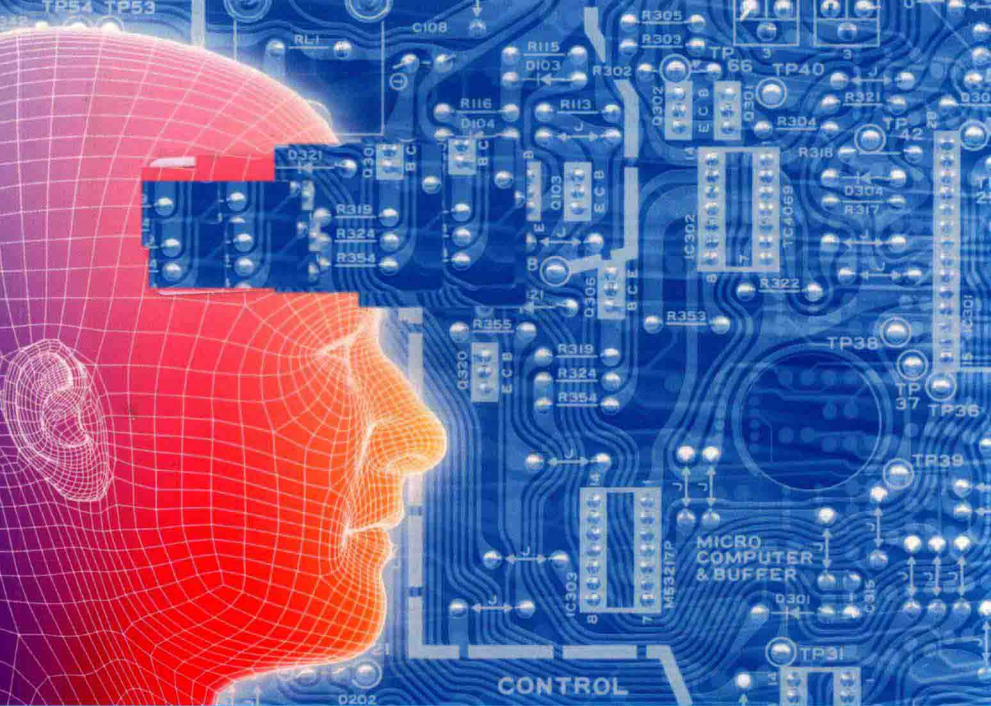




人脸识别技术与应用

RENLIAN SHIBIE JISHU YU YINGYONG

熊欣 著



黄河水利出版社

河南省科技攻关项目(182102210253,
182102210252,182102210251)
河南省高等学校重点科研项目(19A510008)

人脸识别技术与应用

熊 欣 著

黄河水利出版社

· 郑 州 ·

图书在版编目(CIP)数据

人脸识别技术与应用/熊欣著. —郑州:黄河水利出版社, 2018. 8

ISBN 978 - 7 - 5509 - 2107 - 8

I. ①人… II. ①熊… III. ①人脸识别 - 研究
IV. ①TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 190759 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:100 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

近几年来,随着计算机网络技术的高速发展和信息化进程的日益加快,信息安全和公共安全越来越显示出其前所未有的重要性。准确的身份识别或认证是保证信息安全和公共安全的重要前提,人们对于既方便快捷又安全可靠的身份认证手段的需求日益迫切,而基于人体生物特征的身份识别技术为实现这种需求提供了可能。在这种需求的推动下,人们已经相继开发出了基于声纹、笔迹、指纹、掌形、眼虹膜的生物特征识别系统,并且也得到了成功的应用。与上述识别技术相比较,利用人体面部特征的身份认证则具有简便、准确、友好、使用者无心理障碍及可扩展性强等诸多优势,可应用于国家安全、公安、司法、海关、电子商务、电子政务、安全监控、门禁保安、重要集会等许多领域。自动人脸识别技术是指利用计算机分析人脸图像,从中提取有效的识别信息,进而辨认身份的一门技术。它涉及模式识别、图像处理、计算机视觉、生理学、心理学及认知科学等相关学科领域,并同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的研究领域相互交融。虽然人类可以直观地根据人脸来互相辨别,即使在视觉刺激上差异非常大如不同视角、表情变化、年龄增长、佩戴饰物甚至乔装的情况下也能相当好地识别。但利用计算机进行完全自动的人脸识别仍存在许多困难,这主要表现在人脸是非刚体,不可避免地存在局部变化的随机性,如表情、姿态等人脸外观特征随年龄增长而变化,发型、眼镜等饰物对人脸造成遮挡,人脸图像受光照、成像角度、成像设备性能及成像距离等因素影响,等等,而且人脸识别技术研究也受到相关学科发展及人脑认知程度的制约。以上诸多因

素使得人脸识别成为一项极具挑战性的前沿研究课题,早在 20 世纪 60 年代,人脸识别即引起了研究者的强烈兴趣,但早期的人脸识别一般都需要人的某些先验知识,很大程度上依赖于人的干预。20 世纪 90 年代后,由于高性能计算机的出现,人脸识别方法有了重大突破,进入了真正的机器自动识别研究阶段,人脸识别研究也得到了前所未有的重视。

发展至今,可控环境下的人脸识别技术已经相对成熟,人脸识别的研究与应用正逐步向室外的非可控环境拓展。然而,受低分辨率、噪声污染、光照变化、遮挡、姿态变化、表情变化、年龄变化、标注数据不完整以及异质模式等因素的影响,已有的可控环境下的识别技术在真实环境下的人脸识别任务中往往难以获得良好的性能,没有任何一种已有方法能够完美地解决非可控环境中人脸识别所面对的所有困难。这意味着在人脸识别上的研究与探索工作还远远不能满足复杂情况下人脸识别的需求。因此,人脸识别在理论和实际应用方面依然是国内外学者密切关注并积极研讨的具有挑战性的前沿课题之一。

全书共分为六章,主要内容有绪论、人脸识别综述、面向光照变化人脸识别的稀疏表示模型研究、基于局部特征提取的人脸识别、基于统一准则的特征提取与分类方法、其他方法简介。

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。

作 者

2018 年 7 月

目 录

第 1 章 绪 论	(1)
1.1 人脸识别研究的背景及意义	(1)
1.2 人脸检测与识别的国内外研究现状	(4)
1.3 人脸的检测与识别技术	(6)
1.4 人脸识别中的模式表示与模式分类的研究	(7)
第 2 章 人脸识别综述	(20)
2.1 人化识别系统	(20)
2.2 光照预处理方法	(21)
2.3 特征提取方法	(25)
2.4 识别算法	(30)
2.5 人脸识别数据库	(34)
第 3 章 面向光照变化人脸识别的稀疏表示模型研究	(36)
3.1 经典的稀疏表示分类模型	(38)
3.2 光照稀疏表示分类模型	(39)
第 4 章 基于局部特征提取的人脸识别	(47)
4.1 概 述	(47)
4.2 基于水平分量优先原则的 RDW - LBP 人脸识别算法	(49)
4.3 实验与分析	(63)
4.4 算法结论	(68)
4.5 基于 LTP 子模式的人脸识别	(68)
4.6 算法结论	(75)

第 5 章	基于统一准则的特征提取与分类方法	(76)
5.1	引 言	(76)
5.2	相关工作	(77)
5.3	基于点到子空间距离的特征提取方法	(81)
5.4	基于点到子空间距离的分类器设计	(84)
5.5	本章小结	(86)
第 6 章	其他方法简介	(87)
6.1	人体检测跟踪方法	(87)
6.2	光照预处理方法	(102)
6.3	人脸识别方法	(107)
参考文献		(115)

第1章 绪论

1.1 人脸识别研究的背景及意义

人类发展到今天,进入了网络信息化的时代,而这个时代的一个主要特点就是身份的数字化与隐藏化。所以,怎样有用、快捷地对身份进行检验,将是我们急需探讨的热门话题。身份检验是保证国家安全的重中之重。在国家的安防、公安、安检、法律、视频监控、电子商务等领域,准确而快速地进行身份识别与验证是必须的。就目前来看,个人身份的识别主要依靠的仍然是证件与卡片,譬如身份证、学生证、一卡通、银行卡与密码等方式,但这些方式的缺点就是易丢失、携带不方便、容易损坏、密码很容易忘记或者被破解等。而且据统计,全球每年发生的诈骗案件中,有关信用卡的诈骗案件至少有上亿美元,通过移动电话实施诈骗的有上亿美元,利用取款机施行诈骗的有上亿美元。所以,这对当前广为使用的利用证件、口令、密码等传统方式来鉴定身份的技术带来了严峻的挑战,已经不能够促进现代化进程满足和社会前进的需求。鉴于此,人们开始寻求一种新的方式,能够既方便又可靠地对身份进行识别,生物特征的识别技术,作为人内在的一种本质属性,而且有非常强的恒定性与个体的差别,给这一想法提供了实现的可能性。人们可能会丢掉或忘记自己的卡片和密码,但与生俱来的生物特性是肯定不会被丢掉或忘记的,譬如脸部特征、指纹、基因、虹膜、声音、掌纹、视网膜等。所以,通过生物特征识别的方式对身份进行验证,吸引了越来越多的关注度,逐渐被许多国家的众多科学家

认定为最理想的身份验证方式,并且逐步延伸到社会各个方面。

人脸作为人体最重要的特征之一,包含了大量的信息,相较于其他身份检验技术,人面部特征的识别是一个更友好、直接、方便且易被大家接受的方法,人脸检测与识别之所以有很高的关注度,其原因包含了以下几个方面:

(1)友好性强。获取人脸图像时,不与人直接身体接触,可在我们没有意识和防备的时候进行,不会有任何心理障碍,更不会让人产生反感。在一些场合,比如视频监控、嫌犯鉴定与逮捕等情况,这种优势就显得尤为重要。

(2)性价比高。人脸的检测与识别系统安装简单,成本也很低,只需利用普通常用的摄像头、智能手机或数码相机等摄像装置即可。因此,对于用户来说并没有什么特殊的安装要求。

(3)符合人的习惯。我们在日常生活中都是用人脸对一个人进行鉴别的,这也是最直接和快捷的一种方式,符合人的习惯。当一个人试图通过指纹、掌纹等其他生物特征来识别一个人的身份时,较人脸来说就显得困难得多。

正因为人脸在生物特征的识别技术中有许多优势,伴随着计算机软硬件成本的降低,加上研究人员对计算机视觉与人工智能的不断研究,人脸技术的关注度一路飙升,已然成为一个至关重要的课题,并且已经获得了很大发展,在很多方面都有成功的使用:

(1)辅助驾驶。在我国,私家车已经越来越多,堵车也成了很常见的事情。所以,由此引起的交通事故每年也趋于上升状态,给人的生命财产造成很大的伤害。针对这一现状,许多汽车厂商都着手开发出车载辅助驾驶系统,此系统的功能之一就是要对车辆周围的人进行实时检测,观察并且跟踪他们的运动及位置,只要有危险的情况发生,就会第一时间通知驾驶员要应对的措施或者自行采取紧急措施。而其另一个功能则是对车内人员的情况进行观察。人是辅助驾驶系统中最为重要的观察对象。因此,人脸检测

与识别的车载视频技术就能够将车载摄像头的优势发挥出来,比如利用后视镜上的摄像头对驾驶员的疲劳程度进行实时检测,以便减少不必要的交通事故。

(2)智能视频监控。以前的监控是利用人工监视摄像头来完成的,这样不仅耗费了大量的人力,而且对一些突发性的事件还要记录,伴随时间的不断增长,人工监视的注意力就会下降,就会出现误报及漏报的情况。

目前,像银行、学校和研究性机构等对安保要求较高场所的监控系统,其优点就是能够实时并准确地反馈摄像头所覆盖范围内的信息,这种监控系统要让监控人员通过观察电视屏幕对所观察到的视频信息人为地进行分析,很明显这项工作的任务是特别大的。因此,智能化的研究尤为迫切。

智能监控系统会在没有人进行观察的时候,对拍到的视频做自处理及自判断,完成动态环境中运动物体的检测与识别,而且会对行为做进一步判断,当发生不正常举动时能快速做出反应。由此可以看出,智能监控系统具有数字化、远距离传输与高效稳定等优点,在一些对安全级别要求很高的场所,这时候除了出入卡、通行证等证明外,还需利用生物特征建立一套完整的门禁系统,其中就包含譬如人脸、身高、肤色等视觉类信息,通过跟数据库中已有信息做对比来判定访问者是否可以进入此场所,这也是目前一些国际会议与工作小组的研究内容。

(3)智能交通。伴随着汽车的保有量越来越多,许多大城市出现交通堵塞和发生交通事故的频率不断上升,鉴于这一问题,智能交通的发展就是解决这些问题的核心所在。智能交通要做的就是对车流量、车辆异常行驶、行人行为判断等进行检测与跟踪,并及时报警告知驾驶员做出应急反应。

(4)视频与图像压缩。对有人脸的视频与图像,可以通过人脸的边缘检测、肤色检测、五官特征检测等完成人脸的定位,进而

对视频与图像进行压缩,可以在很大程度上减少人脸部的储存空间,从而能够完成较远距离的传输。

1.2 人脸检测与识别的国内外研究现状

人工智能模式识别是现今研究的热点话题,而国内外专家对人脸检测与识别的研究也越来越深入,就目前来看,在这个领域研究较好的国家有美国、英国、日本等,而且全球知名大学或研究部门也在投入大量研究,例如:MIT 的 AI laboratory、Media laboratory,英国的剑桥大学工程等等。由于许多国家起步比较早,现在也已经有了相关较成熟的产品。Open CV 是 Intel 开发的开源工具,这种开源的工具将会吸引更多的研究人员参与到人脸检测与识别技术的工作中来,促进了人脸检测与识别的发展。

随着现代科技的不断发展与创新,每个国家的安全意识都在提高,美国作为发展较为快速的国家,在人脸的检测与识别领域已经从事了多年的研究,动用了很大的人力、物力,也因此出现了关于人脸检测与识别的大量算法,在 20 世纪末,美国研究人员对这个时期出现的各类算法进行了大量的推敲与验证,大多数的验证结果都是让人满意的,此时这些让人满意的检测与识别算法都是对大量的人脸静态图像做检测和识别。当然,检测率与识别率也是能够满足当时的科技和生活的实际水平的。与此同时,德国一家大公司在此领域建立了较大规模的人脸库,研发出了一个人脸检测与识别系统。在亚洲,日本在此领域处于较高水准,由 Esolutio 研发的人脸系统,成为那个时候的一个热门话题。我国对人脸识别的研发开始得相对较晚,起始于 20 世纪 80 年代,经过这几十年的研发,获得了许多突破性的成绩。并且我国从 20 世纪 90 年代至今,国家启动“863”计划、自然科学基金等对研究工作予以资助,我国许多高校(如清华大学、上海交通大学、哈尔滨工业

大学等)和研究院展开了对人脸的探索。国内举办许多相关学术交流会议,也促使了这方面的研究进程。中国科学院对我国模式识别方面的发展贡献巨大。但就人脸的研究整体而言,我国的研究工作还主要集中在较正面的人脸,为了达到国际领先水平,还要在更多的人力、物力支持下进行研究。

我们在认识一个人的时候,最先记住的就是这个人的长相,最主要的一个原因就是人脸是我们将一个人与另一个人进行区分的最简单和最直接的方式。对于我们人来说,这是比较容易的一件事情,但对计算机来说,这将是一个非常复杂的过程。原因是人脸是非刚体的,无时无刻都会出现细微或较大的变化,比如表情的变化、胖瘦的变化、肤色的变化等,这些非线性变化使得人脸检测与识别变成了极其复杂的探索话题。

目前的人脸检测与识别大多是在特定条件下实现的,还不能达到像我们人一样在许多恶劣环境下的高精度和高速率检测与识别工作。因此,我们所面临的难点还是很多的,主要概括为以下几个方面:

(1)光照问题。人脸图像的采集存在很大的不确定性,会受到很多客观因素的影响,例如天气、光源的方向、色彩、拍摄设备、光强等,这些因素都会在不同程度上造成人脸图像的灰度分布不均,从而会极大地影响后续人脸检测与识别的效果。

(2)姿态问题。关于人脸姿态改变的探索比较少,因为现在大多数都是对正面或准正面的人脸图像进行检验,在发生大幅度旋转、侧度过高等情况时,会对研究带来非常大的困难。

(3)遮挡问题。遮挡问题将是一个很严重的问题,因为公共场所的摄像头拍摄的人脸图像都是在非配合状态下完成的,所以经常会拍到戴围巾、口罩等遮盖脸部特征的图像,这将是造成特征没办法提取和识别的一个重大的问题。

(4)图像质量问题。人脸图像的来源多种多样,采集设备的

不同、时间长短不同,得到的人脸图像的质量也会不同,特别是低分辨率、质量差(如年代久远的照片、远程监控拍摄的图像等)、大噪声的图像,都会给研究带来巨大的难度。

1.3 人脸的检测与识别技术

人本身对事物都有非常强的识别能力,能很容易地对成百上千张人脸进行记忆与识别,但这件事情如果让计算机来做,就显得非常困难。人脸图像会受到表情、环境、旋转角度等许多方面的影响,而随着模式识别人工智能的不断发展和国家安全发展的迫切需求,人脸图像检测与识别这项非常有意义的研究工作就显得尤为重要。

1.3.1 人脸的检测与识别概述

人脸相较于人的其他生物特性来说,是个有一定规律可循的视觉样式,既有内在的特点,又有各种各样的约束条件,这也使得我们的研究工作变得有章可循,进而出现突破性的进展。

人脸检测(Face Detection)说的就是在所给定的任意静态的人脸图像或者动态的人脸视频之中,通过特定的方法对其进行检索,判定其中是否包含人脸信息。若有,则对人脸的大小、位置、数目等信息进行标记;若没有,就返回没有人脸的信息。这个过程是进行其他后续工作(如人脸识别、追踪等)的基础,其主要目的就是将所输入的图像分为人脸区域和非人脸区域。正因为人脸检测是开展后续工作的关键的一步,所以它的准度与恒定性就显得至关重要。人脸识别(Face Recognition)的核心就是利用我们已知人脸对未知人脸的归属进行判断和比对。首先,我们要采集人脸图像,建立人脸库,有了相对完整的人脸库之后,再把库中没有的待识别图像和库中的图像做比对,使待识别图像和库中某个图像

对应起来,这样就完成了人脸的识别过程。也就是说,人脸检测是通过人脸的共同特性对人脸区域做筛选,属于类别判断。而人脸识别强调的是人脸之间的个体差异,利用这个差异得出所要识别的人脸图像是属于某个人的人脸图像,属于个体判断。

1.3.2 人脸的检测与识别的特点

(1)便捷性。

通过当前研发的一些人脸检测与识别系统,能够在人们自身毫无察觉的情况下完成对目标的检测与识别,这样不但减少了许多不必要的麻烦,也使得工作人员的工作变得更加有效。

(2)恒定性。

每个人都是一个独立的个体,当然人脸特征也就各有特点、各不相同,所以人脸的特征具有恒定性,不会有两个目标人脸的特征是完全相同的,这也就给目标人脸的确定带来了便利,也正是我们当前把人脸作为身份验证的主要原因。

(3)直接性。

人脸作为人的最直观的特征,它不像指纹、虹膜等容易隐蔽,用人脸作为身份认证会使得身份识别更快,无论是安检、公安侦查等都是直接而有效的一种方式,也是最容易让人接受的一种方式。

1.4 人脸识别中的模式表示与模式分类的研究

1.4.1 人脸识别中的模式表示

从模式样本的原始信息中提炼出最有利于模式分类的有效信息的过程通常称为模式表示或模式特征抽取。获取鲁棒的人脸表示以解决复杂条件下的人脸识别问题一直是一条公认的有效途

径。国内外关于鲁棒人脸表示理论与方法的研究如火如荼。近年来,稀疏表示、表示学习及大数据研究的相关进展,更为人脸图像表示研究领域注入了新鲜血液与发展动力。一般来说,对人脸图像表示方法的研究可简单地划分为两类:基于几何特征的表示(Geometric Feature - Based Representation)方法和基于表观特征表示(Appearance - Based Representation)方法。

1.4.1.1 几何特征表示

基于几何特征的表示方法是以人脸的面部特征点(如眼、鼻等)的形状和几何关系为基础,通过计算特征点形状及分布的几何参数来区分不同的人脸。基于几何特征的表示方法简单、直观、易实现且理论基础明晰。

Bledsoe 首先提出了基于人脸特征点的间距、比率等特征描述因子。通常,这些特征的提取是手工完成的。Kelly 在 Bledsoe 所提框架的基础上,提出一种自动提取这些特征的方法。1977 年, Kanade 提出用几何量作为人脸的特征,这些量包括眼角、嘴角、鼻子、下巴等点之间的距离及它们所成的角度。Buchr 等进一步提出用图表示法和描述树法描述人脸,并给出了 33 个主要特征与 12 个次要特征。Yuilk 提出了包括头发、鼻子、嘴用弹簧连接边缘的全局人脸模板,抽取出眼睛与嘴。Craw 提出了更加复杂的人脸模板,包含了头发线条、眼睛、眉毛、鼻子、嘴和面颊。至此,几何特征表示框架基本成型。其他相关的工作更多关注于如何集成、选择这些特征以获得更好的识别结果。

总体来说,早期的几何特征表示为人脸识别走向自动化奠定了基础,促进了自动人脸识别技术的发展。然而,几何特征表示在复杂环境识别问题中具有天然的劣势,如对于姿态变化、表情变化的识别问题,几何特征难以表达类内变化,从而变得不够稳定,有效性和可靠性无法保障。因此,基于几何特征表示方法的研究在后续的鲁棒人脸识别发展中几乎停滞。近年来,随着多媒体硬件

的发展,如高清数字电视(HDTV)以及数码相机(Digital Cameras)的涌现,我们很容易获取更高分辨率的图像,这使得我们可以在更精细的粒度上提取几何特征,描述人脸。具体地讲,不同于低分辨率图像只能提取人脸轮廓、五官等大粒度特征,高分辨率图像可提取诸如痣、疤痕、毛孔以及毛发等更加精细的特征。另外,在三维处理技术上取得的巨大进步使得三维人脸识别技术成为人脸识别领域中一个相当活跃的分支。总之,几何特征表示正逐渐度过低谷期,再次在人脸识别领域显示出其活力,并得到了一定的研究。

1.4.1.2 表观特征表示

图像的表观特征表示指的是直接利用图像像素值及其分布或在像素值上的变换对图像进行描述。Hong 将表观特征表示进一步细分为基于像素的统计特征的表示、基于变换系数特征的表示和代数特征表示。Brime 和 Poggio 对几何特征表示和表观特征表示的人脸识别方法做了对比研究,结果表明基于表观特征的识别方法可获得不错的识别结果。

1. 基于像素统计特征的表示

Kirby 和 Sirovich 最先在 KL 展开的框架下讨论了基于表观的人脸图像的最优表示。研究表明,任意给定的图像都可以近似地用本征图像线性表示,对于人脸图像,每幅图像的线性表示系数可以作为该图像的特征。Turk 和 Pentland 由实验人脸数据库中的人脸图像得到一个平均人脸图像,然后计算每个人脸图像与平均图像的差异,进而对所求出的样本散布矩阵做 KL 变换得到本征脸。在获得本征脸后,将每幅人脸图像投影到每个本征脸上,人脸图像就可以用一个权值矢量来表示。事实上,本征脸方法等同于寻找一组使得所有人脸重构误差最小的一组基,即假设所有人脸位于由这组基本张成的线性子空间内。本征脸方法的提出拉开了子空间人脸识别方法的序幕,从此,人脸识别领域进入了子空间学习的时代。

对于复杂模式来说,线性模型过于简单了,以至于无法反映复杂模式的内在规律。理论与实验都证明,复杂模式的特征之间往往存在着高阶的相关性,因此观测数据集呈现明显的非线性。为了适应这一特征,有必要将本征脸向非线性推广。KPCA(核主分量分析)是一种成功的非线性主分量分析方法,它旨在将输入空间通过非线性函数映射到更高维特征空间,并在高维特征空间中应用 PCA 方法。KPCA 通过核技巧能够成功地将非线性的数据结构尽可能地线性化,其局限性在于它的计算复杂度。对于全局结构非线性的数据来说,从局部看,数据可以呈现出线性性质,因此用来描述数据的局部线性结构的局部 PCA 方法吸引了研究人员的兴趣。Liu 与 Xu 借助于 Kohonen 自组织映射神经网络提出了拓扑局部 PCA 模型,该模型能够利用数据的全局拓扑结构与每个局部聚类结构。

特征脸的求取严重依赖于样本散布矩阵的构造,而数据中孤立点的存在使得特征脸方法面临巨大的挑战。Xu 等假定所有的数据样本都是孤立样本,通过利用统计物理方法,由边际分布定义出能量函数,建立了鲁棒 PCA 的自组织规则。Torre 与 Black 提出了能够学习高维数据的线性多变量表示的 Robust PCA。Burton 和 Zhao 分别利用平均技术和对数平方误差准则得到人脸图像的 Robust PCA 表示。还有一些方法是利用投影追踪(Projection Pursuit)技术。

另外,传统的 PCA 技术是基于矢量的,而直接基于二维图像构造协方差矩阵并保持图像的像素结构信息的技术引起了广大研究人员的关注。针对这一问题,Yang 等提出了一种快速有效的二维主成分分析(two-dimensional principal component analysis, 2DPCA)方法。2DPCA 的提出引起了众多研究人员的极大兴趣,不时可看到新的研究成果发表。例如,借鉴 2DPCA 的思想,利用一般的低秩矩阵逼近的方法对图像矩阵进行双边的维数约减。还