

文章编号: 0253-2239(2009)02-0366-04

复杂背景目标自动识别谱面处理技术研究

苗 华 邹 昕 郎 琪 陈方涵 王文生

(长春理工大学现代光学测试技术研究室, 吉林 长春 130022)

摘要 应用光电混合联合变换相关器对目标进行探测和识别时,由于实际拍摄的图像背景非常复杂,对比度较低,亮度不足等原因,使得相关峰很弱甚至根本得不到相关峰,不能达到探测和识别的目的。为此提出在光电混合联合变换相关器的功率谱面应用小波变换处理技术,有效地抑制了联合变换功率谱中的噪声干扰,提高了有用信息衍射光的能量,从而增强了应用光电混合联合变换相关器对复杂背景目标进行探测和识别的能力。实验证明利用经过小波变换处理后的联合变换功率谱所获得相关峰的对比度,较处理前由联合变换功率谱所获得相关峰的对比度能够达到百分之百的增强效果。作为实例文中给出了湖中小船处理前后的光学实验结果,从实验结果中可以明显看出此种处理方法的有效性。

关键词 傅里叶光学; 目标识别; 小波变换; 光电混合联合变换相关器; 功率谱; 相关峰

中图分类号 O436 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/AOS20092902.0366

Research on Spectrum Plane Processing Technology of Target Auto-Recognition in Cluttered Scenes

Miao Hua Zou Xin Lang Qi Chen Fanghan Wang Wensheng

(Laboratory of Contemporary Optical Measure Technology, Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130022, China)

Abstract Due to the low contrast, insufficient luminance of photographed images in cluttered scenes, the energy of correlation peaks is very weak. Sometimes even no correlation peaks appear when the hybrid optoelectronic joint transform correlator is used to detect and recognize targets. Therefore, the wavelet transform technology used for the joint transform power spectrum (JTPS) is presented in this paper. The method effectively suppresses the noise interference of JTPS, improves the energy of diffractive light carried useful information, and enhances the ability of detecting and recognizing targets in cluttered scenes by joint transform correlator. The experimental results prove that the energy of correlation peaks after processing the JTPS by wavelet transform is strengthened. As an example, the optical experimental results of the boat in lake are showed. It is obvious that the method is very feasible from experimental results.

Key words Fourier optics; target recognition; wavelet transform; hybrid optoelectronic joint transform correlator; power spectrum; correlation peak

1 引 言

光学图像相关探测和识别,是对采样点并行处理,并以光速实现图像信号的傅里叶变换,通过计算机对图像信号进行数字处理,光学元件和电子器件相结合,达到探测识别目的。在此基础上研制成的光电混合联合变换相关器^[1]具有高速并行性、功耗低、体积小、重量轻等优点,实现了光学图像的探测、实时跟踪、自动识别和高精度定位。

小波变换是近几年来取得很大发展的一门新型学科,它突破了传统的信号分析手段——傅里叶变换的限制,实现了对信号不同区域^[2~4]、不同分辨率的分析。本文提出在光电混合联合变换相关器的功率谱面应用小波变换处理技术,所选用的小波函数是墨西哥帽(Mexican-hat)小波。经过 Mexican-hat 变换处理后的联合变换功率谱所获得相关峰的对比度,较处理前由联合变换功率谱所获得相关峰的对

收稿日期: 2008-08-26; **收到修改稿日期:** 2008-10-15

基金项目: 总装备部十五预研基金资助课题。

作者简介: 苗 华(1979—),女,博士研究生,主要从事现代光学测试技术方面的研究。E-mail: ilev24@sina.com

导师简介: 王文生(1943—),男,教授,博士生导师,主要从事现代光学测试技术方面的研究。E-mail: wwsciom@163.com

比度能够达到百分之百地增强效果。

2 实时联合变换相关器探测原理

光学相关探测原理分析,设准直的相干单位振幅光入射到物体 $o(x, y)$ 上,物体被写入电寻址液晶 (EALCD),参考图像 $r(x - x_r, y - y_r)$ 也写入

EALCD。如果忽略噪声,光学傅里叶变换系统^[5~7]的输入函数可以写作

$$a(x, y) = o(x, y) + r(x - x_r, y - y_r), \quad (1)$$

输入函数在傅里叶透镜的后焦平面上的联合傅里叶变换为

$$A(f_x, f_y) = O(f_x, f_y) + R(f_x, f_y) \exp(-j2\pi f_x x_r) \exp(-j2\pi f_y y_r), \quad (2)$$

式中 $f_x = x_1/(\lambda f)$, $f_y = y_1/(\lambda f)$ 。 x_1, y_1 分别为傅里叶谱面的空间坐标, f 为傅里叶变换系统的焦距。

$A(f_x, f_y)$ 的平方称作联合变换功率谱 (JTPS),它可以写作

$$\begin{aligned} I(f_x, f_y) = A(f_x, f_y)A^*(f_x, f_y) = & O(f_x, f_y)O^*(f_x, f_y) + R(f_x, f_y)R^*(f_x, f_y) + \\ & O^*(f_x, f_y)R(f_x, f_y) \exp(-j2\pi f_x x_r) \exp(-j2\pi f_y y_r) + \\ & O(f_x, f_y)R^*(f_x, f_y) \exp(j2\pi f_x x_r) \exp(j2\pi f_y y_r), \end{aligned} \quad (3)$$

联合变换功率谱由平方律探测器 CCD 接收并输入到计算机再反馈到 EALCD,则可实现第二次傅里叶变换, JTPS 又变换到物空间,实现相关探测:

$$\begin{aligned} a(x_1, y_1) = & o(x_1, y_1) \otimes o^*(x_1, y_1) + r(x_1, y_1) \otimes r^*(x_1, y_1) + \\ & o^*(x_1, y_1) \otimes r(x_1, y_1) \times \delta(x_1 + x_r) \delta(y_1 + y_r) + \\ & o(x_1, y_1) \otimes r^*(x_1, y_1) \times \delta(x_1 - x_r) \delta(y_1 - y_r), \end{aligned} \quad (4)$$

式中前两项是自相关,两输出信号重叠在输出平面坐标中心,即光轴附近,称之为零级衍射,它们是输出信号中的最大噪声信号。第三、第四项是目标图像和参考图像的互相关,为正负一级衍射项,正是我们要寻求的相关输出信号,它们在输出平面上沿 y 轴分别平移 $+y_r$ 和 $-y_r$,沿 x 轴平移为 $+x_r$ 和 $-x_r$,因而与零级分离。

当 o 与 r 相同时,两互相关获得最大的相关峰,其联合变换功率谱可以写作

$$I(f_x, f_y) = 2|O(f_x, f_y)|^2 \times [1 + \cos 2\pi(f_x x_r + f_y y_r)]. \quad (5)$$

这样当目标与模板相同时,联合变换功率谱可以认为是两函数上对应的无数点对形成的杨氏条纹的相干叠加。因子: $1 + \cos 2\pi(f_x x_r + f_y y_r)$, 即是理想的杨氏条纹, $|O(f_x, f_y)|^2$ 则是杨氏条纹的包络^[8]。杨氏条纹比包络更重要,即使包络有变化,仍能观察到相关峰。因此,关键的是探测所产生的杨氏条纹。杨氏条纹的衍射图包含两个亮斑+1级和-1级衍射及0级(直流)衍射光斑,这两个亮斑即是相关峰。

3 实验装置

图1是光电混合联合变换相关器实验装置图。其中关键部件是电寻址液晶,傅里叶变换透镜组,氦

离子激光器,功率谱处理器和相关处理器。系统采用氦离子激光器作为光源,通过衰减器调制输出光强,光束提升器提升光束高度,显微物镜聚焦,针孔空间滤波,偏振器调节偏振方向,经准直透镜后形成准直扩束的平行光,平行光经半反半透镜后分为两路。其中一路用于获得联合变换功率谱;实时摄取的目标图像与事先存贮在计算机中的参考图像一起输入到透射光路中的电寻址液晶中,联合图像经傅里叶变换透镜后,由平方律探测器 CCD 进行探测,得到 $o(x, y)$ 和参考图像 $r(x, y)$ 的联合变换功率谱。另一路用于获得相关峰,通过透射光路获得的联合变换功率谱处理后输入到反射光路中的电寻址液晶中,经傅里叶变换透镜后,由 CCD 摄取目标图像与参考图像的联合变换相关点,相关点的情况,就是我们要的识别结果。



图1 实验装置图

Fig. 1 Experimental setup

4 墨西哥帽小波

小波变换^[9~12]是一种信号的时间——尺度(时间——频域)分析方法,它具有多分辨率分析的特点,且在时频两域都具有表征信号局部特征的能力。它不仅具有傅里叶变换的全部优点,而且具有处理短暂和时变信号的独特能力。

小波变换的含义是:把某一被称为基本小波[也叫母小波(Mother wavelet)]的函数 $\varphi(t)$ 作位移 τ 后,再在不同尺度 a 下与待分析信号 $x(t)$ 作内积

$$T_{wx}(a, \tau) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \varphi^* \left(\frac{t-\tau}{a} \right) dt = \langle x(t), \varphi_{a\tau}(t) \rangle, \quad a > 0 \quad (6)$$

式中 $x(t)$ 是平方可积函数[记作 $x(t) \in L^2(R)$]; $\varphi(t)$ 是被称为基本小波或母小波的函数; $a > 0$ 是尺度因子; τ 反映位移,其值可正可负;符号 $\langle x, y \rangle$ 代表内积,其含义是(上角标* 代表取共轭)

$$\langle x(t), y(t) \rangle = \int x(t) y^*(t) dt, \quad (7)$$

$\varphi_{a\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \varphi \left(\frac{t-\tau}{a} \right)$ 是基本小波的位移与尺度伸缩。

小波分析的基(小波函数)不是唯一存在的,所有满足小波条件的函数都可以作为小波函数,结合本课题研究的特点,选择墨西哥帽小波函数。

墨西哥帽小波函数^[13~15]被广泛应用于零交叉多分辨率边缘检测,其母函数实际上是高斯函数的二阶导数,即

$$\varphi(t) = (1 - |t|^2) \exp(-|t|^2/2), \quad (8)$$

该函数是实偶函数,满足小波变换存在条件。墨西哥帽小波的傅里叶变换是

$$H(f) = 4\pi^2 f^2 \exp(-2\pi f^2), \quad (9)$$

它也是实偶函数,示于图 2 中。

5 实验结果

为了更加有效的说明墨西哥帽小波对图像功率谱处理,能够有力地增强光电混合联合变换相关器

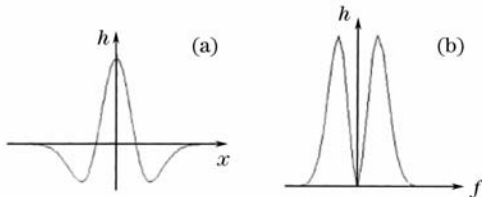


图 2 墨西哥帽小波(a)及其傅里叶变换(b)
Fig. 2 Mexican-hat wavelet and its spectrum

的探测和识别能力,这里给出了具体的实验结果。

图 3 是在多云的条件下实际拍摄的水上小船联合图像,通过人眼观察我们可以明显地看出这幅照片的背景非常复杂,除了楼房和成片的树木其中还有泛着清波的湖水。如果我们采用 Photoshop 对该图像进行处理会发现,很难找到一种方法把小船从背景中“抽取”出来。图 4(a)是墨西哥帽小波变换处理前的联合变换功率谱图像。图 4(c)是图 4(a)对应的相关峰图像(根本没有相关峰)。图 4(b)是墨西哥帽小波变换处理后的联合变换功率谱图像。图 4(d)是图 4(b)对应的相关峰(图中一对亮点)图像。从以上



图 3 联合输入图像
Fig. 3 Joint input images

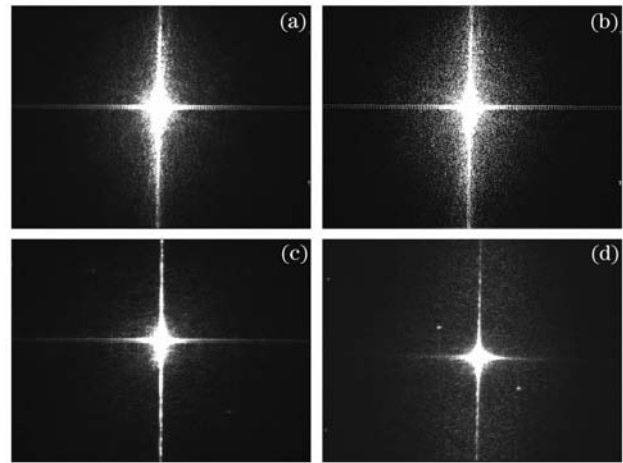


图 4 (a) 处理前联合变换功率谱; (b) 处理后联合变换功率谱; (c) 处理前相关峰; (d) 处理后相关峰

Fig. 4 (a) Joint transform power spectrum before processing; (b) the power spectrum after processed; (c) correlation peaks before processing; (d) correlation peaks after processed

实验结果中可以看出,图 3 的背景非常复杂,不对联合功率谱处理所得到的相关峰[图 4(c)],根本看不到相关点。联合变换功率谱经墨西哥帽小波变换处理后得到的相关峰[图 4(d)]能量明显增强,相关峰对比度很强,很容易就能达到探测和识别的目的。实验结果充分证明了联合变换功率谱经墨西哥帽小

波变换处理后,使得通过光电混合联合变换相关器获得的相关峰能量和对比度大大增强,能够更好地实现目标探测和识别的目的。

5 结 论

本文对联合变换相关器的功率谱进行了墨西哥帽小波变换处理,有效地抑制了联合变换功率谱中的噪声干扰,提高了有用信息衍射光的能量,最终在相关峰面上使相关峰的能量和对比度得到明显的增强,从而提高了应用光电混合联合变换相关器对复杂背景目标进行探测和识别的能力。通过上面实验结果的对比可以看出:将墨西哥帽小波变换应用于复杂背景目标自动识别中,可以增强联合变换功率谱的有用信息,大大地提高了相关峰的能量和对比度,实现了复杂背景目标的自动识别。实验证明利用经过小波变换处理后的联合变换功率谱所获得相关峰的对比度,较处理前由联合变换功率谱所获得相关峰的对比度能够达到百分之百地增强效果。

参 考 文 献

- 1 Wensheng Wang, Yu Chen, Cuiping Liang *et al.*. Hybrid optoelectronic joint transform correlator for the recognition of target in cluttered scenes[C]. *SPIE*, 2004, **5642**: 204~213
- 2 Shen Tingmei, Gu Ying, Wang Tianshi *et al.*. Speckle reduction in optical coherence tomography[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(9): 1437~1440
沈婷梅,顾 瑛,王天时等. 光学相干层析成像中散斑噪声减小算法[J]. 中国激光, 2008, **35**(9): 1437~1440
- 3 Zhang Yudong, Dai Yun, Shi Guohua *et al.*. Application of one-dimensional wavelet transformation in time domain optical coherence tomography imaging[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(7): 1013~1016
张雨东,戴 云,史国华等. 一维小波变换在时域光学相干层析成像中的应用[J]. 中国激光, 2008, **35**(7): 1013~1016
- 4 Song Muping, Ma Zhigang. Optical signal processing in Brillouin optical time domain reflector based morlet wavelet transform[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(5): 819~823
宋牟平,马志刚. 基于经典小波变换的布里渊时域反射计光信号处理[J]. 光学学报, 2007, **27**(5): 819~823
- 5 Lü Naiguang. *Fourier Optics* [M]. Beijing: China Machine Press, 2006. 321~322
吕乃光. 傅里叶光学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006. 321~322
- 6 Abhijit Mahalanobis, B. V. K. Vijaya Kumar. Unconstrained correlation filters[J]. *Appl. Opt.*, 1994, **33**(17): 3751~3759
- 7 Tobias Haist, Hans J. Tiziani. Iterative nonlinear joint transform correlation for the detection of objects in cluttered scene[J]. *Opt. Commun.*, 1999, **161**: 310~317
- 8 Song Feijun, S. Jutamulia. *Advanced Optical Information Processing*[M]. Beijing: Peking University Press, 2001. 20~43
宋菲君, S. Jutamulia. 近代光学信息处理[M]. 北京: 北京大学出版社, 2001. 20~43
- 9 Jianhua Chen, Yufeng Zhang, Xinling Shi. Image coding based on wavelet transform and uniform scalar dead zone quantizer Signal Processing[J]. *Image Communication*, 2006, **21**: 562~572
- 10 Song Mouping, Ma Zhigang. Optical signal processing in Brillouin optical time domain reflector based morlet wavelet transform[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(5): 819~823
宋牟平,马志刚. 基于经典小波变换的布里渊光时域反射计光信号处理[J]. 光学学报, 2007, **27**(5): 819~823
- 11 Wang Haihong, Zeng Ni, Lu Wei *et al.*. Edge detection of laser imaging radar based on wavelet transform and mathematical morphology[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(6): 903~906
王海虹,曾 妮,陆 威等. 基于小波变换和数学形态学的激光成像雷达图像边缘检测[J]. 中国激光, 2008, **35**(6): 903~906
- 12 Xiang Rujian, Tian Yinghua, Yi Yunsong *et al.*. Application of wavelet transform in background processing of 2D image[J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(Suppl.): 280~283
向汝建,田英华,季云松等. 小波变换在二维图像背景处理中的应用[J]. 中国激光, 2006, **33**(Suppl.): 280~283
- 13 Fu Hua, Yin Lina, Wang Qi. The research about main coal mine ventilator fault diagnosis based on wavelet and PNN[J]. *Electric Machines & Control Application*, 2008, **35**(3): 32~35
付 华,尹丽娜,汪 琦. 基于小波和概率神经网络的煤矿主通风机故障诊断[J]. 电机与控制应用, 2008, **35**(3): 32~35
- 14 Tian Fengchun. A research on the characteristics of mexican-hat mother wavelet used in optic realization [J]. *J. Chongqing University*, 2002, **25**(12): 62~65
田逢春. 光学小波变换中的 Mexican-hat 小波母函数特性[J]. 重庆大学学报, 2002, **25**(12): 62~65
- 15 A. Bhagatji, N. K. Nishchal, A. K. Gupta *et al.*. Extended fractional wavelet joint transform correlator[J]. *Opt. Commun.*, 2008, **281**: 44~48