

# 非约束维纳滤波综合鉴别函数算法研究

沈学举 王永仲 李英华 陈亚彬

(军械工程学院, 石家庄 050003)

**摘 要** 通过去掉最小平均相关能量匹配滤波器推导过程中对输出相关峰值的约束条件, 定义相关判据, 得出畸变不变相关识别综合鉴别函数形式为维纳滤波函数, 不仅抗噪能力强, 且把非约束匹配滤波器畸变容限大的优点引入其中. 模拟结果表明, 所设计匹配滤波器畸变容限大、抗噪能力强.

**关键词** 畸变不变相关识别; 非约束匹配滤波器; 维纳滤波器

**中图分类号**                      **文献标识码**      A

## 0 引言

空间光调制器 (Space Light Modulator, 简称 SLM) 以及光学相关理论的发展, 使光学相关器 (Vander Lugt 光学相关器、联合变换相关器) 已成为光学图像识别的越来越成熟的技术手段<sup>[1~6]</sup>. 对 Vander Lugt 光学相关器, 匹配滤波器设计是其关键工作之一, 前人已经做了大量工作<sup>[4~8]</sup>, 其中利用综合鉴别函数 (Synthetic Discriminant Function, 简称 SDF) 克服了输入图像相对于训练图像畸变 (旋转和缩放) 引起相关峰迅速下降的问题, 实现了光学相关畸变不变识别. 针对等相关峰综合鉴别函数 (Equal Correlation Peak Synthetic Discriminant Function, 简称 ECPSDF)、最小平均能量 (Minimum Average Correlation Energy, 简称 MACE) MACE 匹配滤波器等设计中存在约束条件的限制, 文献<sup>[6]</sup>在设计滤波器过程中去掉了约束条件, 得出了一种非约束相关匹配滤波器, 称为最大平均相关高度 (Maximum Average Correlation Height, 简称 MACH) 匹配滤波器, 使得匹配滤波器的相关峰高度、畸变容限和抑制噪声能力等特性都有所改善. 维纳滤波器原本是用于图像处理时噪声环境中恢复图像的一种滤波器, Emanuel Marom 和 Hanni Inbar<sup>[7]</sup>将其用于模式识别中制作匹配滤波器时抗噪能力明显增强, 但对图像畸变灵敏. 本文通过去掉 MACE 匹配滤波器<sup>[9]</sup>推导过程中对输出相关峰值的约束条件, 定义相关判据为平均相关峰强度和输出相关面平均能量之比, 求该判据相对于匹配滤波器滤波函数变化时的极大值得出的畸变不变相关识别综合鉴别函数仍为一维纳滤波函数, 称为非约束维纳滤波综合鉴别函数 (Unconstrained Wiener Synthetic Discriminant Function, 简称 UWSDF). 该滤波函数把非约束匹配滤波器的优点引入到维纳

匹配滤波器中, 改善了维纳匹配滤波器对识别图像畸变灵敏的缺点. 模拟结果表明, 所设计匹配滤波器畸变容限较大, 抗噪能力强.

## 1 维纳滤波综合鉴别函数

### 1.1 维纳滤波函数

设输入图像  $i(x, y)$  由目标图像  $r(x, y)$  和噪声  $n(x, y)$  组成, 即有

$$i(x, y) = r(x, y) + n(x, y) \quad (1)$$

模式识别中维纳滤波函数<sup>[7]</sup>为

$$H(u, v) = \frac{R(u, v)^*}{|R(u, v)|^2 + P_n(u, v)} \quad (2)$$

式中,  $R(u, v)^*$  为  $r(x, y)$  傅里叶变换的共轭,  $P_n(u, v)$  为噪声  $n(x, y)$  的功率谱密度.

### 1.2 维纳滤波综合鉴别函数

文献<sup>[6]</sup>中去掉确定原点处相关输出峰值  $g(0, 0)$  的约束条件, 仅求取  $M$  个训练图像的相关输出相对理想相关输出的均方差最小值, 得出理想相关输出应是  $M$  个训练图像相关输出的平均值.

$$g_{opt} = h^+ \bar{X} \quad (3)$$

式中  $g_{opt}$  是理想相关输出的傅里叶变换,  $\bar{X} = \frac{1}{M} \cdot$

$\sum_{i=1}^M X_i$  是  $M$  个训练图像平均值在频域的矩阵表示,  $h$  是复合匹配滤波器的矩阵表示.

对有背景  $n(x, y)$  的  $M$  个输入场景图像  $x_i(x, y)$ , 第  $i$  个输入场景为  $i_i(x, y) = x_i(x, y) + n(x, y)$ , 其傅里叶变换为  $I_i(u, v) = X_i(u, v) + N(u, v)$ . 相关面上平均能量为<sup>[6]</sup>

$$ACE = h^+ \left( \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |X_i|^2 + P_n \right) h \quad (4)$$

式中  $P_n$  是噪声功率谱密度. 平均相关面峰值强度为<sup>[6]</sup>

$$|\bar{g}(0, 0)|^2 = (h^+ \bar{X})^2 = h^+ \bar{X} \bar{X}^+ h \quad (5)$$

由于最佳输出相关面是训练图像平均输出相关面, 可以不考虑使相关峰为一确定值的约束条件, 而是

定义相关判据  $J(h)$  为输出相关面上平均相关峰强度和平均能量(噪音和训练图像在输出相关面上平均能量和)之比

$$J(h) = \frac{h + \overline{XX}^* + h}{h + (\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |X_i|^2 + P_n)h} \quad (6)$$

该值越大, 说明输出相关面上噪音能量相对于相关峰强度越小. 使  $J(h)$  极大得到的滤波函数即为所求匹配滤波器的滤波函数.

令  $J(h)$  对  $h$  的梯度为零, 即  $\nabla_h [J(h)] = 0$ , 得

$$h(u, v) = \frac{\overline{X}^*(u, v)}{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |X_i(u, v)|^2 + P_n(u, v)} \quad (7)$$

式(7)仍为一维纳滤波函数, 和式(2)相比只不过将  $R(u, v)$  换成  $M$  个训练图像的傅里叶谱复振幅分布平均值  $\overline{X}(u, v)$ ,  $|R(u, v)|^2$  换成  $M$  个训练图像的傅里叶谱强度分布平均值  $\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |X_i|^2$ .

## 2 模拟结果及分析

### 2.1 背景噪音模型分析

对匹配滤波器设计中抑制背景噪音对相关点影响问题已有许多文献进行讨论, 但主要处理的是白噪音等, 与实际背景噪音相去甚远. 文献[9, 10]已表明使用从大量不同背景综合得到的噪音模型用于匹

配滤波器设计可以有效的抑制实际噪音影响, 提高匹配滤波器抗噪能力. 噪音模型表示式为

$$N(u, v) = \frac{C}{(1 + \frac{|u|}{a} + \frac{|v|}{a})^2} \quad (8)$$

式中  $a, C$  为常量,  $u, v$  为空间频率. 图 1 为模拟中确定式(8)常量所用背景.

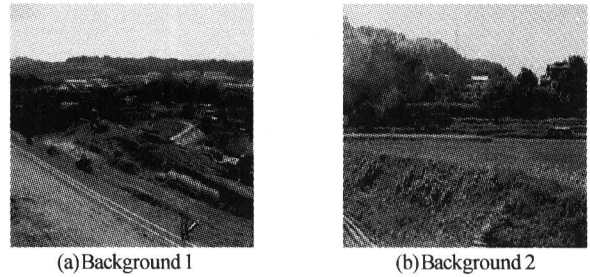


图 1 模拟中所用背景

Fig. 1 Background used in computer simulation

### 2.2 模拟结果及分析

仿真试验中所用图像为一房屋, 如图 2(a). 整幅图像像素数为  $256 \times 256$ . 输入场景是几种不同背景中的小屋, 如图 2(b)~2(e). 用图 2(a) 待识别图像间隔  $5^\circ$  旋转得到训练样本. 匹配滤波器由 6 幅训练样本复合而成, 分别采用 UWSDF 和 ECPSDF 算法设计匹配滤波器, 用图 2(b)~2(e) 四幅图像作为输入场景模拟得到的输出相关面强度分布曲线如图 3, 尽管

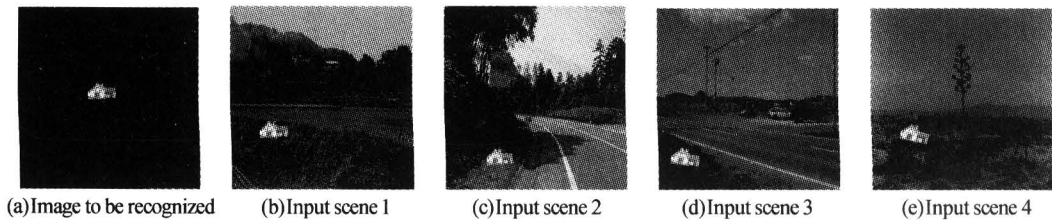


图 2 待识别图像和输入场景

Fig. 2 Image to be recognized and input scenes

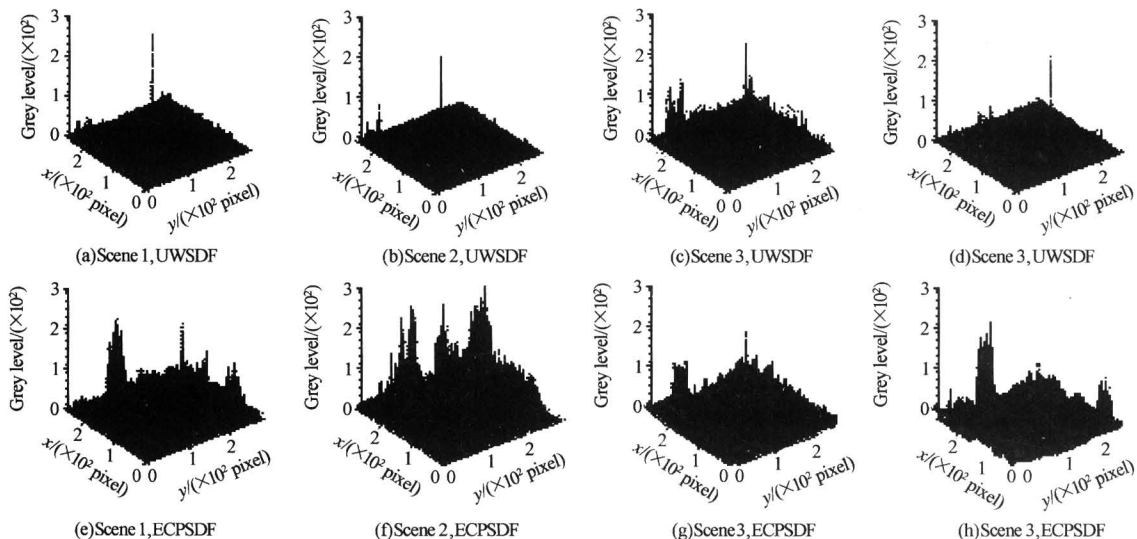


图 3 分别采用 UWSDF 和 ECPSDF 算法时, 图 2 中场景 1~4 对应的输出相关面强度分布曲线

Fig. 3 Scene 1~4 produced intensity distribution on the correlation plane using UWSDF and ECPSDF algorithm respectively

图 2(c)~2(e)中的背景并没有包含在建立噪音模型的背景中但仍然得到较好的抗噪效果. 采用 SNR (信噪比)、PCE(相关峰与相关能量比)来评价匹配滤波器用于光学相关识别时的抑制噪音能力,其定义分别为<sup>[11,12]</sup>

$$\text{SNR} = \frac{\text{相关峰振幅最大值}}{\text{相关峰中小于 } 50\% \text{ 峰值强度点外均方根值}} \quad (9)$$

$$\text{PCE} = \frac{\text{相关峰强度最大值}}{\text{相关面总能量}} \quad (10)$$

用上述指标比较使用 UWSDF 和 ECPSDF 算法制作匹配滤波器的抑制噪音能力,如表 1. 表 1 中输入场景分别是图 2 中的输入场景 1~4. 由于 UWSDF 算法考虑了噪音抑制问题而 ECPSDF 算法没有考虑噪音抑制问题,尽管采用 ECPSDF 算法时相关峰较高,但由于相关输出面噪音较强,因此 UWSDF 算法和 ECPSDF 算法相比,SNR 和 PCE 指标明显增加. 由图 3 和表 1 可看出,采用 UWSDF 算法并利用拟合的噪音模型设计的匹配滤波器比 ECPSDF 算法设计的匹配滤波器其抗噪能力明显提高.

表 1 匹配滤波器性能比较

Different input scene	Filter type	SNR	PCE( $10^{-3}$ )
Input scene 1	UWSDF/ECPSDF	13.2/3.78	2.6/0.218
Input scene 2	UWSDF/ECPSDF	14.2/2.73	3.1/0.113
Input scene 3	UWSDF/ECPSDF	9.48/4.04	1.4/0.249
Input scene 4	UWSDF/ECPSDF	13.25/4.78	2.7/0.347

匹配滤波器的畸变容限是指输入场景中的待识别图像相对于制作匹配滤波器的训练样本发生一定畸变时,输出相关面性能指标降低的情况.

为比较上述两种匹配滤波器的畸变容限,定义相关峰和背景间的对比度为

$$d_k = \frac{\text{相关峰强度} - \text{峰外强度极大值}}{\text{相关峰强度}} \quad (11)$$

当  $d_k > 0$  时,说明相关峰强度大于峰外任意点强度,相关点能被识别. 当  $d_k \leq 0$  时,说明相关峰强度小于或等于峰外强度极大值,相关点不能被识别或错误识别. 用  $d_k$  可以来度量相关点是否能被识别.

用  $d_k$  和相关峰强度随输入场景中待识别目标旋转角度的变化曲线来反映所设计的匹配滤波器的畸变容限. 使用图 2(a)中的待识别图像间隔  $6^\circ$  旋转得到训练样本,分别采用 UWSDF 和 ECPSDF 算法、由 6 幅训练样本复合而成匹配滤波器. 旋转图 2(c)中的小屋得到一系列输入场景,由计算机模拟得到的相关峰强度和  $d_k$  随场景中目标旋转角度变化曲线如图 4、图 5. 为方便比较,图中的相关峰强度和

$d_k$  已归一化. 由图 4、图 5 看出, UWSDF 曲线变化范围小于 ECPSDF 曲线变化范围,且图 5 中 ECPSDF 曲线已出现负值,这些相关点无法正确识别. 表明 UWSDF 匹配滤波器比 ECPSDF 匹配滤波器畸变容限有改善.

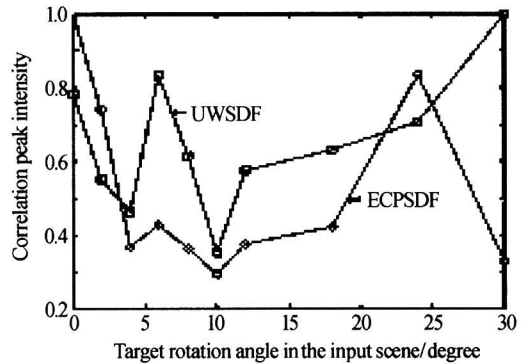


图 4 相关峰强度随输入场景中待识别目标旋转角度变化曲线

Fig. 4 Correlation peak intensity versus target rotation angle in the input scene

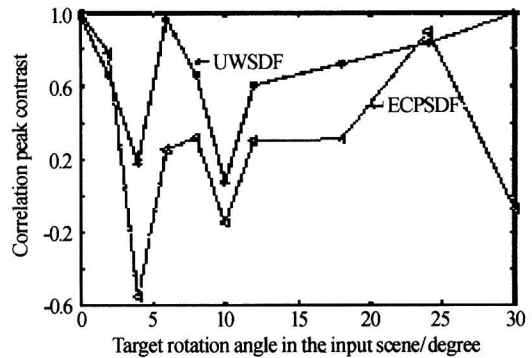


图 5 相关峰对比度随输入场景中待识别目标旋转角度变化曲线

Fig. 5 Correlation peak contrast versus target rotation angle in the input scene

### 3 实验结果及分析

用 2.2 中设计的匹配滤波器, 旋转图 2(b)中的小屋得到输入场景,进行了初步试验. 试验得到的相关点如图 6、图 7. 所用场景 LCD 为 XGA1 型,滤波 LCD 为 XGA2 型,透镜焦距为 400 mm, He-Ne 激光器作光源,波长  $0.6328 \mu\text{m}$ . 滤波器采用迂回相位编码方法<sup>[13]</sup>编制而成. 图 6、图 7 中各图为相关点周围约  $700 \times 440$  像素的面积,并通过改变采集卡亮度设置使背景基本消失而得到的. 由于实验中匹配滤波器和场景中待识别图像付立叶谱对准准确度、准直激光束质量以及光路中元件质量等因素都对相关点有影响,因此试验结果不像模拟结果那么理想. 但图 6 和图 7 中相关点亮度比较也已表明 UWSDF 算法有一定抗噪能力,畸变容限也有改善.

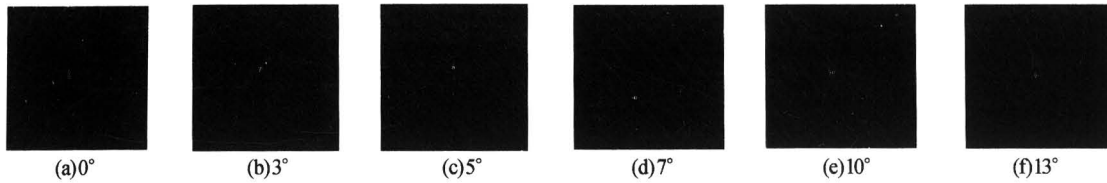


图 6 采用 UWSDF 算法时,不同旋转角度输入场景对应的输出相关点

Fig. 6 Correlation spots produced by input scene of different rotation angle while using UWSDF arithmetic

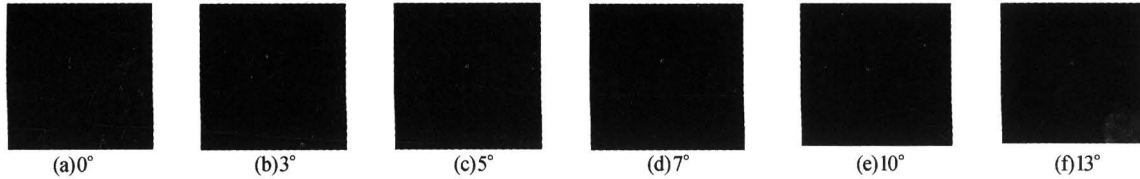


图 7 采用 ECPSDF 算法时,不同旋转角度输入场景对应的输出相关点

Fig. 7 Correlation spots produced by input scene of different rotation angle while using ECPSDF arithmetic

## 4 结论

从模拟结果和初步试验结果可看出,利用 UWSDF 算法和拟合的噪音模型可使匹配滤波器抗噪能力明显提高,其相关峰锐度和畸变容限也有改善.

### 参考文献

- 1 Flannery D L, Hahn Jr W B. TOPS pattern recognition algorithm and their extension to the IR. *Proc of SPIE*, 1995, **2489**:9~19
- 2 余杨,张旭苹. 联合变换相关形态学处理可调节性研究. *光子学报*, 2005, **34**(3): 460~463  
Yu Y, Zhang X P. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(3): 460~463
- 3 李春,安毓英,曾晓东. 一种新的相位编码幅值调节联合变换相关器. *光子学报*, 2003, **32**(30):327~331  
Li C, An Y Y, Zeng X D. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(30):327~331
- 4 任秀云,程欣,刘轩,等. 基于空间光调制器的计算全息成像特性. *光子学报*, 2005, **34**(1):110~113  
Ren X Y, Cheng X, Liu X, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(1):110~113
- 5 Vijaya Kumar B V K. Tutorial survey of composite filter designs for optical correlators. *Appl Opt*, 1992, **31**(23): 4773~4801
- 6 Mahalanobis A, Vijaya Kumar B V K. Unconstrained correlation filters. *Appl Opt*, 1994, **3**(17): 3751~3759
- 7 Marom E, Inbar H. New interpretations of Wiener filters for image recognition. *J Opt Soc Am A*, 1996, **13**(7): 1325~1330
- 8 Mahalanobis A, Vijaya Kumar B V K, Casasent D. Minimum average correlation energy filter. *Appl Opt*, 1991, **30**:561~572
- 9 Tan S, Young R C D, Richardson J D, et al. A pattern recognition Wiener filter for realistic clutter backgrounds. *Opt Commun*, 1999, **172**:193~202
- 10 Tan S, Young R C D. Performance comparison of a linear parametric noise estimation wiener filter and non-linear joint transform correlator for realistic clutter backgrounds. *Opt Commun*, 2000, **182**:83~90
- 11 王肇圻,邵昕欣,母国光,等. 计算全息术制备特种空间滤波器. *中国激光*, 1998, **29**:804~808  
Wang Z Q, Shao X X, Mu G G, et al. *Acta Optica Sinica*, 1998, **29**:804~808
- 12 Vijaya Kumar B V K, Hassebrook L. Performance measures for correlation filters. *Appl Opt*, 1990, **29**(20):2997~3006
- 13 虞祖良,金国藩. 计算机全息. 北京:清华大学出版社, 1984. 48~50  
Yu Z L, Jin G F. *Computer-generated Hologram*. Beijing: Qinghua university Press, 1984. 48~50

## Unconstrained Wiener Synthetic Discriminant Function Arithmetic Research

Shen Xueju, Wang Yongzhong, Li Yinghua, Chen Yabin

*Ordnance Engineering College, ShiJiazhuang 050003*

Received date: 2005-01-07

**Abstract** Constrained condition of output correlation peak value is removed in MACE matched filter, and correlation criterion is redefined. The distortion invariant synthetic discriminant function obtained is wiener filtering function based on correlation criterion to be defined. the filter's sensitivity to input noise and image distortion is reduced. The computer simulation result shows this kind of synthetic filter enhance the distortion tolerance and ability of resisting noise.

**Keywords** distortion invariant correlation recognition; unconstrained matched filter; wiener matched filter



**Shen Xueju** associate professor was born in 1963 and received the M. S. degree from Shandong University in 1989. His current research is focused mainly on the field of optical correlation recognition.