



临沂大学博士教授文库

LINYIDAXUE BOSHI JIAOSHOU WENKU

基于子空间和 流形学习的人脸 识别算法研究

JIYU ZIKONGJIAN HE LIUXINGXUEXI DE RENLIAN
SHIBIESUANFA YANJIU

李晓东 著



山东人民出版社

全国百佳图书出版单位 国家一级出版社

013059812

国家 自然科学基金
TP391.41
4685



临沂大学博士教授文库
LINYIDAXUE BOSHI JIAOSHOU WENKU

基于子空间和 流形学习的人脸 识别算法研究

李晓东 著



TP391.41
4685



北航

C1665833

山东人民出版社

全国百佳图书出版单位 国家一级出版社

图书在版编目(CIP)数据

基于子空间和流形学习的人脸识别算法研究/李晓东著. —济南:山东人民出版社,2013.6

ISBN 978-7-209-07306-6

I. ①基… II. ①李… III. ①面-图像识别-研究 IV. ①TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 139611 号

责任编辑:李楠

基于子空间和流形学习的人脸识别算法研究

李晓东 著

山东出版集团

山东人民出版社出版发行

社址:济南市经九路胜利大街39号 邮编:250001

网址:<http://www.sd-book.com.cn>

发行部:(0531)82098027 82098028

新华书店经销

山东省东营市新华印刷厂印装

规格 16开(169mm×239mm)

印张 14.25

字数 240千字

版次 2013年6月第1版

印次 2013年6月第1次

ISBN 978-7-209-07306-6

定价 30.00元

如有质量问题,请与印刷厂调换。(0546)6441693

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 引言	1
第二节 研究背景和意义	1
第三节 人脸识别技术概述	7
第四节 国内外研究现状	17
第五节 问题的提出和本书的贡献	18
第六节 本书的组织结构	20
第二章 基于奇异值特征的人脸识别算法	22
第一节 引言	22
第二节 人脸图像的奇异值分解	23
第三节 奇异值特征的性质	23
第四节 基于奇异值特征和支持向量机的人脸识别算法	26
第五节 LIBSVM 简介	33
第六节 基于自适应加权和局部奇异值分解的人脸识别算法	34
第七节 基于局部奇异值和证据理论的人脸识别算法	39
第八节 本章小结	46
第三章 基于 PCA 算法的人脸识别	47
第一节 引言	47
第二节 主成分分析 (PCA) 的原理	48
第三节 基于类内平均脸的模块 PCA 人脸识别算法	52

第四节 基于自适应加权平均值的模块 2DPCA 人脸识别算法	57
第五节 本章小结	64
第四章 改进的最大散度差鉴别分析算法	65
第一节 引言	65
第二节 最大散度差鉴别分析	66
第三节 最大散度差鉴别分析的特点	67
第四节 基于类内中间值的最大散度差鉴别分析算法	67
第五节 加权最大散度差鉴别分析算法	73
第六节 基于模糊决策和 MSD 的单样本人脸识别算法	77
第七节 融合 DCT 和 MSD 的人脸识别算法	80
第八节 基于单样本人脸识别算法的深入研究	88
第九节 本章小结	95
第五章 一种有监督保局投影人脸识别算法	96
第一节 引言	96
第二节 保局投影算法	97
第三节 改进的保局投影人脸识别算法 (一)	98
第四节 改进的保局投影人脸识别算法 (二)	102
第五节 基于特征层融合的人脸识别算法	107
第六节 本章小结	112
第六章 简化的人脸 Gabor 特征描述算法	113
第一节 引言	113
第二节 关于小波变换	113
第三节 Gabor 小波简介	116
第四节 一种新的 Gabor 特征降维方法	121
第五节 最优 Gabor 核选择算法	126
第六节 基于模块 Gabor 直方图和支持向量机的人脸识别算法	133
第七节 本章小结	137

第七章 基于 Gabor 变换的人脸识别算法深化研究	138
第一节 研究意义	138
第二节 国内外研究现状及发展动态分析	139
第三节 研究内容	145
第四节 研究目标	146
第五节 拟解决的关键问题	147
第六节 拟采取的研究方法	147
第七节 实验手段	148
第八节 技术路线	149
第八章 研究工作总结与展望	150
第一节 研究工作总结	150
第二节 研究工作展望	152
第九章 人脸识别应用与发展趋势分析	153
第一节 人脸识别技术应用的正能量	154
第二节 人脸识别技术应用的负能量	155
第三节 人脸识别技术应用市场分析	158
第四节 人脸识别系统简介	159
第五节 人脸识别技术的发展趋势	161
参考文献	165
附 录	181
附录一: 部分人脸数据库样本	181
附录二: 部分仿真子函数 (基于 MATLAB)	183
附录三: 人脸识别技术的重要研究机构	219

第一章 绪 论

第一节 引 言

我们正处在一个什么样的世界？

我们的日常生活经常用到身份识别，我们的国家安全、公安、司法、电子商务、电子政务、保安监控等领域都需要准确的身份验证和识别。伴随着计算机技术和信息技术的高度发展以及人们工作、生产、生活范围的不断变化，必然使得人们对自身身份识别的实用性、安全性、准确性等问题的要求达到更高的程度……

人们平常用的身份证、卡等身份验证方式受到一定的冲击，因为，这些身份验证的载体很容易被仿造或丢失。自己设定的各种密码也经常忘记，更有甚者会被破解。这些验证方式不方便性越来越阻碍正常的生活和交流，一旦被别有用心的人捡到或破解，那么他就有了相同的权利，给真正的拥有者造成极大损失。

我们迫切希望有一种更加可靠的身份验证方法。

第二节 研究背景和意义

中国人口众多，14 亿的人口基数和频繁的流动性使得人口管理面临严峻考验。人脸识别基数是生物特征识别领域中最可靠、最方便、最自然的一项身份验证技术，其特点决定了该项技术具有很大的发展潜力和重要地位，因此越来越多的研究人员关注该领域的发展，探讨如何更好地利用现有的信息技术做好国人的身份认证。

身份验证是保障许多系统安全运行的重要前提，也是人们在日常生活中经常遇见的一个基本问题。社会的不断进步使得人们在工作、学习、生活等方面对高效身份认证手段和方式具有急切需求。可喜的是，基于生物特征识别技术的身份验证方法在过去的几十年已得到很大发展。作为人的一种内在属性，并且具有很强的自身稳定性及

个体差异性,生物特征成为了自动身份验证的不可或缺和不可替代的方式。生物特征识别技术内容广泛,主要有:指纹识别、虹膜识别、步态识别、静脉识别、人脸识别、耳廓识别、签名识别等。如图1-1所示,各种识别方法市场占有率情况如图1-2所示(图片来自赖剑煌教授讲稿)。其中,人脸识别由于具有直接、友好、方便的特点,使用者无任何心理障碍,易于为用户所接受,从而得到了广泛的研究与应用。



图1-1 各种生物特征识别方法示例

%of Biometric Market by Technology,2006

Copyright Iriecuticral Bioruciric Group

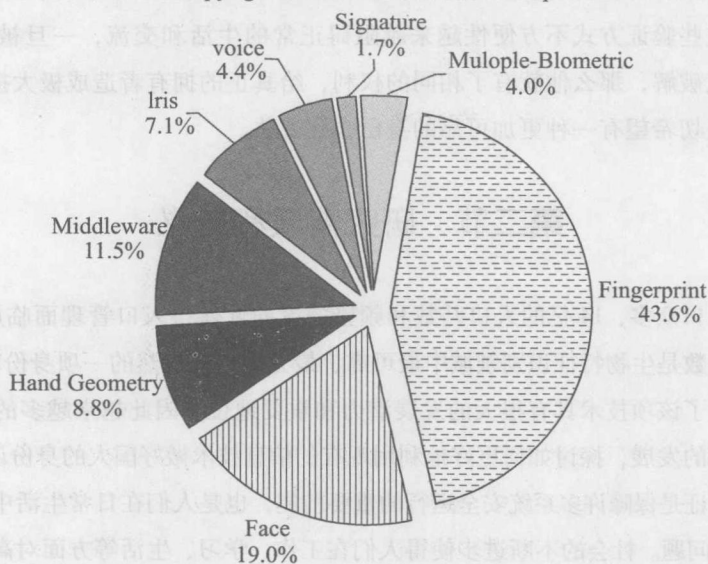


图1-2 各种识别方法的占有率

从20世纪六十年代中后期开始出现关于人脸识别问题的研究[1-6]以后,经过近40多年发展,已成为一个热门的研究课题[7-12],国内外各众多知名大学、研究所、IT公司等都致力于该问题的研究,得到了大量的项目支持,取得了令人瞩目的成绩,好多成果已应用于我们的日常生活。人脸识别问题之所以得到重视,是因为它有重要的研究意义。

一、人脸识别具有巨大的应用前景

在人们的日常学习、工作和生活中,时刻离不开身份识别与验证,每个人要经常通过各种方式证明自己的身份,比如金融业务办理、电脑操作等都需要输入用户名和密码。传统的身份验证手段包括身份证卡(如军官证、身份证、学生证等各类证件)、数字签名、密钥(如密码、口令等)等。这些手段虽然方便了人们的生活,但是其不方便、不安全、不可靠的缺点也是显而易见的。比如钥匙、证件携带不便,证件可以被伪造,钥匙可能会丢失,密码可能会被遗忘或被蓄意窃取。为了适应社会发展,在国家公共安全、信息安全等关系国计民生的领域,人们急需更方便、更可靠、更安全的身份验证方式。尤其是美国遭遇“9·11”恐怖袭击事件之后,安全问题更加成为人们关注的热点问题,而生物特征识别技术被认为是有效的终极解决方式。

因为生物特征是人类自身拥有的独特特征,所以与传统的身份验证方法相比,生物特征可以从根本上杜绝伪造和窃取,从而具有更高的可靠性、安全性和可用性,能够满足从国家公共安全、社会安全,到金融安全以及人机交互等方面的各类应用,被人们寄予极大厚望。

在国家公共安全方面,保障国家公共安全是社会发展的基础,社会安定更是国家持续发展的必要条件,而境内外违法犯罪人员,特别是恐怖分子严重威胁人民的生命财产安全,是社会安定团结的极大威胁,对这些危险分子进行及时、有效地监控和抓捕至关重要,而生物特征识别技术,特别是人脸、指纹和声纹识别技术,为此提供了更加有力的技术保障。世界上不断发生的各类恐怖事件使得世界各国政府、安全部门、企业组织等都深刻地体会到了安全方便的身份识别和验证技术的重要性和必要性,对身份验证领域研究的投入迅速增长。我国当然也不例外,尤其是在人员流动日益频繁的今天,在我国这样一个人口众多的大国,利用生物特征识别技术来监控和抓捕危险分子显得尤为重要。2008年北京奥运会期

间,各项生物特征识别技术被成功应用,有效防止了各种可能的恐怖与破坏活动。

在信息安全领域,信息网络日益普及,这在带给人民群众更多利益的同时,也带来了严峻的信息获取和访问的安全问题。信息安全已引起了全社会的广泛关注,通过信息网络窃取国家机密、商业资料等犯罪现象日益增多,严重影响了社会的公共安全和国家安全。另外,随着电子商务业务的日益普及,人们在享受网络带来的各种不同类型服务(如银行自动取款等)的同时,信息安全也开始与每个人的生活息息相关。生物特征识别技术则可以为此提供一种更加可靠、安全和方便的身份认证方式,在更加方便人们信息获取的同时,保障信息访问的安全合法。

而人脸识别作为一种典型生物特征识别技术,以其自然性、高可接受性等优点受到了人们的青睐,可应用于各行各业中。

二、人脸识别研究极大地促进了多门相关学科的发展

人脸识别作为一个典型的图像模式分析、理解与分类计算问题,为模式识别、图像处理分析与理解、计算机视觉、人工智能、人机交互、计算机图形学、认知科学、神经计算、生理学、心理学等多学科提供了一个很好的具体问题,有利于构建这些学科领域的基础实验平台,以用于尝试新方法,验证新理论,解释新现象。人脸识别问题的深入研究和最终解决,可以极大地促进这些学科的成熟和发展。例如,作为一个模式识别问题,它被认为是最具有挑战性的问题之一:模式种类数目庞大,不同类别模式的差别非常微妙,这一点会因为数据采集过程的噪声、成像设备的精度、外界条件的变化以及数据缺损等原因而显得更加突出。再如,作为一个计算机视觉问题,如何融合人脸的一般性先验形状信息来准确地恢复特定人脸的3D结构也是一个非常有价值的研究问题[13-15]。从图形学的角度,研究3D人脸在光源照射下的成像过程,以指导人脸图像的3D形状分析、光照模式分析及其生成虚拟光照、不同视角视图问题也已经成为一个重要的研究课题[16-19]。

人脸识别也是智能人机接口领域的重要研究内容之一。人脸识别本质上是要赋予计算机区分不同人类个体的能力,也就是“看”的能力,这是智能人机接口研究需要解决的问题之一,也是机器智能的重要表现。人脸识别问题的最终解决可以极大地改善目前呆板、不方便的人机交互环境,从而在一定程度上改变人们的生活方式。

三、与其他生物特征识别技术相比,人脸识别在可用性方面具有独到的技术优势,这主要体现在:

(一) 可以隐蔽操作,尤其适用于安全监控

人脸识别的优势非常明显,比如该技术具有隐蔽性和自然性等。自然性是指人脸识别技术在进行个体识别时采用的特征(人脸)与人类或其他生物识别个体时采用的特征相同。在各项生物特征识别技术中,体形识别和语音识别同样具有自然性,而虹膜识别和指纹识别技术在应用中就没有这个特点,需要人很好配合才能完成识别。

隐蔽性使得识别技术具有很广泛的应用前景。因为应用该方法不会引起被识别人太多注意,也不用被识别人刻意配合,因此具有很好的方便性。与人脸识别方法不同的是,虹膜识别、指纹识别则应用过程相对复杂,需要被识别人认真配合才行。

这一点特别适用于解决重要的安全问题、罪犯监控与网上抓逃等,这是指纹、虹膜、视网膜等其他人体生物特征识别技术不能比拟的。

(二) 非接触式采集,没有侵犯性,容易被接受

不会对用户造成生理上的伤害,另外也比较符合一般用户的习惯,容易被大多数的用户接受。

(三) 具有方便、快捷、强大的事后追踪能力

基于面像的身份认证系统可以在事件发生的同时记录并保存当事人的面像,从而可以确保系统具有良好的事后追踪能力。例如,用于考勤系统时候,管理人员就可以方便的对代打卡进行事后监控和追踪。这是指纹、虹膜等生物特征所不具有的性质(一般人不具备指纹、虹膜鉴别能力)。

(四) 图像采集设备成本低

目前,中低档的USB CCD/CMOS摄像头价格已经非常低廉,基本成为标准的外设,极大地扩展了其应用空间。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强了其可用性。

(五) 更符合人类的识别习惯,可交互性强

例如,对于指纹、虹膜等识别系统,一般用户对识别往往是无能为力的。而对人脸来说,授权用户的交互和配合可以大大提高系统的可靠性和可用性。

从上文的分析可以看出,人脸识别技术具有很多其他识别技术不具备的特点和优势,因而具有很好的应用前景。但是其缺点也很明显,比如识别率、实时性

等方面不如其他常用基于生物特征的身份认证方法。总的来说，可以从以下几个方面分析影响人脸识别效果的因素：

1. 采集人脸样本图像的过程具有一定的干扰（如光的照射强度和不同的照射方向等）

图像采集受各种外界条件影响很大，因此识别性能偏低。图像的摄制过程决定了人脸图像识别系统必须面对不同的光照条件、视角、距离变化等非常困难的视觉问题，这些成像因素都会极大影响人脸图像的表现，从而使得识别性能不够稳定。这些缺点使得人脸识别成为一个极具挑战性课题，尤其是在用户不配合、非理想采集条件下的人脸识别问题，更成为目前的热点问题。目前，世界上最好的人脸识别系统也只能在用户比较配合、采集条件比较理想的情况才可以基本满足一般的应用要求。

2. 人脸模式的多样性和塑性变形的不确定性

首先，人脸部器官，眼、鼻、口等的外形、结构、分布具有很大的相似性，这些特性对于利用人脸区分人类个体是不利的，但是对于人脸的定位很方便。其次，人脸的外形具有不稳定性，人的喜、怒、哀、乐等表情变化会让脸部不同部位的肌肉发生变化，从而影响了识别的稳定性和准确性。再次，光照条件（例如白天和夜晚，室内和室外等）、遮盖物、附着物（例如口罩、墨镜、头发、胡须等）、年龄等多方面因素影响使得人脸识别技术面对了很大的挑战。

为了交流方便，我们把人脸外形的变化称为类间变化，把因外界影响而造成的变化称为类内变化。有些情况下，类内变化往往大于类间变化，比如同一个人在不同光照下拍得的图像差异往往大于不同人在同一光照下拍得的图像的差异，从而使得人脸识别变得非常困难。

3. 人脸识别涉及多个不同的知识领域

既有心理学因素又有图像处理因素和模式识别因素，最重要的还有数学因素。每一个领域都影响到识别精度，多个领域的叠加会让识别非常复杂。

4. 人脸特征的可靠性、安全性较低

尽管不同个体的人脸各不相同，但人类的面孔总体是相似的，而且地球上人口如此众多，很多人的面孔之间的差别是非常微妙的，在技术上实现安全可靠的认证是有相当难度的。

综上所述，对人脸识别技术的研究不但具有重要的意义，而且也是非常必要的。

第三节 人脸识别技术概述

生物特征是人的内在属性，具有很强的自身稳定性和个体差异性，因此是身份验证的理想依据。人脸作为人的生物特征之一，在使用上较其他的生物特征（如指纹、耳郭、虹膜等）更友好、直接和方便，不会造成任何心理障碍，容易被用户接受，因而具有广阔的市场前景，可应用于众多需要身份认证的领域，如，档案管理、门禁系统、罪犯追踪、视频会议、金融业务等多种场合。

一、人脸识别的研究内容和难点

人脸识别过程可以从以下过程加深理解。首先是人脸检测过程，即判定给定的图像或视频中是否有人脸存在，并给出人脸的大小、位置等信息。然后是人脸识别过程，即利用检测的人脸信息进一步确定人脸的身份信息。具体来讲，人脸识别的一般过程为：发现人脸、分割人脸，提取特征、分类确认。人脸识别有“一对多”和“一对一”识别。其中“一对多”识别要解决“这是谁？”的问题，如图 1-3 所示（图片来自赖剑煌教授讲稿），而“一对一”识别则要解决“这是某人吗？”的问题。“一对多”识别是将待测图像与图像库中所有的人脸图像进行匹配，是一个辨认（Recognition, Identification）过程。“一对一”识别是将待测图像只与某个人的人脸图像进行匹配，是一个人脸确认（Authentication, Verification）的过程 [20]，过程如图 1-4 所示。

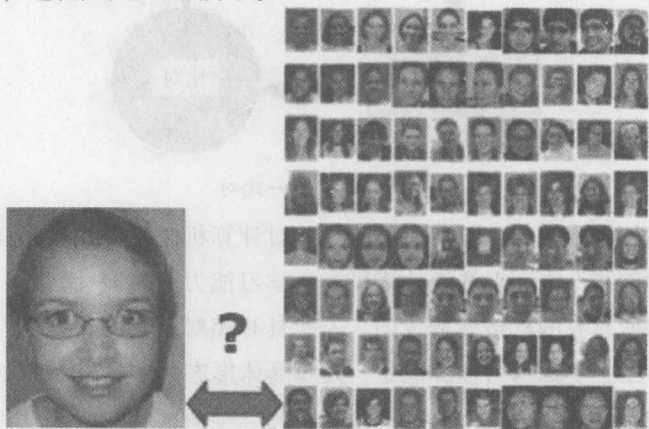


图 1-3 是谁？一对多比对

一个完整的人脸识别系统至少包括人脸检测与定位、特征提取与识别两个方面的任务（系统框架如图 1-5 所示）。人脸检测与定位主要是指从各种不同的场景中检测出人脸的存在并确定其位置，然后从背景中分离出来。根据算法的需要，还可以确定眼睛、鼻子和嘴巴等脸部特征的具体位置。特征提取与识别是指采用某种高效且判别性好的表示方法来表示检测出的人脸与数据库中存储的人脸，然后采用一定的分类准则，将待识别的人脸与数据库中已知人脸比较，得到识别结果。“特征提取和识别”就是通常所说的人脸识别，本文将主要讨论这一过程，其核心是选择适当的人脸表征方式和分类决策。现阶段，人脸识别各种算法的评测大部分都是在已经分离了背景的人脸数据库上完成的，从人脸识别这一课题的特殊性来看，这是合理的。

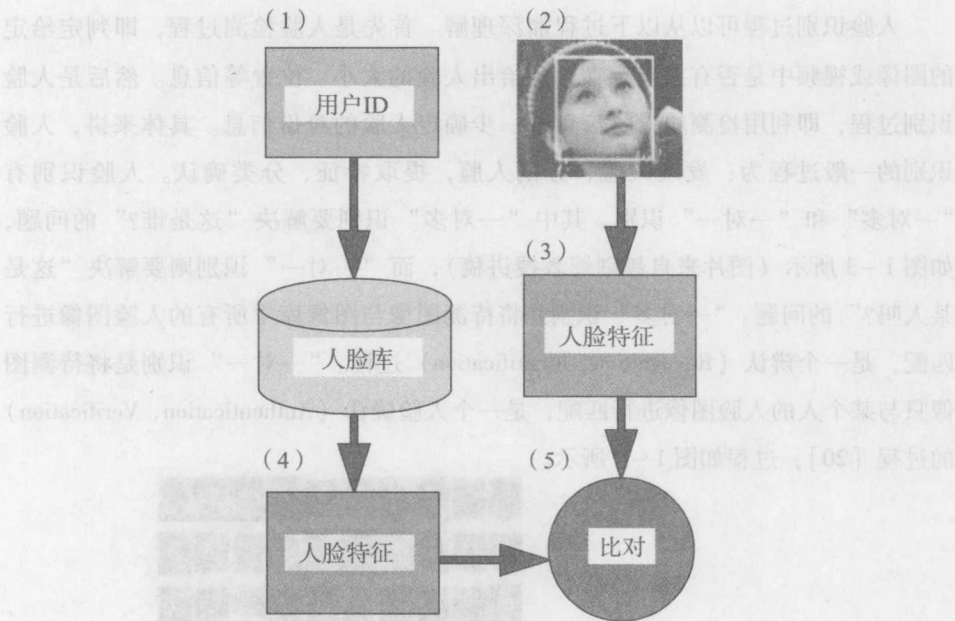


图 1-4 一对一比对

虽然人类能毫不费力地识别出人脸，但对计算机来说，完成同样的任务却困难得多，这种困难一方面来源于计算机本身学习能力的局限性，另一方面则是由人脸识别技术所具有的复杂性造成的。人脸具有相对稳定的特征和结构，这为人脸识别技术带来了实现的可能，但是，人脸具体形态的多样性和所处环境的复杂性又造成了识别的巨大困难：人脸是由复杂的三维曲面构成的可变形体，很难用精确的数学模型描述；所有人的脸部结构均高度相似，人脸识别系统只能利用人

脸间的细微差别来实现正确识别任务；人脸图像受到各种成像条件的影响，例如发型、胡须、眼镜等对人脸的干扰，表情、姿态、尺度、光照以及背景等的变化等。此外，人脸识别研究同时还涉及图像处理、计算机视觉、模式识别、人工智能、神经网络、生理学、心理学等诸多学科，这使得人脸识别成为一项极富挑战性的研究课题 [21]。

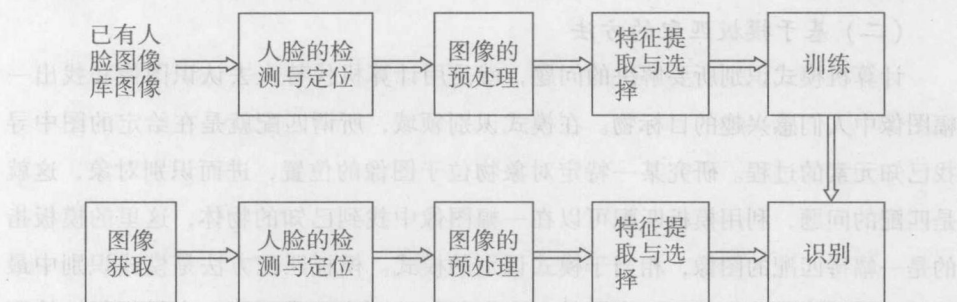


图 1-5 人脸识别系统图

二、人脸识别技术的主要方法

人脸识别是一个极具挑战性的课题，具有重要的研究价值，因而国内外的研究成果不断涌现，大量的研究论文层出不穷，目前比较有代表性的综述文献有 [22-26] 等。下面对有代表性的人脸识别方法进行概括性的介绍。

（一）基于几何特征的方法

基于几何特征 (Geometrical Feature) 的方法是最早的自动人脸识别方法。人脸有一些关键部位如眉毛、眼睛、鼻子、嘴巴等部件构成，这些具有代表性的部位的结构关系、相对位置、相对大小等几何描述即可作为几何特征，再辅以人脸轮廓的形状信息对人脸进行分类和识别。代表性的文献有 [27-30]。

提取人脸的几何特征时一般要采取图像转换（灰度化）、人脸初步定位、眼睛定位、边缘检测等方法进行预处理的预处理。要提取脸型特征，首先必须准确找到双眼中心的位置这是基础和基准点，为后续一切特征提取工作做准备。在二值化后的图像中可以更精确地确定双眼的位置，从而可以确定双眼连线中点的位置。脸型整体特征以及嘴唇、眉毛、眼睛、鼻子等五官的形状和它们各自在这个脸空间的分布等都可以作为几何特征。提取几何特征的过程如下：计算人脸局部器官的曲率和各器官之间的距离或角度，以此构成几何特征的特征向量，这些特征向量要能唯一标记某个自然人。

几何特征在一定得历史时期具有一定的先进性，但是，在实际应用中存在一些难以克服的问题。首先是因为在关照、姿态、表情变化等非理想条件下提取的几何特征不能准确标记个体；其次是没有形成完善的、可行的、准确地提取特征的标准。到目前为止，许多研究人员提出了改进方法，使得提取的几何特征在表情识别中显露一定的优势，其中基于3D技术的几何特征提取方法最有代表性。

（二）基于模板匹配的方法

计算机模式识别所要解决的问题，就是用计算机代替人去认识图像和找出一幅图像中人们感兴趣的目标物。在模式识别领域，所谓匹配就是在给定的图中寻找已知元素的过程。研究某一特定对象物位于图像的位置，进而识别对象，这就是匹配的问题，利用模板匹配可以在一幅图像中找到已知的物体，这里的模板指的是一幅待匹配的图像，相当于模式识别的模式。模板匹配方法是模式识别中最简单的一种模式分类方法。常用的方法有相似性测度法求匹配，序贯相似性检测算法，幅度排序相关算法等。在人脸识别中，就是把数据库的人脸图像看作已知的模板，然后根据待识别图像和已知模板间相关性的大小来分类。文献[31]中的方法详细比较了基于几何特征的方法和模板匹配方法，实验结果表明模板匹配方法优于基于几何特征的方法。但是，上述讨论的模板匹配算法，都是在理想情况下实现的。而在实际应用中，由于各种原因的干扰，实时图像（模板）会受到各种噪声的干扰，这时，如果忽略噪声的干扰，往往会出现匹配操作失败，或者给出错误的坐标。另外，模板匹配方法的计算量较大，而且除了光照、表情以外，图像的平移旋转和放缩也会严重影响模板匹配中互相关的计算。

（三）基于子空间分析的方法

上述人脸识别方法在一定条件下具有较好的识别效果，但是与子空间方法比较，子空间方法具有描述性强、计算代价小、易实现及可分性好等特点。前面已经提到，人脸图像自身具有形状和形变方面的复杂性，通过上述方法无法更精确地表达人脸。为了解决这个问题，把图像作为二维矩阵就可以用线性代数中的相关理论通过一定得变换方法提取精确特征。近年来基于统计分析的子空间方法越来越受到重视，它的基本思想就是把高维空间中松散分布的人脸图像，通过线性或非线性变换压缩到一个低维的子空间中去，使人脸图像在低维的子空间中的分布更有利于分类，同时也减少了计算量。主成分分析是最早被引入到人脸识别的子空间方法[32-33]，随后，子空间方法逐渐成为人脸识别的主流方法之一。目前在人脸识别中得到成功应

用的子空间分析方法主要包括主成分分析 [33]、奇异值分解 [34-39]、线性判别分析 [40-42]、典型相关分析 [43-47]、独立成分分析 [48-50] 和非负矩阵分解 [51-52] 等。其中基于主成分分析的特征脸 [33] 和基于 Fisher 线性判别分析的 Fisherfaces [40] 是人脸识别领域中最具深远影响的两种方法。

此外,近十年里,核技术 [53-56] 在模式识别领域中得到了迅猛的发展,并被应用于人脸识别。基于核技术的非线性的代数特征抽取方法也成为研究的热点。比如,基于核方法的核主成分分析 [57] 和核 Fisher 判别分析 [58-61] 等。

(四) 基于弹性模型的方法 [62]

弹性图匹配方法是一种全新的提取特征的方法,该方法是在动态链接结构的基础上发展起来的。最初的算法思想是将物体的平面图像用稀疏网格图形来表达,通过局部能量谱的多分辨率描述来标注图形上的一些端点,用几何距离向量来标注连线,识别过程就是测试样本与训练样本的弹性匹配的过程。随后出现了一些改进方法。比如将人脸的特征点作为基准点组成称为弹性图的结构图 [63],该方法的优势在于弹性图中的每个基准点存储一串具有代表性的特征矢量,从而大大减少了系统的存储量;文献 [64] 中的方法使用一个多层的分级结构,并且只使用人脸面部的特征,进一步消除了结构中的冗余信息和背景信息;文献 [65] 的方法与文献 [64] 的方法相似,不同的地方是通过去除了一些冗余节点形成稀疏的人脸描述结构;文献 [66] 中的方法是将人脸图像表示为可变形的 3D 网格表面,利用有限元分析的方法进行曲面变形,用曲面匹配问题代替人脸匹配问题。虽然弹性模型方法能容忍一定姿态、表情和光照的变化,具有较好的识别效果,但是由于其用大量的数据和复杂的变形比对,导致时间、空间复杂度高,很难满足大型人脸库实时性的要求另外,代价函数最优化的计算量较大。然而,由于弹性模型方法的有效性,仍有不少该方法与其他方法融合的新算法被提出 [67-68]。

对弹性图匹配方法的缺点,可以从两个方面对算法进行改进:(1)降低计算复杂度,对表示人脸的矢量进行特征压缩和提取;(2)减少冗余信息,将经过大量图像数据简单处理后提取出来的低层次特征和高层次特征结合起来,突出关键点的识别地位。

(五) 其他方法

1. 人工神经网络的方法

人工神经网络 (Artificial Neural Network, ANN) 的结构是由大量神经元节点通