

# 光学 FT 和子波变换在指纹实时识别中的应用研究

王君 王汝笠<sup>V</sup> 华铁均 陈高峰 傅艳红 匡定波

(中国科学院上海技术物理研究所, 青年光电工程研究中心, 上海, 200083)

**A 摘要** 提出一种用  $3f$  多路 ( $3 \times 3$ ) 光学相关器实时识别指纹的新方法, 其特点是能把光学傅里叶变换 (FT) 获取的频谱特征数据同光学子波变换 (WT) 结果相结合进行目标识别. 计算机模拟结果和实验结果表明, 该方法对于快速处理/识别指纹一类较为复杂的图像目标是有效的.

**关键词** 实时识别, 子波变换, 光学模式识别, 光相关器.

指纹识别

0438

Q983.61

## 引言

① 近年来机器视觉和图像理解的研究表明, 在对信号处理之前, 如果先进行信号分解, 将会得到信号的大量有用信息, 信号经傅里叶变换就得到了信号频谱. 而子波变换的特殊性在于子波的核, 子波是多种多样的, 要根据具体应用确定. 傅里叶变换在光学上用 一个傅里叶透镜来实现, 而子波变换在光学上用具有一组子波变换滤波器的光学多路相关器来实现的.

基于光学相关技术的指纹识别系统和使用棱镜作为输入器件的实时指纹识别系统已见报道<sup>[1-3]</sup>. 本文介绍一种将傅里叶变换 (FT) 和子波变换 (WT) 技术结合起来实现复杂指纹图像识别的新方法. 针对指纹这一特殊的复杂图像, 我们采用 Mexican-hat 子波作为子波变换的母子波. 首先用计算机模拟指纹图像子波变换, 并介绍一种具有一组子波匹配滤波器 (WMF) 的  $3f$  多路 ( $3 \times 3$ ) 光学相关器<sup>[4]</sup>, 该系统能够并行实时地实现指纹图像子波变换多路相关识别, 同时可得到输入指纹的傅里叶变换谱. 本文还给出初步实验结果.

## 1 子波变换和子波滤波器

由于指纹图像是二维的, 本文采用二维信号的子波变换. 子波变换的基函数称为子波  $h_{a,b}(x,y)$ , 它是由母子波  $h(x,y)$  经过缩放和平移操作而产生的, 有<sup>[5]</sup>

$$h_{a,b}(x,y) = 1/(a_x a_y)^{-1/2} h[(x-b_x)/a_x, (y-b_y)/a_y]. \quad (1)$$

信号  $s(x,y)$  的二维子波变换为

$$w(a_x, a_y, b_x, b_y) = \text{WT}\{s(x,y)\} = \iint s(x,y) h_{a,b}^*(x,y) dx dy. \quad (2)$$

这里星号 \* 表示复共扼. 该式也可写为

$$w_s(a_x, a_y, b_x, b_y) = 1/(a_x a_y)^{-1/2} \iint s(x + b_x, y + b_y) h^*(x/a_x, y/a_y) dx dy$$

$$1/(a_x a_y)^{-1/2} s(x, y) \star h^*(x/a_x, y/a_y), \quad (3)$$

这里  $\star$  表示相关运算, 二维子波变换  $w_s(a_x, a_y, b_x, b_y)$  的傅里叶变换为

$$W_s(a_x, a_y, b_x, b_y) = F\{w_s(a_x, a_y, b_x, b_y)\} = 1/(a_x a_y)^{-1/2} S(u, v) H^*(a_x u, a_y v), \quad (4)$$

这里  $S(u, v)$  和  $H(u, v)$  分别是  $s(x, y)$  和  $h(x, y)$  的傅里叶变换. 目标信号  $t(x, y)$  的子波变换和参考信号  $r(x, y)$  的子波变换之间的相关运算可以表示为

$$O_w = W_r(a_x, a_y, b_x, b_y) \star W_t(a_x, a_y, b_x, b_y)$$

$$= [1/(a_x a_y)^{-1/2} r(x, y) \star h(x/a_x, y/a_y)] \star [1/(a_x a_y)^{-1/2} t(x, y) \star h(x/a_x, y/a_y)], \quad (5)$$

$O_w$  也可以写为

$$O_w = F^{-1}\{W_r^*(u, v) W_t(u, v)\}$$

$$= F^{-1}\{1/(a_x a_y) T(u, v) H(a_x u, a_y v) R^*(a_x u, a_y v)\}$$

$$= F^{-1}\{T(u, v) \text{WMF}_r(u, v)\}. \quad (6)$$

$F^{-1}\{\}$  表示傅里叶反变换, 其中  $\text{WMF}_r(u, v)$  为

$$\text{WMF}_r(u, v) = 1/(a_x a_y) R^*(u, v) |H(a_x u, a_y v)|^2, \quad (7)$$

$\text{WMF}_r(u, v)$  定义为子波匹配滤波器. 由于子波匹配滤波器是子波技术的关键, 本文将通过计算机模拟给出分别用  $\text{WMF}$  和  $\text{CMF}$  (复值滤波器) 得到的相关结果.

根据式(6), 我们可以用经典的  $4f$  系统来实现目标信号子波变换和参考信号子波变换的相关运算. 如果把目标信号  $t(x, y)$  置于光学相关器的输入平面上, 把子波匹配滤波器 ( $\text{WMF}$ ) 置于傅里叶变换平面上, 从  $\text{WMF}_r(u, v)$  的推导过程可以看出, 在相关器的输出平面上可以得到目标信号子波变换和参考信号  $r(x, y)$  子波变换之间的相关结果. 由式(2),  $h_{x,b}^*(x, y)$  可认为是一带通滤波器, 带通宽度受缩放因子  $a_x$  和  $a_y$  控制. 这样, 信号子波变换之间的相关运算也就体现了它们之间的相似程度. 由于子波变换内在的提取局部特征的性质, 子波匹配滤波器 ( $\text{WMF}$ ) 在模式识别方面通常将比传统的复值匹配滤波器 ( $\text{CMF}$ ) 具有更好的识别能力.

针对指纹这种特殊的图像, 我们采用 Mexican-hat 子波

$$h(x, y) = (1 - x^2 - y^2) \exp(-x^2 - y^2). \quad (8)$$

## 2 计算机仿真模拟

为了证实采用子波匹配滤波器 ( $\text{WMF}$ ) 进

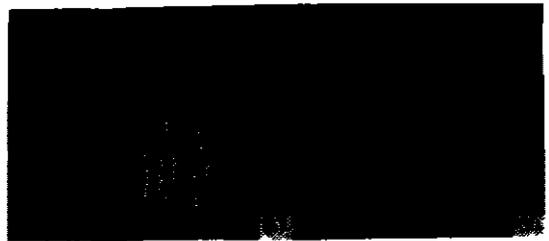


图 1 指纹图像  
Fig. 1 Images of fingerprint

行指纹图像识别的可行性, 我们首先在计算机上进行模拟, 采用的指纹图像如图 1 所示. 图 1(a) 和 (b) 所示的指纹  $f_1(x, y)$  和  $f_2(x, y)$  按  $128 \times 128$  进行采样. 子波函数采用式 (8) 表示的 Mexican-hat 子波. 用图 1(a) 所示的指纹  $f_1(x, y)$  来制作子波匹配滤波器, 得到

$$\text{WMF}_1(u, v) = 1 / (a_x a_y) F_1^*(u, v) |H(a_x u, a_y v)|^2, \quad (9)$$

这里我们选择  $a_x = a_y = 0.05$ . 计算机模拟过程如图 2 所示.

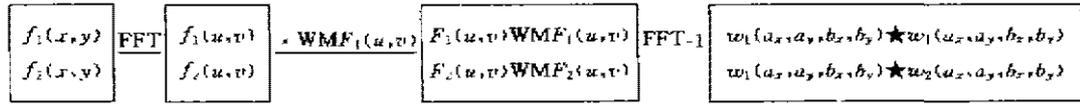


图 2 计算机模拟框图

Fig. 2 Block diagram of the computer simulation

用指纹  $f_1(x, y)$  作为输入图像时, 得到图 3(a) 所示自相关结果; 当用指纹  $f_2(x, y)$  作为输入图像时, 得到图 3(b) 相关结果. 用 CMF 得到的相关结果如图 4 所示.



图 3 (a) 自相关结果, (b) 互相关结果

Fig. 3 (a) autocorrelation, (b) crosscorrelation



图 4 (a) 自相关结果, (b) 互相关结果

Fig. 4 (a) autocorrelation, (b) crosscorrelation

从图 3 和图 4 可以看出, 采用子波匹配滤波器得到的自相关峰要比复值滤波器得到的自相关峰尖锐, 而互相关峰要比复值滤波器更弥散.

### 3 实验系统及实验结果

#### 3.1 实验系统

系统框图如图 5 所示. 该系统由两大部分组成: 一部分完成输入指纹的多路傅里叶变换, 另一部分完成输入指纹的子波变换和 9 个参考指纹子波变换之间的相关.

指纹定位通过三棱镜表面的槽来完成. 用摄像机 (CCD1) 探测指纹, 并把指纹图像显示到监视器 1 上. 监视器 1 上的图像通过透镜 L4 成像到空间光调制器 (LCLV) 上. 激光二极管发出的光通过透镜 L5 和微透镜列阵 L3 产生 9 路不同方向照明光, 通过平面镜 M 和分束镜 L6 在 LCLV 上读出 9 路相干图像, 再经过 L1, 在 L2 平面上得到 9 路傅里叶变换. P1 和 P2 是偏振片. 把子波滤波器列阵器件置于 L2 平面上, 每一子波滤波器对应于一路傅里叶变换. 傅里叶反变换透镜列阵置于子波匹配滤波器列阵之后, 这样在输出平面 P3 上就可实时并行地得到输入指纹的子波变换和多个存于子波滤波器列阵中的指纹子波变换之间的相关

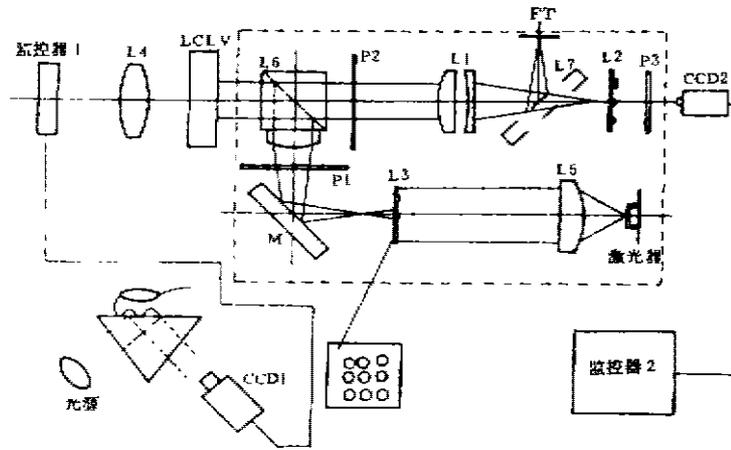


图 5 3f 多路光学相关系统框图  
 Fig. 5 Block diagram of 3f multiple optical correlation system

结果. 相关结果通过摄像机 CCD2 显示于监视器 2 上. 该系统在实现光学相关的同时, 通过一分束镜 L7 在平面 FT 上得到输入指纹的频谱. 把指纹谱和相关结果同时输入计算机, 进行系统识别.

3.2 实验结果

实验得到的图 1(a)和(b)所示指纹的傅里叶变换谱如图 6(a)和(b)所示. 由于指纹的谱体现了指纹纹理的综合信息, 这样就可以通过选择谱的一些特征来对指纹进行识别. 从图 6 可以看出, 我们的系统很容易区分图 1(a)和(b)的指纹. 实验得到的 9 路相干指纹图像如图 7 所示(其中有一微透镜损坏), 有关实验的进一步结果另文报道.

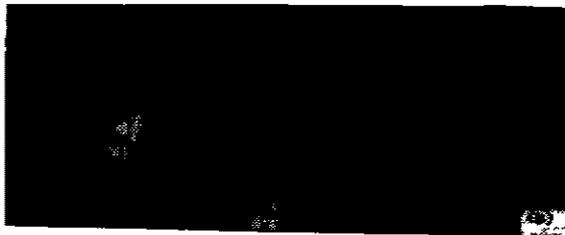


图 6 实验得到的指纹傅里叶变换谱  
 Fig. 6 FT spectra of fingerprint(experimental)



图 7 9 路相干指纹图像  
 Fig. 7 Nine coherent fingerprint images

4 结论

本文介绍了指纹实时识别的光学傅里叶变换技术和子波变换技术, 通过计算机模拟实验证实了子波变换技术在识别指纹这种复杂图像的可行性, 并且介绍了一种具有一组子波匹配滤波器的多路光学相关器, 它可以实时并行地得到输入指纹的子波变换和 9 个存于子

波滤波器阵列器件中的指纹子波变换的相关结果,并同时可以得到输入指纹的傅里叶变换谱. 本文还给出了计算机模拟结果和初步实验结果.

### 参考文献

- 1 McMahon D H, Johnson G L, Teeter S L, *et al.* *IEEE Trans Comput.*, 1975, C-24: 358
- 2 Mangasaryan G R, Khaikin B E, Khitrova V S. *Optics Comm.*, 1977, 22: 169
- 3 Shimizu A, Hase M. *Trans. Inst. Electronic Comm. Eng.*, Japan, 1984, D J67D: 627
- 4 王汝笠, 华铁钧, 王 君, 等. *红外与毫米波学报*, 1993, 12(1): 21~26
- 5 Wen M, Yin S Z, Purwardi P, *et al.* *Optics Comm.*, 1993, 99: 325~330

## RESEARCH OF APPLICATION OF OPTICAL FOURIER TRANSFORM AND WAVELET TRANSFORM FOR REAL-TIME FINGERPRINT RECOGNITION

Wang Jun Wang Ruli Hua Tiejun Chen Gaofeng Fu Yanhong Kuang Dingbo

*(Optoelectronic Engineering Research Center, Shanghai Institute of  
Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)*

**Abstract** A new method which uses  $3f'$  multiple ( $3 \times 3$ ) optical correlator to implement real-time fingerprint recognition was presented. The feature of this method is that it can combine the optical Fourier transform with wavelet transform to implement real-time target recognition. Computer simulations and experimental results show that the method is efficient in fast processing and recognition of complicated fingerprint images.

**Key words** real-time recognition, wavelet transform, optical pattern recognition, optical correlator.