

用液晶光阀进行实时光学相关

卢振武 孙德贵 翁兆恒

(应用光学国家重点实验室)

摘要: 利用液晶光阀的输入输出特性, 我们提出了一种新的输入技术, 在此基础上实现了实时联合变换相关, 给出了相应的实验结果。

一、引言

自从联合变换相关器的概念提出以来^[1], 许多研究者在这一领域做了大量的研究工作。尤其是近年来空间光调制器等实时光学器件的不断发展和完善, 使联合变换相关器实现了实时化, 愈加使人们认识到了它的潜在应用前景。目前, 实现实时联合变换主要有两种方案^[2], 一是利用电寻址空间光调制器实现实时输入, 由 CCD 摄像机接收联合变换功率谱, 经过计算机处理后, 再输入到下一个电寻址空间光调制器上, 再由相干光读出, 经傅立叶透镜变换后, 实现相关。另一方案是利用两个光寻址的空间光调制器来代替第一种方案中的电寻址空间光调制器、计算机和 CCD 摄像机。在上述两种方案中普遍采取了参考图像和目标图像并排输入的方式进行输入。这种输入方式在图像尺寸很大时对空间光调制器的空间分辨率的要求较高。当需要处理的图像尺寸较大时, 两图像的中心距离就很大, 而联合变换功率谱的干涉条纹的空间频率与两图像中心距离成正比。中心距离太大, 条纹空间频率过高, 则会超过空间光调制器或 CCD 摄像机的分辨能力而无法记录下干涉条纹。为了解决这一问题, 可在联合变换功率谱后加一个成像透镜对联合变换功率谱进行放大^[3], 使之适合空间光调制器或 CCD 摄像机的分辨能力, 但由于成像透镜的引入, 会使整个系统变大。为了不用成像透镜, 也可以把需处理图像缩小^[4], 但由于目前商品化的空间光调制器的分辨率较低, 图像缩小后, 会损失大量的信息。Rogers 等人的研究表明^[5], 对输入图像进行二值化, 可以有效地抑制输入图像的背景噪声提高相关性。若用具有灰度等级的空间光调制器作为实时输入器件, 对二值化图像来说, 其灰度等级并未得到利用。在我们的实验中, 利用了液晶光阀空间光调制器的灰阶特性, 采取了参考图像和目标图像重叠输入的方式, 这样既可使两图像中心距离随意可调, 省去了成像透镜, 使整个系统更为紧凑, 又充分利用了液晶光阀的灰阶, 提高了液晶光阀的利用效率。我们利用两个液晶光阀作为实时器件进行了实验, 并对这种输入方式的优点进行了讨论。

二、液晶光阀的输入输出特性

在我们的实验中, 使用的是上海光学仪器研究所生产的液晶光阀。它的输入、输出特性

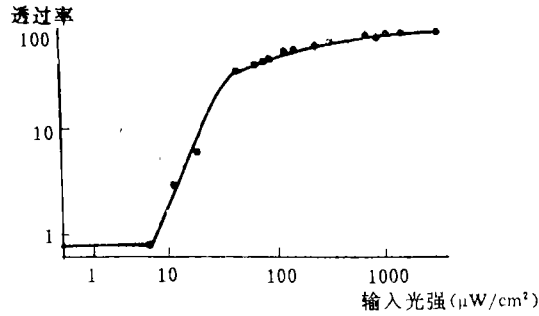


图1 液晶光阀的传递特性曲线

曲线如图 1 所示。其灰阶为 7。我们利用了曲线中的线性部分，在输入时，用非相干光把参考图像和目标图像叠加在一起作为输入，则会在输出实现两图像的光学相加。在我们的实验中，所使用的参考图像和目标图像都是二值化的。若参考图像和目标图像分别表示为 $r(x, y)$ 和 $S(x, y)$ ，两图像叠加后，在液晶光阀的写入面的输入光强为

$$I(x, y) = r(x, y) + S(x, y) \tag{1}$$

利用图 1 中曲线的线性部分，读出后的光强分布为

$$f(x, y) \propto r(x, y) + S(x, y) \tag{2}$$

即实现了两图像的线性相加。

三、光学实现与理论分析

用两个液晶光阀实现联合变换相关器的光路如图 2 所示，二值化的参考图像 和 目标图

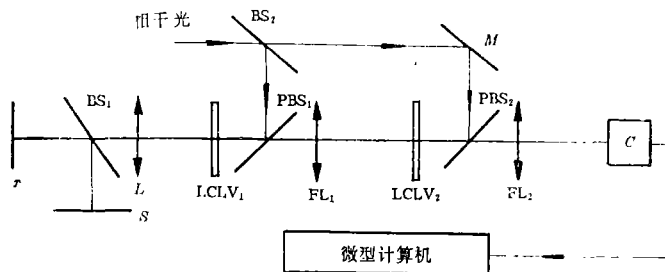


图 2 用两液晶光阀实现联合变换相关器的光路图，图中 r 为参考图像、 S 为目标图像、 BS 为分束器、 M 为反射镜、 L 为成像透镜、 PBS 为偏振分束器、 $LCLV$ 为液晶光阀、 FL 为傅立叶透镜、 C 为 CCD 摄像机

像，经分束器 BS_1 和成像透镜 L 成像到液晶光阀 $LCLV_1$ 的输入面上，两图像在输入面上可以是空间分开的，也可以是相互重叠的。由相干光读出，经过傅立叶透镜 FL_1 后，联合变换功率谱写到液晶光阀 $LCLV_2$ 上，再次由相干光读出，经傅立叶透镜进行变换，在 P_3 面上即可得到两图像的相关。

若参考图像和目标图像中心相距 $2x_0$ ，则可分别表示为 $r(x+x_0, y)$ 和 $S(x-x_0, y)$ ，它们由非

相干光叠加在液晶光阀的输入面上, 利用液晶光阀输入、输出曲线的线性部分, 相干光读出时则为两输入的线性相加。经傅立叶变换后, 在 P_2 面上光强分布为

$$U_{(\xi, \zeta)} = R_{(\xi, \zeta)} \exp\left(i2\pi \frac{x_0 \xi}{\lambda f}\right) + S_{(\xi, \zeta)} \exp\left(-i2\pi \frac{x_0 \xi}{\lambda f}\right), \quad (3)$$

式中 (ξ, ζ) 为谱面坐标, $R_{(\xi, \zeta)}$ 和 $S_{(\xi, \zeta)}$ 分别为 $r_{(x, y)}$ 和 $s_{(x, y)}$ 的傅立叶变换, λ 是相干读出光的波长, f 为傅立叶透镜焦距。相应的强度分布为

$$I_{(\xi, \zeta)} = |R_{(\xi, \zeta)}|^2 + |S_{(\xi, \zeta)}|^2 + R_{(\xi, \zeta)} S_{(\xi, \zeta)}^* \exp\left(i2\pi \frac{2x_0 \xi}{\lambda f}\right) + R_{(\xi, \zeta)}^* S_{(\xi, \zeta)} \exp\left(-i2\pi \frac{2x_0 \xi}{\lambda f}\right) \quad (4)$$

式中*表示复数共轭。经过第二个傅立叶透镜之后, 在 P_3 面上产生两图像的相关信号

$$h_{(x_1, y_1)} = r \star r + s \star s + r \star s \star \delta_{(x_1 - 2x_0, y_1)} + s \star r \star \delta_{(x_1 + 2x_0, y_1)} \quad (5)$$

式中 \star 和 $*$ 分别表示相关和卷积运算。后两次即为我们感兴趣的 $r_{(x, y)}$ 和 $s_{(x, y)}$ 的相关, 其中心位于 $(\pm 2x_0, 0)$ 处。

当参考图像与目标图像相同时, (4) 式为

$$I_{(\xi, \zeta)} = 2 |R_{(\xi, \zeta)}|^2 [1 + \cos(2\pi \frac{2x_0}{\lambda f} \xi)] \quad (6)$$

干涉条纹的间距为

$$\Delta \xi = \frac{\lambda f}{2x_0} \quad (7)$$

以依斯公司所生产的液晶光阀为例, 当输入为15线对/mm时, 其调制传递函数下降到50%, 这时要求

$$x_0 = 7.5\lambda f \quad (8)$$

若读出光波长为 0.6328×10^{-3} mm, 傅立叶透镜的焦距为300mm, 则 $x \approx 1.4$ mm。要在 P_2 面上直接通过液晶光阀读出联合变换功率谱, 两图像中心相距不能大于3mm。

四、实验结果与讨论

实验装置如图2所示。在实验中, 为了证明用大尺寸图像而不用放大成像透镜, 我们用24个汉字做成了二张透明片, 如图3所示。两相同透明片分别放置在图2中参考图像和目标图像的位置上, 用白光照明, 经合束器和成像透镜后, 相互重叠地成像到液晶光阀的写入面上, 其尺寸为 (15×10) mm²。相光读出光源为20毫瓦的 He-Ne 激光器, 所用傅立叶透镜的焦距为300mm。在 P_3 面上, 我们用摄像机接收相关结果。摄像机与一个可以实时产生光强三维分布的装置和计算机相连接。可实时观测相关峰值的三维分布情况, 也可以通过计算机对相关峰进行数字处理。图4为两相同图像的相关情况, 在实验中, 我们滤掉了零级光。图5是相关峰的实时三维光强分布, 从图中可以看出联合变换相关器具有较锐的相光峰值, 它与附近的次峰相比, 大约为10:1, 可见它具有较高的判断灵敏度。

与以往的实验装置安排相比, 我们的光路具有如下优点:

1. 由于采取了两图像重叠输入的方式, 使得两图像的中心距离连续可调, 对大尺寸的输入图像, 可以省去联合变换功率谱后的放大成像透镜, 使整个系统结构更为紧凑。

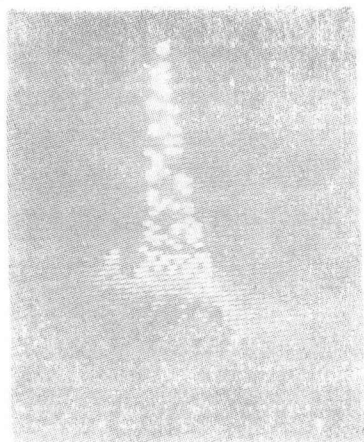
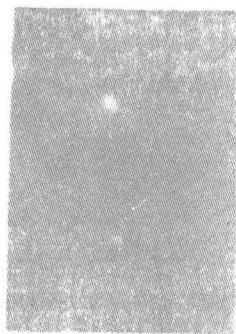


图3 输入图像 图4 两相同图像的相关情况 图5 相关峰值的实时三维光强分布情况

2. 在两图像并排输入的情况下，二值化的参考图像（或目标图像）最多只能利用液晶光阀空间带宽积的 $\frac{1}{2}$ ，而采取重叠输入方式，每一图像的信息量可以接近整个液晶光阀的空间带宽积。

3. 可以降低对液晶光阀读出面的表面形的要求。一般来说，液晶光阀的读出面的面形都存在一定的面形误差，这种误差都是缓变的。当参考图像与目标图像中心相距很小时，液晶光阀表面所引起的波面误差对联合变换功率谱的干涉条纹的影响可以忽略，我们以前的工作中也证明了这一点^[6]。

五、结 论

在本文中，我们利用液晶光阀的输入、输出及灰阶特性，提出了一种新的输入方式，它可使联合变换功率谱所产生的干涉条纹的空间频率连续可调，省去了成像透镜，使系统变得更为紧凑，而有利于整个系统的小型化。

参 考 文 献

[1] C. S. Weaver et al.; *Appl. Opt.*, 5, 1248 (1966)
 [2] B. Javidi; *Appl. Opt.*, 28, 2359 (1989)
 [3] E. C. Tam et al.; *Opt. Eng.*, 29, 314 (1990)
 [4] B. Jaiidi et al.; *Appl. Opt.*, 30, 1772 (1991)
 [5] S. K. Rogers et al.; *Opt. Eng.*, 29, 1088 (1990)
 [6] 卢振武等; *光学学报* 6, 1986, 193

Real Time Optical Correlation Using Liquid Crystal Light Valve

Lu Zhenwu, Sun Degui and Weng Zhaoheng

Abstract

A real-time joint transform correlation system with optically addressed spatial light modulator is presented. A new input technique based on the input-output characteristic of liquid crystal light valve is described and the experimental results are provided.