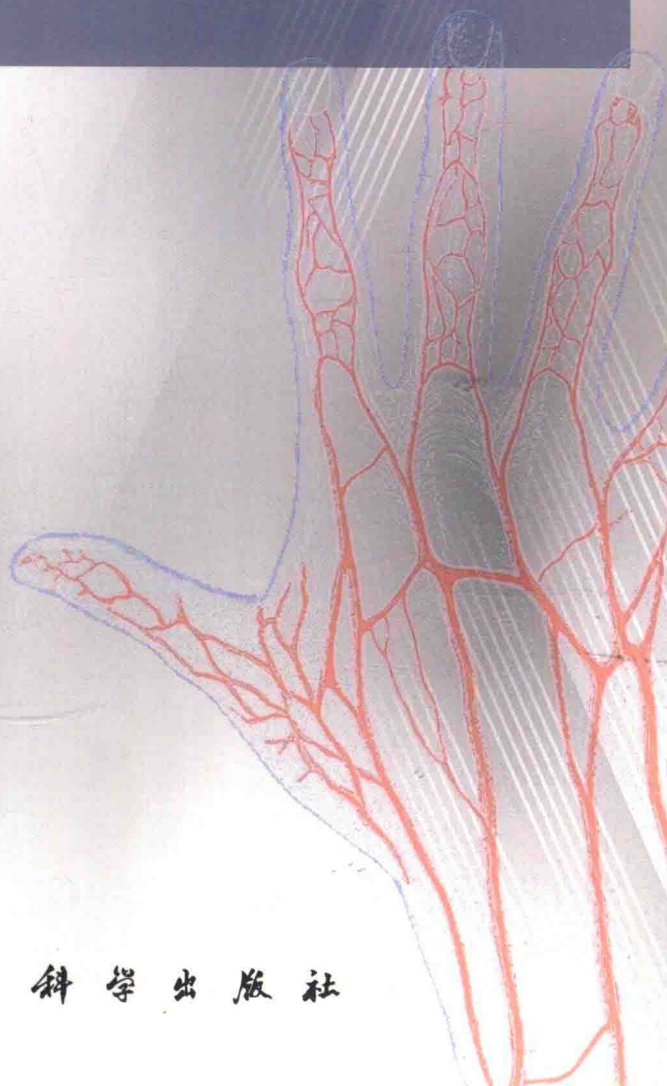


Vein Pattern Encoding and Identification

静脉信息编码与辨识

王 军 王国庆 李 明 著



科学出版社

静脉信息编码与辨识

王 军 王国庆 李 明 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书首先对比分析了指纹、语音、掌纹、虹膜和人脸识别等技术的特点和问题,讨论了基于手部静脉信息设计识别系统的鲜明特点和重要意义,然后以设计鲁棒静脉识别系统为研究目的,以手部多源静脉图像信息为主要研究对象,以由浅及深的特征编码模型为研究脉络,设计实现了多种有效的静脉特征编码模型,取得了极高的身份认证成功率,充分证明了所提出模型用于静脉及其他类型图像识别问题的有效性,对于推动手部静脉信息识别在安全领域的应用具有重要的意义。

本书可供从事图像处理、模式识别(尤其是生物特征识别方向)研究的专业人员以及信息处理、计算机科学等专业的研究生、教师、工程技术人员和科研人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

静脉信息编码与辨识 / 王军, 王国庆, 李明著. —北京: 科学出版社, 2018.9

ISBN 978-7-03-058801-2

I. ①静… II. ①王… ②王… ③李… III. ①手-静脉-身份认证-特征识别 IV. ①R319

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 212415 号

责任编辑: 惠 雪 曾佳佳 / 责任校对: 彭 涛

责任印制: 张克忠 / 封面设计: 许 瑞

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 9 月第 一 版 开本: 720 × 1000 1/16

2018 年 9 月第一次印刷 印张: 17

字数: 340 000

定价: 129.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前言

静脉图像由于其特有的特征丰富、体内分布和活体检测等特性正逐步成为主流的生物特征识别模型之一。然而,其潜在的成像特性导致存在成像系统特殊、成像对比度低等问题,从而使得设计鲁棒静脉特征编码模型比较困难。为了设计实现有效的基于静脉信息的身份认证模型,本书依循由浅及深的图像特征编码模型设计的思路提出了多种有效的静脉识别框架,同时通过实验证明所提出框架也可用作其他类型图像识别任务。

(1)为解决无高质量开源静脉数据库供研究问题,本书在对现有静脉采集设备相关介绍基础上,设计了第一代手背静脉图像采集设备,并采集构建了共计 500 幅图像的小型数据库。为解决所采集静脉图像对比度低的问题,本书提出基于图像质量评价参数反馈的光照自适应控制策略,并通过设计有效手部多源信息同步采集结构实现第二代采集装置(手部多源生物特征信息同步采集装置),构建了一定规模的手部多源生物特征信息数据库,为后续识别算法设计打下基础。

(2)为改进传统静脉图像对比度增强模型存在引入伪静脉信息的缺陷,本书提出静脉图像组分信息分解模型,该模型将静脉图像定义为静脉信息、光照信息和高斯噪声信息乘积加和,设计能通过凸优化策略求解的能量函数,通过对目标函数的最小化过程解得光照组分估计结果,并基于该结果进行偏置修复得到准确的对比度增强结果。采用经典阈值分割方法对偏置修复前后和其他类型增强方法处理后的结果进行分割,通过实验结果对比证明所提出静脉图像预处理方法的有效性。

(3)为解决传统的基于静脉骨架信息进行模板匹配模型存在的分割结果不准确、模板信息覆盖度不完整导致的识别效果较差问题,本书设计有效的邻域最大类间距离阈值分割方法对经过偏置修复的静脉图像进行准确分割,随后经过细化和去毛刺得到准确的单像素分布二值静脉图像,提出改进模板生成策略得到更加完整的匹配模板,之后通过计算待匹配图像和模板图像修正的豪斯多夫距离(modified Hausdorff distance, MHD)得到相对准确的识别结果。为解决单一拓扑结构模板匹配模型对较大规模图像匹配准确性低的问题,本书对分割后图像提取宽度分布模型(width distribution model, WDM)特征,在对特征进行有效选择后将其映射至 Hough 变换空间计算图像相似度,在识别决策阶段对模板匹配相似度和 WDM 特征相似度进行线性融合,得到具有极高识别率的静

脉骨架特征提取和识别模型。

(4)为利用局部不变性特征提取模型在非接触采集静脉图像中的抗干扰特性,首先设计实验证明了传统基于局部不变性特征(local invariant feature, LIF)模型的静脉识别系统的弊端,即其中必备的对比度增强预处理过程对于关键点检测和实际匹配结果具有相反作用。为解决这一问题,分别从改进特征提取和匹配策略、有效特征选择策略设计两个方面进行改进模型的设计。针对第一种改进模型,在特征提取阶段用基于核映射实现的根尺度不变转换特征(root scale-invariant feature transform, RootSIFT)代替传统的尺度不变性特征(scale-invariant feature transform, SIFT)模型,在匹配阶段,提出全新的镜像匹配策略,可以有效地去除类内及类间的误匹配,进而得到准确的匹配识别结果。第二种改进模型为特征选择方法设计,利用之前模板生成策略中的偏置修复和邻域最大类间分布阈值方法得到稳定的分割结果,并基于该分割结果组合得到特征选择模板,将其用于原图像提取SIFT特征点的选择,基本将所有误匹配结果全部去除,得到稳定的匹配识别结果。

(5)为解决多类型图像分布静脉数据库有效特征提取模型设计困难问题,本书提出质量依赖型特征编码模型。首先,设计无参考图像质量评价模型对多类型静脉样本进行分类,得到质量二分类结果。其次,在特征设计阶段,基于Fisher准则设计邻域最优阈值寻找策略,并基于邻域方差分布统计关系设计二进制编码权值得到有效的改进型局部二进制编码模式(discriminative local binary pattern, DLBP)特征编码模型。最后,在特征提取阶段,对于预处理得到的高质量静脉图像,直接进行特征编码值和对对应权值计算得到特征分布直方图;对于低质量静脉图像,首先对其直接进行特征编码值计算,随后对经过偏置修复的图像计算对应编码权值,将两者组合得到最终特征表示,经过大量实验设计证明了所提出方法的有效性和普适性。

(6)为解决现有特征编码模型表征能力不足问题,提出利用深度卷积神经网络设计端到端静脉特征学习和分类模型。为解决样本不足导致深度网络模型训练难收敛、易过拟合问题,分别提出结构自生长网络模型和相似图像知识迁移网络模型。在基于静脉图像直接训练网络模型实验设计中,本书首先初始化一个单隐层网络结构,之后通过网络结构自生长准则迭代得到与样本库规模匹配的具有一定特征学习能力的静脉识别模型。在相似图像知识迁移网络模型设计阶段,为了充分利用已训练完成的卷积神经网络(convolutional neural network, CNN)结构具有的极强特征表达能力,本书提出基于相似图像知识迁移的网络微调策略,通过利用邻域网络模型训练样本之间潜在相似性可以一方面加快网络收敛,另一方面避免由于源训练样本和目标样本之间差异大而引起的网络过拟合问题。在相似图像选择策略方面,本书提出基于稀疏字典元素相似性的图

像选择模型,该方法的有效性通过网络模型的微调和有效识别结果的得出得到验证。

(7)为解决无基于静脉信息的性别判定模型问题,本书基于稀疏滤波模型设计了无监督特征学习方法,并通过对所学习特征子空间分布进行有监督聚类得到具有性别属性的二分类结果,充分证明了基于静脉信息进行性别认证思路的可行性。之后为了提高现有分类结果精度,对之前训练完成的知识迁移网络的损失函数和输出层进行改进设计,并以性别判定为目标进行二次微调,最终得到可同步进行性别和身份判定的模型。

此外,通过观察无监督聚类结果和设计的质量评价分组结果发现其属性空间分布具有高度一致性,从而利用无监督性别判定模型替代原有的基于图像对比度信息的快速锐化(constrast information fast sharpness of mages, CFISH)的质量评价模型,得到可同时实现性别判断和身份认证的多模态静脉信息挖掘模型。

(8)为解决基于单一生物特征信息进行身份认证存在的可靠性和稳定性相对较差的问题,本书提出手部多源生物特征编码和识别模型。分析所构建的手部多源生物特征数据库具有的多尺寸分布特性,基于Fisher准则和 1×1 卷积核组设计了特征编码层,并利用该层替代导致现有网络中只能接受固定尺寸输入的全连接层,得到可同步接受不同尺寸输入的深度特征编码网络,并通过多源样本库输入解决训练样本不足问题,最终得到有效的手部多源生物特征信息认证模型。此外,本书还通过实验发现所提出的深度特征编码网络模型能够通过编码层的设计同步学到通用性和任务特定性特征表示,并且通过设计对比实验(尺寸归一化和直接输入)发现多尺寸分布样本同时训练可以大大改善网络识别结果。

本书受到国家自然科学基金项目(61876184)、中国矿业大学研究生教育教学改革研究与实践项目(YJSJG-2018-005)、中国矿业大学学科前沿科学研究专项项目(2018XKQYMS26)等项目的资助和支持。

限于作者水平,书中难免存在疏漏和不足之处,恳请读者批评指正!

作者

2018年5月初

目 录

前言

1 绪论	1
1.1 手部多源信息认证的研究意义	1
1.2 生物特征识别技术	2
1.2.1 生物特征识别技术概况	2
1.2.2 生物特征识别系统性能评价准则	5
1.3 静脉识别研究现状	7
1.3.1 静脉识别特点和系统构成	7
1.3.2 静脉识别系列产品	9
1.3.3 静脉图像采集系统设计相关研究	10
1.3.4 静脉匹配技术相关研究	11
1.4 本书研究内容	15
1.4.1 本书主要研究工作	15
1.4.2 本书的章节安排	18
2 手部多源生物特征信息采集系统	22
2.1 静脉图像采集简介	22
2.2 单源手背静脉图像采集装置设计	23
2.2.1 成像光源系统设计	23
2.2.2 图像传感器及镜头设计	28
2.2.3 第一代单源手背静脉图像采集装置	32
2.3 基于质量评价的自适应光照控制策略	34
2.3.1 图像锐化及对比度分布描述子	36
2.3.2 图像光照组分估计	38
2.4 多源信息同步采集及数据库建立	43
2.4.1 手部多源生物特征信息同步采集装置设计	43
2.4.2 手部多源生物特征图像数据库构建	48
2.5 本章小结	50
3 静脉骨架提取与匹配	52
3.1 静脉图像模板生成	52

3.2	基于光照背景估计的鲁棒静脉图像分割	53
3.2.1	静脉图像分解及不均匀分布修正	53
3.2.2	基于偏置修正的鲁棒静脉图像分割	60
3.3	改进模板生成及匹配识别	68
3.3.1	静脉分割图像细化与裁剪	68
3.3.2	鲁棒静脉匹配模板生成	70
3.3.3	基于 MHD 判定的模板匹配	72
3.4	基于 WDM 特征的改进匹配策略设计	75
3.4.1	宽度信息描述子生成	76
3.4.2	基于 WDM 和改进模板匹配的鲁棒静脉识别实验	79
3.5	本章小结	81
4	对比度增强依赖静脉图像特征编码模型	84
4.1	特征编码模型鲁棒性	84
4.2	依赖编码模型分析	85
4.2.1	基于 SIFTs 的对比度依赖特征编码模型分析	85
4.2.2	先进对比度增强方法	88
4.2.3	对比度依赖模型问题分析实验	92
4.3	基于镜像匹配策略的模型改进	101
4.3.1	特征点镜像匹配策略设计	101
4.3.2	RootSIFT 特征提取	104
4.3.3	匹配实验设计及结果分析	106
4.4	区域选择编码与匹配	109
4.4.1	基于谷形算子的层级静脉分割方法设计	111
4.4.2	特征提取及选择模板生成策略	117
4.4.3	识别实验与结果分析	122
4.5	本章小结	130
5	静脉图像质量依赖纹理编码模型	133
5.1	图像质量评价的反馈	133
5.2	局部二进制编码特征	134
5.2.1	传统 LBP 编码方法	134
5.2.2	圆形邻域 LBP	135
5.2.3	Uniform LBP 模型	137
5.3	最大类间方差型二进制特征编码	138
5.3.1	改进型局部二进制编码模式 (DLBP) 模型原理	140

5.3.2	DLBP _{P,R} ^{ri} 模型特性分析	142
5.3.3	DLBP _{P,R} ^{ri} 最优阈值计算	145
5.4	质量依赖静脉识别实验	146
5.4.1	基于 CFISH 的静脉图像质量分组	148
5.4.2	基于 DLBP _{P,R} ^{ri} 的分组静脉图像特征提取和匹配策略设计	152
5.4.3	识别实验与结果分析	154
5.5	本章小结	163
6	相似图像知识迁移网络模型	165
6.1	高鲁棒迁移学习模型	165
6.2	深度卷积神经网络模型	165
6.2.1	DCNN 模型历史发展	167
6.2.2	DCNN 模型分析	168
6.3	基于结构自生长静脉识别模型	174
6.3.1	静脉识别网络结构设计	175
6.3.2	小样本网络结构自生长策略	176
6.3.3	结构自生长网络训练方法	177
6.3.4	结构自生长静脉网络识别实验	179
6.4	基于相似图像知识迁移网络的静脉识别	185
6.4.1	基于稀疏字典元素分布的图像相似度判定准则	186
6.4.2	“粗到细”网络微调策略设计	191
6.4.3	基于线性分类指导的任务特定知识迁移网络训练	193
6.4.4	改进边界分布 SVM	194
6.4.5	识别实验与结果分析	196
6.5	本章小结	202
7	多源多模态手部生物特征信息挖掘	205
7.1	双模态识别网络	205
7.2	静脉图像潜在性别判定信息挖掘	206
7.2.1	基于生物特征信息的性别判定模型相关研究	207
7.2.2	基于滤波器模型的静脉性别信息表征	209
7.2.3	基于无监督特征学习模型 (USFL) 的静脉性别信息表征	215
7.3	静脉图像多模态信息挖掘	219
7.3.1	性别依赖多模态静脉图像编信息码模型	219
7.3.2	基于相似图像知识迁移的静脉图像多模态信息挖掘	226
7.4	手部多源生物特征信息深度编码和识别	233

7.4.1 深度卷积神经网络模型相关研究分析	234
7.4.2 深度特征编码网络模型设计	236
7.4.3 基于 DFLCN 的手部多源信息识别实验	239
7.5 本章小结	241
参考文献	242
后记	256

1 绪 论

1.1 手部多源信息认证的研究意义

基于人脸、指纹、掌纹、虹膜等信息设计实现的传统生物特征识别系统已被应用于对特定人员信息进行管理的各行各业中,例如欧盟采用的基于生物特征信息实现的在线护照、美国的访客登录系统等都采用了相关的技术方法。以在线交易为主的互联网金融行业的发展和兴起也导致设计稳定的身份认证系统得到日益重视,美国十年前因单一信用卡模式而发生的诈骗损失一直都高达数十亿美元^[1]。除此之外,日益严重的爆炸、恐怖袭击等层出不穷的社会恶性冲突,也对更加有效且多功能的人员身份认证和相关模式鉴定提出了更严格的要求。

上述原因以及民众和组织机构对于社会治安稳定的日益重视极大地促进了愈发智能的生物特征识别技术和其产品市场的发展和成长,仅从2003年至2008年这5年的时间,全球生物特征识别市场投资已由之前的7.19亿美元快速增长至46.39亿美元^[2]。据国际生物识别集团(International Biometric Group, IBG)发布的《生物识别市场与产业报告2012—2016》显示^[3],目前各类主流生物特征识别技术及其应用前景中,指纹识别系统所占市场份额最大,为66.70%;发展最快的是人脸识别系统,到2016年为止市场份额已增长至11.4%;包括语音识别、虹膜识别、静脉识别和掌形识别在内的其他几种相对主流的生物特征识别技术市场占有率分别为3.0%、8.0%、2.4%和1.8%,2012~2016年各类生物识别系统市场占有率如图1-1所示。

当采用700~1100nm的近红外光照射人体手部静脉组织时,静脉血管中的血红蛋白会吸收大量该光谱范围的光,而以骨骼和脂肪为主要成分的其他手部生物组织则无法对其产生吸收,从而使得手部表面漫反射和折射的光分布发生差异,近红外感光摄像头就可以采集得到具有明显静脉血管分布的图像,而该图像拓扑结构分布存在明显的个体差异性,使得其可以用于身份认证^[4]。特有的“活体检测”特性,以及在实际应用中具有的非接触图像采集、无法伪造、不易受环境污染以及使用便捷等特性使得基于静脉识别技术设计身份认证模型研究得到越来越多学者和企业的关注和投资^[5]。

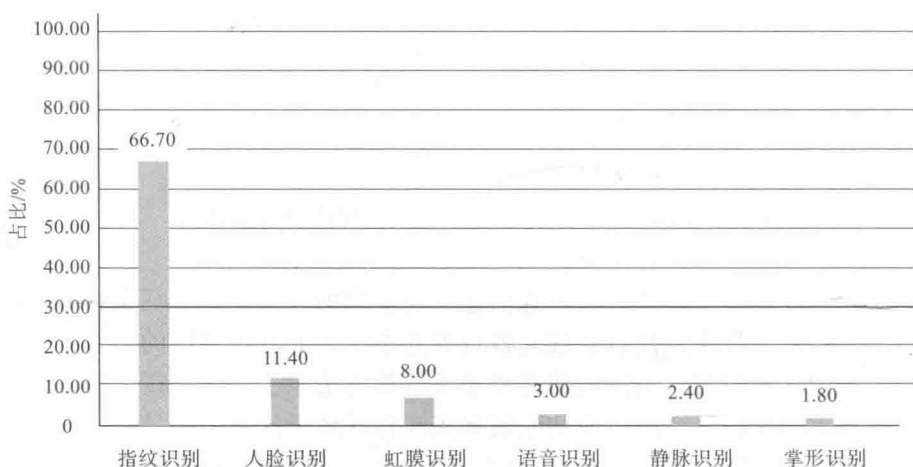


图 1-1 2012~2016 年各类生物识别技术市场占有率分布

全球最大的静脉识别设备供应商日本富士通公司在近期的企业发展报告中指出,虽然基于静脉识别技术的身份认证模型的市场占有率仅为 2.4%,但随着静脉识别技术日益成熟以及多元化应用研究成果日益丰富,这一技术模型市场占有率增长至 10%乃至更大的市场占有率的局面指日可待。面对指纹识别、人脸识别以及其他几种传统识别方法潜在的鲁棒性差、易伪造等缺点与日益增长的稳定生物特征识别技术需求而产生的巨大市场空间,已有十多年技术和产品积累的静脉识别模型,一定会成为最有力的竞争者之一。

除此之外,静脉识别模型设计是包括图像采集、灰度图像增强和分割、特征编码和分类等模式识别、电路设计、图像处理等多学科在内的交叉研究领域,以此作为研究课题并开发出高识别率的静脉识别系统的过程能够大大提升自身的科研和实践能力。

1.2 生物特征识别技术

1.2.1 生物特征识别技术概况

基于人脸、指纹、虹膜等信息设计实现的生物特征识别系统具有防伪性能佳、不容易出现信息丢失、难伪造或被盗取以及随身“携带”验证等优势,系统设计的核心技术在于如何设计有效设备采集这些生物特征信息,并设计鲁棒且稳定的算法将获取的生物特征图像或声音等信息表征为数字向量,随后设计有效的分类识别算法实现最终的认定和身份识别过程。目前主流的几种生物特

征识别技术的设计和实现主要涉及图像模式识别认证、语音信号处理和传感器技术等研究。已成功应用于身份认证产品研究的生物特征信息主要有虹膜图像、视网膜图像、手形特征、指纹信息、人脸特征以及耳廓分布等,而对人体行为信息进行分析 and 识别的源信息有声音信号、按键力度分布以及手写签名等方式。以这些特征为基础研究和设计稳定的身份认证模型的相关研究在过去几年内已经获得了跨越式的进步^[6]。几种应用较为广泛的生物特征识别技术主要介绍如下。

1. 虹膜识别技术

虹膜信息是位于人眼角膜和眼球的晶状体之间的血管膜图像,任意采集对象的虹膜图像的水晶体结构、纹理信息、细丝和凹点等信息具有样本特定分布特性。虹膜图像内部的纹理以及细节信息在出生时就已基本发育完整,并且不会随着年龄的变化而发生改变,也不会受到疾病影响。此外,即使人的左右眼的虹膜特征信息分布也基本不相同。

但虹膜识别最大的问题在于图像采集时对采集者具有严格要求:采集者需要将眼睛睁得足够大才可以保证采集的虹膜图像的完整性,但这样极易使得被采集对象眼部感到不适。此外,对于眼睛较小的对象,无法保证其采集时虹膜图像的完整性,同时眼部虹膜图像的采集过程不卫生,这些使得虹膜识别这一技术的用户体验较差,无法得到普适性研究应用。

2. 人脸识别技术

随着在线交易等互联网金融的日趋平民化以及金融安全需求,人脸识别技术是近几年研究最为深入的生物特征识别技术之一。常见的人脸识别技术中图像采集过程要求采集背景、外界光照强度以及图像的整体分辨率保持高度一致,从而使得识别系统识别率较高。此外,人脸图像采集对于光照系统波长、脸部附着物或采集对象工作性质等无严格要求,因此使得其研究前景更为广阔。

然而,作为目前图像采集过程限制最少的生物特征识别方法之一,当人脸图像采集时由于非限制性而出现光强不一致、表情多变、身体姿态多变或脸上存在明显遮挡物等情况时,均会使得识别系统鲁棒性降低。

3. 指纹识别技术

指纹信息指的是人体手指末端的皮肤表层突线隆起而出现的花纹形状表皮,具体由手指末端组织内部的角质层的细胞组成,该识别技术也是目前诸多生物特征识别技术中研究时间最长的一种技术。目前,该项技术也已基本发展成熟,学校、公司甚至警务单位的考勤大都采用的是指纹识别技术。由于这一

技术的长期发展和市场普及率,其有效的识别效果已使得这项技术成为生物特征识别的代名词和其他类型生物特征识别系统设计时最常参考的标准之一。

然而,作为非体内分布特征,指纹识别存在的最大问题是其信息完整度极其容易被破坏,容易被伪造,且实际设计实现指纹识别模型时大量指纹信息的分布导致特征提取和识别算法无法实现实时性。此外,由于指纹识别最早的应用之一是犯罪嫌疑人鉴定,因此最初将其民用化时并没有得到普及。

4. 静脉识别技术

静脉识别技术的实现原理是利用静脉血液中血红蛋白与其周围脂肪组织对于特定波长近红外光存在不同的吸收特性,进而使得由手部表层漫反射得到的光强分布不一致,从而得到明显的静脉信息分布。此外,选择静脉而非手部动脉信息进行身份认证的原因在于静脉相较动脉更靠近手部表层皮肤,因此当用近红外光照射手部表层时,利用反射光得到静脉信息变得更充分,也更容易。静脉图像具有样本结构数量较多,曲线和交叉点等信息分布也比较复杂,且个体差异十分明显的特点,因此以手掌静脉、手背静脉以及手指静脉为信息载体设计实现生物特征识别系统的相关研究越来越丰富。静脉识别技术较其他生物特征识别技术的主要优点如下:

(1) 活体识别特性。当以手掌、手指或手背静脉信息作为载体进行身份认证模型设计时,获取的是只有活体内部才存在的静脉血管信息。实际图像采集时,非活体样本和活体样本之间的静脉分布具有明显差异,不法分子无法像伪造指纹信息一样对死者静脉信息进行伪造而盗取相关财产。

(2) 体内特征分布特性。当利用手部静脉信息进行身份认证系统设计时,信息载体是手背、手掌或手指内部静脉血管分布特征,而非手部表面信息,因此,静脉识别系统不会受到任何手部表面存在的损伤、表层附着物以及表皮磨损等干扰。

(3) 非接触采集特性。基于手部静脉信息进行身份认证系统设计时,图像的采集过程是非接触采集,具体实验对象只需放置在指定区域,即可完成静脉图像采集和特征提取识别过程。这一非接触采集和识别特性,可以使得基于静脉信息进行身份认证的系统不存在卫生问题,并且能有效避免采集对象内心的抵抗。

(4) 安全等级较高特性。手部静脉识别技术具有上述的活体检测、体内特征不会受外界干扰以及非接触采集等特点,使得静脉图像信息不像人脸、指纹等信息极其容易被复制,所以手部静脉识别技术的安全等级极高,尤其适用于银行、政府、保密产品等安全等级要求高的情形。

虽然上述 4 种主流的生物特征识别技术所采用的源图像内容不一致,但其

用于身份认证时系统识别流程和方法原理大致相同，系统基本框架如图 1-2 所示。

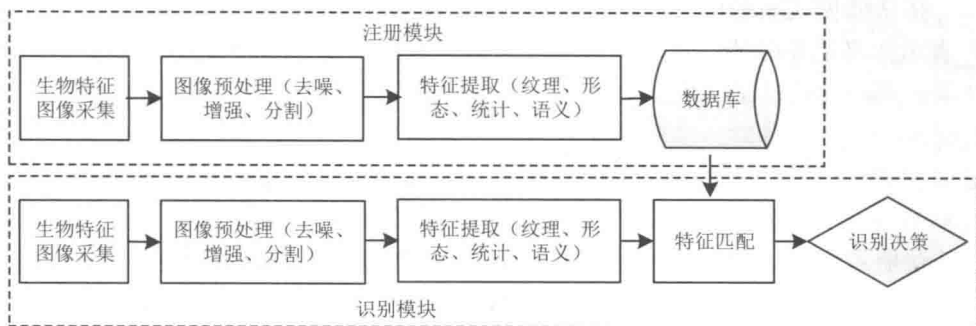


图 1-2 生物特征识别系统原理框架

如图 1-2 所示模型框图，经典的基于生物特征信息实现的身份认证系统主要包括注册和识别两个大模块。在用户信息注册过程中，首先登记用户属性信息，之后通过稳定的图像采集系统获取用户生物特征图像信息，然后对采集的图像进行有效的预处理和鲁棒特征提取，并基于所提取特征得到注册模板数据库。在认证识别过程中，除进行和之前注册模块相似的图像采集、预处理和特征提取过程外，还需设计有效的相似度量准则计算当前待匹配图像和模板库中样本相似距离，基于最终计算结果判断用户身份信息。

1.2.2 生物特征识别系统性能评价准则

典型的基于生物特征信息设计的身份认证系统具有两种不同的功能模式，即身份识别（identification）模式和身份认证（verification）模式。识别实验指的是将所采集的生物特征图像与待匹配数据库中的所有注册图像提取特征后进行一一对比，通过特征信息的“一对多”的匹配模式判断当前用户身份，也就是通过设计方法准确回答“用户是谁”的问题。认证试验则是将当前采集对象与数据库中与其所登记属性一致的图像进行简单的“一对一”的匹配，基于匹配结果判断当前用户身份的合法性，即回答“当前用户属性与所采集图像之间是否匹配”的问题。

在识别模式实验中，假设当前待识别对象数据信息必然存在于注册模板库中，那么识别目标就变成设计合理的识别算法找到当前对象注册的属性信息（身份证号、血型、学历等）。对于这种实验模式，一般选用匹配识别正确率准则（correct recognition rate, CRR）来对系统工作性能进行评价，计算方法如式（1-1）所示。

$$CRR = \frac{\text{分类正确的样本个数}}{\text{总的注册样本个数}} \quad (1-1)$$

在认证模式实验中,假设 S 表示当前采集得到的需要进行认证的样本个体, R 表示样本采集时所登记的属性信息,那么实际匹配识别时会存在两种可能的结果:其一为待认证对象为假冒者,此时 $S \neq R$;二是待认证对象为注册用户,此时 $S = R$ 。在认证时,实际结果判断通过 S 和 R 之间的相似性结果与既定阈值之间的关系得到,如果实际相似性距离大于既定阈值,则判定为已注册用户,否则判定为非注册用户。基于这一准则实现身份认证可能存在两种错误,分别是非注册用户被接受和注册用户被拒绝,相对应的评判方法为错误接受率 (false acceptance rate, FAR) 和错误拒绝率 (false rejection rate, FRR)。不同的身份认证应用场合对于两种错误率分布具有不同的要求,例如警方在寻找犯罪嫌疑对象时,要求 FRR 要尽可能的小,而在交通运输系统中的安全检查中,要求 FAR 尽可能小。实际身份认证中,两种结果如果均能达到 0 是最好的,然而由于两种识别情况对应的是相同的识别阈值,因此两者之间的相互制约导致这一结果无法达到。但基于这两种错误率在不同阈值设置下计算结果可以得到系统接受特性 (receiver operating characteristics, ROC) 曲线,该曲线 (图 1-3) 可以表示系统的整体识别性能。

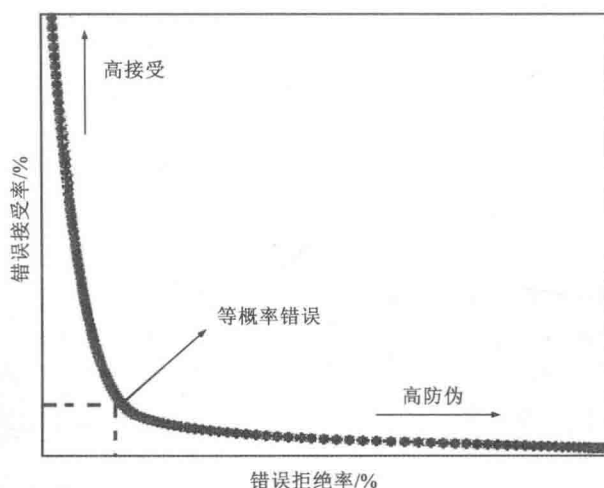


图 1-3 生物特征识别系统 ROC 曲线示意图

如图 1-3 所示的基于生物特征信息的身份认证系统的 ROC 曲线分布示意图,等误率 (equal error rate, EER) 是 ROC 曲线中 FAR 和 FRR 相等时的系统性能指标。在该曲线分布结果中,一个相对较小的 FRR (对于错误接受容忍度更高) 识别系统通常 FAR 较大,反之一个较小的 FAR (防伪性能更佳) 通常会

导致系统 FRR 较大。而 EER 的分布是一个特征提取和识别算法评价的最优指标,该值越小,算法识别率越高,系统性能越佳。

作为用于身份认证的特征信息,系统的实时性是衡量其实用性的重要指标之一。在实际进行身份认证工作时,待匹配识别对象对于识别过程等待时间不可能过长,具体识别时间分布根据不同的场合不一样。例如,在机场安检系统中,如果以虹膜识别作为认证方式,则一般用户可接受等待时间为 0.5~1.8s^[7]。识别系统鲁棒性是另一个极其重要的性能指标,其主要衡量系统对于待匹配用户差异性和外界不可控环境变换的自适应能力。一个可以实际应用的生物特征识别系统,应该对待匹配用户不做任何限制,对其工作环境无苛刻要求,实现这两个要求的最为核心的部分在于如何设计实现一个对于图像的尺寸、旋转、光照不均匀或采集环境变化等均具有良好不变性的鲁棒算法^[8,9]。

生物特征识别系统在识别实验模式下,需要将待匹配样本与注册模板库中的全部样本信息进行对比判断,因此该模式实验速度与样本库大小具有直接关系,如果样本库越大,则对应的识别速度就越慢,所以一般识别模式主要在类别较少情况下进行设计。在认证实验模式下,得到待匹配样本的属性信息后,只需将所采集图像与相应属性的注册信息进行匹配识别即可,因此其搜索范围较识别模式小很多,识别算法的速度与样本库大小无关系,更适合用于大样本身份认证环境。但为了对后续设计算法进行充分的对比分析,本书对两种模式均进行了详细的对比实验设计和结果分析。

1.3 静脉识别研究现状

静脉识别具有的特征丰富、活体检测以及体内特征等特点导致其具有极高的安全性和鲁棒性,且相关研究成果也越来越丰富,其对应产品具有的高安全性也得到了安检、打卡等不同领域的认可和接受,目前已有大批国内外研究组从静脉信息有效采集、图像增强和有效特征匹配算法设计等方面进行了广泛深入的研究。

1.3.1 静脉识别特点和系统构成

静脉识别系统设计的基本原理在于手背、手掌或手指等位置的静脉血管信息可以在近红外波长光照下成像,得到的图像的血管分布具有样本特定分布,而且该分布不随着年龄变化而变化,具有高度可区分和长期分布稳定特性^[10],使其可用作身份认证。手部静脉血管也具有唯一性,同一个体的左右手静脉分布完全不同,而且对于双胞胎其静脉分布也不同。与虹膜图像识别、指纹识别等其他类型生物特征识别相比,静脉图像具有纹理特征明显、图像采集相对较