

# 计算全息图在光学变换中的应用

郑善锋 王天及

(中国科学院广州电子技术研究所, 广州 510075)

## 提 要

本文讨论如何利用计算全息图作为全息透镜以实现圆环到直线, 直线到点以及圆环到点等光学变换, 采用液晶电视空间光调制器准实时地产生计算全息图。

关键词: 计算全息, 光学变换, 液晶电视空间光调制器。

## 一、引 言

根据全息图记录的基本原理, 1965年罗曼<sup>[1]</sup>首次使用计算机制作了世界上第一张计算全息图, 制作计算全息图时不需要真实物体的存在, 而只要给出物波的具体数学表达式, 这就使得人们能够较方便地制作透射函数为任意的二维复函数全息透镜: 这种全息透镜非常适用于空间变光学系统, 以实现某种需要的光学变换。

Bryngdahl<sup>[2, 3]</sup>利用计算全息图作为全息透镜以建立一个空间变光学系统, 该系统能实现一些光学变换: 例如: 平移, 局部收缩等, Saito等人<sup>[4]</sup>采用计算全息图进行实时光学  $\ln(r) \sim \theta$  变换, 并将其应用到光学模式识别, Casasent<sup>[5]</sup>则用计算全息图实现了光学梅林变换。

在此基础上, 本文所述的工作是如何利用计算全息图作为全息透镜, 以实现圆环到直线, 直线到点以及圆环到点等光学变换, (以下将圆环到直线, 直线到点以及圆环到点的变换分别简称为环-线, 线-点, 环-点变换), 使用二种方法制作计算全息图, 第一种是较常见的方法, 即由计算机绘图仪画出计算全息图, 再进行光学缩影, 第二种方法是: 计算机将计算全息图的编码数据馈送到一个液晶电视空间光调制器, 在液晶电视空间光调制器上准实时地产生计算全息图。

### 1. 光学变换系统

图1是实现光学变换的空间光学系统, 设输入面  $I$  处放置振幅分布物体  $f(x, y)$ , 全息透镜  $H$  (即计算全息图) 紧靠  $I$  面, 在平行相干光照明下, 当  $H$  具有位相函数  $\phi(x, y)$  时, 输出面  $O$  的复振幅分布  $F(u, v)$  为

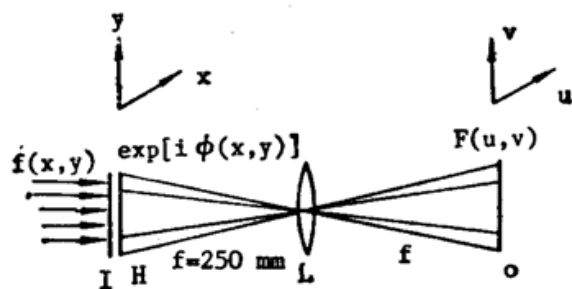


Fig. 1 Optical transformation system

$$F(u, v) = \iint_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) \exp[i\phi(x, y)] \exp[-ik(xu + yv)/f] dx dy, \quad (1)$$

式中  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $\lambda$  为光波波长, 令  $h(x, y) = [\phi(x, y)/k] - [(xu + yv)/f]$ , 将(1)式改写为

$$F(u, v) = \iint_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) \exp[ikh(x, y)] dx dy. \quad (2)$$

对于大的  $K$  值, 可用稳相法<sup>[6]</sup> 来求(2)式积分的渐近值, 可以证明, 对积分有贡献的仅来自某些鞍点的邻近区域, 在这些鞍点处, 有以下关系:

$$\frac{\partial h(x, y)}{\partial x} = \frac{\partial h(x, y)}{\partial y} = 0. \quad (3)$$

由(3)式可得

$$u = \frac{\lambda f}{2\pi} \frac{\partial \phi(x, y)}{\partial x}, \quad v = \frac{\lambda f}{2\pi} \frac{\partial \phi(x, y)}{\partial y}. \quad (4)$$

如果选定一种  $X$ - $Y$  平面到  $U$ - $V$  平面的变换为

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} u = u(x, y) \\ v = v(x, y) \end{bmatrix}. \quad (5)$$

由(5)式与(4)式可解出函数  $\phi(X, Y)$  (如果方程有解的话), 由此可见, 对于某种  $X$ - $Y$  平面到  $U$ - $V$  平面的变换, 只要解出位相函数  $\phi(X, Y)$ , 便可制作具有  $\phi(X, Y)$  位相的计算全息图, 用图 1 光路实现所希望的变换。

## 2. 对几种变换的讨论

令如下变换:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} u = x - y \\ v = y - x \end{bmatrix}, \quad (6)$$

这是一种从  $X$ - $Y$  平面到  $U$ - $V$  平面的线-点变换, 可解得位相函数:

$$\phi(x, y) = \frac{\pi}{\lambda f} (x^2 + y^2 - 2xy). \quad (7)$$

对于环-线变换, 可取:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} u = \ln(x^2 + y^2)^{1/2} \\ v = \tan^{-1}(y/x) \end{bmatrix}, \quad (8)$$

解得位相函数为

$$\phi(x, y) = \frac{2\pi}{\lambda f} \left[ -y \tan^{-1} \left( \frac{y}{x} \right) + x \ln \sqrt{x^2 + y^2} - x \right], \quad (9)$$

如果将上述二种变换结合起来, 便可实现环-点变换。

## 二、实 验

### 1. 制作计算全息图

采用 He-Ne 激光器作为光源, 光波波长  $\lambda = 6328 \text{ nm}$ , 取透镜焦距  $f = 250 \text{ mm}$ , 由计算机绘图仪画制出李氏型计算全息图, 计算全息图原图尺寸为  $20 \times 20 \text{ cm}^2$ , 经光学缩影后(缩小 50 倍)制成实用的计算全息图。

本文实验所用的液晶电视空间光调制器是由市售 Citlzen OBIA-OH 黑白液晶电视改装而成的, 其屏幕尺寸为  $71 \times 53 \text{ mm}^2$ , 像素点数为  $160 \times 130 \text{ pixels}$ , 经适当的电路修改后, 使其能接受外加的视频信号, 计算机将计算全息图编码数据输给帧存储器, 由帧存储器转换成视频信号后馈送到液晶电视空间光调制器在其上准实时地产生计算全息图如图 2 所示。

2. 用计算全息图实现光学变换

采用图 1 光路, 在输入面  $I$  上, 输入物分别为圆环和线段, 圆环内, 外径分别为 2.5 mm

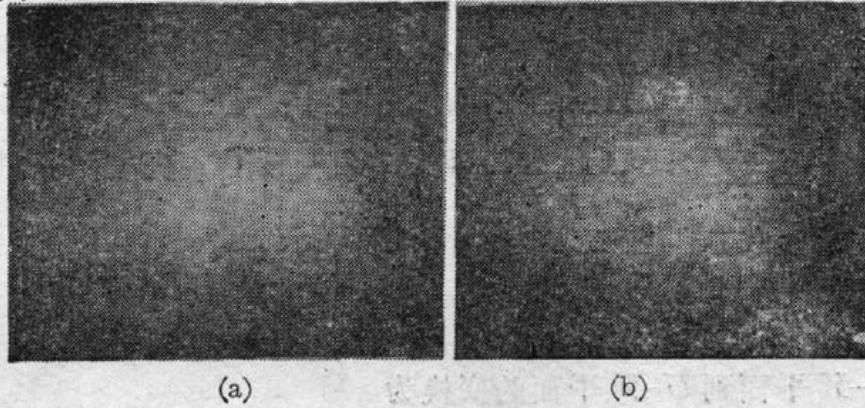


Fig. 2 CGH generated by LCTU. SLM  
(a) For ring-to-line (b) For line-to-point

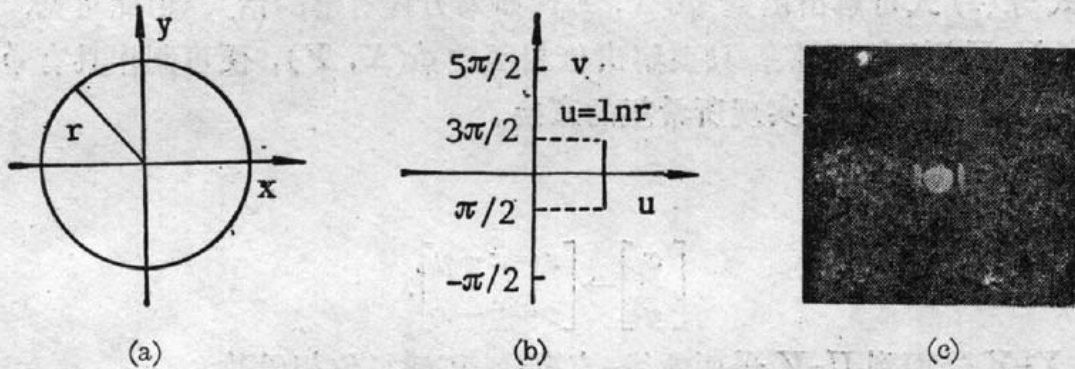


Fig. 3 Ring-to-line transformation

(a)  $I$  plane input distribution; (b)  $O$  plane theoretical output distribution; (c)  $O$  plane practical output distribution, center: 0-order diffraction, both sides:  $\pm 1$ -order diffraction.

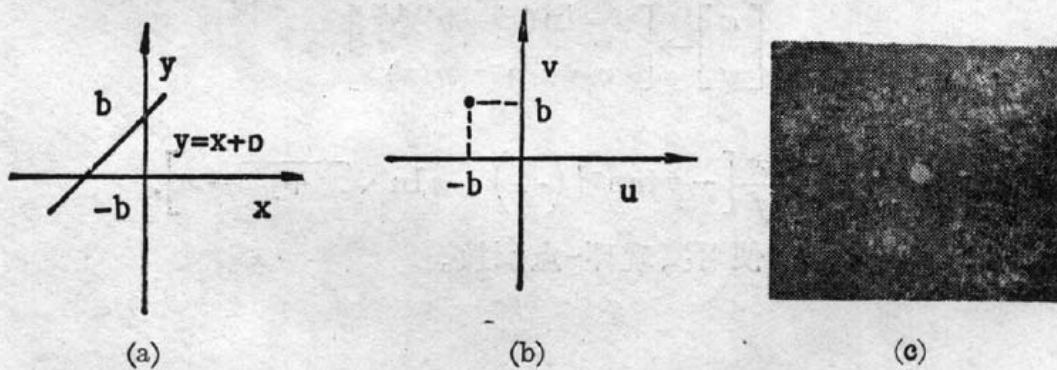


Fig. 4 Line-to-point transformation.

(a)  $I$  plane input distribution; (b)  $O$  plane theoretical output distribution; (c)  $O$  plane practical output distribution, center: 0-order diffraction, both sides:  $\pm 1$ -order diffraction

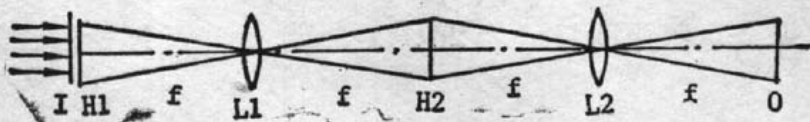


Fig. 5 Ring-to-point transformation diagram

Focus of  $L1$  and  $L2$ :  $f=250\text{mm}$ ,  $H1$  and  $H2$ : CGH for ring-to-line<sup>6</sup> and line-to-point transformations respectively, 1 and 0; input and output planes.



Fig. 6  $O$  plane practical output distribution in ring-to-point transformation

和 3.0 mm, 直线宽 0.25 mm, 经环-线(线-点)变换后, 在输出面  $O$  上的理论和实际输出如图 3(b)、(c)及图 4(b)、(c)。将环-线变换与线-点变换结合起来, 便可进行环-点变换, 实验光路如图 5 所示, 输入物仍取图 3(a), 实际变换输出见图 6。

### 三、结 束 语

本文实验证实计算全息图能实现光学变换, 由于制作计算全息图具有较好的灵活性, 所以计算全息图很适用于作为光学变换元件, 去完成各种不同要求的光学变换。

制作计算全息图所需要的时间是一个不可忽视的问题。本文采用液晶电视空间光调制器准实时地产生计算全息图, 这种方法在国内尚属罕见, 它省去了计算机绘图及光学缩影等烦琐的工作, 其优点不仅在于节省时间, 也易于存放和修改, 而且可以降低制作计算全息图的成本, 是一种很实用的实验方法, 文中所有的液晶电视空间光调制器分辨率较低, 作者认为用相似的方法, 制作  $1024 \times 1024$  或更高空间带宽积的计算全息图并不困难。

### 参 考 文 献

- [1] A. W. Lohmann and D. P. Paris; *Appl. Opt.*, 1976, **6**, No. 6 (Mar 15), 1739.
- [2] O. Bryngdahl; *Opt. Commun.*, 1974, **10**, No. 2 (Feb), 164.
- [3] O. Bryngdahl; *J. Opt. Soc. Am.*, 1974, **64**, No. 8 (Aug), 1092.
- [4] Y. Saito *et al.*; *Opt. Commun.*, 1983, **47**, No. 1 (Aug 1), 8.
- [5] D. Casasent *et al.*; *Opt. Commun.*, 1976, **19**, No. 2(Nov), 217.
- [6] M. 玻恩, E. 沃耳夫著;《光学原理(下册)》, (科学出版社, 北京, 1981), 1002.

## Application of computer generated holograms to optical transformations

ZHENG SHANFENG AND WANG TIANJI

(Guangzhou Institute of Electronics Technology, Academia Sinica Guangzhou 510075)

(Received 4 June 1990; revised 5 January 1991)

### Abstract

Ring-to-line, line-to-point and ring-to-point optical transformations by using computer generated holograms as a holographic lens are discussed in this paper. A liquid crystal television spatial light modulator fabricates computer generated holograms in quasi-real time.

**Key words:** CGH, optical transformation, liquid crystal television SLM