

多模态生物特征识别

——基于人脸与人耳信息

王 瑜 著



科学出版社

多模态生物特征识别

——基于人脸与人耳信息

王 瑜 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书以人脸和人耳单生物特征为研究对象,旨在探讨人脸、人耳多模态识别技术的可行性和有效性,共分6章。第1、2章是基础知识部分,主要介绍单生物特征和多模态生物特征识别技术的基本概念、评价体系和发展现状。第3~5章是算法研究部分,主要利用人脸和人耳近似 90° 的特殊生理位置所带来的信息互补性,分别从融合信息方式、提取特征方法和捕获姿态不变量属性等方面入手,提出一系列人脸、人耳多模态识别的相关算法,试图缓解甚至消除由于姿态和遮挡等不利因素对人脸或人耳单生物特征识别造成的不利影响。第6章详细介绍目前国内外具有影响力的人脸和人耳图像库,并着重介绍作者组织并参与搭建的人脸人耳图像库。

本书可作为高等院校计算机等相关专业的教材,也可作为相关领域工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

多模态生物特征识别:基于人脸与人耳信息/王瑜著. —北京:科学出版社, 2013

ISBN 978-7-03-038630-3

I. ①多… II. ①王… III. ①面-图像识别-研究②外耳-图像识别-研究 IV. ①TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 251069 号

责任编辑:王 哲/责任校对:郑金红

责任印制:张 倩/封面设计:迷底书装

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>

北京市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

*

2013年11月第 一 版 开本:720×1 000 1/16

2013年11月第一次印刷 印张:11 3/4 插页:4

字数:191 000

定价:55.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

生物特征识别技术是利用人体特有的生理或者行为特征进行身份判别的相关方法或技术。随着科技的不断进步和网络时代的到来，生物特征识别技术已经逐渐为人们所熟知，并正在以前所未有的速度影响着人们的生产和生活。

目前生物特征识别技术种类繁多，除了人脸、指纹和虹膜三大主流技术以外，语音、签名、步态、掌纹、视网膜、DNA、击键动力学分析和人耳等相关技术也纷纷崭露头角，得到了技术开发人员和研究学者的普遍关注。随着生物特征识别技术在国防安全、司法鉴定、电子商务、视频监控、楼宇或网络访问控制等领域需求的不断增加，其必将成为未来身份验证与识别的主流。

经过大量的调查和验证可知，每一种生物特征都具有各自的优势和劣势，而且总会存在着部分个体不适合某一种生物特征高质量获取的情况，同时也没有哪一种生物特征能够适合于任何验证或识别的环境。从这种意义上讲，任何一种生物特征识别技术都有其存在的理由和价值。

在现实生活中，使用单一的生物特征识别系统很容易受到噪声的影响、自由度的限制，以及无法接受的误差干扰等。为了提高系统的安全级别和表现能力，人们尝试使用多模态生物特征识别系统缓解甚至消除上述单生物特征识别系统的诸多弊端。此外，多模态生物特征识别系统需要随时提供多种生物特征而使得冒名顶替变得十分困难，在安全性方面更有保障。因此，多模态生物特征融合识别是生物特征识别未来发展的必然趋势。

人脸和人耳单生物特征识别技术已经发展了很多年（尤其是人脸识别），在室内光照、无遮挡、无姿态等约束条件下，其识别效果非常优秀。但在非结构光照、姿态和遮挡等不利条件下，其识别效果迅速下降。人耳在人脸的侧面，这种近似成 90° 的特殊生理位置，决定了在姿态变化的情况下，二者具有信息上的互补性，因此将它们融合在一起可以在没有提供正面人脸的情况下，也能利用信息互补来进行身份鉴别。多模态生物特征识别系统较单模态识别系统具有更加安

全、可靠等优势，这启示我们可以利用人脸人耳多模态融合识别技术，克服姿态、遮挡等不利因素的影响，使系统获得更高的鲁棒性。鉴于此，本书以人脸、人耳生物特征为研究对象，探讨人脸和人耳多模态生物特征识别技术的可行性和有效性。

本书共分6章。第1章详细介绍生物特征识别，尤其是单生物特征识别技术的相关知识。第2章详细介绍多模态生物特征识别技术的概念和优势，对多模态生物特征识别技术的发展与现状做了详细的介绍和总结，按照融合方式归纳现存近20种多模态生物特征识别系统，并进行了对比和分析。第3章详细论述基于核典型相关分析的人脸人耳多模态识别方法。第4章详细论述基于局部二值模式纹理分析的人脸人耳多模态识别方法。第5章详细论述基于姿态转换的人脸人耳多模态识别方法。第6章详细介绍现存较有影响力的人脸图像库和人耳图像库，并详细介绍作者在博士期间组织并参与构建的USTB人脸人耳图像库的相关情况。

人脸识别是一种非常有前景的生物特征识别技术，人脸人耳多模态生物特征识别技术的相关研究不仅对人脸识别或人耳识别领域的发展具有重要意义，而且对信息融合技术和多模态生物特征识别的发展具有重要的参考和借鉴价值。希望本书可以为从事生物特征识别技术相关研究的科研工作者、学生以及产品研发人员提供一些帮助。

本书的出版得到国家自然科学基金面上项目“荧光显微样本3D重建关键技术研究”(61171068)的支持。

作 者

2013年10月

目 录

前言

第 1 章 生物特征识别	1
1.1 生物特征识别的概念	1
1.1.1 生物特征识别技术	1
1.1.2 生物特征识别系统	2
1.1.3 生物特征识别的优势	3
1.1.4 社会的可接受性和隐私问题	4
1.2 生物特征识别的发展	6
1.3 生物特征识别技术的评价	7
1.4 生物特征识别技术简介	9
1.4.1 人脸识别	11
1.4.2 人耳识别	22
1.4.3 指纹识别	33
1.4.4 语音识别	35
1.4.5 签名识别	36
1.4.6 虹膜识别	40
1.4.7 掌纹识别	41
1.4.8 击键动力学分析	42
1.4.9 步态识别	43
1.4.10 视网膜识别	44
1.4.11 DNA 识别	44
1.4.12 其他生物特征识别技术	44
1.5 本章小结	45
参考文献	46
第 2 章 多模态生物特征识别	55
2.1 多模态生物特征识别的概念	55
2.2 多模态生物特征识别的优势	57
2.3 多模态生物特征识别技术简介	60
2.3.1 多模态生物特征的信息融合	60

2.3.2 多模态生物特征识别系统与数据库	64
2.4 人脸人耳多模态识别技术研究	67
2.5 本章小结	69
参考文献	69
第3章 基于核典型相关分析的人脸人耳多模态识别	73
3.1 典型相关分析原理	73
3.2 核典型相关分析原理	75
3.3 方法介绍	78
3.3.1 融合前的预处理	78
3.3.2 人脸与人耳的信息融合	79
3.3.3 分类器设计	80
3.4 实验与讨论	80
3.4.1 实验设计	80
3.4.2 实验步骤	81
3.4.3 实验结果与分析	81
3.5 本章小结	85
参考文献	86
第4章 基于局部二值模式纹理分析的人脸人耳多模态识别	89
4.1 纹理分析的概念与优势	90
4.1.1 纹理的概念	90
4.1.2 纹理分析的优势	90
4.2 局部二值模式纹理分析原理	92
4.2.1 相关纹理分析方法比较	92
4.2.2 基本局部二值模式	95
4.2.3 圆形局部二值模式	99
4.2.4 旋转不变量局部二值模式	101
4.2.5 对比度与纹理模式	103
4.2.6 规范型局部二值模式	104
4.2.7 局部二值模式的优势	106
4.3 方法介绍	108
4.3.1 Haar 小波变换	108
4.3.2 分块融合思想	111
4.3.3 多尺度融合与规范型局部二值模式特征提取	112
4.3.4 人脸与人耳的信息融合	113
4.3.5 分类器设计	115

4.4 实验与讨论	116
4.4.1 实验设计	116
4.4.2 实验步骤	116
4.4.3 实验结果与分析	117
4.5 本章小结	125
参考文献	125
第5章 基于姿态转换的人脸人耳多模态识别	130
5.1 姿态转换原理	130
5.2 方法介绍	131
5.2.1 特征提取与基空间的计算	132
5.2.2 姿态图像特征空间的姿态转换	134
5.2.3 人脸与人耳的信息融合	137
5.2.4 分类器设计	137
5.3 实验与讨论	137
5.3.1 实验设计	137
5.3.2 实验步骤	138
5.3.3 实验结果与分析	139
5.4 本章小结	144
参考文献	145
第6章 人脸人耳多模态标准图像库的构建与完善	147
6.1 人脸图像库简介	147
6.1.1 M2VTS 多模态人脸图像库	147
6.1.2 XM2VTSDB 人脸图像库	148
6.1.3 CAS-PEAL 人脸图像库	149
6.1.4 FERET 人脸图像库	152
6.1.5 韩国人脸图像库	153
6.1.6 MPI 人脸图像库	153
6.1.7 圣母大学人脸图像库	154
6.1.8 得克萨斯大学人脸图像库	155
6.1.9 FRGC 人脸图像库	155
6.1.10 CMU 高光谱人脸图像库	157
6.1.11 CMU PIE 人脸图像库	158
6.1.12 AR 人脸图像库	158
6.1.13 Equinox 红外人脸图像库	159
6.1.14 ORL 人脸图像库	160

6.1.15	Yale 人脸图像库	161
6.1.16	Yale B 人脸图像库	161
6.1.17	BANCA 人脸图像库	162
6.1.18	JAFFE 人脸图像库	163
6.1.19	马里兰大学人脸图像库	164
6.1.20	CKAC 人脸图像库	165
6.1.21	UMIST 人脸图像库	165
6.1.22	奥卢大学人脸图像库	165
6.1.23	MIT 人脸图像库	165
6.1.24	NIST-MID 人脸图像库	166
6.1.25	Harvard 人脸图像库	166
6.2	人耳图像库简介	166
6.2.1	圣母大学人耳图像库	166
6.2.2	WPUT-DB 人耳图像库	167
6.2.3	IIT Delhi 人耳图像库	167
6.2.4	IIT 坎普尔人耳图像库	168
6.2.5	ScFace 人耳图像库	168
6.2.6	Sheffield 人耳图像库	168
6.2.7	YSU 人耳图像库	169
6.2.8	NCKU 人耳图像库	169
6.2.9	UBEAR 人耳图像库	169
6.2.10	CP 人耳图像库	170
6.3	USTB 人脸人耳图像库的构建与完善	170
6.3.1	人耳图像库 I	171
6.3.2	人耳图像库 II	171
6.3.3	人脸人耳图像库 III	172
6.3.4	人脸人耳图像库 IV	174
6.4	本章小结	176
	参考文献	176

第 1 章 生物特征识别

生物特征识别试图模拟人类的感知融合网络，利用行为或生理特征识别或验证个体身份。1978 年，第一套现代商用生物特征识别设备出现在华尔街的 Shearson Hamil 公司，其采用度量手指长度的方法记录员工考勤。1979 年，更多的掌纹设备以确保安全为目的安装在西电公司（Western Electric）和美国海军情报局（Office of Naval Intelligence）。目前，美国有大量的生物特征识别设备已步入实际应用阶段。例如，人脸生物特征安防系统应用在奥克兰国际机场，指纹生物特征识别系统安装在芝加哥奥黑尔国际机场，虹膜系统安装在美国海军联合大楼（Navy Consolidated Building）^[1]。

当今社会，生物特征识别已经不再是一个陌生的概念，尤其在美国等发达国家的大力支持下，生物特征识别技术发展迅速，其应用领域涉及机场、银行监控、电子商务、金融服务、信息安全、刑侦鉴定等诸多方面，对人们的生活产生了巨大的影响。

本章详细介绍生物特征识别技术的相关知识，包括概念、发展、评价指标以及目前典型的生物特征识别技术，为后续章节的理解提供必要的准备知识。

1.1 生物特征识别的概念

1.1.1 生物特征识别技术

生物特征识别技术^[2]是一种以人类特有的身体特征或行为特征为媒介，并研究用其识别或验证个体身份的方法或技术。固有的身体特征包括人脸、指纹、虹膜、掌纹等，行为特征包括步态、签名和击键动力学分析等。

生物特征识别一般有两种工作方式：识别和验证。识别是以“你是谁”的方式工作，从库中选取特征，并产生一系列可能的匹配；验证则是以“你是不是

谁”的方式工作，意味着当个体提出是否为特定身份的请求时，库中符合该特定身份的特征将被查询，并检查是否匹配。说得更通俗一些，识别需要进行多次的匹配，而验证则只需要进行一次匹配。

在生物特征识别过程中，一般包括两步重要的操作：注册和测试。在注册过程中，个体生物特征被存储在数据库中；在测试过程中，生物特征信息被检测，并与库中的信息作对比。

究竟何种生物特征可以被度量，并且符合生物特征识别的要求呢？答案是令人振奋的，任何人类生理或者行为特征都能够被用做生物特征识别，只要其满足如下要求。

普遍性：每个人都拥有该生物特征。

判别性：该生物特征在任何两个个体中都具有差异性。

持久性：经历一定的时间间隔后，该生物特征具有充分的不变性。

可收集性：该生物特征能够被量化和度量。

然而，在实际的生物特征识别系统中，仍旧有很多棘手的问题需要考虑，包括以下几个方面。

表现性：涉及可以达到的识别率和速度、获得好的表现所需要的资源，以及影响准确率、速度的操作和环境等因素。

可接受性：涉及日常生活中，人们愿意使用生物特征进行身份识别的接受程度。

反欺诈性：涉及假冒者使用欺骗手段使系统接受的难易程度。

实际的生物特征识别系统应该满足规定的识别率、速度和资源的需要，对使用者没有伤害，能够被大众所接受，并且对各种欺诈手段和攻击方法具有充分的鲁棒性。

1.1.2 生物特征识别系统

生物特征识别系统^[3]是一种普通的模式识别系统，一个简单的生物特征识别系统主要包括四个模块：传感模块、特征提取模块、匹配模块、决策模块。

传感模块：主要用来提供生物特征数据。例如，被广泛用于人脸扫描或视网膜扫描的传感器，包括电荷耦合元件（charge coupled device, CCD）、红外照相

机、深度扫描仪，以及用于指纹扫描的专用传感器和用于声音扫描的麦克风等。传感模块经常伴有一些无法避免的不利影响（噪声、抖动或者光照），如何有效解决这些问题并获得高质量的数据源是生物特征识别取得理想效果的重要基础。

特征提取模块：从获取的数据中提取特征值。该模块主要指一些有效的算法，对传感器捕获的图像或数据进行一些必要的操作，这些操作既要保证所获得数据的鲁棒特征，同时又不至于需要过大的存储空间，以及无法接受的算法复杂度和时间耗费，以便能够产生正确的识别结果。当然，同时满足所有的条件是不现实的，一般会根据实际情况，在不同的条件中进行取舍和均衡以满足实际需要，这些算法通常是机器学习算法。

匹配模块：将预检验的特征值与数据库中的特征值进行比较，获得匹配分数，作为决策的重要依据。

决策模块：产生用户身份或者宣告该用户身份是否合法。通常利用设计好的分类器进行决策，如简单有效的最近邻分类器，以及目前比较流行的支持向量机（support vector machine, SVM）等。分类器的设计也是生物特征识别技术的重要内容之一，直接对识别结果产生重要影响。

1.1.3 生物特征识别的优势

个体身份认证的方法大致可以分为三大类：一是用户持有的可以用于证明自己身份的标识物，如钥匙、证件、银行卡、身份证等；二是用户已有的相关知识，如用户名和密码等；三是用户自身具有唯一性的生物特征，如人脸、虹膜、指纹等。

前两种方法主要借助体外物，用户持有的证件或秘钥等很容易丢失、遗忘或复制，用户已有的知识很可能被遗忘、分享、盗取或猜测。调查证明，遗忘密码的成本是极其巨大的，在信息技术（information technology, IT）相关行业中，40%~80%的用户都曾拨打过求助电话^[4]，平均每个用户每年需要重置遗忘密码或者低度安全等级密码的成本大约为340美元^[5]，这无疑是一种巨大的经济浪费和安全隐患。一旦证明身份的标识物品或标识知识发生上述不测，用户身份就很容易被他人冒充或取代，造成其财务的损失或名誉的侵害。

身份窃取是指犯罪分子通过盗取合法用户的认证信息（如信用卡或密码等）

冒充合法用户的行为，或者在用户离开个人计算机又没有加锁时登录系统的行为。盗取身份后，犯罪分子可以进行很多恶意行为，如以被盗取身份的用户名义在线消费，这种方式曾给网站以及保险公司造成数十亿的损失^[6]。

尽管如此，目前使用用户名和密码进行身份认证仍然是一种非常普遍的方式。在这种方式下，用户需要输入认证信息才被允许进行相应的活动。这种方式在某种程度上是有效的，但是由于存在很多缺陷而易受黑客攻击^[7]。为了使密码更加安全，密码的设置必须附有特定规则，例如，最少 8 位字符，包括大写字母或特殊字符（如@、?、! 等）。遗憾的是，这种密码虽然达到了预期的效果，但也很难记忆，因此，很多用户在设置密码时还是喜欢选择与自己的生活密切相关的信息，如身份证号码、生日、父母或者孩子的名字等。这种做法虽然容易记忆，但是很容易被猜测和破解。此外，很多用户习惯在很多不同的网址上注册相同的密码，一旦被破解，将造成一系列相关的损失。例如，黑客可以在用户涉及的网站（如银行网站）进行相关犯罪活动，给用户造成巨大的损失。

如今，互联网已经成为人类生活中不可缺少的重要组成部分，网上购物已经成为一种时尚和习惯，有着忠实的用户群体。尤其对于工作繁忙的年轻人，在没有时间进行传统形式消费的情况下，足不出户就能购买各种商品。同时使用网上银行进行交易也越来越普遍，尽管各大银行也在为保护用户的利益开发各种网上交易保护系统（如 U 盾等），但是网上诈骗和犯罪仍旧屡见不鲜。

生物特征识别技术比传统的身份鉴别方法更安全、保密和方便，同时具有不易遗忘、防伪性能好、不易伪造或被盗、随身“携带”和随时随地可用等优点。

生物特征以基于“你是谁”这种新的方法建立身份，而不是传统的“你拥有什么”或“你知道什么”这两种方式，这种新的概念不仅增强了安全性，同时也避免了记忆和设置多种密码。因此，生物特征识别技术正在以前所未有的速度向前发展。

1.1.4 社会的可接受性和隐私问题

生物特征识别系统是否成功，很大程度上取决于人类是否能够与其轻松舒适

地交互，以及被广泛地接受。如果生物特征系统不需要接触就能够度量个体特征（如人脸或声音），那么其就可以使用户感觉更加友好和卫生。此外，生物识别技术如果不再需要用户的合作和参与（如人脸和人脸温谱图的识别），那么也会使用户感觉更加方便。

生物特征不需要用户参与和首肯就能够被捕获的同时，也引发了很多隐私权的问题，识别的过程会涉及隐私信息。例如，如果当一个人每次购物时都需要识别身份，那么他购物的地点、购物的内容能够被接线员或者网络管理员容易地获取和使用。使用生物特征识别系统使隐私的问题变得更加严重，因为生物特征也许还会提供该人的额外信息。例如，视网膜能够显示糖尿病和高血压的信息，保险公司也许会使用相关信息做出有失职业操守的决定，以可能存在的高风险而拒绝该人参保。脱氧核糖核酸（deoxyribonucleic acid, DNA）可以显示特定疾病的信息，因此即便是无意的信息滥用，也有可能导致待遇上的歧视。更重要的是，人们担心生物特征识别身份会将个人信息链接到其他与个人相关的系统或数据库，如电子银行、工作单位，尤其是涉密性质的工作单位等。

为了缓解用户的担心，生物特征识别技术研发公司和政府不得不做出不泄露其生物特征的承诺，保留用户的隐私权，或只用于既定的明确目的。同时有必要确立相关立法及规章制度，充分保证这种信息的隐私权，并明确指出滥用该种信息将受到相应的严厉制裁。

目前大多数商用生物特征识别系统都不需要储存身体的某些特征，而是以加密的形式储存相应的数字表示或者模板表示。这种方式有两个目的：一是真实的生物特征数据无法从数字模板中恢复，确保了隐私权；二是加密手段确保了只有指定的应用或者用户才能使用这种模板。

随着生物特征识别技术的不断成熟，在市场、技术和应用中将不断增加人类与生物特征识别系统之间的交互，这种友好的交互方式会受到技术、用户接受程度、服务供应商的信誉等影响。预测生物特征识别技术能够发展到何种程度何发展，以及可能嵌入到哪种应用中还为时过早，但是基于生物特征的技术会以一种无法阻挡的势头对我们的生活产生深远的影响。

1.2 生物特征识别的发展

近几年通过科研工作者、技术开发商的不断努力,以及在大量资金支持的共同作用下,生物特征识别技术进入了高速发展的阶段。随着生物特征识别技术的精度和产品稳定性的不断提高,其正在公共安全防范领域发挥着无法替代的作用。各国政府基于安全的考虑和市场的迫切需求,正在积极倡导和推动生物特征识别技术的发展,尤其近年来恐怖事件接连发生,公共安全问题再次成为各国的焦点议题,特别需要一个安全的体制来保障公民的人身安全和社会安定。生物特征识别技术以其独有的优势成为安全保障体制的关键技术之一。

随着计算机技术和网络技术的快速发展,人们日常的生活娱乐、经济往来无一不与计算机及网络密切相关,身份认证问题逐渐突现。作为承载经济娱乐生活的数字化网络,身份问题容不得半点差错,由于网络使面对面的交易逐渐演变成非面对面的鼠标点击操作,基于面对面的安全感顿然消失;同时,互联网还使得面向连接的交易变成非面向连接的交易,双方的在线安全感也随即完全消失。所以在信息时代,身份问题比过去更加重要,要求也自然更加严格,而生物特征识别技术正在成为数字世界身份认证的重要工具之一。

近年来,随着对生物特征识别技术的迫切需求和安全等级要求的不断提高,生物特征识别技术正在以前所未有的速度不断发展,逐渐形成了三个明显的特点。

(1) 单生物特征识别技术不断追求高标准,技术不断完善,尤其是指纹和人脸识别技术面向实际应用的产品层出不穷,发展势头极其迅猛。人脸识别技术以其非侵犯性、可接受性等众多优势,近几年来成为世界上生物识别公司及科研院所开发的热点。人脸识别测试(face recognition vendor test, FRVT)^[8]技术表明,人面像识别技术的验证能力可与1998年的指纹商用系统相比(错误接受率设为0.01)。特别是以美国为首的发达国家提出使用人脸作为未来电子护照的识别特征之一,进一步证明了人脸特征在生物特征识别中的重要地位。三维(three dimensional, 3D)人脸识别技术的出现是一个里程碑式的重大突破,该技术能够以多视角的丰富信息克服二维(two dimensional, 2D)人脸识别中光照、姿势和遮挡等问题带来的困扰,虽然3D技术也存在自身的缺陷,但其卓越

的识别性能和优势还是吸引了研究人员的广泛关注。

(2) 单生物特征种类日益多样,方兴未艾。随着传感器技术、计算机技术和CCD技术的不断发展,研究人员和学者都在不断尝试着新的思路和方法。对于生物特征,人脸、指纹和虹膜无疑是三大主流技术,其基础地位坚不可摧,但是任何一种生物特征都有其自身的缺陷,这也促使了其他生物特征识别技术的兴起,如语音、签名、击键动力学分析等。具备掌型技术、静脉模式识别技术、虹膜技术的厂商陆续推出自己的最新产品,由于其高识别率、高可接受程度受到众多使用者的欢迎。

(3) 多种生物特征融合技术成为未来发展的必然趋势。在实际应用中,由于客观条件变化的不可预测性,单生物特征识别技术往往会遇到难以克服的特例。例如,相当一部分人由于工作性质、意外事故等无法采集到清晰的指纹;人脸也会由于化妆、疤痕和衰老等造成信息的错误或者缺失。另外,在一些安全性要求极高的应用领域中,单生物特征识别的性能很难达到预期的需要。多模态生物特征识别技术同时利用多种生物特征,结合数据融合技术,不仅可以提高识别的准确性,而且也可以扩大系统覆盖的范围,降低系统的风险,使之更接近实用。

多模态生物特征识别系统比单生物特征识别系统具有更好的性能,国际上许多学者已致力于多生物特征身份识别技术的研究。例如,利用密码和用户名的身份认证技术只能产生一定程度的防范作用,为了更加安全,可以使用生理或者行为生物特征等辅助方式进行完善,持有的标识物品与多模态生物特征的有效融合可以很大程度上提高系统的安全等级,或者利用三种认证方法的有效结合也可以大大提高系统的安全性。总之,多生物特征融合识别技术近年来已成为生物特征识别技术研究领域的一个热点,也是未来生物特征应用领域发展的必然趋势。

1.3 生物特征识别技术的评价

人们需要对生物特征识别技术的效果进行客观的评价,评价的指标主要包括以下几种^[6]。

(1) 正确率(true positive rate, TPR): 正确识别被试身份的人数与总测试人数的比值。

(2) 错误接受率 (false acceptance rate, FAR) 与错误拒绝率 (false rejection rate, FRR)。

错误接受率: 原本是虚假冒充者却被认为是合法身份的用户, 这种误差称为误接受, 误接受的人数与总测试人数的比值即为错误接受率。

错误拒绝率: 原本是合法身份的用户却被认为是虚假冒充者, 这种误差称为误拒绝, 误拒绝的人数与总测试人数的比值即为错误拒绝率。

在每一种生物特征识别系统中, 错误接受率与错误拒绝率需要进行适当的取舍和平衡。事实上, 二者都是阈值 t 的函数。 t 降低, 系统会对输入的变化和噪声具有更大的容忍性, 因此错误接受率就会提高; 另一方面, 如果阈值 t 提高, 则系统会更加安全可靠, 那么错误拒绝率会相应提高。

数学理论上, 验证系统的误差可以使用如下公式进行描述, 如果数据库中存储的用户生物特征模板用 X_1 表示, 获取的待测生物特征数据用 X_Q 表示, 则可做出如下假设。

H_0 : 输入 X_Q 不是来自合法用户的特征, 却被认为是合法用户的特征 X_1 。

H_1 : 输入 X_Q 是合法用户的特征, 却被认为不是合法用户的特征 X_1 。

那么, 联合决定如下。

D_0 : 该用户不是声称的合法身份。

D_1 : 该用户是声称的合法身份。

决策规则如下: 如果匹配值 $S(X_Q, X_1)$ 低于阈值 t , 那么决策为 D_0 , 否则, 决策为 D_1 。这些术语实际上来自通信理论, 目的是检测信号是否含有噪声。 H_0 假设接收到的信息为噪声, H_1 假设接收到的信息为信号, 这种对于测试的假设描述本质上包含两种误差。

I: 错误接受, 当 H_0 为真时, 决策为 D_1 。

II: 错误拒绝, 当 H_1 为真时, 决策为 D_0 。

错误接受率为第一种误差的概率 $A = P(D_1 | H_0)$, 错误拒绝率为第二种误差的概率 $B = P(D_0 | H_1)$ 。

(3) 受试者工作特征曲线 (receiver operating characteristic curve, ROC)。

ROC 曲线又称为感受性曲线 (sensitivity curve)^[9], 原本用于医学诊断中, 用来衡量某分析方法特异性和敏感性的关系, 是试验准确性的综合代表。ROC