

实时自适应阈值二值化联合变换相关器*

葛宝臻¹ 陈希明² 张以谟¹ 李豫华¹

¹ 天津大学精密仪器与光电子工程学院 教育部光电子开放实验室 天津 300072
² 天津理工学院光电信息与电子工程系 天津 300191

提要 提出了采用参考图像功率谱为阈值的自适应阈值二值化联合变换相关器(BJTC)的方法。和传统的联合变换相关器结果比较,自适应阈值法对于输出的相关峰值、信噪比等主要参数都有明显提高。对这种方法进行了理论分析和计算机模拟,并给出了光学实验结果,为自适应阈值二值化联合变换相关器的实用化奠定了基础。

关键词 二值化联合变换相关器,参考图像,自适应阈值

1 引 言

判别联合变换相关器性能的重要参数包括相关识别能力和光能利用率。非线性联合变换相关器通过对联合功率谱进行非线性处理使相关识别能力显著改善^[1],然而以联合功率谱中值为阈值的单阈值方法使原功率谱高频部分明显的光栅结构信息损失,因此衰减了联合功率谱的有用光能,使相关峰能量大大衰弱。为此,人们提出了联合功率谱的多级阈值法、子集中值法等自适应阈值法^[2,3]。这些方法采用数字图像处理技术克服了单阈值方法的缺点,但将花费较多时间去计算阈值,使非线性联合相关器的实时性受到一定影响。本文提出一种采用参考图像功率谱为阈值的二值化联合变换相关器(BJTC)方案,将参考图像送入 BJTC 的输入面,经过傅里叶变换,得到参考图像的功率谱,由 CCD 接收并通过图像卡存入计算机内,再将目标图像和参考图像同时送入 BJTC 的输入面,通过一次傅里叶变换,得到联合功率谱,然后,对应每一个像素,用参考图像的功率谱为阈值,对联合功率谱进行二值化处理,最后将处理后的联合功率谱再送入 BJTC 的输入面,经过第二次傅里叶变换,由 CCD 接收相关结果。该方法的特点是阈值随参考图像功率谱动态变化,克服了单阈值方法的缺点,同时,由于参考图像的功率谱事先存入计算机内,无需计算阈值,因而可提高速度。实验证明,该系统具有实时、灵活和识别能力强等优点。

2 原 理

采用参考图像功率谱为阈值的二值化联合变换相关器,主要特点是对联合功率谱进行二

* 国家教育部重点项目基金资助。

收稿日期: 1999-01-25; 收到修改稿日期: 1999-09-09

值化处理, 根据这一特点, 以单傅里叶透镜联合变换相关器 (1f -JTC) 为基础, 建立实时自适应阈值联合变换相关器系统, 其原理如图 1 所示, 该系统是一个三次循环变换结构, 首先将参考图像送入 BJTC 的输入面, 经过傅里叶变换, 得到参考图像功率谱, 由 CCD 接收并通过图像卡存入计算机内; 第二次将目标图像和参考图像同时送入 BJTC 输入面, 通过一次傅里叶变换, 得到联合功率谱, 由 CCD 接收; 计算机以参考图像功率谱为阈值对联合功率谱二值化处理, 重新送入输入面, 经过系统第三次傅里叶变换得到联合变换相关结果。

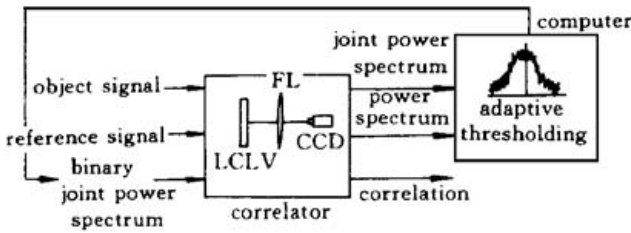


图 1 自适应阈值联合变换相关器原理图

Fig. 1 BJTC with real-time adaptive thresholding

设系统的输入图像为

$$f(x, y) = r(x + x_0, y) + s(x - x_0, y) \tag{1}$$

即目标图像 $s(x, y)$ 和参考图像 $r(x, y)$ 中心相距 $2x_0$, 对称地分布在输入平面上, 如图 2 所示。输入图像函数 $f(x, y)$ 经傅里叶透镜 FL 变换后, 傅里叶透镜 FL 后焦面上的 CCD 探测器将接收到联合功率谱(JPS)。其表达式为

$$E(u, v) = |R(u, v)|^2 + |S(u, v)|^2 + R(u, v)S^*(u, v)\exp(i4\pi x_0 u) + R^*(u, v)S(u, v)\exp(-i4\pi x_0 u) \tag{2}$$

其中 $E(u, v)$, $R(u, v)$ 和 $S(u, v)$ 分别为输入函数 $f(x, y)$, 参考图像 $r(x, y)$ 和目标图像 $s(x, y)$ 的傅里叶变换, $u = x_2/\mathcal{N}$ 和 $v = y_2/\mathcal{N}$ 为在傅里叶透镜 FL 后焦面上的空间频率, f 为傅里叶透镜 FL 的焦距, λ 为所用激光波长。对联合功率谱 $E(u, v)$ 进行二值化处理, 即

$$g(u, v) = \begin{cases} 1 & E(u, v) \geq V_T \\ 0 & E(u, v) < V_T \end{cases} \tag{3}$$

其中, V_T 为阈值。被阈值化的 $g(u, v)$ 在 u 方向可以展开成傅里叶级数形式, 得到的非线性相关输出为多级谐波分量。对于产生一级互相关信号的透射傅里叶分量可以写作^[1]

$$g_{1c}(u, v) = \frac{2}{\pi} \sqrt{1 - \left[\frac{V_T - R^2(u, v) - S^2(u, v)}{2R(u, v)S(u, v)} \right]^2} \cos(4\pi u x_0) \tag{4}$$

为保证系统的稳定性, 由(4)式得

$$1 - \left[\frac{V_T - R^2(u, v) - S^2(u, v)}{2R(u, v)S(u, v)} \right]^2 \geq 0 \tag{5}$$

由此确定 V_T 的取值范围得到

$$-1 \leq \frac{V_T - R^2(u, v) - S^2(u, v)}{2R(u, v)S(u, v)} \leq 1 \tag{6}$$

$$[R(u, v) - S(u, v)]^2 \leq V_T \leq [R(u, v) + S(u, v)]^2 \tag{7}$$

由不等式(6)不难看出, 当参考图像和目标图像相同时, 即 $R(u, v) = S(u, v)$ 时, V_T 的极小值

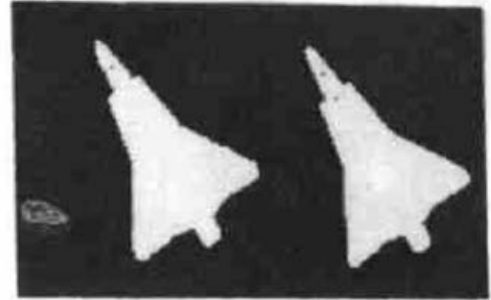


图 2 BJTC 的输入场景

Fig. 2 Input plant of a BJTC

是最小的,在此条件下,得

$$0 \leq V_T \leq 4R^2(u, v) \quad (8)$$

因此,当选定 $V_T \equiv 4R^2(u, v)$ 时,即采用参考图像的功率谱作为二值化联合变换相关器的阈值,由(4)式可以得到

$$g_{1c}(u, v) = \frac{2}{\pi} \sqrt{3/4} \cos(4\pi u x_0) \quad (9)$$

公式(9)经过傅里叶变换,得到的相关信号为 δ 函数。

3 实验结果与讨论

实验系统如图 1 所示,傅里叶物镜的焦距为 1000 mm,并采用 MTV-1881EX 面阵 CCD 摄像机,VP32 图像卡和国产液晶光阀,计算机为主频为 100 MHz 的 486 微机。实验从计算机模拟和光学实验两方面进行,将图 2 所示的输入图像,通过 CCD 摄像机和图像卡进入计算机,计算机模拟是用 C++ 语言编制软件,完全由软件模拟整个联合变换相关过程,图 3 (a) 和 (b) 分别为以联合功率谱中值为阈值的 BJTC 和以参考图像功率谱为阈值的自适应 BJTC 相关输出结果。图 3 (a) 的零级峰强度为 $3.913E7$,相关峰强度为 $1.259E6$,相关峰半高宽为 5×3 像素;图 3 (b) 零级峰强度为 $1.947E7$,相关峰强度为 $4.280E6$ (以上数字是相对值),相关峰半高宽为 2×1 像素。图 3 (b) 的相关峰强度是图 3 (a) 的 3.4 倍。由此可以看出,采用参考图像功率谱为阈值的自适应 BJTC 的相关峰锐度和高度要比采用联合功率谱中值为阈值的 BJTC 相关峰锐度和高度有明显的增强。图 4 (a) 和 (b) 为光学实验中对图 2 所示的输入场景通过上述两种方法阈值的 BJTC 的相关输出实验结果。由图 4 (a) 和 (b) 可直观地看出,图 4 (b) 的相关峰锐度和高度有明显的增强,与计算机模拟结果一致。

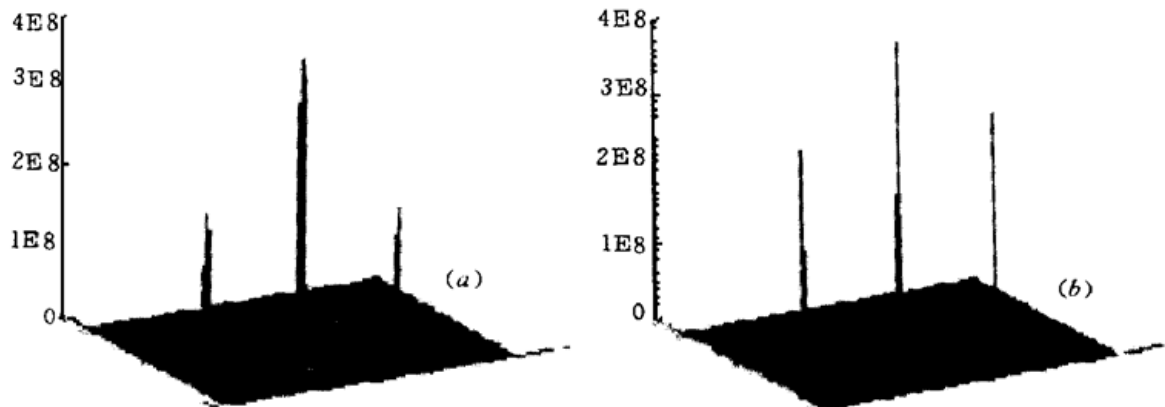


图 3 计算模拟 BJTC 结果
(a) 中值法 BJTC; (b) 自适应阈值法 BJTC

Fig. 3 Computer simulation results

(a) BJTC output for the median thresholding; (b) BJTC output for the adaptive thresholding

4 结 论

采用参考图像功率谱为阈值的自适应 BJTC,自适应地以参考图像的功率谱为阈值,对联合功率谱进行二值化处理,显著改善了相关峰的锐度,减小了相关峰的半宽度,同时也保留了

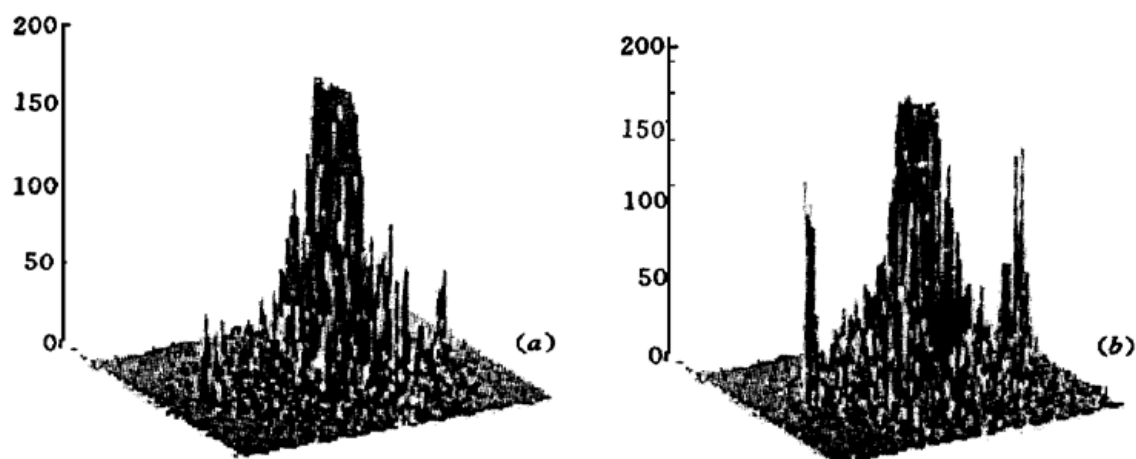


图 4 光学实验结果

(a) 中值法 BJTTC; (b) 自适应阈值法 BJTTC

Fig. 4 Results of optical experiment

(a) BJTTC output for the median thresholding; (b) BJTTC output for the adaptive thresholding

联合功率谱的有用光能,使相关峰能量大大增强,提高了系统的相关识别能力。自适应阈值取决于参考图像功率谱,因而不受识别内容、相关器系统调整状态影响,且结构紧凑,可实时、灵活地对各种图像进行相关识别。

参 考 文 献

- 1 B. Javidi. Nonlinear joint power spectrum based optical correlation. *Appl. Opt.*, 1989, **28**(12): 2358~2367
- 2 William B. Hahn, Jr., David L. Flannery. Design elements of binary joint transform correlation and selected optimization techniques. *Opt. Eng.*, 1992, **31**(5): 896~ 905
- 3 B. Javidi, Jun Wang. Binary nonlinear joint transform correlation with median and subset median thresholding. *Appl. Opt.*, 1991, **30**(8): 967~ 976

Binary Joint Transform Correlation with Real-time Adaptive Thresholding

Ge Baozhen¹ Chen Ximing² Zhang Yimo¹ Li Yuhua¹

(¹Optoelectronics Information Science and Technology Labs, College of Precision Instrument and Optoelectronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072

²Tianjin Institute of Technology, Tianjin 300191)

Abstract In this paper, a new adaptive binarization thresholding method with using the power spectrum of the reference image on optical joint correlator was proposed. The performance of the adaptive binarization thresholding method has been compared with that classical optical correlator in the areas of correlation peak to and SNR (signal to noise ratio). At last, the results of the analyzing in theory, the digital simulation in computer and experiment in optic are satisfied.

Key words binary joint transform correlator, reference image, adaptive thresholding