



人脸识别——原理、 方法与技术

王映辉 编著



科学出版社

www.sciencep.com

人脸识别——原理、方法与技术⁻⁶⁷

王映辉 编著

科学出版社

北 京

TP391.41

W432=4

内 容 简 介

本书主要介绍人脸识别技术的基本原理、研究内容、研究方法,以及已有的研究成果,并探讨相应的发展趋势。书中给出了人脸识别的基本过程框架,该框架包括人脸图像获取、人脸图像预处理、人脸表征、人脸检测、人脸分割和人脸的判定,并对其中的具体实现技术和方法进行了全面阐述。随后,对影响人脸识别的三大关键因素:光照、表情和姿态进行了论述,并贯穿了相关的最新研究成果和处理方法。最后,针对视频图像,对动态人脸跟踪进行了探讨,并对人脸识别的现状和研究趋势进行了说明。

本书内容全面、系统性强,适应读者面广,可作为高校教师、研究生、科技工作者,以及相关部门的应用人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

人脸识别:原理、方法与技术/王映辉编著. —北京:科学出版社,2010.2
ISBN 978-7-03-026649-1

I. ①人… II. ①王… III. ①面-图像识别-研究 IV. ①TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 019468 号

责任编辑:任 静 / 责任校对:林青梅
责任印制:赵 博 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 2 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)
2010 年 2 月第一次印刷 印张: 20 3/4
印数: 1—3 000 字数: 403 000

定价: 58.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

人脸识别一直是生物识别领域的研究热点,在计算机、(应用)数学、电子、自动化、可视化、虚拟现实、图像处理与模式识别等学科都有较广泛的研究,同时也在航空航天、气象、刑事侦察、出入境关口管理、机场检查等领域有着重要的应用价值。

全书内容分为14章,其中正文根据内容可结合成为依次递进的三部分:人脸识别的基础知识(第1~3章)、人脸识别的基本方法(第4~9章),以及人脸识别的高级方法(第10~14章)。

第1章简要介绍生物特征识别技术的基本原理以及常见的生物特征识别技术,进而引入人脸识别,重点讨论了人脸识别的研究内容、研究现状及将来的发展趋势。第2章介绍了人脸识别系统的评价标准,并列出了常用的三种测试标准,此外简要论述了国内外常用的人脸数据库。第3章主要阐述人脸识别的一些基础理论知识。

第4章人脸图像的获取是人脸识别的首要步骤,分别介绍了二维和三维人脸图像的获取原理,并重点介绍了一种双目成像系统。第5章主要介绍了一些常见的人脸图像预处理方法。第6章主要分析了二维人脸和三维人脸的表示方法。第7章介绍了基于静态图像和动态图像的人脸检测方法,并进一步对检测方法的评价标准进行阐述,最后提出人脸检测存在的难点。第8章通过分析图像分割的基本原理,引入了一些常见的人脸图像分割方法。第9章主要介绍了几种典型的人脸判定方法。

光照是影响人脸识别率的一个重要因素,第10章分析了光照变化对人脸识别的影响,并且介绍了两种常用的光照补偿方法。表情是人类情绪的一种表现,那么在人脸有表情的情况下如何识别人脸也是一个难题,第11章主要概括了表情识别的主要框架,人脸表情图像的预处理工作以及人脸表情识别方法。近年来三维人脸识别已经成为一个热点研究话题,三维人脸的建模工作就显得日益重要,第12章主要介绍了人脸建模的研究动态,列举出几种常见的三维人脸模型,并对标准人脸模型进行了分析。早期的人脸识别研究都是基于正面人脸图像而言的,然而在实际生活中人脸往往会存在姿态的变化,第13章从姿态变化对人脸的影响出发,分别介绍了二维、三维人脸姿态识别方法以及多姿态人脸识别方法。第14章分析了人体运动的原理,并从目标跟踪的原理出发介绍了典型的人脸跟踪方法。进一步阐述了人脸跟踪快速算法以及人脸跟踪的现状。

此外,在本书撰写过程中参考了大量的文献,在此对相关作者表示衷心地感谢!由于作者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

作 者

2009年12月

目 录

前言

第一部分 人脸识别的基础知识

第 1 章 绪论	3
1.1 生物特征识别技术简介	3
1.1.1 生物特征识别技术原理	4
1.1.2 生物特征识别技术分类	5
1.1.3 生物特征识别技术的发展趋势	14
1.2 人脸识别技术概述	16
1.2.1 人脸识别的研究内容	16
1.2.2 人脸识别技术的特点	18
1.2.3 人脸识别技术的研究现状	19
1.2.4 人脸识别技术存在的难点	24
1.2.5 人脸识别技术的发展趋势	27
1.2.6 人脸识别技术的应用领域	28
参考文献	29
第 2 章 人脸识别系统与评价	30
2.1 商用的人脸识别系统	30
2.1.1 国外人脸识别系统	30
2.1.2 国内人脸识别系统	33
2.2 人脸数据库	34
2.2.1 国外人脸数据库	34
2.2.2 国内人脸数据库	35
2.3 评价人脸识别系统的标准	39
2.3.1 人脸识别系统的要求	39
2.3.2 人脸识别系统的性能指标	40
2.3.3 人脸识别系统的测试标准	43
参考文献	46
第 3 章 人脸识别的基本理论	47

3.1 特征提取和特征选择	47
3.1.1 特征提取和特征选择的基本概念	47
3.1.2 特征提取方法	48
3.1.3 特征选择方法	60
3.2 线性判别函数	62
3.2.1 线性判别函数的基本概念	62
3.2.2 设计线性分类器的主要步骤	64
3.2.3 Fisher 线性判别	64
3.3 贝叶斯决策	68
3.3.1 贝叶斯决策理论的产生和发展	68
3.3.2 几种常用的贝叶斯决策规则	70
3.4 人工神经网络	76
3.4.1 人工神经网络基础	76
3.4.2 BP 神经网络	80
3.4.3 Hopfield 模型网络	81
3.5 统计学习理论与支持向量机	82
3.5.1 统计学习理论基础	83
3.5.2 最优分类面	86
3.5.3 广义最优分类面	88
3.5.4 支持向量机	89
3.6 模糊聚类分析	92
3.6.1 模糊理论基础	92
3.6.2 模糊聚类分析	93
3.6.3 基于目标函数的模糊聚类分析方法	94
参考文献	98

第二部分 人脸识别的基本方法

第4章 人脸图像的获取	101
4.1 人脸图像获取概述	101
4.2 人脸图像获取分类	102
4.2.1 二维人脸图像获取	102
4.2.2 三维人脸图像获取	103
4.3 人脸图像获取原理	108
4.3.1 双目成像原理	108

4.3.2 立体匹配原理	113
参考文献	116
第5章 人脸图像预处理	117
5.1 常见人脸图像格式	117
5.2 人脸图像预处理	120
5.2.1 灰度变换	120
5.2.2 二值化	121
5.2.3 几何校正	122
5.2.4 直方图修正	123
5.2.5 图像滤波	125
5.2.6 图像锐化	130
5.2.7 像素平均法	131
参考文献	132
第6章 人脸表征	133
6.1 人脸表征综述	133
6.1.1 人脸表征简介	133
6.1.2 基于知识的人脸表征	134
6.1.3 基于代数的人脸表征	136
6.2 二维人脸表示方法	140
6.2.1 基于几何特征的表示方法	140
6.2.2 基于主成分分析的表示方法	142
6.2.3 基于奇异值分解的表示方法	143
6.2.4 基于线性判别分析的表示方法	144
6.2.5 基于核的表示方法	147
6.3 三维人脸表示方法	151
6.3.1 基于数学描述的表示方法	151
6.3.2 基于体积描述的表示方法	152
参考文献	154
第7章 人脸检测	157
7.1 人脸检测概述	157
7.1.1 人脸检测的方法	158
7.1.2 人脸检测的意义	160
7.2 静态图像的人脸检测	161
7.2.1 基于特征的人脸检测方法	162
7.2.2 基于图像的人脸检测方法	170

7.3 动态图像的人脸检测	179
7.3.1 图像差分法	180
7.3.2 光流法	183
7.4 人脸检测算法的评测	184
参考文献	185
第8章 人脸分割	187
8.1 人脸分割的分类	187
8.2 基于区域的分割方法	188
8.3 基于边界的分割方法	191
8.3.1 边缘检测	191
8.3.2 活动轮廓模型	192
8.3.3 基于几何与统计模型的分割方法	193
8.4 常见的动态人脸分割方法	194
8.4.1 运动分割法	194
8.4.2 基于变化检测的分割法	195
8.4.3 基于时空对象的分割法	196
8.4.4 基于压缩域对象分割法	197
参考文献	198
第9章 人脸判定	200
9.1 人脸判定简介	200
9.2 人脸判定方法	201
9.2.1 基于面部几何特征的方法	201
9.2.2 基于模板匹配的方法	202
9.2.3 基于代数特征的方法	204
9.2.4 基于神经网络的方法	209
9.2.5 基于隐马尔可夫模型的方法	211
9.2.6 基于支持向量机的方法	212
9.3 人脸判定发展现状	214
参考文献	215

第三部分 人脸识别的高级方法

第10章 光照处理	219
10.1 光照变化的影响	219
10.1.1 光照变化对人脸图像的影响	219

10.1.2 光照变化对人脸识别的影响	221
10.2 光照模型	223
10.2.1 光源	223
10.2.2 物体表面的光照效果	225
10.2.3 图像的亮度模型	226
10.3 人脸识别中的光照补偿	228
10.3.1 基于变换的光照补偿方法	229
10.3.2 基于光照样本合成的光照补偿方法	236
参考文献	243
第 11 章 表情识别	245
11.1 表情识别简介	245
11.1.1 人脸表情的特点	245
11.1.2 表情识别的基本步骤	249
11.1.3 表情的特征分析	250
11.1.4 表情识别的难点	252
11.1.5 表情识别与人脸识别	253
11.1.6 表情数据库	254
11.2 人脸表情图像的预处理	256
11.2.1 人脸表情图像几何预处理	256
11.2.2 人脸表情图像的灰度预处理	260
11.2.3 人脸表情图像的去噪	261
11.3 人脸表情识别方法	262
11.3.1 人脸表情特征提取	262
11.3.2 人脸表情特征分类	266
11.3.3 人脸表情特征识别	266
11.3.4 典型人脸表情识别的方法	270
11.4 人脸表情识别的研究意义及应用领域	273
11.5 人脸表情识别的发展趋势	276
参考文献	277
第 12 章 三维人脸建模	279
12.1 人脸建模概述	279
12.1.1 人脸建模的研究意义	279
12.1.2 人脸建模的应用领域	280
12.2 人脸建模方法综述	281
12.3 三维人脸模型	283

12.3.1 基于人脸参数模型	283
12.3.2 基于生理肌肉模型	284
12.3.3 基于图像的视觉建模	287
12.3.4 基于人脸库的形变模型	289
12.4 标准人脸模型	290
12.4.1 网格模型	290
12.4.2 统计模型	291
参考文献	292
第 13 章 人脸姿态识别	294
13.1 姿态变化对人脸图像识别的影响	294
13.2 二维人脸姿态识别方法	295
13.3 三维人脸姿态识别方法	296
13.4 多姿态人脸识别方法	297
13.4.1 基于单视图的多姿态人脸识别	298
13.4.2 基于正投影视图的多姿态人脸识别	301
13.5 人脸姿态识别方法的现状	304
参考文献	306
第 14 章 人脸跟踪	307
14.1 人体运动分析	307
14.2 目标与人脸跟踪技术	308
14.2.1 目标跟踪技术的分类	308
14.2.2 目标跟踪的常用方法	309
14.2.3 人脸跟踪的现状	311
14.2.4 人脸跟踪整体过程	312
14.3 人脸跟踪中常用的色度模型	313
14.4 人脸跟踪技术	317
14.4.1 利用背景信息跟踪	318
14.4.2 利用色彩信息跟踪	319
14.4.3 利用运动信息跟踪	319
14.4.4 利用人脸模板或参数模型进行跟踪	319
14.4.5 利用人脸的局部特征进行跟踪	320
参考文献	320

第一部分 人脸识别的 基础知识

論現代中國人 卷一 第一章
基礎理論

第 1 章 绪 论

本章首先引入了生物特征识别技术,介绍了生物特征识别的基本原理,分析了常见的各种生物特征识别技术的优势和不足,以及未来的发展趋势;然后概括了近年来快速发展的人脸识别技术,讨论了人脸识别的发展现状;最后介绍了人脸识别的应用和发展趋势。

关于个人身份鉴别的问题可以分为两类:认证(verification)和识别(identification)。认证指的是验证用户是否为他所声明的身份,识别指的是确定用户的身份。身份的鉴别主要基于:①持有物,如各种证件;②所了解的信息,如口令或密码;③生理或行为特征,如指纹、掌形、声音、签名等。第三种方法就是现在引起人们广泛兴趣的生物特征识别技术,它是基于个人独特的生理或行为特征进行自动身份鉴别的技术。因为生物特征不会像密码那样容易被忘记或破解,也不会像持有物那样容易被窃取或丢失,因此,生物特征识别被认为是一种更加可靠、方便、快捷的大众化身份识别手段。

1.1 生物特征识别技术简介

随着计算机技术和生物医学工程技术突飞猛进的发展,利用人体生物特征来鉴别个人身份的生物识别技术成为安全验证的首选方式。生物特征识别技术(biometric identification technology)是一种将信息技术与生物技术相结合的新型识别技术,它通过将计算机技术、光学、声学、生物传感器和生物统计学等高科技手段密切结合,利用人体生理特征(如指纹、人脸、虹膜等)或行为特征(如笔迹、语音、步态等)来对个人进行身份鉴别。

人的任何生理或行为特征只要满足以下条件,原则上就可以作为生物特征用于身份鉴别:

- (1) 普遍性(universality)。每个人都必须具备的特征。
- (2) 安全性(safety)。独特的生理或行为特征本身就是个人身份的最好证明,能满足更高的安全需求。
- (3) 唯一性(uniqueness)。指任何两个人都具有不相同的特征。
- (4) 稳定性(stability)。每个人的生物特征如指纹、虹膜等不会随时间等条件的变化而变化,至少在一段时间内是不变的。

(5) 可采集性(collectability)。选择的生物特征必须便于采集和定量测量。

然而满足上述条件的生物特征对一个实际的系统却未必可行,因为实际的系统还必须考虑:

(1) 性能(performance)。识别的准确性、鲁棒性、速度以及为达到所要求的准确性和速度所需要的资源。

(2) 可接受性(acceptability)。使用者对所选择的个人生物特征及其应用愿意接受。

(3) 可欺骗性(can be deceptive)。用欺诈的方法骗过系统的难易程度。

1.1.1 生物特征识别技术原理

所有基于生物特征的识别都有大体相同的工作原理和过程。首先利用光电扫描传感器提取人体特征图像;然后将其量化,再利用数学算法对提取的特征图像进行处理,将最终生成特征模板与预先保存在人体生物特征数据库中的特征数据进行对比;最后根据比对的相似性来确定是否匹配。人体生物特征识别技术基本原理如图 1.1 所示。一个典型的生物特征识别系统包括生物特征识别传感器、特征提取、匹配器和系统数据库四个模块^[1],以及采集生物特征样本、预处理、特征提取和特征匹配四个处理过程。

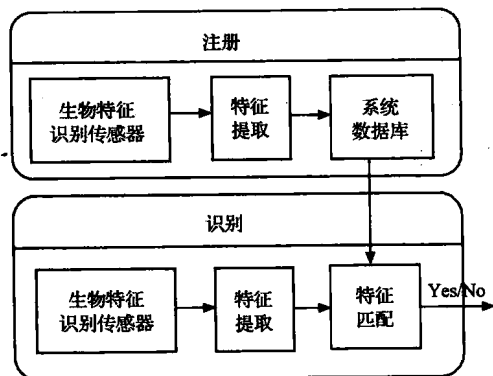


图 1.1 典型的生物特征识别系统

(1) 采集样本是通过某种技术和方法测量生物特征,并将其转化为计算机可以处理的数字信号,这就是生物特征传感器的主要任务,也是生物特征识别的第一步。大部分的生物特征,如人脸、指纹、虹膜、掌纹、手形、静脉等,都是通过光学传感器,例如电荷耦合器件图像传感器 CCD(charge coupled device)或互补金属氧化物半导体 CMOS(complementary metal-oxide semiconductor),形成图像信号。

(2) 预处理的目的是去除噪声,加强有用的信息,并对测量仪器或其他因素所造成的退化现象进行复原。在一些生物特征识别技术中,一般从生物特征获取装置采集得到的原始信号不仅包括生物特征本身,还包括背景信息等,所以必须从原始信号中分割出感兴趣的内容。定位和分割算法一般都是基于生物特征在图像结构和信号分布方面的先验知识。例如人脸检测就是要从图像中找到并定位人脸区域,这一直是计算机视觉领域研究的热点问题。

(3) 所谓特征提取过程,就是机器通过学习获取生物特征信号中能够凸显个性化差异的本质特征,从而实现身份的识别。特征提取是生物特征识别领域最基本的、原理性的问题,是生物识别领域最活跃的一个研究方向。生物特征技术的进展过程也就是不断寻找能够凸显个性化差异本质特征的过程,由于生物特征的多样性和复杂性,目前这个问题只在个别的生物特征识别领域得到了共识,例如指纹识别,大家都公认细节点(如末梢点和分叉点)是描述指纹特征的最佳表达方式。但是在其他生物特征识别领域,例如人脸、虹膜、掌纹等领域,研究人员还在不断探索最佳的特征表达模型。

(4) 特征匹配是计算两个生物特征样本的特征模板之间的相似度,实际上就是将采集到的生物特征模板与机器中已经登录的特征模板进行比对,并找出最佳的匹配对象。在特征匹配方面,除了传统的基于距离的匹配方法外,基于神经网络和基于支持向量机(support vector machine, SVM)的方法也得到了广泛的应用。而图匹配算法在指纹细节点模式、人脸模式、虹膜模式的相似性度量中得到了成功的应用。

1.1.2 生物特征识别技术分类

生物识别技术按照特征形成原因可分为基于生理特征的识别和基于行为特征的识别。生理特征是与生俱来的,多为先天性,这些特征不随客观条件和主观意愿而改变;行为特征则是由习惯形成,多为后天形成的,并且在每次测试的时候不一定相同,和用户当时的状态(如情绪、疾病等外界因素)有关。基于生理特征的识别包括指纹识别、人脸识别、虹膜识别、视网膜识别、掌形识别等。基于行为特征的识别包括签名识别、语音识别、步态识别等。

1. 基于生理特征的识别技术

1) 指纹(fingerprint)识别

指纹识别技术是目前生物特征身份鉴别技术的研究热点,指纹身份鉴别方法是应用最早、最广泛和最成熟的生物特征身份鉴别方法。指纹是指手指末端正面皮肤上凹凸不平的纹路,其中突起的纹线称为脊,脊之间的部分称为谷。指纹的纹路并不是连续、平滑流畅的,而且经常出现中断、分叉和转折,这些断点、分叉点和转折点,称为细节(minutiae),正是这些细节为指纹的唯一性提供了识别信息。尽

管指纹只是人体皮肤的一小部分,却蕴含着大量的信息。它具有丰富的细节点,如

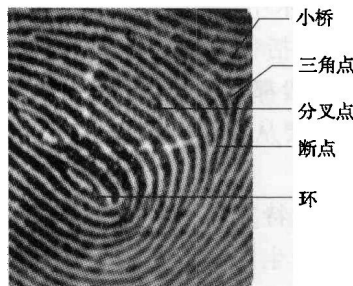


图 1.2 指纹识别示例图

断点、分叉点等等(如图 1.2 所示)。对于一幅指纹,这些局部特征点具有特定的全局分布结构,并且因人而异,通过比对其指纹特征和预先保存的指纹特征就可以验证其真实身份。

应用指纹进行身份鉴别已有悠久的历史。早在中国古代的一些商业契约上就印有大拇指指纹作为凭证。1880 年苏格兰医生 Faulds 在英国 *Nature* 上发表论文,指出指纹人各不同、恒久不变,并利用现场指纹来鉴定罪犯,从此揭开了现代指纹

识别研究的序幕。从 20 世纪 60 年代开始,随着计算机技术的发展,人们开始着手研究利用计算机来处理指纹,自动指纹识别系统(automated fingerprint identification system, AFIS)的研究和应用已经在世界许多国家展开。20 世纪 80 年代,个人电脑、光学扫描这两项技术的革新,使得它们作为指纹取像的工具成为现实,从而使指纹识别可以在更广泛的领域中得以应用,比如代替 IC 卡。20 世纪 90 年代后期,低价位取像设备的引入及其飞速发展,以及可靠的比对算法的实现,为个人身份识别的广泛应用提供了舞台。

指纹识别技术通过特殊的光电转换设备和计算机图像处理技术,对活动指纹进行采集、分析和比对,迅速、准确地鉴别出个人身份。首先,通过指纹读取设备读取到人体指纹的图像,并对原始指纹图像进行初步的处理,使之更清晰。然后,指纹识别算法建立指纹的数字表示——特征数据,这是一种单方向的转换、可以从指纹转换为特征数据,但不能从特征数据转换成为指纹,而且两枚不同的指纹不会产生相同的特征数据。最后,通过计算机模糊比较的方法,把两个指纹的模板进行比较,计算出它们的相似程度,最终得到两个指纹的匹配结果。

指纹识别实用性强,而且指纹样本便于获取,方便、快捷;指纹的复杂度包含了足以用于鉴别的特征;如果要增加可靠性,只需鉴别更多的手指、登记更多的指纹;指纹采集设备可以更加小型化,成本更加低廉。

但是指纹识别也存在一些缺点:个别人或某些群体的指纹特征很少,很难成像;每一次使用指纹时都会在指纹采集设备上留下用户的指纹印痕,而这些指纹痕迹存在被用来复制的可能性。

2) 人脸识别

人脸识别是人们日常生活中最常用的身份确认手段,也是当前最热门的模式识别研究课题之一。虽然人脸识别的准确性要低于虹膜识别和指纹识别,但是由于它是非接触的、具有非侵犯性,因而人们对这种技术没有任何的排斥心理,所以人脸识别技术是一种最友好的生物特征识别技术。人脸识别技术是通过与计算机

相连的摄像头动态捕捉人的面部,利用面部器官的特征和它们之间的几何关系(如眼睛、鼻子和嘴的位置以及它们之间的相对位置),将捕捉到的人脸与预先录入在人脸数据库存中的人脸进行比对,从而得出识别结果。该过程如图 1.3 所示^[2]。

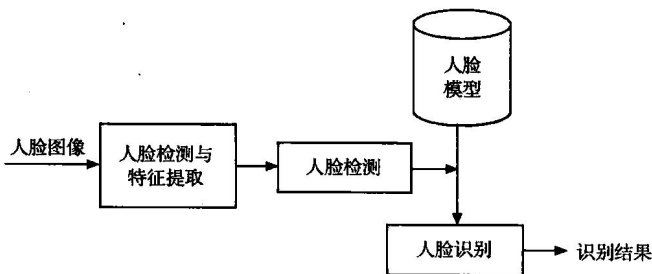


图 1.3 人脸识别原理图

人脸识别的优点:其他生物特征识别方法都需要一些人的行为配合,而人脸识别技术不需要被动配合;可远距离采集人脸;充分利用已有的人脸数据库资源,更直观、更方便地核查其身份。

人脸识别的缺点:采集图像的设备比技术昂贵得多;对于因人体面部的如头发、饰物、表情、衰老以及其他的变化需要通过人工智能补偿。

3) 虹膜(iris)识别

虹膜是一种在眼睛中瞳孔内的织物状各色环状物,每一个虹膜都包含一个独一无二的基于像冠、水晶体、细丝、斑点、结构、凹点、射线、皱纹和条纹等特征的结构,如图 1.4 所示。大量的临床观察表明,虹膜的整体形态取决于人体基因,由于自然原因使得两个虹膜纹理相同的可能性极小。因此,虹膜可以用于人体的身份识别。

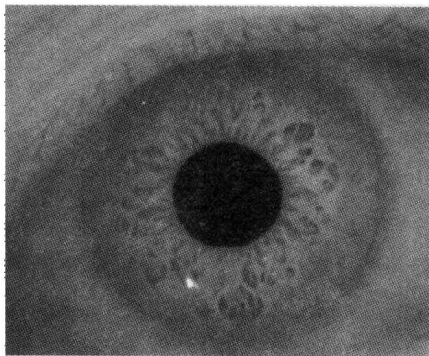


图 1.4 虹膜图像示例图

虹膜识别技术就是利用虹膜的终身不变性和差异性的特点来识别身份的。通过一种近似红外线的光线对虹膜图案进行扫描成像,并通过图案像素位的异或操作来判定相似程度。虹膜识别过程首先需要把虹膜从眼睛图像中分离出来,获取时,人眼不与 CCD、CMOS 等光学传感器直接接触,采用的是一种非侵犯式的采集技术,然后再进行特征分析,最后得出识别结果^[3],如图 1.5 所示。理论上找到两个完全相同的虹膜的概率是 120 万分之一,因此,虹膜识别技术成为目前已知的识别精度最高的生物特征识别技术。