

# 基于液晶光阀非线性变换的 实时光学相关识别\*

康 辉 周金鹏 战元龄

(南开大学物理系, 天津 300071)

**摘 要** 提出了一种高鉴别能力的实时光学相关器, 它采用液晶光阀(LCLV)作为实时输入器件, 并利用其非线性变换特性对图像微分预处理; 全息记录材料采用光折变晶体, 且使用会聚球面波作参考光。所给出的实验结果表明, 该光学相关器具有鉴别能力高、实时性和灵活性强, 以及结构紧凑的特点。

**关键词** 液晶光阀, 非线性变换, 光折变晶体, 实时光学相关。

## 1 引 言

近十年来, 光学信息处理和全息术取得了突飞猛进的发展, 而光学图像特征识别作为光学信息处理的技术手段之一, 已成功地应用到许多科技领域之中, 如: 机器人视觉、目标追踪、模式识别、导弹回收等等。

就光学特征识别而言, 最有意义的工作就是获得任意两幅二维图像的相关信号, 它的强度反映了这两幅光学图像的相似程度, 这为图像的认识提供了一个定量的指标。为了获得光学相关信号, 自六十年代 Lugi 首先提出匹配滤波相关器以来, 人们不断地根据实践需要而完善相关器的结构, 提高相关器的鉴别能力<sup>[1~3]</sup>。最近, 文献[6]报道了利用在 BSO 晶体中非线性记录全息图实现物体边缘增强的识别方法; 而在文献[7]中, 则提出了一种基于微分滤波的联合变换相关。在这种相关系统中, 利用液晶光阀记录功率谱, 在液晶光阀前面放置一个微分滤波器进行空间滤波。本文提出一种基于液晶光阀非线性变换的实时光学相关识别系统。采用液晶光阀作实时输入(同时也是预处理器), 用光折变晶体( $\text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ )实时记录全息滤波器, CCD 接受相关输出信号。该方法的特点主要表现为: 1) 仅利用一个液晶光阀就可实现实时输入和图像的微分预处理; 2) 利用光折变晶体作为全息记录介质<sup>[8]</sup>; 3) 利用会聚球面波作为记录全息图的参考光束, 实现无透镜匹配滤波相关<sup>[9]</sup>。理论分析和实验验证表明, 液晶光阀在非线性变换时, 所得相关峰输出比在线性变换时明显锐化, 从而可改善系统的相关识别能力。

\* 国家自然科学基金资助课题; 天津市阳光计划课题。

收稿日期: 1995 年 8 月 26 日; 收到修改稿日期: 1995 年 12 月 5 日

## 2 实时相关的理论分析

图 1 示出基于液晶光阀非线性处理的图像相关器的原理图。设输入物函数为  $f_1(x, y)$ , 液晶光阀变换算符为  $N\{\cdot\}$ , 它可代表不同的运算。文献[10]最早研究了液晶光阀的一种线性变换(即输出近似正比输入)特性。本文作者曾研究了液晶光阀的另一种非线性变换特性, 利用这种特性可方便地通过控制电压实现对输入图像的边缘增强预处理<sup>[11]</sup>。此时, 液晶光阀的数学运算可表示为:

$$N\{f_1(x, y)\} = \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} f_1(x, y) = f(x, y) \quad (1)$$

设其在透镜  $L_1$  前焦面  $P_1$  上的振幅分布为  $f(x, y)$ , 经过傅里叶变换, 在透镜  $L_1$  的后焦面上得到  $f(x, y)$  的傅里叶谱分布  $F(u, v)$ 。由于采用光折变晶体进行实时记录, 它本身是一种位相型记录材料, 故在晶体中记录的傅里叶变换全息图的透过率为:

$$T(u, v) = T_0 \exp [i |R(u, v) + F(u, v)|^2] \quad (2)$$

上式可分解为第一类贝塞耳多项式的和<sup>[12]</sup>, 其  $\pm 1$  级衍射近似为:

$$T_1(u, v) = iK [F^*(u, v)R(u, v) + F(u, v)R^*(u, v)] \quad (3)$$

其中  $u = 2\pi\alpha/\lambda f = k\alpha/f$ ,  $v = 2\pi\beta/\lambda f = k\beta/f$

$$R(u, v) = C \exp\left(-\frac{i2\pi d}{\lambda}\right) \exp\left\{\frac{-i\pi}{\lambda d}[a^2 + (\beta - h_0)^2]\right\} \quad (4)$$

上式中的  $\alpha, \beta$  分别为  $P_2$  平面上的两个空间坐标变量,  $d$  为  $P_2$  平面和  $P_3$  平面之间的距离,  $h_0$  为参考光的会聚点在  $P_3$  平面上  $q$  方向的坐标值。这样便得到了所需要的滤波函数。

当滤波器制作好以后, 接下来进行相关识别。设待识别图像在  $P_1$  平面上的振幅分布为  $g(x, y)$ , 通过一次傅里叶变换, 其空间频谱分布为  $G(u, v)$ 。经上面制作的滤波器进行滤波后, 其衍射光中与光学相关运算有关的项为:

$$A(u, v) = CF^*(u, v)G(u, v)R(u, v) \quad (5)$$

当该衍射光到达  $P_3$  平面时, 光振幅分布变为:

$$\begin{aligned} a(p, q) &= C \iint F^*(u, v)G(u, v)R(u, v) \exp(ikd) \exp\left\{\frac{i\pi}{\lambda d}[(p-a)^2 + (q-\beta)^2]\right\} d\alpha d\beta \\ &= C' \exp\left[\frac{i\pi}{\lambda d}(p^2 + q^2)\right] \iint F^*(u, v)G(u, v) \exp\left\{\frac{-i2\pi}{\lambda d}[p\alpha + (q-h_0)\beta]\right\} d\alpha d\beta \end{aligned} \quad (6)$$

由于  $u = k\alpha/f$ ,  $v = k\beta/f$ , 若令  $u' = k\alpha/d$ ,  $v' = k\beta/d$  则上式可表示为:

$$\begin{aligned} a(p, q) &= C'' \exp\left[\frac{i\pi}{\lambda f}(p^2 + q^2)\right] \left( \iint G\left(\frac{d}{f}u', \frac{d}{f}v'\right) \exp[-i(pu' + qv')] du' dv' \right) \\ &\quad \odot \left\{ \iint F^*\left(\frac{d}{f}u', \frac{d}{f}v'\right) \exp(ihov') \exp[-i(pu' + qv')] du' dv' \right\} \end{aligned} \quad (7)$$

⊙ 号代表卷积运算。令  $m = f/d$ , 进一步化简为:

$$a(p, q) = c \left[ \exp\left[\frac{i\pi}{\lambda f}(p^2 + q^2)\right] \{ [g(mp, mq)] \odot [f^*(-mp, -mq + mh_0)] \} \right]$$

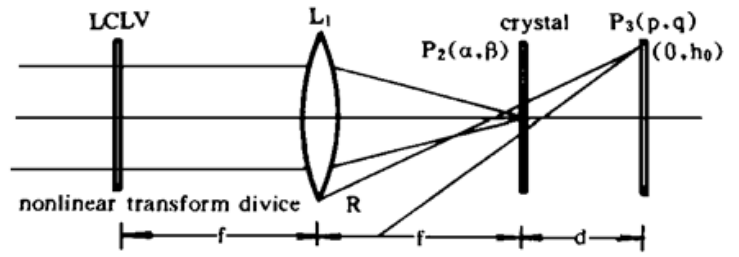


Fig. 1 Schematic of the optical correlator based on nonlinear transformation

$$= c \left\{ \exp \left[ \frac{i\pi}{\mathcal{N}} (p^2 + q^2) \right] \right\} \{ g(mp, mq) \otimes f^* [mp, m(q - h_0)] \} \quad (8)$$

其中 $\otimes$ 表示互相关运算, 于是在接收面上的光强分布为:

$$I(p, q) = c^2 |g(mp, mq) \otimes f^* [mp, m(q - h_0)]|^2 \quad (9)$$

即为两幅图像经过预处理后的相关光强输出。

### 3 实验装置和实验结果

图 2 是实时相关器的实验光路图。其中  $L_2$  为傅里叶变换透镜,  $L_1$  为消色差成像透镜,  $L_4$

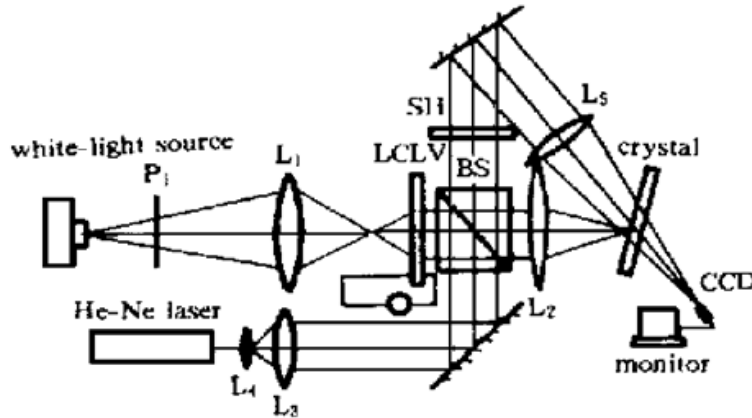


Fig. 2 Experimental setup of the real-time optical correlator

和  $L_3$  组成扩束器, BS 是分束器, SH 为光闸,  $L_5$  为会聚透镜, 液晶光阀为交流反射式光寻址液晶光阀, 白光光源为 75 W 的高压短弧氙灯, 相干读出光是波长为 632.8 nm 的氦-氖激光, 其功率为 20 mW; 相关输出用 CCD 接收, 并转换成电信号送入监视器中; 用作实时记录介质的光折变晶体为  $\text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ , 该晶体同其它光折变晶体相比, 具有容易生长、光学均匀性好、信息保持长的优点。与一般的匹配滤波相关器不同, 记录滤波器的参考光采用会聚球

面光束, 这就省去了对逆傅里叶变换透镜的需要。液晶光阀的光路中的作用有两个, 其一是实现非相干光到相干光的实时转换; 另一个作用是实现对输入图像进行实时的微分预处理。

根据晶体记录的优化条件, 在实验时使用 e 偏振光束, 且参考光和物光的夹角约为  $10^\circ$  左右。利用此光路对字母‘F’进行了三种相关运算, 实验结果如图 3 所示。其中图 3(a) 为输入图像, 图 3(b) 为经过液晶光阀微分预处理后的结果, 图 3(c) 为字母‘F’经液晶光阀线性变换预处理后的自相关结果, 图 3(d) 为字母‘F’经过液晶光阀微分预处理后的自相关结果, 图 3(e) 为字母‘F’和‘H’分别经过微分预处理后的互相关结果。

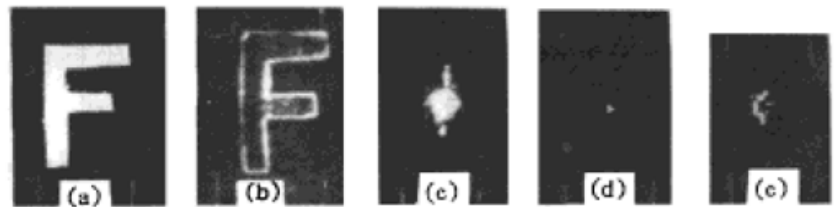


Fig. 3 Experimental results: (a) input image; (b) output differential image from LCLV; (c) the auto-correlation of the capital letter F; (d) the auto-correlation of the differential image of the capital letter F; (e) the cross-correlation of the differential images of the capital letters F and H

**结 论** 理论分析和实验结果表明, 本文提出的新型实时相关器具有以下三个特点: 1) 鉴别能力高。在该相关器中, 利用液晶光阀实现实时图像微分预处理, 减少了输入信号中的零频和低频成分, 突出图像的轮廓和细节, 然后再进行相关识别, 得到了锐化的相关峰, 可大大提高相关器的鉴别能力。2) 实时性和灵活性强。采用液晶光阀作为输入器件, 它不仅具有好的实时性而且还可以作为一个图像预处理器。仅需简单地通过调整其外加工作电压, 就可完

成对输入图像的线性和非线性变换, 为图像进一步加工处理提供多种选择。例如, 它既可完成对线性变换图像的相关运算, 又可完成对图像进行边缘增强后的相关运算。此外, 采用光折变晶体( $\text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ )实时记录全息滤波器, 并用 CCD 接受相关运算结果, 省去用胶片制作滤波器时的化学处理及严格复位的操作过程, 因而整个系统从输入到输出都具有很好的实时性, 便于实际应用。3) 结构紧凑。在记录全息滤波器时, 采用会聚的球面波作为参考光, 省去了系统作相关识别时所需要的逆傅里叶变换透镜, 进而使相关器的结构简化。

### 参 考 文 献

- [1] A. B. Vander-Lugt, Signal detection by complex spatial filtering. *IEEE Trans. Inf. Theory*, 1964, **IT-10**(2): 139~ 145
- [2] F. T. S. Yu, X. J. Lu, A real-time programmable joint transform correlator. *Opt. Commun.*, 1984, **52**(1): 10~ 16
- [3] G. G. Mu, Z. Q. Wang, D. Q. Cheng *et al.*, A new technique for pattern recognition using Fresnel hologram and extended source. *Optik*, 1987, **75**(3): 97~ 100
- [4] J. L. Horner, P. D. Gianino, Phase-only matched filtering. *Appl. Opt.*, 1984, **23**(6): 812~ 816
- [5] G. G. Mu, X. M. Wang, Z. Q. Wang, Amplitude-compensated matched filtering. *Appl. Opt.*, 1988, **27**(16): 3461~ 3463
- [6] Z. Q. Wang, C. Soutar, W. A. Gillespie *et al.*, Real-time edge-enhanced object correlation using incoherent readout of photorefractive BSO. *Optik*, 1993, **93**(4): 157~ 162
- [7] 冯继宏, 金国藩, 邬敏贤等, 基于微分滤波的联合变换相关. *光学学报*, 1995, **15**(3): 326~ 331
- [8] George C. Valley, Marvin B. Klein, Optimal properties of photorefractive materials for optical data processing. *Opt. Eng.*, 1983, **22**(6): 704~ 711
- [9] M. Shen, D. Casasent, T. K. Luu *et al.*, HOE/lensless matched spatial filter wavelength-scaling correlator. *Opt. Commun.*, 1980, **34**(3): 316~ 319
- [10] J. Gingberg, P. G. Reif, Application of liquid crystal light valve to real-time optical data processing. *Opt. Eng.*, 1978, **17**(4): 371~ 379
- [11] 康 辉, 苏 衡, 杨方正等, 利用液晶光阀实现实时图像微分. *中国激光*, 1994, **A21**(8): 658~ 600
- [12] 于美文, *光学全息与信息处理*, 第一版, 北京, 国防工业出版社, 1984: 71~ 72

## Real-Time Optical Correlation Based on Nonlinear Transform of LCLV

Kang Hui      Zhou Jinpeng      Zhan Yuanling

(*Department of Physics, Nankai University, Tianjin 300071*)

(Received 26 August 1995; revised 5 December 1995)

**Abstract** A real-time optical correlator with high discrimination is suggested in this paper. In this correlator, a liquid crystal light valve (LCLV) is used as real-time input and image preprocessing device. In recording hologram, a piece of photorefractive crystal ( $\text{Fe} \cdot \text{LiNbO}_3$ ) is used as holographic recording material and a convergent spherical wave as reference light wave. the correlator is characterized by high discrimination, real-time and flexible processing, and compact constructure.

**Key words** liquid crystal light valve, nonlinear transform, photorefractive crystal, real-time optical correlator.