

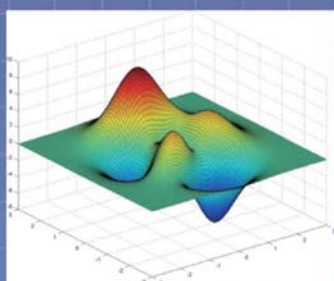


主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

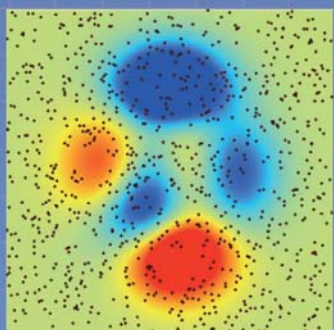
中国图象图形学报

2014
02
VOL.19

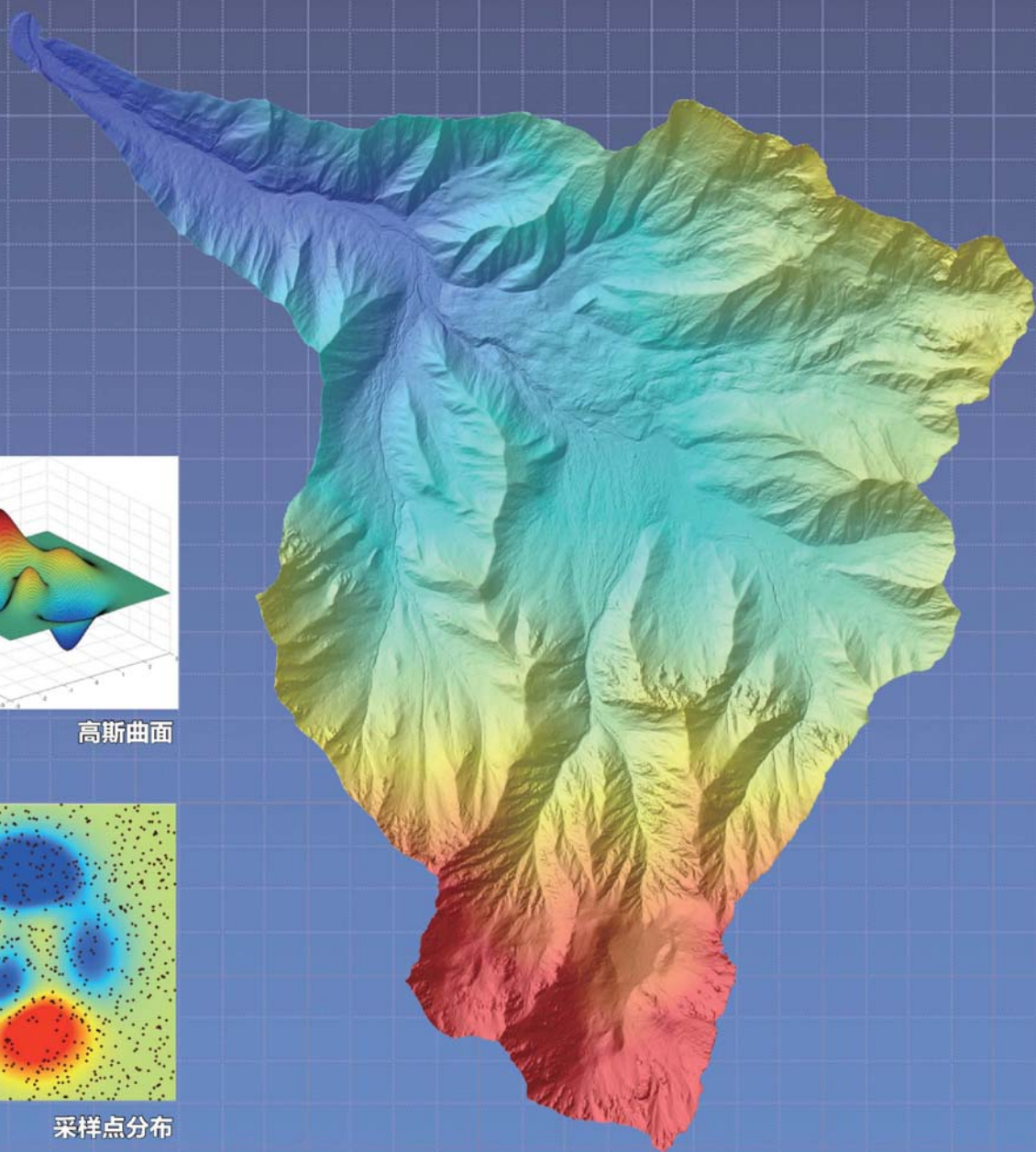
ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



高斯曲面



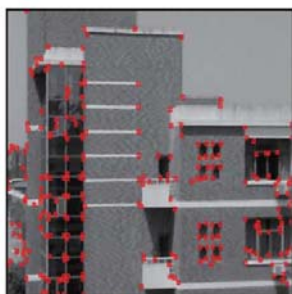
采样点分布



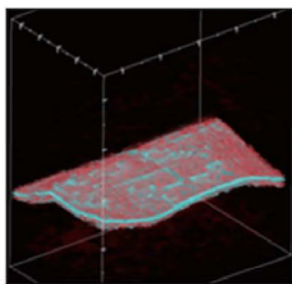
HASM地形模拟 P290



邻域最短距离法寻找最佳拼接缝(第227页)



曲率尺度空间与链码方向统计的角点检测(第234页)



目标特征指导的多分辨率体绘制算法(第283页)

计算机视觉前沿论坛

行为理解的认知推理方法

陶霖密, 杨卓宁, 王国建 0167

深度学习及其在目标和行为识别中的新进展

郑胤, 陈权崎, 章毓晋 0175

图像处理和编码

分布式视频编码中基于改进FCM聚类的相关噪声模型估计

杨春玲, 吴娟 0185

结合一阶自回归滑动平均和压缩感知的视频模型

王教余, 徐小红, 沈仁明, 廖重阳, 杨勋 0194

信息量加权的梯度显著度图像质量评价

徐少平, 杨荣昌, 刘小平 0201

优化加权TV的复合正则化压缩感知图像重建

费选, 韦志辉, 肖亮, 李星秀 0211

消除图像伪轮廓的各向异性自适应滤波

倪婧, 王朔中, 廖纯, 曾兴 0219

邻域最短距离法寻找最佳拼接缝

郑悦, 程红, 孙文邦 0227

图像分析和识别

曲率尺度空间与链码方向统计的角点检测

曾接贤, 李炜烨 0234

基于方向特征的手掌静脉识别

周宇佳, 刘娅琴, 杨丰, 黄靖 0243

复杂环境下高效物体跟踪级联分类器

江伟坚, 郭躬德 0253

图像理解和计算机视觉

均值规范化对比度的局部特征描述符

颜雪军, 赵春霞, 袁夏, 徐丹, 刘凡 0266

计算机图形学

三角域上Said-Ball基的推广渐近迭代逼近

张莉, 李园园, 杨燕, 檀结庆 0275

目标特征指导的多分辨率体绘制算法

郭思奇, 鲁才, 聂小燕 0283

地理信息技术

高精度曲面建模优化方案

赵明伟, 岳天祥, 赵娜 0290

医学图像处理

应用于人体关节缺损修复的建模与可视化

邢慧君, 杨健, 李勤 0297

小邻域统计信息核磁共振医学图像分割模型

张建伟, 方林, 陈允杰, 詹天明 0305

遥感图像处理

结合暗通道原理和双边滤波的遥感图像增强

周雨薇, 陈强, 孙权森, 胡宝鹏 0313

改进NSCT和IHS变换相结合的遥感影像融合

刘慧, 周可法, 王金林, 王珊珊 0322

分段2维主成分分析的超光谱图像波段选择

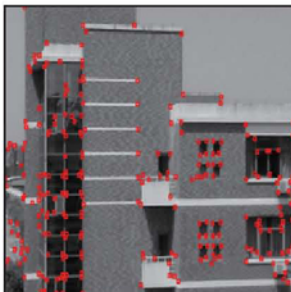
张婧, 孙俊喜, 阮光诗, 刘红喜 0328

CONTENTS

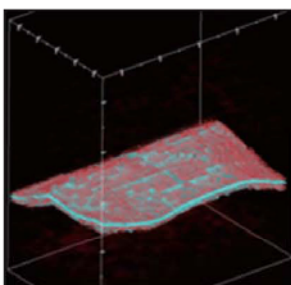
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Finding an optimal seam-line through the shortest distance in the neighborhood(P227)



Corner detection based on curvature scale space and chain code direction statistics(P234)



Target feature based multi-resolution volume rendering(P283)

Forum: Forefront of Computer Vision

Cognitive reasoning method for behavior understanding

Tao Linmi, Yang Zhuoning, Wang Guojian 0167

Deep learning and its new progress in object and behavior recognition

Zheng Yin, Chen Quanqi, Zhang Yujin 0175

Image Processing and Coding

Correlation noise modeling based on improved Fuzzy C-Means clustering in distributed video coding

Yang Chunling, Wu Juan 0185

Compressed sensing video model based on a first-order autoregressive moving average model

Wang Jiaoyu, Xu Xiaohong, Shen Renming, Liao Chongyang, Yang Xun 0194

Information content weighted gradient saliency structural similarity index for image quality assessment

Xu Shaoping, Yang Rongchang, Liu Xiaoping 0201

Compound regularized compressed sensing image reconstruction based on optimal reweighted TV

Fei Xuan, Wei Zhihui, Xiao Liang, Li Xingxiu 0211

False contour suppression with anisotropic adaptive filtering

Ni Jing, Wang Shuozhong, Liao Chun, Zeng Xing 0219

Finding an optimal seam-line through the shortest distance in the neighborhood

Zheng Yue, Cheng Hong, Sun Wenbang 0227

Image Analysis and Recognition

Corner detection based on curvature scale space and chain code direction statistics

Zeng Jiexian, Li Weiye 0234

Palm-vein recognition based on oriented features

Zhou Yujia, Liu Yaqin, Yang Feng, Huang Jing 0243

Efficient cascade classifier for object tracking in complex conditions

Jiang Weijian, Guo Gongde 0253

Image Understanding and Computer Vision

Local feature descriptor based on mean normalized contrast

Yan Xuejun, Zhao Chunxia, Yuan Xia, Xu Dan, Liu Fan 0266

Computer Graphics

Generalized progressive iterative approximation for Said-Ball based on triangular domains

Zhang Li, Li Yuanyuan, Yang Yan, Tan Jieqing 0275

Target feature based multi-resolution volume rendering

Guo Siqi, Lu Cai, Nie Xiaoyan 0283

Geoinformatics

HASM optimization based on the improved difference scheme

Zhao Mingwei, Yue Tianxiang, Zhao Na 0290

Medical Image Processing

Method of modeling and visualization for repairing of osteoarticular defect

Xing Huijun, Yang Jian, Li Qin 0297

Magnetic resonance medical images segmentation based on a local statistical information model

Zhang Jianwei, Fang Lin, Chen Yunjie, Zhan Tianming 0305

Remote Sensing Image Processing

Remote sensing image enhancement based on dark channel prior and bilateral filtering

Zhou Yuwei, Chen Qiang, Sun Quansen, Hu Baopeng 0313

Remote sensing image fusion based on an improved NSCT and IHS transformation

Liu Hui, Zhou Kefa, Wang Jinlin, Wang Shanshan 0322

Segmented 2DPCA algorithm for band selection of hyperspectral image

Zhang Jing, Sun Junxi, Ruan Guangshi, Liu Hongxi 0328

中图法分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2014)02-0243-10

论文引用格式: 周宇佳, 刘娅琴, 杨丰, 黄靖. 基于方向特征的手掌静脉识别[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(2): 243-252. [DOI: 10.11834/jig.20140210]

基于方向特征的手掌静脉识别

周宇佳, 刘娅琴, 杨丰, 黄靖

南方医科大学生物医学工程学院, 广州 510515

摘要: **目的** 针对已有掌脉识别方法中计算复杂度高、未充分提取有效辨识信息的问题, 提出一种计算简单、快速且充分利用掌静脉图像中有效方向信息的识别方法。 **方法** 在构建新邻域模板的基础上, 设计了相应的方向滤波器并优化, 通过提取掌静脉图像的方向特征, 得到了对静脉纹理响应最小的方向滤波器索引值矩阵——方向特征矩阵(OM), 并对其进行编码; 同时采用汉明距离计算方法, 提出了全局匹配算法, 用于识别待测静脉 OM 与数据库中已有 OM 的相似度。 **结果** 构建并优化的邻域模板和方向滤波器, 提高了算法的识别精度, EER 达到 0.000 2%; 同时编码进一步降低了算法的计算复杂度, 特征提取和匹配一次的速度分别为 11 ms 和 4 ms, 提高了算法识别效率并减少存储负担。 **结论** 实验结果表明, 与已有掌静脉识别方法相比, 本文方法在计算复杂度和提取有效辨识信息上有较为明显的优势。

关键词: 手掌静脉识别; 方向特征; 邻域模板; 汉明距离

Palm-vein recognition based on oriented features

Zhou Yujia, Liu Yaqin, Yang Feng, Huang Jing

School of Biomedical Engineering, Southern Medical University 510515, China

Abstract: **Objective** Vein pattern recognition is one of the latest biometric techniques researched today. The new biometric system based on palm veins acquired by an infrared image offers a high level of accuracy. Oriented features are generally extracted as information for palm vein recognition. However, the use of oriented features is not always effective and computational simple. To simplify the computational complexity and make full use of the palm-vein information, a fast and robust approach by extracting oriented features is proposed in this paper. **Method** The images in the PolyU MSPalmprint ROI Database are used as original images. This is followed by the nonlinear enhancement so that the vein patterns from ROI images can be observed more clearly. The background intensity profiles are estimated by dividing the images into 32×32 blocks, and the average gray-levels in each block are computed and resized to the same size as the original image using a bicubic interpolation. Then, the resulting image is subtracted from the original ROI image, besides, CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) is employed to obtain the normalized and enhanced palm-vein image. Small line segments can approximated vessels in palm vein images. The radon transform is an effective tool to identify such line-like palm-vein features. Based on a modified local pattern, the orientation filter, which is derived from Radon transform is improved to extract features. Since the veins appear darker in the palm-vein images, the line direction that results in minimum response is encoded as the dominant direction. Feature matrix composed by the dominant direction is encoded by using 3-bit binary number. With respect to computational complexity, the similarity (also matching scores that range from 0 to 1) between

收稿日期: 2013-05-09; 修回日期: 2013-07-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(61271155); 国家自然科学基金青年基金项目(81000642)

第一作者简介: 周宇佳(1990—), 女, 南方医科大学生物医学工程专业硕士研究生, 主要研究方向模式识别、图像处理。E-mail: zyj_shmily@sina.com

通信作者: 刘娅琴, E-mail: liuyq@fimmu.com

probe images and gallery images is calculated by combining the Hamming distance and global matching methods. As a result, we identify the probe images by setting a threshold for the Matching scores. **Result** The modified local pattern proposed in this paper has a better performance in extracting palm-vein texture information. By optimizing the orientation filter, the EER is further improved to 0.0002 % from the images of the PolyU database, which conforms the rotation invariance of the proposed approach. In addition, with the use of encoding and global matching methods, we achieved a speed of 11 ms and 4 ms in feature extracting and matching for each image, respectively. Besides, the proposed method can also achieve good performance under the condition of poor image enhancement. Finally, experimental results show that the proposed approach can improve the speed and the accuracy of the palm-vein recognition system. **Conclusion** Radon transform is widely used in texture analysis. However, when used in palm-vein recognition, it still needs much improvement for better identifying line-like palm-vein features. We propose an improvement for a better use of the Radon transform in oriented features extracting. With respect to the speed of the recognition, encoding and global matching are used in this paper. Compared with other palm-vein recognition methods, the experimental results presented in this paper conform the superiority and robustness of the proposed approach in terms of both computational complexity and the use of palm-vein oriented information.

Key words: palm-vein recognition; oriented features; template of neighborhood; hamming distance

0 引言

随着生命科学和信息科学的不断发展,生物特征识别技术已经成为执法部门进行案件侦破、罪犯认证的一种有力工具,并且逐渐应用到人们的日常生活中。生物特征识别利用人体固有的生理或行为特征实现身份的自动识别。掌静脉识别基于血管结构进行一致性判断,因其具有抗干扰性、难伪造、特征信息丰富且唯一等良好性质,成为近十年来新兴生物特征识别技术之一,得到业内人士的广泛关注^[1]。

掌静脉识别方法通常分为3类:第1类是基于静脉局部模式,提取静脉骨架拓扑结构^[2-6]:如文献[2]基于邻域方向信息提取静脉骨架;文献[3]基于手掌静脉特征点,进行点模式匹配;文献[4]基于局部灰度极小值自动分割出静脉拓扑结构。这类方法基本思想是通过静脉图像二值化,提取静脉骨架关键点(如端点、分叉点)、几何特征等,进而匹配识别。此类方法原理简单,计算速度快且计算复杂度低,但其提取的特征对光照等变化的鲁棒性不强,因此识别精度不高。第2类是基于子空间学习法^[7-9]:如主成分分析法^[7](PCA)、局部保持投影法^[8](LPP)、尺度不变特征变换^[9]SIFT(scale invariant feature transform)等方法。此类方法基于不同的子空间,将静脉图像投影到相应子空间,以子空间各个系数作为识别特征。但子空间的方法没有考虑掌静脉图像自身特点,且需要多个训练样本,制约了其对小样本的识别性能。第3类是基于纹理分析方法,提取掌静脉图像的方向、频率、相位、幅度等纹理特

征^[10-16]:这类方法大多借鉴掌纹识别方法,通过各种滤波器提取静脉图像纹理特征,编码纹理特征并进行匹配识别。它有3个核心步骤:滤波器选择、编码方式、匹配方式。对于滤波器的选择,现应用于掌脉的有正交高斯滤波器^[10]、多尺度匹配滤波器^[11-12]、Gabor滤波器^[13-15]等。而编码方式主要有竞争编码^[13-15](competitive code)、序数编码^[10](ordinal code)。最后,针对所选择的滤波器和编码方式选择最佳的匹配方法,比如以Gabor滤波器^[13-15]为基础的汉明距离匹配方式等。这类算法利用数学变换工具提取静脉图像统计特征,即多个频率或尺度等局部纹理特征,因此识别率较高。但现应用于掌脉的纹理分析方法,提高识别率时,往往计算复杂度高、冗余信息过多,且对特征信息未能有效充分地提取,从而降低了算法的识别效率和精度。NMRT^[16](neighborhood matching radon transform)方法提取静脉纹理图像的方向特征,并提出一种分块求汉明距离的新匹配方法,实验结果表明,NMRT方法要优于现应用于掌静脉识别的大部分算法。相比其他纹理分析方法,NMRT有两个优点:1)无需过多参数设置,方向滤波器设计简明,降低计算复杂度;2)以方向特征为匹配特征,增强了算法对光照变化、旋转变化的鲁棒性。但该算法也有不足:1)匹配方法的计算复杂度较高,且方法原理本身存在一定问题;2)方向滤波器提取的方向特征矩阵包含过多的冗余信息,导致有效信息不足。

基于NMRT方法提取方向特征的思想,提出一种计算简单、快速且充分利用掌静脉图像中有效方向信息的识别方法。在构建新邻域模板的基础上,

设计了相应的方向滤波器并优化,通过提取掌静脉图像的方向特征,得到了对静脉纹理响应最小的方向滤波器索引值矩阵——方向特征矩阵(OM),并对其进行编码;同时采用汉明距离计算方法,提出了全局匹配算法,用于计算待测静脉OM与数据库中已有OM的相似度。与现有掌静脉识别方法相比,本文构建的邻域模板,充分提取了掌静脉图像的方向纹理信息,并减少了冗余信息的提取;方向滤波器的优化进一步增强了算法对旋转变化的鲁棒性,提高了算法的识别精度;同时编码进一步降低了算法的计算复杂度,提高了算法识别效率并减少存储负担。实验结果表明,与NMRT方法相比,本文方法有更高的识别率和更快的识别速度。

1 方法流程及预处理

1.1 方法流程

本文方法流程图如图1所示,首先对手掌静脉感兴趣区域(ROI)进行预处理,其次通过构建邻域模板、优化方向滤波器,提取手掌静脉ROI图像的方向特征矩阵,编码后采用汉明距离和全局匹配方法,计算待测方向特征矩阵与数据库方向特征矩阵模板间的相似度。

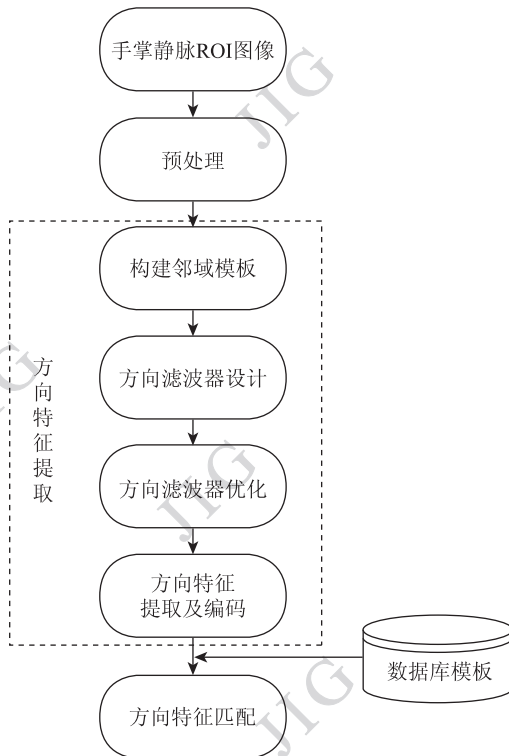


图1 本文方法流程图

Fig. 1 Flow chart of the proposed method

1.2 预处理

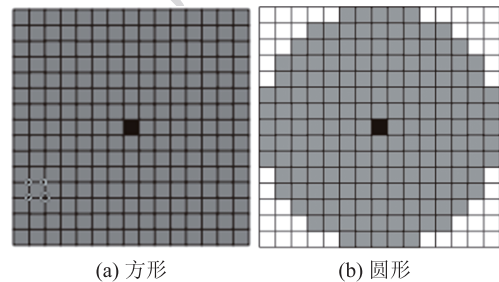
采用香港理工大学生物特征识别研究中心(PolyU_BRC)手掌静脉数据库^[17]中的ROI图像进行实验,其ROI图像大小为 128×128 的256色灰度图,故省略ROI提取部分。

首先,对感兴趣区域分块,每个子块大小为 32×32 ,计算每个子块的平均灰度值,利用双三次插值方法得到ROI图像的背景灰度估计值矩阵^[16]。其次,通过对图像背景灰度估计值矩阵和原图像作差得到增强图像。最后,采用CLAHE^[7](contrast limited adaptive histogram equalization)或HE(histogram equalization)的增强方法进一步增强图像,最终得到ROI图像为待提取方向特征的原始图像。

2 方向特征提取

2.1 邻域模板构建

为了提高系统的识别性能,方向特征矩阵应包含尽可能多的有效信息和尽可能少的冗余信息。通常,中心像素邻域内的像素点,离中心像素越远则影响越小,反之则影响越大。根据像素点对中心像素的影响大小,将影响小的像素点定义为冗余信息,影响大的像素点定义为有效信息。图2为两种 15×15 邻域模板的示意图,黑色区域表示中心像素点 (i_0, j_0) 。NMRT以及大多数方法都使用图2(a)类型的邻域,即距离函数为 $d = \max(|i - i_0|, |j - j_0|)$,但这种类型的邻域包含了过多的冗余信息,增加了算法的计算量和计算复杂度。基于上述方法的不足,设定如图2(b)所示的邻域模板,其距离函数为 $d = \text{round}(\sqrt{(i - i_0)^2 + (j - j_0)^2})$,round为四舍五入操作,按照这样定义的距离函数,得到的邻域模板是近似圆形的区域 $\text{local}(i_0, j_0)$,即到中心像素点 (i_0, j_0) 的距离不大于 d 的像素点的集合。本文方法不仅去除了过多的冗余信息,减少计算复杂度和计算



(a) 方形

(b) 圆形

图2 邻域模板

Fig. 2 Template for neighborhood

量,同时能包含较多的有效信息。实验结果表明,使用图2(b)中的邻域模板能得到更好的识别效果。

2.2 方向滤波器设计

Radon 变换由 Radon^[18] 在 1917 年第一次提出,函数 $f(x,y)$ 的 2 维 Radon 变换公式表达为

$$Radon(k,b)[f(x,y)] = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x,y) \delta[y - (kx + b)] dx dy \quad (1)$$

式中, $f(x,y)$ 为原函数, $Radon(k,b)[f(x,y)]$ 为原函数的 Radon 变换输出结果, y 为平面内任意一条直线, k 为直线斜率, b 为直线截距, δ 为脉冲函数。但 Radon 变换是对于整个平面进行积分,若要提取长度较短的直线,则效果不佳,基于这点和上述邻域模板提出一种新算法:

定义 $Z_p = \{0, 1, \dots, p-1\}$, 其中 p 为正整数,表示待提取静脉的最小长度, (i_0, j_0) 为 Z_p^2 的中心, Z_p^2 表示大小为 $p \times p$ 的网格或点阵。 k 为 L_k 相应的直线斜率,即方向。 $Radon[L_k]$ 为原图像 $f(i,j)$ 在 k 方向上的响应值,其中邻域内 L_k 表示 Z_p^2 内组成一条线的点的集合,即

$$L_k = \{(i,j) | j = k(i - i_0) + j_0, i \in Z_p\} \quad (2)$$

$$Radon[L_k] = \sum_{(i,j) \in L_k} f(i,j) \quad (3)$$

需要注意的是每个方向滤波器中 L_k 包含的像素点总个数应相等。假定方向滤波器个数为 6 (即 k 有 6 个不同取值), 线宽为 2 (即中心像素 (i_0, j_0) 为 2×2 大小的矩阵), 则如图 3 表示方形邻域模板的方向滤波器示意图, 图 4 表示本文邻域模板下方向滤波器示意图。由图 3、图 4 可以看出, 圆形邻域模板下的方向滤波器, 可将原描述冗余信息的像素点

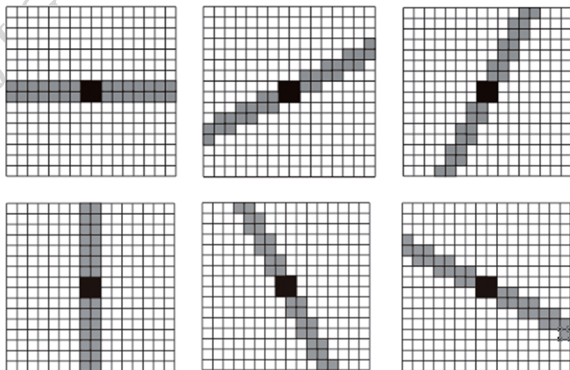


图3 方形邻域模板下的方向滤波器

Fig. 3 Orientational filter based on rectangle template for neighborhood

转换成为描述方向信息的像素点, 这样不仅减少了冗余信息, 同时有效表达了方向纹理信息。

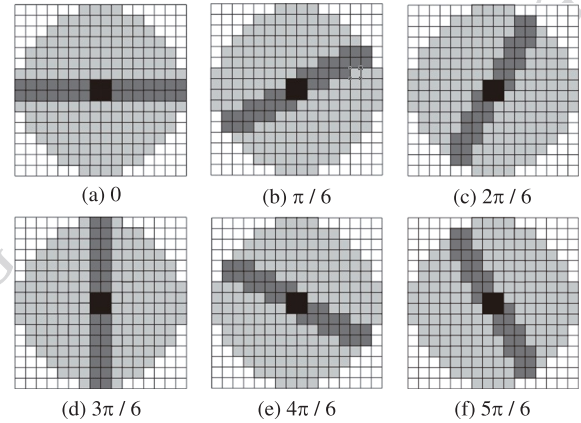


图4 圆形邻域模板下的方向滤波器

Fig. 4 Orientational filter based on circular template for neighborhood

2.3 方向滤波器优化

上述圆形邻域模板下的方向滤波器虽然很好地去除了冗余信息, 但仍存在一些问题: 1) 每个方向滤波器中 L_k 包含的总像素数并不相等 (如图 4, 0, $3\pi/6$ 方向上 L_k 包含的总像素数为 32, 而 $\pi/6, 2\pi/6, 4\pi/6, 5\pi/6$ 上 L_k 包含的总像素数为 34); 2) 由于采用的 k 为精确斜率或方向, 提取到的方向信息有限, 对旋转不变性的适应性较差。因此, 方向滤波器需要进一步优化。

优化规则为: 1) 定义角度区间, 以增强方向滤波器的旋转不变性, 并提取更多的方向信息作为有效辨识信息; 2) 取角度区间内 L_k 重叠的部分以保证每个方向滤波器中 L_k 包含的总像素数应相等。

O 为方向滤波器个数。 O 的取值与方向辨识信息的充分与否有直接的联系; 若 O 取值过小, 则提取的方向特征矩阵不足以描述静脉纹理方向, 若 O 取值过大, 尽管方向辨识信息增多, 但冗余信息也随之增加, 导致可分性下降。因此本文选择 $O = 6$, 既保证了有效方向信息的提取, 又保证了可分性。

当 $O = 6$ 时, 每个方向滤波器对应的角度分别为 $0, \pi/6, 2\pi/6, 3\pi/6, 4\pi/6, 5\pi/6$; 而当 $O = 8$ 时, 每个方向滤波器对应的角度分别为 $0, \pi/8, 2\pi/8, 3\pi/8, 4\pi/8, 5\pi/8, 6\pi/8, 7\pi/8$ 。设 $O = 6$, 为满足优化规则 1), 方向滤波器的方向尽量向着 $O = 8$ 时的临近角度偏, 如方向为 $\pi/6$ 的滤波器, 尽量偏向临近的 $\pi/8$ 和 $2\pi/8$ 角度, 这可以使得的滤波器提取

到一些 $\pi/8$ 和 $2\pi/8$ 角度上的方向信息。方向为 $\pi/6$ 计算公式为 $[(\pi/6 + \pi/8)/2 + (\pi/6 + 2\pi/8)/2]/2 = 17\pi/96$ 。以此类推, 得到优化后的 6 个方向分别为 $0, 17\pi/96, 31\pi/96, 48\pi/96, 65\pi/96, 79\pi/96$ 。同时为保证满足优化规则 2), 取优化前后的方向滤波器上 L_k 重合的区域, 因此每个方向滤波器对应的角度区间分别为 $0, [\pi/6, 17\pi/96], [31\pi/96, 2\pi/6], [4\pi/6, 65\pi/96], [79\pi/96, 5\pi/6]$ 。图 5 所示为 6 个角度区间上优化后的方向滤波器, 此优化有两个优点: 1) 相比 6 个方向增加了方向信息量, 相比 8 个方向减少计算时间和计算复杂度; 2) 将精确角度扩展成为角度区间, 模糊方向的边界性, 加强了算法旋转不变性。

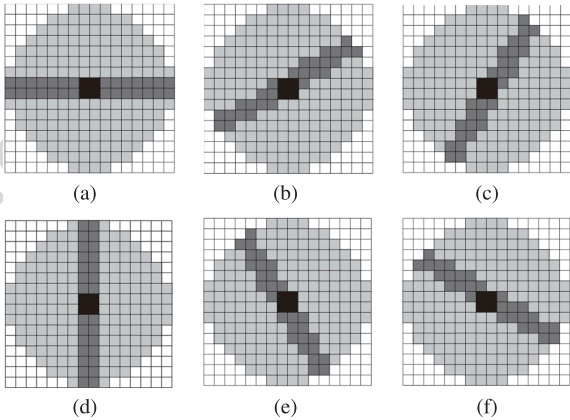


图 5 优化后圆形邻域模板下的方向滤波器
Fig. 5 Improved orientational filter based on circular template for neighborhood

2.4 方向特征提取和编码

在方向滤波器优化的基础上, 利用式 (4), 获得有限网格 Z_p^2 区域内以 (i_0, j_0) 为中心的主方向 $D_o(x, y)$, 即

$$D_o(x, y) = \arg \min_o (Radon[L_k]) \quad (4)$$
$$o = 1, 2, \dots, O$$

式中, O 为总方向数/总方向滤波器数。由主方向 $D_o(x, y)$ 构建的方向特征矩阵为

$$OM = \begin{bmatrix} D_o(1,1) & D_o(1,2) & \cdots & D_o(1,n) \\ D_o(2,1) & D_o(2,2) & \cdots & D_o(2,n) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ D_o(m,1) & D_o(m,2) & \cdots & D_o(m,n) \end{bmatrix} \quad (5)$$
$$m = p/c, n = q/c$$

式中, p, q 为 ROI 图像大小, c 为线宽, 得到的 m, n 为特征矩阵大小。

按照文献 [19] 的编码方式, 将得到的方向矩阵编码成 3 个 bit 的二进制矩阵。编码方式见表 1。

表 1 编码方式
Table 1 Encoding scheme

方向值	bit 1	bit 2	bit 3
0	0	0	0
$\pi/6$	0	0	1
$2\pi/6$	0	1	0
$3\pi/6$	0	1	1
$4\pi/6$	1	0	0
$5\pi/6$	1	0	1

这样的编码方式不仅方便匹配时汉明距离的计算, 同时大大降低计算复杂度和计算时间。图 6 分别为增强后的手掌静脉 ROI 图像、及其在 6 个方向滤波器下卷积响应的累加响应、方向特征矩阵。图 6 表明, 本文方法可以提取手掌静脉 ROI 图像中尽可能多且有效的方向纹理信息。

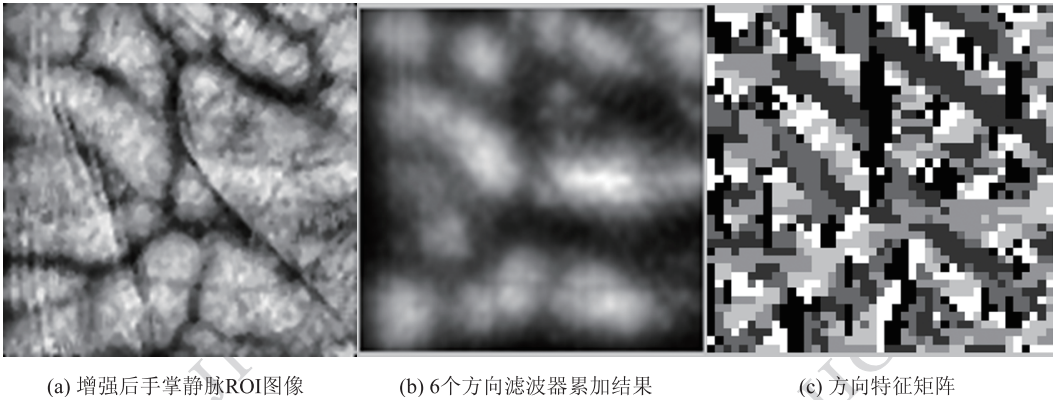


图 6 方向特征提取
Fig. 6 Extracting directional features

3 方向特征匹配

使用全局匹配方法,定义2幅静脉特征模板图像的匹配分计算方式,即

$$D(P, Q) = \max_{h \in [-m, m], v \in [-n, n]} \left\{ 1 - \frac{\sum_{x=0}^M \sum_{y=0}^N \sum_{i=1}^3 (P_i(x, y) \otimes Q_i^{h,v}(x, y))}{3 \times M \times N} \right\} \quad (6)$$

式中, P 表示数据库方向特征矩阵, Q 表示测试方向特征矩阵, $P_i(x, y)$ 表示数据库方向特征矩阵第 i 个比特上的矩阵, $Q_i(x, y)$ 表示测试方向特征矩阵第 i 个比特上的矩阵, $Q_i^{h,v}(x, y)$ 表示平移 h, v (h 表示水平方向平移单位像素数, v 表示垂直方向平移单位像素数) 个像素的测试方向特征矩阵。 m 和 n 表示水平方向和垂直方向平移的总像素数。 $\otimes$ 为异或运算, $M \times N$ 为方向特征矩阵大小。通过式(6)计算出的 D 值取值在 0 和 1 之间, 两幅图像越相似, 则越接近于 1, 反之, 则接近 0。

文献[16] NMRT 方法中提出了一种利用邻域信息的分块计算匹配分方法, 定义为

$$M(R, P) = M(\hat{R}, \hat{P}) = \sum_{Z \in N} \left\{ \min_{h \in [-m, m], v \in [-n, n]} \left\{ \frac{\text{hamdist}(\mathbf{r}_Z, \mathbf{p}_Z^{h,v})}{\|\mathbf{r}_Z \cap \mathbf{p}_Z^{h,v}\|} \right\} \right\} \quad (7)$$

式中, R 和 P 分别表示注册(registration)阶段和验证(validation/probe)阶段的静脉模板图像, $\mathbf{r}_Z$ 表示 R 的第 Z 个子块, $\mathbf{p}_Z^{h,v}$ 表示 P 的第 Z 个子块在水平方向平移 h 个单位并在垂直方向平移 v 个单位后的子块, N 表示总分块数。 hamdist 为子块 $\mathbf{r}_Z$ 和 $\mathbf{p}_Z^{h,v}$ 的汉明距离值, 即同一位置上像素值不同的个数之和。

相比 NMRT^[16] 的匹配方法, 本文匹配方法的优点在于:

1) 大大缩短了匹配时间。两种匹配方法均在计算汉明距离值(异或运算)的基础上进行, 不同的是平移次数的差异。NMRT^[16] 的匹配方法中, 匹配时间与分块数有关, 分块数越多, 匹配时间越长。假设只考虑单方向平移, 若总分块数 N 为 24, m, n 均为 3, 则 NMRT 方法需要计算 $24 \times (12 + 1) = 312$ 次汉明距离值, 通过比较, 确定 13 次平移中 24 个子块汉明距离的最小值, 并在此基础上求和得到最终的匹配分。但本文方法无需分块平移, 而考虑整体平

移, 在同样的参数下, 只需要计算 $12 + 1 = 13$ 次汉明距离值, 进而确定匹配分即可。

2) 弥补 NMRT 的匹配方法中平移导致的不足。NMRT 的匹配方法中, 需平移图像的各个子块, 在此基础上确定各个子块组间的最小汉明距离值, 目的是利用邻域信息进一步减少 ROI 提取时的误差。如图 7 所示, 箭头引出两组汉明距离值最小的子块组, 实线为数据库模板子块, 虚线为测试图像子块, 左边箭头表示汉明距离值最小的子块组呈左右分布, 右边箭头表示汉明距离值最小的子块组呈上下分布。实际上, 如果测试图像与模板图像的身份相同, ROI 提取时带来的误差是针对整体而言的, 而非各个子块, 即汉明距离值最小的、所有子块组的方向分布应相同, 而不可能呈现多种分布。而本文方法在特征提取时, 通过调整方向滤波器大小、线宽等参数来获取所需的邻域信息, 进而全局匹配直接确定匹配分, 弥补了各子块平移带来的不足。

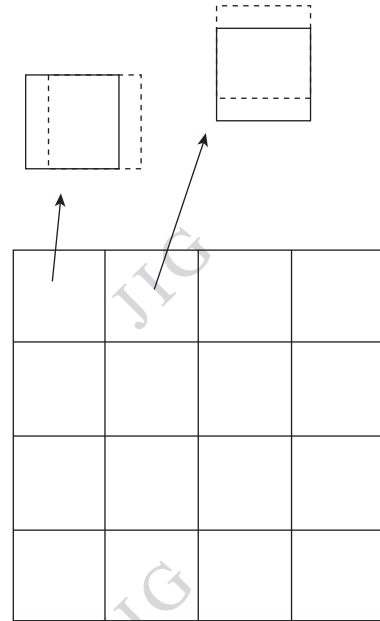


图 7 NMRT 不符合实际的匹配示意图

Fig. 7 Sketch map of impractical matching for NMRT

4 实验结果与分析

采用香港理工大学生物特征识别研究中心(PolyU_BRC)手掌静脉数据库^[17]中的 ROI 图像进行实验, 原始图像为 128×128 大小的 256 色灰度

图。此数据库图像是对 250 个男性和女性分两次采集得到的,两次采集的平均间隔时间为 9 天,对于一个手掌每次采集 6 幅手掌静脉图像,因此数据库中共 6 000 幅手掌静脉图像。采自同一时期的图像中,由光照、形变等影响造成的图像畸变远远小于采自不同时期的图像。为排除这类干扰,将第一个阶段采集到的图像作为数据库模板图像,剩下的图像作为测试图像,可得到更可靠的实验结果。

实验结果的运行环境为 Matlab R2010a, Windows XP 系统, CPU 为双核 E5200 (2.5 GHz), 内存为 4 GB。

4.1 增强方法对识别效果的影响

实验 1 在数据库模板数为 1 的条件下,比较 HE^[16] (直方图均衡化) 的增强方法和 CLAHE (contrast limited adaptive histogram equalization) 增强方法对识别效果的影响。表 2 为数据库模板数为 1 的条件下,不同增强方法下的等错误率 (EER)。从表 2 可以看出,不论使用 HE 还是 CLAHE 的增强方法,本文的识别效果都优于 NMRT^[16] 方法。同时,表 2 的实验结果表明,预处理中的增强方法对识别效果有一定的影响,但识别效果的优势主要来自于本文特征提取和匹配方法的优化,说明本文特征提取和匹配方法在提取有效辨识信息上有较为明显的优势。

表 2 数据库模板数为 1 的条件下不同增强方法下的 EER
Table 2 EER from different enhancement methods using one training sample

	本文方法		NMRT ^[16]
	HE	CLAHE	HE
			/%
EER	0.162	0.167	0.21
识别率	99.87	99.83	99.67

4.2 方向滤波器个数对识别效果的影响

实验 2 使用本文改进的特征提取和全局匹配方法,在数据库模板数为 1 的条件下,比较不同方向滤波器个数下的 EER。表 3 为不同方向滤波器个数下的 EER,从表 3 中可以看出,若 O 取值过小,则提取的方向特征矩阵不足以描述静脉纹理方向,若 O 取值过大,描述各个方向的方向滤波器重合像素会增多,导致可分性下降。因此本文选择 $O=6$,既保证了有效方向信息的提取,又保证了可

分性。

表 3 数据库模板数为 1 的条件下不同方向数下的 EER
Table 3 EER from varying number of directions using one training sample

	方向滤波器个数		
	4	6	8
EER	0.883	0.167	0.205
识别率	98.67	99.83	99.70

4.3 邻域模板对识别效果的影响

实验 3 在数据库模板数为 1,编码方向特征模板,全局匹配方法的条件下,比较使用方形邻域模板、圆形邻域模板、优化后的圆形邻域模板下方向滤波器的 EER。表 4 为数据库模板数为 1 的条件下,不同邻域模板下的 EER。从表 4 中可以看出,圆形邻域模板比方形邻域模板 EER 要低,这是因为减少了冗余信息的同时,增强了有效方向信息的表达。而优化后的圆形邻域模板的 EER 更低,原因是使用角度区间替换精确角度值可以增加算法的旋转不变性,并增加方向信息量。

表 4 数据库模板数为 1 的条件下不同邻域模板下的 EER
Table 4 EER from different templates of neighborhood using one training sample

	方形邻域模板	圆形邻域模板	优化后的圆形邻域模板
EER/%	0.197	0.171	0.167

4.4 匹配方法对识别效果的影响

实验 4 比较使用 NMRT 匹配方法与本文匹配方法的特征提取和匹配速度,以及两种方法的 EER。表 5 的实验数据表明,特征提取方面,全局匹配需要花费更多的时间,这是由于编码方向特征矩阵的缘故,但编码所用的时间为后续减少匹配时间做出了很大贡献,可以看出在特征匹配上,全局匹配的速度大大提高了。在算法运算速度比较时,尽管 matlab 语言函数及语句运行速度差异较大,但本文进行匹配实验对比时,使用的是相同异或运算,不同的只是循环次数不同 (由平移次数导致不同),因此表 5 的实验结果仍有一定的意义。

表5 NMRT 的匹配方法与本文匹配方法的速度比较

Table 5 Comparison for speed using different matching approaches

	/(s/次)	
	NMRT	本文方法
特征提取速度	0.010	0.014
特征匹配速度	0.033	0.004

同时从表6的实验数据可以观察到,全局匹配比分块匹配的EER要低,这也验证了全局匹配的优点——弥补分块平移产生的不足。并且还应考虑到,识别时,特征提取每幅图像只需进行1次,而特征匹配则随着数据库图像数的增加而增加。从整体时间来看,对特征匹配的时间要求要比特征提取的时间要求更为严格。因此本文全局匹配在特征匹配上的速度提升更有意义。

表6 数据库模板数为1条件下NMRT的匹配方法与本文匹配方法的EER比较

Table 6 EER comparison using different matching approaches with one training sample

	NMRT	本文方法
EER/%	0.21	0.167

4.5 数据库模板数对识别效果的影响

实验5 比较不同数据库模板数和训练样本数对识别率和EER的影响,以及在不同数据库模板数下,本文方法与NMRT方法^[16]的识别性能比较。图8为不同数据库模板数下本文方法的ROC曲线。表7是数据库模板数取值分别为1、2、3、4、5、6时,本文方法和NMRT方法的识别率和EER。从表7可以看出,随着数据库模板数的增加,两种方法均呈现识别率提高、EER下降的趋势。当数据库模板数从一个模板增加到两个模板时,识别率有显著提高;但随着模板数增加,识别率提高幅度明显减小,尤其是当模板数大于3的时候,提高幅度基本为0。这是因为数据库模板所包含的特征信息随着数据库模板数的增加而增加,同时冗余信息也在增加,会造成内存和速度的负担。因此数据库模板数不易太多,一般取3个为宜。

同时,表7的实验结果表明,虽然当数据库模板数大于等于3时,本文方法和NMRT方法在rank-1

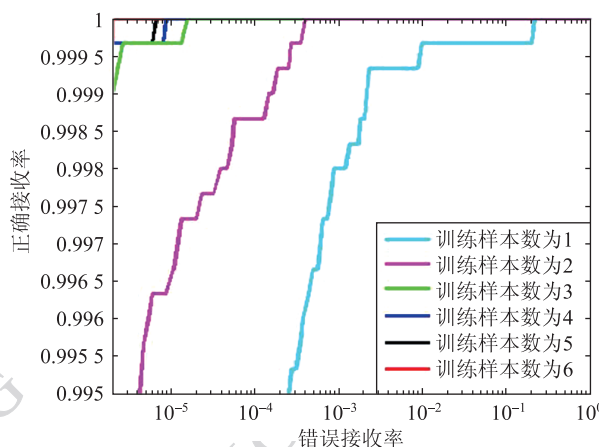


图8 本文方法在不同数据库模板数下ROC曲线

Fig. 8 ROC with different training samples

条件下^[20]识别率都为100%。但当模板数为2时,本文rank-1的识别率为100%,NMRT方法rank-1的识别率只有99.80%。本文识别率的性能评价为排位-识别率关系曲线,即CMC(cumulative match characteristic curve)^[20]曲线。并且,不论数据库模板数取何值,本文方法的EER都优于NMRT方法。

本文方法在数据库模板数为1的条件下,250个人左手和右手真匹配分和假匹配分分布图如图9所示,真匹配分和假匹配分之间有较为明显的分界。与图10的NMRT匹配分分布图对比可以看出,本文方法真匹配分分布在[0.28,0.70]范围内,假匹配分分布在[0.15,0.29]范围内,重合部分为[0.28,0.29],而NMRT方法中真匹配分分布在[0.08,0.83]范围内,假匹配分分布在[0.80,0.97]范围内,重合部分为[0.80,0.83]。图9和图10的实验结果表明,本文真匹配分的分布更为集中,真假匹配分重合区域更小,分界更明显,EER更低。而本文真匹配分分布接近于1,NMRT方法刚好相反,真匹配分分布接近于0。原因是NMRT的匹配方法直接计算汉明距离,即求特征矩阵中不相等的像素点的个数中最小值。而本文是求1-汉明距离值,即求特征矩阵中相等的像素点的个数中最大值。

综上所述,本文提出的邻域模板和方向滤波器的优化能有效提取手掌静脉图像方向纹理信息,提高了识别精度;同时匹配方法计算速度快,提高识别效率的同时减少了存储负担。

表 7 rank-1^[20] 条件下 250 个人左手和右手在不同数据库模板数下本文方法识别率和 EER

Table 7 rank-1 identification rate and EER from all left and right palms using different approaches with varying numbers of training sample

方法	数据库模板数	%					
		1	2	3	4	5	6
识别率	本文	99.83	100	100	100	100	100
	NMRT	99.67	99.80	100	100	100	100
EER	本文	0.167	0.034	0.001 6	0.000 9	0.000 7	0.000 2
	NMRT	0.21	0.06	0.03	0.02	0.01	0.004

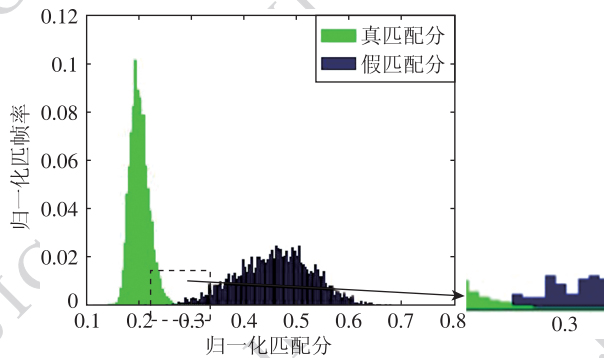


图 9 本文方法 250 个人左手和右手真匹配分与假匹配分的分布图

Fig. 9 Genuine and imposter distributions from left-and right-hand palm-vein images for 250 objects using proposed method

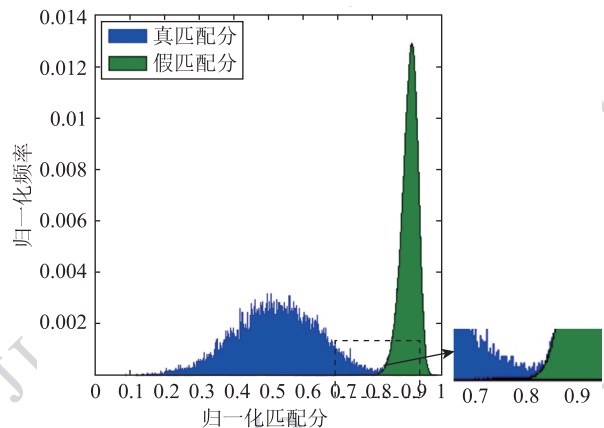


图 10 NMRT 方法 250 个人左手和右手真匹配分与假匹配分的分布图

Fig. 10 Genuine and imposter distributions from left-and right-hand palm-vein images for 250 objects using NMRT

(注: 图表中 NMRT 方法的实验数据均来自文献[16])

5 结 论

本文通过构建手掌静脉图像的邻域模板, 设计

方向滤波器且优化, 提取方向特征并编码, 获得手掌静脉方向特征矩阵; 根据方向特征矩阵, 计算汉明距离, 采用全局匹配方法, 辨别待测静脉图像与数据库静脉特征模板的相似度; 同时, 采用 Matlab 软件实现本文方法, 模拟仿真手掌静脉特征提取和匹配识别过程。实验结果表明, 本文方法有效提取了方向特征信息、减少了计算复杂度、节省了计算时间, 并提升了识别率、降低了 EER。但 ROI 提取的精确性, 特征提取算法的平移不变性, 以及更高的识别率和更快的速度等有待进一步研究和探讨。

参考文献 (References)

- [1] MacGregor P, Welford R. Veincheck: imaging for security and personnel identification[J]. Adv. Imaging, 1991, 6(7): 52-56.
- [2] Kang W X, Deng F Q. A skeletonization method for vein patterns using template and neighborhood information[J]. Journal of Image and Graphics, 2010, 15(3): 378-384. [康文雄, 邓飞其. 利用模板和邻域信息的静脉骨架提取新算法[J]. 中国图象图形学报. 2010, 15(3): 378-384]
- [3] Zuo T D. The design and implementation of palm vein identification system[D]. Changsha: National University of Defence Technology, 2009. [左铁东. 手掌静脉识别系统的设计与实现[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2009.]
- [4] Wang N. Research on palm vein extraction and recognition method[D]. Shenyang: Shenyang University of Technology, 2009. [王楠. 手掌静脉特征提取与识别方法研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2009.]
- [5] Wang L, Leedham G, Siu-Yeung Cho D. Minutiae feature analysis for infrared hand vein pattern biometrics[J]. Pattern Recognition, 2008, 41(3): 920-929. [DOI: 10.1016/j.patcog.2007.07.012]
- [6] Kumar A, Prathyusha K V. Personal authentication using hand vein triangulation and knuckle shape[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2009, 18(9): 2127-2136. [DOI: 10.1109/TIP.2009.2023153]

- [7] Li Q. Theoretical and experimental study in palm vein identification [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2010. [李强. 掌静脉身份识别技术的理论与实验研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2010.]
- [8] Wang J G, Yau W Y, Suwandy A, et al. Person recognition by fusing palmprint and palm vein images based on "Laplacianpalm" representation [J]. Pattern Recognition, 2008, 41 (5) : 1514-1527. [DOI:10. 1016/j. patcog. 2007. 10. 021]
- [9] Ladoux P O, Rosenberger C, Dorizzi B. Palm vein verification system based on SIFT matching [J]. LNCS In ICB 2009, 5558: 1290-1298. [DOI:10. 1007/978-3-642-01793-3_130]
- [10] Hao Y, Sun Z, Tan T, et al. Multispectral palm image fusion for accurate contact-free palmprint recognition [C]//Proceedings of 15th IEEE International Conference on Image Processing. San Diego, USA: IEEE, 2008: 281-284.
- [11] Zhang Y B, Li Q, You J, et al. Palm vein extraction and matching for personal authentication [J]. Advances in Visual Information Systems, 2007, 4781: 154-164. [DOI: 10. 1007/978-3-540-76414-4_16]
- [12] Chen H, Lu G, Wang R. A new palm vein matching method based on ICP algorithm [C]//Proceedings of the 2nd International Conference on Interaction Sciences: Information Technology, Culture and Human. Seoul, Korea: ACM, 2009: 1207-1211. [DOI:10. 1145/1655925. 1656145]
- [13] Lee J C. Palm vein feature extraction using 2-D gabor filters [J]. Advanced Science Letters, 2012, 8 (1) : 807-812. [DOI: 10. 1166/asl. 2012. 2486]
- [14] Lee J C. Palm vein recognition using adaptive Gabor filter [J]. Expert Systems with Applications, 2012, 39: 13225-13234. [DOI:10. 1016/j. eswa. 2012. 05. 079]
- [15] Lee J C. A novel biometric system based on palm vein image [J]. Pattern Recognition Letters, 2012, 33: 1520-1528. [DOI: 10. 1016/j. patrec. 2012. 04. 007]
- [16] Zhou Y, Kumar A. Human identification using palm-vein images [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2011, 6(4): 1259-1274. [DOI:10. 1109/TIFS. 2011. 2158423]
- [17] Zhang L. PolyU Multispectral Palmprint Database [DB/OL]. [2013-05-03]. <http://www.comp.polyu.edu.hk/~biometrics/MultispectralPalmprint/MSP.htm>.
- [18] Radon J. On the determination of functions from their integral values along certain manifolds [J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 1986, 5(4): 170-176. [DOI:10. 1109/TMI. 1986. 4307775]
- [19] Zhang D, Guo Z, Lu G, et al. An online system of multispectral palmprint verification [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2010, 59 (2) : 480-490. [DOI: 10. 1109/TIM. 2009. 2028772]
- [20] Phillips P J, Grother P, Micheals R, et al. Face recognition vendor test 2002 [C]//IEEE International Workshop on Analysis and Modeling of Faces and Gestures. Nice, France: IEEE, 2003: 44.