

基于小波多尺度积的目标识别

陈方涵 苗 华 陈 宇 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 光学相关探测就是利用光学相关的方法,从混乱的图像中找出需要的目标,达到识别的目的。把小波变换应用于光电混合联合变换相关器,突破了传统的傅里叶变换的局限性,实现了对探测目标不同区域、不同尺度的分析。为了充分利用小波不同尺度的特性,采用小波多尺度积的方法提取出目标图像的边缘,兼顾了图像的细节与轮廓特征,将目标图像不同层次的轮廓信息和细节信息相结合,解决了复杂背景下目标图像的识别问题。光学实验结果表明,该方法有效增强了复杂背景目标的相关点强度,成功实现了目标的探测,具有良好的应用前景。

关键词 图像处理; 光学相关; 目标识别; 小波多尺度积; 边缘提取

中图分类号 TP391 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/AOS20092905.1223

Target Recognition Based on Wavelet Multiscale Product

Chen Fanghan Miao Hua Chen Yu Wang Wensheng

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

Abstract Optical correlation detection can discriminate target from clutter scene by the optical method to realize target recognition. Wavelet transform is applied to hybrid optoelectronic joint transform correlator (HOJTC), it transcends the limitation of Fourier transform, and can analyze detected target in different quarters and scales. To exploit character of various scales, the method of wavelet multiscale product is proposed to extract edge feature of image. This method considers the detail and contour as well, and combines both of them at different levels. The problem of targets recognition with insufficient information is settled. Optical experimental results show that the method effectively enhances the energy of correlation peaks of target in clutter scene, successfully realizes target detection, and has a good prospect of application.

Key words image processing; optical correlation; target recognition; wavelet multiscale product; edge extraction

1 引 言

光学相关探测具有并行度高、容量大等特点,使其在目标识别等领域的应用被广泛认可。目标识别系统是光电混合联合变换相关器(HOJTC),该系统根据输出的相关点强度、相对位置实现目标的判别^[1]。因此,提高相关点亮度与改善 HOJTC 系统的性能紧密联系。

小波变换具有多尺度特性,尺度由粗到细,层层分析,已成功应用在图像压缩^[2]、边缘提取^[3~5]、图

像去噪^[6]、图像增强^[7,8]等方面。其中,基于小波变换的多尺度边缘提取算法是近年来研究的热点,在图像分析和识别领域颇受关注^[9~11]。但受算法本身的限制,各个尺度的边缘难以得到综合应用。在利用多尺度信息中,基于小波域尺度积的边缘提取是一种简单而有效的方法^[3,12]。

本文对探测图像进行样条小波变换,得到不同尺度的边缘,并将相邻尺度的变换系数相乘,兼顾了图像的细节与轮廓特征。光学实验结果表明,该方

收稿日期: 2008-08-04; 收到修改稿日期: 2008-10-23

基金项目: 总装备部十一五预研基金资助课题。

作者简介: 陈方涵(1983—),女,博士研究生,主要从事光学相关探测与目标识别等方面的研究。

E-mail: chenhan620@163.com

导师简介: 王文生(1944—),男,教授、博士生导师,主要从事光学相关探测与目标识别等方面的研究。

E-mail: wwsciom@163.com

法大大提高了相关点的能量,为目标识别提供了较为理想的工具。

2 光电混合联合变换相关器原理图

联合变换相关的主要特征是参考图像与目标图像同时输入光学运算系统,在第一个傅里叶变换平面上记录联合变换功率谱,联合变换功率谱经过第二次傅里叶变换后,获得一对相关点输出。图1是实时光电混合联合变换相关器实验原理图,其关键部件是氩离子激光器、傅里叶变换透镜组(FTL)、电寻址液晶(EALCD)、电荷耦合器(CCD)和计算机控制系统。

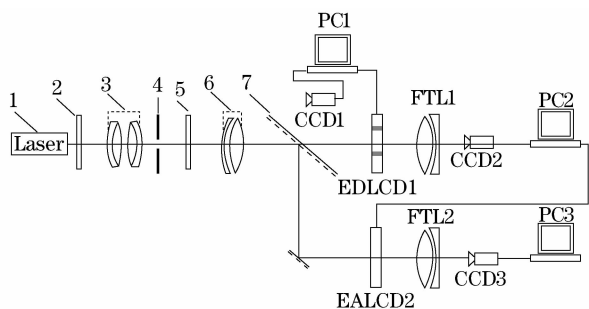


图1 实时光电混合联合变换相关器的结构图

Fig.1 Schematic configuration of real-time hybrid optoelectronic joint transform correlator(HOJTC)

系统采用氩离子激光器1作为光源,通过衰减片2调制出输出光强,经显微物镜3聚焦、针孔4进行空间滤波、偏振器5调节偏振方向后,再经双分离准直透镜6形成均匀的准直扩束平行光。平行光经半反半透透镜7后分为两路,其中第一路用于获得联合变换功率谱。这样经CCD1实时摄取的目标图像与事先存贮在PC1的参考模板一起被输入到电寻址液晶EALCD1中,联合图像经傅里叶变换透镜FTL1后,由平方律探测器CCD2进行探测,得到目标和参考图像的联合变换功率谱,经PC2显示出来;第二路用于获得相关峰图像,输入到PC2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EALCD2中,经傅里叶变换透镜FTL2进行逆变换后,由CCD3摄取目标图像与参考图像的联合变换相关点,再输入到PC3中由其显示出来。通过相关点的位置,可以确定目标及其方位。

3 基于样条小波多尺度积的边缘提取

3.1 小波多尺度积边缘提取原理

图像是像素的集合,其本身包含颜色信息、灰度变化信息、轮廓信息和纹理信息等。HOJTC的识

别主要是基于目标与模板的轮廓灰度信息实现的。根据目标识别的具体应用,要求所提取的图像边缘既能够抑制背景噪声的影响,同时又能探测出目标的边缘特性。单一尺度的边缘提取方法很难同时满足以上要求,因此利用多尺度思想进行边缘提取是获得理想结果的良好途径。

小尺度边缘表征灰度的细微变化,大尺度边缘表征图像发生的粗变化。由于边缘的尺度空间具有相关性,因此希望采用不同的方式把它们组合起来,从中确定较合适的边缘。这个问题非常复杂,目前还没有找到一个最佳的组合方法。

然而,基于小波域尺度积的边缘提取算法是一种简单而有效的多尺度边缘提取方法。信号经过小波变换后,将相邻尺度上的小波系数相乘,不同尺度间边缘的相关性便隐含其中;经阈值化处理的尺度积系数的局部模极大值就被确定为边缘点^[13,14]。

设 $\theta(x,y)$ 为一适度平滑的二维函数,则定义两个小波函数为: $\psi^1(x,y) = \frac{\partial\theta(x,y)}{\partial x}$, $\psi^2(x,y) = \frac{\partial\theta(x,y)}{\partial y}$;那么,在尺度 2^j 时图像 $f(x,y)$ 沿水平方向和垂直方向的二进小波变换为

$$W_{2^j}^1 f(x,y) = f \cdot \psi_{2^j}^1(x,y), \quad (1)$$

$$W_{2^j}^2 f(x,y) = f \cdot \psi_{2^j}^2(x,y), \quad (2)$$

对应的水平方向和垂直方向的归一化尺度积为

$$P_{2^j}^1 f(x,y) = \frac{W_{2^j}^1 f(x,y) \cdot W_{2^{j+1}}^1 f(x,y)}{\sqrt{|W_{2^j}^1 f(x,y) \cdot W_{2^{j+1}}^1 f(x,y)|}}, \quad (3)$$

$$P_{2^j}^2 f(x,y) = \frac{W_{2^j}^2 f(x,y) \cdot W_{2^{j+1}}^2 f(x,y)}{\sqrt{|W_{2^j}^2 f(x,y) \cdot W_{2^{j+1}}^2 f(x,y)|}}, \quad (4)$$

定义图像相邻尺度的小波变换的尺度积模值和幅角分别为

$$PM_{2^j} f(x,y) = \sqrt{[P_{2^j}^1 f(x,y)]^2 + [P_{2^j}^2 f(x,y)]^2}, \quad (5)$$

$$PA_{2^j} f(x,y) = \arctan \left[\frac{P_{2^j}^2 f(x,y)}{P_{2^j}^1 f(x,y)} \right]. \quad (6)$$

如果 $PM_{2^j} f(x,y)$ 在沿 $PA_{2^j} f(x,y)$ 给定的梯度方向上有一个局部极大值,则认为它是一个边缘点。

3.2 算法实现

多尺度边缘提取算法在Canny算法中首先得到运用,但受到算法本身的限制,它的各个尺度的信息很难得到综合应用。继而Mallat把小波变换用于多尺度边缘提取中,从而充分利用了多尺度边缘

的特性。在利用小波变换进行多尺度应用的过程中,小波基的选择和边缘点的确定方法是两个非常重要的方面。

基于样条的小波是一个平滑函数,有很高的正则性,且便于编程上机计算。因此本论文采用它对目标图像进行小波变换^[15,16],并利用小波变换后尺度积模极大值法确定边缘。过程如下:

- 1) 选取适当滤波器,对图像进行样条小波变换,得到不同尺度的小波系数;
- 2) 按式(5)、(6)计算小波变换后尺度积的模值和幅角;
- 3) 利用模极大值法确定边缘点;
- 4) 设定某一阈值,得到不同尺度下的二值化边缘。

4 光学实验结果

大量的计算机模拟实验和光学实验表明,对于目标与背景对比度较低、背景较复杂、或目标较小等

图像,识别较为困难。图 2(a)是一组复杂背景下的地面目标及其模板,当其进行光学傅里叶变换时,复杂的背景噪声叠加在目标图像的信息上,干扰了 HOJTC 对目标的识别能力,甚至不能识别。这种状况下目标所含的可用信息量就较少。采用小波多尺度积的方法提取目标图像的边缘,增强了边缘的信息,达到目标识别的目的。图 2(b)、(c)、(d)分别给出了小波变换不同尺度下的边缘图像。很明显,尺度越小,所含细节越多;尺度越大,边缘精准度越低。其中,图 2(b)中过多的细节已将目标和模板淹没,严重影响识别结果。相反,虽然图 2(d)的边缘信息很亮,但边缘有些失真,同样不利于探测识别。小波多尺度积综合了不同尺度下的信息,得到了较为理想的边缘,在一定程度上解决了该类目标的识别问题。通过小波多尺度积处理后的边缘如图 2(e)所示,图中背景噪声对目标的影响相应减少,边缘清晰简洁。

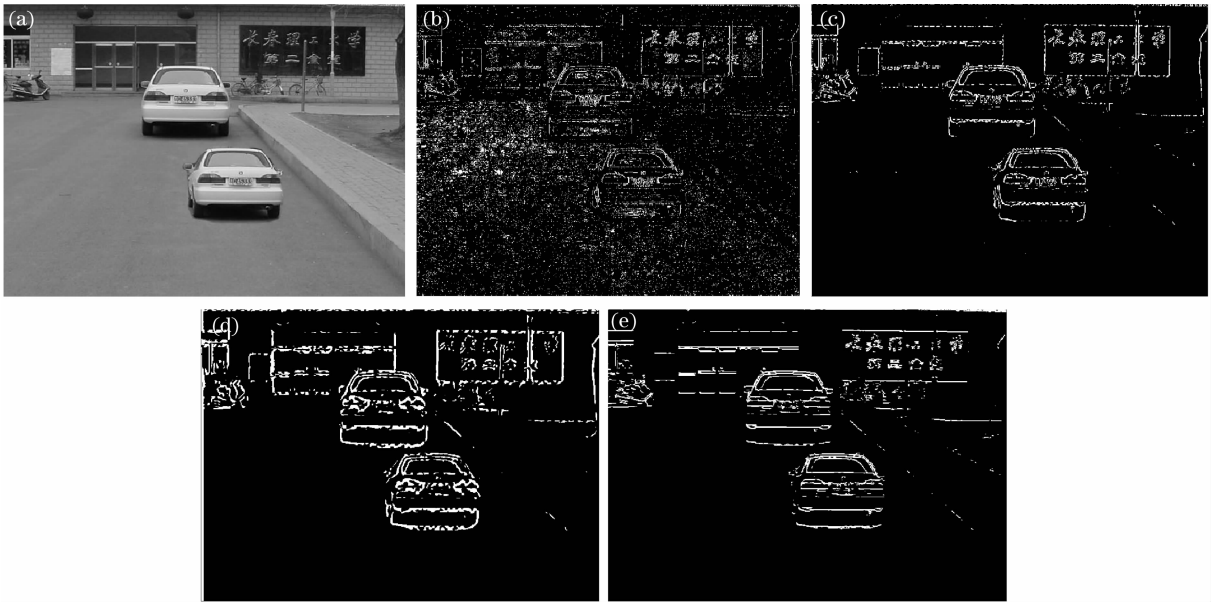


图 2 不同尺度的边缘,(a) 原图,(b) 2^0 尺度下的边缘,(c) 2^1 尺度下的边缘,
(d) 2^2 尺度下的边缘,(e) 小波多尺度积边缘

Fig. 2 Edges at different scales (a) original image, (b) edge at the scale of 2^0 ,
(c) edge at the scale of 2^1 , (d) edge at the scale of 2^2 , (e) edge of wavelet multiscale product

将图 2(a)和图 2(e)分别输入联合变换相关器的电寻址液晶 EALCD1 中,得到一组相关输出联合变换功率谱 X 和相关点 Y。

图 3(a)和(b)对应的 Y 图分别给出了原图处理前后的相关点输出。其中,原图的相关点很微弱,几乎无法判定目标的位置;而处理后的相关点则较为明显。不难发现,图 3(b)的相关点位于二、四象限,这与目标与模板的相对位置相同,从而达到目标识

别的目的。

5 结 论

在光学相关探测中,过多的背景噪声会影响目标的准确识别。小波多尺度积方法在去除一定背景噪声的同时,提取出目标与模板的边缘,将目标图像不同层次的轮廓信息和细节信息相结合,解决了复杂背景下目标的识别问题。小波技术这一成功的应

用表明,小波的多尺度特性是进行图像目标识别的较为理想的工具,应将其逐步完善。

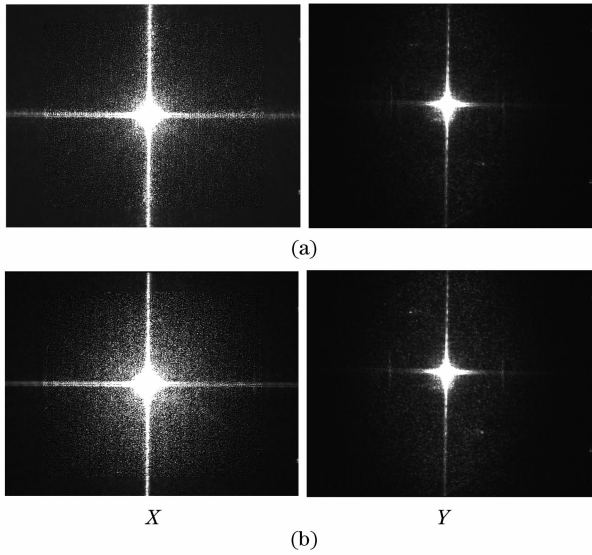


图3 实验结果对比,(a)原图,(b)小波多尺度积边缘
Fig.3 Comparison of experimental results. (a) original image, (b) edge of wavelet multiscale product

参 考 文 献

- Wensheng Wang, Yu Chen Cuiping Liang *et al.*. Hybrid optoelectronic joint transform correlator for the recognition of target in cluttered scenes [C]. *SPIE*, 2005, **5642**: 204~212
- Ding Xuxing, Zhu Rihong Li Jianxin. An adaptive wavelet transform via lifting for image compression[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(2): 225~228
丁绪星,朱日宏,李建欣.基于自适应提升小波变换的图像、压缩[J]. *光子学报*, 2004, **33**(2):225~228
- Cao Wanpeng, Che Rensheng, Ye Dong. Illumination-independent wavelet scale multiplication edge detection method [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(10): 1751~1757
曹万鹏,车仁生,叶东.一种照明无关的小波多尺度相乘边缘检测方法[J]. *光学学报*, 2007, **27**(10): 1751~1757
- Wang Haihong, Zeng Ni, Lu Wei *et al.*. Edge detection of laser imaging radar based on wavelet transform and mathematical morphology[J]. *Chin. 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
- Xie Mei, Gu Deren. An image edge detection algorithm based on the wavelet transform [J]. *J. electronics*, 1997, **19**(2): 173~176
解梅,顾德仁.使用小波变换的图像边缘检测算法[J]. *电子科学学刊*, 1997, **19**(2): 173~176
- Liu Gang, Xiu Jihong, Liu Ming *et al.*. Wavelet denoising for aeronautical image [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2004, **12**(22): 140~142
刘钢,修吉宏,刘明等.航空图像的小波去噪[J]. *光学精密工程*, 2004, **12**(22): 140~142
- Wang Gang, Xiao Liang, He Anzhi. Algorithm research of adaptive fuzzy image enhancement in ridgelet transform domain [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(7): 1183~1190
王刚,肖亮,贺安之.脊小波变换域模糊自适应图像增强算法[J]. *光学学报*, 2007, **27**(7): 1183~1190
- Wu Yingqian, Shi Pengfei. Approach on image contrast enhancement based on wavelet transform [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2003, **32**(1): 4~7
吴颖谦,施鹏飞.基于小波变换的低对比度图像增强[J]. *红外与激光工程*, 2003, **32**(1): 4~7
- Anitha Panapakkam, S. N. Balakrishnam. A new approach to feature extraction using wavelet transformation for ATR problem [J]. *SPIE*, 1999, **2485**: 10~19
- Hong Baoming, Zheng Lian. Wavelet transform and its application in multiscale edge detection of a target image [J]. *Acta Armamentaria*, 1996, **17**(3): 215~219
洪保明,郑链.小波变换在目标图像多尺度边缘检测中的应用[J]. *兵工学报*, 1996, **17**(3): 215~219
- Liu Donghua, Wang Yuanqin. Application of wavelet analysis theory to image target detection [J]. *Chin. J. Scientific Instrument (Supplement)*, 2004, **25**(4): 660~665
- Yang Dan, Zhang Xiaohong. Edge detection algorithm based on wavelet multiscale product [J]. *Computer Science*, 2004, **31**(1): 133~135
杨丹,张小洪.基于小波多尺度积的边缘检测算法[J]. *计算机科学*, 2004, **31**(1): 133~135
- Pan Quan, Zhang Lei, Meng Jinli *et al.*. *The Method and Application of Wavelet Filtering* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005. 160~170
潘泉,张磊,孟晋丽等.小波滤波方法及应用[M].北京:清华大学出版社,2005.160~170
- Li Honggui, Li Xingguo. A new wavelet transform based method for edge detection [J]. *Computer Applications and Software*, 2005, **22**(3): 103~104
李宏贵,李兴国.一种新的基于小波变换的边缘检测方法[J]. *计算机应用与软件*, 2005, **22**(3): 103~104
- Zhang Hui, Wu Bin Wang Jianzhong *et al.*. The application research of image multi-scale edge detection by using B-spline wavelet [J]. *J. Southwest China Institute of Technology*, 2000, **15**(4): 30~35
张晖,吴斌,王建国等.B样条小波在图像多尺度边缘检测中的应用研究[J]. *西南工学院学报*, 2000, **15**(4): 30~35
- Gao Guorong, Liu Rang. A revised image edge detection method based on wavelet [J]. *Wuhan University Journal (Natural Science Edition)*, 2005, **51**(5): 615~619
高国荣,刘冉.一种改进的基于小波变换的图像边缘提取算法[J]. *武汉大学学报:理学版*, 2005, **51**(5): 615~619