

· 电路与控制 ·

## 基于联合傅里叶变换相关器的光电实验研究

刘秋武

(韩山师范学院物理与电子工程系, 广东 潮州 521041)

**摘要:**分析了联合傅里叶变换相关器存在较强的零级衍射且宽度很大,限制了输入图像的大小和相对位置的问题.提出了将参考图像和待识别图像分别置于马赫—曾德干涉仪的两臂,并将实时采集到的联合功率谱与事先存储的待识别和目标图像的功率谱进行相减的方法.改进方法可使原两个相关输出项移到坐标中心,既提高了识别能力,也增大了输入图像的尺寸.

**关键词:**联合变换相关器;相关识别;马赫—曾德干涉仪;功率谱相减

**中图分类号:**TP391.44

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-1255(2010)04-0062-04

## Electro-optical Experimental Study Based on Joint-Fourier Transform Correlator

LIU Qiu-wu

(Department of Physics and Electronic Engineering, Hanshan Normal College, Chaozhou 521041, China)

**Abstract:** The Joint Fourier Transform Correlator (JTC) exists a strong and widely zero-order diffraction, which restricts the input image size and its relative position. A method is presented to place respectively the reference image and the image to be identified in the arms of Mach-Zehnder interferometer, and to make the joint power spectrum and the identified targets power spectrum subtraction. The improving method can make two original outpour items move to eh coordinate center, it not only improves the ability of identification, but also increases the input image size.

**Key words:** joint transform correlation; correlation and recognition; Mach-Zehnder interferometer; power spectrum subtraction

光学图像相关识别是指从给定图像中提取有用信息,或从一些图像中鉴别是否含有特定函数图像的技术,它已广泛应用于脸谱、指纹、字符的识别,雷达摄影照片的目标侦察,生物细胞的筛选等<sup>[1-3]</sup>.图像相关识别一般是根据参考图像和待识别图像的相关峰强弱来判别它们的相关情况,主要有匹配滤波相关<sup>[4]</sup>和联合变换相关<sup>[5]</sup>两种方法.其中的联合变换相关器不需要制作匹配滤波器及其严格的复位,适合用于对图像进行实时识别,所以更受人们的关注.但联合变换相关系统存在较强的零级衍射,在相关输出面,为了使自相关峰与互相关峰分离,要求

输入面的待识别图像和参考图像有适当的相对位移,这使得的输入图像的尺寸不能太大,否则图像的高频信息将大量丢失.若输入的待识别图像有噪声时,较强的自相关峰会把互相关峰淹没,识别效果显著下降.另外,早期的联合变换相关器系统采用干版作记录介质,不利于系统的自动化.

若在传统的联合变换相关器中引入液晶空间光调制器(SLM)和 CCD 等光电器件并与计算机结合,上述问题将得到明显改善.电寻址的液晶空间光调制器是由驱动电路驱动的 LCD,计算机输出全息图或图像的电信号加到液晶光阀的驱动电路上,根据

收稿日期:2010-06-20

基金项目:韩山师范学院青年科学基金项目(HSQ08)

作者简介:刘秋武(1975-),男,广东潮州人,硕士,实验师,研究方向为信息光学.

寻址电信号改变每一液晶像素的透过率,从而把电信号转换成空间的光强分布.改进实验的思路是将参考图像和待识别图像分别置于马赫—曾德干涉仪的两臂光路中心,将 CCD 实时采集到的联合功率谱与事先存储的待识别和目标图像的功率谱进行相减消除零级衍射,并将此差值功率谱传到电寻址的液晶空间光调制器,经相干光读出后用 CCD 探测相关信息并用显示器显示.改进后的实验方法具有系统的自动化高、识别能力强和增大输入图像的尺寸等特点.

### 1 联合变换相关器的原理及存在问题

联合变换相关器工作过程分成两步即用平方律记录介质或器件记录联合傅里叶变换的相关谱和功率谱的相关读出,光路如图 1 所示.

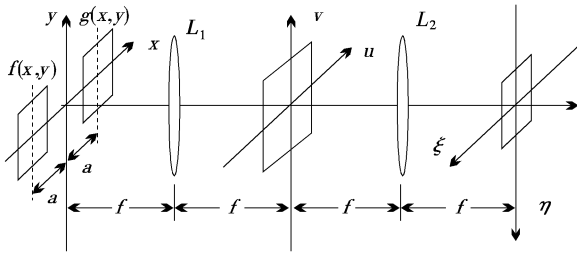


图 1 联合变换相关功率谱的记录和相关读出

在联合变换相关器的输入面上,待识别图像  $f(x+a, y)$  中心位于  $(-a, 0)$ , 参考图像  $g(x-a, y)$  中心位于  $(a, 0)$ . 用准直光照射图像  $f, g$ , 经过透镜的傅里叶变换后在频谱面上的复振幅分布为

$$S(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} [f(x+a, y) + g(x-a, y)] \exp[-i \frac{2\pi}{\lambda f}(xu + yv)] dx dy = \exp(i \frac{2\pi}{\lambda f} au) F(u, v) + \exp(-i \frac{2\pi}{\lambda f} au) G(u, v) \quad (1)$$

式(1)中,  $F, G$  分别为  $f, g$  的傅里叶变换. 用平方律记录介质(如干版)或器件(如 CCD)记录, 则功率谱为

$$|S(u, v)|^2 = |F(u, v)|^2 + F^*(u, v) G(u, v) \exp(-i \frac{4\pi}{\lambda f} au) + F(u, v) G^*(u, v) \exp(i \frac{4\pi}{\lambda f} au) + |G(u, v)|^2 \quad (2)$$

功率谱的强度分布经干版或液晶光阀转换, 由相干光读出, 经透镜逆傅里叶变换后在输出面的相关输出

$$s(\xi, \eta) = f(\xi, \eta) \otimes f(\xi, \eta) + f(\xi, \eta) \otimes g(\xi, \eta) * \delta(\xi - 2a, \eta) + g(\xi, \eta) \otimes f(\xi, \eta) * \delta(\xi + 2a, \eta) + g(\xi, \eta) \otimes g(\xi, \eta) \quad (3)$$

式(3)中, 符号  $\otimes$  和  $*$  分别表示相关运算和卷积运算. 式(3)的第 1、4 项分别表示待识别图像和参考图像的自相关, 它们重叠位于输出面中心, 构成零级衍射; 第 2、3 项是一对共轭的互相关项, 分别位于  $(2a, 0)$  和  $(-2a, 0)$  处, 称为一级项, 选择适当的  $2a$  值, 就能使一级与零级项分离. 因此, 如果待识别中含有参考图像信息, 则会在  $(\pm 2a, 0)$  附近产生相关的亮斑, 否则出现较暗的弥散斑, 以此便可实现图像的相关识别.

由以上的分析可知, 在联合变换相关中存在以下问题: (1) 在相关输出面, 零级衍射光的强度远大于两侧的一级衍射光, 从而干扰了互相关峰的探测和识别, 当输入图像的噪声严重时, 自相关峰的亮度会把互相关峰淹没. (2) 由于输入的待识别图像和参考图像之间存在相对位移  $2a$ , 在变换透镜孔径和 CCD 靶面大小已确定的情况下, 为了使零级衍射光与一级衍射光分离, 输入图像的相对位移  $2a$  不能太小, 这使得的输入图像的尺寸不能太大. (3) 在联合变换相关光电混合系统中, 目前多用 CCD 在输出面探测相关峰的强度, 而自相关项宽度较大, 互相关峰位于 CCD 的边缘, 这也限制了其输入面的目标图像和参考图像的大小和相对位置, 降低了 CCD 的空间带宽. (4) 当待识别图像与参考图像一致时, 输出面两侧的  $\pm 1$  级互相关峰是相同的, 在相关识别中, 只用其中的一项, 若能使  $\pm 1$  级相关峰重叠在一起, 能量集中在一个互相关峰上, 将会大大提高相关器的识别能力.

### 2 联合变换相关器的改进

如果能将功率谱中的自相关项(即零级项)消除, 并将两侧的互相关项平移至坐标的中心(即  $a = 0$ ), 上述的问题将得到解决. 此时, 式(2)的功率谱变为

$$|S'(u, v)|^2 = F^*(u, v) G(u, v) + F(u, v) G^*(u, v) \quad (4)$$

逆傅里叶变换后在输出面的相关输出

$$S'(\xi, \eta) = [f(\xi, \eta) \otimes g(\xi, \eta) + g(\xi, \eta) \otimes f(\xi, \eta)] * \delta(\xi, \eta) \quad (5)$$

如果待识别图像  $f$  和参考图像  $g$  不同时, 输出平面的坐标中心没有相关输出, 得到的是一弥散斑;

一致时,得到的相关输出为

$$S'(\xi, \eta) = 2[f(\xi, \eta) \otimes f(\xi, \eta) * \delta(\xi, \eta)] \quad (6)$$

即在输出平面的坐标中心得到2倍于原来的相关强度。

为获得  $a=0$  时的无零级功率谱  $|S'(u, v)|^2$ , 采用如图2所示的光路. 空间光调制器  $SLM_1$  和  $SLM_2$  在功率谱的记录阶段分别用于加载待识别图像和参考图像,  $NF$  是针孔滤波器,  $L_1$  是扩束透镜,  $S$  为光阑,  $D$  为光密度盘, 用于调节光的强弱,  $P_1$  至  $P_4$  为偏振片,  $P_1$  与  $P_2$  正交,  $P_3$  与  $P_4$  正交. He-Ne 激光器发出的激光经滤波扩束、准直后由分光镜  $BS_1$  分成两路, 分别经过平面反射镜  $M_1$  和  $M_2$  分别照射到空间光调制器  $SLM_1$  和  $SLM_2$ , 再经分光镜  $BS_2$  合成一路, 在傅里叶变换透镜的后焦平面上用 CCD 接收记录其联合功率谱. 为实现消功率谱中的零级项<sup>[9]</sup>, 先打开电子快门  $S_1$ , 关闭电子快门  $S_2$  记录待识别图像的功率谱  $|F(u, v)|^2$ ; 然后打开电子快门  $S_2$ , 关闭电子快门  $S_1$  记录参考图像的功率谱  $|G(u, v)|^2$ ; 最后打开电子快门  $S_1$  和  $S_2$  记录它们的联合功率谱  $|S(u, v)|^2$ , 通过计算机算出  $|S(u, v)|^2 - |F(u, v)|^2 - |G(u, v)|^2$ , 可得  $a=0$  时的无零级功率谱  $|S'(u, v)|^2$ . 在相关读出阶段, 把此差值功率谱  $|S'(u, v)|^2$  传送至电寻址空间光调制器  $SLM_1$  (此时的电子快门  $S_1$  打开  $S_2$  关闭), 由激光读出并经透镜  $L_2$  作逆傅里叶变换, 在  $L_2$  后焦面由  $CCD_2$  采集相关输出信息, 并在监视器上显示或传送到计算机作进一步的相关峰值的大小判定。

### 3 计算机仿真及分析

为了验证所提出方案的有效性, 首先用 Mat-

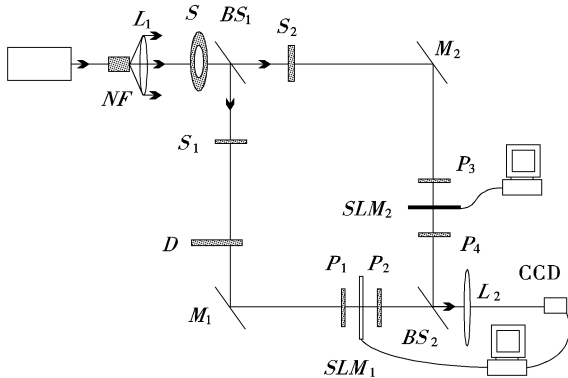


图2 实验光路

lab 进行了计算机仿真. 参考图像为黑体字母“E”. 用黑体字母“E”和“F”作为输入的待识别图像. 先计算各输入图像的功率谱和同时输入的联合功率谱, 并相减得其差值功率谱, 再做逆傅里叶变换得其相关输出. 由图3c可知, 当输入相同时(“E”和“E”), 在输出面的中心上出现一个相关峰(两侧的低矮小峰是它的旁瓣); 当输入不相同(“E”和“F”), 在输出面上不会出现尖锐的相关峰, 如图3d所示。

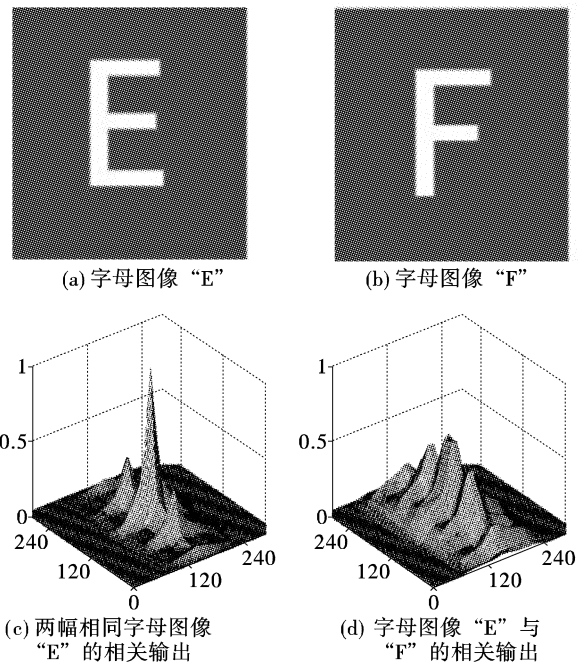


图3 改进方法的计算机仿真

为比较此方法与传统的联合变换相关器的性能, 对上述2组图像采用传统的联合变换相关进行运算. 比较图4c图和图4d图可知, 当2个输入图像近似时, 根据相关输出峰是难以判断参考图像和待识别图像是否相同, 因为从图4中只能看出相关峰的高度图4b比图4d略高而已, 而上述的改进方法却能判别. 比较图3c和图4c可知, 传统方法的峰值旁瓣比(定义为相关峰强度与相关峰的旁瓣中光强最大值之比)为12, 改进方法的旁瓣比为46. 改进方法的相关峰更尖锐, 使相关识别变得更加容易判断。

### 4 光学实验

在实验室中搭建了一套如图2所示的光学联合变换相关器系统, 以验证上述改造方法的可行性. 采用波长为632.8 nm的He-Ne激光器作为相干

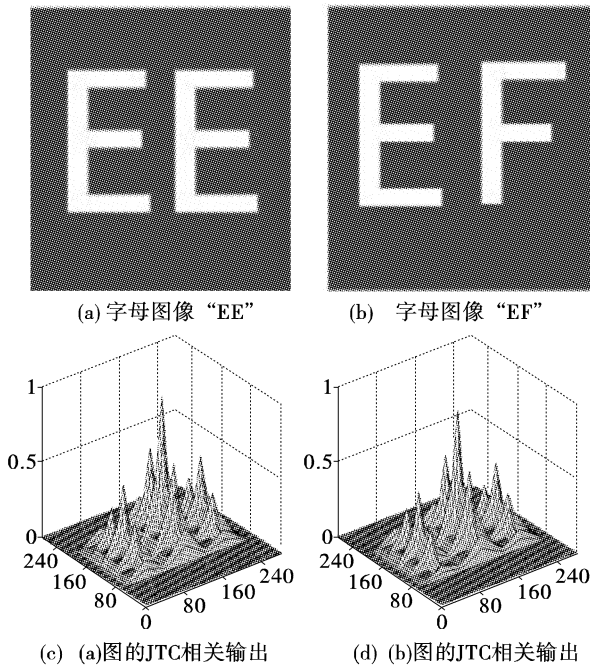


图 4 传统的联合傅里叶变换相关的计算机仿真

光源,2 个傅里叶变换透镜的口孔均为 80 mm、焦距为 400 mm. 采用台湾敏通摄像机 MTV-1881EX 做功率谱采集和相关峰探测,其 CCD 的像素为 795 pixel×596 pixel. 空间光调制器为大恒研制的 GCI-7701 电寻址液晶空间光调制器,其分辨率为 1 024 pixel×768 pixel. 待识别图像和参考图像是用激光打印机打印的透明胶片,尺寸是 20 mm×20 mm. 实验时,用 CCD<sub>1</sub> 先记录待识别图像的功率谱  $|F(u, v)|^2$ ,再记录参考图像的功率谱  $|G(u, v)|^2$ ,最后记录它们的联合功率谱  $|S(u, v)|^2$ ,通过计算机算出  $|S(u, v)|^2 - |F(u, v)|^2 - |G(u, v)|^2$  得到无零级功率谱  $|S'(u, v)|^2$ ,再把此功率谱传送到电寻址空

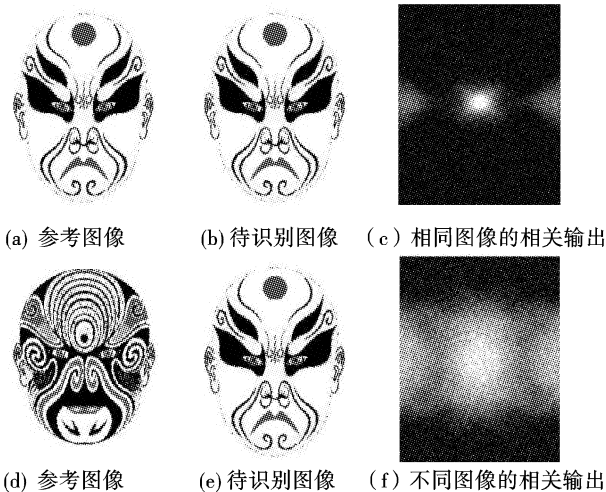


图 5 光学实验结果

间光调制器. 调节起偏片  $P_1$ ,使通过空间光调制器的光信号最大,再旋转检偏片  $P_2$ ,使其与  $P_1$  正交,用 CCD<sub>2</sub> 接收相关输出,并做 0.1 的阈值处理,结果如图 5 所示. 由图 5 可知,当输入的 2 个图像相同时,在输出面的中心上出现一个相关峰;当输入不相同,在输出面上出现弥散斑.

## 5 结 论

传统的联合变换相关系统存在较强的零级衍射并且宽度很大,从而使相关输出衍射效率较低并且限制了输入面的待识别图像和参考图像的大小和相对位置,降低了对输出面空间带宽积的使用. 为了改进其不足,由于待识别图像和参考图像的功率谱可事先获得,采用马赫—曾德光路,将输入图像置于光路中心,用系统实时采集的联合功率谱与事先存储待识别和目标的功率谱进行相减,使原来的 2 个相关输出项重叠在坐标中心成一项. 实验证明,该方法使相关输出面只有一个强度较强的互相关峰,既提高了识别能力,也增大了输入图像的尺寸.

## 参考文献

- [1] Alex Stoianov, Colin Soutar, Al Graham. High speed fingerprint verification using an optical correlator [J]. Proc. SPIE, 1998, 3386: 242-252.
- [2] 陈晓伟,陈怀新,洪汝桐,等. 用于指纹识别的基于离散余弦变换的二值化联合变换相关器[J]. 光学学报, 2000, 20(7): 931-936.
- [3] 王永仲. 现代军用光学技术[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 464-471.
- [4] A Vander Lugt. Signal detection by complex spatial filtering[J]. IEEE Trans. Inf. Theory, 1984, IT-10(2): 139-145.
- [5] Weaver C S, Goodman J W. A technique for optically convolving two functions[J]. Appl Opt, 1966(5): 1248-1249.
- [6] 黄富瑜,李刚,张维,等. 基于 Matlab 仿真的联合变换相关器实验[J]. 物理实验, 2009, 29(9): 5-8.
- [7] 王绿萍. 光学和信息处理实验[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1992: 81-84.
- [8] 陈士谦,范玲,吴重庆. 光信息科学与技术专业实验[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 87-90.
- [9] 陈怀新,陈祯培,陈晓伟. 基于相移功率谱相减的二元联合变换相关识别[J]. 中国激光, 1998, A25(4): 353-358.