

## 指静脉识别研究综述

尹义龙 杨公平 杨璐

(山东大学计算机科学与技术学院, 济南, 250101)

**摘要:** 指静脉识别因其独特的优势具有巨大的市场潜力, 并得到了国内外各研究团体和工业界的高度关注。本文介绍了指静脉识别的主要研究内容及其研究现状, 包括指静脉成像方法及图像增强技术、特征提取方法及与指静脉有关的多模态、多特征融合方法。其中详细介绍了指静脉特征提取方法, 并将其划分为 4 类, 即指静脉纹路特征、纹理特征、细节点特征及使用机器学习方法获得的特征。在此基础上进一步对指静脉识别及其应用面临的挑战性问题做了分析, 这些问题主要包括降低采集设备价格、提高采集图像质量, 及减小各种因素, 如低质量图像、手指姿态变化、大规模用户群及室外采集等对识别性能的影响, 这些问题为今后的指静脉识别的相关研究提供了思路和启迪。

**关键词:** 生物特征识别; 指静脉识别; 特征提取

**中图分类号:** TP391      **文献标志码:** A

### Survey of Finger Vein Recognition Study

Yin Yilong, Yang Gongping, Yang Lu

(School of Computer Science and Technology, Shandong University, Jinan, 250101, China)

**Abstract:** As a new biometric technique, finger vein recognition has attracted lots of attention from research groups and industry at home and abroad, and shows great market potentials. This paper introduces main current researches on finger vein recognition, including finger vein imaging principle and image enhancement techniques, feature extraction methods, finger vein related multi-feature and multi-model fusion methods. Feature extraction methods are described comprehensively, and classified into four categories, i. e., vein pattern feature, texture feature, minutiae feature, and learned feature by machine learning methods. Based on these analyses, we further summary some challenges in finger vein recognition and its applications, including lowering the price of imaging device, improving the quality of image, and decreasing the effect from low quality image, the finger displacement, large scale populations and outdoor image acquisition. And we hope that the challenges can inspire some new ideas in the future.

**Key words:** biometrics; finger vein recognition; feature extraction

## 引 言

信息化时代对身份认证提出了更高的要求。生物特征识别是利用一种或多种人类的生理特征(如

---

基金项目: 国家自然科学基金(61573219, 61472226)资助项目。

收稿日期: 2015-08-18; 修订日期: 2015-09-13

指纹、人脸、虹膜、静脉等)或行为特征(如步态、签名等)进行身份认证的一种技术<sup>[1]</sup>。相对于钥匙、卡、密码等传统身份认证方式而言,生物特征识别技术具有不会忘记、不会丢失和安全性高等诸多优势,得到了国内外学术界和企业界的高度关注。在国内外同行的多年努力下,指纹、人脸、虹膜等生物特征识别技术的研究和应用已经取得了重大进展,逐步在很多行业得到应用,产生了巨大的经济效益和社会效益。指静脉识别利用手指静脉血管的纹路实现身份认证,通常使用近红外成像方式采集图像。与其他生物特征识别技术相比,指静脉识别具有一些独特的优势<sup>[2-4]</sup>:(1)指静脉属于人体的内部特征,难以被伪造和盗窃;(2)指静脉图像只有在活体条件下才能采集到;(3)识别的准确率较高;(4)采集设备相对较小,方便携带。目前其市场占有率还比较低,图1给出了2007年各种生物识别技术所占市场比例,其中,静脉识别仅占3%。而静脉识别包括手背静脉识别、掌静脉识别和指静脉识别等。也就是说,指静脉识别的市场占有率远不到3%。主要原因在于,与其他识别技术相比,指静脉识别研究开始于2000年左右,起步时间较晚,发展不够成熟。但是,从长远来看,该技术的优势使其具有巨大的市场潜力。

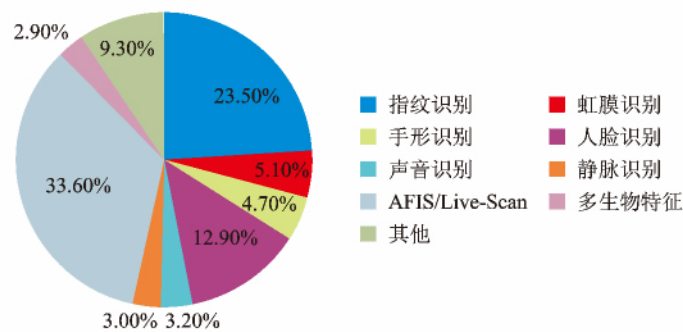


图1 各种生物识别技术 2007 年度所占市场比例<sup>[5]</sup>

Fig. 1 Market share of different biometric techniques in 2007<sup>[5]</sup>

2000年日本学者 Kono 等人提出可以利用近红外光采集指静脉图像实现身份识别,并给出了一种有效的提取特征方法<sup>[6]</sup>,这应该是指静脉识别研究方面最早可见的公开学术文献。十多年来,指静脉识别的研发呈现出迅速繁荣的趋势。国际上,很多高校(如日本东京大学、韩国东国大学、韩国祥明大学、韩国全北国立大学、马来西亚理科大学等)、研究机构(如日本日立公司等)都在从事指静脉识别方面的研究;中国的中科院自动化所、北京大学、吉林大学、中国民航大学、哈尔滨工业大学、国防科技大学、清华大学深圳研究生院、哈尔滨工程大学、重庆大学、重庆理工大学、重庆科技大学、中山大学、武汉大学、香港理工大学、山东大学、沈阳工业大学等科研单位从事这方面的研究与系统开发工作,近年来已取得了一大批令人鼓舞的成果。

## 1 图像采集及增强

从技术体系而言,指静脉识别主要包括4个阶段:图像采集、预处理、特征提取及匹配,如图2所示。识别中的第1步是指静脉图像采集,指静脉采集设备主要分为透射式和反射式两种,如图3所示<sup>[7]</sup>。受采集设备质量、光照条件等因素的影响,采集到的指静脉图像往往会带有一定噪声,质量不够理想,这就需要采用相应的预处理技术加以解决。为了更有效地解决光照散射问题,点扩散函数(Point spread function, PSF)<sup>[8-10]</sup>和改进的 Koschmieder 模型<sup>[11]</sup>等方法被用于增强指静脉图像。文献<sup>[12-13]</sup>使用 Gabor 滤波器组进行静脉图像增强。文献<sup>[14]</sup>首先分析影响静脉图像质量下降的内在因素,然后提出一种简单有效的散射移除方法来改善静脉图像的质量。文献<sup>[15]</sup>提出了一种基于多尺度乘法规则的偶对称的 Gabor 增强方法。文献<sup>[16]</sup>提出了一种基于 Gabor 和 Retinex 滤波器模糊融合的指静脉图像增强方法。

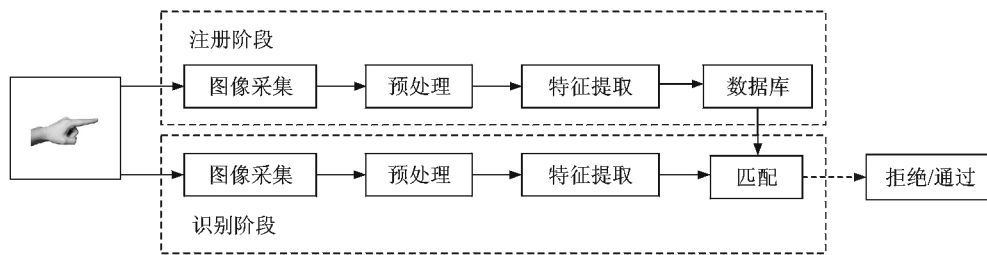
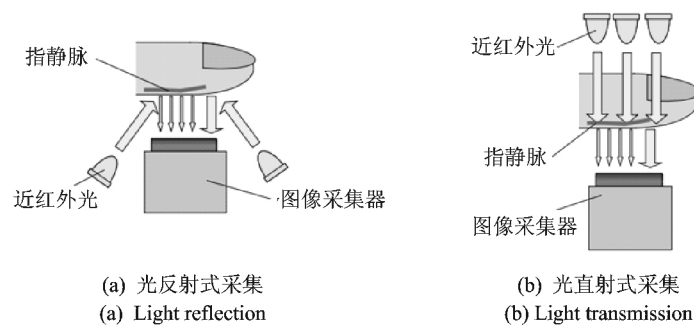


图2 典型指静脉识别系统的流程图

Fig. 2 Flowchart of typical finger vein identification system

(a) 光反射式采集  
(a) Light reflection(b) 光直射式采集  
(b) Light transmission图3 两种指静脉图像采集方式示意图<sup>[7]</sup>Fig. 3 Two ways of finger vein image acquisition<sup>[7]</sup>

## 2 指静脉特征

当前使用的指静脉特征主要包括静脉纹路特征、纹理特征、细节点特征和通过学习获得的特征。

### 2.1 纹路特征

指静脉的纹路特征是指从静脉灰度图像中提取出静脉网络,并使用静脉网络进行识别,该类特征能够较好地表达静脉整体的拓扑结构<sup>[3,17-22]</sup>。文献[17]使用经典的线性跟踪算法首次提取静脉纹路特征。文献[18]针对经典的线性跟踪分割算法进行了改进,进一步提高了提取特征的有效性。文献[19]将一种基于区域生长的方法用于指静脉纹路的提取,提取的纹路较好,但非常耗时。文献[20]提出了基于最大曲率的静脉纹路提取方法,通过计算指静脉图像横截面的局部最大曲率值来提取静脉的纹路。文献[3]提出了一种基于平均曲率的静脉纹路提取方法,首先计算每个像素点的平均曲率,然后使用负的平均曲率来找到静脉的纹路结构。设指静脉图像用  $f$  表示,平均曲率  $H$  的计算如下

$$H = \frac{1}{2} \frac{f_{xx}f_y^2 - 2f_{xy}f_xf_y + f_{yy}f_x^2}{(f_x^2 + f_y^2)^{3/2}} \quad (1)$$

文献[21]首先使用一组包含8个方向的偶对称 Gabor 滤波器来获得静脉在8个方向的纹路信息,然后使用图像重建方法获取融合了8个方向的静脉纹路的图像。考虑到静脉点的灰度值较低,文献[22]通过计算灰度值小于中心点的邻点个数判断该中心点是否为静脉点。

### 2.2 纹理特征

指静脉识别中,图像的纹理特征多用局部二值码来表达。二值码通过当前像素的灰度值与邻域像素的灰度值的对比来获得。如果邻域中一个像素的灰度值小于当前像素的灰度值,则用“0”标记,否则,用“1”标记,从而得到二值码串。文献[23]分别使用了局部二值模式(Local binary pattern, LBP)和局部导数模式(Local derivative pattern, LDP)提取静脉的纹理特征,并比较了这两种特征效果。LBP 通过比

较中心像素与邻域像素的灰度值大小获得一个有序的二值码集合,该集合将作为特征在匹配阶段使用。记  $i_c$  为中心像素点的灰度值,  $i_n (n=0, \dots, 7)$  为 8 个邻点的像素值,通过下式得到二值码集合

$$\text{LBP}(x_c, y_c) = \sum_{n=0}^7 s(i_n - i_c) 2^n \quad (2)$$

函数  $s(x)$  的定义如下

$$s(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (3)$$

文献[24]提出了一种加权的 LBP 的特征提取方式,进一步提高了识别效果。文献[4]根据静脉的局部特点提出了局部线性二值模式(Local line binary pattern, LLBP)特征,在线性的局部区域中提取编码特征,获得了较好的实验效果。为进一步提高局部二值码的性能,个性化最佳位图(Personalized best bit map, PBBM)<sup>[25]</sup>和个性化权重图(Personalized weight map, PWM)<sup>[26]</sup>在识别中依据编码位的稳定性不同有区别地处理每个编码位。文献[27]提出局部方向码(Local directional code, LDC)特征,提取指静脉图中纹理的方向信息用于识别中。文献[28]使用偶对称 Gabor 滤波器提取静脉的纹理特征。文献[29]使用 Gabor 滤波器组提取静脉的局部和全局纹理信息。

### 2.3 细节点特征

指静脉识别中的细节点是指静脉图像中血管的分叉点、端点如图 4 所示。文献[30-33]通过提取若干个细节点的信息描述指静脉的主要特征。文献[30]提取了若干细节点来表示静脉的拓扑结构,取得了较好的识别效果。文献[31]进一步丰富了细节点的信息,提取了细节点的位置信息,局部灰度变化以及局部纹理等特征,使得所提取的细节点具有更强的表达性,也更加鲁棒。文献[32-33]提取尺度不变特征转换(Scale-invariant feature transform, SIFT)特征,对于旋转平移具有一定的鲁棒性。

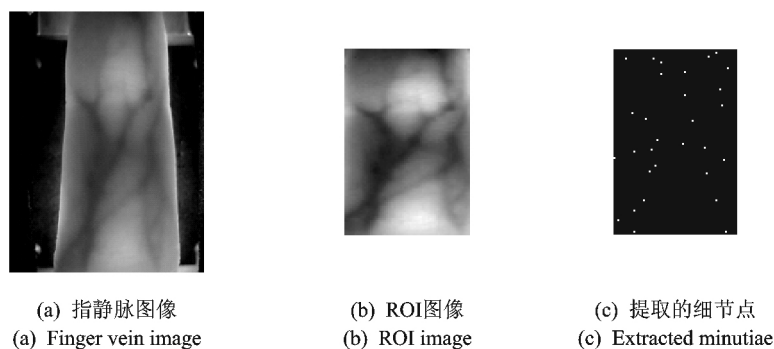


图 4 指静脉图像及提取的细节点

Fig. 4 Finger vein image and its minutiae

### 2.4 学习获得的特征

通过机器学习方法提取指静脉特征,用于识别<sup>[34-39]</sup>,本文称之为通过学习获得的特征。文献[34]使用主成分分析(Principal component analysis, PCA)方法对指静脉图像的感兴趣区域(Region of interest, ROI)进行降维,获得指静脉图像的主要成分分量特征。为进一步提高 PCA 方法获得的主成分特征的区分性,文献[35]在 PCA 降维的基础上,使用线性判别分析(Linear discriminant analysis, LDA)提取其更具区分性的特征。文献[36]考虑到静脉在水平、竖直两个方向上的信息,使用双方向二维主成分分析(2D)<sup>2</sup>PCA 方法学习获取指静脉图像的特征,取得了较好的效果。文献[37]研究发现,存在手指旋转、光照条件变化等条件下采集到的指静脉图像具有流型分布特点,使用了流型学习中的正交邻域保持投影(Orthogonal neighborhood preserving projections, ONPP)对图像进行降维,取得了较好的实验结果。稀疏表达在人脸识别中取得比较成功的应用,受此启发,文献[38-39]使用稀疏表达提取静脉特征,获得

了较好的识别效果。

### 3 基于指静脉的多生物识别技术

为克服单一特征的局限性,文献[40-43]尝试通过多特征融合提高指静脉识别系统的性能。文献[40]将指静脉的局部矩特征(描述静脉纹路的变化)、拓扑结构特征(细节点的位置、角度等信息)和静脉的形状等特征进行融合,取得了较好的实验效果。文献[41]使用 Gabor 提取局部的纹理特征、使用不变矩提取全局特征,实现了局部特征和全局特征的融合使用。文献[42]融合使用了静脉的纹路特征(线性跟踪法)、静脉纹路的的方向特征以及 SIFT 特征来提升识别的效果。文献[43]提取手指远端关节宽度,并将其作为软特征辅助指静脉识别,在一定程度上提高了指静脉识别的性能。

匹配是指静脉识别的基本技术环节之一。在用户注册了多个模板的情况下,通常采用多模板匹配方法<sup>[44-47]</sup>来提高匹配的精度。文献[44]提出了三值模板的模糊融合匹配方法。文献[45]提出了基于像素匹配率、海明距匹配以及像素非匹配率融合的匹配方法。文献[46]提出了基于多模板的得分级融合策略。文献[47]提出了一种共现概率矩阵来反映指静脉的稳定性,并根据共现概率矩阵来进行模板匹配,意在解决匹配时的稳定性问题。

将指静脉识别与其他生物特征识别技术融合使用,开展多生物特征识别研究,是一个自然的思路。这方面的主要工作有:文献[48]首次将指静脉用于多模态识别系统中,使用基于支持向量机和加权和的得分级融合方法将指静脉、指纹和人脸特征进行融合。文献[49-50]同时使用了指纹和指静脉实现了身份认证。文献[51]研究了一种基于支持向量机(Support vector machine, SVM)的手指形状和指静脉的得分级融合的多生物识别系统,通过训练 SVM 来获得两种生物特征融合时的最佳权重,并通过实验证明这种融合方式要好于传统的最小、最大、加法融合规则。文献[52]提出了基于比较竞争编码(Comparative competitive code, CCC)的特征级指静脉和指背纹理融合。

### 4 结束语

尽管经过国内外同行十多年的努力,当前指静脉识别的研究已经取得了很大的进展,并在考勤、门禁、银行、汽车安全等领域得到了一定的应用,但仍存在许多困难需要解决。较为共识性的挑战性问题主要集中在如下:(1)降低采集设备价格、提高采集设备质量的问题。目前市场上的指静脉采集设备价格较高,且图像采集质量有待提高,使得指静脉识别研究和应用受限。(2)低质量图像对识别性能的影响问题。部分指静脉图像质量偏低,导致静脉纹路、细节点等特征无法提取或者提取不正确,因此影响识别性能。(3)采集时的手指姿态的变化对识别性能的影响问题。指静脉图像采集过程中,手指随机放置在成像设备上,这就导致手指的平移、旋转等问题。当同源图像中手指存在较大的平移、旋转时,图像的相似度就会下降,导致不能正确的识别。(4)大规模用户群及室外采集条件下如何确保识别性能的问题。大规模用户群下,需要考虑的主要是识别时间问题。用户越多,匹配时间会越长。室外采集是指被采集者在室外且没有指导的情况下进行图像的采集,这将使得图像质量和手指平移、旋转问题更加严重。如何克服这些困难确保识别速度和识别正确率值得深入研究。这些问题已经引起同行的充分关注,学术界和企业界已有同行在展开相应的研发工作。

#### 参考文献:

- [1] Jain A K, Ross A, Pankanti S. Biometrics: A tool for information security[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2006, 1(2): 125-143.
- [2] Yang L, Yang G, Yin Y, et al. A survey of finger vein recognition[C]//9th Chinese Conference on Biometric Recognition. Shenyang: Springer, 2014: 234-243.
- [3] Song W, Kim T, Kim H C, et al. A finger-vein verification system using mean curvature[J]. Pattern Recognition Letters, 2011, 32(11): 1541-1547.
- [4] Rosdi B A, Shing C W, Suandi S A. Finger vein recognition using local line binary pattern[J]. Sensors, 2011, 11(12):

- 11357-11371.
- [5] 余成波, 秦华锋. 生物特征识别技术: 手指静脉识别技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.  
Yu Chengbo, Qin Huafeng. Biometrics: Finger vein recognition technique[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2009.
- [6] Kono M, Ueki H, Umemura S. A new method for the identification of individuals by using of vein pattern matching of a finger[C]//5th Symposium on Pattern Measurement. Yamaguchi, Japan; [s. n.], 2000;9-12.
- [7] Hashimoto, Junichi. Finger vein authentication technology and its future[C]//Symposium on VLSI Circuits, Digest of Technical Papers. Honolulu; IEEE, 2006;5-8.
- [8] Yang J F, Bai G L. Finger-vein image restoration based on skin optical property[C]//2012 IEEE 11th International Conference on Signal Processing. Beijing: IEEE, 2012;749-752.
- [9] Lee E C, Park K R. Restoration method of skin scattering blurred vein image for finger vein recognition[J]. Electronics Letters, 2009,45(21):1074-1076.
- [10] Lee E C, Park K R. Image restoration of skin scattering and optical blurring for finger vein recognition[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2011,49(7):816-828.
- [11] Yang J, Zhang B, Shi Y. Scattering removal for finger-vein image restoration[J]. Sensors, 2012,12(3):3627-3640.
- [12] Park Y H, Park K R. Image quality enhancement using the direction and thickness of vein lines for finger-vein recognition [J]. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2012,9:1-10.
- [13] Shi Y H, Yang J F. Image restoration and enhancement for finger-vein recognition[C]//2012 IEEE 11th International Conference on Signal Processing. Beijing: IEEE, 2012;1605-1608.
- [14] Yang J F, Shi Y H. Towards finger-vein image restoration and enhancement for finger-vein recognition[J]. Information Sciences, 2014,268:33-52.
- [15] Yang J F, Shi Y H. Finger-vein ROI localization and vein ridge enhancement[J]. Pattern Recognition Letters, 2012,33(12):1569-1579.
- [16] Shin K Y, Park Y H, Nguyen D T, et al. Finger-vein image enhancement using a fuzzy-based fusion method with Gabor and retinex filtering[J]. Sensors, 2014,14(2):3095-3129.
- [17] Miura N, Nagasaka A, Miyatake T. Feature extraction of finger-vein patterns based on repeated line tracking and its application to personal identification[J]. Machine Vision and Applications, 2004,15(4):194-203.
- [18] Liu T, Xie J B, Yan W, et al. An algorithm for finger-vein segmentation based on modified repeated line tracking[J]. The Imaging Science Journal, 2013,61(6):491-502.
- [19] Qin H, Qin L, Yu C. Region growth-based feature extraction method for finger-vein recognition[J]. Optical Engineering, 2011,50(5):301.
- [20] Miura N, Nagasaka A, Miyatake T. Extraction of finger-vein patterns using maximum curvature points in image profiles[J]. IEICE Transactions on Information and Systems, 2007,90(8):1185-1194.
- [21] Yang J F, Yang J, Shi Y. Finger-vein segmentation based on multi-channel even-symmetric Gabor filters[C]//2009 IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems. Shanghai: IEEE, 2009;500-503.
- [22] Huang B, Dai Y, Li R, et al. Finger-vein authentication based on wide line detector and pattern normalization[C]//20th International Conference on Pattern Recognition. Istanbul: IEEE, 2010;1269-1272.
- [23] Lee E C, Jung H, Kim D. New finger biometric method using near infrared imaging[J]. Sensors, 2011,11(3):2319-2333.
- [24] Lee H C, Kang B J, Lee E C, et al. Finger vein recognition using weighted local binary pattern code based on a support vector machine[J]. Journal of Zhejiang University Science C, 2010,11(7):514-524.
- [25] Yang G P, Xi X M, Yin Y L. Finger vein recognition based on a personalized best bit map[J]. Sensors, 2012,12(2):1738-1757.
- [26] Yang G P, Xiao R Y, Yin Y L, et al. Finger vein recognition based on personalized weight maps[J]. Sensors, 2013,13(3):12093-12112.
- [27] Meng X, Yang G, Yin Y, et al. Finger vein recognition based on local directional code[J]. Sensors, 2012,12(11):14937-14952.
- [28] Xie S J, Yang J C, Yoon S, et al. Guided Gabor filter for finger vein pattern extraction[C]//2012 8th International Conference on Signal Image Technology and Internet Based Systems. Naples: IEEE, 2012;118-123.
- [29] Yang J F, Shi Y H, Yang J L. Finger-vein recognition based on a bank of Gabor filters[C]//9th Asian Conference on Computer Vision. Xi'an: Springer, 2009;374-383.
- [30] Yu C B, Qin H F, Cui Y Z, et al. Finger-vein image recognition combining modified hausdorff distance with minutiae feature matching[J]. Interdisciplinary Sciences: Computational Life Sciences, 2009,1(4):280-289.
- [31] Liu F, Yang G, Yin Y, et al. Singular value decomposition based minutiae matching method for finger vein recognition[J]. Neurocomputing, 2014,145:75-89.

- [32] Peng J L, Wang N, El-Latif A A A, et al. Finger-vein verification using Gabor filter and SIFT feature matching[C]//8th International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing. Piraeus: IEEE, 2012:45-48.
- [33] Pang S H, Yin Y L, Yang G P, et al. Rotation invariant finger vein recognition[C]//7th Chinese Conference on Biometric Recognition. [S.l.]: Springer, 2012:151-156.
- [34] Wu J D, Liu C T. Finger-vein pattern identification using principal component analysis and the neural network technique[J]. Expert Systems with Applications, 2011,38(5):5423-5427.
- [35] Wu J D, Liu C T. Finger-vein pattern identification using SVM and neural network technique[J]. Expert Systems with Applications, 2011,38(11):14284-14289.
- [36] 管凤旭,王科俊,刘靖宇,等. 归一双向加权(2D)<sup>2</sup> PCA的手指静脉识别方法[J]. 模式识别与人工智能, 2011,24(3):417-424. Guan Fengxu, Wang Kejun, Liu Jingyu, et al. Bi-direction weighted (2D)<sup>2</sup>PCA with eigenvalue normalization one for finger vein recognition[J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2011,24(3):417-424.
- [37] Liu Z, Yin Y L, Wang H J, et al. Finger vein recognition with manifold learning[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2010,33(3):275-282.
- [38] Xin Y, Liu Z, Zhang H, et al. Finger vein verification system based on sparse representation[J]. Applied Optics, 2012,51(25):6252-6258.
- [39] Yang L, Yang G, Yin Y, et al. Local vein texton learning for finger vein recognition[C]//9th Chinese Conference, CCBP 2014, Biometric Recognition. [S.l.]: Springer, 2014:271-280.
- [40] Yang J, Shi Y, Yang J, et al. A novel finger-vein recognition method with feature combination[C]//16th IEEE International Conference on Image Processing. [S.l.]: IEEE, 2009:2709-2712.
- [41] Yang J, Zhang X. Feature-level fusion of global and local features for finger-vein recognition[C]//10th International Conference on Signal Processing. Beijing: IEEE, 2010:1702-1705.
- [42] Lee E C, Lee H C, Park K R. Finger vein recognition using minutia-based alignment and local binary pattern-based feature extraction[J]. International Journal of Imaging Systems and Technology, 2009,19(3):179-186.
- [43] Yang L, Yang G, Yin Y, et al. Exploring soft biometric trait with finger vein recognition[J]. Neurocomputing, 2014,135:218-228.
- [44] Chen L, Zheng H. Personal identification by finger vein images based on tri-value template fuzzy matching[J]. WSEAS Transactions on Computers, 2009,8(7):1165-1174.
- [45] Xiao R, Yang G, Yin Y, et al. A novel matching strategy for finger vein recognition[C]//Intelligent Science and Intelligent Data Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013:364-371.
- [46] Yang Y, Yang G, Wang S. Finger vein recognition based on multi-instance[J]. International Journal of Digital Content Technology & Its Applications, 2012,6(11):86-94.
- [47] Tang D R, Huang B N, Li R F, et al. Finger vein verification using occurrence probability matrix (OPM)[C]//The 2012 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). Brisbane: IEEE, 2012:1-8.
- [48] He M, Horng S J, Fan P, et al. Performance evaluation of score level fusion in multimodal biometric systems[J]. Pattern Recognition, 2010,43(5):1789-1800.
- [49] Yang J, Zhang X. Feature-level fusion of fingerprint and finger-vein for personal identification[J]. Pattern Recognition Letters, 2012,33(5):623-628.
- [50] Kumar A, Zhou Y. Human identification using finger images[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012,21(4):2228-2244.
- [51] Kang B J, Park K R. Multimodal biometric method based on vein and geometry of a single finger[J]. Computer Vision, IET, 2010,4(3):209-217.
- [52] Yang W, Huang X, Zhou F, et al. Comparative competitive coding for personal identification by using finger vein and finger dorsal texture fusion[J]. Information Sciences, 2014,268:20-32.

## 作者简介:



尹义龙(1972-),男,教授,博士生导师,研究方向:机器学习及应用、医学图像处理和生物特征识别, E-mail: ylyin@sdu.edu.cn.



杨公平(1970-),男,教授,研究方向:机器学习及应用、生物特征识别。



杨璐(1988-),女,博士研究生,研究方向:生物特征识别。