

文章编号 : 0258-7025(2002)10-0941-04

# 基于逆滤波器的旋转不变匹配滤波相关识别

钟黔川, 刘 艺, 王仕璠

(电子科技大学应用物理系, 四川成都 610054)

**提要** 提出了用逆滤波器来进行旋转不变匹配滤波相关识别方法, 采用级联变形滤波器可以实现透射匹配相关峰强度对透射输入能量的优化, 大大改善相关峰的锐度, 计算机模拟结果显示, 对旋转图像, 在平面内按  $0^\circ \sim 32^\circ$  旋转, 每  $4^\circ$  取一灰度图像的旋转不变匹配滤波相关器, 具有较好的相关不变识别性能, 特别是目标图像在部分输入情况下也能较好地识别。

**关键词** 逆滤波器, 透射匹配相关峰强度, 透射输入能量, 旋转不变匹配滤波相关识别

中图分类号 O 438 文献标识码 A

## Rotating Invariance Matched Filtering Correlation Recognition Based on Inverse Filter

ZHONG Qian-chuan, LIU Yi, WANG Shi-fan

(Department of Applied Physics, University of

Electronic Science & Technology of China, Chengdu, Sichuan 610054)

**Abstract** Based on inverse filtering technique, a method of rotating invariance matched filtering correlation recognition is proposed in this paper. Using cascade modified filter method, the optimization of transmitted matched correlation peak intensity to transmitted input energy can be realized. And so the sharpness of correlation peak is improved greatly. The computer simulation results show that for the rotating image, the rotating invariance matched filtering correlator of rotating  $0^\circ \sim 32^\circ$  with  $4^\circ$  interval proposed in this paper possesses good correlation invariance recognition performance, especially the target recognition can still be successfully in progress under the case of partly input target image.

**Key words** inverse filter, transmitted matched correlation peak intensity, transmitted input energy, rotating invariance matched filtering correlation recognition

## 1 引 言

随着光学信息处理技术的不断完善, 光学相关识别技术得到了相当的发展<sup>[1, 2]</sup>。国内外对光学相关器识别的应用研究主要集中在以下几个方面<sup>[2~6]</sup>: 1) 把已有的研究方法应用到具体领域, 比如对车牌照、字符、指纹、坦克模型等的识别, 但研究对象都相对简单, 要么研究模型, 要么研究二值图像。2) 识别集中在对相关峰的改善上, 利用了边缘增强、图像分割、神经网络识别相关峰与互相关峰技术, 除条纹调制滤波外, 对信号处理中常用的滤波方法却很少使用。相关识别主要使用匹配滤波器

(VLC)和联合变换相关器(JTC), 匹配滤波器方法事先需构造复数滤波器, 然后与待识别物体进行相关运算, 通过相关峰输出大小进行识别, 它可方便地实现输入图像的旋转不变和比例识别, 特别对同在一张薄全息图多个目标的识别有明显优势。匹配相关器实现旋转不变通常采用圆谐函数方法, 这一相关识别过程强烈地依赖于极坐标系, 处理非常繁杂<sup>[1]</sup>。本文提出了用文献[3]介绍的逆滤波器来进行相关识别的一种方法。在一般的多路匹配滤波相关器中, 由于各路匹配滤波器处于同一系统中, 相互之间会存在干扰, 这使得相关峰强度远远赶不上单路相关器中的强度<sup>[2]</sup>; 而在多路匹配滤波器基础上级联

收稿日期 2001-06-11; 收到修改稿日期 2001-10-16

作者简介: 钟黔川(1970—), 男, 现于西昌农业高等专科学校信息技术系任教, 硕士, 讲师, 目前主要从事计算机课程教学。

E-mail: qczhong@sina.com

变型滤波器,经过优化处理,两者加起来的效果用一个逆滤波器来代替,使得多路滤波器的相关峰变得非常尖锐,达到较好识别的目的,同时又能实现在平面内按 $0^\circ \sim 32^\circ$ 旋转,每 $4^\circ$ 取一灰度图像的旋转不变匹配滤波相关识别。

## 2 系统原理

基于逆滤波器的旋转不变匹配滤波相关器结构如图 1 所示。识别目标灰度图像经 CCD1 摄取,由计算机送入空间光调制器 SLM1 上显示,经过光学傅里叶变换透镜 (FTL1),与逆滤波器进行光学匹配滤波相关,其结果送入 FTL2 进行逆傅里叶变换,在相关平面 P1 上将得到相关峰。每个逆滤波器是由 9 个样本灰度图像(在平面内 $0^\circ \sim 32^\circ$ 旋转,每 $4^\circ$ 取一样本)经计算机处理得到(512×512 像素),其中样本灰度图像仍由 CCD1 摄取存入计算机。

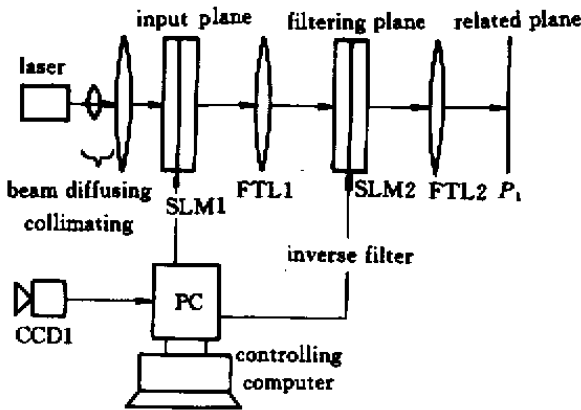


图 1 逆滤波器滤波的旋转不变匹配滤波相关器结构图

Fig.1 Structure of rotating invariance matched filtering correlation recognition based on inverse filter

设合成样本灰度图像函数  $t(x, y)$  是由样本函数  $t_n(x, y), n = 1, 2, 3, \dots, k$  叠加而成

$$t(x, y) = \sum_{n=1}^k t_n(x, y) \quad (1)$$

对应的傅里叶变换由  $T(u, v)$  和  $T_n(u, v) (n = 1, 2, 3, \dots, k)$  表示。 $T_n^*(u, v)$  代表第  $n$  个匹配滤波器,它们构成全息图以形成一多路匹配滤波器  $T^*(u, v)$ 。设  $g_n(x, y)$  是图像  $t_n(x, y)$  的一部分,即待识别目标的灰度图像,  $o_n(x, y)$  为  $t_n(x, y)$  剩余部分,则有  $t_n(x, y) = g_n(x, y) + o_n(x, y)$ 。设图像  $t_n(x, y)$  的像素的总数目为  $m$ , 图像  $g_n(x, y)$  的像

素的总数目为  $n$ , 定义其图像比例关系为

$$b = \frac{n}{m} \quad (2)$$

$g_n(x, y)$  和  $o_n(x, y)$  对应的傅里叶变换由  $G_n(u, v)$  和  $O_n(u, v)$  表示。多路匹配滤波器  $T^*(u, v)$  可写为  $T^*(u, v) = G_n^*(u, v) + [T^*(u, v) - G_n^*(u, v)]$ 。这样多路匹配滤波器可看成两部分组成,一部分来自输入的某一幅部分图像的脉冲响应,另一部分来自其余图像的脉冲响应。

输入  $g_n(x, y)$  和多路匹配滤波器之间的总相关傅里叶变换可表示为

$$\begin{aligned} G_n(u, v)T^*(u, v) &= G_n(u, v) \{G_n^*(u, v) + \\ &[T^*(u, v) - G_n^*(u, v)]\} = \\ &G_n(u, v)G_n^*(u, v) + \\ &G_n(u, v)[T^*(u, v) - G_n^*(u, v)] \end{aligned} \quad (3)$$

(3) 式右端第 1 项代表输入部分图像的自相关,第 2 项代表输入部分图像和多路滤波器的失配。为了优化相关峰锐度,采用多路匹配滤波器级联变形滤波器  $X^*(u, v)$ , 将式(3)变换为

$$\begin{aligned} G_n(u, v)T^*(u, v)X^*(u, v) &= \\ G_n(u, v)G_n^*(u, v)X^*(u, v) &+ G_n(u, v) \\ [T^*(u, v) - G_n^*(u, v)]X^*(u, v) \end{aligned} \quad (4)$$

显然(4)式右端只有第 1 项对匹配相关峰有贡献,第 2 项是互相关项。应设计变形滤波器  $X^*(u, v)$  使(5)式达到最大值

$$\frac{\text{透射匹配峰值强度}}{\text{透射输入能量}} =$$

$$\frac{\left| \int G_n(u, v)G_n^*(u, v)X^*(u, v) d\omega \right|^2}{\left| \int G_n(u, v)T^*(u, v)X^*(u, v) d\omega \right|^2} \quad (5)$$

(5) 式可以表示成(6)式

$$\frac{\text{透射匹配峰值强度}}{\text{透射输入能量}} = \frac{\left| \int w^* z d\omega \right|^2}{\int |z|^2 d\omega} \quad (6)$$

式中

$$\begin{aligned} w^* z &= G_n(u, v)G_n^*(u, v)X^*(u, v), \\ |z|^2 &= |G_n(u, v)|^2 T(u, v)T^*(u, v) \times \\ &X(u, v)X^*(u, v) \end{aligned} \quad (7)$$

根据 Schwartz 不等式可以证明(6)式当  $z = w$ , 即  $w^* z = |z|^2$  时结果得到最大值,从而实现优化。这样由(7)式可得

$$X = \frac{1}{T(u, v)T^*(u, v)} = \frac{1}{|T(u, v)|^2} \quad (8)$$

由上式可知  $X(u, v)$  为实数, 故有  $X(u, v) =$

$X^*(u, v)$  从而有

$$T^*(u, v)X^*(u, v) = 1/T(u, v) \quad (9)$$

于是最优滤波器  $T^*(u, v)X^*(u, v)$  就变成了多路滤波器的逆滤波器  $1/T(u, v)$

这样输入  $g_n(x, y)$  和多路匹配滤波器及级联变型滤波器  $X^*(u, v)$  的总相关的傅里叶变换为

$$G_n(u, v)T^*(u, v)X^*(u, v) = G_n(u, v) [1/T(u, v)] \quad (10)$$

将(10)式右端进行逆傅里叶变换即得相关输出。

对于旋转目标,都可靠近合成样本灰度图像的某一样本图像,从而得到旋转不变的自相关峰输出。

### 3 计算机模拟及分析

图 2(a)所示为目标灰度图像,计算中取目标图像像素的总数目为  $128 \times 128$ , 将它在平面内按  $0^\circ \sim 32^\circ$  旋转,每  $4^\circ$  取一样本灰度图像,由所得 9 个样本灰度图像组成  $512 \times 512$  像素的合成样本灰度图像,如图 3(a)。图 3(a)经傅里叶变换后得多路匹配滤波器,再通过(9)式右端的变换就可变换为逆滤波器。

根据(2)式,当  $b = 1$  时,将图 2(a)(b)所示目

标、非目标灰度图像依次在平面内按  $0^\circ \sim 32^\circ$  旋转,每  $4^\circ$  取一灰度图像,对应于图 3 中旋转角度的目标图像扩展成  $512 \times 512$  像素图像,目标图像和非目标图像共 18 个  $512 \times 512$  像素灰度图像(其旋转  $16^\circ$  的图像如图 3(b)(c))。依次将它们作为待识别的图像,经傅里叶变换并与逆滤波器作用后,再经逆傅里叶变换就得到相关输出。图 4(a)所示为目标、非目标图像与逆滤波器的匹配相关峰输出与不同旋转角度的关系曲线。从图中可以看出,目标、非目标图像相关峰值完全没有交叉,目标图像在旋转不同角度后也能与非目标图像很好地区别开来。

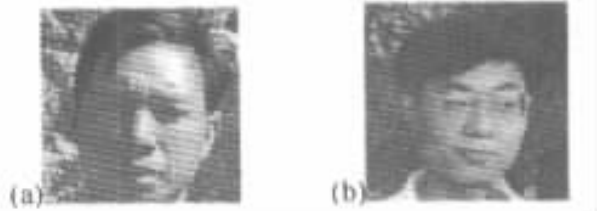


图 2 目标灰度图像  
(a) 目标像 (b) 非目标像

Fig.2 Target intensity image  
(a) target image ;(b) not target image

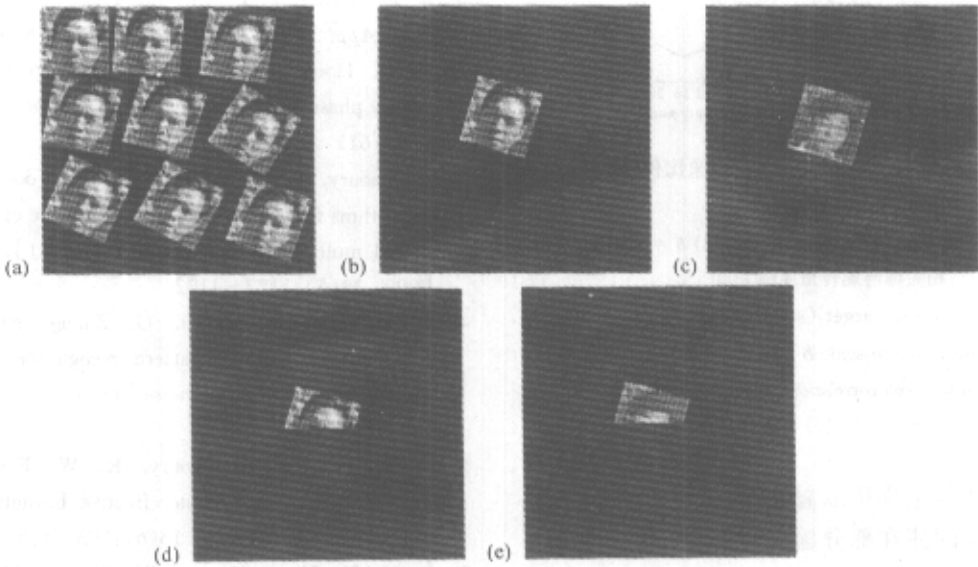


图 3 计算中采用的图像

512 像素的合成样本图像 (b) 旋转  $16^\circ$  的目标像 (c) 旋转  $16^\circ$  的非目标像;  
(d) 旋转  $16^\circ$ ,  $b = 0.5$  的目标像 (e) 旋转  $16^\circ$ ,  $b = 0.5$  的非目标像

Fig.3 Images used in calculation

512 pixels complex sample image ;(b) target image rotated  $16^\circ$  ;(c) not target image rotated  $16^\circ$  ;  
target image rotated  $16^\circ$ ,  $b = 0.5$  ;(e) not target image rotated  $16^\circ$ ,  $b = 0.5$

进一步研究图像尺寸变换对逆滤波器的影响。

由(2)式,当  $b = 0.5, 0.4, 0.3$  时,将图 2(a)(b)的目

标、非目标灰度图像取其像素的总数目的 0.5、0.4、0.3 作为待识别的图像(如图 3(d)、(e)为  $b = 0.5$  时的旋转  $16^\circ$  的输入图像)经过上述类似的匹配滤波相关识别过程,目标、非目标图像相关峰输出与不同旋转角度的关系曲线如图 4(b)、(c)、(d)所示。从图中可以知道,随着所取的图像尺寸在原图像中所占比例的减小,目标、非目标图像对应的相关峰值也越来越接近。但其比例即使到 30%,目标、非目标图像对应相关峰也没有交叉,基于逆滤波器的多路匹配滤波也能正确识别。图 5(a)、(b)所示为  $b = 0.5$ ,图像旋转  $24^\circ$  时目标、非目标图像对应相关输出的三维图像。显然目标与非目标图像相比,前者不管是相关峰大小还是相关峰的尖锐程度都非常好。对于超过  $32^\circ$  的情况,相似的分析可以得出相似的结果。

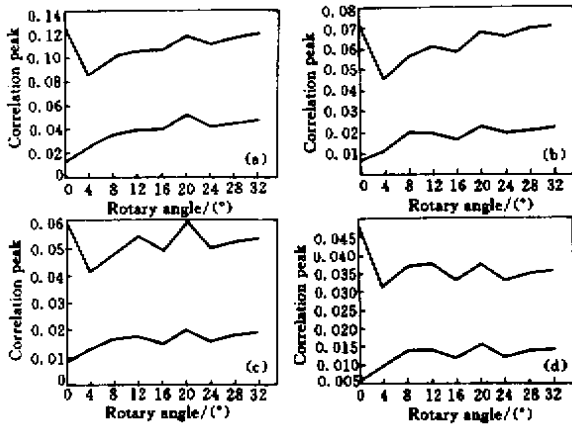


图 4 目标(实线)、非目标(虚线)图像比例  $b$  与相关峰关系

(a)  $b = 1$  (b)  $b = 0.5$  (c)  $b = 0.4$  和 (d)  $b = 0.3$  时相关峰与旋转角度的关系

Fig. 4 Relation of target (solid line), not target (dotted line) image scale  $b$  and correlation peak

The relation between correlation peak and rotary angle

(a) at  $b = 1$ , (b) at  $b = 0.5$ , (c) at  $b = 0.4$ , (d) at  $b = 0.3$

因此,从所得结果可以看出,采用级联变形滤波器后,目标图像即使在部分输入原图像 30% 的情况下也能正确识别,且相关峰非常尖锐;由于合成样本图像包含了目标灰度图像的多种旋转组合,从而实现了旋转不变的相关识别。

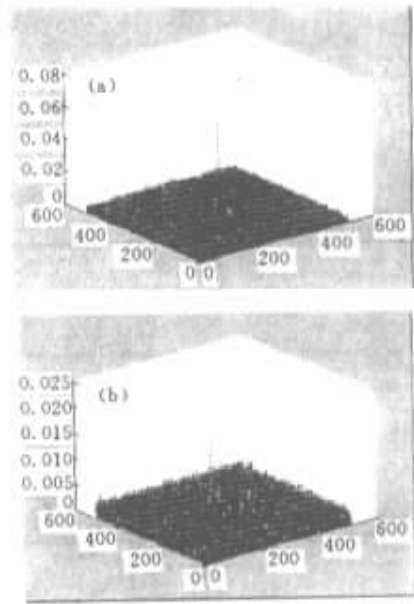


图 5 输入灰度图像与多路匹配滤波器相关输出 (a) 目标像 (b) 非目标像

Fig. 5 Correlation peak of input intensity image and multiplexed matched filter

(a) target image; (b) not target image

### 参 考 文 献

- 1 J. L. Horner, P. D. Gianino. Phase-only matched filtering [J]. *Appl. Opt.*, 1984, **23**(6): 812 ~ 816
- 2 J. L. Horner, J. R. Leger. Pattern recognition with binary phase-only filters [J]. *Appl. Opt.*, 1985, **24**(5): 609 ~ 611
- 3 J. Khoury, P. D. Gianino, C. L. Woods. Modification algorithms for improving the performance of holographically stored multiplexed correlation filters [J]. *Opt. Eng.*, 2000, **39**(5): 1122 ~ 1132
- 4 P. Refregier, B. Javidi, G. Zhang. Minimum mean-square-error filter for pattern recognition with spatially-disjoint signal and scene noise [J]. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(7): 1453 ~ 1455
- 5 N. A. Vainos, J. Khoury, R. W. Eason. Real-time parallel optical logic photorefractive bismuth silicon oxide [J]. *Opt. Lett.*, 1988, **13**(6): 503 ~ 505
- 6 B. V. K. Vijaya Kumar, W. Shi, C. Hendrix. Phase-only filter with maximally sharp correlation peak [J]. *Opt. Lett.*, 1990, **15**(14): 807 ~ 809