

应用相移技术和迭代算法的综合鉴别联合变换相关器

刘宏利¹ 王肇圻² 郭占城² 贺顺忠¹ 刘文耀¹

(1 天津大学精密仪器与光电子工程学院, 天津 300072)

(2 南开大学现代光学研究所, 天津 300071)

摘要 把相移技术和迭代算法应用到综合鉴别联合变换相关中, 计算机模拟结果表明, 运用了相移技术和迭代算法后这种相关器的光能效率和鉴别率得到了很大提高, 实现了高鉴别率和高光能效率的综合鉴别光学模式识别. 进一步研究了输入噪声对相关器性能的影响, 相关的抗噪声能力有待提高.

关键词 相移技术; 联合变换相关; 综合鉴别函数; 迭代算法; Gram-schmidt 展开

中图分类号 TN911.74 **文献标识码** A

0 引言

与 Vander Lugt 型的光学相关相比较, 联合变换相关由于它的实时性和易调整而受到更多的重视, 并得到更多的实际应用. 在近 20 年来, 人们研究了各种改善联合变换相关工作性能的技术, 例如, 振幅调制联合变换相关^[1], 强度补偿联合变换相关^[2], 二进制非线性取阈联合变换相关^[3,4]和相移联合变换相关^[5,6]等. Lu^[5]等人用相移技术获得联合变换功率谱的位相因子, 然后用位相函数实现相关运算. 而为了识别一类物体或者是发生了形变的物体, Hester 和 Casasent^[7]提出了综合鉴别函数的概念, 并且被应用于各种匹配滤波器中^[8~10], 它对已训练的一组物体在输出平面上可以给出相等的相关输出, 并保持了较高的鉴别率, 但它仍然具有匹配滤波器的不足. 本文研究了采用相移技术和迭代算法的综合鉴别联合变换相关, 它不仅具有对多物体的实时识别, 而且识别性能优良. 进一步研究了实际应用中噪声对它的影响, 计算机模拟结果表明这种相关器的抗噪力不高, 在大噪声情况下识别性能降低.

1 适用于相移联合变换相关的综合鉴别函数

对于参考图像 $E_i(x, y)$, $i=1, 2 \dots N$, 它们的综合鉴别函数 (Synthetic Discriminant Function, SDF) 可以用一个复函数 $S(x, y)$ 来表示, 每个图像与 SDF 的相关在原点处均获得相等的值.

$$S(x, y) = \sum_{i=1}^N a_i E_i(x, y) \quad (1)$$

$$S(x, y) \otimes E_i(x, y) \Big|_{\text{原点}} = C \quad (2)$$

C 为一常数. a_i ($i=1, 2, \dots, N$) 是适当选择的权重

系数, 对于传统的联合变换相关器 (CJTC), 系数 a_i 可以通过 Gram-schmidt 展开方法获得^[10].

联合变换相关系统如图 1. 待识别图像的综合鉴别函数由计算机完成, 产生的综合鉴别函数信号和靶物信号写入到振幅调制空间光调制器 AMSLM 和位相调制空间光调制器 PMSLM 上, 透镜 FL_1 对输入信号作 Fourier 变换, 探测器 CCD 接收联合变换功率谱. 对于传统的联合变换相关器, 计算机接收到的功率谱将被输送给图 1 中的空间光调制器 SLM, 经透镜 FL_2 做逆 Fourier 变换, 得到综合鉴别联合变换相关, 并显示在监视器上. 对于相移联合

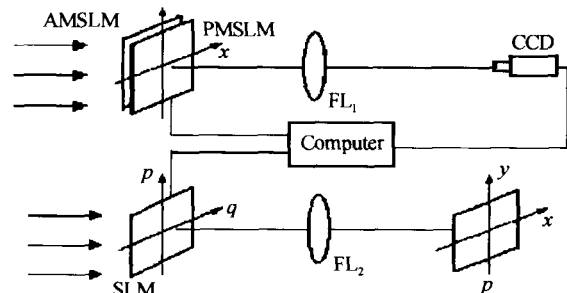


图 1 联合变换相关器的结构

Fig. 1 Architecture of the SDF/PSJTC

变换相关器, 需要通过位相调制空间光调制器 PMSLM 对参考信号 (综合鉴别函数) 分别加上位相角 $0, 2\pi/3$ 和 $4\pi/3$ (3 次相移), 相应的联合变换功率谱为 J_0, J_1 和 J_2 , 则可得到参考物和靶物的 Fourier 变换的相位差为^[5]

$$\varphi = \arctan \left[\frac{\sqrt{3}(J_1 - J_2)}{2J_0 - J_1 - J_2} \right] \quad (3)$$

然后用式 (3) 构造一个仅相位函数

$$PJ = \exp(j\Delta\theta) \quad (4)$$

并把它馈送给空间光调制器 SLM, 经由 FL_2 的逆 Fourier 变换在监视器上得到光学相关. 当使用 Gram-schmidt 展开方法获得的 SDF 做相移联合变换时, 将不再具有综合识别函数的特性, 因此我们

采用一种迭代技术^[11]来修正此函数. 以 Gram - schmidt 展开方法获得的 SDF 作为初始 SDF, 分别求得它与这一组待测图像的各相关峰值 $p_i (i=1, 2, \dots, N)$. 将式(1)中的系数 a_i 修正为

$$a'_i = a_i (\bar{p}/p_i)^n \quad (5)$$

其中 \bar{p} 为 p_i 的平均值, n 为一可保证迭代过程收敛的系数. 将式(5)带入式(1), 则可得到一个新的综合鉴别函数 $S'(x, y)$. 以 $S'(x, y)$ 取代原来的 $S(x, y)$, 重复循环. 当 p_i 取相等值时停止循环, 得到适用于相移联合变换相关的综合识别函数.

2 计算机模拟结果

用不同字体的英文字母“E, E, E, E, E”作为特征物, 图像的大小为 128×128 像素. 图 2(a) 是用 Gram-schmidt 展开方法获得的适用于传统联合变换相关器(CJTC)的 SDF, 图 2(b) 是用迭代算法获得的适用于相移联合变换相关器(PSJTC)的 SDF. 以光能效率 η 和信号-旁瓣比 (signal-to-clutter ratio SCR)^[12] 作为相关器的评价标准, 光能效率定义为



图 2 (a)适用于 CJTC 的 SDF; (b)适用于 PSJTC 的 SDF
Fig. 2 (a)The SDFs for CJTC; (b)The SDFs for PSJTC

$$\eta = \frac{PI}{TLP} \quad (6)$$

式中 PI 代表相关峰强度, TLP 代表照明光能, 光能效率决定了系统在模式识别中的漏判和误判几率. SCR 定义为输出面 P 上相关峰值强度与小于相关峰值强度 50% 值的方均根之比.

表 1 给出了无噪声时传统联合变换相关器 (CJTC) 和基于迭代算法的相移联合变换相关器 (PSJTC) 的相关结果. 从表中可以看出, 运用 SDF 技术的 PSJTC 比 CJTC 光能效率和鉴别率都有很

表 1 CJTC 和 PSJTC 的相关结果

输入图像	相关器	$\eta/(%)$	SCR	相关器	$\eta/(%)$	SCR
E	CJTC	4.1×10^{-2}	8.4 : 1	PSJTC	12.6	97 : 1
E		2.7×10^{-2}	6.9 : 1		12.6	97 : 1
E		2.5×10^{-2}	6.4 : 1		12.6	97 : 1
E		5.5×10^{-2}	9.6 : 1		12.6	97 : 1
E		4.2×10^{-2}	8.8 : 1		12.6	97 : 1
平均值		3.8×10^{-2}	8.0 : 1		12.6	97 : 1

大提高, 光能效率为 12.8%, 比前者提高了 330 多倍, SCR 达到了 97 : 1, 是前者的 12 倍. 由此可见, 把相移技术运用到综合鉴别联合变换相关器中可实现具有高光能效率、高信噪比的模式识别.

由于一个实际的相关系统有时存在附加噪声, 我们研究了附加噪声对光能效率和鉴别率的影响. 对于灰阶强度最大值为 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 (rms) 偏差为 σ . 我们研究了基于迭代算法的相移联合变换相关器 (PSJTC) 的抗噪声能力, 图 3 给出了 PSJTC 的归一化相关峰强度随噪声的变化曲线, 相关峰相对偏差定义为

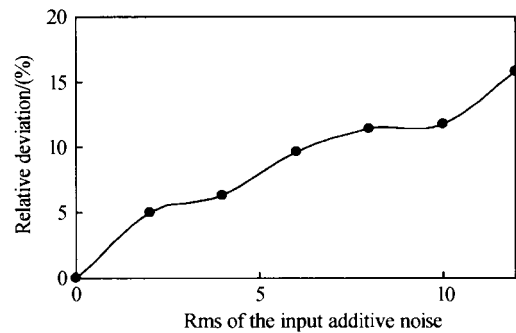


图 3 噪声对 PSJTC 的影响
Fig. 3 The influence of the additional noise on the PSJTC

$$\Delta = \frac{p_{\max} - p_{\min}}{\bar{p}} \quad (7)$$

其中 p_{\max} 为上述 5 个靶物中的最大相关峰值, p_{\min} 为最小相关峰值, \bar{p} 为平均相关峰值. 由图 2 可知在有噪声的情况下, 相移联合变换相关器相关峰的相对偏差随着噪声强度的增加而增加, 当附加噪声的方均根值 (rms) 为 2 时, 相对偏差为 0.6%, 当附加噪声方均根偏差为 12 时, 相关峰的相对偏差就达到了 16%, 说明这种相关器在有噪声的情况下识别性能会变坏.

3 结论

本文把相移技术和迭代算法应用到综合鉴别联合变换相关中, 以提高识别性能. 计算机模拟结果说明所建议的相关系统除保证了多个靶物模式识别外, 还有优良的光能效率和信号-旁瓣比 (SCR). 但这种相关器的缺陷是在有噪声情况下对靶物的鉴别率会变坏, 在实际的应用中需尽量减少噪声的影响.

参考文献

- Feng D, Zhao H, Xia S. Amplitude-modulated JTC for improving correlation discrimination. *Opt Comm*, 1991, **86** (3): 260~264
- Cheng F, Andres P, Yu F T S. Intensity compensation fiber for joint transform correlation peak enhancement.

- App Opt*, 1991, **32**(23): 4357~4364
- 3 Javidi B, Wang J. Binary nonlinear joint transform correlation with median and sub-set median thresholding. *Appl Opt*, 1991, **30**(8): 967~976
 - 4 Javidi B, Li J, Fazollahi 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
 - 5 Lu G, Yu F T S. Performance of a phase-only joint-transform correlator: analysis and experimental results. *Appl Opt*, 1996, **35**(17): 3091~3096
 - 6 Guan J H, Wang Z Q, Liu H L, *et al.* Phase-shifting technique applied to circular harmonic-based joint transform correlator. *Chinese Science Bulletin*, 2000, **45**(20): 1908~1911
 - 7 Hester C F, Casasent D. Multivariant technique for multiclass pattern recognition. *Appl Opt*, 1980, **19**(11): 1758~1761
 - 8 Kumar B V K V. Minimum-variance synthetic discriminant functions. *J Opt Soc Am*, 1986, **A3**(10): 1579~1583
 - 9 Horner J L, Gianino P D. Applying the phase-only filter concept to the synthetic discriminant function correlation filter. *Appl Opt*, 1985, **24**(6): 851~855
 - 10 Wang Z Q, Gillespie W A, Cartwright C M, *et al.* Optical pattern recognition using a synthetic discriminant amplitude-compensated matched filter. *Appl Opt*, 1993, **32**(2): 184~189
 - 11 Gerchberg R W, Saxton W O. A practical algorithm or the determination of phase from image and diffraction plane pictures. *Optik*, 1972, **35**(2): 237~246
 - 12 Lu G W, Zhang Zh, Wu Sh D, *et al.* Implementation of a non-zero-order joint-transform correlator by use of phase-shifting techniques. *Appl Opt*, 1997, **36**(2): 470~474

Phase-shifting Technique and Iterative Technique Applied to SDF Joint Transform Correlator

Liu Hongli¹, Wang Zhaoqi², Guo Zhancheng², He Shunzhong¹, Liu Wenyao¹

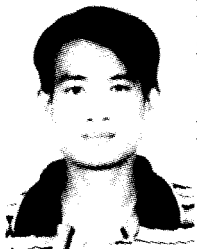
¹ College of Precision Instruments and Opto-electronic Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072

² Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071

Received date: 2004-06-14

Abstract A phase-shifting joint transform correlator with synthetic discriminant function is obtained by use of the Gram-Schmidt expansion approach and iterative technique to recognize a class of objects. Compared with the SDF-based classical joint transform correlator, the phase-shifting joint transform correlator delivers a better capability to give localized equal correlation peak heights for the same class of objects. The performance merits based on light efficiency and signal-to-clutter ratio are evaluated.

Keywords Phase-shifting, Joint transform correlator, Synthetic discriminant function, Iterative technique



Liu Hongli was born in 1975 in Shandong Province. He received his B. S. degree from Shandong University in 1998 and Ph. D. degree from Nankai University in 2003. Currently, he is a lecturer of Tianjin University. His research interests include Optical Pattern Recognition and optical information processing.