

# 振幅补偿匹配滤波中的旋转 和尺度变化效应

母国光 王肇圻 王许明  
(南开大学现代光学研究所)

## 提 要

本文研究了振幅补偿匹配滤波的旋转效应和尺度变化效应。计算机模拟的结果表明,这种滤波法对输入信号的旋转变化和尺度缩放变化,相对于传统的匹配滤波法及仅相位滤波法要敏感得多。文中还给出了这三种滤波下的相关峰值与旋转角度及尺度因子的关系曲线。

关键词: 特征识别; 匹配滤波。

## 一、引 言

1981年 Oppenheim 和 Lim<sup>[1]</sup>指出,对于图像再现,傅里叶频域中的相位信息比振幅信息具有更大的重要性。Horner 和 Gianino<sup>[2]</sup>将此原理应用于匹配滤波,在1984年报道了仅相位匹配滤波。计算机模拟的结果表明,仅相位匹配滤波具有自相关峰锐、区别能力强、抗噪声等特点。在我们前面的文章中<sup>[3]</sup>发展了这一思想,提出振幅补偿匹配滤波法,并用计算机模拟的方法比较了这种滤波与经典的匹配滤波及仅相位匹配滤波的相关结果,得出结论:振幅补偿匹配滤波具有最强的图形鉴别能力,尤其对差异小的图形鉴别更具优越性,因而在特征识别领域有广泛应用前景。本文进一步研究了在振幅补偿匹配滤波系统中,输入信号的旋转变化和尺度缩放变化对输出相关峰的影响,并和经典的匹配滤波及仅相位匹配滤波进行了比较。计算机模拟的结果说明,振幅补偿匹配滤波系统对信号的旋转变化和尺度变化相对敏感得多,这与它的高鉴别能力相吻合。

## 二、输入信号的旋转和尺度变化灵敏性

为研究三种不同形式滤波的旋转和尺度缩放变化灵敏性,我们选取英文字母“G”作为参考信号制备滤波器,并表示为  $f(x, y)$ 。对于经典匹配滤波(MSF),滤波函数可表示为

$$F_{\text{MSF}}(p, q) = |F(p, q)| \cdot \exp[-i\varphi(p, q)]. \quad (1)$$

其中  $F(p, q) = |F(p, q)| \exp[i\varphi(p, q)]$  是  $f(x, y)$  的傅里叶变换。若旋转变化和尺度变化的输入信号“G”均用  $f'(x, y)$  表示,则输出信号为

$$g_{\text{MSF}}(x, y) = F^{-1}\{F'(p, q) \cdot F_{\text{MSF}}(p, q)\} = f'(x, y) \otimes f(x, y). \quad (2)$$

其中  $F^{-1}$  表示逆傅里叶变换,  $\otimes$  表示相关运算,而  $F'(p, q)$  是  $f'(x, y)$  的傅里叶变换。对

于仅相位匹配滤波(POF), 滤波函数可表示为

$$F_{\text{POF}}(p, q) = \exp[-i\varphi(p, q)], \quad (3)$$

相应的输出信号为

$$g_{\text{POF}}(x, y) = F^{-1}\{F'(p, q) \cdot \exp[-i\varphi(p, q)]\}, \quad (4)$$

对于振幅补偿匹配滤波(ACF), 滤波函数可表示为

$$F_{\text{ACF}}(p, q) = \exp[-i\varphi(p, q)] / |F(p, q)|, \quad (5)$$

相应的输出信号为

$$g_{\text{ACF}}(x, y) = F^{-1}\{F'(p, q) \cdot \exp[-i\varphi(p, q)] / |F(p, q)|\}, \quad (6)$$

由(2), (4), (6)式可知, 当输入信号精确为  $f(x, y)$  时, 对于这三种不同形式的滤波, 从滤波器出射的光场分别以  $|F(p, q)|^2$ ,  $|F(p, q)|$  和常量的振幅变化。这种振幅的变化造成输出光场的空间扩展。对于振幅补偿匹配滤波, 输出光场将是峰很锐的  $\delta$  函数, 这一方面使特征识别具有强的鉴别能力, 另一方面当输入信号在尺度和角度失调时, 输出峰值迅速衰减。为定量研究旋转和尺度缩放变化对相关峰的影响, 我们用计算机进行模拟计算。图 1 绘出了当输入信号绕中心旋转时, 在三种不同形式滤波处理下, 输出相关峰的强度衰减曲线。从图 1 可以看出, 在峰值强度为 70% 的响应点, 经典匹配滤波处理允许旋转角为 20 度, 仅相位匹配滤波允许旋转角为 7.5 度, 而振幅补偿匹配滤波仅允许旋转 5.7 度。振幅补偿匹配滤波对于角度变化的灵敏性优于前两种匹配滤波法。

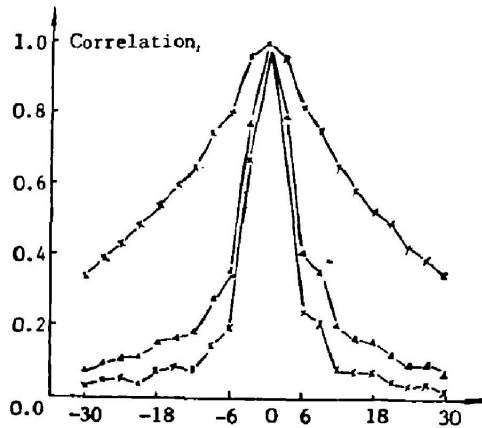


Fig. 1 Correlation verses rotation angle of the input signal

+, matched spatial filter; Δ, phase-only filter;  
x, amplitude-compensated filter

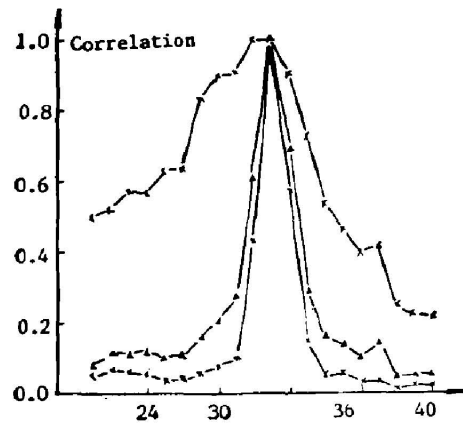


Fig. 2 Correlation verses scaling factor

+, matched spatial filter; Δ, phase-only filter;  
x, amplitude-compensated filter

图 2 绘出了当输入信号发生尺度缩放变化时, 即  $f'(x, y) = f(kx, ky)$  时, 在三种不同形式滤波处理下, 输出相关峰的强度衰减曲线。从图 2 可以看出, 在峰值强度为 70% 的响应点, 经典匹配滤波处理允许尺度因子  $k$  为  $1-0.15 \sim 1+0.07$ , 仅相位匹配滤波允许  $k$  为  $1-0.03 \sim 1+0.03$ , 而振幅补偿匹配滤波仅允许  $k$  为  $1-0.02 \sim 1+0.01$ 。振幅补偿匹配滤波对于尺度变化的灵敏性明显优于前两种匹配滤波法。图 1 和图 2 的曲线不够平滑, 这是由于在 PC-AT 上做计算机模拟时, 所用的二维数组 ( $64 \times 64$ ) 不够大, 因而带来数值计算的误差造成的。

### 三、结 束 语

我们用计算机模拟的方法发现,对于振幅补偿匹配滤波处理,输入信号的旋转变化和尺度变化对输出相关峰的影响十分显著。在特征识别中,这种灵敏性是优点还是缺点,要视具体应用而定。在高精度的特征识别中,这种灵敏性提高了判读的精度;在输入信号的角度坐标和尺度因子不能严格保证不变时,这种灵敏性造成识别的漏判。然而对于有旋转变化和尺度变化的输入信号,可以用其它形式的振幅补偿匹配滤波以保证输出相关峰的不变性。这就是圆谱展开振幅补偿匹配滤波,和梅林变换振幅补偿匹配滤波,它们既能保证判读的精度,又能保持旋转不变性和尺度不变性。关于这两种滤波器我们将另文发表。

#### 参 考 文 献

- [1] A. V. Oppenheim and J. S. Lim; *Proc. IEEE*, 1981, **69**, No. 5 (May), 529~541.
- [2] J. L. Horner and P. Gianino; *Appl. Opt.*, 1984, **23**, No. 6 (Mar), 812~816.
- [3] G. G. Mu, X. M. Wang and Z. Q. Wang; *Appl. Opt.*, 1988, to be published.

### The effects of rotation and scale change with amplitude-compensated filter

MU GUOGUANG, WANG ZHAOLI, AND WANG XUMING  
(*Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin*)

(Received 30 January 1988)

#### Abstract

In this paper, rotation and scaling properties with an amplitude-compensated matched filter is presented. Computer simulations show that this kind of filter is much more sensitive as compared to a matched spatial filter or a phase-only one. Correlations against rotation angle and scaling factor for all the three filters are also presented.

**Key words:** optical pattern recognition; matched spatial filter.