

文章编号:1002-2082(2008)04-0503-05

# 一种抗尺度畸变的光学相关图像识别技术

邵 琨, 华文深, 周中亮, 甘厚吉

(军械工程学院 光学与电子工程系, 河北 石家庄 050003)

**摘要:** 为提高光学相关图像识别的准确度和抗畸变能力, 引入多重复合匹配滤波器概念, 探讨一种新的识别思路。它融合了综合鉴别函数和K-L变换的经典思想, 改善了单个匹配滤波器动态范围太小的状况, 对图像尺度变换有较宽的适应范围, 从而提高了光学模式识别系统的识别效率。仿真结果表明, 对尺度缩小1/2的情况, 采用此思路可使其滤波的刷新速度比常规方法提高4倍, 从而验证了算法的有效性和可行性。

**关键词:** 尺度畸变; 综合鉴别函数; K-L变换; 光学模式识别; 多重复合匹配滤波器

中图分类号: TN919.8; TP391.4

文献标志码: A

## Optical correlation image recognition technology to resist scale distortion

SHAO Jun, HUA Wen-shen, ZHOU Zhong-liang, GAN Hou-ji

(Department of Optical and Electronic Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:** A concept of multi-complex matched filter is introduced to improve the recognition of optical correlation image and the resistance of distortion, and a new way for the recognition is discussed. The synthetic discriminant function (SDF) was combined with K-L transform as a classical concept to effectively expand the dynamic range of single matched filter. Therefore, the scale distortion was restrained and the recognition efficiency of the optical pattern recognition (OPR) system was significantly improved. The simulation indicates that the concept can increase the update speed of filtering by a factor of 5, compared with that of the ordinary filtering, in the case of the distortion of half scale. The algorithm proved valid and feasible.

**Key words:** scale distortion; synthetic discriminant function(SDF); Karhunen-Loeve transform (KLT); optical pattern recognition (OPR); multi-complex matched filter

## 引言

光学相关图像识别技术已广泛应用于航天遥感、生物医疗、工业生产等领域, 在军事和航空、航天领域对重点军事目标打击、航空母舰舰载机盲降、航天器对接等方面已获得阶段性成果。

识别图像的关键是要又快又准地识别目标, 其主要要解决以下2个问题:

1) 如何在图像受到噪声干扰时, 正确地识别目标;

2) 如何在图像发生旋转, 尺寸和方位畸变后, 正确识别目标(即畸变不变性识别问题), 此问题一直是国内外研究的焦点。

在光学相关识别领域, 已试验的纯相位滤波器、振幅补偿匹配滤波器、圆谐分量滤波器、径谐滤波器等, 实用(针对复杂对象时)效果不佳。理论上讲, 上述滤波器仅改善了某一方面的效果, 往往不能从根本上解决识别准确性和抗畸变能力之间的固有矛盾。等到空域上, 频谱滤波方法就是对图

像本身做边缘增强,使得匹配峰值更锐,但同时使得抗畸变能力下降。同样,模糊化预处理图像边缘,使抗畸变能力提高的同时也导致识别准确性的下降。而目前利用综合鉴别函数(SDF)以及由此衍生的相关改进方法大大提高了畸变不变识别能力,改善了光学模式识别系统性能<sup>[1-5]</sup>。

本文综合 SDF 和统计识别方法的设计思想,在模板匹配原理基础上,结合计算机统计模式识别理论,建立了多重复合匹配滤波器的设计思路,改善了单个匹配滤波器动态范围太小的状况,提高了识别系统的性能。

## 1 原理介绍

### 1.1 综合鉴别函数

综合鉴别函数(SDF)是指从一组能够很好体现该类物体特征的各种型号的样本函数出发,采用数字方法或光学方法将其综合成一个函数,使其对此类物体的多个型号都能输出足够的相关响应。基本综合鉴别函数也称为等相关峰综合鉴别函数<sup>[6-8]</sup>,简称 ECPSDF。

设  $s_1(x, y), s_2(x, y), \dots, s_N(x, y)$  代表  $N$  幅尽可能包含参考图像  $s(x, y)$  相关信息的训练样本图像。目的是设计一幅复合图像  $h(x, y)$ :

$$h(x, y) \otimes s_i(x, y) |_{\tau_x=0, \tau_y=0} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h^*(x, y) s_i(x, y) dx dy = c \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (1)$$

由于最早合成滤波响应  $h(x, y)$  是用多次曝光全息技术来完成的,所以假设  $h(x, y)$  是  $N$  幅训练样本的线性组合。即

$$h(x, y) = a_1 s_1(x, y) + \dots + a_N s_N(x, y) \quad (2)$$

其中系数  $a_1, a_2, \dots, a_N$  必须满足:

$$\sum_{i=1}^N a_i R_{ij} = c \quad (j = 1, 2, \dots, N) \quad (3)$$

式中:

$$R_{ij} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} s_i^*(x, y) s_j(x, y) dx dy \quad (4)$$

这是训练样本图像  $s_i(x, y)$  和  $s_j(x, y)$  的内积,也就是它们在原点处的互相关输出值。如果训练图像都是实函数,则(4)式中的共轭符号可省去。

### 1.2 统计模式识别方法

统计模式识别方法的基本思想是将目标图像转化成模式向量的形式,即将  $n \times n$  像素数字图像每一个  $n^2$  像素点的灰度值当作向量中的一个元

素,从而将整幅图转化成一维向量来处理。统计模式识别中的 K-L 变换的基本思想是:用少数几个主成分图像的线性组合表达训练集合中的样本图像<sup>[9]</sup>,用各个主成分图像的权重系数构成代表原始图像的特征集合。这样可大大降低处理维数,减小计算量。K-L 变换流程如图 1 所示。

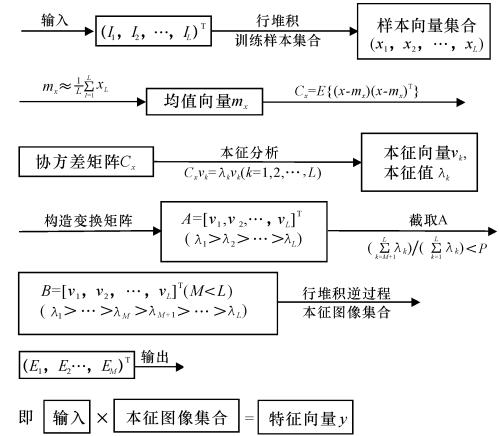


图 1 K-L 变换流程图

Fig. 1 Flow chart of K-L transform

### 1.3 多重复合匹配滤波器

在实际图像识别过程中,输入图像很可能和事先生成匹配滤波器的模板图像在角度和方位上存在差异,如果采用单个滤波器进行匹配识别,由于动态范围太小,将导致相关峰值明显下降,影响相关识别的准确性。因此针对旋转、方位和尺度畸变,我们可以采取多个匹配滤波器复用,即可以扩大滤波器动态识别范围,识别更大范围的图像畸变,达到理想的识别效果。

### 1.4 整体思路

本文引入聚类思想,可在种类繁多的输入图像中迅速识别出一类图像,如采集大量图片,可通过光学相干识别系统,把坦克从其他不同类目标中提取出来。结合聚类思想和统计模式识别方法,可解决一类图片一定范围内的畸变。本文论述主要针对尺度畸变,其他畸变可依次类推。其步骤是:1) 把采集的一组坦克图像预处理成  $256 \times 256$  的灰度图,提取边缘后保证样本图质心重合;2) 通过 SDF 输出训练样本图的线性组合  $h$ ;3) 尺寸畸变组图经 K-L 变换提取特征图像;4) 编码生成匹配滤波器。如图 2 所示。

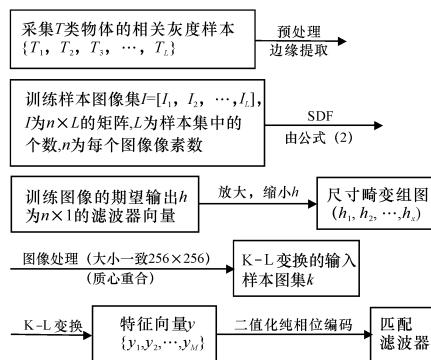


图 2 整体思路流程图

Fig. 2 Flow chart of whole design chain of thought

## 2 性能测试与分析

### 2.1 综合鉴别函数训练样本数的选择

对于 3~13 个坦克训练样本,用综合鉴别函数生成的滤波器分别识别一幅群内训练样本和一幅非训练坦克样本。实验 1 如图 3(a)所示,其中的待识别样本同时也是滤波器的生成样本,所以相关峰相对明显,但随着滤波器生成样本数的增加,峰的尖锐度有所下降,相关识别准确率有所降低。实验 2 如图 3(b)所示,其中的待识别样本也是坦克样本但非滤波器生成样本。明显可以看出相关峰很弱,但随着滤波器生成样本数的增加,相关点变亮,系统的容错性变大,即相关识别抗畸变性增强。与此同时,随着生成样本数的增加,运算量加大,计算机运行时间也在增加。因此综合实验结果,系统综合鉴别函数的训练样本数的最优选择为 6 个。

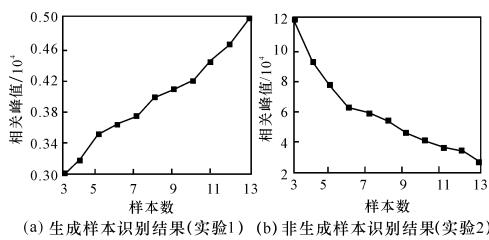


图 3 识别结果

Fig. 3 Recognition results

### 2.2 K-L 变换样本尺度缩放范围的确定

由不同倍率的畸变图像作为 K-L 变换训练样本生成滤波器, 畸变训练样本为待识别图像, 相关结果如图 4 所示。从实验结果可以看出, 随着样本畸变倍率的增加, 相关点越来越不明显, 小于 0.9, 大于 1.05 的识别相关点变得模糊, 不易识别。因此 K-L 变换训练样本最适合的尺度变化范围为 1.05~0.90。

的识别相关点变得模糊, 不易识别。因此 K-L 变换训练样本最适合的尺度变化范围为 1.05~0.90。

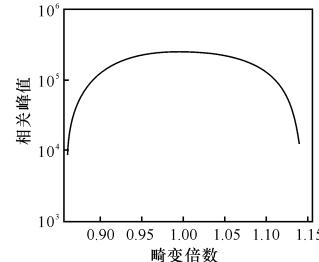


图 4 畸变样本相关识别结果

Fig. 4 Correlation recognition result of distortion sample

### 2.3 仿真步骤

a) 采集俄罗斯 T90 坦克、法国 AMX-30 主战坦克、美国 M1A1 主战坦克、日本 90 式主战坦克、国内主战坦克、欧洲的“豹 II”主战坦克共 6 个样本, 如图 5 所示。



图 5 坦克组图

Fig. 5 A series of tank pictures

b) 经过图像预处理, 得到 6 张 256×256 像素的训练样本集 I, 如图 6 所示。

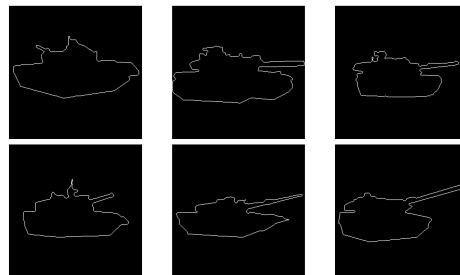


图 6 样本集

Fig. 6 Set of sample

c) I 经 SDF 输出训练样本组合  $h, 1.05 h$  和  $0.90 h$  3 个样本, 通过 K-L 变换提取特征图像(见图 7(a)); 然后到生成滤波器(见图 7(b)), 如图 7 所示。

### 2.4 仿真结果

通过输入有目标、无目标图像以及目标尺度畸

变图像,比较它们的输出相关峰效果,如图8~图10所示。

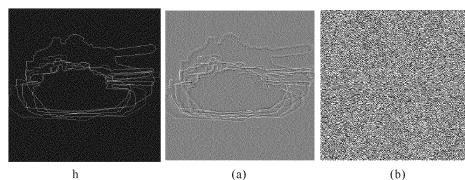


图 7 经 SDF 变换后输出结果

Fig. 7 Output results of SDF transform

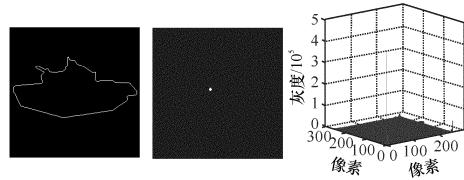


图 8 输入有目标样本  $I_1$  识别效果

Fig. 8 Recognition result of target sample  $I_1$

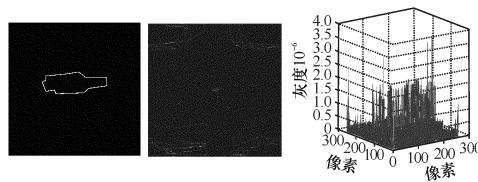


图 9 输入无目标样本识别结果

Fig. 9 Recognition result of sample without target

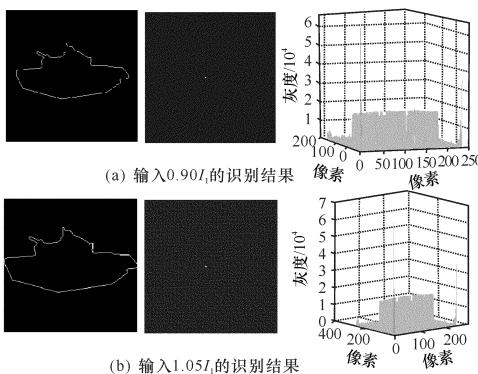


图 10 不同目标尺度的识别结果

Fig. 10 Recognition results of different target scale

a) 图 8 输入有目标样本集  $I_i$  ( $i=1, 2, \dots, 6$ ), 输出有明显相关点。b) 图 9 输入无目标样本(非), 无明显相关峰输出。

c) 图 10 为输入目标经尺度变化后的样本集

图像,输出可识别的相关峰图像。

普通滤波器识别尺寸畸变的范围为 0.98~1.01, 随着待识别样本尺度变化, 相关峰显著下降, 如图 11 所示。

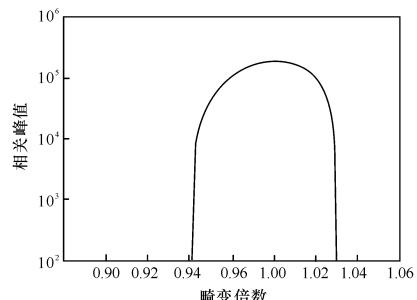
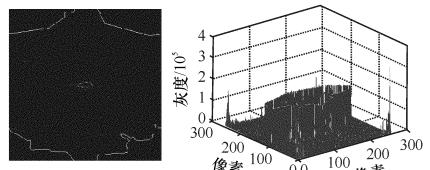


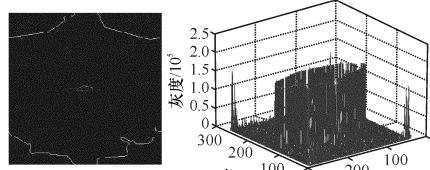
图 11 普通滤波器畸变识别结果

Fig. 11 Distortion recognition of ordinary filter

取  $I_1$  尺度畸变 0.9 倍的样本为  $0.9I_1$ 。未经过 K-L 变换的滤波器识别  $0.90I_1, 1.05I_1$  效果如图 12, 实验表明, 本文设计的滤波器可以有效地抑制光学相干识别系统的尺度畸变。



(a) 未经 K-L 变换滤波器识别  $0.90I_1$  的效果图



(b) 未经 K-L 变换滤波器识别  $1.05I_1$  的效果图

图 12 未经 K-L 变换滤波器识别的效果图

Fig. 12 Results without recognition of K-L transform filter

## 2.5 结果分析

不同滤波器识别畸变图像的相关峰值统计结果如表 1 和表 2 所示。

表 1 不同滤波器识别畸变结果对比

Table 1 Contrast of distortion recognition results of different filters

类型	待识别图像				
	$I_1$	$0.9I_1$	$1.05I_1$	$0.98I_1$	$1.01I_1$
结合 K-L 变换和 SDF 的滤波器	4.5	0.6	0.7	2.0	2.5
未经 K-L 变换提取畸变特征的滤波器	5.0	0	0	0.3	0.4

从表1可以看出,经过K-L变换处理后的匹配滤波器识别畸变图像的能力大大增强,识别范围从0.98~1.01扩大到0.9~1.05,抗畸变性能明显也增强。

表2 不同滤波器识别目标结果对比

Table 2 Contrast of target recognition result of different filters

$10^5$

类 型	待识别图像		
	$I_1$	$I_2$	非 $I_i$
结合K-L变换和SDF的滤波器	4.5	4.2	0
未经SDF组合样本集滤波器	5.0	0	0

注:设定系统可识别相关峰的阈值为 $3 \times 10^4$ 。

从表2可以看出,经综合鉴别函数处理后的滤波器能很好地从纷杂的图像中识别出目标群,克服了单个样本生成滤波器仅识别此样本,适应性差的问题。

同时引入多重复合匹配滤波器的概念,在解决缩小一倍样本的识别过程中,文中设计的匹配滤波器能识别畸变0.9倍的样本,因 $0.9^n \leq 0.5, n \geq 6.5$ ,这样的系统解决此问题只需刷新7个匹配滤波器。如果用常规的滤波器识别畸变倍数为0.98,因 $0.98^n \leq 0.5, n \geq 34.3$ ,此时解决问题至少要35个滤波器复合。可见文中设计的相关识别系统滤波的刷新速度比常规方法提高了4倍,在准确、抗畸变的基础上,能显著地提高识别效率。

### 3 结论

在光学相关识别系统中,抗噪能力和相关峰尖锐度是滤波器的主要评价指标,其中一项的优化以另一项指标的降低为代价。为了实现目标的畸变不变识别,需要用复合匹配滤波器;但制作滤波器样本畸变范围越大,在识别时相关峰值退化越严重,尤其是在背景比较复杂时。本文融合了统计模式识别方法和多重复合匹配滤波器技术,选择最优的复合参数和最佳的复合算法,有效提高了识别系统在速度、准确性和抗畸变能力等几方面的性能指标。

### 参考文献:

- [1] 王永仲,张勇,薛蕊,等.迂回相位编码的傅里叶变换计算全息图及其再现[J].红外技术,2004,26(2):57-59.  
WANG Yong-zhong, ZHANG Yong, XUE Rui, et al. The FFT computer-generated hologram and its reconstruction by detour phase encoding[J]. Infrared Technology, 2004, 26(2): 57-59. (in Chinese)
- [2] 王永仲,张勇,冯广斌,等.BP神经网络在光学相关

器相关峰识别中的应用[J].应用光学,2006,27(1):15-18.

WANG Yong-zhong, ZHANG Yong, FENG Guang-bin, et al. Application of BP neural net work in correlated of optical correlator peak recognition[J]. Journal of Applied Optics, 2006, 27(1): 15-18. (in Chinese)

- [3] 黄晓菁.用二元小波滤波器作图像相关识别[J].光电子·激光,2001,12(10):1069-1071.  
HUANG Xiao-jing. Pattern correlation recognition using a binary wavelet filter [J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2001, 12(10): 1069-1071. (in Chinese)
- [4] 姜美花,苏显渝,刘元坤.基于结构照明的三维物体识别新方法[J].光电子·激光,2003,14(8):869-872.  
JIANG Mei-hua, SU Xian-yu, LIU Yuan-kun. New method for 3-D object recognition based on structured illumination [J]. Journal of Optoelectronics laser, 2003, 14(8): 869-872. (in Chinese)
- [5] 周吉,史娇英.一种鲁棒的特征点匹配算法[J].计算机与图形,2002,26:429-436.  
ZHOU Ji, SHI Jiao-ying. A robust algorithm for feature point matching [J]. Computers & Graphics, 2002, 26: 429-436.
- [6] 甘厚吉,华文深,王金玉.常规综合鉴别函数的改进[J].应用光学,2007,28(3):377-379.  
GAN Hou-ji, HUA Wen-shen, WANG Jin-yu. Improvement of conventional synthetic discriminant function [J]. Journal of Applied Optics, 2007, 28(3): 377-379. (in Chinese)
- [7] 赵昱,申铉国.四元量化的综合鉴别函数滤波器实现比例不变相关识别[J].光子学报,2005,34(8):1157-1159.  
ZHAO Yu, SHEN Xuan-gu. Quantization of synthetic discriminant function filters to a quadrupole for scale invariant pattern recognition [J]. Acta Photonica Sinica, 2005, 34(8): 1157-1159. (in Chinese)
- [8] 薛蕊,王永仲,华文深.最小方差综合鉴别函数的优化算法[J].光学技术,2006,32(5):793-795.  
XUE Rui, WANG Yong-zhong, HUA Wen-shen. Optimal arithmetic of minimum variance synthetic discriminant function [J]. Optical Technique, 2006, 32(5): 793-795. (in Chinese)
- [9] 王筑娟. Karhunen-Loeve 变换及其几种计算方法[J].上海应用技术学院学报,2004,4(2):118-120.  
WANG Zhu-juan. Some algorithms for Karhunen-Loeve transformation [J]. Journal of Shanghai Institute of Technology, 2004, 4(2): 118-120. (in Chinese)