

低定位精度条件下掌纹图像识别

张建新^{1,2}, 苏铁明¹, 华顺刚¹, 欧宗瑛^{*1}

(1. 大连理工大学 精密与特种加工教育部重点实验室, 辽宁 大连 116024;

2. 大连大学 先进设计与智能计算省部共建教育部重点实验室, 辽宁 大连 116622)

摘要: 提出了一种多层次相位相关掌纹识别(HPCPR)算法. 先采用改进的结合相关值位置和大小的方法在整体上匹配和对齐掌纹图像,再用分块的加权相位相关法(WPC)精确匹配对齐后的掌纹图像,实现了低定位精度条件下掌纹图像的有效识别. 算法综合使用掌纹图像的整体和局部特征,且能更快地对齐待匹配图像. 与传统基于相位相关的识别方法相比,该算法既提高了识别的精度,又在识别的效率上获得明显改进. 在 PolyU 掌纹库上的测试结果验证了算法的良好效果.

关键词: 掌纹识别;多层次相位相关;加权相位相关;定位精度

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

0 引言

生物特征识别是当今信息社会中最重要和可靠的身份识别方法之一,掌纹作为生物特征识别中较新的生物特征,可在较低的分辨率下识别,具有良好的可接受性、可分性和稳定性^[1],被有效地用于身份识别. 掌纹图像包含丰富的可用于识别的特征,根据识别用到的特征类型,掌纹图像识别算法大致可以分为基于点特征和线特征的识别、基于统计特征的识别、基于图像纹理特征的识别和基于子空间法的识别.

基于掌纹点特征和线特征的算法提取图像上具有代表性的点或线(特征点和特征线),通过匹配特征点、线集合的方法^[2,3]来识别掌纹. 由于精确的特征点、线提取比较困难,需对图像做复杂的预处理操作(二值化、细化等),一些算法并不提取图像具体的点和线,而是用边缘检测或者模板匹配等方法处理图像,提取处理后图像的统计特征来识别掌纹^[4,5]. 由于掌纹由手掌上的纹线构成,基于线特征的方法也常被认为是掌纹识别的最基本方法. 掌纹图像具有丰富的纹理特征,文献^[6,7]提取掌纹图像的 Gabor 小波特征,对提取的特征编码并匹配相应的特征码,方法一般具有较高的识别精度. 基于子空间的方法^[8,9]将掌纹

图像看做高维空间中的数据,通过变换将图像投影到一个较低维空间,在这个低维空间中对掌纹分类,该类方法具有良好的识别速度且需要的特征存储空间较小;基于子空间识别方法的缺点是需要一定量的训练图像,训练图像的选择对识别的结果影响较大. 上述方法大都对掌纹图像的定位精度要求较高,来自相同手掌间的掌纹图像一般具有较小的旋转和位移差异(称为高定位精度图像). 为避免产生较大旋转和位移差异的掌纹图像(称为低定位精度图像),在图像采集时,常需要用一些辅助装置来限制手掌的旋转、屈伸等变化,这在一定程度上限制了掌纹识别的适用范围. 由于掌纹图像具有可在低分辨率下有效识别的特点,使用广泛采用的数码相机、高分辨率的拍照手机等设备采集到的掌纹图像已经可满足掌纹识别的要求,因此研究低定位精度下的掌纹图像识别存在使掌纹识别技术在较大的范围内应用的可能.

本文以相位相关(phase correlation, PC)^[10]理论为基础尝试解决低定位精度下的掌纹图像识别问题. 相位相关是一种有效的图像匹配方法,它具有内在的平移不变性和对图像亮度变化不敏感的性质,其用于掌纹识别可望较好解决具有较大位移变化的掌纹图像匹配问题. 但是,相位相关法对图像间的旋转变化比较敏感,在识别具有旋转

变化的图像时,常用逐角度匹配的方式^[11,12]来确定最终相关值大小,识别效率较低.实际上,相关值的位置受掌纹图像间的旋转变化影响较小,使用相关值位置和大小结合的方法,可望跨角度旋转匹配图像,从而提高识别的效率.另外,掌纹图像中存在着相似图像,仅在整体上匹配掌纹图像可能会产生错误的识别结果,采用图像局部匹配的方法一般可以较好解决这个问题.

综合以上考虑,本文构建一种多层次相位相关掌纹识别(hierarchical phase correlation palmprint recognition, HPCPR)算法,以期在一定程度上解决具有较大旋转和平移差异的掌纹图像识别问题,并能良好地区分相似掌纹图像.

1 相位相关方法

1.1 相位相关

对于给定的两幅图像 $f(x,y)$ 和 $g(x,y)$, $F(u,v)$ 和 $G(u,v)$ 分别是图像离散 Fourier 变换的结果,则 $f(x,y)$ 和 $g(x,y)$ 的相位相关函数(phase correlation function, PCF)按如下公式计算:

$$\text{corr}_{f,g}(x,y) = \text{real}\{IFFT[M(f,g)]\} \quad (1)$$

$$M(f,g) = \frac{F^*(u,v)G(u,v)}{|F^*(u,v)G(u,v)|} \quad (2)$$

式中: $M(f,g)$ 为图像的互功率谱, $IFFT$ 表示 Fourier 反变化操作, real 表示取实部操作. 相位相关函数的最大值是一个 0 到 1 的值,这个值可以用来表示图像间的相似程度,用 $\text{corr}(f,g)$ 表示. 当 $f(x,y)$ 和 $g(x,y)$ 表示同一幅图像时, $\text{corr}_{f,g}(x,y)$ 称为图像的自相关函数,此时相关值 $\text{corr}(f,g)$ 的大小为 1,如图 1(a).

1.2 相位相关法的特点及应用

相位相关法是一种有效的图像匹配方法,是基于 Fourier 操作的频率域图像匹配方法,具有内在的平移不变性. 如果图像 $f(x,y)$ 和 $g(x,y)$ 之间仅存在着平移变化,且平移量为 (x_0, y_0) ,那么对于图像的相关函数 $\text{corr}_{f,g}(x,y)$,在 (x_0, y_0) 处也会相应产生一个尖锐的峰值,如图 1(b),相位相关法的这个性质可以用来确定图像间的位移;而对于不同图像间的匹配,相位相关函数的值一般比较杂乱,没有明确的规律,如图 1(c).

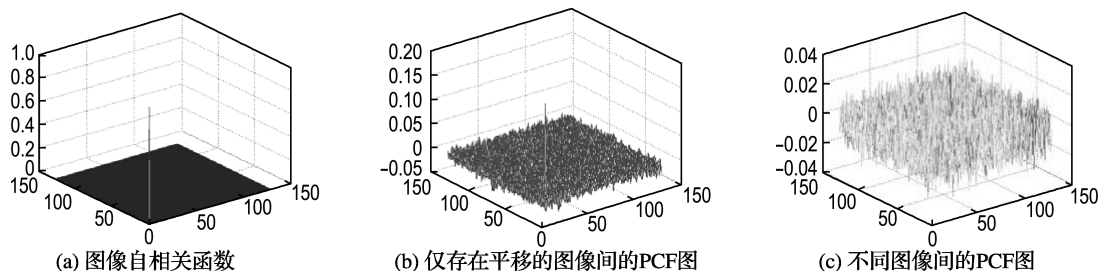


图1 图像相位相关结果示例

Fig. 1 Examples of image phase correlation results

相位相关方法使用的是图像傅里叶变换的相位成分,因而还具有对图像亮度不敏感的特性,在用于图像识别时,一般不需要复杂的预处理操作.此外,方法具有对图像间的旋转变化较敏感的特点,可以用来获得图像间的角度,结合方法本身的位移不变性,而用于图像的配准^[13,14].然而,这个特点使得方法在识别有旋转变化的图像时效率相对较低,无法有效地应用于大规模图像库的辨识.

2 本文的掌纹识别方法

传统的相位相关法难以有效应用于低定位精度下掌纹图像识别,本文在对掌纹图像定位分割后,首先采用改进的结合相关值位置和大小方法快速计算匹配图像间旋转和位移参数,获得对齐参数时的相关值作为初匹配分值;然后根据获

得的位置参数对齐匹配图像,在对齐图像共同区域内,提出使用分块的加权相位相关法(weighted phase correlation, WPC)进一步匹配图像,算法具体流程如图2所示.

2.1 掌纹图像的采集和定位分割

在掌纹图像采集时,一般不是仅仅采集存在掌纹线的手掌内平面区域,而是在一个更大的范围内来采集图像,如还采集部分的手指区域甚至是整个手掌平面,采集到的掌纹图像有时也称为手掌图像.在更大的区域内采集图像的目的在于利用手掌上的不变量信息,如手指、手指间角点等来定位和分割用于识别的掌纹图像,这个分割下的图像称为掌纹感兴趣区域图像,简称掌纹 ROI(region of interest)图像.掌纹 ROI 图像具有归一化的尺寸大小,且对于来自相同手掌的图像

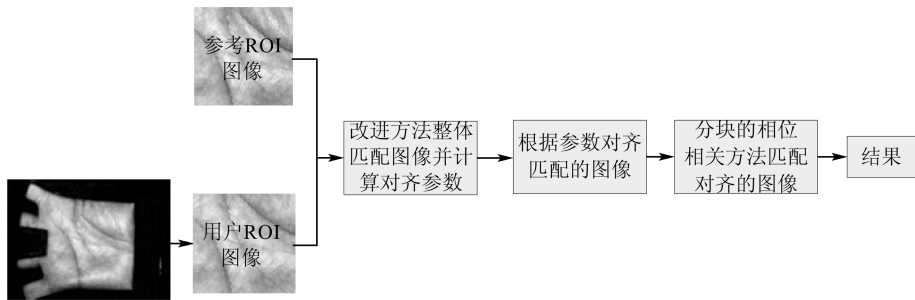


图 2 多层次相位相关的掌纹图像识别算法流程

Fig. 2 Flow chart of the proposed HPCPR algorithm

间应当具有较小的角度和位置差异,从而可以进行有效的识别,掌纹图像定位和分割一般也是掌纹识别的第一步.

由于需要通过手掌上的不变量信息来定位分割掌纹图像,图像定位分割的精度依赖于采集的手掌图像质量.掌纹图像采集时,一般只需将手掌张开,手掌平伸即可,但是这种方式采集到的图像掌纹,由于手掌图像变化相对较大(旋转、手指张开幅度等),掌纹图像定位分割的精度较低,分割后的掌纹图像一般具有大旋转和位移变化;一些方法在掌纹图像采集时使用一些辅助设备,如在手掌放置处设定一些固定的销子,限制手掌的变化,采集到的掌纹图像可以获得较高的定位精度,定位分割后图像间的角度和位置偏差一般在 4 个单位以内.

本文工作在香港工业大学的 PolyU 掌纹库^[15]上进行,图像在采集时使用了固定手掌的辅助设备.用类似于文献[6]的掌纹图像分割方法,采用手指间的两个角点来定位和分割原始掌纹图像,分割后的掌纹图像大小为 128 pixel × 128 pixel,分割下来的掌纹图像具有较高的定位精度;为获得低定位精度图像,在得到准确的定位中心和图像旋转角度后,采用在旋转角度方向移动定位中心位置并改变旋转角度,使用存在一定偏差的定位信息来分割图像的方法.图 3 显示了

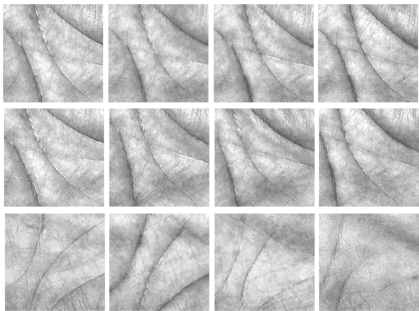


图 3 PolyU 掌纹库中部分掌纹 ROI 图像

Fig. 3 ROI sample images in PolyU Palmprint Database

图像库中一些分割后的掌纹图像,第 1、2 行是掌纹库中一个典型的掌纹图像,其中第 1 行是具有高定位精度下的掌纹图像,第 2 行属于低定位精度条件下的掌纹图像;最后一行显示了图库中部分相似的图像.

2.2 掌纹 ROI 图像整体匹配和对齐

对于存在旋转变化的图像,传统的基于相位相关的识别方法采用在一个限定的角度范围内逐角度地旋转图像,通过匹配所有旋转后的图像,取最大的相关值作为图像间相似度的方法;获得最大相关值时图像的转角为图像间的角度,相关值位置对应图像间的位移,因此在识别的同时还获得了图像对齐的参数;然而由于采用逐角度的搜索方法,在图像间旋转角度较大时方法效率较低.

由于相关值的位置对掌纹图像间的旋转变化相对比较稳定,在正确的匹配角度附近,相关值的位置差异一般在几个像素内;而在其他角度范围里,相关值的位置变化一般比较剧烈,没有明确的规律.本文根据相关值位置的这个特点,提出了结合相关值大小和位置的改进相位相关识别方法,方法采用跨角度(跨度一般为 4°)的旋转和匹配图像来获得图像间角度差的范围,再进一步按传统方法在这个较小范围内获得准确的旋转角度.由于采用了跨角度的角度搜索方法,较传统的相位相关识别方法,改进方法在效率上有较大的提高.方法按如下规则确定图像间的角度范围(或角度可能值):

- (1)相关值位置在限定位移范围内,相关值大小大于设定阈值,对应转角即为图像间角度.
- (2)相邻两个相关值的位置都在限定位移范围内.
- (3)相邻两个相关值的位置差在几个像素内.在条件(2)、(3)均满足的情况下:
- (4)两个相关值大小相差较大,图像间角度为靠近具有较大相关值的那个转角.

(5)两个相关值都较小,应在两个角度的中间处再匹配一次,然后根据结果重新判定。

(6)在条件(5)后,无法做出有效的角度范围判定,若不存在另外满足的角度范围条件,角度靠近条件(5)中具有最大相关值的那个转角。

在条件(2)、(3)不能同时满足的情况下:

(7)相关值位置在限定范围内,角度靠近具有最大相关值的那个角度。

将改进的方法用于掌纹图像整体上的初匹配,获得图像间角度的相关值大小为图像匹配的相似度,对应的相关值位置作为掌纹图像间的对齐参数,并用于对齐图像。

2.3 加权相位相关法匹配对齐图像

掌纹中存在的相似掌纹图像,仅在整体上对图像作相关匹配,可能会产生错误的相似度结果;另一方面,掌纹图像存在着不同程度的扭曲变形,也在一定程度上影响识别的精度,使用图像局部

特征的方法一般可以较好地解决这两个问题,在图像对齐后,提出了分块的加权相位相关方法在局部上进一步匹配共有区域图像。

由于来自相同手掌的掌纹图像,匹配图像间对齐后,每对子块图像之间也是对齐的,对应子块的相位相关函数峰值的位置应该一致,理想情况下应在相关函数的原点处,考虑到掌纹图像存在着扭曲变形和噪声影响,相关值一般会在原点区域附近。而对来自不同手掌的图像,图像整体在一个较优的对齐位置上,但是各个子块之间相对位置会比较杂乱,各个子块的相关值位置变化较大。因而,根据相关值位置的这个特点,采用分块的相位相关法来进一步匹配图像,各个子块的相似度权重系数根据各相关值的位置关系来确定,有效地利用了图像整体上对齐的特点。图4是分块的加权相位相关法掌纹匹配流程示意图。

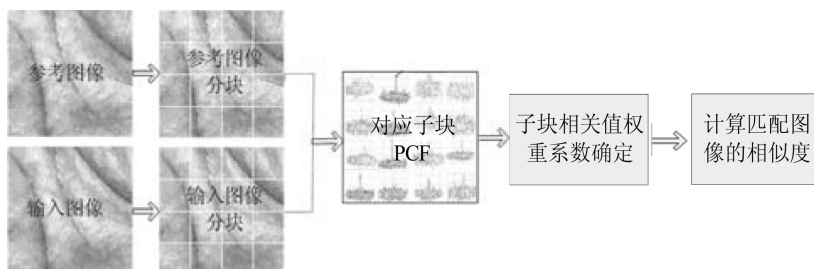


图4 加权相位相关法匹配掌纹图像示意图

Fig. 4 Flow chart of the WPC palmprint recognition algorithm

设定掌纹共同区域图像分别为 R 和 I , R 为参考图像, I 为输入的用户图像,图像大小为 $4M \times 4N$ 。方法首先将图像均分为 4×4 个子块,各子块大小为 $M \times N$, $R_i(x, y)$ 和 $I_i(x, y)$ 用来表示各子块图像。使用相位相关法直接匹配对应的子块图像, $corr_i(R, I)$ 表示第 i 对子块匹配的相关值,相关值的位置为 (x_i, y_i) , w_i 为第 i 对子块的相关值权重系数。图像 R 和 I 总的相似度 $C(R, I)$ 按下式计算:

$$C(R, I) = \frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} w_i corr_i(R, I) \quad (3)$$

对于所有的16个相关值,计算每个相关值位置 (x_i, y_i) 的6个像素内邻居个数,定义中心位置 (x_m, y_m) 为具有最多邻居个数的位置,位置偏差 $(\Delta x_i, \Delta y_i)$ 是 (x_i, y_i) 与 (x_m, y_m) 间差值的绝对值,子块权重系数 w_i 根据下式确定:

$$w_i = \begin{cases} 1; & \Delta x_i, \Delta y_i \leq 3 \\ 0.8; & 3 < \Delta x_i, \Delta y_i \leq 6 \\ 0.6; & \Delta x_i, \Delta y_i > 6 \end{cases} \quad (4)$$

2.4 图像间相似度的确定

图像匹配总的相似度 $S(R, I)$ 可由整体上初匹配相似度 $C_0(R, I)$ 和加权相位相关法获得的相似度 $C(R, I)$ 综合获得:

$$S(R, I) = \omega_0 C_0(R, I) + \omega C(R, I) \quad (5)$$

3 实验

3.1 实验测试库

算法在香港工业大学的PolyU掌纹库上测试。PolyU数据库是目前公开的最大和使用最广泛的掌纹库,数据库图像由在线的CCD设备获得,采集到的原始手掌图像大小为 $384 \text{ pixel} \times 284 \text{ pixel}$ 。测试使用PolyU掌纹库中的1000幅掌纹图像,为100个手掌、每个手掌10幅的手掌图像。为了验证方法的效果,采用对相同图像分割两次的方法,第1次正常地使用获得的定位中心和旋转方向来分割图像;第2次分割时,采用在定位中心位置上沿旋转方向随机加减1到10个

像素,在定位方向上随机加减 1 到 6 个角度的方法,以降低掌纹图像的定位精度.掌纹图像定位分割后,获得两个具有相同掌纹图像的图像库,作为实验测试库使用,命名定位精度较高的图像库为 DB1,定位精度较低的图像库为 DB2.

3.2 实验方法及结果

测试在 AthlonXP2000+,512 MB DDR 内存的 PC 机上进行,程序语言采用 Matlab 6.5.对于每个测试库中的 100 个手掌,相互匹配每个手掌的 10 幅掌纹图像,得到的分值称为真匹配分值,真匹配分值总数为 4 500 个;相互匹配每个手掌的第一幅掌纹图像,得到的分值称为假匹配分值,假匹配分值的总数为 4 950 个.测试使用错误接受率(false acceptance rate, R_{fa})和错误拒绝率(false rejection rate, R_{fr})衡量算法的性能, R_{fa} 与 R_{fr} 相等时的值为等错误率(equal error rate, R_{ee}).

在 DB1 的测试中,比较传统的图像整体匹配的相位相关方法(为方便描述,称为 PC1)和本文提出的加权相位相关图像匹配法,两种方法均不旋转图像.在 DB2 的测试中,比较传统的逐角度旋转和匹配图像的相位相关识别方法(PC2)和多层次相位相关识别方法(HPC),两个方法中图像间限定的角度范围为 $[-10^{\circ},10^{\circ}]$,图像的平移范围为 $[-16,16]$ pixel.表 1、2 分别给出了掌纹验证测试在 DB1 和 DB2 上结果数据.

表 1 DB1 上的测试结果
Tab.1 Experiment results on DB1

方法	$R_{ee}/\%$	$R_{fa}(100)/\%$	$R_{fa}(1\ 000)/\%$	$\bar{t}/s$
PC1	1.38	1.42	1.73	0.019
WPC	0.42	0.40	0.42	0.020

由表 1 可见,对于高定位精度图像,两种方法都具有良好的匹配效率和精度;但是在掌纹图像匹配速度相当的情况下,WPC 较 PC1 在识别的精度上有明显的提高.

表 2 DB2 上的测试结果
Tab.2 Experiment results on DB2

方法	$R_{ee}/\%$	$R_{fa}(100)/\%$	$R_{fa}(1\ 000)/\%$	$\bar{t}/s$
PC2	1.08	1.09	1.49	0.412
HPC	0.69	0.69	0.88	0.126

由表 2 可见,在识别具有较大旋转和位移变化的掌纹图像时,HPC 算法识别的速度约为 PC2 的 3 倍,识别的精度也有所提高.

综合表 1 和 2,在识别精度上,尽管 PC1 是在

高定位精度图像库 DB1 上测试,HPC 是在低定位精度图像库 DB2 上测试,但是由于 PC1 采用的是直接匹配图像的方法,在识别精度上反而低于 HPC 在 DB2 上的测试结果,这也说明传统的相位相关方法受图像间旋转的影响较大;HPC 在 DB2 上获得的精度低于 WPC 在 DB1 上的测试精度,原因主要在于图像间的对齐错误.另外,在识别的效率上,由于识别低定位精度图像时需要旋转图像操作,识别的效率下降较多.

图 5 和 6 分别是方法在 DB1 和 DB2 测试库上的 ROC(receiver operating characteristic)曲线图.

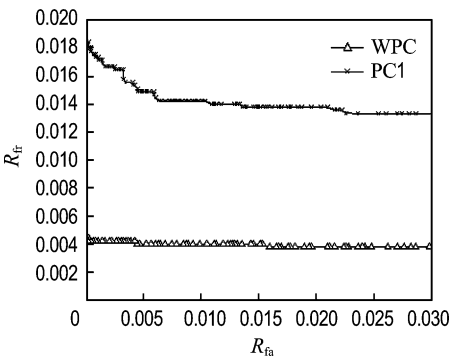


图 5 DB1 上测试的 ROC 曲线图
Fig.5 ROC curve obtained on DB1

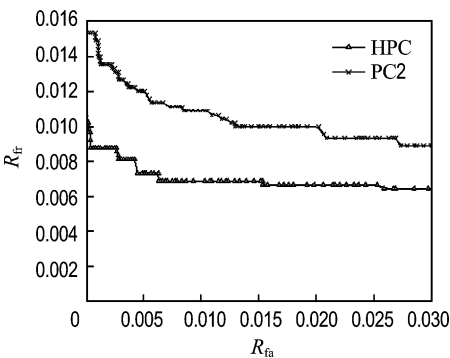


图 6 DB2 上测试的 ROC 曲线图
Fig.6 ROC curve obtained on DB2

4 结 论

本文研究低定位精度下的掌纹图像识别,提出了一种结合图像整体和局部特征的多层次掌纹图像识别方法.通过对传统相位相关识别图像方法的改进,实现了图像整体上的快速匹配和对齐;考虑了图像的局部特征,使用分块的相位相关方法来匹配图像,提出了基于子块相关值位置的相似度权重确定方法,有效地识别了相似掌纹图像

和具有局部扭曲的掌纹图像. 通过将改进的图像对齐方法和分块的加权相位相关方法结合, 在识别的效率上有较大的改善, 同时提高了识别的精度, 满足了低定位精度条件下掌纹图像识别的要求.

参考文献:

- [1] JAIN A K, ROSS A, PRABHAKAR S. An introduction to biometric recognition [J]. **IEEE Transactions on Circuit and System for Video Technology**, 2004, **14**(1):4-20
- [2] ZHANG Da-peng, SHU Wei. Two novel characteristics in palmprint verification; datum point invariance and line feature matching [J]. **Pattern Recognition**, 1999, **32**(4):691-702
- [3] DUTA N, JAIN A K, MARDIA K V. Matching of palmprint [J]. **Pattern Recognition Letters**, 2002, **23**(4):477-485
- [4] HAN C C, CHEN H L, LIN C L, *et al.* Personal authentication using palm-print features [J]. **Pattern Recognition**, 2003, **36**(2):371-381
- [5] WU X Q, WANG K Q, ZHANG D. An approach to line feature representation and matching for palmprint recognition [J]. **Journal of Software**, 2004, **15**(6):869-880
- [6] ZHANG D, KONG W K, YOU J, *et al.* On-line palmprint identification [J]. **IEEE Transactions on PAMI**, 2003, **25**(9):1041-1050
- [7] KONG W K, ZHANG D, LI W X. Palmprint feature extraction using 2-D Gabor filters [J]. **Pattern Recognition**, 2003, **36**(10):2339-2347
- [8] LU G M, ZHANG D, WANG K Q. Palmprint recognition using eigenpalms features [J]. **Pattern Recognition Letters**, 2003, **24**(9-10):1463-1467
- [9] WU X Q, ZHANG D, WANG K Q. Fisherpalms based palmprint recognition [J]. **Pattern Recognition Letters**, 2003, **24**(15):2829-2838
- [10] HORNER J L, GIANINO P D. Phase-only matched filtering [J]. **Applied Optics**, 1984, **23**(6):812-816
- [11] KOICHI I, HIROSHI N. A fingerprint matching algorithm using phase-only correlation [J]. **IEICE Transactions on Fundamentals**, 2004, **E87-A**(3):682-691
- [12] NANDAKUMAR K, JAIN A K. Local correlation-based fingerprint matching [C] // **Proceedings of ICVGIP**. Kolkata: Allied Publishers, 2004:503-508
- [13] TAKITA K, AOKI T, SASAKI Y, *et al.* High-accuracy subpixel image registration based on phase-only correlation [J]. **IEICE Transactions on Fundamentals**, 2003, **E86-A**(8):1925-1934
- [14] 蒋景英, 胡晓东, 徐可欣, 等. 基于掌纹图像相关匹配的重叠定位技术 [J]. **天津大学学报**, 2003, **36**(3):300-303
- [15] The Hong Kong Polytechnic University. PolyU Palmprint Database [DB/OL]. [2007-04-01]. <http://www4.comp.polyu.edu.hk/~biometrics/>

Palmprint recognition using images with low location accuracy

ZHANG Jian-xin^{1,2}, SU Tie-ming¹, HUA Shun-gang¹, OU Zong-ying^{*1}

(1. Key Laboratory for Precision & Non-traditional Machining Technology of Ministry of Education, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2. Key Laboratory of Advanced Design and Intelligent Computing, Ministry of Education, Dalian University, Dalian 116622, China)

Abstract: A hierarchical phase correlation palmprint recognition (HPCPR) algorithm is presented for the low location accuracy palmprint image recognition. The global image matching and alignment are accomplished using the peak value and peak position of phase correlation function, and then a fine matching is realized through computing the weighted phase correlation of all sub-blocks taken from the coincident area of the two images. As HPCPR algorithm employs both global and local features of palmprint image and can quickly align candidate matching images, it outperforms the conventional phase correlation method in both recognition rate and efficiency. Experiments on PolyU Palmprint Database verified the effectiveness of this approach.

Key words: palmprint recognition; hierarchical phase correlation (HPC); weighted phase correlation (WPC); location accuracy