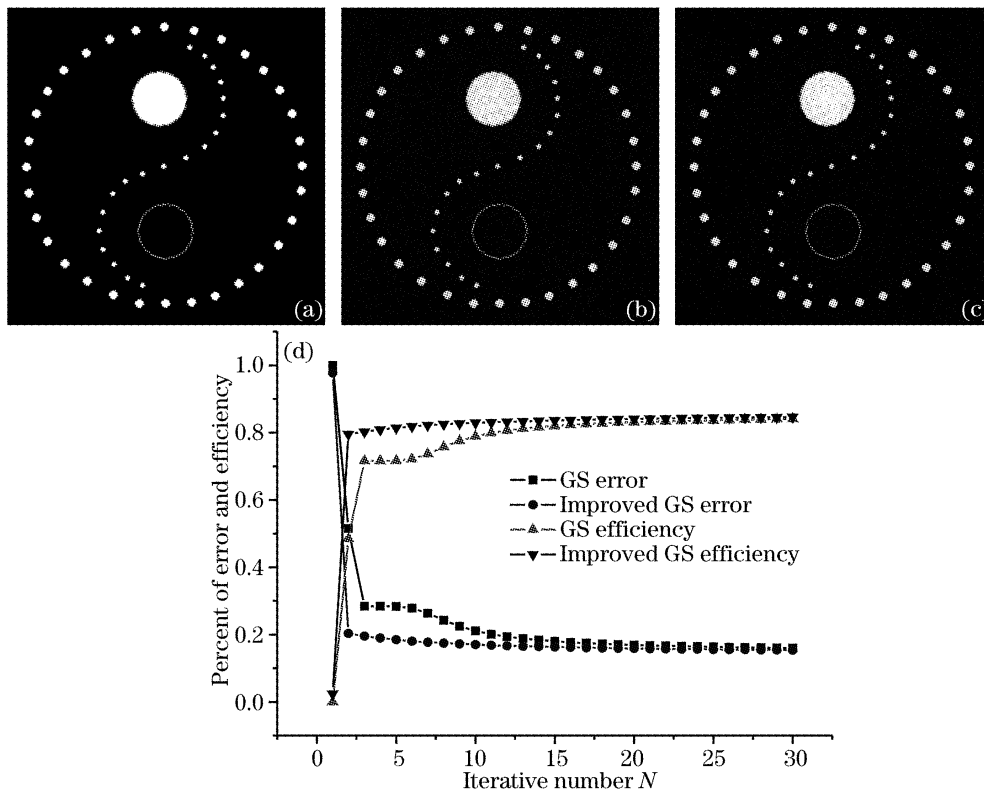


图 3 算法特性对比。(a) 源图, (b) GS 迭代 5 次效果图, (c) 改进 GS 迭代 5 次效果图, (d) 算法特性曲线 (量化级数  $m=8$ )

Fig. 3 Characteristics contrast of the two algorithms. (a) Expected image, (b) result image by GS with iteration=5, (c) result image by improved GS with iteration=5, (d) characteristic curve ( $m=8$ )

### 3 实 验

为了验证算法的有效性,按照上述改进的算法流程由图 3(a)得到一幅相位图见图 4(a)(迭代 5 次,量化级数为 8),将其写入空间光调制器,进行了远场图形的再生实验。实验装置如图 5 所示<sup>[9]</sup>。波长为 633 nm 的准直扩束的激光 1 经光阑 2 得到有效光斑直径约为 9 mm 激光光束,通过起偏器 3 后经 45° 半透半反分光棱镜 4,一部分透射,一部分反射(无用)。透射部分入射到空间光调制器 5 上,调制后的光束被反射,再次通过分光棱镜,被分光棱镜反射部分通过检偏器 6 和成像透镜 7(焦距 +70 mm),最后被处在成像透镜焦面上的 CCD 接收,得到调制光束的远场夫朗禾费衍射图。其远场效果图见图 4(b)。本实验装置产生的图像形象、逼真,该实验结果证明了算法的有效性、准确性。图 4(b)中心的“十”字亮斑为零级主极大,引起该亮斑的原因是由于液晶空间光调制器是一个有限孔径衍射元件(有效面积 4.61 mm×4.61 mm),且像素间存在电极导致像素填充因子不能达到 100%,经过调制器的光束不能完全被调制。此外算法的衍射效率未达到 100%也是其中原因之一。

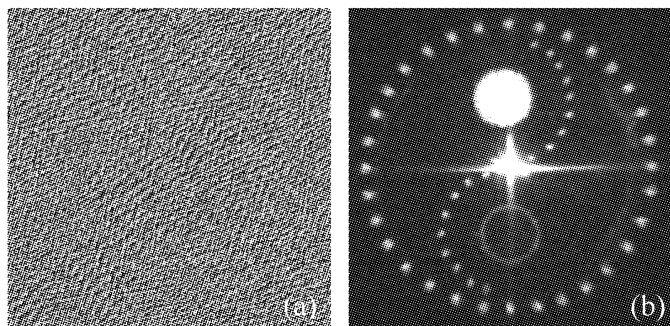


图 4 试验结果。(a) 图 3(a)对应的相位图,  
(b) 对应的远场衍射图样

Fig. 4 Experimental results. (a) Phases retrieval from Fig. 3(a), (b) far-field diffractive pattern

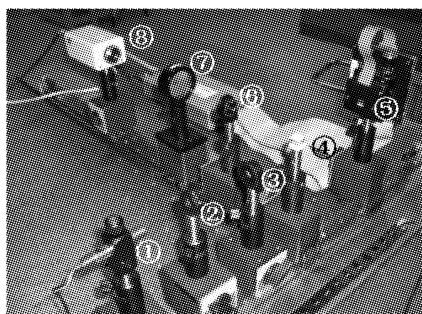


图 5 试验装置图

Fig. 5 Experimental set-up

### 4 讨 论

该液晶空间光调制器响应时间约为 20 ms,由算法开发的 C 语言程序运行在配置为 2.8 GHz Pentium IV 处理器、1 GB 内存的 Window 2000 操作系统下,迭代 10 次,计算耗时小于 150 ms。总的衍射图形发生过程耗时小于 170 ms。该改进算法在初始化部分需要进行一次傅里叶变化,另外进行随机编码过程中,需要产生大量随机数,而且在(6)式中需要进行一次非线性求解过程,这都增加不少额外的计算量。以前,我们也曾经介绍过用较少次数的迭代傅里叶迭代算法进行快速相位恢复的尝试<sup>[9]</sup>,虽然以前的简单迭代算法也很快,但由于在初值的选取上具有盲目性,当遇到初值陷阱的时候,往往不能保证在较少次数达到较高的收敛。这里提出的改进算法可以作为克服初值盲目性的一种办法,使原来算法具有更强的通用性。另外我们发现该算法对产生随机数的种源依然存在一定的依赖性,今后将进一步研究随机数产生方案,并深入研究该方法的收敛机理。

### 5 结 论

提出伪随机编码初始相位的 GS 改进算法。该改进方法产生的初始相位在统计意义上增加了幅度信息到相位信息的编码相位,改进算法具有比原来算法更快速的收敛特性和更高的收敛效率。用改进方法产生的相位图,写入到纯相位液晶空间光调制器上,在远场成功再现了期望图形,达到了预期的实验效果,证明了算法的有效性。作为一种快速相位恢复算法它在相控阵激光雷达以及光束敏捷偏转等领域有一定的研究价值。

### 参 考 文 献

- 1 Paul F. McManamon, Terry A. Dorschner, David L. Corkum *et al.*. Optical phased array technology[C]. *Proc. IEEE*, 1996, **84**(2): 268~298
- 2 R. W. Gerchberg, W. O. Saxton. A practical algorithm for the determination of phase from image and diffraction plane pictures [J]. *Optik*, 1972, **35**(2): 237~246
- 3 J. R. Fienup. Phase retrieval algorithms; a comparison [J]. *Appl. Opt.*, 1982, **21**(15): 2758~2769
- 4 J. R. Fienup, Reconstruction of an object from the modulus of its Fourier transform [J]. *Opt. Lett.*, 1978, **3**(1): 27~29
- 5 Zhang Jinguan, Zhang Yan, Lü Junfeng *et al.*. The design of diffractive optical elements with weighted serial iterative algorithm [J]. *J. Optoelectronics · Laser*, 2002, **13**(12): 1207~1210 (in Chinese)  
张静娟, 张 艳, 吕俊峰等. 用加权串行迭代算法设计衍射光学元件 [J]. *光电子 · 激光*, 2002, **13**(12): 1207~1210

6 Tian Kehan, Yan Yingbai, Tan Qiaofeng. Two Kinds of improvement on Yang-Gu algorithm for the design of diffractive optical element used for beam shaping[J]. *Chin. J. Lasers*, 2002, **29**(4): 307~312 (in Chinese)

田克汉, 严瑛白, 谭峭峰. YG 算法设计衍射光学光束整形器件的两种改进[J]. *中国激光*, 2002, **29**(4): 307~312

7 R. W. Cohn, Minhua Liang. Approximating fully complex spatial modulation with pseudorandom phase-only modulation[J]. *Appl. Opt.*, 1994, **33**(20): 4406~4415

8 Liu Wenyaoyao, R. W. Cohn. Pseudo-random encoding for phaser-

only filters[J]. *Acta Optica Sinica*, 1998, **18**(6): 783~788

刘文耀, R. W. Cohn. 纯相位型滤波器的伪随机编码[J]. *光学学报*, 1998, **18**(6): 783~788

9 Liu Bohan, Zhang Jian. Research of dynamical laser beams steering with a phase-only spatial light modulator research of dynamical laser beams steering with a phase-only spatial light modulator[J]. *Chin. J. Lasers*, 2006, **33**(7): 899~902 (in Chinese)

刘伯哈, 张 健. 纯相位空间光调制器动态控制光束偏转的研究[J]. *中国激光*, 2006, **33**(7): 899~902

## LASER2007' Harbin

### 第十八届全国激光学术会议第一轮通知

中国光学学会与中国电子学会联合主办的系列会议——第十八届全国激光学术会议,定于2007年8月在黑龙江哈尔滨举行。本次会议将为我国激光与光电子新老学者提供探讨新思想、新概念、新技术的交流平台,促进学术领域的科技创新和科技成果转化。多名院士和著名专家到会作大会报告,各分会设立高水平的邀请报告。欢迎积极投稿,踊跃参加。同时欢迎各公司、企事业单位刊登广告、到会展示科技成果产品和发布信息。

会议时间: 2007年8月,会期4天

会议地点: 中国·黑龙江·哈尔滨

主办单位: 中国光学学会、中国电子学会

承办单位: 哈尔滨工业大学 可调谐激光技术国家级重点实验室

名誉主席: 周炳琨院士

会议主席: 范滇元院士、周寿桓院士

会议副主席: 姚建铨、彭堃堃、朱健强、王 骐、王树国

秘书长: 陈德应

会议主题/征稿范围: 1) 激光物理(激光器动力学、激光等离子体物理、X光激光、激光光谱等); 2) 非线性光学与量子光学; 3) 全固态激光器及新型激光器; 4) 激光信息及处理技术; 5) 激光生物与激光医学; 6) 工业激光及其应用; 7) 激光材料、薄膜及元器件; 8) 光束传输、控制及光束特性

征文要求: 将500~800字摘要(用于审稿)和300字提要(用于出版)各一份,以电子邮件附件的形式发送至: Laser2007@hit.edu.cn,摘要应能准确反映研究成果的创新点,包括研究目的、方法结果、结论等内容。不引用参考文献、数学公式和化学式。不接受已在国内外正式出版刊物上发表过的论文,提交截稿日期为2007年5月31日。

来稿需注明论文题目、作者姓名、单位、通讯地址(包括邮编、电话、E-mail等)、关键词3~6个。题目用小三号黑体,摘要用宋体小四号字按word格式编排,务必在左上角标明所属征稿范围的第几类。一般不接受书面邮寄件。经审稿录用的论文,将由《中国激光》以增刊形式出版。

会议秘书组联系人及联系电话:

陈德应 0451-86402837, 何伟明 0451-86412710-214,

程元丽 0451-86402920, 王春晖 0451-86402910, 王瑞环 0451-86413164

传真: 0451-86413164, E-mail: Laser2007@hit.edu.cn, 网页: www.Laser2007.hit.edu.cn

地址: 黑龙江哈尔滨南岗区一匡街2号哈工大科学园3031信箱(王瑞环收), 邮编: 150001

中国光学学会激光专业委员会

中国电子学会量子电子学与光电子学分会

哈尔滨工业大学

可调谐激光技术国家级重点实验室

哈尔滨工业大学光电子技术研究所(代章)

二〇〇七年一月二十二日