

Subspace-based Face Recognition

基于子空间的 人脸识别

章毓晋 等 著
Zhang Yujin et al.



清华大学出版社

Subspace-based Face Recognition

基于子空间的 人脸识别

程正东 贾慧星 李 乐 沈 斌 著
谭华春 严 严 章毓晋 朱云峰

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

人脸识别是近年信息科学领域里一个备受关注的热点,基于子空间的人脸识别方法是一类主流的方法。本书结合作者自身的相关研究工作,回顾该领域的发展过程,介绍基本的原理和关键技术,总结已有的丰富成果,探索深入研究的方向。全面系统地介绍人脸识别的主要概念、基本原理、典型方法、实用技术,以及国际上有关研究的新成果和新动向。全书可分为4部分:第1部分(包含第1~4章)介绍人脸识别的预备内容(发展概述,人脸检测、跟踪、描述);第2部分(包含第5~8章)介绍人脸识别的各种典型的子空间方法(既有基本的线性方法,也有特殊的非线性方法);第3部分(包含第9、10章)介绍人脸识别分类器设计和一些实验结果;第4部分(包含4个附录)介绍人脸识别的相关基础和扩展。考虑到人脸识别涉及的学科多、范围广,本书选取了一些比较有特色的技术方法进行介绍,并结合科研成果给出形象的实例,以使该书既能较好地反映该领域的全貌,也有一定的层次,方便读者学习和使用。

本书可作为信号和信息处理、通信与电子系统、模式识别、计算机视觉、生物医学工程等学科的专业课教材和教学参考书,也可供信息工程、电子工程、计算机科学与技术、数据库管理、媒体制作和生产、远程教育和医疗、公安、遥感和军事侦察等领域的科技工作者参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

基于子空间的人脸识别/章毓晋等著. —北京:清华大学出版社,2009.10
ISBN 978-7-302-20400-8

I. 基… II. 章… III. 计算机应用—面—图象识别 IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 102143 号

责任编辑:陈国新 陈志辉

责任校对:白 蕾

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京市世界知识印刷厂

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:14.75 字 数:364 千字

版 次:2009 年 10 月第 1 版 印 次:2009 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:29.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:030545-01

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

前 言

月得到出版社的确认。2008年6月全体人员对全书进行了详细规划并制订了统一的格式(包括变量的使用,文档的模板),共同制订了具体的写作日程表,并分工完成了各章的大纲。2008年10月完成了第1稿,2008年11月完成了对第1稿的互相审阅(每章均由两人审)和修改。2008年12月大家一起对修改稿进行了统一讨论和分析,并开始第2轮审阅(每章均换人审)。2009年1月在第2轮审阅的基础上又进行了修改(审阅人和写作人共同讨论)。2009年寒假期间,章毓晋审阅全书并进行了统一修改,之后又将书稿返回给其他作者,共同协商完成了最终书稿。虽然多人参与撰写,但经多次讨论、互审,全书保持了协调一致的风格。

最后,感谢图像工程研究室其他人员的支持,特别是刘宝弟帮助审阅了第2章和第3章,实验室所营造的学术环境、钻研风气和良好氛围也是完成本书的关键。

章毓晋

2009年春节于清华大学

通信:北京清华大学电子工程系,100084

电话:(010) 62781430

传真:(010) 62770317

电子邮件:zhangyj@ee.tsinghua.edu.cn

个人主页:www.ee.tsinghua.edu.cn/~zhangyujin/

研究室主页:image.ee.tsinghua.edu.cn

第 1 章 绪论	1
1.1 人脸识别概况	1
1.1.1 历史回顾	1
1.1.2 研究进展和应用扩展	3
1.1.3 生物特征识别	4
1.2 人脸识别的研究	6
1.2.1 人脸识别相关概念	6
1.2.2 人脸识别流程	6
1.2.3 人脸识别中的几个问题	8
1.2.4 扩展研究	10
1.3 全书框架	14
1.3.1 子空间方法	14
1.3.2 各章摘要	19
参考文献	20
第 2 章 人脸检测	27
2.1 基于学习的人脸检测流程	28
2.1.1 分类器的离线学习	28
2.1.2 目标的在线检测	30
2.1.3 性能评价方法	32
2.2 基于 Adaboost 的人脸检测方法	33
2.2.1 Haar 矩形特征	33
2.2.2 基于离散 Adaboost 的特征选择	34
2.2.3 级联分类器结构	35
2.3 基于 Adaboost 人脸检测方法的扩展	37
2.3.1 Haar 特征的扩展	37
2.3.2 Adaboost 的扩展	39
2.3.3 级联结构的扩展	42

2.3.4 多视角人脸检测	44
参考文献	45
第3章 人脸跟踪	47
3.1 确定性跟踪算法	48
3.1.1 目标表示	48
3.1.2 目标定位	49
3.1.3 跟踪算法实现	50
3.1.4 多核跟踪	52
3.2 随机跟踪算法	54
3.2.1 基于动力学系统模型的方法	54
3.2.2 基于统计模式识别的方法	60
参考文献	61
第4章 人脸描述	62
4.1 基于主动形状模型的人脸描述	62
4.1.1 ASM 的建立	62
4.1.2 ASM 的局部特征模型	64
4.2 基于主动表观模型的人脸描述	66
4.2.1 AAM 方法简介	66
4.2.2 形状无关图像的获取	67
4.2.3 统计表观模型的建立	68
4.3 HOG 特征及 LBP 特征	69
4.3.1 HOG 特征	69
4.3.2 LBP 特征	70
4.4 基于盖伯变换特征的人脸描述	71
4.4.1 盖伯变换的定义	71
4.4.2 2-D 盖伯滤波器的定义	72
参考文献	73
第5章 基本线性子空间方法	75
5.1 线性子空间方法	75
5.2 主分量分析	76
5.2.1 基本原理	76
5.2.2 典型算法	77
5.3 独立分量分析	78
5.3.1 基本概念	78
5.3.2 特性研究	79
5.3.3 典型算法	81

5.4	线性鉴别分析	82
5.4.1	基本定义	82
5.4.2	目标函数研究	83
5.4.3	可行解技术研究	84
5.4.4	类内和类间度量矩阵刻画	88
5.4.5	图像差值模型	90
5.5	类依赖特征分析	92
5.5.1	基本框架	92
5.5.2	常用的相关滤波器	93
	参考文献	96
第 6 章	张量方法	100
6.1	2D-PCA	100
6.1.1	2D-PCA 的基本原理	101
6.1.2	2D-PCA 的应用	102
6.1.3	统一主分量分析	103
6.2	2D-LDA	106
6.2.1	2D-LDA 的基本原理	107
6.2.2	2D-LDA 与 1D-LDA 的对比	108
6.3	张量脸	113
6.3.1	张量脸的基本原理	113
6.3.2	一些改进方法	115
	参考文献	119
第 7 章	核方法	121
7.1	基本概念	121
7.1.1	核映射与核空间	122
7.1.2	内积与核函数	122
7.1.3	核矩阵	124
7.2	核主分量分析	124
7.2.1	KPCA 原理	125
7.2.2	K2D-PCA	128
7.3	核鉴别分析	130
7.3.1	KDA 及改进	131
7.3.2	KDCV	134
7.3.3	K2D-FDA	135
7.4	核流形分析	136
7.4.1	核局部保持映射	136
7.4.2	核图嵌入模型	137

7.4.3 KLWMMC	138
参考文献	139
第8章 非负矩阵(集)分解	142
8.1 NMF 的基本概念	142
8.2 基于基本 NMF 模型的算法	143
8.2.1 基于单目标函数的 NMF 算法	143
8.2.2 基于目标函数族的 NMF 算法	147
8.3 基于改进 NMF 模型的算法	148
8.3.1 稀疏性增强的 NMF 算法	148
8.3.2 加权 NMF 算法	153
8.3.3 鉴别性嵌入 NMF 算法	154
8.4 NMSF 模型和方法	155
8.4.1 NMSF 定义与基本性质	156
8.4.2 NMSF 的解释	157
8.4.3 NMSF 的分类	157
8.4.4 NMSF 描述能力和推广性实验	158
参考文献	160
第9章 分类器设计	163
9.1 最近邻法	163
9.2 线性分类器	164
9.3 人工神经网络	166
9.3.1 神经元和神经网络	166
9.3.2 反向传播算法	167
9.4 支持向量机	168
9.4.1 原理和数学表示	168
9.4.2 改进和推广	169
9.5 Adaboost 分类器	170
9.5.1 Adaboost 算法	171
9.5.2 Adaboost 算法分析	171
9.5.3 Adaboost 算法拓展	173
参考文献	176
第10章 评价指标与评测比较	178
10.1 评价指标	178
10.2 评测比较	180

附录A 张量	182
A.1 基本概念	182
A.2 张量分解	183
参考文献	185
附录B 3-D 人脸识别综述	186
B.1 基于视频的人脸识别	186
B.1.1 “视频-图像”人脸识别	186
B.1.2 “视频-视频”人脸识别	187
B.2 3-D 人脸建模	191
B.2.1 未结合人脸先验模型的建模	191
B.2.2 结合一般人脸模型的建模	192
B.2.3 结合 3-D 人脸形变模型的建模	193
参考文献	196
附录C 相关识别概述	202
C.1 表情识别	202
C.1.1 表情识别的依据	203
C.1.2 表情识别系统框架	204
C.1.3 表情特征提取研究	204
C.1.4 表情分类研究	207
C.2 年龄识别	209
C.2.1 年龄识别的依据	210
C.2.2 年龄模拟研究	210
C.2.3 年龄估计研究	212
C.2.4 与年龄无关的人脸识别	213
C.3 性别识别	213
C.3.1 性别识别的依据	214
C.3.2 性别识别研究方法	214
参考文献	215
附录D 常用数据库	222
D.1 数据库概况	222
D.2 数据库具体描述	223

到 120 年前[Galton 1888]。该方法利用人脸的轮廓曲线,通过找到该曲线的规范(norm),来对其他的人脸轮廓进行分类,其中用到各人脸轮廓与规范的差别。这种分类可看作是多模的(multi-modal),即需要得到一组独立的测度并组成一个向量,再用该向量与数据库中的其他向量进行比较,从而确定人的身份并给出对应描述。

近代借助计算机的人脸识别可以认为有半个多世纪的历史。

20 世纪 50 年代开始有了一些与人脸识别相关的心理学方面的研究,如 Bruner 于 1954 年写下了心理学方面的书籍 *The Perception of People*。

20 世纪 60 年代有一些在工程学方面的研究,如 Bledsoe 在 1964 年基于工程学的理论写出了 *Facial Recognition Project Report*。应该说那时的人脸识别还在初级/萌芽的研究阶段,主要考虑的是处于简单背景中的人脸的识别,采用的方法中常利用人脸器官的局部特征来描述人脸。由于人脸器官没有显著的边缘且易受到表情的影响,所以仅对变形较小的正面人脸有一定的效果。

20 世纪 70 年代开始了机器识别方面的研究,如 Allen 和 Parke 研究了人脸识别所需要的面部特征,还有研究者用计算机实现了较高质量的人脸灰度图模型。这些工作的特点是识别过程非常依赖于操作人员,所构建的系统还不能自动完成识别的任务。不过这些工作也促进了从感知和心理学角度探索人类识别人脸的机理,以及从视觉机理角度开展机器识别的研究。另一方面,从 20 世纪 70 年代开始,精神物理学家(psychophysics)和神经科学家(neuron scientists)对人类识别人脸的多个方面也进行了深入的研究。他们关心的问题包括:人脸的唯一性,如何利用人脸表情帮助识别,婴儿如何观察人脸及识别人脸,对人脸记忆的组织,何时可利用全局或局部特征分析来进行人脸识别,为什么人类识别同人种的人比识别其他种族的人要更好等。有些研究的理论帮助解释了某些观察到的实验结果。虽然这些专业研究者的很多假设和理论仅基于很少数量的图像,但有些发现对设计机器识别人脸算法和系统的工程师们起到了重要的引导作用。

20 世纪 80 年代延续了 70 年代的一些工作。在 20 世纪 70 年代,多数机器识别人脸的研究与精神物理学家和神经科学家的研究是比较独立地进行的。而在 20 世纪 80 年代,他们之间的交流和合作得到了加强。从历史上来说,人脸识别算法的开发者和系统设计者对研究人类视觉系统是如何工作的都很有兴趣。马尔关于计算视觉的框架是这方面有先驱意义的工作[Marr 1982]。利用马尔的计算视觉范例来解释人脸识别可以帮助设计新的算法和系统[Bruce 1988]。另外,一些人机交互式的人脸识别工作也开展起来。例如,Harmon 和 Lesk 采用几何特征参数来表示人脸正面图像,其中用多维特征向量表示人脸面部特征,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,用欧氏距离来表征人脸特征。但这类方法需要利用操作员的某些先验知识,人的干预能力对识别效果有较大的影响。

20 世纪 90 年代随着高性能计算机的出现,以及图像采集和加工能力的提高,人脸识别方法有了重大突破,逐步进入了真正的机器自动识别阶段。不仅能自动识别正面的、光照良好的、没有遮挡的人脸,而且通过开展诸如基于多姿态/表情的人脸识别,基于动态跟踪的人脸识别,基于 3-D 模型的人脸识别等,提高了对不同姿态变化、不同光照条件、不同年龄阶段、不同表情的人脸的识别性能。另外,民用或商业研究计划数量的增加、强调实时计算的神经网络分类器的重新涌现、实时计算硬件的可用性,以及对监控相关应用(如要抑制毒品

交易或恐怖活动)需求的增加,也使机器人脸识别的工作和应用得到进一步的重视。

进入 21 世纪,研究成果的积累、技术工艺的提高、对安全的进一步要求导致了人脸识别领域得到日益的重视和快速的发展。本书将着重对这一时期的一些情况给予介绍。

人脸识别研究和应用的深度和广度的不断扩展也反映在相关的文献数量上。表 1.1.1 给出 2009 年 7 月用“face recognition”或“facial recognition”作为关键词在 EI Compendex (<http://www.ei.org>)数据库的“Subject/Title/Abstract”栏中检索得到的文献数量。

表 1.1.1 在 EI Compendex 中检索到的有关人脸识别的文献数量

年份	1960—1969	1970—1979	1980—1989	1990—1999	2000—2009	总计
数目	10	51	185	1591	12 454	14 291

由表 1.1.1 可见,人脸识别的发展几乎达到了每十年增加一个数量级的程度。可以说,人脸识别经过半个世纪的努力,无论是研究水平还是应用范围都远远超过了其起始时期。

1.1.2 研究进展和应用扩展

在人脸识别中,人脸一般指人头部除头发覆盖以外的表面部分。从这部分获得的信息中包含了极其丰富的含义,如人的性别、年龄、健康状况,甚至职业、情感、心理状态、脾气以及联想到熟人的姓名等。已有生理学方面的研究表明,对人脸的知觉不仅可将其与其他人或物体区分开来,而且还会激活存储在人脑中的长时记忆里关于此人的身份信息,如职业、年龄、嗜好、名字等。正因为如此,以人脸识别为代表的面部感知计算已成为多个学科中的热门研究课题之一。

人脸识别的研究内容很多,涉及计算机技术、图像技术、识别技术、数据库技术、生理、心理、法律伦理、光学器件、神经科学、精神物理等。近年的研究不仅包括样本采集方面的研究,还有信息加工技术方面的研究,以及结合具体应用的研究。

由于对人脸的识别是辨识身份的重要手段,所以在商业和法律方面首先得到了应用,这包括从静态匹配受控条件下的照片(如护照、信用卡、驾照)到实时匹配监控视频等。近年其应用领域还在不断扩大,如奥运安检、银行监控、自动取款机、边境检查、身份证、银行安全、嫌疑犯照片比对、人脸鉴别、目击者回忆、嫌疑人照片的存储和检索、人机交互系统、智能屋(鉴别和跟踪会议室中的人员)、门禁系统、安全和监控、电子商务、娱乐、照片和视频节目的标注、设计专业辨认系统、目击证人重建人脸、电子嫌疑人比对等方面。

近十年来,有关研究进展和应用扩展的文献都大量涌现。图 1.1.1 给出用两组关键词在 EI Compendex(<http://www.ei.org>)数据库的“Subject/Title/Abstract”栏中检索得到的两个文献数量结果。这里一个用“face recognition”为关键词,另一个用“face recognition”和“system”为关键词。

由图 1.1.1 可见:

(1) 用“face recognition”为关键词得到的结果反映了整体研究的情况。以这十年的情况来看,文献数量逐年增加,并在 2003 年到 2004 年间有比较明显的提升。

(2) 用“face recognition”和“system”为关键词得到的结果着重反映了应用研究的情况。这十年的文献数量也是逐年增加的,同样在 2003 年到 2004 年间有比较大的飞跃。

(3) 以上两个数量的比值这十年来基本稳定,近年略有增加。一方面反映人脸识别是

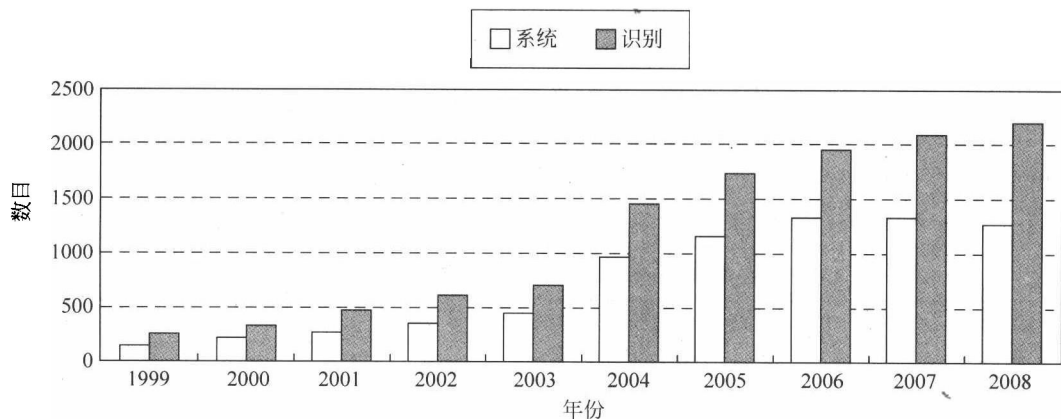


图 1.1.1 对人脸识别和应用在 EI Compendex 中检索到的结果数量

图像技术的一个热点领域,研究和应用都很重要;另一方面也表明,随着理论研究的深入,应用研究也越来越广泛。

另外,随着研究和应用文献的不断增加,综述性的文献也逐渐多起来,如文献[贾 2007]、[李 2008a]、[李 2009a]、[刘 2006]、[严 2009]、[Baron 1981]、[Barrett 1997]、[Bowyer 2004]、[Bronstein 2005]、[Bruce 1990]、[Chellappa 1995]、[Ellis 1986]、[Iancu 2007]、[Jia 2008a]、[Kittler 2005]、[Kong 2005]、[Li 2007]、[Pan 2003]、[Riaz 2004]、[Samal 1992]、[Short 2004]、[Tan 2006a]、[Wayman 2002]、[Yan 2008a]、[Yang 2002]、[Zhao 2003]和[Zou 2007]。而且还有了一些专门的书籍,如文献[黄 2006]、[苏 2001]、[Bartlett 2001]、[Bruce 1988]、[Li 2004]、[Wen 2004]、[Weschler 2007]、[Zhang 2010]和[Zhou 2006]。

1.1.3 生物特征识别

人脸识别是得到广泛研究和应用的一种生物特征识别技术,也有人将生物特征识别技术称为生物测定学(biometrics),它指对活的个人基于生理学和行为学的特点进行自动鉴别或生物验证。有关人体生物特征提取和验证的研究已成为图像工程中一个重要的分支[章 2009]。

1. 生物特征

现已研究比较成熟的和得到较广泛使用的、借助图像技术的生物特征主要有:人脸、指纹、掌纹、手形、虹膜、视网膜、步态、足迹、笔迹和签名等(还有一些借助其他技术的,如语音、染色体 DNA 等)。

不同的生物特征各有其特点。例如指纹随人而不同,又终身不变,易于获取。虹膜的放射纹路中的 60%对所有人一致,仅有 40%因人而异,可用于辨识。用于视网膜识别的主要是分布在视网膜周围的血管所构成的模式,它们的组合可提供大量的特征点,所以误识率很低,但由于组合模式不稳定,所以拒识率比较高。手形包括手指的长度、宽度,手掌的尺寸,不同手指尺寸间的比例等,这些特征中有些因人而异,提供了一定的身份信息;但有些随时间变化,个体间的区分度不够。掌纹综合了手掌上的纹理和曲线特征,这些特征不随人的发育成长而改变,且与个体一一对应。

2. 人脸生物特征

目前人脸识别常利用人面部不易变化的部分,如眼眶轮廓、下巴轮廓等。与其他生物特征相比,人脸识别可被动进行,不需要对象的配合(如靠近或接触传感器),所以对人比较友好。

自动人脸识别的不利因素包括光照条件、图像中的噪声、脸部表情变化、眼镜、汗毛的变化和姿态。人脸模式会随说话、位姿、年龄、化妆、胖瘦等变化,稳定性低。

如同在许多生物特征测量系统中,自动人脸识别的目的是在匹配给定人脸图像和人脸数据库图像时取得高水平的性能。一个自动人脸识别系统的性能可用匹配精度(低虚警和低误报),对一些不利因素的鲁棒性,快速、低成本等来综合评价。

3. 生物特征性能比较

要利用生物特征来对人的身份进行辨识或确认,则生物特征主要应具有普遍性(人人拥有)、唯一性(人与人不同)、稳定性(不因时间、年龄、环境的变化而变化)和采集方便性(应采集容易、设备简单、对人影响程度小)等特点。

生物特征的使用和性能涉及许多因素,除上面提到的普遍性、唯一性、稳定性、采集方便性外,其他还有广泛性、独特性、持久性、使用方便性、高识别性能、防伪性、接受性、分辨性及性价比等,它们的含义和覆盖的内容有一定的重合。几个典型的对一些常用生物特征进行评价的指标和定义/解释见表 1.1.2。

表 1.1.2 几个常用生物特征的评价指标

指 标	定义/解释
采集干扰性	在获取信息时对人影响程度的大小,好的特征应少干扰人的活动
被识别人的接受性	指是否需要被识别人的配合,识别人对此是否有接受的心理基础
小类内差异(类内差)	指同一个体在一段时间前后的差异,较小有利于识别同一个人
大类间差异(类间差)	指一个人的特征与其他人的特征间的差异,较大有利于识别不同的人
识别可靠性	指借助识别可以有效地辨识被识别人
防止假冒能力	指对虚假的数据(如照片)有较强的免疫力,易于区分真假数据
性价比	性价比指检测系统的性能与其软硬件费用的比值,越高越好

对常用的人脸、指纹、虹膜和视网膜用表 1.1.2 中的指标进行评价得到的结果可参见图 1.1.2,其中各种指标均以大的数值表示优越。

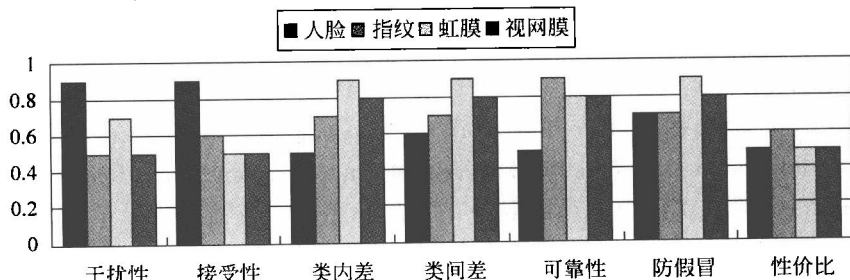


图 1.1.2 人脸、指纹、虹膜和视网膜识别的性能比较

由图 1.1.2 可见,人脸识别在干扰性和接受性方面有较大优势,在识别准确和可靠性等方面还有较大提升空间,值得进一步研究。

1.2 人脸识别的研究

人脸识别属于图像模式识别的范畴,是一种典型的高维大数据集模式识别的应用。多年来,研究人员在人脸识别的研究中开展了广泛的工作,也取得了相应的进展。从宏观的角度说,要完成人脸识别的任务,需要设计和确定一个完整有效的流程,需要设计和开发完成对应步骤的模块和技术,还需要解决和克服影响识别性能的问题。

1.2.1 人脸识别相关概念

在人脸识别领域,有许多相关但又不同的概念。

1. 人脸定位(face localization)

目的是确定单个人脸在图像中的位置,这可看作一个简化了的检测问题,其中假设一幅输入图像仅包含一个人脸[Lam 1994],[Moghaddam 1997]。

2. 人脸跟踪(face tracking)

实时地连续地估计一个人脸在图像序列中的位置,还可能包括估计人脸的朝向[Crowley 1997],[Edwards 1998],[Darrell 2000]。

3. 脸部特征检测(facial feature detection)

目的是检测特征,如眼、鼻、鼻孔、眉毛、嘴、嘴唇、耳朵等的存在性并确定其位置,其中假设一幅输入图像仅包含一个人脸[Craw 1992],[Graf 1995]。

4. 人脸识别(face recognition)或人脸辨认(face identification)

将一幅输入图像(探测图)与图像库(gallery)中图像比较,并在匹配时给出信号[Turk 1991],[Samal 1992],[Chellappa 1995]。

5. 人脸验证/鉴定(face authentication)

验证一幅输入图像中一个人的身份[Tefas 1998],[Kotropoulos 1998]。

6. 面部表情识别(facial expression recognition)

确定图像中人脸的情感状态(快乐、忧愁、厌恶等)[Essa 1995],[Donato 2000]。

1.2.2 人脸识别流程

完成人脸识别的工作需要经过一系列的步骤,它们结合起来构成一个完整的流程。由于研究人员来自不同的学科、具有不同的背景,而且不同的人脸识别应用中对识别的目标也不同,所以人脸识别的流程并不统一。一个比较通用的人脸识别流程如图 1.2.1 所示,其主要步骤包括:人脸检测/跟踪(face detection/tracking),特征提取(feature extraction),特征降维(feature dimensionality reduction),匹配识别(matching and classification)。它们之间基本上是串行的关系。实际中也有将不同步骤结合,或加入反馈的流程。

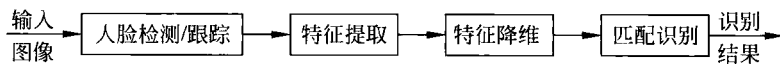


图 1.2.1 人脸识别的流程

下面对每个步骤给出一些概括的解释。

1. 人脸检测/跟踪

人脸检测是完成人脸识别工作的自动系统的第一个步骤。该步骤的目的是在输入的图像中寻找人脸区域。具体来说:给定任一幅图像,人脸检测的目的是确定是否图像中有人脸存在,如果存在,给出每个人脸的位置和范围。也有人将人脸检测定义为:给定一幅图像,人脸检测的目标是确定所有包含人脸的图像区域,而不管人在3-D空间中的位置、朝向和成像的光照条件[Yang 2002]。

由于人脸检测要求从各种不同的场景中检测出人脸的存在并确定其位置,所以也称人脸定位(在场景中定位人脸也称为分割)。这个步骤利用的是人脸图像共有的信息。如果输入是静止图像,一般对每幅图像进行检测。如果输入是视频,则需要在整个序列中的每帧都获得人脸部分。除可以将每帧当作静止图像来进行检测,常用的策略是仅在序列的第一帧进行检测而对接下来的帧则借助上帧的检测结果进行跟踪。在有些应用中,还需要对面部器官进行具体检测、跟踪和定位。尽管人类比较容易地就能在混乱的场景中识别出人脸,但要用机器来完成对应的工作还是很难的。

下面一些因素与人脸检测有密切联系:

(1) 姿态:人脸图像由于相对摄像机姿态的不同(正面、 45° 角、侧面、上下颠倒),某些脸部特征会因部分或全部遮挡而变化。

(2) 结构组元的存在或消失:面部特征,如胡须、眼镜的存在与否都会导致它们颜色、形状和尺寸的变化。

(3) 脸部表情:脸部表情直接影响人脸的外观。

(4) 遮挡:脸部有可能部分被其他物体所遮挡。如果图像中有多人存在,一些人脸可能会部分挡住其他人脸。

(5) 图像朝向:对摄像机光轴的旋转也会导致图像变化。

(6) 成像条件:光照(光源分布和强度)和摄像机参数(传感器响应、镜头)均会影响人的外貌图像。

实际应用中人脸图像的采集或获取常在非受控的条件下进行,这样所得到的图像中的人脸在尺寸、朝向、明暗、遮挡、分辨率等方面都有很多不同,使同一人的脸出现各种变形,并有可能导致各种误识、漏识等失败的情况。为校正人脸在尺度、光照和旋转等方面的变化,常需采用一些包括几何归一化(空间尺度归一化)和光照归一化(灰度幅值归一化)等手段来调整不同的人脸图像,以利于用统一算法进行识别。

2. 特征提取

为区分不同的人脸,需要提取各人脸的独特性质。也就是要从人脸图像中映射提取一组反映人脸特征的数值表示样本。这里首先需要采取某种表示方式来表示检测出的人脸和数据库中的已知人脸。通常的表示法包括几何特征(如欧氏距离、曲率、角度)、代数特征(如矩阵或特征向量)、固定特征模板、特征脸等。

在人脸识别中,也有人将特征与面部器官(如眼、鼻、嘴等)对应起来。在这些特征中,有些(如发际线、眼睛、嘴)要比另一些(如鼻子)在识别中起更大的作用。不过,这个结论主要对正面人脸图像成立,如果考虑侧面人脸图或侧视图,则鼻子会很重要。

和许多识别任务类似,为提高识别率,应将表达和识别人脸的全局和局部特征都考虑在