

液晶光阀记录二元纯位相滤波器的实验研究*

王大勇 李育林 孔玉娥 王昭 陈烽

(中国科学院西安光机所, 西安 710068)

提要 本文利用液晶光阀记录二元纯位相滤波器进行了实验研究, 实验结果显示液晶光阀记录二元纯位相滤波器具有高效率光学再现能力。同时还给出了制作二元纯位相滤波器的简单方法。

关键词 纯位相滤波器, 空间光调制器, 图像处理

Experimental study of recording binary phase-only filters using liquid crystal light valve

WANG Dayong, LI Yulin, KONG Yue, WANG Zhao, CHEN Fen

(Xian Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Xian 710068)

Abstract In this paper, experimental study using liquid crystal light valve to record binary phase-only filters is reported. The results show that liquid crystal light valve has high efficient optical reconstruction when used as BPOF. Also given is a simple technique to generate binary phase-only filters with CCD camera, PC/XT computer and photographic film.

Key words phase-only filter, spatial light modulator, image processing

1 引言

液晶光阀是七十年代发展起来的、被广泛地用作空间光调制器的一种光寻址器件^[1], 它通常工作在(0, +1)振幅调制模式, 即利用液晶层调制读出激光束的偏振方向, 再通过检偏器得到强度调制的读出光束。目前在实时光学相关系统的研究中, 计算机模拟表明二元纯位相滤波器(BPOF)具有优秀的相关性能^[2]。因此从实验的观点来看, 研究液晶光阀记录 BPOF 有着重要的意义。国外已报道 Jeffrey A. Davis 用休斯公司制造的液晶光阀记录 BPOF^[3], 得到了高效率的再现像。本文采用自行研制的液晶光阀记录 BPOF, 给出了相应的实验结果, 获得了更为完整的再现像。

收稿日期: 1992年8月20日; 收到修改稿日期: 1992年10月26日。

* 本课题受国家 863 计划基金的资助。

2 二元纯位相滤波器的算法

对于信号 $h(x,y)$ 由经典的匹配滤波器给出的 $H(u,v)$ 可以表示为

$$H(u,v) = |H(u,v)| \exp[-j\phi(u,v)] \tag{1}$$

连续纯位相滤波器是从上式右边除去振幅部分得到的, 结果如下

$$H_\phi(u,v) = \exp[-j\phi(u,v)] \tag{2}$$

对连续纯位相滤波器进行二值化就产生了 BPOF。二值化算法通常是对 $H_\phi(u,v)$ 的实部或虚部取阈值, 分别对应于 cosine-BPOF 和 sine-BPOF, 具体如下

$$H_B(u,v) = \begin{cases} 1, & \text{Im}[H_\phi(u,v)] \text{ 或 } \text{Re}[H_\phi(u,v)] \geq 0 \\ -1, & \text{其它} \end{cases} \tag{3}$$

3 液晶光阀的工作模式

实验中使用的液晶光阀是交流反射式混合场效应器件, 具有低光强响应的能力, 结构如图 1 所示, 详细的描述见文献[4]。下面讨论当输入图像是二值图像时器件的不同工作模式。

当光阀的写入图像是二值图像时, 读出图像也应是一个二值的输出。入射读出光束是线偏振光, 反射读出光束的偏振态根据写入光强的不同而不同, 可以用检偏器进行检验。对于混合场效应器件, 理想的情况下, 暗态反射读出光束是线偏振光; 而亮态反射读出光束是椭圆偏振光, 椭圆偏振光的长轴方向相对暗态线偏振方向有一个旋转角度, 并且随着写入光强的增大, 椭圆度改变, 旋转角度也逐渐增大。

实际工作时因多种因素的影响, 暗态反射读出光也是轻微椭圆偏振的。适当地选择写入光强、器件的工作频率和电压, 可使暗态和亮态反射读出椭圆偏振光的椭圆度相当接近, 此时改变检偏器透光轴的方向, 可使器件在不同的模式下工作。当检偏器的透光轴垂直于暗态偏振方向或亮态和暗态之间夹角的平分线时, 分别对应于 $(0, +1)$ 和 $(-1, +1)$ 调制, 如图 2 所示。

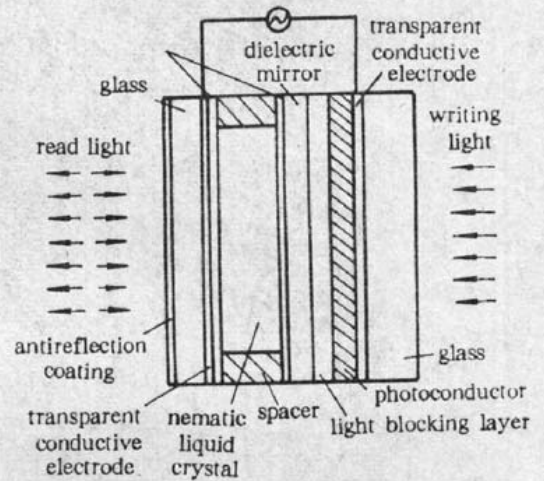


Fig. 1 Schematic of the ac liquid crystal light valve

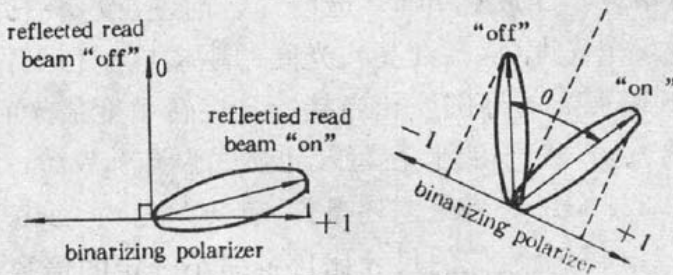


Fig. 2 Orientation of analyzer to achieve two operation modes

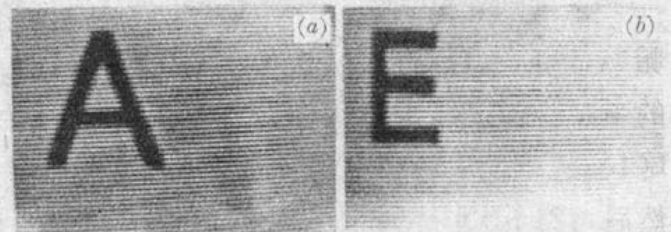


Fig. 3 Input images of letter "A" and "E" (a) Letter "A"; (b) Letter "E"

4 液晶光阀记录二元纯位相滤波器

为了在液晶光阀上记录二元纯位相滤波器, 首先要制作 BPOF 透明片。我们是用 CCD 摄

像机、配有专用图像处理板的 PC/XT 计算机和二维 FFT 软件制作 BPOF 的,其中图像的分辨率是 512×512 个像素,每个像素有 256 个灰度级,而二维 FFT 是 128×128 个元素。摄像机输入所要求的参考图像,如图 3 所示(从监视器上拍摄);图像板数字化来自摄像机的一帧视频信号,并将 512×512 的图像取样至 128×128 个像素,以便与二维 FFT 软件相兼容;在取样过程中对图像进行预处理如二值化、图像分割等。

FFT 的结果有实部和虚部,仅利用实部制作 BPOF。当阵列中一个元素的实部是正值时,在图像处理板上此元素对应于亮的视频值(灰度级:255);如果是负值时对应于黑的视频值(灰度级:0)。此图像显示在监视器上,我们用海鸥 DF-1 型相机和航微-I 型胶片缩拍制得了 BPOF 透明片。透明片中 BPOF 的尺寸约是 $18 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$,图 3 参考图像对应的 BPOF 的放大照片如图 4 所示。

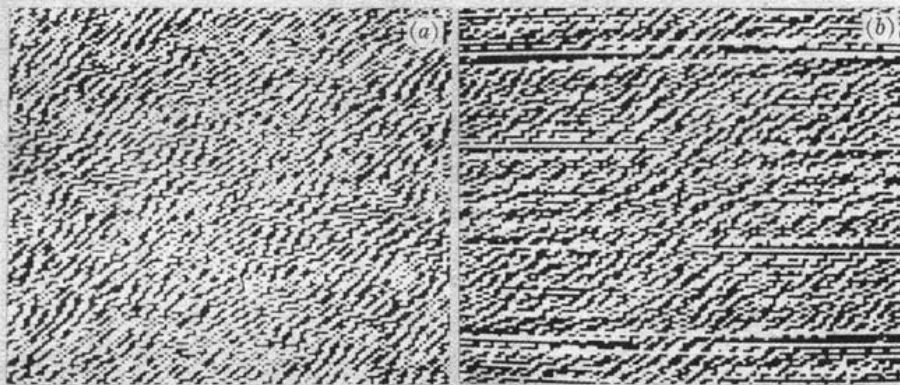


Fig. 4 Binary phase-only filters of letter "A" and "E"

(a) BPOF of letter "A"; (b) BPOF of letter "E"

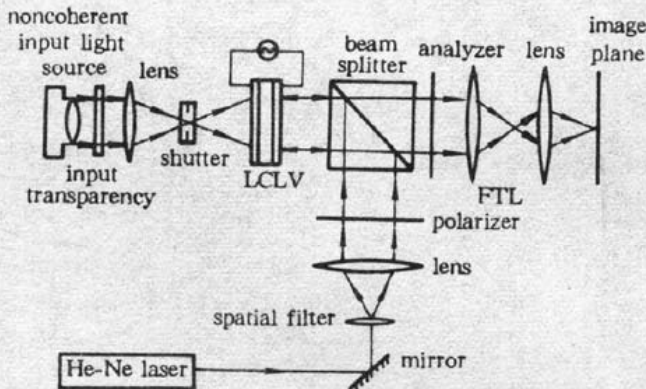


Fig. 5 Schematic diagram of the experimental setup

下一步, BPOF 透明片需用非相干光照明成像到液晶光阀(LCLV)的写入面上,实验系统框图如图 5 所示。实验中使用的非相干光源是白光光源,输入成像物镜的焦距是 134.5 mm 。用功率为 6 mW 的 He-Ne 激光器扩束准直光束读出,光束直径为 $\phi 30 \text{ mm}$;入射的激光束稍稍倾斜于 LCLV 的读出表面,以便使入射读出光束和反射读出光束错开。在放置 BPOF 透明片之前,应改变白光写入光强度(从暗到亮)、光阀的驱动电压和工作频率,以便寻找在保证暗态和亮态反射读出椭圆偏振光的椭圆度相当接近且旋转角度最大时的工作条件。通过旋转检偏器,测量检偏器后的光强,我们得到,在写入光强度为 $60 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, LCLV 的驱动电压和工作频率分别为 $5.6 \text{ V}_{\text{rms}}$ 和 8.8 kHz 时满足前述条件,旋转角度约为 80° 。然后再将 BPOF 透明片置入光路中,它在 LCLV 写入面上成像的尺寸比自身缩小一定的倍数,但器件要能够分辨。此时通过检偏器能够观察到 BPOF 图样,旋转检偏器找到一个位置,使得读出光束的强度基本上是均匀的(看不到 BPOF 图样),即实现了二元纯位相调制。

再用 $f' = 380 \text{ mm}$ 的傅氏透镜进行傅里叶逆变换,在焦平面上可得到各级再现的像,用显微物镜放大、照相记录如图 6 所示。从照片上我们可以看出一级再现的像相当完整,每一级再现的像都有一个倒置的伪像,这正是二值化编码、用实数表示连续复值滤波器的结果。另外,再

现的像有明显的边缘增强,表明 BPOF 有高通滤波器的作用。此外再现的像信噪比相当低,主要原因是器件液晶层定向和灌注不均匀、读出光束直径大于 BPOF 的成像尺寸、检偏器的消光比低和反射读出光束的椭圆性。相信进一步改善光阀器件和其它光学元件性能后,信噪比会有较大的提高。

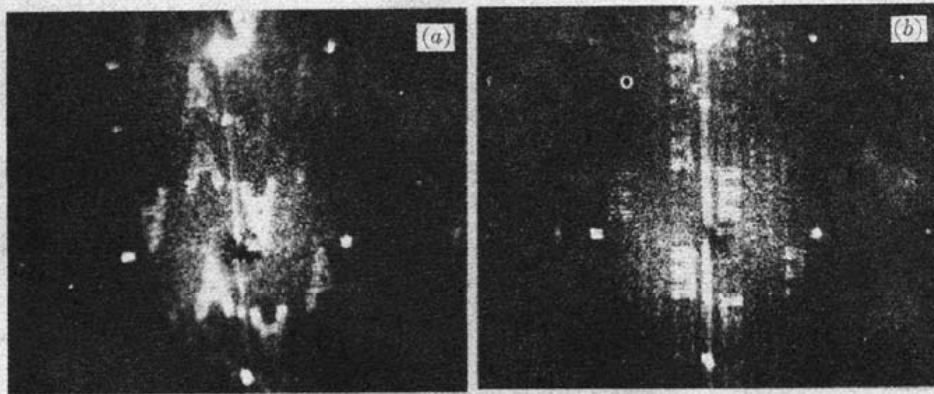


Fig. 6 Impulse responses of two BPOF

(a) Impulse response of the BPOF for letter "A"; (b) Impulse response of the BPOF for letter "E"

参 考 文 献

- 1 J. Grinberg *et al.*, *Opt. Eng.*, **14**(3), 217(1975)
- 2 David L. Flannery *et al.*, *Opt. Eng.*, **27**(4), 309(1988)
- 3 Jeffrey A. Davis *et al.*, *Appl. Opt.*, **26**(5), 929(1987)
- 4 李育林,赵明君,光子学报, **21**(1), 38(1992)