

仅用参考物功率谱取阈的二元联合 变换相关器*

王肇圻 官玖洪 刘宏利 梁宝来 母国光

(南开大学现代光学研究所, 教育部光电信息技术科学开放研究实验室, 天津 300071)

摘 要 提出一种用特征物功率谱取阈值的新型二元联合变换相关器。与传统的联合变换相关器相比较, 它有高光能效率、高鉴别率和输入空间宽带的优点; 与现行的二元联合变换相关器相比较, 它有鉴别率高和无需靶物功率谱测量的特点, 因而是一种简便和高性能的相关器。

关键词 联合变换相关器, 功率谱, 阈值。

1 引 言

自从 1966 年, Weaver 和 Goodman^[1] 提出联合变换相关器以来, 联合变换相关器受到普遍重视。这是由于它与传统的匹配滤波相关器相比较, 不需要制备和精确调整滤波器, 因而具有实时处理的特点。然而联合变换相关器有三项输出衍射, 只有其中的一级衍射是有用的。为了使三项衍射能够从空间中分隔开, 输入平面的参考物与靶物必须分开相当的距离, 这就限制了输入靶物的空间尺寸。另外, 强零级衍射也使相关器的光能效率很低。为了克服这一困难, Lu^[2] 等人用相移技术获得联合变换功率谱的相位因子, 然后用相位函数实现相关运算。它的特点是具有高光能效率和高鉴别率, 然而需要至少三次相继的联合变换相关谱测量。Li^[3] 等人用减法运算消除联合变换功率谱中的直流分量, 在一定程度上提高了光能效率, 但需要附加的靶物功率谱的测量。另一种被广泛采用的消除零级衍射的技术是不同类型的二元联合变换相关器^[4-8], 它有高光能效率和高鉴别率的优点, 但取阈运算也需要附加的靶物功率谱的测量。

本文提出一种新型的二元联合变换相关器, 它的阈值仅由参考物功率谱确定, 因而可以预先测定出来并存在计算机中, 作模式识别时不需要附加的靶物功率谱的测量。计算机模拟结果说明, 所提出的相关器不仅操作简便, 而且具有更高的鉴别率。

2 二元联合变换相关器

设 $r(x, y)$ 为参考物, $t(x, y)$ 为靶物。联合变换相关器的输入可以写为

$$g_{in}(x, y) = t(x - b, y) + r(x + b, y), \quad (1)$$

* 国家自然科学基金资助项目 (批准号: 69677019)。

收稿日期: 1999-03-24; 收到修改稿日期: 1999-06-04

其中 $2b$ 为 $r(x, y)$ 和 $t(x, y)$ 之间的距离。对 (1) 式作傅里叶变换即得到联合变换功率谱

$$J(u, v) = |T(u, v)|^2 + |R(u, v)|^2 + 2|T(u, v)||R(u, v)| \cos [2bu + \theta_T(u, v) - \theta_R(u, v)], \quad (2)$$

其中 (u, v) 为傅里叶谱面坐标, $T(u, v)$ 和 $R(u, v)$ 分别是 $t(x, y)$ 和 $r(x, y)$ 的傅里叶变换, $\theta_T(u, v)$ 和 $\theta_R(u, v)$ 分别是 $t(x, y)$ 和 $r(x, y)$ 的傅里叶相位谱。对通常的联合变换相关, (2) 式的光场被直接用来作逆傅里叶变换, 在相关器的输出平面上可以得到三项衍射:

$$g_{\text{out}} = t(x, y) \otimes t(x, y) + r(x, y) \otimes r(x, y) + r(x - 2b, y) \otimes t(x, y) + t(x, y) \otimes r(x + 2b, y), \quad (3)$$

式中 \otimes 表示相关运算。第一项和第二项为很强的零级衍射, 第三项和第四项为 +1 级和 -1 级衍射。二元联合变换相关是通过 (2) 式先作二值化处理, 再作逆傅里叶变换来实现的。

$$\text{令 } J_b(u, v) = \begin{cases} +1, & J(u, v) - T_H \geq 0, \\ -1, & \text{elsewhere,} \end{cases} \quad (4)$$

$$T_H = |T(u, v)|^2 + |R(u, v)|^2, \quad (5)$$

$$J(u, v) - T_H = 2|T(u, v)||R(u, v)| \cos [2bu + \theta_T(u, v) - \theta_R(u, v)], \quad (6)$$

这里, $T_H(u, v)$ 为阈值。二值化的结果是: 第一, 消去了 (2) 式中第一项和第二项的影响, 即消除了零级衍射; 第二, 消除了余弦项的振幅调制因子, 突出了高频分量的作用, 因而使一级衍射有很强的峰。正是这两方面的作用, 使这种相关器具有高性能。然而这种取阈需要参考物和靶物的功率谱分布。参考物功率谱可以预先测得并存在计算机中, 而靶物功率谱只能在作识别时附加测量, 因而影响了系统的实时识别。

本文作者提出仅用参考物的功率谱对联合变换功率谱取阈, 即: $T'_H = 2|R(u, v)|^2$, 则二值化联合变换功率谱为

$$J'_b(u, v) = \begin{cases} +1, & J(u, v) - T'_H > 0, \\ -1, & \text{elsewhere.} \end{cases} \quad (7)$$

$$J(u, v) - T'_H = |T(u, v)|^2 - |R(u, v)|^2 + 2|T(u, v)||R(u, v)| \cos [2bu + \theta_T(u, v) - \theta_R(u, v)]. \quad (8)$$

显然, 对于靶物和参考物相同时, (8) 式与 (6) 式相同, 相关器的输出和一般二值化相关器的输出一样, 即它们有相同的自相关峰。当靶物和特征物不同时, (8) 式中前两项的差不为 0, 与 (6) 式相比较, 它将在输出平面产生一个附加的零级衍射而使一级衍射能量减小。因此由 (7) 式所输出的互相关峰要低于由 (4) 式所给出的互相关峰。

3 计算机模拟结果

图 1 给出了一种可行的联合变换相关器, 输入信号 $g_{\text{in}}(x, y)$ 以电寻址写到空间光调制器 SLM₁ 上, 在透镜 FL₁ 的后焦平面 P_1 上得到联合变换傅里叶谱。该频谱经高通滤波后由透镜 FL₂ 成像到 CCD 探测器的像面上, 得到联合变换功率谱。计算机对联合变换功率谱作二值化处理, 并把处理后的二元信息输送到空间光调制器 SLM₂ 上。透镜 FL₃ 作逆傅里叶变换, 在输出平面 P_2 上得到相关输出。本文作者建议在 P_1 平面上作高通滤波处理, 这是由于联合

变换功率谱的强度变化范围很大。一般情况下，低频分量的强度比高频分量的强度高若干个数量级，因而通用的 8 位或 10 位图像采集不能满足要求。而实际上低频分量对相关峰的贡献又很小^[9, 10]，滤波后并不影响相关器的工作性能。

用 IDL 软件作计算机模拟。图 2 给出了输入图像，其中特征物为汉字“刃”，靶物分别为

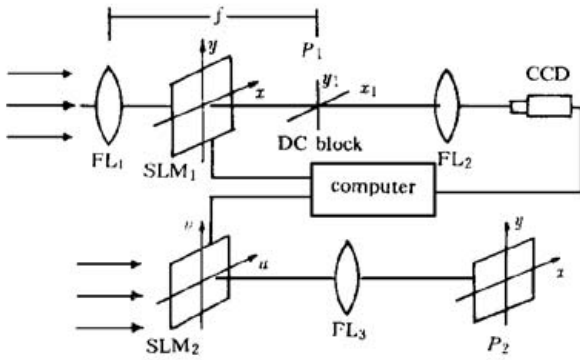


Fig. 1 Architecture of the proposed binary JTC



Fig. 2 The input images

“刃”和“刃”，各字大小为 55×35 像素。以光效率 η 和鉴别率 Δ 作为相关器的评价标准。它们定义为

$$\eta = \frac{I_p}{E_{TLP}}, \tag{9}$$

$$\Delta = \frac{(I_{NPI})_a - (I_{NPI})_c}{(I_{NPI})_a}, \tag{10}$$

式中 I_p 代表相关峰强度， E_{TLP} 代表照明光能， $(I_{NPI})_a$ 代表归一化的自相关峰强度， $(I_{NPI})_c$ 代表归一化的互相关峰强度。光效率决定了系统输出的信噪比，鉴别率决定了系统在模式识别中的漏判和误判几率。

表 1 给出了本文提出的二元联合变换相关器 (BJTC₂) 与现行的二元联合变换相关器 (BJTC₁)、传统的联合变换相关器 (CJTC) 工作性能比较的模拟结果。可以看到，二元联合变换相关器和传统联合变换相关器相比，光效率提高了 3 个数量级，鉴别率提高了 64 个百分点，这是非常可观的。还可以看到本文提出的二元联合变换相关器的鉴别率比现行的二元联合变换相关器提高了 5 个百分点。从互相关峰高度来看，前者仅为后者的 57%，说明鉴别率有显著的提高。而它更主要的特点是在工作中不需要附加的靶物功率谱的测量。

Table 1. The correlation results of the three kinds of JTCs

type of JTC	input image	$\eta / \%$	$\Delta / \%$
conventional JTC	刃 刃	7.1×10^{-3}	25.1
	刃 刃	9.5×10^{-3}	
BJTC ₁	刃 刃	4.4	89.1
	刃 刃	4.1×10	
BJTC ₂	刃 刃	2.5	93.9
	刃 刃	4.1×10	

为比较 BJTC₂ 和 BJTC₁ 在有附加噪声情况下的光效率和鉴别率，可对灰阶强度最大值为 150 的靶物附加递增高斯白噪声，噪声的平均值为 0，方均根值 R_{rms} 偏差为 σ 。图 3 给出了 BJTC₂ 和 BJTC₁ 的归一化的相关峰强度随噪声的变化曲线，图 4 给出了它们在不同噪声下的鉴别率。在有噪声情况下，虽然 BJTC₂ 比 BJTC₁ 的自相关峰平均低 12%，但 BJTC₂ 有

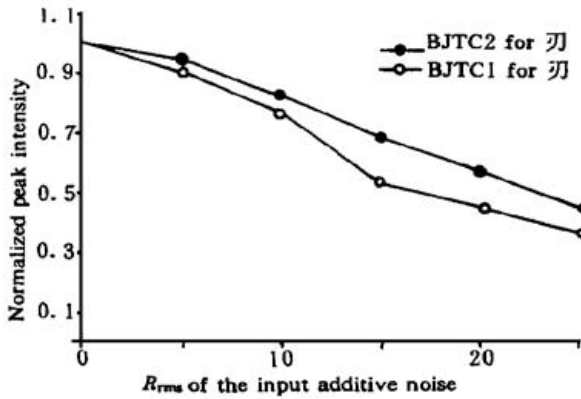


Fig. 3 The noise sensitivity of the BJTC2 compared to the BJTC1

更高的鉴别率 (平均高 5 个百分点)。

为了更直观地进行比较, 图 5 给出了不同相关器的自相关峰的轮廓图, 图 5(a) 为传统联合变换相关器的结果, 图 5(b) 为二元联合变换相关器的结果。很明显, 后者有更高和更锐的相关峰。

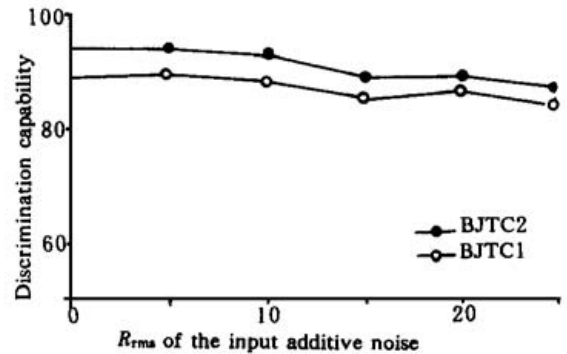


Fig. 4 The discrimination capability in various additive noise conditions

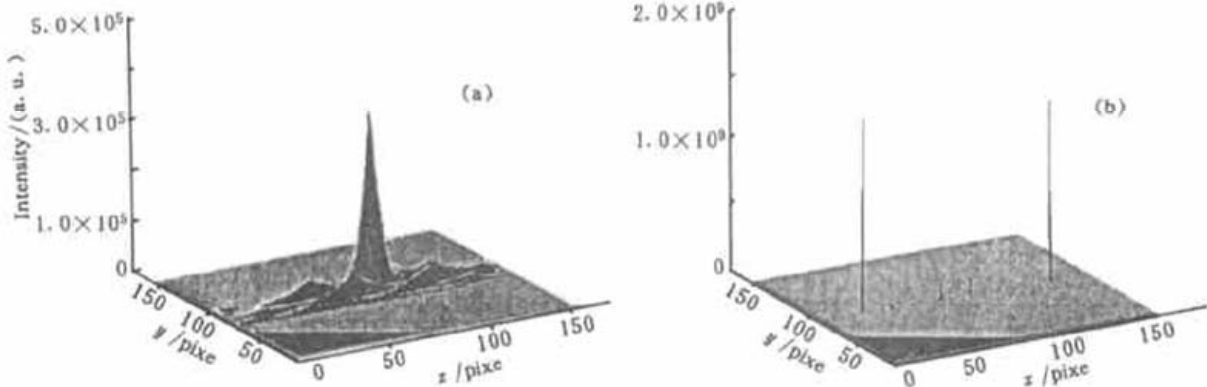


Fig. 5 The correlation profiles. (a) The auto-correlation profile of the conventional JTC obtained with Fig. 2 (b), (b) The auto-correlation of BJTC2 obtained with Fig. 2 (b)

结 论 提出了一种仅用参考物功率谱取阈二值化的新型二元联合变换相关器, 它不需要在识别过程中附加的靶物功率谱的测量, 且具有更高的鉴别率。为适应一般的采样灰阶的限制, 可对联合变换功率谱作高通滤波处理, 不仅保证了采样要求, 而且不影响高性能识别, 计算机模拟结果是非常令人满意的。

参 考 文 献

- [1] Weaver C S, Goodman J W. A technique for optically convolving two functions. *Appl. Opt.*, 1966, **5** (9) : 1248~ 1249
- [2] Lu Guowen, Zhang Zheng, Wu Shudong *et al.*. Implementation of a non-zero-order joint-transform correlator by use of phase-shifting techniques. *Appl. Opt.*, 1977, **36** (3) : 470~ 483
- [3] Li Chun-Te, Yin Shizhuo, Yu F T S. Nonzero-order joint transform correlator. *Opt. Engng.*, 1998, **37** (1) : 58~ 65
- [4] Javidi B, Kuo Chung-Jung. Joint transform image correlation using a binary spatial light modulator at the Fourier plane. *Appl. Opt.*, 1988, **27** (4) : 663~ 665

- [5] Inbar H, Mendlovic D, Marom E. Error-diffusion binarization for joint transform correlators. *Appl. Opt.*, 1993, **32** (5) : 707~ 714
- [6] Fielding K H, Horner J L. 1-f binary joint transform correlator. *Opt. Engng.*, 1990, **29** (9) : 1081 ~ 1087
- [7] Javidi B, Wang J. Binary nonlinear joint transform correlation with median and subset median thresholding. *Appl. Opt.*, 1991, **30** (8) : 967~ 976
- [8] Javidi B, Li J, Fazlollahi A H *et al.*. Binary nonlinear joint-transform correlator performance with different thresholding methods under unknown illumination conditions. *Appl. Opt.*, 1995, **34** (5) : 886 ~ 896
- [9] Wang Z Q, Cartwright C M, Gillespie W A *et al.*. Evaluation of the performance of the amplitude-compensated matched filter with different threshold values. *Optik.*, 1992, **90** (3) : 139~ 143
- [10] Wang Z Q, Cartwright C M, Gillespie W A *et al.*. An optical matched filter using a quantized amplitude compensation technique. *Optik.*, 1993, **94** (2) : 78~ 82

A Novel Binary Joint Transform Correlator Thresholding with Reference Power Spectrum Only

Wang Zhaoqi Guan Jiuhong Liu Hongli

Liang Baolai Mu Guoguang

(*Opto-Electronic Information Science and Technology Lab, E. M. C,
Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071*)

(Received 24 March 1999; revised 4 June 1999)

Abstract A novel binary joint transform correlator thresholding with reference power spectrum only is proposed. As compared with conventional joint transform correlator, it has the advantages of high light efficiency, excellent discrimination capability and improved input space-bandwidth. In a comparison with existing binary joint transform correlator, it possesses higher discrimination capability, and the measurement of the target power spectrum is avoided. Therefore it is a convenient joint transform correlator with high performance merits.

Key words joint transform correlator, joint transform power spectrum, threshold.