

# 基于双二次微分的联合变换相关识别

陈怀新<sup>1)</sup> 陈祯培<sup>1)</sup> 刘 馨<sup>2)</sup>

1), 四川联合大学光电科学技术系, 成都 610064  
2), 四川联合大学应用数学系, 成都 610064

**摘 要** 提出一种提高联合相关识别的有效方法, 该方法通过对识别图像和联合变换功率谱分别进行二次微分, 抽取识别图像的特征信息, 增强联合变换功率谱中调制条纹的对比度和调制条纹的结构, 有效地提高了联合变换相关器的相关输出; 在此基础上, 构造了基于双二次微分的  $1f$  实时光电联合相关识别系统, 实验结果表明: 该方法较二元联合变换相关, 提高了图像相关识别能力。

**关键词** 联合变换相关识别, 二次微分,  $1f$  光电混合相关器。

## 1 引 言

图像的光学相关识别有两类基本方法: 1) 匹配空间滤波相关(MSF); 2) 联合变换相关(JTC)。与匹配滤波相关相比, 联合变换相关不需要制作和精确复位复空间匹配滤波器的问题, 并随着液晶光阀(LCLV)和液晶电视(LCTV)等实时器件的性能不断发展和完善, 因而易于实现实时相关识别。

经典的联合相关器(CJTC)的相关识别能力较低, 为了提高联合变换相关的相关识别能力, Javidi 提出对联合功率谱(JTPS)取阈值进行二值化为  $(-1, +1)$  或  $(0, 1)$  的二元相关器(BJTC), 可以产生较好的相关输出<sup>[1, 2]</sup>; 但二元相关器存在的不足一是确定二值化功率谱的阈值而需要较大计算量<sup>[3]</sup>, 二是以固定的阈值二值化联合功率谱使其高频成分损失较多, 输出面的相关峰值不够强。Alam 等提出对输入的联合图像进行预处理的相关器(PJTC), 它采用梯度算子 Robert 提取出图像的特征, 消除其冗余信息, 来获得较尖锐的相关峰<sup>[4]</sup>。Zhong 等提出用差分的方法, 对功率谱进行微分处理的微分相关器(DJTC)以及其二值化的形式(DBJTC), 通过计算机模拟显示该联合相关器可得到强而尖锐的相关峰<sup>[5]</sup>。

由于联合变换相关输出结果, 不仅与输入待识别图像的特征信息, 而且还与联合变换功率谱的调制条纹的对比度以及调制条纹的结构密切相关<sup>[6]</sup>。对此, 本文提出对识别图像和联合变换功率谱分别进行二次微分处理的双微分的联合相关器(2DJTC)及其二值化的形式(2DBJTC)。该方法根据数字图像边缘增强技术, 采用二次微分, 抽取待识别物的特征信息, 增强功率谱的调制条纹的对比度, 压低其动态范围以丰富功率谱高频区的条纹结构, 从而大大提高图像的相关的识别能力。在光学相关识别的研究中, 建立了基于双二次微分的  $1f$  实

时光电混合相关器, 并与通常的二元联合相关器进行了对比实验, 输出的相关信号在相关峰、峰边比、信噪比、半宽度等方面都有明显的改善, 具有较好的图像相关识别能力。

## 2 分 析

典型的联合变换相关器的原理结构如图 1 所示。设输入面中放置的目标图像和参考图像分别为  $s(x - a, y)$  和  $r(x + a, y)$ , 它们的中心分别位于  $(a, 0)$  和  $(-a, 0)$  处, 即输入的联合图像为

$$f(x, y) = s(x - a, y) + r(x + a, y) \tag{1}$$

其傅里叶变换的频谱为

$$F(u, v) = S(u, v) \exp(-j2\pi ua) + R(u, v) \exp(j2\pi ua) \tag{2}$$

式中  $S(u, v)$ 、 $R(u, v)$  为目标图像  $s(x, y)$  和参考图像  $r(x, y)$  的傅里叶变换谱,  $u = x_2/\mathcal{N}$  和  $v = y_2/\mathcal{N}$  为第一个傅里叶透镜  $FL_1$  的后焦平面 ( $P_2$ ) 上的空间上频率,  $f$  为透镜  $FL_1$  和透镜  $FL_2$  的焦距,  $\lambda$  为照明相干光的波长。相应的联合变换功率谱为

$$I(u, v) = |F(u, v)|^2 = |S(u, v)|^2 + |R(u, v)|^2 + 2|S(u, v)R(u, v)| \cos(4\pi ua + \phi_s - \phi_r) \tag{3}$$

式中  $\phi_s$  和  $\phi_r$  分别为  $S(u, v)$  和  $R(u, v)$  的位相频谱。

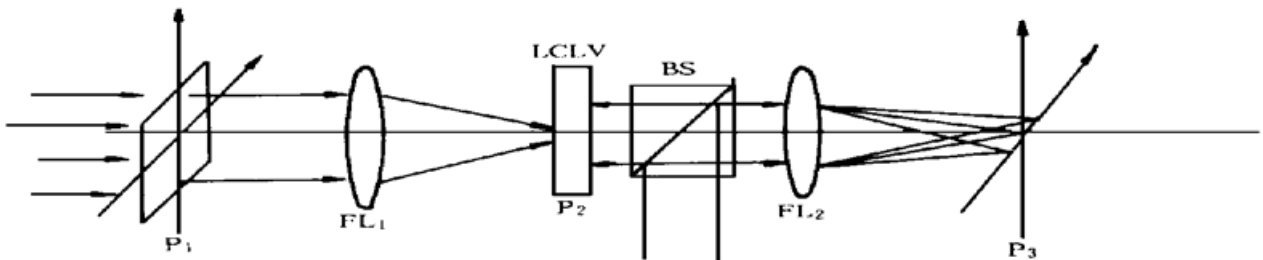


Fig. 1 The principle diagram of joint transform correlator:  $FL_1, FL_2$ -Fourier transform lens; LCLV-liquid crystal light valve; BS-beam splitter

经典联合变换相关对 (3) 式直接进行逆傅里叶变换, 在输出面得到相关输出。从 (3) 式可知, 联合相关变换功率谱是振幅调制的正弦型光栅结构(调制条纹结构)的干涉强度分布, 其相关峰可视为这种振幅调制的正弦光栅结构的一级衍射峰。

非线性联合相关变换是对 (3) 式进行非线性处理。二元联合相关变换是对联合变换功率谱进行取阈值的二值化:

$$I_b(u, v) = \begin{cases} 1 & |F(u, v)|^2 \geq V_T \\ 0 & |F(u, v)|^2 < V_T \end{cases} \tag{4}$$

其中  $V_T$  为的阈值, 一般可选联合变换功率谱的中值。将取阈值后的功率谱进行逆傅里叶变换, 即在输出面 ( $P_3$ ) 上得到联合变换的相关输出。二元联合变换相关实际上是将振幅调制的功率谱转化为二值脉冲调制的功率谱, 增强了功率谱的调制条纹的对比度, 能输出尖锐的自相关峰; 但通常的取阈值二值化联合变换功率谱, 其高频成分损耗较多, 因而输出的自相关峰强度不高。

由于联合变换的相关输出, 不仅与输入图像的特征有关, 还与联合变换功率谱的调制条纹的对比度及调制条纹的结构密切相关<sup>[5]</sup>。对此, 首先采用二次微分对输入图像进行预处理, 提取特征信息; 再对联合变换功率谱进行微分处理, 其作用是提高联合变换功率谱的调制条

纹的对比度,同时提高其高频成分的条纹结构,压低其低频部分;即联合变换相关在作逆傅里叶变换的相关运算前,对联合变换功率谱进行二次微分:

$$I_d(u, v) = P\{|F(u, v)|^2\} \quad (5)$$

式中  $P$  是二次微分操作算符,这种联合变换相关器称为双二次微分的联合变换相关器。由于二次微分的拉普拉斯(Laplacian)算子是无方向算子,适合于线检测,因此这种算子适于处理多目标的联合变换功率谱,故本文采用二次微分的拉普拉斯算子模块。为了分析方便,采用一维二次微分的形式,将二次微分后的联合变换功率谱经第二个傅里叶透镜  $FL_2$  作逆傅里叶变换,在输出面( $P_3$ )得到其相关输出:

$$E(x, y) = \left| \mathcal{F}^{-1} \left[ \frac{\partial^2 I(u, v)}{\partial u^2} \right] \right|^2 = |(j2\pi x)^2 \mathcal{F}^{-1}\{I(u, v)\}|^2 = 16\pi^4 x^4 |\mathcal{F}^{-1}\{I(u, v)\}|^2 \quad (6)$$

由(6)式可知,经二次微分功率谱的相关输出还与输出面的坐标有关,由于相关面的衍射峰中零级处于坐标的中心处,而高级衍射峰偏离中心,由此相关输出可压低零级峰,增强一级相关峰。经二次微分后,再采用二值化方法,便能获得相应双二次微分的二元联合相关器。

### 3 实验及结果分析

#### 3.1 计算机模拟结果

本文通过计算机模拟,研究联合变换相关器输入图像的预处理、功率谱的二次微分以及二值化处理,对其输出面相关峰的影响。计算机模拟识别物和参考物选为英文字符  $H$ , 每字符为  $8 \times 8$  像素,嵌于  $64 \times 64$  的像素点阵中。采用二维快速傅里叶变换子程序模拟联合变换相关,相关输出用计算机三维显示给出。

图 2 分别显示出对联合变换相关的输入图像、联合变换功率谱进行相应处理后得到的相关峰。比较图 2 的(a)和(b),说明仅对输入图像的边缘提取预处理,输出的相关峰比经典的

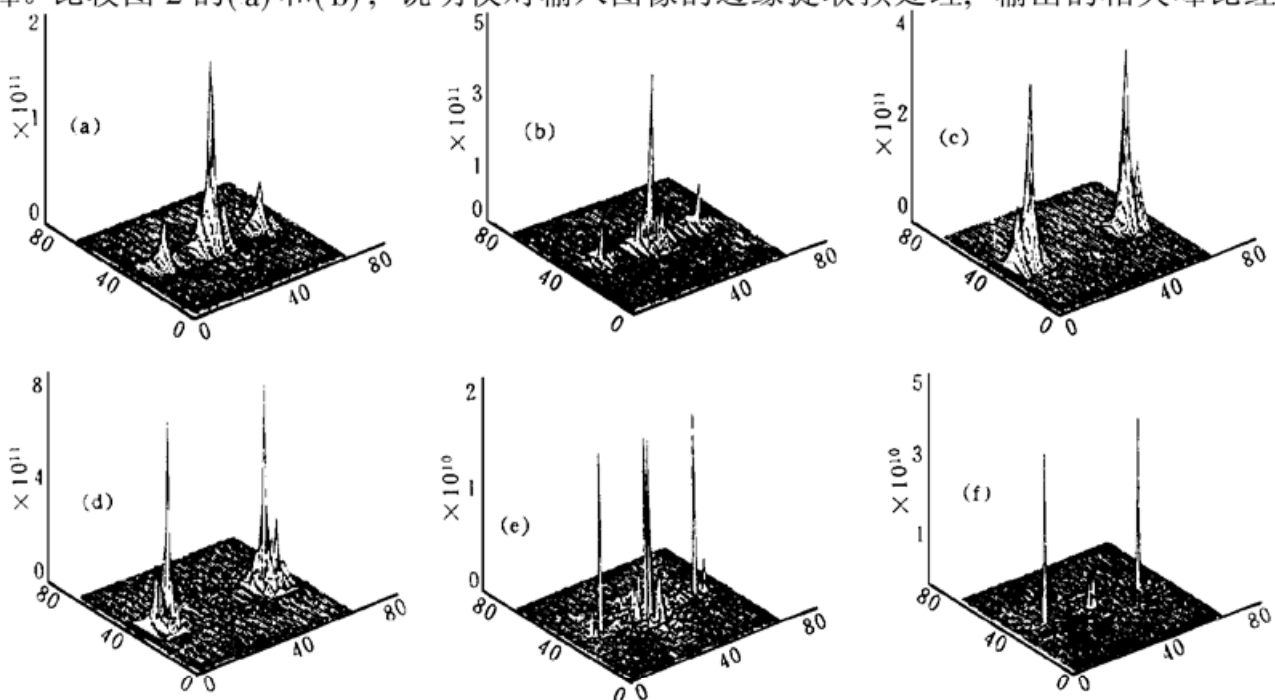


Fig. 2 The correlation simulation results for different JTCs: (a) For the CJTC, (b) For the PJTC, (c) For the DJTC, (d) For the 2DJTC, (e) For the BJTC, (f) For the 2DBJTC

联合相关器的相关峰尖锐, 但相关峰强度提高不大; 比较图 2 的(a)和(c), 说明仅对联合变换功率谱二次微分, 输出的相关峰比经典的联合相关器的相关峰更强、更锐, 且消除了零级峰; 比较图 2 的(c)和(d), 可以看出, 采用预处理和联合变换功率谱二次微分的相关输出, 比仅对联合变换功率谱二次微分的相关峰更尖锐。从图 2(a)~ 图 2(c)可以得到: 单纯输入面的预处理, 主要作用是提高联合变换相关的相关输出峰的尖锐性; 而单纯对联合变换功率谱的微分处理, 可较大地提高联合变换相关的相关输出的峰值强度; 结合输入面预处理和联合变换功率谱的微分处理, 可获得强、尖锐的相关峰, 从而提高了联合变换相关的相关识别能力。

图 2(e) 为以联合变换功率谱的中值为阈值、将联合变换功率谱二值化为(-1, +1)的二元相关器的输出相关峰; 图 2(f) 为双微分联合变换相关峰的二值化形式的联合相关器的相关输出峰。比较图 2 的(e)和(f), 二者都有类脉冲的相关峰输出, 但后者的相关输出优于前者。

综合以上计算机模拟结果可得出: 对联合变换相关的输入、联合变换功率谱的微分处理, 可提高联合变换相关的相关输出性能; 其二值化形式的相关器比通常的二元相关器也有更好的相关输出。

### 3.2 1f 实时相关系统构造

图 3 为本文采用的 1f 光电混合式实时相关识别系统。由 CCD<sub>1</sub> 实时摄入目标图像和参考图像, 并显示在监视器(CRT)上, 经透镜 IL 成像于液晶光阀(LCLV)上; 由 He-Ne 激光器(功率 20 mW, 波长 0.6328 μm)输出的激光束, 经针孔 P 滤波和透镜 L<sub>1</sub> 扩束、透镜 L<sub>2</sub> 准直后得到一束平行光, 作为读出光; 读出的输入图像经傅里叶透镜 FL(焦距为 1000 mm), 在其后焦面上得到联合变换功率谱; 由 CCD<sub>2</sub> 摄取联合变换功率谱, 通过图像板采集到计算机中进行取阈值二值化操作或者二次微分处理, 再显示于 CRT, 再经 IL 成像于 LCLV, 并由读出光读出, 在 FL 的后焦面, 用 CCD<sub>2</sub> 可分别摄取经二值化或者二次微分处理后的联合变换相关输出。

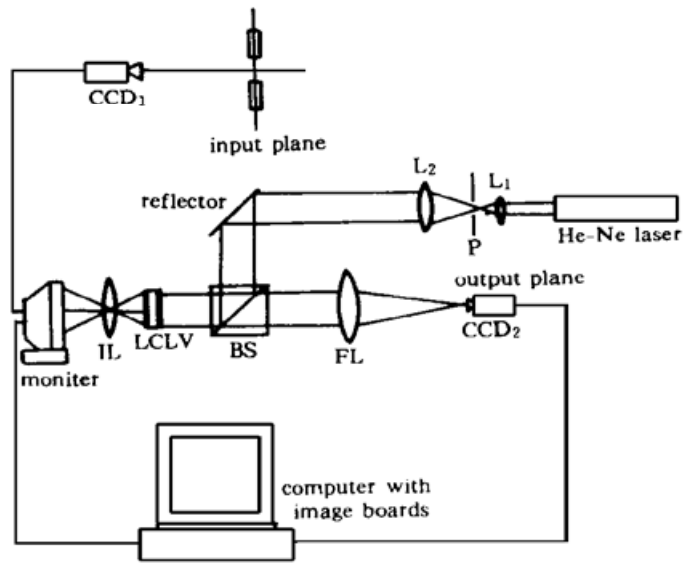


Fig. 3 Diagram of 1f real-time electro-optical hybrid joint-transform correlator based on double second differentiation

实验研究双微分联合相关器的性能时, 首先对输入图像进行预处理, 采用二次微分输入图像以获得具有边缘轮廓的图像。考虑到图像采集与显示器件 CCD、CRT 的动态范围的限制, 对联合变换功率谱二次微分处理后, 若其像素灰度值小于 0, 则取 0; 若其灰度值大于 255, 则取 255; 并利用 CRT 的对比度调节可近似实现联合变换功率谱的二值化。本文采用的二次微分算子为拉普拉斯算子模块:

$$P = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

### 3.3 实验结果及分析

由于利用液晶光阀实现光电混合式的联合变换相关系统, 对联合变换功率谱的记录和显

示是非负实值的,由此本文在光学实验中仅就二元相关器和双微分联合相关器的实验结果进行比较。取多字符、二值的目标物和参考物作为输入的联合图像。用 CCD<sub>1</sub> 摄入目标图像和参考图像,整个输入的联合图像为  $512 \times 512$  像素点阵。就双微分联合相关器,对采集的联合图像,采用计算机进行二次微分预处理,得到具有边缘抽取的图像,如图 4 所示。当输入联合图像为图 4(a),目标图像和参考图像相同,产生自相关输出;当输入联合图像为图 4(b),目标图像和参考图像不同,产生互相关输出。

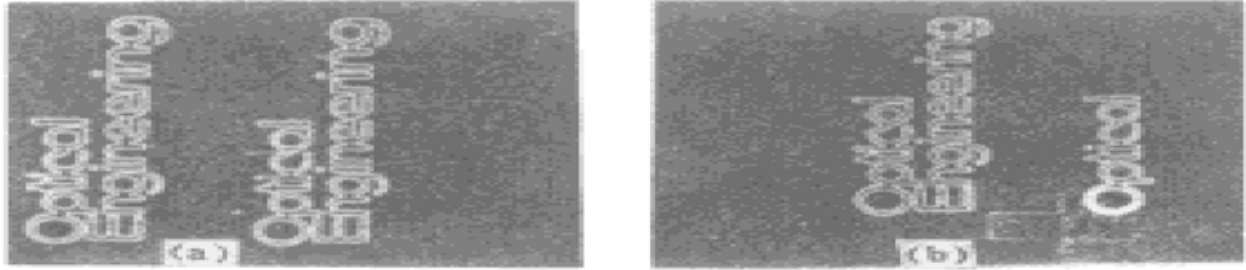


Fig. 4 Input edge enhanced images for (a) Auto-correlation (b) Cross-correlation

图 5(a)、(b) 分别为二元相关器的功率谱和双微分联合相关器的功率谱。从联合变换功率谱可看出,由于联合变换的功率谱的动态范围较大,通常的功率谱取阈值二值化方法,虽然功率谱的条纹结构的对比度得到增强,但谱的低频区仍很强,其高频区的条纹结构较少;而对功率谱的二次微分处理,能有效地增强功率谱的调制条纹的对比度,增强其高频成分区的条纹结构,压低其低频部分,丰富了联合变换功率谱的调制条纹结构,因而增加了相关图像的信息量,降低了直流成分。

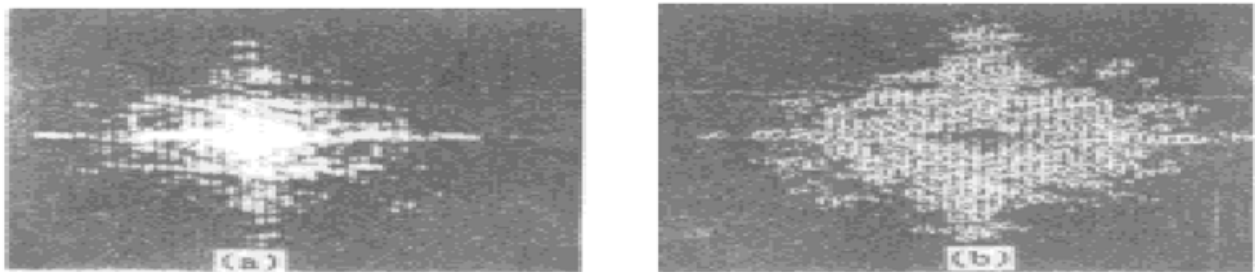


Fig. 5 Joint power spectrum of antucorrelation of (a) BJTC, (b) 2DJTC

比较二元相关器和双微分联合相关器相关识别能力,对应图 5 的联合变换相关器的自相关输出,图 6(a) 为二元联合变换相关的自相关输出,图 6(b) 为双二次微分的联合变换相关的自相关输出。从图 6 可看出,双二次微分处理较取阈值的二值处理,其相关输出的峰更加尖锐,输出的相关峰更强。图 7(a)、(b) 分别为二元相关器的互相关输出和双微分联合相关器的互相关输出,由此说明双二次微分联合相关的互相关输出峰值小。结合图 6、图 7 可以看出,双二次微分联合变换相关器比二元联合变换相关器有更好的相关识别与鉴别能力。需要说明的是,光学实验结果与计算机模拟结果存在差别,这主要是由于实验采用的液晶光阀的分辨率和对比度不高而造成输出相关峰不尖锐。

在实时相关识别实验中,将双二次微分联合相关变换与一般的二元联合变换相关的相关输出性能作进一步比较,分别测试和计算了相关峰强度  $I_p$  (相关场中直流项规一化时的相对值)、旁瓣比 RSR (相关峰强度与相关峰的旁瓣中的噪声平均强度比)、半宽度 FWHM (相关峰值下降为其值的一半时的宽度)、相关识别力 ACR (自相关峰值与互相关峰值之比)<sup>[7, 8]</sup>,对应的结果列于表 1。

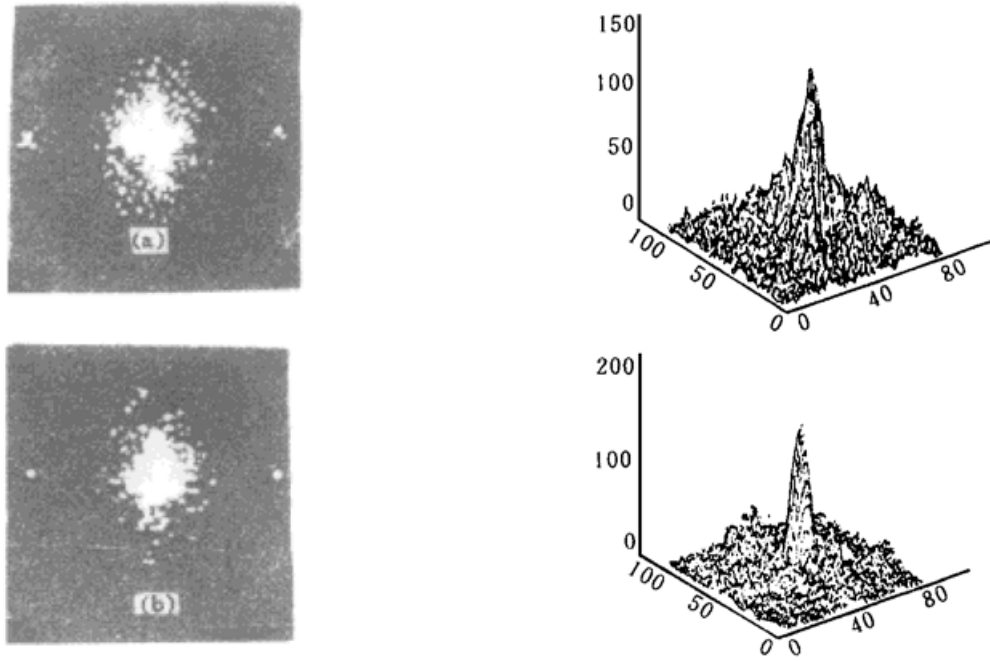


Fig. 6 Photograph and 3-D mesh plot of auto-correlation of (a) BJTC (b) 2DJTC

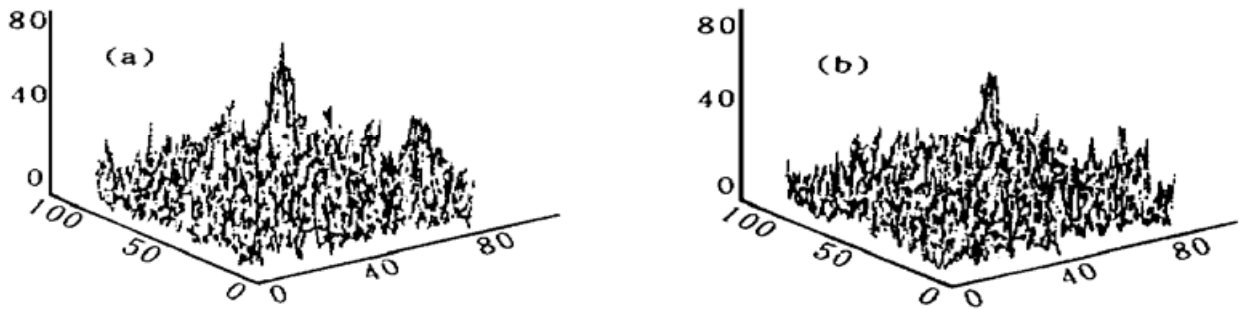


Fig. 7 3-D mesh plot of cross-correlation of (a) BJTC (b) 2DJTC

Table 1. Auto-correlation and cross-correlation results of BJTC and 2DJTC

		$I_p$	PSR	SNR	FWHM ( $x, y$ )
auto-correlation	BJTC	0.552	12.00	16.95	(14, 12)
	2DJTC	0.672	21.84	29.01	(10, 8)
cross-correlation	BJTC	0.316	5.31	9.55	(14, 14)
	2DJTC	0.264	6.61	8.86	(10, 8)

Notes  $I_p$ : correlation peak intensity; PNR: correlation peak-to-sidelobe ratio; SNR: correlation peak to the standard deviation of noise; FWHM: the full width of the correlation signal at half its peak value; ACR: auto-correlation peak intensity to cross-correlation intensity ratio.

从表 1 可看出, 自相关实验中, 双微分联合相关器的相关输出优于通常的二元相关器的相关输出, 前者较后者相关峰强度高 1.22 倍, 旁瓣比大 1.82 倍, 信噪比提高 1.71 倍, 半宽度小 1.44 倍; 由自相关和互相关的峰值数据可得, 二元相关器的相关识别能力 ACR 为 1.75, 而双微分联合相关器的相关识别能力 ACR 为 2.55, 后者较前者相关识别能力提高 1.46 倍。

**结束语** 本文提出的双二次微分的联合变换相关识别较通常取阈值的二元联合变换相关识别, 其联合变换功率谱的调制条纹的对比度和条纹的结构同时都得到增强, 因而相关输出性能获得加强, 输出的相关峰更强, 更尖锐, 提高了输出的相关峰的信噪比, 增强了其相关图



像的识别能力。建立的  $1f$  的双二次微分光电混合实时联合变换相关识别系统, 结构紧凑, 并较好地利用了光学变换的信息并行运算和计算机的灵活处理, 得到了较好的相关输出。

### 参 考 文 献

- [1] B. Javidi, C. Kuo, Joint transform image correlation using a binary spatial light modulator at the Fourier plane. *Appl. Opt.*, 1988, **27**(4) : 663~ 665
- [2] B. Javidi, J. Wang, Q. Tang *et al.*, Multiple-object binary joint transform correlation using multiple-level threshold crossing. *Appl. Opt.*, 1991, **30**(29) : 4234~ 4244
- [3] F. T. S. Yu, F. Cheng, T. Nagata *et al.*, Effects of fringe binarization of multiobject joint transform correlation. *Appl. Opt.*, 1989, **28**(15) : 2988~ 2990
- [4] M. S. Alam, O. Perez, M. A. Karim, Presprocessed multiobject joint transform correlator. *Appl. Opt.*, 1993, **32**(17) : 3102~ 3107
- [5] S. Zhong, J. Jiang, S. Liu *et al.*, Binary joint transform correlator based on differential processing of the joint transforms power spectrum. *Appl. Opt.*, 1997, **36**(8) : 1776~ 1780
- [6] A. Tanone, C. M. Uang, F. T. S. Yu *et al.*, Effects of thresholding in joint-transform correlation. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(23) : 4816~ 4822
- [7] H. Bartlett, J. Horner, Improving binary phase correlation filters using iterative techniques. *Appl. Opt.*, 1985, **24**(16) : 2894~ 2897
- [8] B. Javidi, F. Parchekani, Q. Tong, Gray-scale nonlinear joint transform correlator. *Opt. Engng.*, 1991, **31**(5) : 888~ 895

## Joint Transform Correlation Based on Double Second-Order Differentials

Chen Huaixin<sup>1)</sup>      Chen Zhenpei<sup>1)</sup>      Liu Xin<sup>2)</sup>

1), Department of Optoelectrics, Sichuan Union University, Chengdu 610064  
 2), Department of Applied Mathematics, Sichuan Union University, Chengdu 610064

(Received 2 June 1997; revised 20 October 1997)

**Abstract** An effective technique to improved joint-transform correlation based on double second-order differentials (2DJTC) is proposed. The process is able to extract image feactures and increase the contrast and extent of the fringes structure of joint-transform power spectrum. The correlation performance of the proposed  $1f$  real-time optoelectronic hybrid correlator based on second differentiation (2DJTC) and compared with the binarized nonlinear joint-transform correlator (BJTC). The results indicate that 2DJTC produces a reasonably good correlation performance.

**Key words** joint-transform correlation recongnition, second-order differentiation,  $1f$  optoelectric correlator.