



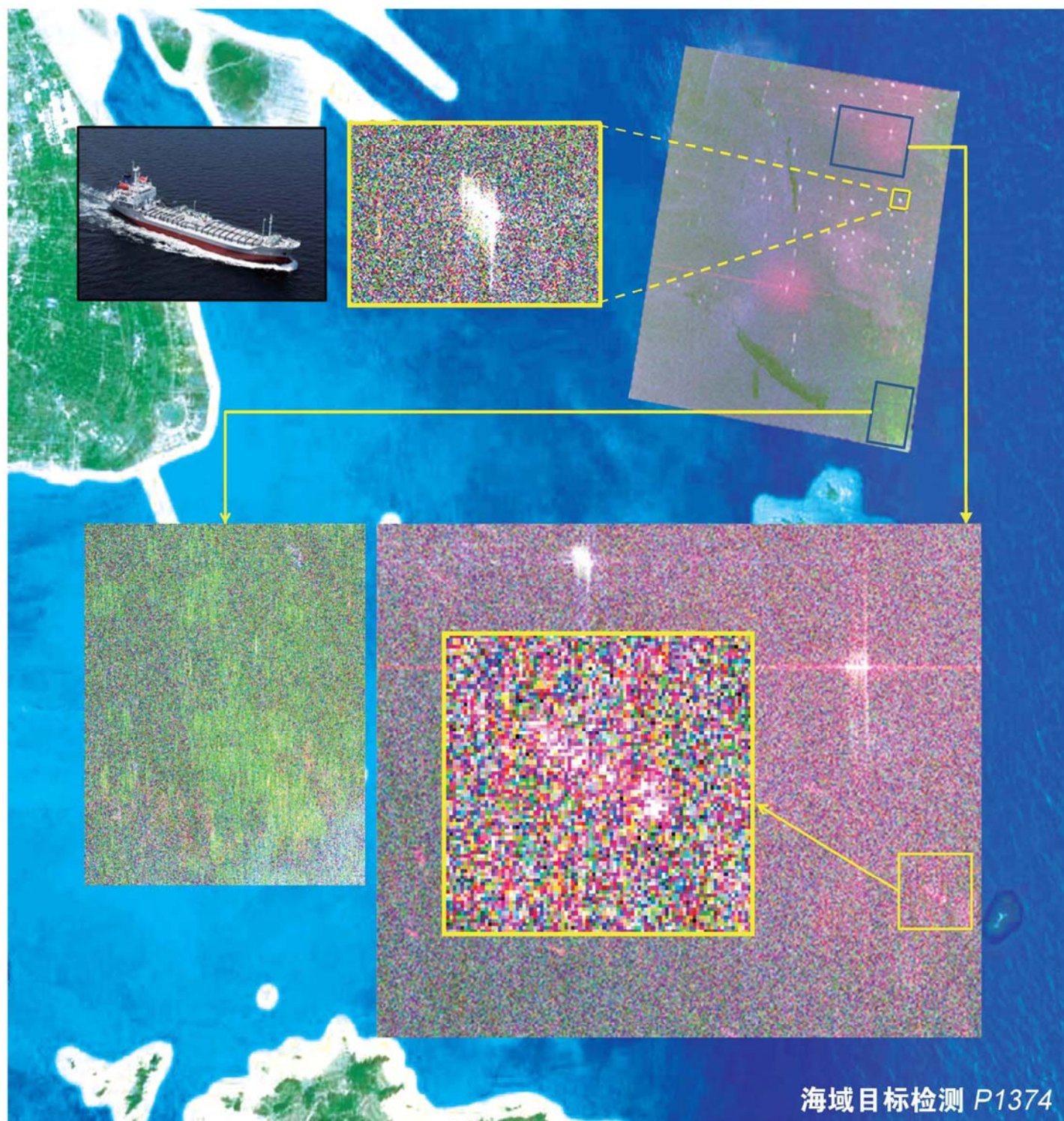
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

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

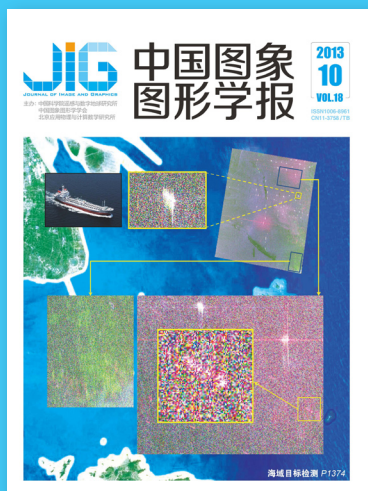
中国图象图形学报

2013
10
VOL.18

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



海域目标检测 P1374



第18卷第10期（总第210期）

2013年10月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

2013 all rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 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

主 编 李小文

编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@irsa.ac.cn

电 话 010-64807995 010-82614429

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司
(邮政信箱: 北京399信箱 邮编: 100048)

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS
China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of
Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@irsa.ac.cn

Telephone 010-64807995 010-82614429

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China))

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

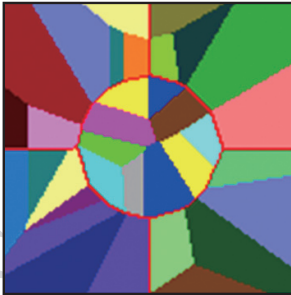
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

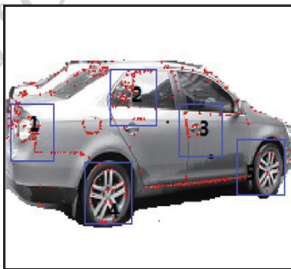
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

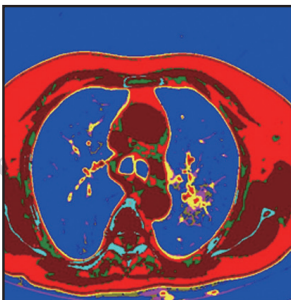
国内定价 50.00元



结合几何划分技术和最大期望值/最大边缘概率算法的彩色图像分割(第1270页)



联合生成与判别模型的目标检测与跟踪(第1293页)



聚类核值相似区特征点的医学影像分类(第1322页)

综述

手掌静脉图像识别技术综述

吴微, 苑玮琦 1215

视频检测烟雾的研究现状

罗胜, Jiang Yuzheng 1225

图像处理和编码

自适应分数阶微分的复合双边滤波算法

胡伏原, 姒绍辉, 张艳宁, 孙瑾秋 1237

曲波域高斯混合尺度模型的图像压缩重构

纪建, 李晓, 许双星 1247

结合图像信号显著性的自适应分块压缩采样

王瑞, 余宗鑫, 杜林峰, 万旺根 1255

四阶各向异性扩散方程在图像放大中的应用

李鹏, 邹杨, 姚正安 1261

图像分析和识别

结合几何划分技术和最大期望值/最大边缘概率算法的彩色图像分割

赵泉华, 李玉, 何晓军 1270

自适应加权完全局部二值模式的表情识别

胡敏, 许艳侠, 王晓华, 黄忠, 朱弘 1279

面向局部光照突变的时间和空间中心对称局部二值模式算子

卞紫涵, 房胜, 徐田帅 1285

联合生成与判别模型的目标检测与跟踪

刘倩, 侯建华, 牟海军, 赵巍, 笪邦友 1293

目标不同视角下观察信息的迁移和再利用

张索非, 吴海洋, 吴镇扬 1302

图像理解和计算机视觉

张量分析在视差图生成中的应用

赵戈, 蔺兰, 唐延东, 王耀南 1307

采用旋转匹配的二进制局部描述子

卢鸿波, 孙愿, 张志敏 1315

医学图像处理

聚类核值相似区特征点的医学影像分类

李博, 曹鹏, 栗伟, 赵大哲 1322

异常宫颈细胞核的自适应局部分割

张灵, 李静立, 陈思平, 汪天富, 江少锋, 刘少雄 1329

地理信息技术

Hilbert填充曲线与空间分布模式探测的点数据集空间划分方法

吴明光 1336

采用案例归纳推理进行道路网智能选取

郭敏, 钱海忠, 黄智深, 刘海龙, 王骁 1343

遥感图像处理

红外目标抗干扰跟踪算法

褚桐, 马惠敏 1354

MSTAR图像的矩特征分析与多阈值分割

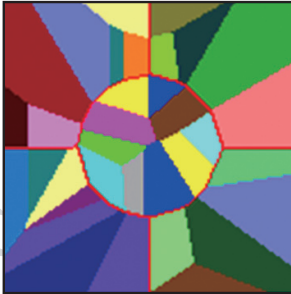
倪维平, 严卫东, 吴俊政, 郑刚, 芦颖 1364

改进Notch滤波的全极化SAR数据船舶检测方法

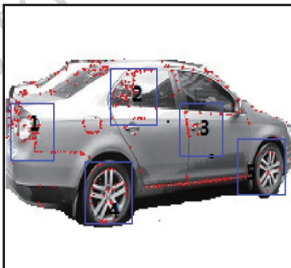
孙渊, 王超, 张红, 张波, 吴樊 1374

CONTENTS

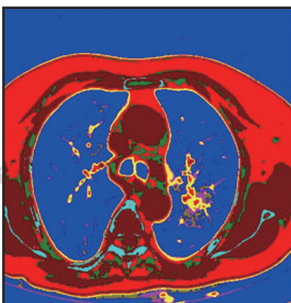
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Color image segmentation using geometry tessellation technique and EM/MPM algorithm(P1270)



Object detection and tracking combining generative and discriminative model(P1293)



Medical image classification based on cluster univalue segment assimilating nucleus feature point(P1322)

Review

- A survey of palm-vein image recognition
Wu Wei, Yuan Weiqi 1215
- State-of-art of video based smoke detection algorithms
Luo Sheng, Jiang Yuzheng 1225

Image Processing and Coding

- Multi-bilateral filtering algorithm based on adaptive fractional order differentiation
Hu Fuyuan, Si Shaohui, Zhang Yanning, Sun Jinqiu 1237
- Image reconstruction algorithm based on the curvelet gaussian scale mixture model
Ji Jian, Li Xiao, Xu Shuangxing 1247
- Saliency-based adaptive block compressive sampling for image signals
Wang Rui, Yu Zongxin, Du Linfeng, Wan Wanggen 1255
- Fourth-order anisotropic diffusion equations for image zooming
Li Peng, Zou Yang, Yao Zheng'an 1261

Image Analysis and Recognition

- Color image segmentation using geometry tessellation technique and EM/MPM algorithm
Zhao Quanhua, Li Yu, He Xiaojun 1270
- Facial expression recognition based on AWCLBP
Hu Min, Xu Yanxia, Wang Xiaohua, Huang Zhong, Zhu Hong 1279
- TSCS-LBP operator oriented to the local illumination mutation
Bian Zihan, Fang Sheng, Xu Tianshuai 1285
- Object detection and tracking combining generative and discriminative model
Liu Qian, Hou Jianhua, Mou Haijun, Zhao Wei, Da Bangyou 1293
- Transfer and reusing of object view information
Zhang Suofei, Wu Haiyang, Wu Zhenyang 1302

Image Understanding and Computer Vision

- Disparity map generation with tensor analysis
Zhao Ge, Lin Lan, Tang Yandong, Wang Yaonan 1307
- Binary local descriptor based on rotative matching
Lu Hongbo, Sun Yuan, Zhang Zhimin 1315

Medical Image Processing

- Medical image classification based on cluster univalue segment assimilating nucleus feature points
Li Bo, Cao Peng, Li Wei, Zhao Dazhe 1322
- Segmentation of abnormal cervical nuclei using an adaptive and local approach
Zhang Ling, Li Jingli, Chen Siping, Wang Tianfu, Jiang Shaofeng, Liu Shaoxiong 1329

Geoinformatics

- Hilbert space-filling curve and spatial pattern detection-based spatial partitioning approach to point geospatial data
Wu Mingguang 1336
- Intelligent road network selection method based on cases inductive reasoning
Guo Min, Qian Haizhong, Huang Zhishen, Liu Hailong, Wang Xiao 1343

Remote Sensing Image Processing

- Study of infrared anti-jamming tracking algorithm
Chu Tong, Ma Huimin 1354
- Moment feature analysis of MSTAR image and multiple thresholds based segmentation
Ni Weiping, Yan Weidong, Wu Junzheng, Zheng Gang, Lu Ying 1364
- Polarimetric SAR ship detection using improved notch filter
Sun Yuan, Wang Chao, Zhang hong, Zhang bo, Wu Fan 1374

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2013)10-1215-10

论文引用格式: 吴微,苑玮琦. 手掌静脉图像识别技术综述[J]. 中国图象图形学报,2013,18(10):1215-1224. [DOI:10.11843/jig.20131001]

手掌静脉图像识别技术综述

吴微^{1,2}, 苑玮琦¹

1. 沈阳工业大学视觉检测技术研究所, 沈阳 110870; 2. 沈阳大学信息工程学院, 沈阳 110041

摘要: 人体的手掌静脉具有唯一性、稳定性,隐藏在表皮下,结构复杂很难被复制,手掌静脉图像难以窃取拍摄,这些使得手掌静脉成为一种高安全性的生物特征。作为生物特征识别领域的前沿课题,手掌静脉图像识别技术以其高安全性等优势拥有着广泛的应用前景,成为近几年的研究热点。从手掌静脉图像识别技术的原理入手,综述了手掌静脉图像识别的4个阶段,图像采集、图像预处理、特征提取及匹配。根据特征提取方法不同,将掌脉图像识别方法分为基于结构特征的方法、基于纹理特征的方法和基于子空间的3类方法。最后,对掌脉图像识别技术的难点进行了总结,对发展趋势进行了展望。

关键词: 模式识别;生物特征识别;手掌静脉图像识别;特征提取

A survey of palm-vein image recognition

Wu Wei^{1,2}, Yuan Weiqi¹

1. Computer Vision Group, Shenyang University of Technology, Shenyang 110178, China;
 2. Information Engineering Department, Shenyang University, Shenyang 110041, China

Abstract: Human palm-vein is a permanent and unique physiological feature for each person. It hides under the skin and is difficult to duplicate because of its complex structure. Furthermore, palm vein images are difficult for candid shootings. All these characteristics make palm-vein a high security biometric feature. As a leading subject of biometrics technology, palm-vein image recognition has a wide prospect of application for its outstanding characters, such as high security. Palm vein image recognition has always been a research focus in recent years. This paper introduces the principle of palm-vein imaging first, then it provides a survey of the four stages for palm-vein image recognition: image acquisition, image preprocessing, feature extraction, and matching algorithms. According to different feature extraction approaches, we roughly group these algorithms into three categories: structure based, texture based, and subspace based methods. Finally, we conclude this paper describing the difficulty of palm-vein recognition technology and a discussion of future trends.

Key words: pattern recognition; biometrics identification; palm vein image recognition; feature extraction

0 引言

随着社会和经济的不断发展,人们对身份鉴别的准确性、安全性提出了越来越高的要求。传统的

身份鉴别方法,如特征物品(如身份证、信用卡等)和特定知识(如密码、口令等),存在容易丢失、遗忘、被复制及盗用的隐患。而通过辨识人的生理和行为特征进行身份认证的生物特征识别技术(Biometrics)^[1]为身份鉴别提供了一个方便可靠的解决

收稿日期:2013-02-19;修回日期:2013-04-09

基金项目:国家自然科学基金项目(60972123);教育部高等学校博士学科点专项科研基金项目(20092102110002);沈阳市科技计划项目(F10-213-1-00);辽宁省教育厅科研项目(L2012034)

第一作者简介:吴微(1979—),女,讲师,沈阳工业大学测量技术及仪器专业博士研究生,主要研究方向为生物特征识别。E-mail: wuwei429@163.com

方案。生物特征识别是指根据人的生理特征(如指纹、面部特征、虹膜等)或行为特征(如步态、签名等)进行身份鉴别的技术。我国在《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》中,将生物特征识别列为重点技术和优先主题^[2]。

人体的手掌静脉(以下简称“掌脉”)具有稳定性^[3]、唯一性^[4]的特点,是一种可用作身份鉴别的生物特征。掌脉隐藏在表皮下,在可见光下无法拍摄,却可以在近红外光(NIR)下拍摄,其结构复杂很难被复制。另外,掌脉拍摄需将手掌伸平,而人手在自然状态下处于半握拳状态,因此无法窃取拍摄掌脉图像。这些使得掌脉成为一种安全性好的生物特征。断落的手掌或尸体因血液停止流动将不能通过认证,所以掌脉又可以作为“活体识别”的依据^[5]。掌脉的以上特点使得掌脉识别具有了独特的优势。相对于掌纹识别^[6-7],掌脉不易受手掌脱皮的影响;相对于手指静脉^[8-9]或指纹^[10-11],掌脉拥有更大的面积;相对于手背静脉^[12-13],手掌静脉拥有更为丰富的信息;相对于人脸^[14-15],掌脉识别能轻易地区分双胞胎;相对于虹膜^[16-17],掌脉的采集方式更容易让用户接受;相对于签名^[18-19],掌脉更加稳定可靠。因此,掌脉识别可被广泛应用在考勤系统、门禁系统、银行、电子商务身份认证、机密信息存取控制等众多应用中,是一种有着广泛应用前景的生物特征识别方法,近年来得到了研究人员的广泛关注。

1 掌脉图像采集

1.1 掌脉成像原理

目前在绝大多数的掌脉识别中,掌脉图像的采集都是基于近红外光照射采集。其原理如图1所示:手掌在720~1100 nm近红外光的照射下,掌脉中的血红蛋白(包括氧合血红蛋白和还原血红蛋白)对近红外光的吸收强于周围组织对近红外光的吸收,手掌反射回的光被图像传感器接收,通过光成

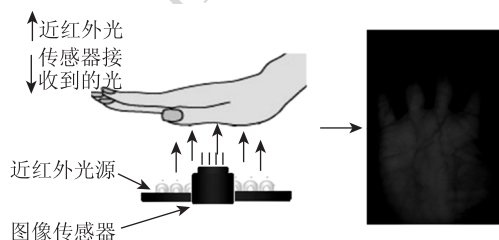


图1 掌脉成像原理图

Fig. 1 Schematic diagram of palm vein imaging

像系统可以观察到血管区域对应的光强度低于非血管区域,形成了暗影,这就是掌脉的图像^[4]。由于手掌较厚,很难透射,成像时都采用反射方式^[20]。

文献[3]尝试过采用远红外(FIR)进行拍摄,也就是热成像方式。热成像方式是利用人体血管发出的热量与周围组织不同的原理成像。实验结果表明手掌静脉和手腕静脉因为比较细小而成像不清晰,粗大的手背静脉可清晰成像。本文也曾经尝试用3 μm的远红外作为光源,以互补金属氧化物半导体(CMOS)摄像机和电荷耦合器件(CCD)摄像机分别拍摄手掌静脉,得到相同的结论。

1.2 采集设备

掌脉采集设备的细节各文献有差别,但其结构相似。图2给出了采集设备的基本结构。在采集设备中,光源负责发出近红外光,匀光板负责使手掌获得均匀的光照,红外滤光片负责滤去反射回摄像机的可见光,避免可见光对成像效果造成影响。所呈图像或传入计算机,或传入DSP。

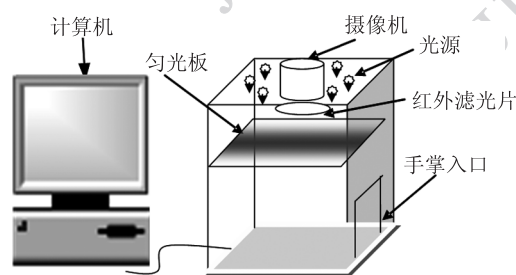


图2 采集设备示意图

Fig. 2 Schematic diagram of image acquisition equipment

在整个设备中,光源和图像传感器芯片的选择以及二者的搭配是成像的关键因素。

在光源的选取上出于成本考虑,所有文献都没有选择价格昂贵的发光二极管(LED)集成面光源而选择了便宜的近红外LED阵列作为光源。LED集成面光源采用板上芯片(COB)封装技术将LED晶粒直接封装在均温板或铜基板,形成多晶阵列型封装。国产LED集成面光源产业目前还没有量化,进口产品价格昂贵。LED阵列光源是以普通LED阵列排布形成光源。LED集成面光源在发光强度、光源稳定性、持久性等方面都远优于LED阵列光源。在LED波长选择上,各文献不一。文献[3, 21-27]采用波长为850 nm的LED阵列作为光源。文献[4, 28]采用760 nm的LED阵列作为光源。文献[29]选取了890 nm的LED阵列作为红外光源,文

文献[30]采用 850 nm 与 960 nm 组合 LED 阵列, 文献[31]采用 760 nm 与 960 nm 组合 LED 阵列, 文献[32]采用 940 nm 的 LED 阵列作为光源, 文献[33-34]指出在 700 ~ 1 000 nm 波长近红外光照下可以呈现静脉结构, 文献[35]选择 800 ~ 1 000 nm 波长近红外光采集掌脉图像。文献[36-37]只论述了在近红外光照射下采集掌脉图像, 但并没有给出具体波长。文献[38]从生物特征识别的特征提取和特征匹配两个角度, 对 760 nm、850 nm、890 nm、940 nm 这 4 种典型的掌脉拍摄波长进行比较。从识别特征提取角度, 建立了基于 Fisher 判别率的掌脉成像清晰度模型, 对不同波长下掌脉清晰度进行了比较; 从特征匹配角度, 以 3 种典型的生物特征识别算法对 4 种波长拍摄的掌脉图像进行识别性能比较。模型选择和典型算法实验结果都表明, 850 nm 优于其他 3 种波长。

在图像传感器芯片结构的选择上, 文献[3, 35-36]选择了近红外敏感 CCD 摄像机; 文献[22-23, 25-26, 37, 39]采用了普通的 CCD 摄像机; 文献[27, 30, 40]选择了价格更便宜的 CMOS 摄像机。

经过大量实验发现: 1) 选择对近红外敏感的 CCD 摄像机会对图像质量有很大改善, 但成本过高; 2) 选择敏感波段为 800 ~ 850 nm 的 CMOS 图像传感器, 配合 850 nm 波长 LED 阵列同样可以拍得质量良好的图像, 而且其价格非常低廉。

掌脉采集设备分类方式较多, 可以从是否与手掌接触, 分为接触式和非接触式两种。接触式又分为是否有固定栓或托架。从是否开放拍摄空间上分为避免可见光式拍摄和开放式拍摄。

日本富士通公司已将非接触式掌脉识别技术商业化, 开发出了掌脉识别设备 Palm Secure^[41]系列产品。公司对于其产品所发布的文献多为原理介绍和产品应用。鉴于商业机密, 无论是采集设备、采集到的图像还是识别算法的具体实现等, 该公司都鲜有文献报道。该产品如图 3 所示, 将其用在个人电脑登录上。从实验室在 100 人的登录实验中并未发生错误。识别时间从手掌置于传感器上方到得出比对结果只需 0.8 s 左右。

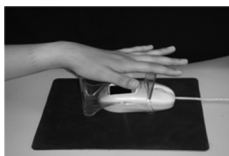
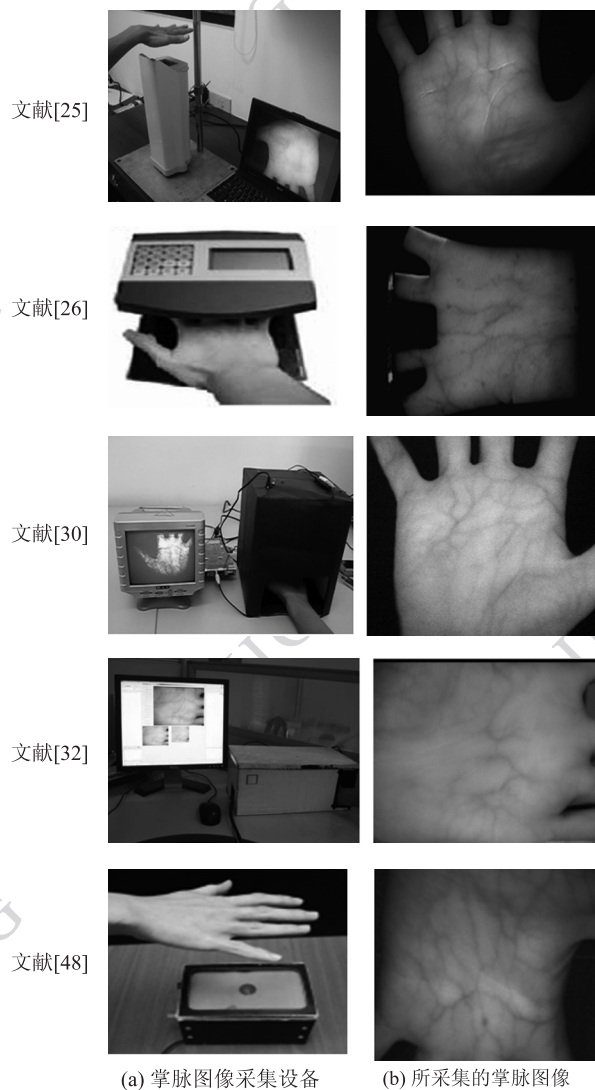


图3 富士通 Palm Secure (鼠标型)

Fig. 3 Fujitsu Palm Secure (mouse type)

目前, 除了富士通公司, 其他科研单位的手掌静脉识别设备都没有产品化, 都处在实验室阶段。从表 1 可以看出其掌脉图像采集设备体积都较大。在设备响应时间上, 文献[32]给出了从图像采集到给出识别结果各步骤所用时间, 总时间为 1 660 ms, 其中采集时间为 120 ms。文献[30]给出了图像采集时间为 23 ms。富士通产品根据应用场合不同, 其设备大小和设备响应时间也不同, 都没有文献具体说明。

图 4 列出了部分文献给出的掌脉图像采集设备及其采集到的图像。



(a) 掌脉图像采集设备 (b) 所采集到的掌脉图像

图4 掌脉图像采集设备及其采集到的图像示例

Fig. 4 Examples of palm vein image acquisition equipments and its images

1.3 数据库

目前已经公开的两个掌脉图库都是以多光谱掌纹图库的形式公布的。

香港理工大学 (PolyU) 在其公布的多光谱掌纹图库^[42]中,采用了红光(R)、绿光(G)、蓝光(B)和近红外(NIR)4种光源进行拍摄,其中近红外光下拍摄所得到的掌纹图像包含了比较清晰的静脉图像,可以作为一种掌脉图库。该图库获取设备为具有固定桩的接触式采集装置,其采集对象是250名志愿者,包括195位男性和55位女性,年龄分布为20~60岁。采集时间分为两个时间段,其平均间隔时间约为9天。在每个时间段,分别采集每名志愿者左右手各6幅图像,这相当于每个人被采集了24幅掌脉图像,得到了一共500个不同手掌的共6000幅图像。其例图如图5(a)所示。

中国科学院自动化研究所(CASIA)在其公布的多光谱掌纹图库^[43]中,采用了460 nm, 630 nm, 700 nm, 850 nm, 940 nm 5个波段光谱进行拍摄,其中850 nm, 940 nm 光谱下拍摄所得到的掌纹图像包含了比较清晰的静脉图像,可以作为一种掌脉图库。该图库获取设备为非接触式采集装置,其采集对象是100个志愿者,每人采集两只手,每只手采集6幅图像,在850 nm, 940 nm 两个光谱下共2400幅图像。其例图如图5(b)所示。

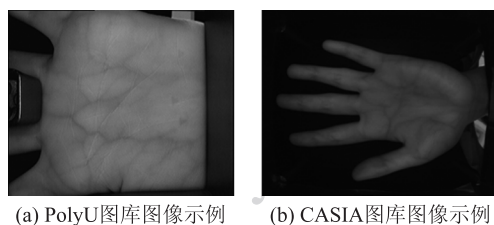


图5 掌脉图库示例

Fig. 5 Images from image database

2 掌脉图像预处理

掌脉图像预处理中最重要的问题是:感兴趣区域(ROI)的提取。ROI提取是指选择分割出掌脉图像中的一部分有效区域以进行后续特征提取、匹配。ROI区域的图像质量对识别率等指标影响很大。

目前大多数掌脉识别,如文献[21, 37, 44]等都利用了Zhang等人提出的方法^[6]。该方法在提取掌脉图像的轮廓线后,计算食指和中指间的缝隙与无名指和小指间缝隙下边界的公切线,并将公切点作为定位基准点(key point)建立坐标系,截取固定大小矩形作为ROI,如图6所示。该方法要求被采集

者五指完全张开,当出现手指并拢时,会出现边缘断裂的现象,导致定位不准。

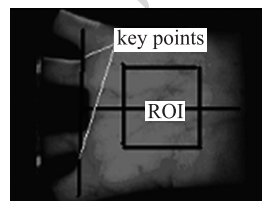


图6 文献[6]的ROI定位方法

Fig. 6 Location method of ROI by reference[6]

文献[45]也定位掌心区域作为ROI,以中指根部中点和手腕根部中点连线作为y轴,将通过两点中点的垂线作为x轴,在此坐标轴上做一个大小为128×128像素的ROI。这种方法对于拍摄过程中手掌图像的偏转鲁棒性较差。文献[46]沿用了文献[47]所提出的掌纹ROI提取方法。该方法以食指与中指的谷点和无名指与小拇指的谷点之间的距离确定ROI的位置和大小。文献[48]沿用了文献[49]所提出的掌纹ROI提取方法,以除大拇指外的其余四指之间的3个谷点确定ROI。文献[6, 45]方法适用于接触式掌脉识别。文献[46, 48]方法适用于非接触式掌脉识别。

文献[50]针对部分人群掌心区掌脉成像不清晰以致影响整个识别系统性能的问题,通过光学实验和医学依据证明手掌区域中大鱼际位置静脉信息比掌心区丰富(手掌区域的医学划分如图7(a)所示),提出了一种基于大鱼际的ROI定位方法。其定位方法是首先在手掌轮廓内做靠近手腕侧最大内切圆(WSMIC)。如图7(b)所示,A点为WSMIC与手轮廓在大拇指侧的切点,O点为WSMIC圆心。过O点与WSMIC上的点B、点C做正方形BCDE,边BE平行于线段AO,O点为DE边的中点。截取该正方形,即为所求ROI。

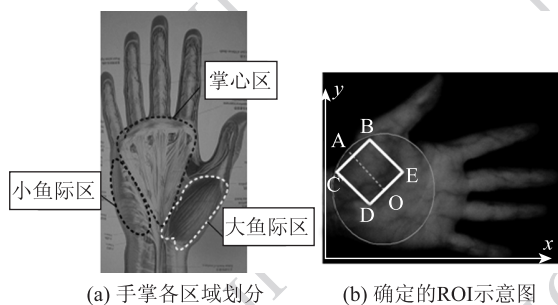


图7 文献[50] ROI定位方法

Fig. 7 Location method of ROI by reference[50]

3 特征提取及匹配

根据特征提取方法不同,现有的掌脉识别方法可归结为以下几类:基于结构特征、基于纹理特征和基于子空间的方法。

3.1 基于结构特征的方法

基于结构特征的方法提取掌脉的线特征或点特征表示掌脉。对于线特征的提取,是将掌脉看做一种边缘信息,利用边缘检测算法或其他线检测方法获得掌脉线。对于点特征则提取掌脉的分叉点、末端点或某些角点来表示掌脉特征。

文献[22]提取静脉长度和细节点来识别和匹配掌脉。先用 Niblack 算法将原图像二值化,以中值滤波去噪声,再以细化算法细化图像从而获得掌脉线的细节点位置信息,最后以文献[11]中的方法对这些位置信息进行匹配。

文献[26]提出基于尺度不变特征变换(SIFT)角点提取掌脉特征的方法。通过在不同尺度空间检测角点,计算角点邻域的梯度方向直方图,生成 SIFT 特征向量,然后采用 SIFT 特征向量的欧氏距离完成匹配。这种方法对旋转和平移的鲁棒性很强,但是匹配速度慢。文献[51]分别用 SIFT 算子、加速鲁棒性特征(SURF)算子、仿射尺度不变特征变换(ASIFT)算子提取掌脉图像的角点特征并以欧氏距离分别匹配识别。发现 ASIFT 算子识别等误差最低,但识别时间最长。

文献[45]利用掌脉的分叉点和末端点特征提取掌脉特征。将细化后的掌脉图像上各点分成4类:0邻域、1邻域、2邻域、大于2邻域,从而提取分叉点和末端点作为图像的细节点序列。各点之间的距离升序生成一个距离矢量模板,为后续匹配提供依据。该文献指出掌脉图像 ROI 区域中平均有13个特征点,包括7个分叉点和6个末端点。

文献[52]提出掌脉中的曲线段可以用中值夹角链码描述。通过中值迭代将细化后的静脉曲线段用一组变长线段拟合。利用距离法则来计算并控制拟合误差,在允许的误差下,根据相邻线段间的斜度差形成一串角度序列并计算中值夹角链码。采用基于中值夹角链码的算法匹配。该方法保证了拟合精度,减少了计算量。

这些提取结构特征的掌脉识别方法容易因掌脉

信息模糊而丢失部分点、线特征,从而可能对识别性能有所影响。

3.2 基于纹理特征的方法

基于纹理的方法是当前使用较多的掌脉特征提取方法。该方法将掌脉图像看做是纹理图像,通常使用某种变换将掌脉图像变换到另一个域,而后提取其纹理信息。

文献[21]利用曲波可以代表平滑弯曲物体的特征,提出先采用主成分分析(PCA)对图像降维而后提取曲波变换系数代表掌脉纹理特征,用曲波变换系数来代表静脉图像的特征。曲波变换尺度选为3,角度选为16,将原始大小为 200×250 像素的图像进行分解,得到一个近似曲波系数作为1级特征向量,16个详细一层曲波系数作为2级特征向量,32个详细二层曲波系数作为3级特征向量。以NN分类器进行3类特征的分类,最后以加权欧几里德距离完成匹配。

文献[24]提出两种掌脉提取方法。其一是以邻域匹配 Radon 变换提取掌脉信息,再改进汉明距离进行匹配;其二是基于 Hessian 相位的方法。通过分析归一化掌脉图像的二阶导数特征值提取血管结构,同样以改进汉明距离进行匹配。

文献[37]指出静脉血管图像切面分布与高斯函数分布比较相像,因此采用多尺度高斯匹配滤波来提取掌脉纹理结构特征,并进行模板匹配识别,可以得到较好的匹配效果,但是该匹配方法非常容易受图像旋转和平移的影响。文献[44]提出在匹配阶段以迭代最近点(ICP)方式代替模板匹配。ICP算法是2维数字图像配准的主导性算法,能较好地解决旋转问题。其实现过程为:在将待匹配图像和数据库中一幅图像进行匹配时,搜索两幅图像点集中的最近点对,去掉距离大于阈值的点对,用ICP算法计算旋转和平移的值,将待匹配图像作旋转和平移,如果两幅图像中最近点集合中点的个数不增加则计算匹配得分。否则再重复以上的过程直到得分已不在阈值范围之内。此时给出两幅图像的匹配得分,以阈值判断是否匹配。

文献[48]以 Radon 变换结合离散余弦变换(DCT)提取静脉的主要纹理特征,并以欧氏距离进行匹配。

文献[53]利用基于最近邻方向的方向编码编码线模式。首先用小波分解得到图像的低频信息,再用 Sobel 算子在竖直、水平、 45° 、 -45° 方向检测边

缘,将检测结果以二进制编码的形式表示,并采用汉明距离进行匹配。

文献[54]以 0° 、 45° 、 90° 、 135° 4个方向的2D-Gabor提取掌脉并以方向编码表示掌脉特征,以位串形式表示编码,最后采用汉明距离匹配。

文献[55]提出了两种掌脉特征提取模式。基于局部二值模式(LBP)的方法将掌脉图像分成16个子区域,提取各子图像的描述子,共得到3 840个描述子描述掌脉图像,最后以直方图相交的方法匹配。基于局部定向模式(LDP)的方法也将掌脉图像分成16个子区域,在 0° 、 45° 、 90° 、 135° 4个方向上分别以3阶LDP提取掌脉描述子,最后以直方图相交的方法匹配。

文献[56]采用复合匹配滤波(CMF)提取掌脉图像,CMF包含8个不同方向的高斯核,以相同的尺度来提取不同方向的血管,然后以分段方式存储血管信息,既减少了识别信息又节省了存储空间。在匹配时,根据两个向量存储段的长度,方向夹角和绝对位置的乘积进行比较。

这些提取纹理特征的方法也会受到掌脉图像中的掌脉纹理信息不够丰富,不够清晰的影响,从而可能对识别性能造成影响。

3.3 基于子空间的方法

子空间方法将掌脉图像看做是高维向量或矩阵,通过投影或变换将其转化为低维向量或矩阵,并在此低维空间下对掌脉表示和匹配。

文献[57]属于子空间方法,其先采用PCA算法对图像降维,再采用局部保持投影(LPP)算法提取掌脉图像特征,并融合了掌纹特征。文献[58]首先对图像进行3级小波分解,提取第3级分解得到的低频子图像,同时对图像降维,再对低频子图像运用部分最小二乘法提取掌脉特征,最后以欧氏距离进行匹配。该方法在用部分最小二乘法提取掌脉特征时考虑了类别信息,因此获得了高识别率,低误据率。适用于非接触式掌脉识别。

相对于基于结构的方法和基于纹理的方法,子空间方法通常具有特征向量维数少,对图像质量要求低的优点。掌脉识别的子空间方法研究目前还很匮乏。

3.4 各种特征提取方法效果比较

选择识别对象仅为掌脉(不包括与掌纹融合或多光谱掌纹图像)的算法进行识别方法、性能、数据库规模等方面比较,如表1所示。

4 研究难点与发展趋势

4.1 研究难点

当前掌脉识别的研究有以下难点:

1) 低成本、可识别掌脉图像的获取

如何以低成本采集到可识别的掌脉图像是掌脉识别技术长足发展首先要解决的问题。掌脉采集设备的成本主要由光源和图像传感器组成。如果采用LED阵列作为光源,并以CMOS图像传感器进行拍摄,必然大幅度降低生产成本。因此,研究所采用的LED的类型和数量、LED阵列的排布、CMOS图像传感器敏感光谱范围,对提升图像质量非常有意义。

2) 从低对比度、高噪声、光照不均图像中提取静脉

掌脉图像的特点就是对比度低、噪声高、光照不均,这是由于覆盖在掌脉上的皮肤组织的非透明性、不均匀性和各异性,使得照射掌脉的近红外光发生散射造成的^[59],在部分人群掌脉成像中表现尤为明显。如何从这样的掌脉图像中提取静脉从而识别是静脉识别要解决的又一个难点。对这样的图像必须进行有效的增强才能提取,研究掌脉增强技术是此问题的突破点。

3) 非接触采集方式中变形图像的识别

非接触式掌脉识别因其非接触的图像采集方式能够避免疾病传播,降低对用户的约束,受到使用者的欢迎。但非接触图像采集方式使同类图像因旋转、平移、比例缩放造成多次拍摄的图像差别较大,可能大幅降低识别率,增加误拒率。在这样的图像中找到并表示出稳定的掌脉特征,从而提出鲁棒性强的掌脉识别算法,是有待解决的问题。

4) 图像质量评价

掌脉图像的质量评估可以用来评估硬件采集设备的性能,也可以用来评估注册和识别阶段用户提供掌脉图像是否符合后续识别要求。

掌脉图像的质量评估应该包括判断采集到的图像是否为掌脉,掌脉是否采集完整,手掌轮廓是否清晰,掌脉脉络是否清晰等。目前,文献[60]提出以血管的生理参数评价图像质量,文献[20]从透射和反射成像方式、最佳成像波段、日光对图像质量的影响等几个方面评价掌脉图像,文献[27]以信息容量、能量谱-熵、伪信噪比综合评价图像质量,文献[53]提出以灰度级并发矩阵评价图像纹理信息的丰富程度。准确评价掌脉图像质量仍是一个难点问题。

表 1 掌脉识别算法性能统计表

Table 1 Summary and comparison of palm vein recognition algorithms

文献	方法	数据库规模	性能	接触/非接触
[22]	以静脉长度和细节点组成特征,以文献[11]方法匹配	30 手 × 6 幅/手 = 180 幅	$EER = 1.82\%$	接触
[26]	以 SIFT 算子提取特征,欧氏距离匹配	24 手 × 30 幅/手 × 2 个时间段 = 1 440 幅	$EER = 0\%$	接触
[51]	分别以 SIFT 算子、SURF 算子、ASIFT 算子提取特征,分别欧氏距离匹配	实验 1:100 手 × 6 幅/手 = 600 幅(随机选自 PolyU 图库) 实验 2:100 手 × 2 幅/手 = 200 幅	实验 1: SIFT 算子 $EER = 2.2\%$; SURF 算子 $EER = 0.4\%$; ASIFT 算子 $EER = 0\%$ 实验 2: SIFT 算子 $EER = 4\%$; SURF 算子 $EER = 4\%$; ASIFT 算子 $EER = 0\%$	接触
[52]	提取中值夹角链码表示掌脉特征,基于中值夹角链码匹配	26 手 × 5 幅/手 = 130 幅	误差限为 19 时, $FAR = 2.8\%$; $FRR = 0\%$	非接触
[21]	以曲波变换提取特征,加权欧几里德距离匹配	100 手 × 10 幅/手 = 1 000 幅	$CRR = 99.6\%$	未提及
[24]	方法 1: 邻域匹配 Radon 变换(NMRT)提取掌脉信息,改进汉明距离进行匹配 方法 2: 基于 Hessian 相位提取掌脉信息,改进汉明距离进行匹配	实验 1: 200 手 × 6 幅/手 = 1 200 幅(CASIA 图库) 实验 2: 500 手 × 12 幅/手 = 6 000 幅(PolyU 图库)	实验 1: 方法 1: $EER = 0.51\%$, 方法 2: $EER = 1.44\%$ 实验 2: 方法 1: $EER = 0.004\%$, 方法 2: $EER = 0.43\%$	实验 1: 非接触 实验 2: 接触
[37]	以多尺度高斯匹配滤波提取特征,模板匹配	24 手 × 6 幅/手 = 144 幅	$CRR = 98.9\%$; $FAR = 5.5\%$	接触
[44]	以多尺度高斯匹配滤波提取特征,ICP 匹配	500 手 × 12 幅/手 = 6 000 幅	$FAR = 0.553\%$; $FRR = 0.582\%$ $EER = 0.557\%$; $CRR = 99.41\%$	非接触
[48]	Radon 变换结合 DCT 提取静脉的主要纹理特征,并以欧氏距离进行匹配	136 手 × 10 幅/手 = 1 360 幅	$FAR = 0.553\%$; $FRR = 0.582\%$ $EER = 0.557\%$; $CRR = 99.41\%$	非接触
[54]	以 4 个方向的 2D-Gabor 提取掌脉,采用汉明距离匹配	207 手 × 20 幅/手 = 4 140 幅	$CRR \geq 99\%$; $EER \leq 0.4\%$	非接触
[56]	以 CMF 提取掌脉图像,依据特征向量存储段的长度、方向夹角和绝对位置的乘积进行匹配	50 手 × 8 幅/手 = 400 幅	$CRR = 99.83\%$	非接触
[58]	以部分最小二乘法提取掌脉特征,以欧氏距离进行匹配	50 手 × 6 幅/手 = 300 幅	$FAR = 0.14\%$; $FRR = 0.67\%$ $CRR = 99.86\%$	非接触

注: 误拒率 $FRR/\% = NFR/NAA$, 误识率 $FAR/\% = NFA/NIA$ ^[38], NAA 和 NIA 分别是合法用户和假冒(非法)用户分别尝试的总次数, NFR 和 NFA 分别是错误拒绝和错误接受的次数; 等误率(EER)是当 FRR 与 FAR 相等时, $FAR(FRR)$ 称为等误率; 正确识别率 $CRR/\% =$ 正确鉴别结果的实验次数/鉴别实验的总次数。

4.2 发展趋势

结合当前研究的现状和难点分析,可以对掌脉识别的发展趋势概括如下:

1) 3 维掌脉识别的实现

掌脉是 3 维信息,以多角度拍摄获得的 3 维掌脉图像必然增加识别信息,对识别准确性和安全性有提升,也将成为一项前沿课题。

2) 与其他生物特征融合识别

为了获得更高的识别准确率,在生物特征识别

技术中常常采取融合的策略。掌脉与掌纹的融合^[5, 36, 57, 61-63]是目前研究的最多的掌脉融合技术,也发展到了产品化的阶段。掌脉与手型的融合^[64],掌脉、掌纹和手型的融合^[65, 1],以及与多个手部特征融合^[66]的识别方法都有很好的前景。可以预见,不久的将来就会出现由掌脉、手型、指纹、掌纹、手指静脉等多个手部特征构成的更加可靠的全掌识别系统。

3) 应对皮肤属性改变

随着人年龄的增长或健康状态的改变,部分人

群存在如色素沉着,皮肤层增厚等皮肤属性改变的现象,这些都会对掌脉识别造成不同程度的影响。另外,饮酒以及极端的外界条件对掌脉识别的影响都待深入研究。

4) 大规模掌脉数据库的建立

目前掌脉数据库的规模局限使得当前的研究成果还不具有绝对说服力,因此,需要建立更大规模数据库以使掌脉图像识别技术得到更广泛的应用。

5) 活体检测的实现

活体检测是检测人体的生命特征的一种方法,可以有效防止以尸体或断掌进行识别。但是,目前尚没有文献研究,在人的生命体征消失到什么状态时,掌脉识别失效,还有待研究。

5 结 语

手掌静脉图像识别技术以掌脉的唯一性、稳定性、高安全性迅速成长为生物特征识别家族中备受关注的新成员。掌脉识别技术也以其深厚的理论价值和广阔的市场前景正不断吸引国内外研究人员投入到对其的研究中,相信在不远的将来,该技术将得到更加迅猛的发展。

参考文献 (References)

- [1] Jain A K, Bolle R, Pankanti S. Biometrics: Personal Identification in Networked Society [M]. Norwell, Massachusetts, USA: Kluwer Academic Publishers, 1999:1-16.
- [2] Yuan W Q, Ke L, Bai Y. Biometric Identification Technology [M]. Beijing: Science Press, 2009. [苑玮琦,柯丽,白云. 生物特征识别技术[M]. 北京: 科学出版社, 2009.]
- [3] Wang L, Leedham G. Near-and far-infrared imaging for vein pattern biometrics[C]//Proceedings of the Video and Signal Based Surveillance. Sydney: IEEE Press, 2006: 52-57. [DOI: 10.1109/AVSS.2006.80]
- [4] Watanabe M. Palm Vein Authentication in Advances in Biometrics[M]. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 2008:75-88.
- [5] Zhang D, Guo Z, Lu G, et al. Online joint palmprint and palm-vein verification [J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(3):2621-2631. [DOI: 10.1016/j.eswa.2010.08.052]
- [6] Zhang D, Kong W K, You J, et al. Online palmprint identification [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(9):1041-1050. [DOI: 10.1109/TPAMI.2003.1227981]
- [7] Li C Y, Lu G M, Li W. 3D palmprint recognition based on surface curvature and RLDA[J]. Journal of Image and Graphics, 2011, 16(5):807-812. [李春燕, 卢光明, 黎伟. 基于曲面曲率
- 和 RLDA 的 3D 掌纹识别方法[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(5):807-812.]
- [8] Wang K J, Ma H, Li X F, et al. Finger vein pattern extraction method using oriented filtering technology [J]. Journal of Image and Graphics, 2011, 16(7):1206-1212. [王科俊, 马慧, 李雪峰, 等. 使用方向滤波技术的手指静脉纹路提取方法[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(7): 1206-1212.]
- [9] 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. [DOI: 10.1016/j.patrec.2011.04.021]
- [10] Bian W X, Xu D Q. Composite thinning algorithm for fingerprint image[J]. Journal of Image and Graphics, 2011, 16(6): 1015-1021. [卞维新, 徐德琴. 指纹图像细化的复合式算法[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(6): 1015-1021.]
- [11] Jain A, Hong L, Bolle R. On-line fingerprint verification [J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 1997, 19(4): 302-314. [DOI:10.1109/34.587996]
- [12] Wang L Y, Leedham G, Cho S Y 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]
- [13] Wang L Y, Leedham G. A thermal hand vein pattern verification system [J]. Pattern Recognition and Image Analysis, 2005, 3687:58-65. [DOI: 10.1007/11552499_7]
- [14] Wang S M, Ye J H, Deng T, et al. Two-dimensional dual-tree complex wavelet transform uncertainty weighted fusion in face recognition[J]. Journal of Image and Graphics, 2012, 17(8): 995-1001. [王仕民, 叶继华, 邓涛, 等. 2 维双树复小波不确定度加权融合的人脸识别[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(8): 995-1001.]
- [15] Zhao W, Chellappa R, Phillips P J, et al. Face recognition: a literature survey [J]. ACM Computing Surveys, 2003, 35(4): 399-458. [DOI: 10.1145/954339.954342]
- [16] Bowyer W, Hollingsworth K, Flynn P J. Image understanding for iris biometrics: a survey [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110(2): 281-307. [DOI: 10.1016/j.cviu.2007.08.005]
- [17] Wang X H, Dong Q K. An kind of iris recognition algorithm based on 2D-PLDA and wavelet subband [J]. Journal of Image and Graphics, 2011, 16(1):59-65. [王相海, 董钦科. 一种基于 2D-PLDA 和小波子带的虹膜识别算法[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(1):59-65.]
- [18] Yang F D, Lv Y. Off-line signature verification based on combination of direction feature and grid feature[J]. Journal of Image and Graphics, 2012, 17(6): 717-721. [杨丹凤, 吕岳. 方向特征和网格特征融合的离线签名鉴别[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(6): 717-721.]
- [19] Jain A K, Griess F D, Connell S D. On-line signature verification [J]. Pattern Recognition, 2002, 35(12): 2963-2972. [DOI: S0031-3203(01)00240-0]
- [20] Fuksis R, Greitans M, Nikisins O, et al. Infrared imaging sys-

- tem for analysis of blood vessel structure [J]. *Electronics and Electrical Engineering*, 2010, 1(97): 45-48.
- [21] Li Q, Zeng Y, Peng X, et al. Curvelet-based palm vein biometric recognition [J]. *Chinese Optics Letters*, 2010, 8(6): 577-579. [DOI: 1671-7694/2010/060577-03]
- [22] Zhang H, Hu D. A palm vein recognition system[C]//Proceedings of the Intelligent Computation Technology and Automation. Changsha: IEEE Press, 2010:285-288. [DOI: 10.1109/ICITTA.2010.425]
- [23] Qiu X G, Zhang D P, Liu J, et al. Palm vein patterns extraction based on adaptive region-growing algorithm[J]. *Computer Engineering and Application*, 2007, 43(33): 230-233. [裴旭光, 张大鹏, 刘晶, 等. 基于自适应区域增长算法获取手部静脉模式[J]. *计算机工程与应用*, 2007, 43(33): 230-233.] [DOI: 1002-8331(2007)33-0230-04]
- [24] 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]
- [25] Han W Y, Lee J C. Palm vein recognition using adaptive gabor filter [J]. *Expert Systems with Applications*, 2012, 39(18): 13225-13234. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.079>]
- [26] Ladoux P O, Rosenberger C, Dorizzi B. Palm vein verification system based on SIFT matching [J]. *Advances in Biometrics*, 2009, 5558:1290-1298. [DOI: 10.1007/978-3-642-01793-3_130]
- [27] Cui J J, Wang L H, Chen D L, et al. On the vein image capturing system based on near-infrared image quality assessment[J]. *Journal of Northeastern University: Natural Science*, 2009, 30(8): 1099-1102. [崔建江, 王立辉, 陈大力, 等. 基于近红外图像质量评价的静脉图像采集系统[J]. *东北大学学报: 自然科学版*, 2009, 30(8): 1099-1102.] [DOI: 1005-3026(2009)08-1099-04]
- [28] Sasaki S, Kawai H, Wakabayashi A. Business expansion of palm vein pattern authentication technology [J]. *Fujitsu Sci. Tech. J.*, 2005, 41(3): 341-347.
- [29] Wang R. Research on palm-vein personal identification [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2008. [汪锐. 手掌静脉识别研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008.]
- [30] Wan W B. Study on palm-vein image capture and recognition system. [D]. Shenyang: Shenyang University of Technology, 2009. [万文博. 掌脉图像采集与识别装置的研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2009.]
- [31] Yuan W Q, Yang G T, Li W. Research on palm vein acquisition system based on wavelength choice[J]. *Laser & Infrared*, 2011, 41(2): 234-239. [苑玮琦, 杨国天, 李威. 基于波长选择的手掌静脉采集系统研究[J]. *激光与红外*, 2011, 41(2): 234-239.] [DOI: 1001-5078(2011)02-0234-06]
- [32] Zuo T D. Design and implementation of palm vein recognition system[D]. Changsha: National University of Defense 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.]
- [33] Simpson R, Laufer J G, Kohl M, et al. Near-infrared optical properties of ex-vivo human skin and subcutaneous tissues using reflectance and transmittance measurements[C]//Proceedings of the BiOS'97. San Jose, CA: International Society for Optics and Photonics, 1997: 307-313. [DOI: 10.1117/12.280259]
- [34] Franceschini M A, Gratton E, Hueber D M, et al. Near-infrared absorption and scattering spectra of tissues in vivo[C]//The BiOS'99 International Biomedical Optics Symposium. San Jose, CA: International Society for Optics and Photonics, 1999: 526-531. [DOI: 10.1117/12.356854]
- [35] Wang J G, Yau W Y, Suwandy A, et al. Fusion of palmprint and palm vein images for person recognition based on "Laplacian-palm" representation [J]. *Pattern Recognition*, 2008, 41(5): 1514-1527. [DOI: 10.1016/j.patcog.2007.10.021]
- [36] Wang J G, Yau W Y, Suwandy A. Feature-level fusion of palmprint and palm vein for person identification based on a "junction point" representation [C]//Proceedings of the Image Processing. Singapore: IEEE Press, 2008: 253-256. [DOI: 10.1109/ICIP.2008.4711739]
- [37] Zhang Y B, Li Q, You J, et al. Palm vein extraction and matching for personal authentication [J]. *Advances in Visual Information Systems*, 2007: 154-164. [DOI: 10.1007/978-3-540-76414-4_16]
- [38] Wu W, Yuan W Q, Lin S, et al. Selection of typical wavelength for palm vein recognition. [J]. *Acta Optica Sinica*, 2012, 32(12): 133-139. [吴微, 苑玮琦, 林森, 等. 手掌静脉识别典型波长选择[J]. *光学学报*, 2012, 32(12): 133-139.] [DOI: 10.3788/AOS201232.1211002]
- [39] Cong X G. Research on infrared imaging of subcutaneous veins [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2007. [丛晓刚. 皮下静脉红外成像技术的研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.]
- [40] Yang G T. Research on palm vein acquisition and recognition system. [D]. Shenyang: Shenyang University of Technology, 2011. [杨国天. 手掌静脉图像采集与识别系统研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2011.]
- [41] Watanabe M, Endoh T, Shiohara M, et al. Palm vein authentication technology and its applications [C]//Proceedings of the Biometric Consortium Conference. Arlington, USA: IEEE Press, 2005: 19-21.
- [42] 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]
- [43] Hao Y, Sun Z, Tan T, et al. Multispectral palm image fusion for accurate contact-free palmprint recognition [C]//Proceedings of the Image Processing. San Diego, CA: IEEE Press, 2008: 281-284. [DOI: 10.1109/ICIP.2008.4711746]
- [44] 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]
- [45] Prasanalakshmi B, Kannammal A. Secure cryptosystem from palm vein biometrics in smart card[C]//Proceedings of the Computer and Automation Engineering. Singapore: IEEE Press, 2010: 653-657. [DOI: 10.1109/ICCAE. 2010. 5451311]
- [46] Zhou Y, Kumar A. Contactless palm vein identification using multiple representations[C]//Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Biometrics: Theory Applications and Systems. Washington, DC: IEEE Press, 2010: 1-6. [DOI: 10.1109/BTAS. 2010. 5634470]
- [47] Hao Y, Sun Z N, Tan T N, et al. Multispectral palm image fusion or accurate contact-free palmprint recognition[C]//Processing of the 15th Image Processing. San Diego, CA: IEEE Press, 2008: 281-284. [DOI: 10.1109/BTAS. 2010. 5634470]
- [48] Michael G K O, Connie T, Hoe L S, et al. Design and implementation of a contactless palm vein recognition system[C]//The 2010 Symposium on Information and Communication Technology. Hanoi, Vietnam: ACM, 2010: 92-99. [DOI: 10.1145/1852611.1852630]
- [49] Michael G K O, Connie T, Jin T A B. Touch-less palm print biometrics: novel design and implementation [J]. Image and Vision Computing, 2008, 26(12): 1551-1560. [DOI: 10.1016/j.imavis. 2008. 06. 010]
- [50] Wu W, Yuan W Q, Lin S, et al. Study of ROI selection and location for palm vein recognition[J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2013, 24(1): 152-160. [吴微, 苑玮琦, 林森, 等. 手掌静脉识别中感兴趣区域的选择与定位研究[J]. 光电子·激光, 2013, 24(1): 152-160.]
- [51] Pan M, Kang W X. Palm vein recognition based on three local invariant feature extraction algorithms [J]. Biometric Recognition, 2011, 7098: 116-124. [DOI: 10.1007/978-3-642-25449-9_15]
- [52] Yang C, Chen J X, Li W. Palm vein features extraction based on median-length included angle chain [J]. Journal of Computer Applications, 2009, 29(11): 3048-3050. [杨闯, 陈家新, 黎蔚. 基于中值夹角链码的掌静脉特征提取[J]. 计算机应用, 2009, 29(11): 3048-3050.]
- [53] Michael G K O, Connie T, Jin A T B. A preliminary acclimatization study of a contactless biometrics using palm vein feature [C]//Proceedings of the 6th Industrial Electronics and Applications. Beijing: IEEE Press, 2011: 1022-1027. [DOI: 10.1109/ICIEA. 2011. 5975737]
- [54] Lee J C. A novel biometric system based on palm vein image [J]. Pattern Recognition Letters, 2012, 33(12): 1520-1528. [DOI: 10.1016/j.patrec. 2012. 04. 007]
- [55] Mirmohamadsadeghi L, Drygajlo A. Palm vein recognition with local binary patterns and local derivative patterns[C]//Proceedings of the Biometrics. Washington DC: IEEE Press, 2011: 1-6. [DOI: 10.1109/IJCB. 2011. 6117804]
- [56] Greitans M, Pudzs M, Fuksis R. Palm vein biometrics based on infrared imaging and complex matched filtering[C]//Proceedings of the 12th ACM Workshop on Multimedia and Security. Roma, Italy: ACM, 2010: 101-106.
- [57] Wang J G, Yau W Y, Suwandya 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]
- [58] Wu W, Yuan W Q, Guo J Y, et al. Contact-less palm vein recognition based on wavelet decomposition and partial least square [J]. Biometric Recognition, 2012, 7701: 176-183. [DOI: 10.1007/978-3-642-35136-5_22]
- [59] 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. [DOI: 10.1016/j.optlaseng. 2011. 03. 004]
- [60] Li C, Chen P J, Chou C, et al. Quantitative measurements of blood vessels on human extremities by near-infrared (NIR) technique[C]//Proceedings of the 4th Kuala Lumpur International Conference on Biomedical Engineering. Seoul, Korea Springer, 2008: 674-678. [DOI: 10.1007/978-3-540-69139-6_168]
- [61] Zhang D, Lu G, Guo Z, et al. Method and Apparatus for Personal Identification Using Palmprint and Palm Vein: USA, US 8, 229, 178, B2 [P]. 2012-07-24.
- [62] Toh K A, Eng H L, Choo Y S, et al. Identity verification through palm vein and crease texture [J]. Advances in Biometrics, 2005, 3832: 546-553. [DOI: 10.1007/11608288_73]
- [63] Yuan W Q, Tang Y H. The driver authentication device based on the characteristics of palmprint and palm vein [C]//Proceedings of International Conference on the Hand-Based Biometrics. HongKong, China: IEEE Press, 2011: 1-5. [DOI: 10.1109/ICHB. 2011. 6094336]
- [64] Deepamalar M, Madheswaran M. An improved multimodal palm vein recognition system using shape and texture features [J]. International Journal of Computer Theory and Engineering, 2010, 2(3): 436-444.
- [65] Zhang R. Research on multimodal handmetric recognition. [D]. Chongqing: Chongqing Institute of Technology, 2008. [张睿. 多模态手部生物特征识别技术的研究[D]. 重庆: 重庆工学院, 2008.]
- [66] Gao E Y. Research on algorithm of hand vein recognition [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2010. [高恩颖. 手部静脉识别算法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.]