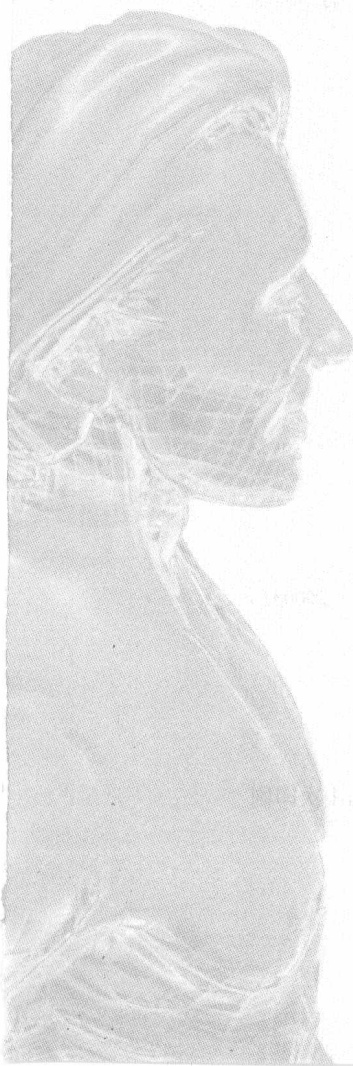


二维及三维 人脸 识别技术

马燕 李顺宝 著



上海文艺出版总社
百家出版社

内容提要

本书主要介绍二维和三维人脸识别中涉及到的基本概念及识别算法。介绍了人脸识别的概念、应用领域以及国内外公用的二维人脸图像数据库,并论述了二维人脸识别的预处理方法,着重对二维人脸识别中常用到的方法作了详细论述,如基于特征脸的方法,基于弹性匹配的方法,基于隐马尔可夫模型的方法等,在三维人脸识别中,分别介绍了三维人脸识别的概念、难点以及三维人脸库,同时,也讨论了三维人脸图像的预处理,并对三维人脸重建中常用到的方法作了论述,如基于三维可变形人头模型的方法,基于三维通用人头模型的人脸重建等,并介绍了常用的三维人脸识别方法。

本书的目的是为了让读者了解二、三维人脸识别中的基本方法及前沿动态,从而对于人脸识别技术有比较全面的认识和把握。本书可作为计算机或电子信息专业高年级本科生、研究生及教师的教材和参考书,也可供从事相关领域研究的科技人员、工程技术人员参考。

序

序

大千世界,人脸茫茫。乍一看,有些脸孔似乎有些相似,然而,正如世界上没有两片完全相同的叶子一样,人脸也各不相同。作为一种重要的生物识别技术,人脸识别的发展历史并不长,从 20 世纪 90 年代开始,伴随着计算机和网络技术的发展以及社会需求的增加,人脸识别如雨后春笋般地进入人们的研究视野,很快取得了阶段性的成果并迅速投入运用,成了生物特征识别的一个重要的方向。

人脸识别技术从最初对背景单一的正面灰度图像的识别,经过对多姿态人脸的识别研究,发展到能够动态实现人脸识别,目前正在向三维人脸识别的方向发展。在此过程中,人脸识别技术涉及的图像逐渐复杂,识别效果不断地得到提高。同时,与其他学科不同的是,人脸识别技术融合了数字图像处理、计算机图形学、模式识别、计算机视觉、人工神经网络和生物特征技术等多个学科的理论和方法,需要研究人员具有完善的知识体系和丰富的经验。另外,人脸自身及所处环境的复杂性,如表情、姿态、图像的环境光照强度等条件的变化以及人脸上的遮挡物(眼镜、胡须)等,都会使人脸识别方法的鲁棒性受到很大的影响。因此,人脸识别技术是 21 世纪富有挑战性的课题。

目前,国内在人脸识别方面大多集中在论文上,缺少对人



脸识别的概念、基本算法作详细介绍的书。本书力图比较全面地讨论二维、三维人脸识别中的一些基本概念及算法,对读者起到入门及参考的作用。

本书共分七章,第一章介绍了生物特征识别技术及人脸识别技术的概念及应用领域,并着重介绍了国内外公用二维人脸图像数据库。第二章主要介绍了二维人脸图像的预处理方法,包括去噪、灰度预处理、角度预处理和尺度预处理。第三章重点论述常用的二维人脸识别方法,如基于几何特征、基于特征脸、基于弹性匹配、基于神经网络、基于隐马尔可夫模型、基于支持向量机、基于分形编码等各种方法,通过这一章,可使读者较全面地了解二维人脸识别中常用到的算法。第四章介绍三维人脸识别的难点,三维人脸的获取技术,三维人脸库以及国内外研究现状。第五章介绍了对三维人脸图像作预处理的方法。第六章详细论述了三维人脸重建的方法,包括基于三维可变形人头模型的人脸重建,基于三维通用人头模型的人脸重建,基于多幅深度图合成的人脸重建。第七章主要介绍了三维人脸识别方法,如基于曲率的方法,基于模型拟合及合成的方法,基于形状表征的方法等。

限于著者的水平,对书中不妥和错误之处,殷切希望读者能够不吝指正。

著 者

2007年5月

于上海师范大学

contents

录

目 录

contents

第一章 绪论

- 1.1 生物特征识别技术..... 2
- 1.2 人脸识别概述..... 6
- 1.3 人脸识别的应用领域..... 9
- 1.4 国内外公用二维人脸图像数据库 12

第二章 二维人脸图像的预处理

- 2.1 去噪 19
- 2.2 灰度预处理 22
- 2.3 角度预处理 23
- 2.4 尺度预处理 24
 - 2.4.1 人脸左右边界的确定 26
 - 2.4.2 人眼水平位置的预估 27
 - 2.4.3 人眼分割阈值区间的估计及精确定位
..... 29

第三章 二维人脸识别方法

- 3.1 基于几何特征的方法 34



3.1.1 正面识别	35
3.1.2 侧影识别	36
3.2 基于特征脸的方法	37
3.3 基于弹性匹配的方法	41
3.3.1 弹性匹配法介绍	41
3.3.2 特征矢量的抽取	42
3.3.3 匹配过程	45
3.3.4 弹性匹配法的优缺点及改进方法 ..	46
3.4 基于神经网络的方法	47
3.4.1 BP 神经网络结构	48
3.4.2 BP 神经网络学习规则	49
3.4.3 用 BP 神经网络对人脸特征进行分类	52
3.5 基于隐马尔可夫模型的方法	55
3.5.1 隐马尔可夫模型(HMM)概述	56
3.5.2 基于一维 HMM 的人脸识别方法 ..	64
3.5.3 基于伪二维 HMM 的人脸识别方法	67
3.6 基于支持向量机的方法	70
3.6.1 支持向量机简介	71
3.6.2 支持向量机的训练算法	74
3.6.3 用于多类分类的支持向量机	77
3.7 基于分形编码的方法	79
3.7.1 基于对称性与方差的人脸图像压缩算法	80
3.7.2 基于分形码的人脸识别算法	82

第四章 三维人脸识别

- 4.1 人脸识别从二维到三维 91
- 4.2 三维人脸获取技术 93
- 4.3 三维人脸库 95
- 4.4 国内外研究现状 98

第五章 三维人脸图像的预处理

- 5.1 归一化处理 105
- 5.2 特征点检测 109

第六章 三维人脸重建

- 6.1 基于三维可变形人头模型的人脸重建
..... 118
- 6.2 基于三维通用人头模型的人脸重建 119
- 6.3 基于多幅深度图合成的人脸重建 124

第七章 三维人脸识别方法

- 7.1 基于曲率的方法 130
- 7.2 基于模型拟合及合成的方法 134
- 7.3 基于形状表征的方法 138

第一章

绪 论

人脸因人而异,绝无相同,即使一对双胞胎,其面部也一定存在着某方面的差异。虽然人类在表情、年龄或发型等发生巨大变化的情况下,可以毫不困难地由人脸来检测和识别出某一个人,但要建立一个能够完全自动进行人脸识别的系统却是非常困难的。它牵涉到模式识别、图像处理、计算机视觉、生理学、心理学以及认知科学等方面的诸多知识,并与基于其他生物特征的身份鉴别方法以及计算机人机感知交互领域都有密切联系。

和指纹、视网膜、虹膜、基因、掌形等其他人体生物特征识别系统相比,人脸识别系统更加直接、友好,使用者无任何心理障碍,并且通过人脸的表情姿态分析,还能获得其他识别系统难以得到的一些信息。

20 世纪 90 年代以来,随着需要的剧增,人脸识别技术成为一个热门的研究话题。虽然在这方面的研究已经取得了一些可喜的成果,但在实际应用中仍面临着许多严峻的问题,人脸的非刚性,表情、姿态、发型以及化妆的多样性都给正确识别带来了困难。要让计算机像人一样方便准确地识别出大量的人脸,尚需不同学科研究领域的科学家共同做出不懈的努力。



1.1 生物特征识别技术

在现代社会中,随着计算机及网络技术的高速发展,信息安全显示出前所未有的重要性。身份鉴定是保证系统安全的必要前提,在金融、国家安全、司法、电子商务、电子政务等领域,都需要准确的身份鉴定。当前,用于个人身份鉴别主要依靠 ID 卡(如身份证、工作证、智能卡、计算机标志卡和储蓄卡等)和密码等手段,而这些手段存在携带不便、容易遗失,或者由于使用过多或不当而损坏、不可读和密码易被破解等诸多问题。因此,目前广泛使用的依靠证件、个人识别号码(Personal Identification Number, PIN)、口令等传统方法来确认个人身份的技术,显得已不适应现代科技的发展和社会的进步。“9.11”事件是生物特征识别技术在全球发展的一个重要转折点,它使各国政府更加清楚地认识了生物识别技术的重要性,各国政府在生物特征识别技术的研究与应用上开始了大规模的投资。

传统身份鉴定技术是指基于特定持有物(如身份证)和基于特定知识(如密码)进行身份鉴定的一种技术。其应用如通过信用卡和密码可以实现在 ATM 机上取款。传统方法的缺点是特定持有物易丢失、被盗和遗忘,特定知识则存在记忆上的问题。密码太复杂,容易遗忘;密码简单(如生日、电话号码等),则容易被破译和猜测。

人们希望有一种更加方便可靠的办法来进行身份鉴定,生物特征识别技术给这一切带来可能。所谓生物特征识别(Biometrics)技术,是指将人体所固有的生理特征或行为特征

数字化,利用其来进行个人身份鉴定。生理特征与生俱来,多为先天性的;行为特征则是习惯使然,多为后天性的。识别的方式包括:指纹,掌纹,虹膜,人脸,声音和笔迹等。根据内容及方式的不同,生物特征识别技术的精确率在 60%—99.9% 之间不等。

与传统身份鉴定相比,生物特征识别技术具有以下特点:

1. 随身性:生物特征是人体固有的特征,与人体是唯一绑定,具有随身性。

2. 安全性:人体特征本身就是个人身份的最好证明,满足更高的安全需求。

3. 唯一性:每个人拥有的生物特征各不相同。

4. 稳定性:生物特征如指纹、虹膜等人体特征不会随时间等条件的变化而变化。

5. 广泛性:每个人都具有这种特征。

6. 方便性:生物识别技术不需记忆密码与携带使用特殊工具(如钥匙),不会遗失。

7. 可接受性:使用者对所选择的个人生物特征及其应用愿意接受。

基于以上特点,生物特征识别技术具有传统的身份鉴定手段无法比拟的优点,采用生物特征识别技术可不必再记忆和设置密码,对重要的文件、数据和交易都可以利用它进行安全加密,有效地防止恶意盗用,使用更加方便。以下对主要的生物特征识别技术作简要介绍:

指纹识别:如图 1-1a 所示,指纹识别作为识别技术已有很长历史,它通过分析指纹的全局特征和指纹的局部特征,特征点如嵴、谷和终点、分叉点或分歧点,从指纹中抽取的特征



值可确认一个人的身份。

签名识别:签名作为身份认证的手段已用几百年。将签名数字化是:测量图像本身以及整个签名的动作,即在每个字母以及字母之间(或每个汉字及笔画之间)的不同的速度、顺序和压力。签名识别是一种行为测定学。

声音识别:声音识别也是一种行为识别技术,识别设备不断地测量、记录声音的波形和变化。识别过程是将现场采集到的声音同登记过的声音模板进行精确的匹配。

虹膜识别:如图 1-1b 所示,虹膜是一种在眼睛中瞳孔内的织物状各色环状物,每个虹膜都包含一个独一无二的基于象冠、水晶体、细丝、斑点、结构、凹点、射线、皱纹和条纹等特征的结构,据称,没有任何两个虹膜是一样的。

人脸识别:如图 1-1c 所示,人脸识别过程首先需要建立人脸模板数据档案,可通过摄像机视频采集或从相片中获取人脸特征,通过电脑处理,形成人脸编码储存在电脑的人脸数据库中。当验证某人身份时,只要通过某种设备摄录下他的脸部生物学特征,与事先已储存着的相关样本特征进行比较,几秒钟内即可完成识别。人脸识别技术包括计算机视觉、模式识别、机器学习、人工智能和数字图像处理等。

基因识别:随着人类基因组计划的开展,人们对基因的结构和功能的认识不断深化,并将其应用到个人身份识别中。首先是取得有关的基因,并进行化验,选取特征位点(DNA 指纹),然后载入电脑数据库中。基因识别是一种高级的生物识别技术,但由于技术上的原因,还不能做到实时取样和迅速鉴定,这在某种程度上限制了它的广泛应用。

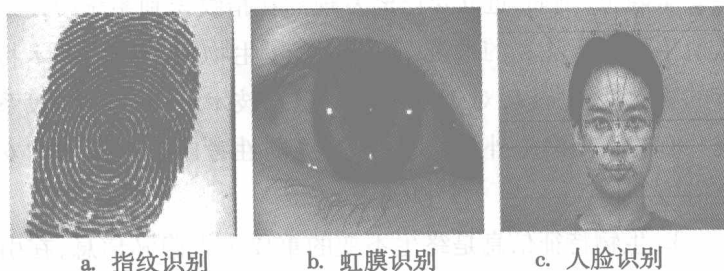


图 1-1 各种识别技术

生物特征识别技术利用了人体与生俱来的身体特征,是从本质上确定使用者的唯一可靠技术,具有很高的严密性和方便性,作为取代传统的密码、口令认证方式的新技术,是 IT 安全行业的重要的基础技术。近几年生物特征识别技术的研究发展很快,有一部分研发成果,正努力进行小型化、降低成本和提高性能,作为实用的安防技术已经开始进入普及使用阶段。但是,生物特征识别技术在使用中还存在着一些问题,使得现在无法进行广泛的应用推广,主要原因有以下几个:

1. 识别精度问题。该问题是生物特征识别技术应用中的最大障碍,表现在以下方面:任何识别方式的识别精度都不能保证达到 100%;不能保证任何使用者都能使用(适用率不能达到 100%)。形成以上问题的主要原因是环境变化和噪音等外部条件可以产生测量误差,并且还有由于身体状况的变化引起的生物特征的改变、身体伤残、生病等原因也会引起测量误差,要从技术上彻底解决所有的这些因素所形成的误差是极其困难的。作为权宜之计,现在多通过对使用者和使用方法加以条件限制来解决这些问题,但是这样给使用推广带来很多不便。

2. 安全隐患。目前各种生物特征识别技术都还存在着—



些安全隐患,例如,近几年已经发现的在指纹识别系统中使用人造手指以假乱真的情况,充分暴露了生物特征识别技术特有的脆弱性。所以,对于生物特征识别技术除要考虑一般系统共有的安全措施外,还要针对其脆弱性考虑非常周密的安全措施。

3. 生物特征信息是终生不变的重要个人隐私信息,在引入生物特征识别技术时要注意使用者个人隐私信息数据的保护,在人体特征数据的录入、管理上应充分注意安全保密问题。

1.2 人脸识别概述

随着计算机及网络技术的高速发展,将身份数字化、准确鉴定身份、保证信息安全等显得至关重要。利用人脸、声音、指纹、虹膜等人的内在属性进行生物识别的技术以其稳定性和可靠性引起广泛关注。与其他生物特征的识别方法相比较,人脸识别具有更直接、友好、方便等特点,并以其非侵犯性更易为用户所接受,通过对人脸的表情、姿势作分析,还能获得其他识别系统难以得到的信息。

在我们生存的这个地球上,居住着近 65 亿人,每个人的面孔都由额头、眉毛、眼睛、鼻子、双颊、腮、嘴巴、下巴等少数几个区域组合而成,它们之间的大体位置关系也是固定的,但它们形成了极其复杂的模式,以至于即使是极其相似的双胞胎,其家人也通常能够非常容易地根据他们面孔上的细微差异将他们区分开来,这使得我们不得不承认这个世界上找不出两张完全相同的人脸!那么,能否设计出具有同样的人脸

识别能力的自动机器? 人脸识别早在 20 世纪六七十年代计算机视觉研究的早期就引起了研究者的兴趣。进入 90 年代, 由于生产、生活等各方面对人脸识别系统的迫切需求以及计算机技术、图像处理、模式识别技术的发展日益成熟, 人脸识别的课题研究迅速兴起。每年国际国内的期刊都有大量的文献提出各种识别方案, 同时还出现了专门的国际学术会议和竞赛, 如国际模式识别会议组织的人脸认证竞赛等。

人脸识别的研究工作可以追溯到 1910 年在人脸侧面轮廓图像上所做的工作, Harman 等运用结构方法用 17 个几何特征对 112 人的人脸侧面图像获得了 90% 的识别精度。人脸识别的输入图像通常有三种情况: 正面、倾斜、侧面。由于人脸正面图像包含了人脸更明显的特征, 所以对人脸正面模式的研究最多, 它的发展可分为三个阶段。

第一阶段以 Bertillon、Allen 和 Parke 为代表, 主要研究人脸识别所需的面部特征。在 Bertillon 系统中, 用一个简单的语句与数据库中的某一张脸相联系, 同时与指纹识别相结合, 提供了一个较强的识别系统。为了提高脸部识别率, Allen 为待识别脸设计了一种有效逼真的摹写, Parke 则用计算机实现了这一想法, 并且产生了较高质量的人脸灰度图模型。这一阶段工作的特点是识别过程全部依赖于操作人员, 显然不是一种可以完成自动识别的系统。

第二阶段是人机交互式识别阶段。代表有 Goldstone、Harmon 和 Lesk 等人。他们用几何特征参数来表示人脸正面图像, 采用 21 维特征矢量来表示人脸面部特征, 并设计了基于这一特征表示法的识别系统。Kaya 和 Kobayashi 则采用了统计识别的方法, 用欧氏距离来表示人脸特征, 如嘴唇的高



度、两眼之间的距离。更进一步的, T. Kanade 设计了一个半自动回溯识别系统, 创造性地运用积分投影法从单幅图像上计算出一组脸部特征参数, 再使用模式分类技术与标准的人脸相匹配。总之, 这类方法需要利用操作员的某些先验知识, 仍然摆脱不了人的干预。

第三阶段是真正的向实用化发展的机器识别阶段, 近十年来随着高速度高性能计算机的发展, 人脸模式识别方法有了较大的突破, 提出了多种机器全自动识别系统。近年来, 人脸识别技术研究非常活跃, 除了基于 KL 变换的特征脸方法与以奇异值特征为代表的代数特征方法取得了新进展外, 人工神经网络、小波变换在人脸识别研究中都得到了很广泛的应用, 而且出现了不少人脸识别的新方法。

人脸识别系统的基本框架如图 1-2 所示。首先, 由传感器, 如 CCD 摄像机捕获人脸图像; 其次经预处理来提高图像的品质; 再根据人脸检测来定位人脸并将人脸图像设置成预先定义的尺寸; 特征提取用于抽取有效特征以降低原模式空间的维数, 分类器则根据特征来做出决策分类。

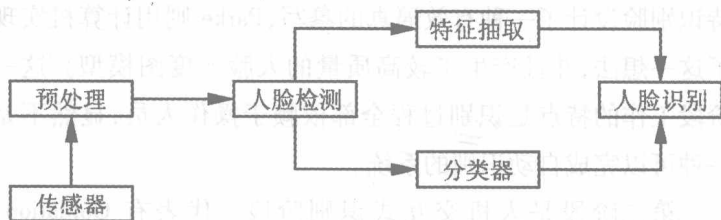


图 1-2 人脸识别系统基本框架

人脸识别 (Face Recognition) 的研究范围广义上来讲大致

包括以下五个方面的内容:

1. 人脸定位和检测 (Face Detection): 即从动态的场景与复杂的背景中检测出人脸的存在并且确定其位置, 最后分离出来。该任务主要受光照、噪声、面部倾斜以及各种各样遮挡的影响。

2. 人脸表征 (Face Representation) (也称人脸特征抽取): 即采用一定表示方法表示检测出的人脸与数据库中的已知人脸。通常的表示方法包括几何特征 (如欧氏距离、曲率、角度)、代数特征 (如矩阵特征向量)、固定特征模板、特征脸等。

3. 人脸识别 (Face Recognition): 即将待识别的人脸与数据库中已知人脸比较, 得出相关信息。这一过程的核心是选择适当的人脸表征方式与匹配策略。

4. 表情/姿态分析 (Expression/Gesture Analysis): 即对待识别人脸的表情或姿态信息进行分析, 并对其加以归类。

5. 生理分类 (Physical Classification): 即对待识别人脸的生理特征进行分析, 得出其年龄、性别等相关信息, 或者从几幅相关的图像推导出希望得到的人脸图像, 如从父母图像推导出孩子的脸部图像、基于年龄增长的人脸图像估算等。

1.3 人脸识别的应用领域

作为一种新兴的生物特征识别技术 (Biometrics), 人脸识别技术在应用方面体现在以下的优势上:

首先, 人脸识别使用方便, 用户接受度较高。人脸识别技术通过摄像机等设备作为识别信息获取装置, 以非接触的方



式在识别对象未察觉的情况下完成识别,识别对象不会存在心理排斥情绪;

其次,它具有直观性。人脸识别技术的依据是人的脸部特征,而人脸是用肉眼能够判别的最直观的信息源,方便人工确认,“以貌取人”也符合人的认知规律;

其三,人脸不易仿冒。在安全性要求高的应用场合,人脸识别技术要求识别对象必须亲临识别现场,他人难以仿冒。人脸识别技术具有的活性判别能力保证了他人无法以非活性的照片、木偶、蜡像等来欺骗识别系统;

第四,图像采集设备成本低。目前,中低档的 CCD/CMOS 摄像头价格已经非常低廉,基本成为标准的外设,极大地扩展了其实用空间,另外,数码相机、数码摄像机和照片扫描仪等摄像设备在普通家庭的日益普及进一步增加了其可用性。

最后,人脸识别的基础资料易于获得。它所采用的依据是人脸照片,相对于指纹和虹膜而言,照片无疑是最容易获得的。

人脸识别的研究在近四十年来得到很大的发展,尤其是近几年来,更成为一个热门的研究课题,国内外各知名大学、研究所、IT 公司等都得到了大量的项目支持。人脸识别问题之所以得到重视,是因为其有重要的研究意义,表现在其对学科发展的贡献以及巨大的应用前景两个方面:

1. 人脸识别研究可以极大地促进多门相关学科的发展。

人脸识别研究涉及的技术基础包括计算机视觉、模式识别、机器学习、人工智能和数字图像处理、生理学等学科知识,对人脸识别问题的深入研究又可极大地促进这些学科的成熟和发展。例如,如何解决人脸模式数目庞大、不同类别差别又