

利用液晶光阀作为位相调制器实现 二元联合变换相关器

冯大增 赵焕卿 夏绍丰
(复旦大学物理系, 上海 200433)

提 要

研究了液晶光阀(LCLV)作为位相调制器的特性,并用它实现了二元联合变换相关器。
关键词 液晶光阀,位相调制,二元联合变换相关器。

1 引 言

联合变换相关器(JTC)首先由 Weaver 和 Goodman^[1]提出,用来实现两个函数的相关运算, JTC 无需制作复杂的匹配滤波器,更容易用实时光学系统来实现. 近来,由于空间光调制器(SLMs)^[2]的发展,使得人们开始注重对 JTC 的研究,并用光调制器,如液晶光阀等实现了实时光学 JTC 系统. 为了提高 JTC 的性能, Javidi^[3,4]提出了二元化联合变换相关器(BJTC),通过对 JTC 干涉谱作非线性(二元化)操作,可以提高 JTC 对光的利用效率;并能增强 JTC 的图象相关识别能力. BJTC 必须用位相调制器来实现,本文用 LCLV 作为空间光位相调制器,研究了 LCLV 在不同工作状态下的位相调制能力. 并用 LCLV 和 CCD 摄像机组成了一套实时 BJTC 系统,本文给出了 BJTC 对图象相关识别的实验结果,并与经典的 JTC 进行了比较.

2 二元联合变换相关器

二元联合变换相关器可以用空间光调制器来实现,如图 1 所示. 信号图象与参考图象同时显示到调制器 SLM1 上,经傅里叶透镜 FL1 在其后焦面上形成 JTC 的干涉谱、调制器

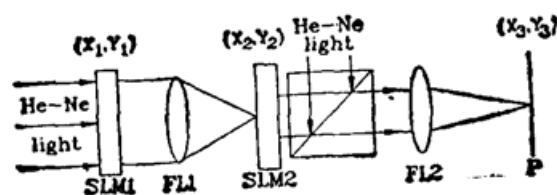


Fig. 1 Optical architecture of the Binary JTC

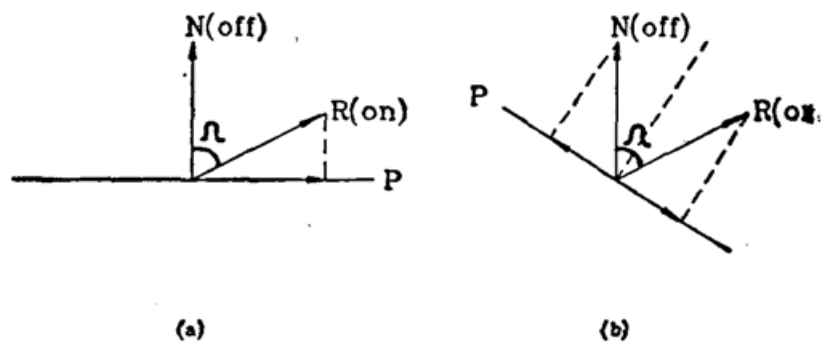


Fig. 2 Schematic of LCLV's intensity and phase modulation

SLM2 将 JTC 干涉谱转换为强度谱并完成非线性(二元化)操作. 再经傅里叶透镜 FL2, 在 FL2 的后焦面 P 平面上得到 BJTC 的相关谱.

设信号图象和参考图象在 x 方向上分开 $2x_0$ 距离后同时显示到 SLM1 上. 两图象用数学函数表示为 $s(x-x_0, y)$, $r(x+x_0, y)$, 则 JTC 的干涉谱(强度谱)可表示为:

$$I(\alpha, \beta) = |F\{s(x-x_0, y)\} + F\{r(x+x_0, y)\}|^2 = |R|^2 + |S|^2 + S^*R^* \exp(-i2x_0\alpha) + C.C, \quad (1)$$

其中空间频率 $\alpha = 2\pi x_1/\lambda f_1$, $\beta = 2\pi y_1/\lambda f_1$, $S(\alpha, \beta)$, $R(\alpha, \beta)$ 为 $s(x, y)$ 和 $r(x, y)$ 的傅里叶谱, f_1 为 FL1 的焦距, λ 为激光的波长, $C.C$ 表示前一项的复共轭项.

$I(\alpha, \beta)$ 可以根据下式进行二元化处理

$$H(\alpha, \beta) = \begin{cases} +1 & \text{当 } I(\alpha, \beta) \geq TH, \\ -1 & \text{其它情况} \end{cases} \quad (2)$$

其中 $H(\alpha, \beta)$ 是 JTC 的二元化干涉谱, TH 是一阈值. 选择适当的 TH 值使得 JTC 强度干涉谱数值为 $+1$ 的单元数与 -1 单元数相等. 将 $H(\alpha, \beta)$ 再经一傅里叶变换, 就可得到二元化 JTC 的相关谱.

计算机模拟显示了二元化 JTC 比经典 JTC 在图象识别能力方面有较大的提高^[5].

3 液晶光阀位相调制性能

LCLV 通常用作空间光强度调制器, 对 45° 扭曲液晶光阀, 当写入光光强为零时(off 态), 读出光的偏振方向不改变(N 方向). 当有写入光强(on 态)时, 偏振方向将旋转 Ω 度(R 方向). 用一与读出光垂直的偏振片 P 检偏(如图 2(a)所示), 可将写入光图象转换为读出光图象. 这时将它定义为 LCLV 的强度调制状态.

LCLV 也可用作二元纯位相调制器^[6], 这时检偏振片 P 与 Ω 角的平分线垂直(如图 2(b)所示), 对通过 P 的光有: off 态为 $I_0 \sin^2(\Omega/2)$; on 态为 $I_0 \sin^2(\Omega/2)e^{i\pi}$, 其中 I_0 为读出光强度. 由此可将二元写入图象转换为强度恒定的位相($0, \pi$)调制的读出光图象. 这时将它定义为 LCLV 的位相调制状态. 读出光经 LCLV 调制后的强度与原读出光强度比为 $\eta = \sin^2(\Omega/2)$. Ω 角度的大小直接与读出光的利用效率有关, Ω 增大时, η 增大, $\Omega = 90^\circ$, $\eta = 1/2$, $\Omega = 180^\circ$, $\eta = 1$. 在利用 LCLV 位相调制特性时, 应调节它的工作频率和电压, 使得 Ω 角尽可能大. Davis 等^[6] 测量了 Hughes 公司生产的 LCLV 在某一固定工作条件下偏转角与写入光强的关系.

本文测量了由 45° 扭曲液晶组成的液晶光阀, 在同一写入光强度不同工作状态下 Ω 角的数值, 将图象用黄色显示到计算机显示器(EGA)上, 并由一成象透镜成象到 LCLV 的写入面. 垂直方向的读出光经 LCLV 反射后偏振方向的偏转角度可用一检偏器来测量, 测量过程中, 在选定 LCLV 的工作频率后, 调节它的工作电压使偏转角达到最大. 图 3 画出了 LCLV 不同工作频率与偏转角度的关系. 当 LCLV 工作频率 $f = 2 \text{ kHz}$, 有效电压 $V = 3.79 \text{ (V)}$ 时, 最大偏转角约为 80° . 同时发现 LCLV 在工作频率较低时, 读出光椭圆性较小, 长短轴之比由 $\sim 10:1$ ($f = 10 \text{ kHz}$) 提高到 $\sim 60:1$ ($f = 2 \text{ kHz}$). Ω 角除了与 LCLV 的工作频率和电压有关外, 与写入光强也有关,

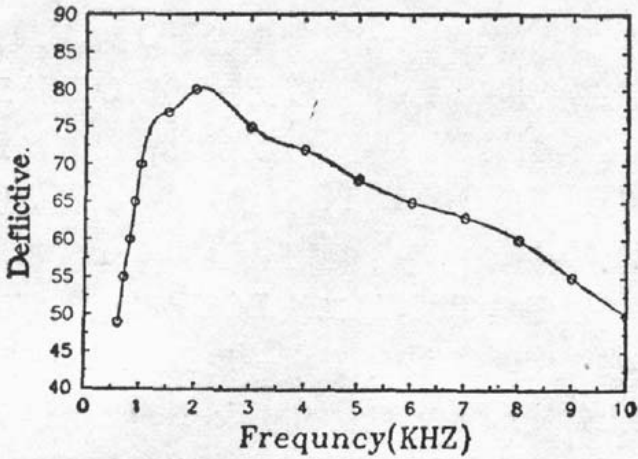


Fig. 3 The relationship between rotation angle and frequency of LCLV



Fig. 4 The Fourier spectrum of two dimension phase grid pattern

以上结果是对某一固定写入光强下的测量结果, 在以下实验过程中我们将写入光强都固定在此值。

将二维光栅显示在显示器上, 并让 LCLV 工作在位相调制状态。读出光经一傅里叶透镜在其后焦面上得到二维位相型光栅的傅里叶谱, 如图 4 所示的照片, 由于 LCLV 有一定的非均匀性和椭圆性, 使得谱的零级仍有一些光强。

以上对 LCLV 作为位相调制特性的研究显示, LCLV 工作在最佳频率下, 以及读出光检偏器 P 的偏振方向选择在一适当位置时, LCLV 有较好的二元纯位相调制能力。

4 BJTC 实验结果

图 5 是 BJTC 的光路图。将信号图象和参考图象同时显示在计算机的显示器 MT 上, 并用一成象透镜 IL 成像到 LCLV 的写入面上。此时 LCLV 工作在强度调制状态。用垂直方向的 He-Ne 激光作为读出光, 经分束器 (B.S) 及偏振片 P 后将 LCLV 输入面上的图象转换为相干光图象。并由一傅里叶透镜 FL 在其后焦面 P_1 上得到 JTC 的干涉谱。此干涉谱用 CCD 摄像机摄取并由计算机进行二元化处理, JTC 的二元化谱再次显示到显示器上。此时 LCLV 工作在位相调制状态。这时在 P_1 平面上可以得到信号和参考图象的二元化

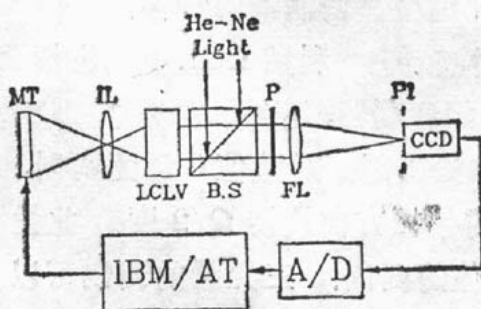


Fig. 5 Optical architecture of the Binary JTC using LCLV

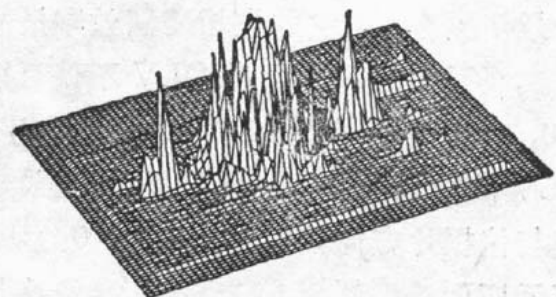


Fig. 6 Auto-correlation signal of Binary JTC

JTC 相关谱.

在本实验中, 选取英文字母 O 作为 BJTC 的参考图象. 对信号图象为字母 O 时, BJTC 的二元化干涉谱由 Super/AT 计算机按方程 (2) 产生. 并显示到显示器上. 调节 LCLV 工作频率和电压使 $f=2\text{kHz}$, $V=3.79(\text{V})$. 用垂直方向偏振的 He-Ne 激光读出, 图中 P 的方向与垂直方向的夹角为 40° . 此时在相关面上得到图象 O 的 BJTC 自相关谱. (如图 6 所示).

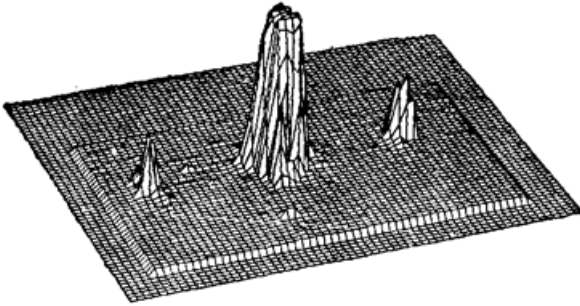


Fig. 7 auto-correlation signal of Classical JTC

对经典 JTC, 用二块 LCLV 使它们都工作在强度调制状态. 其中一块 LCLV 将显示器上的输入图象转换为用 He-Ne 激光读出相干图象, 相干图象经一傅里叶透镜后转换为傅里叶谱, 另一块 LCLV 将傅里叶谱转换为功率谱, 再经一傅里叶透镜在它的后焦面上得到经典 JTC 的相关谱^[7] 并用 CCD 摄影机摄取. 图 7 是经典 JTC 自相关

谱, 其中图 6 的相关谱强度的标值是图 7 相关谱强度标值的 100 倍. 表 1 列出了经典 JTC 和 BJTC 的性能比较. 在用同样强度的 He-Ne 激光读出的条件下, BJTC 自相关峰峰值约为经典 JTC 的 220 倍, 同时相关峰宽度和半宽度(强度降为相关峰峰值一半处的宽度)都有一定的减小. 由实验结果看出, 二元 JTC 在光能的利用效率和图相识别能力方面有较大提高. 同时显示了 LCLV 具有二元纯位相调制能力, 可以用来实现实时二元联合变换相关器.

Table 1 The auto-correlation results of JTC and BJTC

Types	auto-correlation peah intensity	correlation width	FWHM
JTC	9.0e+1	(9, 6)	(2, 2)
BJTC	2.3e+4	(4, 5)	(1, 2)

5 讨 论

本文研究了用 45° 扭曲液晶组成的 LCLV 作为二元纯位相调制器的特性. 当 LCLV 工作在一最佳频率下, 它的位相调制效率最高, 线偏振特性较好. 利用 LCLV 的位相调制特性本文实现了实时 BJTC. LCLV 不仅可用作二元纯位相调制器, 还可用它来实现三元量 (+1, 0, -1) 的调制. +1, -1 量仍采用以上讨论的方法调制. 对数值 0 量的调制, 可以在 LCLV 的写入面写入一定强度的光强, 使得读出光的偏振方向旋转 $\Omega/2$ 度. 此量的偏振方向与偏振片方向垂直 投影值为 0. 从而实现 0 量值的调制. 三元量的调制可以用来实现三元匹配滤波器^[8]. 这部分工作正在进行中.

作者感谢章志鸣教授的鼓励和精心指导.

参 考 文 献

- [1] C. S. Weaver, J. W. Goodman, A technique for optically convolving functions. *Appl. Opt.*, 1966, **5**(7): 1248~1249
- [2] T. Iwaki, Y. Mitsuoka, Optical pattern recognition of letters by a joint-transform correlator using a ferroelectric liquid-crystal spatial light modulator. *Opt. Lett.*, 1990, **15**(21): 1218~1220
- [3] B. Javidi, J. L. Horner, Single spatial light modulator joint transform correlator. *Appl. Opt.*, 1989, **28**(5): 1027~1032
- [4] B. Javidi, S. F. Ddeh, Multiple object identification by bipolar joint transform correlation. *Opt. Eng.*, 1988, **27**(4): 295~300
- [5] B. Javidi, J. L. Horner, Multifunction nonlinear signal processor: deconvolution and correlation. *Opt. Eng.*, 1989, **28**(8): 837~843
- [6] J. A. Davis, G. M. Heissenberger, R. A. Lilly *et al.*, High efficiency optical reconstruction of binary phase-only filters using the Hughes liquid crystal light valve. *Appl. Opt.*, 1987, **26**(5): 929~933
- [7] T. D. Hudson, D. A. Gregory, Joint transform correlation using an optically addressed ferroelectric liquid crystal spatial light modulator. *Appl. Opt.*, 1990, **29**(8): 1064~1066
- [8] D. L. Flannery, J. S. Loomis, M. E. Milkovich, Transformratio ternary phase-amplitude-filter correlation for improved correlation discrimination. *Appl. Opt.*, 1988, **27**(19): 4079~4083

Binary joint transform correlator by using LCLV's phase modulation

FENG DAZENG ZHAO HUANGQING XIA SHAOFENG

*(Department of Physics, Fudan University, Shanghai 200433)**(Received 15 November 1991; revised 9 January 1992)***Abstract**

In this paper, the characters of the LCLV's phase modulation have been studied, and the binary Joint Transform Correlator has been implemented by using the phase modulated LCLV.

Key words LCLV, Phase modulation, Binary JTC.