

# 一种通用的辐射聚焦器优化设计方案

易治明 赵达尊

(北京理工大学工程光学系, 北京, 100081)

**摘要:** 本文提出了一种计算量小, 抗局部极值能力强的辐射聚焦器优化设计方案, 其特点在于用不同的算法来控制优化过程中不同类型的自变量。

**关键词:** 辐射聚焦器 二元光学 逆衍射

## A general optimization scheme for designing radiation focusator

Yi Zhiming, Zhao Dazun

(Department of Optical Engineering, Beijing Institute of Technology)

**Abstract:** A general optimization scheme for designing a radiation focusator, which consumes shorter computer time and has the ability to find escape from local extremes, is given. Its speciality is to control different kinds of variables with different algorithms.

**Key words:** radiation focusator binary optics inverse diffraction

### 一、引言

辐射聚焦器是一种纯位相型元件, 它几乎可在无能量损耗的情况下随意改变激光束的光强分布, 在激光扫描、激光加工上具有广阔的应用前景, 是二元光学元件的一种典型应用。

辐射聚焦器的设计方法, 有面积分割法、点阵法和位相恢复法三大类。前两类对所形成的聚焦图形有一定的限制, 位相恢复法适用性最强, 但由于采用该法设计自变量数目庞大, 等于元件的总像素数, 以往算法存在着计算量太大或易陷入局部极值等问题。为改善这种状况, 我们通过分析自变量特性, 引入新的算法 ALOPEX, 提出用不同的算法控制不同类型的自变量, 找到了一种计算量小且还抗局部极值能力强的优化设计方案。

### 二、对辐射聚焦器设计自变量性质的分析

辐射聚焦器的设计, 用离散傅里叶变换关系表示, 实质上就是: 已知入、出射光强为  $|a(m, n)|^2$  和  $|AIM(k, l)|^2, k, l, m, n = 0, 1, \dots, N-1$ ; 求元件位相分布  $\varphi(m, n)$ , 使如下评价函数  $F$  最小。

$$F = \frac{1}{N^2} \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} \left| \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} a(m, n) e^{j\varphi(m, n)} e^{j\frac{2\pi}{N}(mk-nd)} \right| - |AIM(k, l)| \quad (1)$$

这是一个具有庞大自变量数( $N^2$ 个)的非线性优化问题,最理想的结果当然是得到一组 $\varphi(m,n)$ ,使如下傅里叶变换关系得以满足,此时(1)式的 $F$ 等于零。

$$\sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} |a(m,n)| e^{-j\frac{2\pi}{N}(mk+nl)} e^{j\varphi(m,n)} = |AIM(k,l)| e^{j\psi(k,l)} \quad (2)$$

式中, $\psi(k,l)$ 为焦平面上光波位相值,可为任意值。如果我们把(2)式中 $e^{j\varphi(m,n)}$ 看作自变量,则(2)式为一线性方程组。假设在聚焦图案光强分布中有 $Z_0$ 个单元的 $|AIM(k,l)|$ 等于零,根据线性方程组性质,则方程仅有 $N^2-Z_0$ 个自变量是独立的,而 $Z_0$ 个为非独立自变量。也就是说,在元件面上只有 $N^2-Z_0$ 个单元的位相值是完全独立的。

### 三、新的优化设计方案

分析以往算法的特点,我们可以看出,误差递减法(ER)<sup>[1,2,3]</sup>由于通过正反傅里叶变换构成了一个封闭的优化回路,自动地保证了自变量取值满足(2)式,再加上其只接受使评价函数下降的自变量取值,故收敛速度快但极易陷入局部极值而停滞;而模拟退火法(SA)<sup>[4,5,6]</sup>,把元件面上所有单元位相值都作为独立自变量来求解,在优化过程中随机改变每一单元位相取值,这样又难以保证一组单元位相取值所必须满足的相互关系,而满足这一关系是得到好设计结果的前提,再者由于SA本身就存在着计算量大的缺点,我们引入了另一计算量小且抗局部极值能力更强的优化算法 ALOPEX<sup>[7]</sup>,可用算式表达如下:

$$\varphi^i(m,n) = \varphi^{i-1}(m,n) + \delta^i(m,n) \quad (3)$$

$$\delta^i(m,n) = \begin{cases} \delta & \text{概率 } P^i(m,n) \\ -\delta & \text{概率 } 1 - P^i(m,n) \end{cases} \quad (4)$$

$$P^i(m,n) = 1/[1 + \exp(\Delta^i(m,n)/T)] \quad (5)$$

$$\Delta^i(m,n) = [\varphi^{i-1}(m,n) - \varphi^{i-2}(m,n)](F^{i-1} - F^{i-2}) \quad (6)$$

$$T = \frac{1}{QN^2} \sum_{q=0}^{Q-1} \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} |\Delta^i(m,n)| \quad (7)$$

在(3)~(7)式中,上标 $i$ 为叠代序号, $\delta$ 是增量步长, $F$ 是用(1)式表示的评价函数, $T$ 是温度参量, $Q$ 为每完成 $Q$ 次叠代后就改变一次系统的温度值,通常取10,20等整数,其它符号与文中意义相同。

为了进一步减小计算量,把ER法的快速收敛性与ALOPEX的强的抗局部极值性能结合起来,我们提出如下方案:

用ALOPEX控制独立自变量,而用ER控制非独立自变量,即在一个叠代周期内,先用ALOPEX改变任意 $N^2-Z_0$ 个单元的位相值,再用ER法去决定所有剩余单元的位相值。

### 四、比较与结论

为验证本方案的有效性,我们采用了四种方案来设计一个 $32 \times 32$ 的辐射聚焦器。该元件将具有图1a所示高斯强度分布的激光束转换为具有图1b所示问号形强度分布的激光束,取元件位相量化等级为4。这四种方案是:(a)ER法;(b)用ALOPEX控制所有自变量;(c)用SA控制独立自变量,而用ER控制非独立自变量;(d)用ALOPEX控制独立自变量,而用ER控制非独立自变量。从同一组随机初始位相值开始设计,初始评价函数为 $F^0=0.4012$ ,在带Inter

80387 数学协处理器的 Super 386DX/33 微机,各方案分别得到图 2a,b,c,d 所示强度分布结果所用时间为 3,20,20,12h。此外,我们还以 10 组不同的随机初始位相值采用 ER 进行了设计,几乎都在 3h 左右陷入局部极值而产生死循环,所得元件位相值各不相同,即陷入不同的局部极值点,对应的 10 个评价函数值为:0.1808, 0.1850, 0.1872, 0.1881, 0.1814, 0.1799, 0.1906, 0.1830, 0.1861, 0.1906。

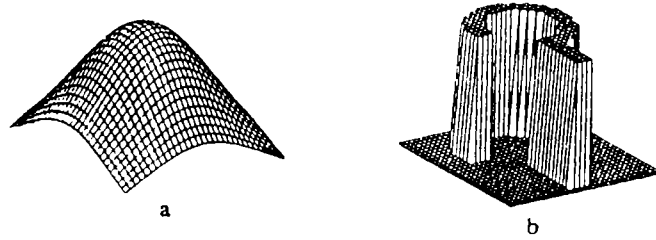


Fig. 1 Beam intensity distribution  
a—input intensity distribution-Gaussian distribution  
b—output intensity distribution



Fig. 2 Computer simulation results of intensity distribution

a—controlling all variables with ER,  $f=0.1799$  b—controlling all variables with ALOPEX,  $f=0.1810$  c—controlling independent variables with SA, and the others with ER,  $f=0.1749$  d—controlling independent variables with ALOPEX, and the others with ER,  $f=0.1647$

由上可见,ER 尽管计算量小但极易陷入局部极值而难得好结果;方案 d 与 c 证明 ALOPEX 是一种比 SA 计算量小的算法;方案 c 与 b,d 与 b 比较,则同时证明了我们仅用抗局部极值能力强的算法控制独立自变量对于减小计算量的有效性;方案 d 比方案 b,c 所花时间少,得到的结果还好,这些都说明了新方案作为一种通用的辐射聚焦器优化设计方案在减少计算与提高抗局部极值能力上的有效性。

#### 参 考 文 献

- 1 Fienup J R, Wackerman C C. J O S A (A), 1986; 3(11):1897
- 2 Fienup J R. Opt Engng, 1980; 19(3):297
- 3 Fienup J R. Appl Opt, 1982; 21(15):2758
- 4 Kirkpatrick S, Gelatt C D, Vecchi M P. Science, 1983; 220:671
- 5 Baister G C, Hall T J. Proc SPIE, 1990; 1281:176
- 6 Nieto-vesperians M, Navarro R, Fuentes F J. J O S A (A), 1988; 5:30
- 7 Harth E, Kalogeropoulos T, Pandya A S. A universal optimization network. Special symposium volume of the 10th annual international conference of the IEEE-EMBS, New Orleans, LA, 1988

作者简介:易治明,男,1966 年出生。博士研究生。从事二元光学研究。  
赵达尊,男,1940 年出生。教授,博士生导师。现为赴美高级访问学者。

收稿日期:1993-03-02