

基于阴极射线管耦合液晶光阀空间光调制器的联合变换相关器*

王大勇 李育林

(中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

摘 要 描述了一种基于电寻址空间光调制器的二值化联合变换相关器, 该系统主要包括阴极射线管耦合液晶光阀(CRT-LCLV)、CCD 摄像机和 COMPAQ 386 计算机. 文中在理论分析的基础上给出了计算机模拟和初步的实验结果, 表明该相关器具有良好的识别性能.

关键词 联合变换相关器, 空间光调制器, 模式识别.

1 引 言

在光学模式识别系统结构中, 联合变换相关器(JTC)由于其可随意变换参考图象而省去了制作匹配滤波器及其精确对位、校准等麻烦, 从而引起众多研究者的注意^[1~3], 目前实时联合变换相关器中采用的电寻址空间光调制器主要有液晶电视(LCTV)^[4]、可变形反射镜器件(DMD)^[5]或者是将监视器上的图象成象到液晶光阀上, 从而达到电寻址的目的^[6]. 然而, 液晶电视和可变形反射镜器件的填充因子、空间带宽积和分辨率都较有限; 而通过监视器成象到液晶光阀上却又增加了系统的外形尺寸, 且信息和能量也有损耗. 基于上述的考虑, 将高分辨率阴极射线管通过光纤面板与液晶光阀直接耦合将产生一种性能价格比较高的电寻址空间光调制器——阴极射线管耦合液晶光阀, 有利于联合变换相关器的小型化、实用化及性能的提高. 本文在理论分析和计算机模拟基础上, 利用自行研制的阴极射线管耦合液晶光阀, 对二值化联合变换相关器进行了初步的实验研究, 结果表明此相关器具有良好的识别能力.

2 二值化联合变换相关理论

通常的联合变换相关器结构需要两个空间光调制器、两套同样的光路, 为了结构紧凑可以把二者合并起来仅使用一个空间光调制器. 用单个阴极射线管耦合液晶光阀实现二值化联合变换相关器的光路如图 1 所示. P_1 面是输入面, 包含参考图象 $r(x + x_0, y)$ 和未知的目标图象 $s(x - x_0, y)$, 在 P_1 面上其光场透射率函数可表示为:

$$t(x, y) = r(x + x_0, y) + s(x - x_0, y) \quad (1)$$

* 本课题得到国家 863 高技术计划基金资助.

收稿日期: 1993 年 8 月 17 日; 收到修改稿日期: 1993 年 9 月 23 日

经过傅里叶透镜，在其后焦面上的光场分布表示为：

$$U(\alpha, \beta) = S(\alpha, \beta) \exp [i \phi_s(\alpha, \beta)] \exp (-i x_0 \alpha) + R(\alpha, \beta) \exp [i \phi_r(\alpha, \beta)] \exp (i x_0 \alpha) \quad (2)$$

式中 (α, β) 为傅里叶变换平面上的空间频率坐标， $S(\alpha, \beta) \exp [i \phi_s(\alpha, \beta)]$ 和 $R(\alpha, \beta) \exp [i \phi_r(\alpha, \beta)]$ 分别是 $S(x, y)$ 和 $r(x, y)$ 的傅里叶变换。可用 CCD 摄象机 (平方律探测器件) 接收联合变换功率谱：

$$E(\alpha, \beta) = |U(\alpha, \beta)|^2 = S^2(\alpha, \beta) + R^2(\alpha, \beta) + 2S(\alpha, \beta)R(\alpha, \beta) \cos [2x_0\alpha + \phi_s(\alpha, \beta) - \phi_r(\alpha, \beta)] \quad (3)$$

在经典的联合变换相关器中直接对 $E(\alpha, \beta)$ 进行逆傅里叶变换产生相关信号，而在二值化联合变换相关器中，联合变换功率谱 $E(\alpha, \beta)$ 需经阈值网络二值化非线性处理以后再继续进行逆傅里叶变换，设阈值为 $V_T(\alpha, \beta)$ ，则二值化联合变换功率谱为：

$$E_b(\alpha, \beta) = \begin{cases} +1, & E(\alpha, \beta) \geq V_T(\alpha, \beta) \\ -1, & E(\alpha, \beta) < V_T(\alpha, \beta) \end{cases} \quad (4)$$

设(3)式中 $R(\alpha, \beta)$ 和 $S(\alpha, \beta)$ 、 $\phi_r(\alpha, \beta)$ 和 $\phi_s(\alpha, \beta)$ 相对于 $\cos (2x_0\alpha)$ 是缓变的，则二值化联合变换功率谱 $E_b(\alpha, \beta)$ 可看作在 α 方向的周期性函数，其周期为 π/x_0 ，按傅里叶级数展开为

$$E_b(\alpha, \beta) = -1 + \frac{2x_0d}{\pi} + \sum_{v=1}^{\infty} H_v[R(\alpha, \beta), S(\alpha, \beta)] \cos [2vx_0\alpha + v\phi_s(\alpha, \beta) - v\phi_r(\alpha, \beta)] \quad (5)$$

$$d = d(\alpha, \beta) = \frac{1}{x_0} \cos^{-1} \left[\frac{R^2(\alpha, \beta) + S^2(\alpha, \beta) - V_T(\alpha, \beta)}{2R(\alpha, \beta)S(\alpha, \beta)} \right] \quad (6)$$

$$H_v[R(\alpha, \beta), S(\alpha, \beta)] = \frac{2}{\pi v} \sin \left\{ v \cos^{-1} \left[\frac{R^2(\alpha, \beta) + S^2(\alpha, \beta) - V_T(\alpha, \beta)}{2R(\alpha, \beta)S(\alpha, \beta)} \right] \right\} \quad (7)$$

$$\left| \frac{R^2(\alpha, \beta) + S^2(\alpha, \beta) - V_T(\alpha, \beta)}{2R(\alpha, \beta)S(\alpha, \beta)} \right| \leq 1 \quad (8)$$

(5)~(8)式表明二值化的联合变换功率谱是一系列谐波分量的和，只有当 $v = 1$ 时的一次谐波分量才具有正确的位相和最大的振幅，即产生一级相关信号的分量是：

$$E_{1c}(\alpha, \beta) = 2H_{1c} \cos [2x_0\alpha + \phi_s(\alpha, \beta) - \phi_r(\alpha, \beta)] \quad (9)$$

$$H_{1c} = \frac{2}{\pi} \left\{ 1 - \left[\frac{R^2(\alpha, \beta) + S^2(\alpha, \beta) - V_T(\alpha, \beta)}{2R(\alpha, \beta)S(\alpha, \beta)} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (10)$$

选择不同阈值 $V_T(\alpha, \beta)$ ，改变振幅调制 $H_{1c}(\alpha, \beta)$ 进而改变二值化联合变换相关器的性能。

3 阴极射线管耦合液晶光阀

阴极射线管耦合液晶光阀器件是在交流反射式光寻址液晶光阀的基础上研制出的一种电寻址空间光调制器，该器件的结构和实物照片如图 2 所示，即将高分辨率、高亮度的阴极射线管原玻璃屏用光纤面板取代并将耦合液晶光阀直接做在阴极射线管的荧光屏上，形成电寻址的阴极射线管耦合液晶光阀。阴极射线管的光纤面板直径为 $\phi 55 \text{ mm}$ ，光纤束径为 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ ，膨胀系数要求与管子玻璃的膨胀系数相同，其亮度大于 1000 cd/m^2 。

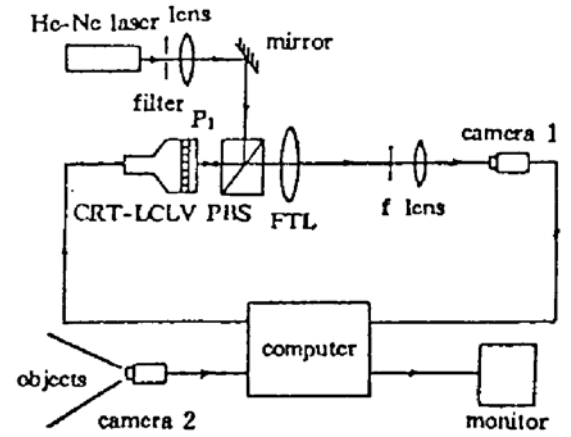


Fig. 1 Experimental setup of binary joint transform correlator

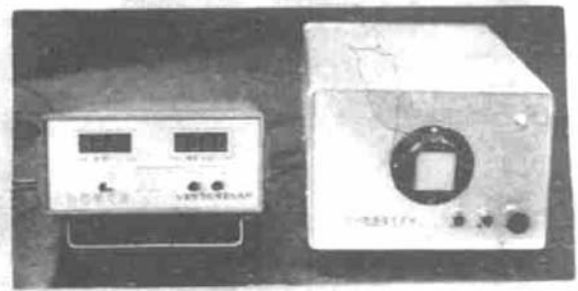
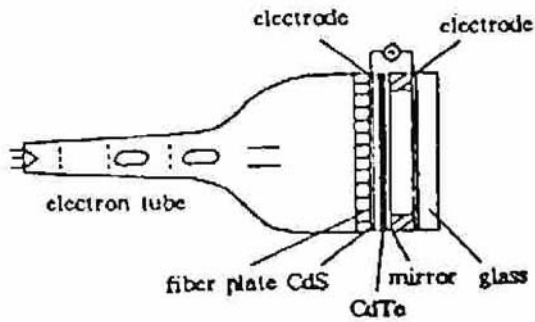


Fig. 2 Structure and picture of the CRT-LCLV

液晶光阀由高精度抛光的光纤面板和玻璃基片之间的几种薄膜夹层组成。一个低压(2~20 V_{rms})音频功率(100~20 kHz)电源跨接于两边的氧化铟锡透明薄膜电极上,光导体和光阻层材料分别是 CdS 和 CdTe,电介质反射镜把接受写入光的光导体与读出光隔离,液晶为扭曲 45°向列相材料,在关态(液晶上无电压)时以扭曲向列效应工作,而在开态(液晶上有电压)时则以光学双折射效应工作。阴极射线管耦合液晶光阀组合器件的分辨率为 35 lp/mm,对比度为 50:1。该器件可由计算机送来视频信号进行可编程操作,也可由摄像机的视频信号直接驱动,为此专门设计的驱动电源和接口电路在逐行扫描和隔行扫描两种方式之间切换。

4 计算机模拟和实验装置

联合变换相关器实验装置如图 1 所示,目标图象由 CCD 摄像机输入到 COMPAQ 386 计算机上,计算机将参考图象调出与目标图象并排送至阴极射线管耦合液晶光阀上,再用功率为 3~5 mW 的 He-Ne 激光器($\lambda = 632.8 \text{ nm}$)扩束准直相干光读出,经傅里叶透镜变换,所用的傅里叶变换透镜的焦距是 380 mm,在后焦面上产生二者的功率谱;此功率谱用一个焦距为 138 mm 的透镜放大成像到另一个 CCD 摄像机上,这一放大步骤对保证按尼奎斯特频率取样是必要的。摄像机将接收的功率谱送回计算机进行二值化非线性处理。在这里根据前面的理论推导,考虑到联合变换功率谱是强度的线性迭加,所以首先采用联合变换功率谱与参考图象傅里叶变换功率谱相减的方法来削弱直流分量。参考图象其自身的傅里叶变换功率谱作为系统的记忆信息已被事先存储在计算机中。在减去参考图象傅里叶变换功率谱之后统计直方图,用它的中间值作为阈值进行二值化。处理后的二值化联合变换功率谱再送到阴极射线管耦合液晶光阀上由相干光读出进行逆傅里叶变换产生相关结果,相关结果仍由 CCD 摄像机接收,可通过监视器定时观测,也可以通过计算机对相关峰进行数字处理。

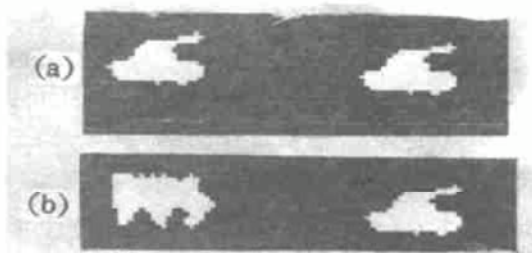


Fig. 3 Input of correlation (a) Input of auto-correlation,
(b) Input image of cross-correlation

作者用 128×128 点的二维快速傅里叶变换软件进行了模拟。因为图象板的分辨率是 512×512 个象素,当图象板数字化来自摄像机的一帧视频信号时需将 512×512 图象取样至 128×128 个象素,以便与二维快速傅里叶变换软件相兼容;在取样过程中对图象进行预处理如二值化、图象分割等。图 3(a)、图 3(b)分别是经预处理后的自相关和互相关输入图象(坦克和装甲车模型),由图象打印程序打出的。其相关输出结果

用三维绘图子程序绘出来,如图 4(a)、图 4(b)所示,其中图 4(a)中的自相关强度及直流分

量与图 4(b)中的互相关强度及直流分量强度, 四者之间的比值为 100 : 2.96 : 1.1 : 6.39. 图 4(c)是初步的自相关光学实验结果(已滤掉零级光斑), 从图中可以看出, 二值化联合变换相关器具有相当尖锐的相关峰, 输出信噪比高, 可见它具有较高的判断灵敏度.

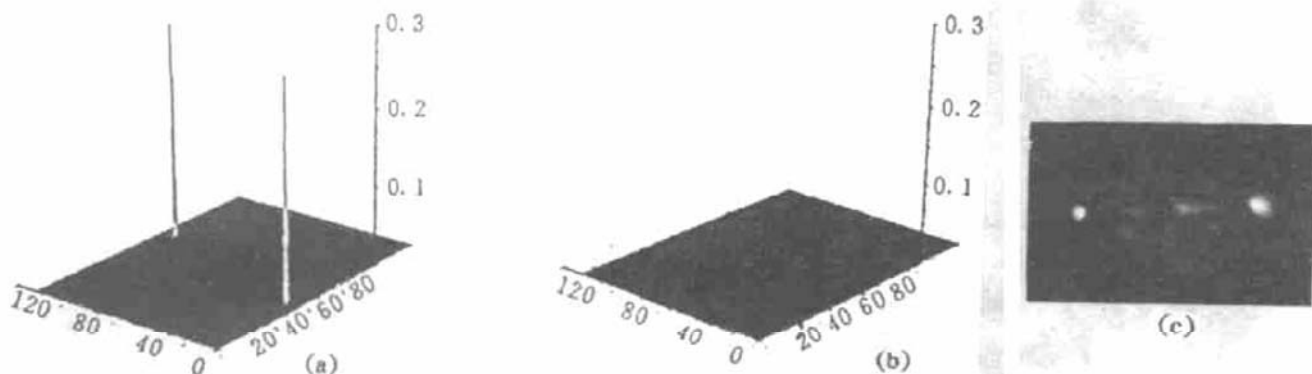


Fig. 4 Output of correlation

(a) Output of auto-correlation, (b) Output of cross-correlation, (c) Optical output of auto-correlation

结 论 利用阴极射线管耦合液晶光阀建立了二值化联合变换相关器, 计算机模拟和初步的实验结果阐明了阴极射线管耦合液晶光阀具有较好的光电混合信息处理能力, 表明二值化联合变换相关器具有对光学对位调整精度要求不高、不需要制作空间滤波器、输出相关峰尖锐等优点. 在阴极射线管耦合液晶光阀进一步完善性能的基础上该相关器可望在自动目标识别和机器人视觉领域有较大的应用.

参 考 文 献

- [1] K. H. Fielding, J. L. Horner, 1-f binary joint transform correlator. *Opt. Engng.*, 1990, 29(9) : 1081~1087
- [2] B. Javidi, Nonlinear joint power spectrum based optical correlation. *Appl. Opt.*, 1989, 28(12) : 2358~2367
- [3] Aris Tanone, C. M. Uang, F. T. S. Yu *et al.*, Effects of thresholding in joint transform correlation. *Appl. Opt.*, 1992, 31(23) : 4816~4822
- [4] F. T. S. Yu, S. Jutamulia, T. W. Lin *et al.*, Adaptive real-time pattern recognition using a liquid crystal TV based joint transform correlator. *Appl. Opt.*, 1987, 26(8) : 1370~1372
- [5] James M. Florence, Joint transform correlator systems using deformable-mirror spatial light modulator. *Opt. Lett.*, 1989, 14(7) : 341~342
- [6] Robert Buzzard, Jeffrey Sloan, Application of a liquid crystal light valve(LCLV) in a coherent optical correlator. *Proc. SPIE*, 1986, 884 : 101~107

Joint Transform Correlator Using CRT-LCLV Spatial Light Modulator

Wang Dayong Li Yulin

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

(Received 17 August 1993; revised 23 September 1993)

Abstract In this paper, a binary joint transform correlator (BJTC) based on an electrically-addressed spatial light modulator is described. The system mainly includes a cathode-ray-tube coupled liquid crystal light valve (CRT-LCLV), a CCD camera, and a COMPAQ 386 computer. On the base of theoretical analysis, results of computer simulation and initial experiments are presented, and show that the correlator has good discrimination.

Key words joint transform correlator, spatial light modulator, pattern recognition.