

高效率获得阵列信号光源的新途径

丁 剑 平

(南京大学 物理系, 南京 210008)

提 要

根据图像反差倒转的概念, 提出了一种高效率产生多光束照明信号的新方法。这种技术可望应用于研制阵列处理器或光计算机所需的阵列信号光源。本文给出了产生阵列信号光源的实验结果, 并进行了讨论。

关键词: 光计算, 阵列照明器, 反差倒转。

一、引 言

多通道并行光信息处理和数字光计算需要并行的阵列光源提供输入光信号^[1~3]。现阶段的光计算及逻辑门元件(如光双稳态器件), 其光信号接收器可小至 μm 量级, 所需信号功率为 mW 量级, 逻辑门阵列可达 $10^6/\text{cm}^2$ ^[2, 4], 因而要求光源的总功率可大到 kW 量级。尽管光学逻辑门的研制在向低功率信号源方向发展, 但高度的并行化和集成化使光源必须具备下列主要特性: (1) 能量的高利用率; (2) 阵列化; (3) 阵列光源的精细化。Lahmann等人已在获得这类信号光源方面进行了尝试, 但对光源的空占比有严格的限制, 且只限于规则阵列。本文提出了一种新方法, 利用图像反差倒转的原理, 高效率获得阵列光源, 光源的形状及排列可任意选择, 灵活性高及易于实现。该方法为研究光计算机所需的阵列光源提供了一条可能途径。

二、原 理

在 $4f$ 光信息处理系统中, 对输入图像在频谱面上的零频分量进行 π 位相滤波可实现输入图像的反差倒转。滤波函数在数学上可表示为

$$H(u, v) = 1 + 2\text{oir}\left(\frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{R}\right)e^{i\pi}, \quad (1)$$

式中 u, v 为频谱域的二维坐标, $\text{oir}(x)$ 为圆孔函数, R 为零频 π 相移区的半径。如输入为二元实图像 $f(x, y)$ (即 $f(x, y)$ 只有0和1取值), 则输出平面上的光场分布 $g(x, y)$ 为

$$g(x, y) = f(-x, -y) \otimes \left(\frac{1}{\lambda f}\right)^2 \mathcal{F}\{H(u, v)\} \Big|_{\frac{x}{\lambda f}, \frac{y}{\lambda f}}, \quad (2)$$

式中 \mathcal{F} 和 \otimes 分别代表二维傅里叶变换和卷积。 λ 为光波长, f 为傅里叶变换透镜的焦距。从(1)、(2)式推得

$$g(x, y) = f(-x, -y) - 2f(-x, -y) \otimes \frac{R^2}{(\lambda f)^2} \text{somb}\left(\frac{R}{\lambda f} \sqrt{x^2 + y^2}\right), \quad (3)$$

式中 $\text{somb}(x)$ 为帽函数。如 $(R^2/\lambda f) \ll 1$, 图像 $f(x, y)$ 只占据有限面积 S , 则可得下列近似关系式

$$g(x, y) = f(-x, -y) - 2S \frac{R^2}{(\lambda f)^2} \overline{f(-x, -y)}, \quad (4)$$

式中 $\overline{f(-x, -y)}$ 表示 $f(-x, -y)$ 的平均值。用平行光照相逆针孔阵列屏作为 $4f$ 系统的输入, 即针孔区域不透光, 其余区域皆透光。由于针孔的空占比很小, 则 $\overline{f(-x, -y)} \approx 1$ 。对一定的 S 、 λ 、 f , 选择适当的相移区大小, 使得 R 满足下列条件

$$\frac{SR^2}{(\lambda f)^2} = \frac{1}{2}, \quad (5)$$

则有

$$g(x, y) = f(-x, -y) - 1. \quad (6)$$

$f(-x, -y)$ 为 0, 1 二值函数, 因而 (6) 式表明 $g(x, y)$ 是 $f(-x, -y)$ 的反差倒转函数。由 (1) 式 $|H(u, v)|^2 = 1$, 根据 Parseval 定理, 可以得到

$$\begin{aligned} \iint |g(x, y)|^2 dx dy &= \iint |\mathcal{F}\{f(x, y)\} H(u, v)|^2 du dv \\ &= \iint |\mathcal{F}\{f(x, y)\}|^2 du dv = \iint |f(x, y)|^2 dx dy, \end{aligned} \quad (7)$$

即输出总能量与输入总能量相等。在输出面上, 光能全部集中在针孔区域, 构成了阵列光源。

在上述方案中, 针孔的大小、形状及排列可任意选择。从理论上讲, 光能损耗仅来自针孔区域的微少的吸收。

三、实验结果及讨论

本文采用了一种简便的方法实现 π 相移^[3], 进行了原理性实验。使用中心区域条纹错开半个周期的伦奇 (Ronchi) 光栅作为零频 π 相移滤波器, 如图 1 所示, 根据迂回位相的概念, 这相当于在 ± 1 级衍射的零频上加 π 位相, 从而使 ± 1 级像出现反差倒转。实验参数为 $\lambda = 6.328 \times 10^{-4}$ mm, $f = 1.2 \times 10^3$ mm, $R = 0.05$ mm, $S = 12 \times 12$ mm²。

图 2(a) 和 (b) 分别为规则和不规则阵列的针孔屏和照片, 针孔半径为 0.15 mm, 图 2(a') 和 (b') 为实验获得阵列点光源的像。图 2(c) 所示的针孔屏, 其中的针孔半径 r 和间距 Δ 设计如表 1 所列, 图 2(c') 为反转像, 从中可看出对 $r = 0.02$ mm 及 $\Delta = 0.25$ mm 两种情形, 未能获得期望的结果。作者认为, 这是由于透镜的相对孔径小和滤波器的有效面积小, 使得部分高频信息丢失之故。

实验还测量了对应于图 2(a') 的输出面与针孔处强度的相对值、对比度及能量利用效率。表 2 列出了一行上 10 个点光源的相对强度。

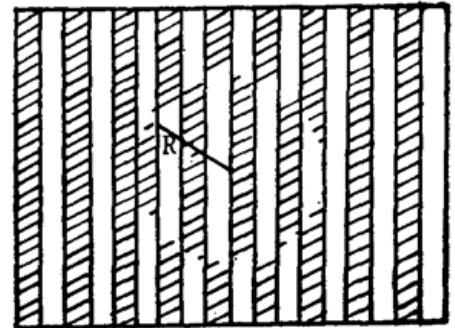


Fig. 1 Phase filter based on zero-frequency component

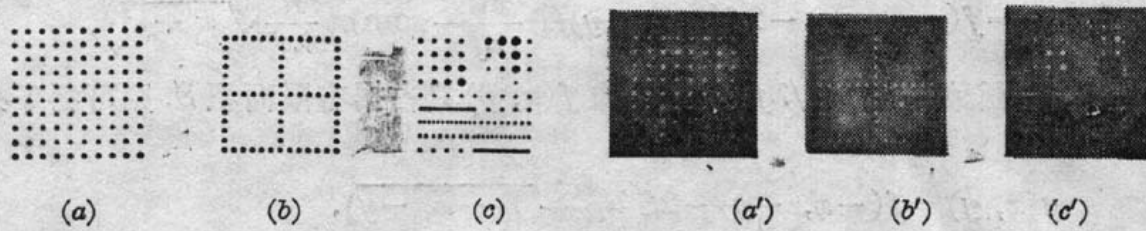


Fig. 2

- (a) Regular array inverse pinhole screen (a') Regular array multiple light beams
 (b) IR regular array inverse pinhole screen (b') IR regular array multiple light beams
 (c) Inverse pinhole screen with different parameters (c') Contrast reversal of (c)

Table 1 Parameter values of the pinholes in Fig. 2(c)

unit:mm	1	2	3	4	5	6
r	0.02	0.04	0.08	0.15	0.30	0.40
d	0.25	0.50	0.75	1.50		

Table 2 Relative intensity of ten pinholes on one line

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	average	relative mean difference
I	7.0	10.5	10.9	12.0	11.2	11.0	14.5	10.5	7.8	6.0	10.1	19.2 %

光源与背景的最小对比度为 12:7, 能量利用效率为 6.5%, 衍射一级上的能量转换率为 $6.5/\pi^2 \approx 6.5\%$ 。进一步改进光学系统的性能, 应能获得更好的实验结果。

由于采用一级衍射效率约为 10% 的振幅型伦奇光栅进行原理性实验, 能量利用率较低, 如用电子束在玻璃基片上进行刻蚀的方法制作 π 相移滤波器, 其在频谱面上对光能无吸收, 就可以构成能利用率很高的阵列光源。并且目前电子束刻蚀精度已达 $0.5 \mu\text{m}^{[8]}$, 相移区可以做得很小, 从而放宽(5)式对实验参数的限制。

对于不同的光计算元件, 可能需要不同形式的光信号照明(如会聚光照明、平行光照明等), 这可以通过全息阵列望远镜系统对阵列光源发出的多光束信息号进行整形^[9]。

感谢石敏同志在 π 相移滤波器的制作中提供的协助。

参 考 文 献

- [1] J. W. Goodman, A. R. Dias *et al.*; *Opt. Lett.*, 1978, **2**, No. 1 (Jan), 1~5.
 [2] S. D. Smith, A. C. Walker *et al.*; *Appl. Opt.*, 1986, **25**, No. 10 (May), 1586~1593.
 [3] A. W. Lohmann, F. Sauer; *Appl. Opt.*, 1988, **27**, No. 14 (Jul), 3003~3007.
 [4] Wai-Hon Lee; *Appl. Opt.*, 1979, **18**, No. 13 (Jul), 2151~2158.
 [5] M. R. Feldman, G. C. Guest; *Appl. Opt.*, 1987, **26**, No. 20 (Oct), 4377~4384.
 [6] A. W. Lohmann; *Optik*, 1988, **79**, No. 1 (Apr), 41~45.
 [7] A. W. Lohmann, J. Schwider; *Appl. Opt.*, 1988, **27**, No. 14 (Jul), 2915~2921.
 [8] 高文琦, 叶权书等; 《激光》, 1980, **7**, No. 9 (Sep), 34~37.
 [9] M. R. Feldman, G. C. Guest; *Appl. Opt.*, 1989, **28**, No. 15 (Aug), 3134~3137.

A new approach to obtaining efficient generation of multiple illuminating beams

DING JIANPING

(Department of Physics, Nanjing University)

(Received 6 February 1990; revised 21 May 1990)

Abstract

On the basis of image contrast reversal, a new method is described for efficiently generating multiple illuminating beams. This technique can be applied to the fabrication of array light signal sources needed by array processors or optical computers. Experimental results are presented and discussions are given.

Key words: optical computation, multiple light beams, contrast reversal.