doi:10.3788/gzxb20134208.0997

遮拦目标自动识别技术研究

苗华[1],陈宇[1],宋玉龙[2],王文生[1]
(1 长春理工大学 现代光学测试技术研究室,长春 130022)
(2 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,长春 130033)

摘　要:应用光电混合联合变换相关器对遮拦目标进行探测和识别时,由于复杂背景、低对比度、照明不足及目标不完整等因素,引起相关信息量缺失,获得的相关峰图像中相关点微弱,甚至根本得不到相关点.针对此现象,对遮拦目标的联合目标图像进行了自适应阈值处理,并对其经光电混合联合变换相关器所获得的功率谱进行了墨西哥帽小波变换处理.有效地抑制了遮拦目标在光电混合联合变换相关器中的噪声干扰,增强了遮拦目标和模板相关信息衍射光的能量,使在相关峰面上相关点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遮拦目标进行探测和识别的能力.实验表明:自适应阈值处理和墨西哥帽小波变换处理相结合,能够很好地提高相关峰的能量和对比度,可实现遮拦目标的自动识别和探测.

关键词:光电混合联合变换相关器;遮拦目标;小波变换;功率谱;自适应阈值;相关峰
中图分类号:O438　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1004-4213(2013)08-0997-5

Automatic Recognition Technology of Partial Masked Target

MIAO Hua[1], CHEN Yu[1], SONG Yu-long[2], WANG Wen-sheng[1]
(1 *Laboratory of Contemporary Optical Measure Technology*, *Changchun University of Science and Technology*, *Changchun* 130022, *China*)
(2 Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: The result of target recognition is always influenced by clutter background, low contrast and deficiency luminance of image. Besides the factors mentioned above, detection and recognition of partial masked target has the character of imperfection and information loss of target, which leads to recognition problem. All the harmful factors cannot make target recognition be realized by hybrid optoelectronic joint transform correlator due to the weak correlation peaks or even no peaks. Aiming at this phenomenon, partial masked target image in hybrid optoelectronic joint transform correlator is processed by the method of adaptive threshold, and power spectrum is processed by Mexican wavelet transform. The combination depresses the noise disturbance effectively and enhances the energy of diffractive light of obscuration target and reference template. This enhances the contrast and energy of correlation peaks of partial masked target and improves the ability of detection and recognition for partial masked target with joint transform correlator. The experimental results show that the combination of adaptive threshold and Mexican wavelet transform can improve the ability of detection and recognition for partial masked target with hybrid optoelectronic joint transform correlator effectively.

Key words: Hybrid Optoelectronic Joint Transform Correlator (HOJTC); Masked target; Wavelet transform; Power spectrum; Adaptive threshold; Correlation peak

基金项目:总装备部十一五预研基金(41＃＃＃＃＃＃02)资助
第一作者:苗华(1979－),讲师,博士,主要研究方向为光学信息处理、目标探测等.Email:ilev24@sina.com
收稿日期:2012-10-25;**录用日期**:2013-05-16

0 引言

目标探测和识别在科研领域受到越来越多的关注，每年都有大量相关的文献报道，而光学图像相关探测和识别[1]在这一领域占有绝对的优势. 它对采样点并行处理，并以光速实现图像信号的傅里叶变换，通过计算机对变换信号进行优化处理. 将光学器件和电子器件相结合，现代光电测试技术与计算机技术相结合，实现了光学图像的探测、实时跟踪、自动识别和高准确度定位. 在此理论基础上研制成的光电联合变换相关器(Hybrid Optoelectronic Joint Transform Correlator, HOJTC)具有高速并行性、功耗低、体积小、重量轻等优点，因此是实现光学图像的探测、实时跟踪、自动识别和高准确度定位的最佳途径之一.

应用光电混合联合变换相关器[2]对目标进行探测和识别时，由于背景噪声、亮度、形态差异等多种干扰因素降低了探测识别率，而遮拦目标由于其目标信息量不足使得相关峰非常弱，甚至多数情况下根本得不到相关峰，不能实现探测和识别的目的. 为此提出在光电混合联合变换相关器的物面采用自适应阈值处理技术，在功率谱面采用小波变换处理技术.

阈值处理具有很多优势，比如易实现、计算量少、性能稳定等. 自适应阈值可实现自动处理[3-5]，被广泛用于图像处理，如图像去噪、图像分割方面. 本文通过最大类间方差法(OTSU)获得目标和模板的最佳阈值后对其求平均值，从而获得目标和模板联合物面图像的最终阈值，经该阈值处理后所获得的物面图像目标与模板的信息量相对于背景有所提高.

对于联合功率谱处理常见的方法有二值化、功率谱相减、拉普拉斯锐化等. 文献[6-9]先对联合变换功率谱进行二值化非线性处理，然后再进行傅里叶变换. 与传统的联合变换相关器相比，二值化联合变换相关器能够产生较高的相关峰值及较窄的相关峰宽，因而其相关识别性能得到很大提高. 但对于不同目标图像其阈值有所不同，因此该方法具有一定局限性. 文献[10-12]是典型的功率谱相减处理，相减后功率谱有的做指数函数滤波处理[12]、有的做阈值处理[11]等，这种处理方法需要获取被减功率谱，因此处理时间稍长. 上述两类功率谱处理方法均未给出复杂背景目标光学实验结果. 文献[13-15]对联合功率谱进行了高斯拉普拉斯锐化，经处理后相关峰像对比度较处理前有所增强. 文献[16]是作者对联合功率谱进行墨西哥帽小波处理的一篇文章，经处理后相关峰图像中的相关点明显得到了增强.

本文将自适应阈值与墨西哥帽小波处理方法相结合有效地抑制了联合变换的噪声干扰，提高了目标信息衍射光的能量，从而增强了应用光电混合联合变换相关器对遮拦目标进行探测和识别的能力.

1 实时联合变换相关器探测原理

图1是光电混合联合变换相关器配置图. 系统采用氩离子激光器作为光源，通过准直扩束系统形成均匀的准直扩束平行光. 平行光经半反半透镜后分为两路，其中第一路用于获得联合变换功率谱，这样经 CCD_1 实时摄取的目标图像与预先存贮在 PC_1 的参考模板一起被输入到电寻址液晶 $EALCD_1$ 中，联合图像经傅里叶变换透镜 FTL_1 后，由平方律探测器 CCD_2 进行记录，得到目标 $t(x,y)$ 和参考图像 $r(x,y)$ 的联合变换功率谱，经 PC_2 显示出来；第二路用于获得相关峰图像，输入到 PC_2 的功率谱经空间光调制器的控制系统又被输入到电寻址液晶 $EALCD_2$ 中，经傅里叶变换透镜 FTL_2 进行逆变换后，由 CCD_3 摄取目标图像与参考图像的联合变换相关峰，再输入到 PC_3 中显示. 这样，通过判读相关点的位置，可以确定目标及其方位.

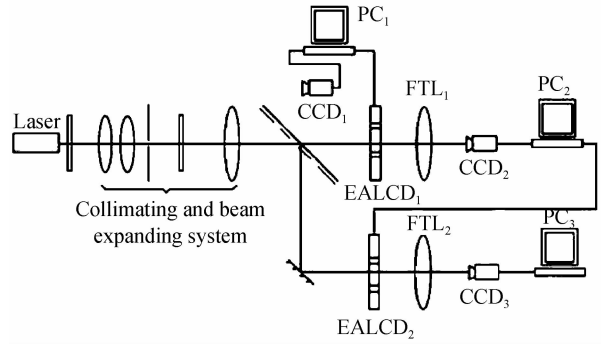


图1 光电混合联合变换相关器

Fig. 1 Optoelectronic hybrid joint transform correlator

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(Electrically Addressed Liquid Crystal Display, 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的输入函数可以表示为

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

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

$$A(u,v)=O(u,v)+R(u,v)\exp(-\mathrm{j}2\pi ux_r)\cdot \exp(-\mathrm{j}2\pi vy_r) \tag{2}$$

式中 $u=\frac{x_1}{\lambda f}$, $v=\frac{y_1}{\lambda f}$, x_1, y_1：傅里叶谱面的空间坐标，f：傅里叶变换系统的焦距.

$A(u,v)$ 的平方称作联合变换功率谱（Joint Transfrom Power Spectrum，JTPS），它可以表示为

$$I(u,v)=A(u,v)A^*(u,v)=O(u,v)O^*(u,v)+R(u,v)R^*(u,v)+O^*(u,v)R(u,v)\cdot\exp(-\mathrm{j}2\pi ux_r)\exp(-\mathrm{j}2\pi vy_r)+O(u,v)\cdot R^*(u,v)\exp(\mathrm{j}2\pi ux_r)\exp(\mathrm{j}2\pi vy_r) \quad (3)$$

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，即

$$a(x_1,y_1)=o(x_1,y_1)\otimes o^*(x_1,y_1)+r(x_1,y_1)\otimes r^*(x_1,y_1)+o^*(x_1,y_1)\otimes r(x_1,y_1)\times\delta(x_1+x_r)\delta(y_1+y_r)+o(x_1,y_1)\otimes r^*(x_1,y_1)\times\delta(x_1-x_r)\delta(y_1-y_r) \quad (4)$$

式(4)中的前两项是自相关，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表示为

$$I(u.v)=2|O(u,v)|^2*[1+\cos 2\pi(ux_r+vy_r)] \quad (5)$$

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：$1+\cos 2\pi(ux_r+vy_r)$，即是理想的杨氏条纹，$|O(u,v)|^2$ 则是杨氏条纹的包络. 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.

2　墨西哥帽(Mexican-hat)小波变换

2.1　墨西哥帽小波函数

小波变换[17]具有良好的时频局部化特性，通过伸缩和平移等运算功能对函数或信号进行多尺度细化分析，因而能有效地从图像中提取信息. 被广泛应用于图像增强、图像分割、图像融合等方面.

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[18-21]在时域和频域上都具有很好的局部化能力，可以通过尺度分离获得不同位置和相位信息，其函数被广泛应用于零交叉多分辨率边缘检测，墨西哥帽小波母函数实际上是高斯函数的二阶导数，即

$$\varphi(x,y)=\frac{1}{2\pi}[1-(x^2+y^2)]\exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2}\right) \quad (6)$$

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

$$\varphi(u,v)=4\pi^2(u^2+v^2)\exp[-2\pi(u^2+v^2)] \quad (7)$$

它也是实偶函数，示于图 2 中.

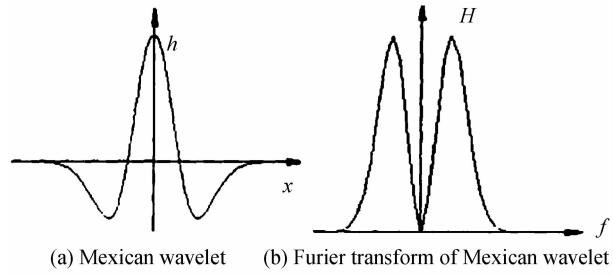


图 2　墨西哥帽小波及其傅里叶变换

Fig. 2　Mexican-hat wavelet and its spectrum

2.2　墨西哥帽小波变换过程

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 $I(u,v)$ 作内积，即

$$W_{a,u,v}\{I\}=\frac{1}{a}\iint_{-\infty}^{+\infty}I(u,v)\varphi^*\left(\frac{\xi-u}{a},\frac{\eta-v}{a}\right)\mathrm{d}\xi\mathrm{d}\eta \quad (8)$$

式中 $a>0$ 是尺度因子，通过实验验证选定 $a=0.8$. 由墨西哥帽小波变换对功率谱进行处理使原功率谱中比 a 小得多的精细结构都被平滑掉，平且增强了图像的边缘，最终有效地提高了联合变换功率谱的高频能量，增强了联合变换功率谱的杨氏条纹. 由处理后的功率谱再进行傅里叶变换获得的相关峰对比度有所提高.

3　自适应阈值

阈值处理是传统的图像分割的方法. 本文用该方法进行图像分割，但它不同于其他图像分割方法. 它的处理结果由相关峰对比度来判定. 分割是图像分析和识别的前提，分割精确度直接影响后续工作的有效率，而阈值选取是图像阈值分割的关键技术. 本文物面图像分割由两方面决定：首先是模板的阈值，其次是目标的阈值. 联合物面图像阈值处理原理为

$$g=\frac{g_1+g_2}{2} \quad (9)$$

g 为输入图像的最佳阈值；g_1 为目标图像的最佳阈值；g_2 为参考模板的最佳阈值.

g_1 和 g_2 可通过 OTSU[22-23]得到.

OTSU 以类别方差作为准则，选取使类间方差最大和类间方差最小的图像灰度值作为最佳阈值.

一幅图像被分为 L 个灰度级，T 为阈值，第一类是灰度值小于 T 的像素，第二类是灰度值大于 T 的像素. 第一类的概率是 ω_0，平均值为 μ_0；第二类的概率为 ω_1，平均值为 μ_1，所有像素的平均值为 μ.

$$\sigma^2(T)=\omega_0(\mu_0-\mu)^2+\omega_1(\mu_1-\mu)^2=\omega_0\omega_1(\mu_1-\mu_0)^2 \tag{10}$$

T 的变化范围为 1 到 L，当方差最大时，T 是最佳阈值. OTSU 是一种自动选取阈值的方法. 当目标的灰度范围与背景不太明显时，OTSU 处理的二值化结果会有黑色区域，有时图像信息还会丢失. 但是在相关探测和识别中，最后的阈值是 g. 所以 OTSU 的缺陷对相关结果的影响不大. 联合物面图像经过自适阈值处理后，变成一幅黑白图($a(x.y)$). 这幅黑白图像经光电混合联合变换相关器第一支光路进行傅里叶变换获得它的联合变换功率谱($I(u.v)$)，再对该功率谱进行墨西哥帽小波变换，最后经光电混合联合变换相关器第二支光路进行傅里叶逆变换获得相关峰.

4 实验结果

图 3 是小型化后的电混合联合变换相关器.

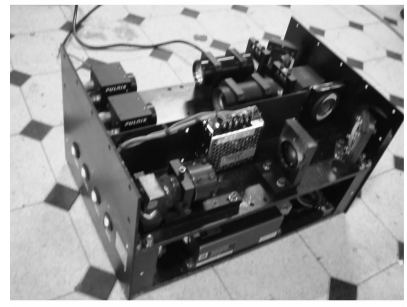
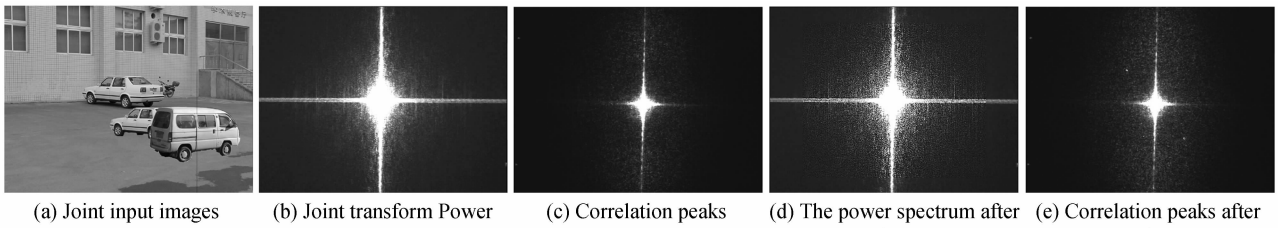


图 3 实验装置图

Fig. 3 Experimental setup

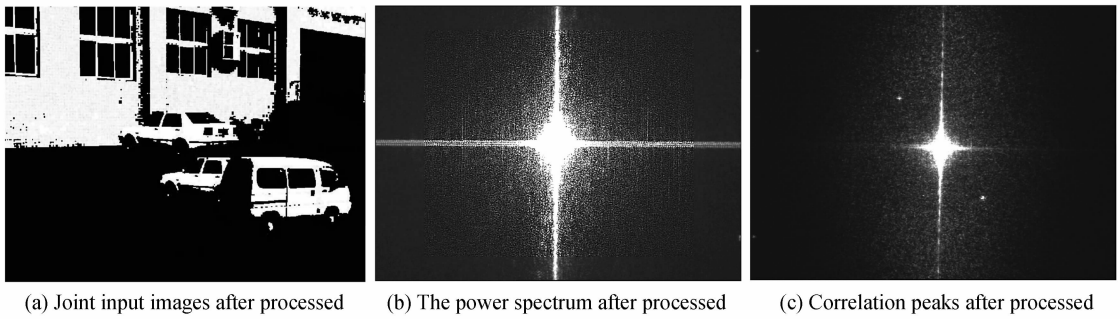
为了验证方法的有效性，进行了大量实验，作为实例给出了一组实验结果. 图 4(a)是未经处理被遮挡 43%的轿车复杂背景目标图像和参考模板轿车；图 4(b)是图 4(a)经过光电混合联合变换相关器第一次傅里叶变换所获得的联合变换功率谱；图 4(c)是图 4(b)经过光电混合联合变换相关器第二次傅里叶变换所获得的实验结果，但没能看到相关点，即未能识别被遮挡 43%的轿车. 图 4(d)是图 4(b)经小波变换处理后的联合变换功率谱；图 4(e)是图 4(d)经过光电混合联合变换相关器第二次傅里叶变换所获得的实验结果，由图可知，联合变换功率经小波变换处理后，在二四象限可见一对相关点，即被遮



(a) Joint input images (b) Joint transform Power spectrum (c) Correlation peaks (d) The power spectrum after processed (e) Correlation peaks after processed

图 4 输入的目标图像及相关实验结果

Fig. 4 Inputted joint image and experimental related processing results



(a) Joint input images after processed (b) The power spectrum after processed (c) Correlation peaks after processed

图 5 物面、功率谱面处理后的相关实验结果

Fig. 5 Experimental results after the processing of object plane and spectrum plane

挡 43%的轿车已被识别. 图 5(a)是图 4(a)经过自适应阈值处理后的联合图像，图 5(b)是自适应阈值和小波变换两种方法结合处理后获得的功率谱，图 5(c)是结合两种方法处理所后获得的相关峰，在二四象限可以看到一对非常明显的相关点. 由相关点在 CCD 中的坐标和镜头焦距可以确定目标方位角和俯仰角，此数据输入给火控系统用于瞄准跟踪，可实现火炮射击智能化.

从实验结果可以明显看出：不对遮拦目标识别过程作任何处理，所得到的相关峰图像中，根本看不到相关点；对联合变换功率谱进行墨西哥帽小波变换后，能够获得一对能量较弱的相关峰；而对联合输

入图像的物面、联合变换功率谱分别进行自适应阈值处理、墨西哥帽小波变换后，得到的相关峰能量明显增强，这样就非常容易达到探测和识别的目的. 实验结果充分证明了对物面进行自适应阈值处理，再结合墨西哥帽小波变换对联合变换功率谱进行处理后，能够非常好地提高遮拦目标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，从而更好地实现遮拦目标的探测和识别.

5　结论

本文对遮拦目标的联合物面图像进行了自适应阈值处理，再对其经光电混合联合变换相关器所获得的功率谱进行了墨西哥帽小波变换处理. 实验结果中给出了汽车处理前后的光学实验，从结果中可以明显看到处理前相关峰图像中根本没有相关点，经两种方法结合处理后所获得的相关峰图像中出现了一对对比度非常好的相关点. 经大量实验有效地证明了，自适应阈值与墨西哥帽小波变换结合能够抑制遮拦目标在光电混合联合变换相关器中的噪声干扰，增强遮拦目标和模板相关信息衍射光的能量，从而增强了应用光电混合联合变换相关器对遮拦目标进行探测和识别的能力.

参考文献

[1] 宋菲君，JUTAMULIA S. 近代光学信息处理[M]. 北京：北京大学出版社，2001：20-43.

[2] WANG Wen-sheng，LIANG Cui-ping，MIAO Hua，*et al*. Hybrid optoelectronic joint transform correlator for the recognition of target in cluttered scenes[C]. *SPIE*，2004，**5386**：204-213.

[3] CHANG S G，YU B，VETTERLI M. Adaptive wavelet thresholding for image denoising and compression[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*，2000，**9**(9)：1532-1546.

[4] LIU Yu-qiu，WANG Kang-ping，XING Yu-mei，*et al*. Algorithm of adaptive thresholds of template matching for vehicle detection in video flow[J]. *Journal of Jilin University (Science Edition)*，2007，**45**(5)：791-794.
刘玉秋，王康平，刑玉梅，等. 视频流中的自适应阈值模板匹配车辆检测算法[J]. 吉林大学学报，2007，**45**(5)：791-794.

[5] SUN Ming-yu，DING Ying，LI Wen-hui，*et al*. Adaptive threshold algorithm for extractingmoving objects[J]. *Application Research of Computers*，2010，**27**(6)：2380-2383.
孙明玉，丁莹，李文辉，等. 一种自适应阈值的运动目标提取算法[J]. 计算机应用研究，2010，**27**(6)：2380-2383.

[6] JAVIDI B，WANG J. Binary nonlinear joint transform correlation with median and subset median thresholding[J]. *Applied Optics*，1991，**30**(8)：967-976.

[7] LEI F，ITON M，YATAGAI T. Adaptive binary joint transform correlator for image recognition[J]. *Applied Optics*，2002，**41**(35)：7416-7421.

[8] ZHAO Jian-lin，XU Qi-tui，YANG De-xing，*et al*. Optimized threshold of the binary joint transform correlator[J]. *Acta Photonica Sinica*，2002，**31**(9)：30-34.
赵建林，许其推，杨德兴，等. 二值化联合变换相关器的最佳阈值[J]. 光子学报，2002，**31**(9)：30-34.

[9] BUTTJ A，WILKINSON T D. Binary phase only reference for invariant pattern recognition with the joint transform correlator[C]. *SPIE*，2006，**6234**：1-11.

[10] LI C T，YIN S Z，YU F T S. Nonzero-order joint transform correlator[J]. *Optical Engineering*，1998，**37**(1)：58-65.

[11] WANG Zhao-qi，GUAN Jiu-hong，LIU Hong-li，*et al*. A novel binary joint transform correlator thresholding with reference power spectrum only[J]. *Acta Optica Sinica*，2000，**20**(11)：1528-1532.
王肇圻，官玖洪，刘宏利，等. 仅用参考物功率谱取阈的二元联合变换相关器[J]. 光学学报，2000，**20**(11)：1528-1532.

[12] WANG Hong-xia，ZHAO Wei，LI Yu-xin. Multi-object recognition using power spectrum optimized joint transform correlator[J]. *Optical Technique*，2006，**32**(2)：190-195.
王红霞，赵玮，李育新. 多目标识别的联合变换相关器的研究[J]. 光学技术，2006，**32**(2)：190-195.

[13] 王洪尊. 光学相关探测与识别中图像处理的研究[D]. 长春：长春理工大学，2003：22-31.

[14] LIU Li-xin，WANG Zhi-yuan，ZHANG Yu，*et al*. Application of Gauss-Laplace operator in joint transform correlation[J]. *Semiconductor Optoelectronics*，2007，**28**(6)：881-883.
刘立欣，王志远，张宇，等. 高斯拉普拉斯算子在联合相关变换器中的应用[J]. 半导体光电，2007，**28**(6)：881-883.

[15] SUN Xiao-ming，HUO Fu-rong，TIAN Fan，*et al*. Research on auto recognition technology with low contrast target[J]. *Acta Photonica Sinica*，2007，**36**(11)：2153-2156.
孙晓明，霍富荣，田凡，等. 低对比度目标自动识别技术研究[J]. 光子学报，2007，**36**(11)：2153-2156.

[16] MIAO Hua，ZOU Xin，LANG Qi，*et al*. Research on spectrum plane processing technology of target auto-recognition in cluttered scenes[J]. *Acta Optica Sinica*，2009，**29**(2)：366-369.
苗华，邹听，郎琪，等. 复杂背景目标自动识别谱面处理技术研究[J]. 光学学报，2009，**29**(2)：366-369.

[17] 张德丰. MATLAB 小波分析[M]. 北京：机械工业出版社，2010.

[18] BHAGATJIA A，NISHCHALB N K，GUPTAA A K，*et al*. Extended fractional wavelet joint transform correlator[J]. *Optics Communications*，2008，**281**(1)：44-48.

[19] ZHOU Xiang，ZHAO Hong. Three-dimensional profilometry based on Mexican hat wavelet transform[J]. *Acta Optica Sinica*，2009，**29**(1)：197-202.
周翔，赵宏. 基于 Mexican hat 小波变换的三维轮廓术[J]. 光学学报，2009，**29**(1)：197-202.

[20] HARDALUPAS Y，SAHU S，TAYLOR A M K P，*et al*. Simultaneous planar measurement of droplet velocity and size with gas phase velocities in a spray by combined ILIDS and PIV techniques[J]. *Experiments in Fluids*，2010，**49**(2)：417-437.

[21] XU Luo-peng. Research on real Gauss wavelet in 3-D surface measurement[J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*，2012，**23**(1)：142-147.
许罗鹏. 实 Gauss 小波在三维面形测量中的应用[J]. 光电子·激光，2012，**23**(1)：142-147.

[22] OSTU N. A threshold selection method from gray-level histogram[J]. *IEEE Transactions on Systems，Man，and Cybernetics*，1979，**9**(1)：62-66.

[23] LI Guo-you，LI Hui-guang，DONG Min，*et al*. Method for edge detection based on improved general fuzzy operator by Otsu[J]. *Opto-Electronic Engineering*，2005，**32**(2)：80-83.
李国友，李惠光，董敏，等. 应用 Otsu 改进广义模糊算子的边缘检测新方法[J]. 光电工程，2005，**32**(2)：80-83.