

文章编号 1004-924X(2009)07-1730-07

手指宽度选取与识别率对应关系分析

苑玮琦, 朱春艳, 柯 丽

(沈阳工业大学 视觉检测技术研究所, 辽宁 沈阳 110178)

摘要: 手指宽度是手形识别的有效特征之一, 而选取的测量点个数影响识别的准确率和时间。本文研究了选取手指宽度的个数与识别率、匹配时间的对应关系, 以用于根据不同的识别率要求估计不同人手选取的宽度个数。实验论证了在定位准确、每个手指选取的宽度个数不少于 3 个的条件下, 识别率可以达到 90% 以上。提出了自动识别算法, 利用曲率法定位特征点, 根据特征点计算手指的绝对宽度, 应用绝对宽度之间的相对宽度构成特征向量, 计算特征向量之间的欧式距离, 实现身份识别。实验获得了手指宽度个数与匹配时间的对应关系以及手指宽度个数与识别率的对应关系曲线。结果表明, 每个手指选取 6 个宽度时, 就可以获得区分个体的特征量, 识别率达到 94.03%。

关键词: 生物特征识别; 手形识别; 相对宽度; 匹配时间

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

Analysis of relationship between finger width and recognition rate

YUAN Wei-qi, ZHU Chun-yan, KE Li

(Computer Vision Group, Shenyang University of Technology, Shenyang 110178, China)

Abstract: The finger width is one of the effective features in the hand shape recognition, and the selected measuring points effect on the accuracy and recognition time. This paper researches the relationship among the selected points, recognition rates and matching time to estimate the selected points in different fingers according to different required recognition rates. Obtained results prove that the recognition rate is more than 90% under the conditions of accurate localization and selected points more than 3 in each finger. An automatic recognition algorithm is proposed, in which the curvature is used to localize feature points, then it used to calculate the absolute widths of fingers. After the eigenvectors are formed by the relative widths between two absolute widths, the Euripides distance between the two eigenvectors is computed to implement the feature recognition. Experiments show that feature values can be acquired to distinguish the human's identity when 6 points of each finger are selected, and the recognition rate can reach 94.03%. Experiment results present the two relationship curves of the number of points *vs* the matching time and the number of points *vs* the recognition rate.

Key words: biometrics; hand shape recognition; relative width; matching time

收稿日期: 2008-07-18; 修订日期: 2008-09-11.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 60672078; No. 60472088)

1 引言

手形识别指的是利用手部轮廓的几何图形进行身份识别。在手形识别的历史上,1971年,Ernst 首先设计了一套手形识别系统^[1];同年,Miller 设计了基于手指尺寸特征的识别系统^[2],他们的工作开启了基于手形生物特征识别技术的大门。手形识别在过去的几十年中获得了广泛的应用,但是由于技术上的原因、产品价格上的因素以及外国对中国的技术保密,我国还没有关于手形认证方面的成熟产品,所以这方面的研究是非常必要的。

与其它生物特征识别相比,手形识别的优点在于它的可测量性,即获取手形的轮廓图像后,可以直接测量各部分的尺寸特征。而指纹、掌纹等生物特征识别方法主要依据纹理特征来实现,不具备直观的可测量性。手形图像中包括手指部分和手掌部分,通过人工测量结果显示手指部分的几何特征比较丰富,可以作为身份识别的一部分有效特征。

传统的手形采集方法,多利用固定栓确定手指的方向,一方面会使被测试者感到不卫生,对用户不够友好;另一方面由于手指与固定栓的挤压会影响特征矢量的测量^[3],从而降低识别的准确率。目前利用无固定栓图像的手形识别方法主要有模式匹配法和特征矢量法^[4]两种。前者将手形轮廓表示为特征点集,采用点匹配算法进行认证,特征数多不利于传输和存储,计算量较大;后者通过计算手形不同部位的特征矢量进行匹配认证,计算量小、匹配速度快,但误识率较高^[5]。

针对以上问题,本文应用无固定栓、非接触的手形图库,单独对手指宽度的识别效果进行实验,研究局部特征的特异性。主要完成了3部分工作:(1)对图库中254人2540幅图片进行了测量,证明手指宽度具有特异性,可以作为手形识别中一部分有效特征。(2)研究自动识别算法,对图库中180人1800幅图片进行实验,证明各种宽度选取方式下,自动识别与实际测量方法得出的识别率相差均不超过1.5%,验证了这种算法的可行性。(3)将手指宽度选取的个数与识别率和匹配时间的对应关系进行分析,证明每个手指选取6个宽度时,可以获得区分个体的特征量,达到

94.03%的识别效果。

2 实际测量结果与分析

目前国内外现有的手形识别方法中,没有单独对手指宽度进行研究的成果,所以本文在研究自动识别方法之前,对图库中的手指宽度进行了实际测量,然后应用欧式距离计算识别效果,并对手指宽度个数与识别率对应关系曲线进行了分析。

应用香港理工大学提供的手形数据库,包括254人每人右手10幅图像,对这2540幅图像各手指不同位置的宽度进行测量。首先标记出每个手指的特征点(除去大拇指,其余每个手指包括一个指尖点 T_x , $X=1,2,3,4$ 和两个指根点 V_{UX} , V_{DX}),通过标记的特征点计算各个手指的长度 L_x (如图1),然后将各手指长度等分成 $n+1$ ($n=1,2,\dots,10$)段(以 $n=2$ 为例),计算 n 个等分点处的绝对宽度,4个手指共 $4 \times n$ 个绝对宽度,最后将这 $4 \times n$ 个绝对宽度两两比值,每幅图片计算出 $2n \times (4n-1)$ 维的特征向量。

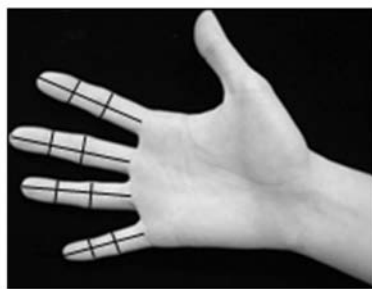


图1 实际测量过程示意图

Fig. 1 Picture of actual measurement process

实验过程中,每个手指选取 n ($n=1,2,\dots,10$)个宽度作为一组实验,应用测量得出的特征向量进行欧式距离的匹配,每组实验都对2540幅图像进行3224530次匹配实验,其中类内匹配11430次,类间匹配3213100次。类内匹配是指来自同一个人手的不同图像进行匹配,类间匹配是指不同人之间手的图像进行匹配。EER(Equal Error Rate)是等错误率,用 $1-EER$ 作为正确识别率的评测准则。将10组实验数据进行比对,得出了手指宽度个数与识别率对应关系曲线,如图2所示。

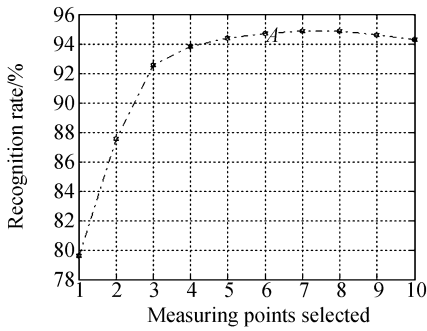


图2 实际测量对应关系曲线

Fig. 2 Relative relation curve of actual measurement

实验证明,手指宽度可以作为手形识别中一部分有效特征,在定位准确、合理选择宽度个数时,理论上可以达到90%以上的识别率。通过曲线显示,识别率在每个手指选取的宽度个数由1(左侧起始点)个增长到6(A点)个时迅速增加,到达A点后,变化趋于平缓,曲线斜率没有明显变化。

3 手指相对宽度的自动识别方法

采用成像装置获取手形(包括手指和手掌)图像,提出下面的识别过程(如图3)。首先在图像上提取手形轮廓;然后定位特征点并依据特征点构成特征向量;最后应用欧式距离进行模式匹配。在整个手形识别过程中,特征向量的提取是识别的关键步骤,直接影响到识别的准确率。



图3 基于手指相对宽度的手形识别系统

Fig. 3 Hand shape recognition system based on finger's relative width

3.1 特征向量的提取

首先通过对手形图像的处理,得到手形的轮廓图像,然后在轮廓上定位指根点和指尖点,最后

应用这些点计算手指的绝对宽度,并利用相对宽度构成特征向量。由于大拇指的活动比较灵活,可能会出现与手掌表面不在同一平面的问题。所以在以后的叙述中不考虑提取大拇指的特征,所提到的4个手指分别指食指、中指、无名指和小指。

3.1.1 定位特征点

曲率是用于平衡曲线弯曲程度的参数,公式为 $K = \Delta\xi/\Delta s$,其中 Δs 代表曲线上弧的长度, $\Delta\xi$ 为曲线上切线变化的角度。如图4所示, $\zeta(s)$ 代表 F 点两侧向量 \mathbf{FF}_1 和 \mathbf{FF}_2 之间的夹角,夹角越大表示该点的曲率越小,曲线弯曲程度越小;夹角越小,表示该点的曲率越大,曲线弯曲程度越大。显然计算 $\Delta\xi$ 不如计算 $\zeta(s)$ 简单,计算公式如下:

$$\xi(s) = \arccos\left(\frac{\mathbf{FF}_1 \cdot \mathbf{FF}_2}{|\mathbf{FF}_1| \cdot |\mathbf{FF}_2|}\right). \quad (1)$$

通过公式(1)的方法计算各点的曲率,目的是确定指尖和指根所在的区域。首先自右向左,逐列扫描手形轮廓图像,找到第一列出现3处轮廓点的位置(如图4所示),并将中间点定为大拇指与食指的交叉点 B 。从 B 点开始沿着手指所在方向的边界遍历各像素点,寻找指根和指尖的区间范围。手指轮廓上各点的曲率值如图5(a)所示,由于指尖和指根的边界曲线弯曲程度比较明显,所以可设定一个阈值(例如2.5),当曲率小于阈值的时候,认为该点属于指根或者指尖所在的区域。遍历结束后寻找到7个曲率变化比较明显的区域,如图5(b)所示。

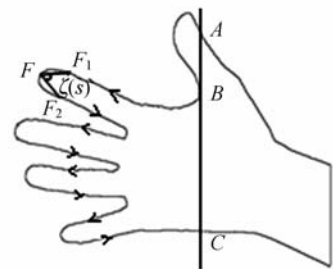
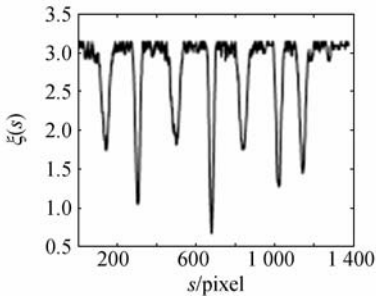


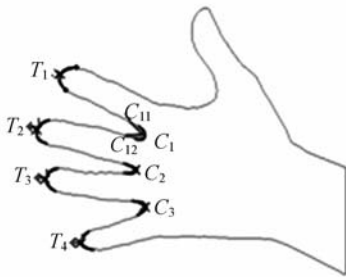
图4 曲率的计算

Fig. 4 Calculation of curvature

然后寻找各区域中间点作为找到的角点 F (即指尖点或指根交叉点)。为了区分各角点 F 是指尖点还是指根交叉点,比较每个区域的起始点 F_1 和终止点 F_2 的横坐标大小。选择横坐标



(a)手指轮廓上各点的曲率值
(a)Curvature of every finger point



(b)曲率变化明显的区域
(b)Obviously change curvature in finger

图 5 寻找曲率变化明显区域

Fig. 5 Searching for obviously changing curvature

较小的一点记为 \min_F' , 再与 F 点的横坐标比较, 如果 F 点横坐标值小于 \min_F' , 则点 F 为指尖点, 否则为指根点交叉点。应用这种方法可以得到 4 个指尖点 $T_i (i=1, 2, 3, 4)$ 和 3 个指根交叉点 $C_i (i=1, 2, 3)$ (如图 5(b))。由于手指根部连接处的非线性活动, 使通过曲率方法找到的指根交叉点只能用于分开邻近手指, 为了准确确定指根点, 需要进一步定位。

(1) 在已确定的指根交叉点 $C_i (i=1, 2, 3)$ 处沿边界向前、向后各扫描若干像素点 (如图 6), 分别为 $C_{i1} (i=1, 2, 3)$ 和 $C_{i2} (i=1, 2, 3)$, 以 C_1 点为例, 连接点 C_1 和 C_{11} , C_1 和 C_{12} , 得到线段 C_1C_{11} , C_1C_{12} , 在点 C_1 和 C_{11} 之间的手形轮廓上, 寻找距线段 C_1C_{11} 最远的点 V_{1D} ; 在点 C_1 和 C_{12} 之间的手形轮廓上, 寻找距线段 C_1C_{12} 最远的点 V_{2U} 。点 C_2, C_3 做类似的操作, 从而得到指根点 $V_{iU} (i=2, 3, 4), V_{iD} (i=1, 2, 3)$ 。

(2) 确定食指和小拇指的外边界指根点。以食指为例, 连接点 T_1 和点 V_{1D} 得到线段 T_1V_{1D} , 以 T_1 为圆心, $|T_1V_{1D}|$ 为半径沿逆时针方向画圆, 与手形轮廓的第一个交点即为食指的外边界点 V_{1U} , 使 $|T_1V_{1D}| = |T_1V_{1U}|$ 。小拇指做类似处理得到外边界点 V_{4D} , 使 $|T_4V_{4D}| = |T_4V_{4U}|$, 从而寻找到 4 个指的指尖点 $T_i (i=1, 2, 3, 4)$ 和指根点 $V_{iU}, V_{iD} (i=1, 2, 3, 4)$ 。

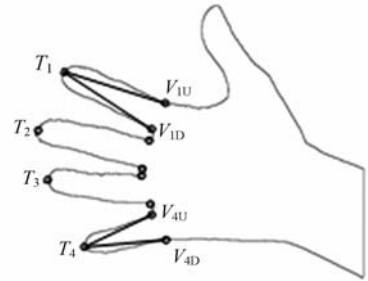


图 6 定位指根点和指尖点

Fig. 6 Localization of fingertip points and valley points

3.1.2 构成特征向量

应用特征点计算手指长度, 连接每个手指两侧的指根点, 并计算各线段的中点坐标 $M_i (i=1, 2, 3, 4)$, 得到 4 个手指长度 $|T_1M_1|, |T_2M_2|, |T_3M_3|$ 和 $|T_4M_4|$ 。然后将各手指长度 $n+1$ 等分, 在等分点位置计算垂直于长度方向的宽度, 每个手指可以计算出 n 个绝对宽度, 4 个手指共得出 $4n$ 个绝对宽度。最后 $4n$ 个绝对宽度两两比值, 得出 $2n \times (4n-1)$ 个相对宽度构成的特征向量。

3.2 计算欧式距离

用户注册的特征向量是 $\{d_i, i=1, 2, \dots, 2n \times (4n-1)\}$, 待识别的特征向量是 $\{d'_i, i=1, 2, \dots, 2n \times (4n-1)\}$, 其中 n 表示每个手指选取的宽度个数, i 表示特征向量的个数, 若待识别的特征向量与用户注册的特征向量之间的欧式距离 Distance 小于阈值 T , 则判断为同一人的手, 否则判断为不同人的手。计算公式为:

$$\text{Distance} = \sqrt{\sum_{i=1}^{2n \times (4n-1)} (d_i - d'_i)^2} \quad (2)$$

该距离越小,表明两个特征向量越贴近。根据实验,可以确定当该距离小于某阈值(例如:0.9)时,认为两者达到匹配标准。

4 实验结果及分析

应用香港理工大学提供的手形数据库,与文中第 2 部分实际测量时用的数据库相同。这个数据库对不同采集时间间隔、不同年龄、不同性别、不同国家的学生和教职员工的的手形进行采集。

抽取 180 人,每人右手 10 幅图片,每个手指取 $n(n=1,2,\dots,10)$ 个宽度为一组共进行 10 组实验。每组应用文中第 3 部分介绍的算法进行实验,对 1 800 幅图像进行 1 619 100 次匹配实验,其中类内匹配 8 100 次,类间匹配 1 611 000 次。1-EER 作为正确识别率的评测准则。将 10 组实验数据进行比对,得出了手指宽度个数与识别率对应关系曲线(如图 7)。

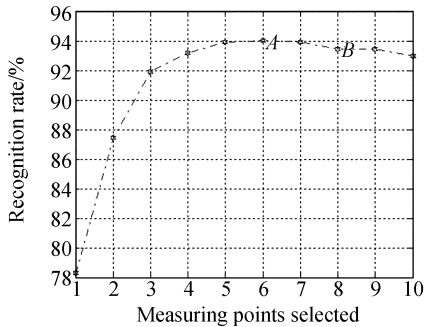


图 7 自动识别对应关系曲线

Fig. 7 Relationship curve of automatic recognition

通过曲线可以看出,自动识别与实际测量得出的关系曲线走势相同,在每个手指选取 3 个以上宽度情况下,可达到 90% 以上的识别率。识别率在每个手指选取的宽度个数由 1(左侧起始点)个增长到 6(A 点)个时迅速增加,说明在此区间内随着宽度个数的增多,可以逐步提取到有效区分个体的特征,提高识别的准确率;到达 A 点后,变化趋于平缓,曲线斜率没有明显的变化,证明每

个手指选取 6 个宽度时,达到比较稳定的识别效果,当宽度的选取个数进一步增多时,匹配时间延长的同时识别率并没有提高;到达 B 点后,随着宽度个数的增多,识别率反而有所下降,说明宽度选取过多时,提取到靠近指尖区域不稳定的宽度特征,反而会降低识别的准确率。自动识别和实际测量得出的识别率对应关系以及自动识别中特征提取时间和匹配时间如表 1 所示。

表 1 实际测量与自动识别对应关系表

Tab. 1 Comparison of actual measurement and automatic recognition

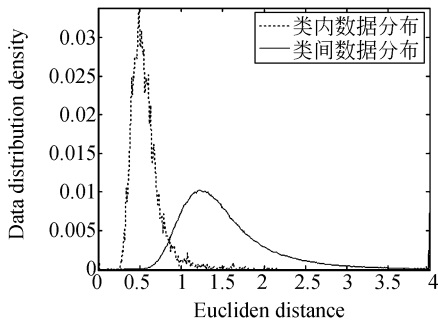
	实际测量		自动识别	
	识别率 (%)	识别率 (%)	特征提取时间(ms)	匹配时间(ms)
1	79.62	78.29	307.50	0.241
2	87.57	87.47	309.06	0.437
3	92.54	91.90	306.72	0.516
4	93.83	93.18	306.56	0.622
5	94.40	93.90	309.69	0.863
6	94.69	94.03	308.91	0.838
7	94.86	93.93	319.07	0.884
8	94.89	93.44	311.09	1.012
9	94.63	93.45	310.31	1.159
10	94.30	92.97	313.44	1.536

通过表格看出:(1)应用文中介绍的自动识别方法,在各种宽度选取方式下得出的识别率与实际测量得出的识别率相差均不超过 1.5%,验证了算法的可行性。(2)随着各手指选取的宽度个数的增加,特征提取的时间没有明显的变化。(3)随着每个手指选取的宽度个数的增加,匹配时间随之增加。

综上所述,结合识别效果与时间的因素,每个手指选取 6 个宽度时,可以获得区分个体的特征,达到比较稳定的识别率。当 $n=6$ 时合法匹配与非法匹配距离分布曲线如图 8(a),等错误率曲线如图 8(b)。

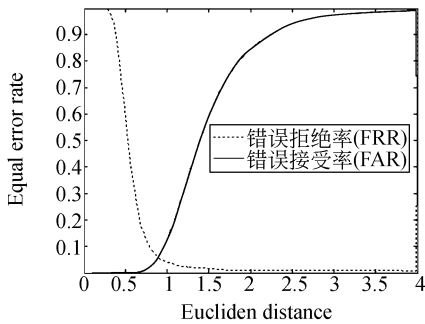
图 8(b)显示,欧式距离越大错误拒绝率越小,错误接受率越大;欧式距离越小错误拒绝率越大,错误接受率越小。在实际使用中,先统计等错误率曲线,然后根据系统要求设定阈值。这种对手形图像局部尺寸特征进行单独提取分析的方法,有利于合理选择各尺寸的权重系数,进行特征

组合的识别,对手形识别的进一步研究具有实际意义。



(a)合法匹配与非法匹配距离分布曲线

(a) Distance distribution curves of legal and illegal matches



(b)等错误率曲线

(b) Equal error rate curves

图8 每个手指取六个宽度时的实验结果

Fig. 8 Results of selecting six widths on each finger

5 结论

本文研究的是手指自然张开状态下、无固定

参考文献:

- [1] ERNST I H. *Hand-ID system: United States*, 3576537[P]. 1971.
- [2] MILLER R P. *Finger dimension comparison identification system United State*, S3576538[P]. 1971.
- [3] 付鹏, 袁正定. 一种新颖的手形特征提取算法[J]. 信号处理, 2003, 19(增1): 324-327.
FU P, QING ZH D. A novel feature extraction algorithm[J]. *Signal Processing*, 2003, 19 (Supp. 1): 324-327. (in Chinese)
- [4] REILLD R S, SANCHEZ-AVILA C, GONZALEZ-MARCOS A. Biometric identification through hand

几何、非接触条件下采集的手形图像,应用实际测量和自动识别方法分别进行实验,研究结果如下:

(1)对图库中的图片进行实际测量,论证手指宽度具有区分个体的能力,在特征提取准确、合理选择宽度个数的情况下,可以达到90%以上的识别效果,可以作为手形识别中一部分有效特征。

(2)应用文中介绍的自动识别算法,在各种宽度选取方式下,得出的识别率与实际测量得出的识别率相差均不超过1.5%,说明这种算法是可行的。

(3)将手指宽度个数与识别率对应关系进行分析,证明每个手指选取6个宽度时达到94.03%的识别率。当宽度个数选取过少时,不能提取到区分个体的特征,不能得到稳定的识别率;当宽度个数的选取过多时,不仅会延长匹配时间,而且会提取到靠近指尖区域不稳定的特征,降低识别的准确率。

综上所述,仅利用手指的相对宽度进行身份识别,已经达到94.03%的识别效果。通过调整阈值的方法,减小阈值可明显降低误识率,如果将这种算法简单、成本低、速度快的识别方法应用于要求不是很高的门禁系统具有绝对的优势。而且手形与掌纹和静脉具有相同的成像装置,如果与其相结合组成多模态识别系统,将显著提高个人身份鉴别的可靠性。

geometry measurements[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2000, 22(10):1168-1171.

- [5] 顾理, 庄镇泉, 郑光勇, 等. 基于特征融合的手形匹配算法[J]. 计算机应用, 2005, 25(10): 2286-2288.
GU L, ZHUANG ZH Q, ZHENG G Y, et al.. Algorithm for hand shape matching based on feature fusion[J]. *Computer Applications*, 2005, 25 (10): 2286-2288. (in Chinese)
- [6] 孙冬梅, 袁正定, 何冰. 一种基于特征点匹配的身份认证方法[J]. 电子与信息学报, 2003, 2(3): 412-418.
SUN D M, QIU ZH D, HE B. Automated identity

verification based on feature points matching of hand shape[J]. *Journal of Electronics and Information Technology*, 2003, 2(3): 412-418. (in Chinese)

- [7] WEI X, TOH K A, YAU W Y, *et al.*. Model-guided deformable hand shape recognition without positioning aids[J]. *Pattern Recognition*, 2005, 38: 1651-1664.
- [8] 聂祥飞, 郭军. 利用 Gabor 小波变换解决人脸识别中的小样本问题[J]. *光学 精密工程*, 2007, 15(6): 973-977.
NIE X F, GUO J. Solution of small sample size problem in face recognition using Gabor wavelet transform[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(6): 973-977. (in Chinese)
- [9] 顾理, 庄镇泉, 万淑超, 等. 手形识别中的手形提取方法[J]. *计算机仿真*, 2005, 22(7): 128-132.
GU L, ZHUANG ZH Q, WAN SH CH, *et al.*. Method of hand shape extracting in hand shape recognition[J]. *Computer Simulation*, 2005, 22(7): 128-132. (in Chinese)
- [10] KUMAR A, WONG D C M, SHEN H C, *et al.*. *Personal verification using palmprint and hand geometry biometric*[M]. *Lecture Notes in Computer Science*, Berlin: Springer, 2003: 1060-1068.
- [11] 聂祥飞, 谭泽富, 郭军. 应用小波变换的人脸光照

补偿[J]. *光学 精密工程*, 2008, 16(1): 150-155.

- NIE X F, TAN Z F, GUO J. Face illumination compensation based on wavelet transform[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(1): 150-155. (in Chinese)
- [12] 顾理, 庄镇泉. 一种基于模板匹配的手形认证算法[J]. *计算机工程与应用*, 2005, 41(6): 85-88.
GU L, ZHANG ZH Q. A method of hand shape verification based on template matching rules[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2005, 41(6): 85-88. (in Chinese)
- [13] 郭振滨, 裴正定. 基于曲线拟合的手形生物特征认证新算法[J]. *计算机研究与发展*, 2005, 42(11): 1870-1875.
GUO ZH B, QIU ZH D. A new hand shape biometric verification method based on curve fitting[J]. *Journal of Computer Research and Development*, 2005, 42(11): 1870-1875. (in Chinese)
- [14] 付树军, 阮秋琦, 穆成坡, 等. 基于非线性扩散滤波的边缘检测和图像测量[J]. *光学 精密工程*, 2007, 15(2): 289-293.
FU SH J, RUAN Q Q, MU CH P, *et al.*. Edge detection for image measurement based on nonlinear diffusion filtering[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(2): 289-293. (in Chinese)

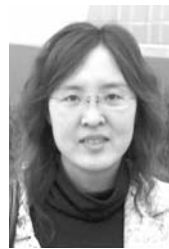
作者简介:



苑玮琦(1960—), 男, 辽宁沈阳人, 博士, 教授, 博士生导师, 1982 年于湖南大学获得学士学位, 1988 年、1997 年于东北大学分别获得硕士、博士学位, 2000 年于哈尔滨工业大学博士后出站, 主要从事图像处理与模式识别、生物特征识别、机器视觉等方面的研究。
E-mail: yuan60@126.com



朱春艳(1982—), 女, 吉林长春人, 硕士研究生, 2006 年、2009 年于沈阳工业大学分别获得学士、硕士学位, 主要从事图像处理与模式识别方面的研究。
E-mail: zhuchy@neusoft.com



柯丽(1977—), 女, 辽宁大连人, 博士, 副教授, 2005 年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位, 主要从事生物医学成像与图像处理、生物特征识别等方面的研究。
E-mail: amykeli@hotmail.com