

用圆谐综合滤波器实现三重不变 光学图像识别*

杨葆塘

(西北大学, 710035)

程裕

(西北工业大学, 710036)

摘要: 本文在圆谐滤波器算法基础上, 结合综合判别函数提出圆谐综合滤波器, 解决传统匹配空间滤波器对输入目标的几何形变问题。对合成的滤波器进行了计算机模拟和光学相关实验, 结果表明圆谐综合滤波器具有较强的三重不变光学图像识别能力。

关键词: 光学图像识别, 圆谐滤波器, 综合判别函数, 圆谐综合滤波器

Multiple invariant optical pattern recognition using circular harmonic synthetic filter

Yang Baotang

(North-West University, Xi'an)

Cheng Yu

(North-west University of Technology, Xi'an)

Abstract: A novel filter, circular harmonic synthetic filter, is presented to overcome the sensitivity of conventional matched spatial filter to geometrical distortions of the input object. The computer simulation and optical correlation experiments were made for the synthetic filter, and the results showed that the synthetic circular harmonic filter has stronger recognition capability for triple invariant optical patterns.

Key words: optical pattern recognition, circular harmonic synthetic filter

一、引言

光学图像识别(OPR)是近二十多年发展起来的一门新型技术科学, 它在先进防御的空间制导、机器人视觉、工业自动化检测及遥感图片的处理等方面都具有很重要的应用前景。而匹配空间滤波器(MSF)是光学图像识别中的关键元件, 但传统 MSF 只具有平移不变性, 它对输入目标的尺度、旋转等几何形变十分敏感, 从而导致相关输出峰强度和识别率下降, 使传统 MSF 在实际应用中受到限制。Yang^[1]首先提出的最佳圆对称滤波器(OOF)和 Hsu^[2]提出的圆谐滤波器(OHF)解决了旋转形变问题, 其后 Casasent^[3]报道的综合判别函数(SDF)算法在较大程度上克服了输入与参考目标图像之间有形变时相关性性能严重下降的缺点。但用 SDF 综合的滤波器性能却随样本图像数目的增多而下降^[4, 5], 如滤波器的动态范围增大、噪声变得

收稿日期: 1989年7月3日。

* 国家自然科学基金资助项目。

严重及输出信噪比(SNR)降低。本文在上述工作的基础上,提出一种圆谐综合滤波器,以达到用单一空间滤波器实现类内尺度、旋转和平移三重不变的 OPR。这种滤波器的特点是采用圆谐分量(CHO)做样本函数,因此,不需要考虑输入目标的旋转变形,只要选取不同尺度的样本函数,从而大大减少了所需的样本数目,使滤波器具有较好的识别能力和输出 SNR。

二、圆谐综合滤波器的算法

圆谐综合滤波器的算法是选取 n 个不同尺度的标准目标图像,用极坐标表示为 $f_1(r, \theta)$ 、 $f_2(r, \theta)$ 、 \dots 、 $f_n(r, \theta)$, 对它们分别作圆谐展开,则第 K 个目标图像可表示为

$$f_K(r, \theta) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} f_K^{(m)}(r) \exp(jm\theta) \quad (1)$$

式中

$$f_K^{(m)}(r) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f_K(r, \theta) \exp(-jm\theta) d\theta \quad (2)$$

$f_K^{(m)}(r) \exp(jm\theta)$ 就称为第 m 级 CHO, 用 $f_K^{(m)}(r, \theta)$ 表示。将 n 个目标图像的同一级 CHO 做线性组合,得

$$h(r, \theta) = \sum_{K=1}^n a_K f_K^{(m)}(r) \exp(jm\theta) = \sum_{K=1}^n a_K f_K^{(m)}(r, \theta) \quad (3)$$

进一步选取类内模式识别的等相关峰 SDF 算法,即要求对任一输入目标 $f_L(r, \theta)$ 在相关原点满足

$$\begin{aligned} f_L(r, \theta) \star h^*(r, \theta) &= \sum_{K=1}^n a_K^* \int_0^{+\infty} \int_0^{2\pi} f_L^{(m)}(r, \theta) f_K^{(m)*}(r, \theta) r dr d\theta \\ &= \sum_{K=1}^n a_K^* r_{LK} = 1 \end{aligned} \quad (4)$$

上式中 r_{LK} 表示第 L 个与第 K 个样本函数间的原点相关值,称为相关矩阵元。对 n 个不同尺度的样本函数,都可写出类似于(4)式的方程,用矩阵矢量形式表示,有

$$\mathbf{R}\mathbf{a} = \mathbf{u} = \underbrace{[1, \dots, 1]^T}_{n \text{ 个}} \quad (5)$$

式中 \mathbf{R} 是 $n \times n$ 阶相关矩阵,其矩阵元就是 r_{LK} , 矢量 \mathbf{a} 的各个分量就是(4)式中的加权系数 a_K^* , \mathbf{u} 为 $n \times 1$ 阶单位矢量,它对综合滤波器输出起限制作用。满足(3)、(4)式的 $h(r, \theta)$ 就是圆谐综合滤波器的脉冲响应函数,对其做傅里叶变换,再取共轭就得圆谐综合滤波器 $H^*(u, v)$ 。由于这种滤波器的脉冲响应是不同尺度目标图像的同一级 CHO 的线性组合,因此它仍具有 CHF 的旋转和平移不变性。

在圆谐综合滤波器合成过程中,要注意以下两点:

2.1 圆谐分量的提取

不同尺度的标准目标图像必须在同一点提取同一级 CHO, 才能保证在综合尺度范围内,输入不同的类内目标图像时,相关输出的原点强度保持不变和输出面坐标原点位于同一点。展开中心的确定,应使不同尺度目标图像在该点提取的 CHO 的信息含量与在它们各自最佳点展开时相比,损失的越少越好。

2.2 对样本函数数目的要求

应用圆谐综合滤波器算法来识别尺度变化了的输入目标, 需要有覆盖整个图像尺度变化范围内的一系列标准目标图像, 为了避免选择的目标图像太相似而显多余, 我们利用了 Leger 和 Lee^[6] 提出的一个估算公式:

$$N = \frac{\log(b)}{\log\left(1 - \frac{1}{2LB}\right)} + 1 \quad (6)$$

式中 $2L$ 表示目标图像在空域中 x 和 y 方向的尺度, B 表示图像在频域中 u 和 v 方向的空间频率, b 为最小和最大尺度变化因子的比。因此, 在已知综合尺度范围的情况下, 可根据 (6) 式来估算所需的样本函数数目 N 。

三、计算机模拟实验

为了论证圆谐综合滤波器算法的可行性和检验其识别能力, 我们首先对设计的滤波器进行计算机模拟实验。图 1 是模拟实验的流程图, 图中输出 OGH 表示产生圆谐综合滤波器 $H^*(u, v)$ 数据后, 可应用计算机全息技术制做该滤波器, 框图计算 SNR 和能量衍射效率 η_H 是根据相关结果, 算出滤波器两个主要性能参数来定量反映其识别能力。

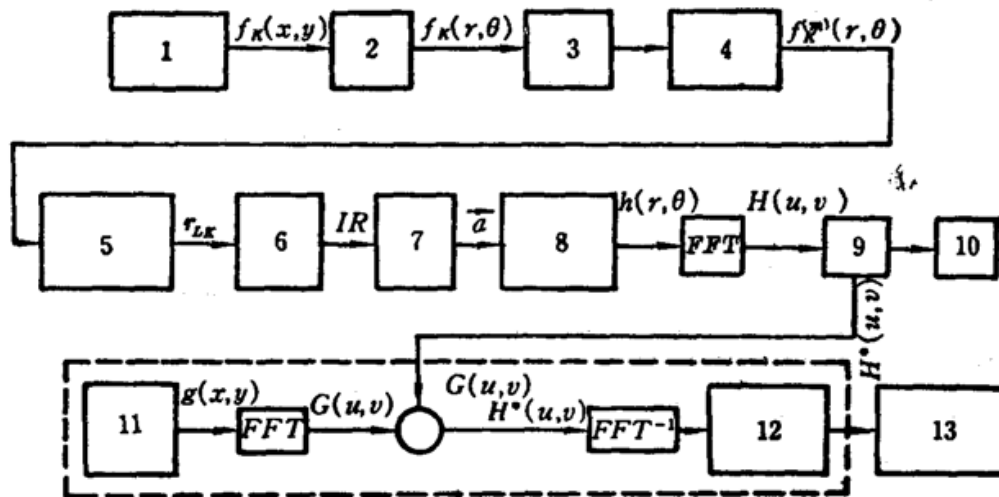


Fig. 1 Test procedure flow chart

1—Standard target input; 2—Coordinate conversion; 3—Extracting circular harmonic components; 4—Constituting the training set functions; 5—Calculating central correlation value; 6—Establishing correlation matrix; 7—Calculating the weighting coefficients; 8—Construction of impulse response of the filter; 9—Conjugate; 10—OGH writer; 11—Input target images; 12—Correlation output; 13—Calculating S/N and η_H

实验选择的标准目标图像是不同尺度的四个二元字母“F”, 如图 2(a)所示, 其尺度比为 2.5:2.0:1.5:1.0, 为了提高滤波器的识别性能, 对图 2(a)所示目标图像采用了边缘增强的形式, 如图 2(b)所示。实验时, 分别提取了图 2(b)所示的目标图像的零级和四级 OHO 做样本函数, 分别合成零级和四级圆谐综合滤波器。图 3 和图 4 为模拟实验结果, 可见两滤波器都具有较好的相关峰, 且四级圆谐综合滤波器的输出峰很尖锐, 有利于更准确地确定输入目标的位置。图 5 和图 6 是输入不同尺度目标时, 滤波器的输出峰强度变化曲线, 该曲线表明在滤波器尺度覆盖范围内 (1~2.5) 输入目标图像时, 相关峰强度在 1.0 上下稍有波动, 滤波器具有

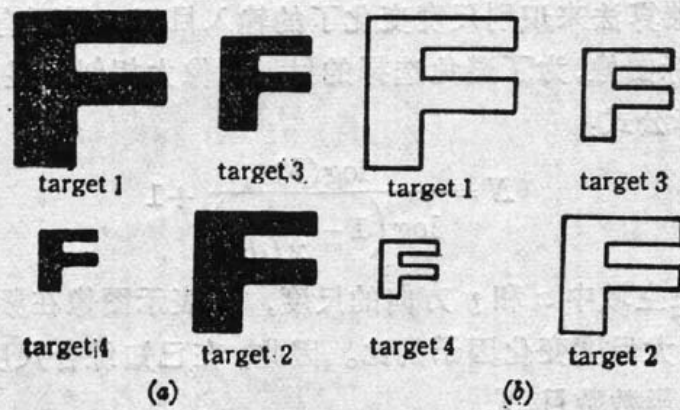


Fig. 2 Standard target input

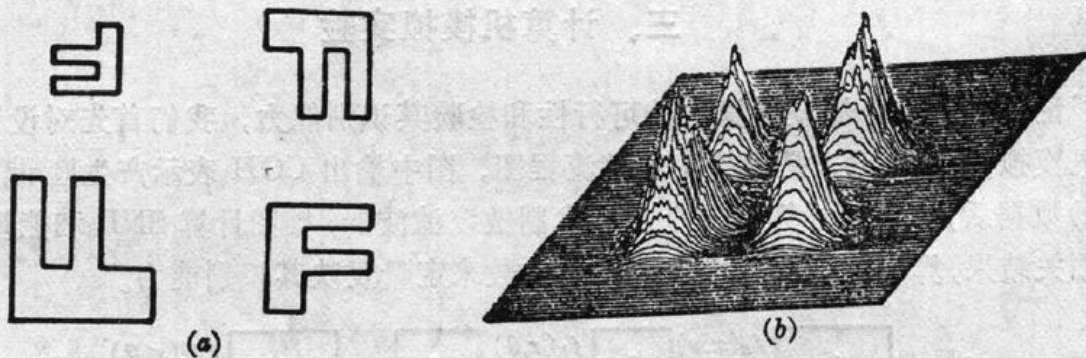


Fig. 3 Zero-order circular harmonic synthetic filter; (a) input image; (b) three-dimensional plot of correlation output

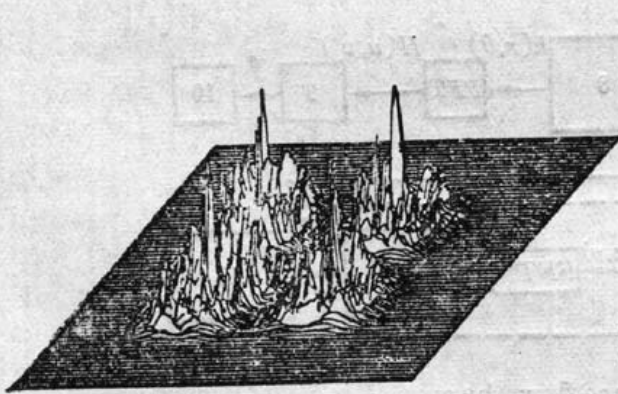


Fig. 4 Four-order circular harmonic synthetic filter's correlation output

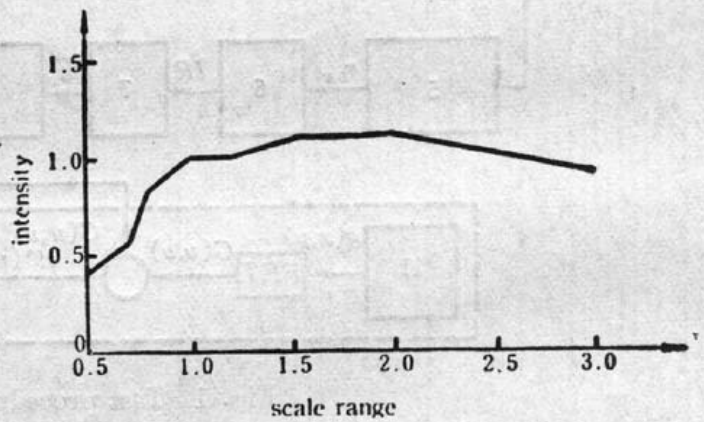


Fig. 5 Intensity of the correlation peak vs the scale change for the zero-order filter

100% 的正确识别率。表 1 给出了部分输出 SNR 和 η_H 的计算结果, 表中目标 5 和目标 6 与目标 4 的尺度比分别为 1.3:1.0 和 1.8:1.0, 采用的输出 SNR^[4]和 η_H ^[7]公式为:

$$SNR = \frac{\text{最大相关峰幅值}}{\text{输出面平均幅度值}} \quad (7)$$

$$\eta_H = \eta_m \frac{\iint_{-\infty}^{+\infty} |f(x, y) \star h^*(x, y)|^2 dx dy}{\iint_{-\infty}^{+\infty} |f(x, y)|^2 dx dy} \quad (8)$$

式中 $f(x, y)$ 是输入目标函数, $h(x, y)$ 是滤波器脉冲响应函数, η_m 是记录介质的衍射效率, 在

本实验计算时取其理想值 1。

至此,计算机模拟实验证明了圆谐综合滤波器的滤波方法是完全可行的。

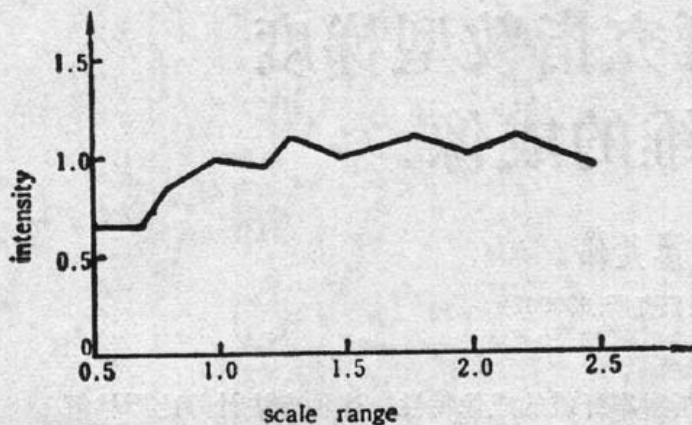


Fig. 6 Intensity of the correlation peak vs the scale change for the four-order filter

Table 1 Signal/noise and energy efficiency for zero-order and four-order filters

Input target		2	3	4	5	6
Zero-order filter	SNR	8.23	10.88	15.28	12.81	8.45
	$\eta_H(\%)$	10.1	9.9	8.2	9.6	10.3
Four-order filter	SNR	9.66	12.43	13.43	12.63	11.63
	$\eta_H(\%)$	8.8	8.6	14.1	10.6	8.7

四、光学实验

我们采用迂回相位编码方式分别制做了二元零级和四级圆谐综合滤波器,将制备好的滤波器放入传统的光学相关系统中进行光学图像识别。图 7 和图 8 是光学实验结果,图中显示的输入目标图像是相关输出面内的再现像。实验结果表明在综合尺度范围内,相关输出面相应输入目标 F 位置处均有很好的相关亮点出现,而对于超出综合尺度范围的最大目标 F 则相关亮点较弱,这与计算机模拟实验结果是一致的,滤波器表现出较强的三重不变光学图像识别能力。

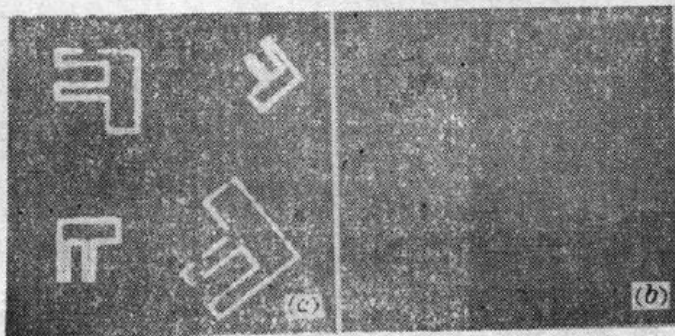


Fig. 7 Correlation output of the optical recognition system for the zero-order filter

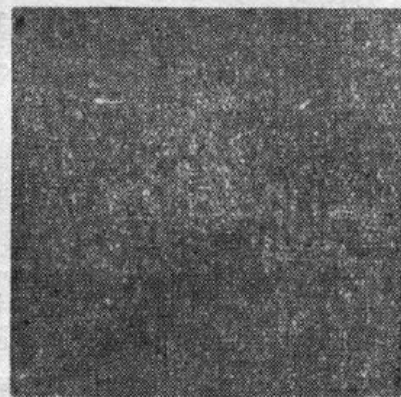


Fig. 8 Correlation output of the optical recognition system for the four-order filter

参 考 文 献

- 1 Y. Yang, Y. Hsu, H. H. Arsenault, *Opt. Acta*, **29**, 627(1982)
- 2 Y. Hsu, H. H. Arsenault *et al*, *Appl. Opt.*, **21**, 4012(1982)
- 3 D. Casasent, W. Rozzi, *Opt. Eng.*, **23**(6), 716(1984)
- 4 D. Casasent, A. Mahalamobis, *Appl. Opt.*, **26**, 2266(1987)
- 5 B. V. K. Vijaya-Kumar, E. Pochapsky, *J. Opt. Soc. Am. A*, **3**, 777(1986)
- 6 J. R. Leger and S. H. Lee, *Appl. Opt.*, **21**, 274(1982)
- 7 J. L. Horner, *Appl. Opt.*, **21**, 4511(1982)