

FACE IMAGE PROCESSING  
AND RECOGNITION TECHNOLOGY

# 人脸图像处理 与识别技术

栗科峰 著



黄河水利出版社

河南省科技攻关项目(182102210253)  
河南省高等学校重点科研项目(19A510008)

# 人脸图像处理与识别技术

栗科峰 著

黄河水利出版社  
· 郑州 ·

图书在版编目(CIP)数据

人脸图像处理与识别技术/栗科峰著. —郑州:黄河水利出版社,2018. 8

ISBN 978 - 7 - 5509 - 2110 - 8

I. ①人… II. ①栗… III. ①面 - 图象处理②面 - 图象识别 IV. ①TP391. 41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 196949 号

---

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hhslcbs@126. com

承印单位:虎彩印艺股份有限公司

开本:890 mm × 1 240 mm 1/32

印张:3. 875

字数:112 千字

印数:1—1 000

版次:2018 年 8 月第 1 版

印次:2018 年 8 月第 1 次印刷

---

定价:20. 00 元

# 前 言

近年来,基于人体生物特征的身份认证技术备受研究者的青睐。生物特征识别技术是指利用人体本身所固有的生理特征或者行为特征进行身份识别的技术。它是信息技术为手段,以生物技术为基础,将21世纪两大热门技术“生物和信息”融为一体,正如比尔·盖茨所预言:以人类生物特征进行身份验证的生物识别技术,在今后数年内将成为IT产业最为重要的技术革命。

在众多生物特征识别技术中,人脸识别技术作为一种自然、直观、友好、安全、实用的生物特征识别技术已经成为当前人工智能和机器视觉领域中最具发展潜力的技术之一。此外,人脸识别技术涉及图像处理、模式识别、计算机视觉、心理学以及神经网络等十多门学科,同时其原理与人脑工作机制和认知科学息息相关。因此,人脸识别技术的研究可以促进相关学科的发展,具有极大的学科研究价值。

尽管已有的人脸识别技术能够获得优越的性能,但由于人脸图像易受光照、姿态、表情等外界因素变化的影响,非控制条件下的人脸识别仍然存在许多问题,关键技术有待进一步解决和完善。本书针对当前人脸识别的关键技术进行研究,重点介绍了多姿态和表情变化条件下的人脸识别技术。第1章介绍了当前主流的生物特征识别技术,包括指纹识别、掌纹识别、虹膜识别和人脸识别;第2章介绍了人脸图像的常用的预处理方法;第3章介绍了多姿态人脸识别技术,重点介绍了人脸姿态估计方法和多姿态人脸识别的应用;第4章介绍了人脸表情识别技术,围绕人脸表情识别的难点进行了分析,重点阐述了人脸表情特征提取和人脸表情特征分类的常用方法。

本书的研究工作得到了河南省科技攻关项目(182102210253)、河南省高等学校重点科研项目(19A510008)的资助。此外,在本书的撰

写过程中参考了大量的文献,在此对相关作者表示衷心的感谢!  
限于作者水平,书中难免存在疏漏之处,恳请读者批评指正。

**栗科峰**

2018年8月

# 目 录

前 言	
第 1 章 生物特征识别技术基础	(1)
1.1 引 言	(1)
1.2 指纹识别	(4)
1.3 掌纹识别	(13)
1.4 虹膜识别	(22)
1.5 人脸识别	(30)
第 2 章 人脸图像的预处理	(43)
2.1 图像格式转换	(43)
2.2 图像归一化	(45)
2.3 滤波去噪	(47)
2.4 边缘检测	(49)
2.5 人脸检测	(50)
第 3 章 多姿态人脸识别	(55)
3.1 多姿态人脸识别方法	(56)
3.2 常用的多姿态人脸数据库	(63)
3.3 人脸姿态估计	(68)
3.4 姿态变化的人脸识别应用	(76)
第 4 章 人脸表情识别	(85)
4.1 人脸表情识别的研究意义	(85)
4.2 人脸表情识别的研究及应用现状	(88)
4.3 人脸表情识别的难点分析	(92)
4.4 人脸表情数据库简介	(94)
4.5 人脸表情识别中的关键技术	(100)
参考文献	(111)

# 第 1 章 生物特征识别技术基础

## 1.1 引言

随着信息化、网络化的极速推进,信息交换者彼此身份的认证与确认在信息交换前和处理过程中显得极为重要。传统的身份鉴别方法主要依赖于两种途径:①主体所拥有的身份标识物品,主要包括证件、钥匙、磁卡等;②主体所知道的身份标识知识,主要包括用户名、密码、提示问题答案等。前者容易丢失、被伪造,后者容易被盗用、被遗忘,因而给人们的工作和生活带来了诸多不便和潜在的安全隐患。而基于生物特征识别技术避免了传统的身份识别技术的诸多缺点,并具有自身的高可靠性、高稳定性,越来越受到研究者的重视。

近年来,基于人体生物特征的身份认证技术(Biometrics)备受人们的青睐。生物特征识别技术是指利用人体本身所固有的生理特征(Physiological Characteristics)或者行为特征(Behavioral Characteristics)进行身份识别的技术。它是以信息技术为手段,以生物技术作为基础,将 21 世纪两大热门技术“生物和信息”融为一体。生物特征具备“人人拥有、人各不同、长期不变”的特点,是人类一个完整和独特的部分,它不会被遗忘或丢失,具有先天的便利性和技术方面的高效性。正如比尔·盖茨所预言:以人类生物特征进行身份验证的生物识别技术,在今后数年内将成为 IT 产业最为重要的技术革命。

生物特征识别技术是指通过计算机利用人体所固有的生理特征或者行为特征来进行身份鉴定的过程。常用的生理特征有指纹、掌纹、虹膜、人脸等,与传统识别方式相比,生物特征识别最大的特点就是对用户自身的特征进行认证,具有防伪性好、稳定性好、不易丢失或不易遗忘等优点。近年来,国内外很多科研工作者致力于这方面的研究,他们

所做的工作证明了生物特征识别系统的可行性和较高的认证率。但是,每一种生物识别在准确率、用户接受程度、成本等方面都不同,而且都有自己的优缺点,适应于各自的应用场合。

在工作领域,电子门禁准入的验证、上下班打卡、视频监控等都是已经普及开来的应用;在生活领域,家里的指纹锁、手机的指纹解锁、指纹支付等都非常的方便、安全;在社会领域,有火车站入口的人脸识别、社保系统的资料安全等;在特殊安全领域,融合人脸和掌纹的多特征识别系统已经应用;在计算机领域,网络中个人身份隐私和财产都开始利用生物信息进行加强保护。可以预见到的越来越大的市场需求,无时无刻不推动着生物识别技术的一点点更新和改进,使我们的生活充满了安全感,如图 1-1 所示。



图 1-1 常用的生物特征识别技术

通常,用于身份鉴别的生物特征一般具备以下特点:



(1)唯一性:人人各不相同,不同的人拥有不相同的特征,即使双胞胎也不一样。

(2)普遍性:人人拥有,每个人都应该具有这种特征。

(3)稳定性:所选择的特征至少在较长的一段时间内不变。

(4)可采集性:选择的特征能够用物理设备定量测定。

在实际应用中,除考虑以上四个因素外,还应考虑系统的可接受性、安全性和识别效率等问题。表 1-1 列出了目前主要的生物特征及其性能比较。

表 1-1 主要的生物特征及其性能比较

生物特征	普遍性	稳定性	唯一性	可采集性	识别性能	防欺骗性	可接受性
人脸	高	中	低	高	低	低	高
虹膜	高	高	高	中	高	高	低
DNA	高	高	高	低	高	高	低
指纹	中	高	高	中	高	高	中
掌纹	高	高	中	高	高	中	高
手形	中	中	中	高	中	中	中
静脉	中	中	中	中	中	高	中
视网膜	高	中	高	低	高	高	低
声音	中	低	低	中	低	低	高
步态	中	低	低	高	低	中	高
脸部温谱	高	低	高	高	中	高	高
指节纹	中	高	中	高	中	中	高
牙形	中	中	中	低	低	中	低
皮纹	高	低	低	高	低	中	高
骨骼	中	中	中	低	低	中	低
气味	高	高	高	低	低	低	中
人耳	中	高	中	中	中	中	高

续表 1-1

生物特征	普遍性	稳定性	唯一性	可采集性	识别性能	防欺骗性	可接受性
心电	高	低	低	低	低	低	低
笔迹	低	低	低	高	低	低	高
脉搏	高	低	低	低	低	低	低
按键	低	低	低	中	低	中	中
足迹	中	低	低	低	低	低	中

表 1-1 中所提到的视网膜、人耳、脸部温谱、牙形、皮纹、骨骼以及气味等生理特征目前还处于研究阶段,走入市场还需假以时日。目前,应用最为广泛的为指纹、掌纹、虹膜和人脸等相关的产品,下面将重点介绍这四种生物特征识别技术的基本原理与研究现状。

## 1.2 指纹识别

### 1.2.1 指纹简介

指纹就是手指表皮上突起的纹线。每个人的指纹除形状不同外,纹形的多少、长短也不同,至今还没有发现两个指纹完全相同的人。指纹在胎儿第 3、4 个月便开始产生,到第 6 个月左右就形成了。当婴儿长大成人,指纹也只不过放大增粗,它的纹样不变。

指纹特征是人终生不变的特征之一,人体指纹含有天然的密码信息,其具有作为密码信息必须具备的四个重要性质:

(1) 特定性。人人都有指纹,但指纹各不相同,即指纹的特定性。指纹的这种特定性是指在全世界现存的人中不可能找到两个完全相同的指纹。

(2) 稳定性。指纹的形态结构终身基本不变,即指纹的稳定性。一个人随着年龄的增长,指纹纹线由小变大,由细变粗,但是纹线的数量、结构、位置、细节特征、总体布局及乳突线的分布范围等终生不变。

(3)可印痕性。指纹触物即可留痕,即指纹的可印痕性。这是因为手掌面附有的汗液、油垢、灰尘等物质,只要手触摸到适合承受手印的物体上,就可以形成手印。这一特征使得指纹的痕迹有被发现、被提取和鉴定出进行科学管理的可能,从而可以直接利用它来认定人身份。

(4)指纹可储存性。使用电子计算机配置光电指纹采集器可将指纹图形录入计算机存储器中备查和使用。

所以,指纹是人体所固有的特征,随身携带,不易遗忘或丢失,使用方便;与人体是唯一绑定的,防伪性好,不易伪造或被盗。因此,运用指纹鉴定进行身份认定,是一种可靠的方法。

能够用我们的眼睛直观地观察到指纹的纹形即为指纹的全局特征,一般可分为以下几种类型:斗型(whorl)、右箕型(right loop)、拱型(arch)和左箕型(left loop),如图 1-2 所示。



图 1-2 指纹的基本图案

我们把指纹分为这几种基本图案,为了方便在指纹库中能够快速检索到相匹配的指纹。但是,仅仅依靠这一分类还远远达不到我们检索指纹的要求。全局特征包括核心点、三角点、模式区和纹数。

核心点(core point)是指在指纹最中心的那个位置的点。在许多指纹算法中指纹的读取和对比都是基于核心点而设计的,处理和识别具有核心点的指纹。核心点如图 1-3(a)所示。三角点(delta)是指从指纹核心点的纹路开始到相遇的第一个分叉点或断点、或是两个纹路相遇的点、一条纹路的转折点及一个独立的点。三角点如图 1-3(b)所示。模式区(pattern area)是指指纹的全局特征的一部分,我们从模式区就可以辨别出指纹的类型,有些指纹识别算法只用了模式区的指纹数

据,有的用了整个指纹的数据。模式区如图 1-3(c)所示。纹数(ridge count)是模式区中所包含的指纹纹路的个数,一般通过计算核心点和三角点之间指纹的条数来计算纹数的个数。纹数如图 1-3(d)所示。

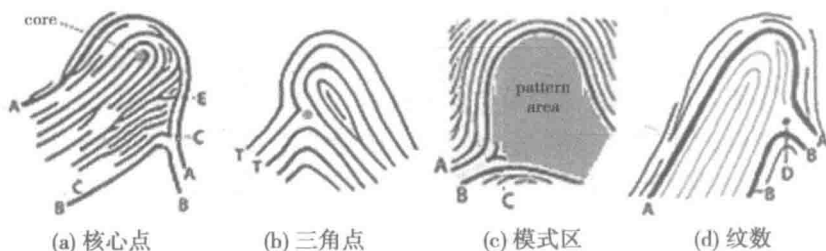


图 1-3 指纹的全局特征

指纹纹路中会有很多的分叉、断点、转折等,并不是连续不断和平滑的。指纹的局部特征就是由这些分叉、断点和转折组成的,这些局部特征决定了指纹的唯一性。

指纹的局部特征点可分为以下几种类型:终结点(ending)是一条指纹的纹线到这里就没有了的点,如图 1-4(a)所示;分叉点(bifurcation)是一条纹线到此会分叉,可能分成两条或者更多条的纹路,如图 1-4(b)所示;分歧点(ridge divergence)是原本平行的两条纹线到此分开成为不平行的两条纹路,如图 1-4(c)所示;孤立点(dot or island)是一条很短以至于可以把它视为一个点的纹路,如图 1-4(d)所示;环点(enclosure)是一个分叉为两条的纹线之后又相遇成为一条的纹路,如图 1-4(e)所示;短纹(short ridge)是一端较短但不至于成为一点的纹路,如图 1-4(f)所示。

## 1.2.2 指纹识别的研究背景

1872 年 Francis Galton 提出了分叉点和端点开发指纹识别模式,这两种细节特征可以为每一枚指纹构建唯一的信息,基于这两种特征的指纹识别模式至今都在使用。1880 年 Henry 和 Faulds 第一次科学地提出了指纹的两个重要特征:一是任何两个不同手指的指纹脊线的式样不同;二是指纹脊线的式样在人的一生中不会改变。这一发现奠

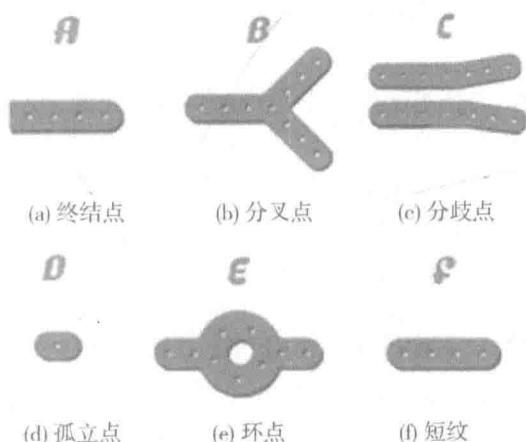


图 1-4 指纹的局部特征点

定了现代指纹识别技术的理论基础,也使得指纹识别在罪犯鉴定中得到应用;Francis Galton 对指纹进行了深入研究,并于 1888 年引入了特征点的分类技术;1899 年,Edward Henry 学习了 Galton 的指纹科学,建立了著名的“Henry System”用于指纹分类;使用精准的指纹索引给专家指纹识别带来极大的便利,早在 20 世纪初期,司法部门已经正式采用指纹作为有效的身份标记,一些指纹识别机构建立了世界范围的罪犯指纹档案库;20 世纪 60 年代,美国 FBI(Federal Bureau of Investigation)开始着手开展基于指纹的自动生物特征识别研究工作,美国在这一领域的研究水平一直处于世界最前沿。

从事指纹识别研究和开发的公司、科研机构、学校比较多,其中较为著名的有:法国 Morph、立陶宛 Neurotenologija、日本 NEC、美国国家标准局视觉处理研究 IBM 沃特森研究中心、Biometric Access、Identicator、加州理工学院、华盛顿大学圣路易斯分校、得克萨斯理工大学和圣琼斯州立大学等。科研机构有美国密歇根州立大学的模式识别与图像处理研究室和新加坡南洋理工大学信号处理中心等。由于社会对指纹识别有着日益迫切的需求以及指纹识别领域仍然存在许多难题,近年来指纹识别研究十分活跃,与指纹识别有关的国内外活动有国际模式

识别会议 ICPR、国际指纹验证比赛 FVC、中国的生物识别学术会议 CCBP 等。

随着指纹识别技术的发展以及产品产业化的推进,指纹识别广泛应用于人们已经熟知的信息安全、刑侦、公共安全、金融等领域中,适用于几乎所有需要进行安全性防范的场合,遍及诸多领域,另外,在 IT、医疗、福利等行业的许多系统中都具有广阔的应用前景:

(1) 信息安全领域:如个人计算机密码使用指纹验证代替、网络安全防范、网上银行、网上贸易、电子商务的安全交易等。

(2) 医疗方面:如献血输血管管理、个人医疗档案管理等。

(3) 刑侦领域:获取现场指纹,查询犯罪嫌疑人的信息。

(4) 公共安全方面:如指纹门锁、汽车门锁、个人指纹身份证等。

(5) 社会福利方面:如公费医疗确认、保险受益人确认等。

(6) 金融安全方面:如指纹智能卡、ATM 指纹终端、指纹保险箱、指纹储蓄卡、大额取款客户身份确认、交易终端客户身份确认、远程交易身份确认等。

(7) 其他方面:如指纹考勤、俱乐部会员确认、海关出入境快速通关认证等。

由此可见,指纹识别技术拥有很大的市场空间,对快速准确的指纹识别系统的研究有着重要的科学意义和市场应用价值。

### 1.2.3 指纹识别技术原理

指纹识别是典型的模式识别,它包含两个主要的模块:鉴定模块和识别模块。鉴定模块是通过把一个现场采集到的指纹与一个已登记的指纹进行一对一的比对,来确认身份的过程。这个过程需要采集指纹数据,提取代表这些数据的特征,并将这些特征和相关的指纹信息存入数据库。识别模块则是把现场采集到的指纹的特征点同指纹数据库中的指纹的特征点逐一对比,从中找出与现场指纹相匹配的指纹。

指纹识别的基本流程为指纹采集、指纹图像预处理、特征点提取及特征点匹配。指纹识别技术的工作原理如图 1-5 所示。

所获取指纹图像是三维的手指映像二维表面所成的像,一般来

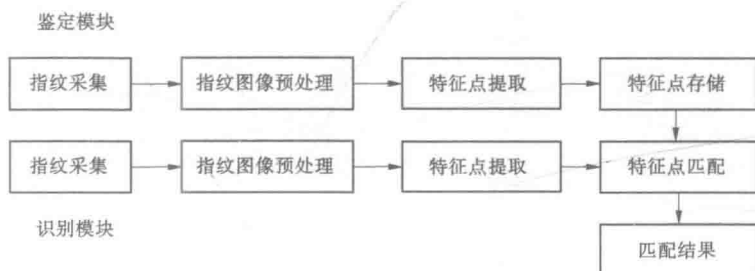


图 1-5 指纹识别技术的工作原理图

说,这种映像过程是很难控制的不均匀接触,如部分脊线结构信息不能与采集板完全接触;另外,手指皮肤的干燥程度、汗渍、污渍、皮肤病、手指受伤等因素会导致一些错误信息被采集;还有设备本身的噪声干扰这些因素将导致采集的指纹图像是一幅含多种不同程度噪声干扰的灰度图像,所以一般要对采集到的指纹图像进行预处理。

预处理的目的是去除图像中的噪声,将其变成一幅清晰点线图,这样才能提取到正确的指纹特征,从而实现正确匹配。预处理的过程主要包括指纹图像的归一化、背景分割、二值化、二值化后处理及细化,流程如图 1-6 所示。

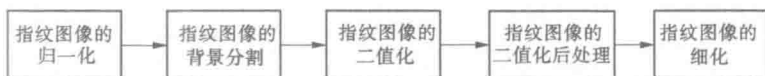


图 1-6 指纹图像预处理流程图

(1) 指纹图像的归一化: 指纹图像的对比度和灰度调整到一个固定的级别上,为后续处理提供一个较为统一的图像规格。

(2) 指纹图像的背景分割: 确定指纹的有效区域,有针对性地进行处理,提高处理速度,保证处理效果。

(3) 指纹图像的二值化: 将滤波后的图像转化为二值化的图像。

(4) 指纹图像的二值化后处理: 滤除二值化后图像中的噪声。

(5) 指纹图像的细化: 将图像变成单像素连通图。

指纹图像的部分预处理试验结果如图 1-7 所示。

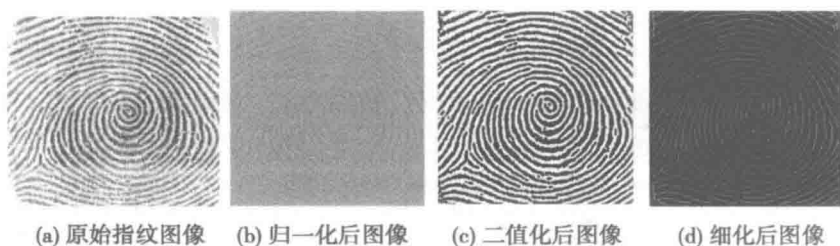


图 1-7 指纹图像的部分预处理试验结果

特征提取是指纹图像识别中的关键一步,特征提取的准确程度直接关系到匹配的正确性。因此,能否从指纹图像中可靠地提取细节点,直接影响指纹匹配的精度。理想的指纹细节点提取方法应该不产生虚假细节点、不遗漏真实细节点以及细节点的位置和方向没有误差,细节点的提取一般是从细化图像上提取。

指纹细化图像的主要特征是纹线端点和分叉点,采用这两种主要特征构造指纹特征向量,常规的提取方法是模板匹配法,其具有运算量小、速度快的优点。

端点和分叉点是建立在对八邻域的统计分析基础之上的,在八邻域的所有状态中,满足端点特征条件的有 8 种,如图 1-8 所示;满足分叉点特征条件的有 9 种,如图 1-9 所示。



图 1-8 端点模板



图 1-9 分叉点模板

由于图像质量和噪声的干扰,经过预处理后的细化图像上存在大量的伪特征点。这些伪特征点的存在,不但使匹配的速度大大降低,还



使指纹识别性能下降,造成识别系统性能的下降。通过特征提取,提取了所有的真特征点和伪特征点,并需要进一步处理以消除伪特征。因此,在进行指纹匹配之前,尽可能将伪特征点滤除,同时保留真特征点。

伪特征点可划分为两类,即位于图像边缘和图像内部的伪特征点。前者是由于截断图像产生不连续点,后者是由于指纹采集时手指的汗渍、疤痕和按压轻重不同等各种噪声影响而产生的,表现为部分纹线的不正常连接、断裂等。常见的伪特征点有端点、断点、毛刺、小桥等,如图 1-10 所示。



图 1-10 伪特征点结构

伪特征点滤除步骤如下:

(1)对于端点,判断相邻结构中特征点有无短枝、纹线间断等伪特征结构,如没有,则是真特征点;如有一个或两个,则是伪特征结构,并按照先短枝后纹线间断的顺序进行删除。

(2)对于分叉点,判断相邻结构中有无毛刺、孔洞、叉连等伪特征结构,如没有,则是真特征点;如有一个或多个,是伪特征结构,并按照毛刺、孔洞、叉连的顺序进行删除。

(3)对边界特征点的去除,对初选出的特征,计算它们与边界的距离,当距离小于预先设定的阈值时,则认为该特征点不可靠,从指纹特征中删除该点的记录。

消除毛刺和小桥的指纹特征点如图 1-11 所示。

指纹的匹配是指纹识别的最后一步,也是指纹识别系统的最关键的一步。在匹配过程中,要将待识别指纹的有关数据与保存的指纹数据进行对比。

指纹匹配方法大体上可分为基于频谱的匹配和基于细节点的匹配。