

FUNDAMENTALS AND ALGORITHMS
OF FACE RECOGNITION
RESEARCH IN FACE RECOGNITION SYSTEM
IN DYNAMIC SCENES

人脸识别原理及算法
动态人脸识别系统研究

沈理 刘翼光 熊志勇 著

人脸识别是生物特征鉴别的一个领域，
人脸具有信息特征丰富和整体特征唯一的特点，
人脸的智能化识别对于应用具有重要的意义。

自 20 世纪中叶以来，
国内外科研人员纷纷投入这个领域，
先后提出了很多具有研究价值的人脸识别算法，
并在局部取得了实用成果 ……

**FUNDAMENTALS AND ALGORITHMS
OF FACE RECOGNITION**
RESEARCH IN FACE RECOGNITION SYSTEM
IN DYNAMIC SCENES

人脸识别原理及算法
动态人脸识别系统研究

沈理 刘翼光 熊志勇 著



人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

人脸识别原理及算法 : 动态人脸识别系统研究 / 沈理, 刘翼光, 熊志勇著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2014.10

ISBN 978-7-115-33978-2

I. ①人… II. ①沈… ②刘… ③熊… III. ①面—机器识别—研究 IV. ①TP391.4

中国版本图书馆CIP数据核字 (2014) 第000067号

◆ 著 沈理 刘翼光 熊志勇

责任编辑 刘涛

执行编辑 傅道坤

责任印制 彭志环 焦志炜

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京中新伟业印刷有限公司印刷

◆ 开本: 700×1000 1/16

印张: 16.25

字数: 256千字

2014年10月第1版

印数: 1—1800册

2014年10月北京第1次印刷

定价: 89.00元

读者服务热线: (010) 81055410 印装质量热线: (010) 81055316

反盗版热线: (010) 81055315

FUNDAMENTALS AND ALGORITHMS
OF FACE RECOGNITION
RESEARCH IN FACE RECOGNITION SYSTEM
IN DYNAMIC SCENES

人脸识别 原理及算法
动态人脸识别系统研究



内容提要

本书系统介绍了人脸识别研究领域研究状况以及作者在人脸识别领域的研究工作和研究成果，全书共分为3个部分。

第1部分首先介绍了人脸识别的基础：计算机视觉和模式识别的原理，并介绍了20世纪70年代以来国内外人脸识别研究的研究动态和主要方法，以及国内外人脸识别研究的主要成果和用途。

第2部分介绍了基于双属性图的人脸识别算法，该算法采用人脸特征检测、主成分分析方法、Gabor函数等建立了一个人脸特征识别和属性特征匹配的人脸识别方法，并结合人脸图像的局部特征和全局特征，能够有效地利用从三维到二维投影的人脸图像信息之间的关联性。

第3部分介绍了动态场景下的人脸识别方法，该方法综合应用了人脸定位、人脸识别、视频处理等算法。

本书的读者对象主要为研究模式识别的科技人员以及高等院校高年级的学生和研究生。读者通过阅读本书可以系统地学习人脸识别研究的方法，并掌握国内外相关技术的最新进展。

SUMMARY

This book summarizes the progress in the face recognition research field as well as the author's research work. This book is divided into the following three parts.

Part I introduces the theory of computer vision and pattern recognition, which are the basis of face recognition research. Then it introduces face recognition research status and the major methods since the 1970s, as well as the main results and usage.

Part II describes the face recognition algorithm based on dual-attribute graph. This algorithm adopts facial feature detection, PCA method and Gabor function to construct facial feature recognition and attributes matching method, and it can combine the face image local features and global features, so it can effectively use the information in face image shoot which is projected from three-dimension to two-dimension.

Part III describes the face recognition system under dynamic scenes. This algorithm adopts face location, face recognition and video processing methods.

This book mainly focuses on researchers as well as graduated and high-grade college students, who are interested in pattern recognition. Readers of this book can systematically study the methods of face recognition and master the latest progress of this field.



前言

随着人类迈入数字时代，生物特征的身份鉴定技术愈加显示出其价值。在美国，基于这项技术的产业规模已达数 10 亿美元，每年有上亿美元的福利款项被他人以假冒身份领取。MasterCard 公司估计，每年有价值 4.5 亿美元的信用卡诈骗案发生，其中包括利用丢失和被盗的信用卡犯罪；每年因身份识别码被盗造成移动电话通信的损失高达 10 亿美元。

比尔·盖茨曾下过这样的断言：生物识别技术将成为未来几年 IT 产业的重要革新。盖茨言论的背后支撑是，越来越多的个人、消费者、公司乃至政府机关都承认，现有的基于智能卡、身份号和密码的身份识别系统是远远不够的，生物特征识别技术将在未来提供解决方案方面占据重要的地位。在短期内，生物鉴别法便可与智能卡操作系统结合，用户可通过使用个人密码及生物鉴别法来确认身份。

人脸识别是模式识别和计算机视觉的交叉领域，关于它的研究最早开始于 20 世纪 50 年代，当时的研究主要基于人脸的外部轮廓方法。由于人脸轮廓的提取比较困难，在随后的 10 多年中，人脸识别的研究相对停滞。后来人脸识别方法有了新的突破。人脸识别将计算机视觉和模式识别结合在一起，广泛地应用在机器人学等学科中。

作为人类几个重要的外在鉴别特征之一，人脸识别在自动鉴别和人类自动分辨方面有着重要的意义。与指纹识别和虹膜识别相比较，人脸识别有其独特的优势。在广域样本范围内，指纹识别和虹膜识别的取样样本都具有唯一性，即对于任意两个样本，他们的指纹或虹膜不会是完全相同的。另外指纹和虹

膜的成像不会因为在不同时刻有差别而得到不同的结果,这就决定了待识别图像和样本本身一样是具有唯一性的。人脸图像受成像角度、光照条件等外界因素的影响比较大,即使相同的人脸,在图像成像后也可能有比较大的差别;另外,不同的人脸在一定的角度下有时也有较大的相似度,这两个因素导致人脸识别复杂性比较高、识别难度比较大,这些都是人脸识别研究的实际困难。但是,指纹和虹膜的获取都要求待识别对象与成像设备有较近的空间距离,而人脸图像的获取突破了这一限制。在一般可视情况下,人脸图像都能够被正常捕捉,这一因素决定了人脸识别比指纹、虹膜识别有更广的应用范围,诸如在远程安全、检疫、图像传送等方面。20世纪90年代Internet的蓬勃发展对于网络安全和鉴别的需求也导致了人脸识别越来越具有实用性。

人脸识别技术具有广泛的应用前景,在国家安全、军事安全和公共安全领域,智能门禁、智能视频监控、公安布控、海关身份验证、司机驾照验证等是其极典型的应用;在民事和经济领域,各类银行卡、金融卡、信用卡、储蓄卡的持卡人身份验证以及社会保险人的身份验证等都具有重要的应用价值;在家庭娱乐等领域,人脸识别技术也具有一些有趣有益的应用,比如能够识别主人身份的智能玩具、家政机器人以及具有真实面像的虚拟游戏玩家等。

目前国外的很多大学都有研究小组在进行人脸识别、跟踪方面的研究,包括MIT的VISMODO实验室、CMU的机器人研究所、Cornell大学、Berkeley大学等,它们都是人脸识别的重要研究机构。国内对人脸识别的研究也日益活跃,中国科学院、清华大学、哈尔滨工业大学、南京理工大学等科研单位和大学,都有研究小组对人脸识别进行长期的跟踪研究。与此同时,国际、国内的公司也都开始致力于人脸识别的投入,如A4Vision、Neven Vision、VisionSphere公司等;国内也有一些公司也参与了这方面的研究。这些研究主要应用于金库人员识别、银行卡识别、特殊安全系统。

作者简介

沈理，男，1937年10月出生，浙江省人，研究员，博士生导师，研究方向为VLSI测试、SOC设计、容错计算、计算智能、模糊系统。1959年毕业于浙江大学电机工程系，并进入中国科学院计算技术研究所，从事计算机学科领域的研究工作。早期曾参加我国第一台大型电子管计算机——104机的研究工作以及多台计算机的电路研究和体系结构设计工作。1979年后从事容错计算等基础研究。1982~1984年，赴美国纽约州立大学Binghamton分校作访问学者，进行VLSI测试研究。1985~1988年，进行测试理论的基础研究，主持完成一个国家自然科学基金项目的研究，并参加“七五”国家重点科技攻关项目“测试方法研究及应用”的工作，获1992年中国科学院自然科学奖二等奖。1989~1991年，参加国家“863”计划课题的研究工作，后两年赴美国参加国际科技合作，进行工作站设计和ASIC设计工作。1992年后进行软计算和模糊系统等基础研究，连续主持“八五”、“九五”的“863”计划项目，“九五”中国科学院基础性研究重点项目和国家自然科学基金项目的研究。1995年研制成功模糊推理控制芯片F100，该芯片达到国内领先水平 and 20世纪90年代初的国际水平。2000年研制成功新一代模糊推理控制芯片F200。申请中国发明专利两项，发表论文90余篇，译著1部。1990年后任中国计算机学会容错计算专业委员会委员。1998年后任中国自动化学会智能自动化专业委员会委员、美国IEEE高级会员。

刘翼光，男，于2000年在中国科学院计算技术研究所获博士学位，2000~2002年在中国科学院自动化研究所从事博士后

研究工作。主要研究方向为：模式识别、数字图像、数字视频及版权保护等。曾主持或参加多项国家自然科学基金、中科院“九五”重点项目、国家“863”项目，主持多项科技部科研院所社会公益研究专项、广电总局项目。目前在中国科学院从事图像识别、图像信号分析的研究工作，并在国家广电电影数字节目管理中心主持数字电影发行放映中图像编码、数字版权保护、图像处理的研究和开发工作，已成功建立我国数字电影流动放映系统。发表论文 20 余篇，获得专利 2 项，获得广电总局科技创新奖一等奖一项、二等奖两项。现为国家广电总局科技委电影专业委员会委员。

熊志勇，男，于 1999 年在中国科学院计算技术研究所获得博士学位，研究方向为人脸图像识别。目前从事无线通信基站的设计开发工作，作为主要设计人员参与设计了国内第一个实用的 IS95A、CDMA1X 基站；有多年的手机终端设备的研究开发经验，设计实现了 GPRS 无线网卡以及 TD-SCDMA 无线网卡；参与设计开发了多款手机，已发表多篇学术论文。

致 谢

本书研究的内容得到了中国科学院基础性研究基金的资助和支持，感谢中国科学院计算技术研究所软计算课题组的同事和同学，包括徐慧娥老师、Intel 中国研究院胡炜研究员、北京邮电大学潘维民教授、美国中佛罗里达大学王晶博士、张祥研究员、美国 Cogent System 公司软件部总监裴树孟、韩飞博士、徐晓晶同学的大力帮助和支持，在此谨向他们表示谢意。还要真诚地感谢家人的支持和理解。

最后还要感谢编委会专家们的支持与指导，感谢人民邮电出版社幕后的工作人员对本书所做的贡献。

目 录

第 1 部分 人脸识别介绍 1

第 1 章 人脸识别概论 2

- 1.1 历史背景 2
- 1.2 人脸识别相关学科的进展 4
 - 1.2.1 神经生理学方面的进展 4
 - 1.2.2 脑神经学方面的进展 4
 - 1.2.3 计算机视觉方面的进展 5
- 1.3 模式识别理论 11
 - 1.3.1 预处理 12
 - 1.3.2 特征提取 13
 - 1.3.3 分类 13
- 1.4 人脸图像识别主要研究的问题 14
 - 1.4.1 数据采样 15
 - 1.4.2 干扰因素 16
- 1.5 人脸图像识别系统的构成 17
 - 1.5.1 人脸图像预处理 17
 - 1.5.2 图像表示与特征提取 17
 - 1.5.3 图像识别 18

第 2 章 人脸识别研究综述 19

- 2.1 研究现状 19
- 2.2 常用的静态人脸图像识别方法 20

- 2.2.1 几何特征方法 21
- 2.2.2 特征脸方法 22
- 2.2.3 局部特征分析技术 24
- 2.2.4 模板匹配 25
- 2.2.5 图匹配 26
- 2.2.6 人工神经网络方法 28
- 2.2.7 柔性形状模型技术 31
- 2.2.8 综合的方法 33
- 2.3 人脸检测以及人脸跟踪 34
- 2.4 人脸图像识别的应用前景 35
- 2.5 一些商用人脸识别软件 36
 - 2.5.1 TrueFace 36
 - 2.5.2 Face-It 36
 - 2.5.3 Technology Recognition Systems 37

第2部分 静态人脸图像识别 39

第3章 人脸特征探测 41

- 3.1 简介 41
- 3.2 参数化模型法 42
 - 3.2.1 图像的各种表示 42
 - 3.2.2 眼睛模型表示 42
 - 3.2.3 嘴巴模型和鼻子模型 45
 - 3.2.4 方法的优缺点 45
- 3.3 基于模板的探测方法 45
 - 3.3.1 模板表示 46
 - 3.3.2 图像标准化 46
 - 3.3.3 方法的优缺点 48
- 3.4 利用数学算子进行探测 49
 - 3.4.1 特征探测模型 49
 - 3.4.2 方法的优缺点 50
- 3.5 小结 50

第4章 基于通用形变模型的人脸轮廓特征提取 51

- 4.1 引言 51
- 4.2 通用形变模型的形成 52
 - 4.2.1 轮廓特征点的选取 53
 - 4.2.2 形变模型的形成 53
 - 4.2.3 形变模型的能量 54
- 4.3 模型匹配 57
 - 4.3.1 全局匹配 58
 - 4.3.2 局部匹配 59
- 4.4 实验 61
- 4.5 小结 62

第5章 基于主成分分析方法的人脸图像识别 及人脸局部特征探测 63

- 5.1 引言 63
- 5.2 主成分分析方法在人脸图像识别中的应用 65
 - 5.2.1 特征向量的表示能力 66
 - 5.2.2 特征向量的选择 69
 - 5.2.3 光照的影响 71
 - 5.2.4 尺度的影响 72
 - 5.2.5 旋转因素的影响 76
 - 5.2.6 小结 84
- 5.3 人脸局部特征探测 84
 - 5.3.1 逐步求精定位法 85
 - 5.3.2 实验 86
- 5.4 利用局部特征识别人脸图像 88
- 5.5 小结 90

第6章 人脸图像的双属性图表示 91

- 6.1 引言 91

- 6.2 Gabor 变换 92
 - 6.2.1 傅里叶变换 92
 - 6.2.2 Gabor 变换 93
- 6.3 基于数学变换的特征提取 96
 - 6.3.1 特征的生成 96
 - 6.3.2 实验 98
 - 6.3.3 实验结果 100
 - 6.3.4 小结 102
- 6.4 人脸图像的双属性图表示 103
 - 6.4.1 关系图 103
 - 6.4.2 属性图 103
 - 6.4.3 双属性图 104
- 6.5 小结 106

第 7 章 人脸图像识别 107

- 7.1 引言 107
- 7.2 待识人脸图像的表达 107
 - 7.2.1 局部特征点的确定 108
 - 7.2.2 局部主成分特征的确定 108
 - 7.2.3 Gabor 系数特征的确定 109
- 7.3 双属性图匹配 113
 - 7.3.1 匹配函数 113
 - 7.3.2 λ 的确定 113
 - 7.3.3 光照的处理 113
 - 7.3.4 尺度的处理 115
 - 7.3.5 平面旋转人脸图像的处理 115
 - 7.3.6 深度旋转人脸图像的处理 117
 - 7.3.7 图像识别 118
 - 7.3.8 方法的有效性 118
- 7.4 实验 120
 - 7.4.1 图像尺度及旋转情况的确定 120
 - 7.4.2 人脸图像识别 122
- 7.5 小结 123

第 8 章 人脸图像识别程序实现 124

- 8.1 主成分分析算法的 MATLAB 实现 124
- 8.2 Gabor 变换 128
- 8.3 使用动态模板方法进行识别 130
- 8.4 Gauss 变换用于提取图像的特征 136

第 3 部分 动态人脸识别研究 143

第 9 章 动态人脸识别系统 145

- 9.1 研究背景及条件 145
 - 9.1.1 研究背景 145
 - 9.1.2 研究对象和限定条件 146
- 9.2 样本获取 149
 - 9.2.1 视频格式 149
- 9.3 隐马尔科夫模型 151
- 9.4 动态人脸识别系统框架 153
 - 9.4.1 预处理 154
 - 9.4.2 相关性处理 159
 - 9.4.3 隐马尔科夫模型的状态及属性确定 160
 - 9.4.4 观察序列概率分布计算 161
 - 9.4.5 隐马尔科夫模型的训练 161
 - 9.4.6 隐马尔科夫模型的识别 161

第 10 章 动态人脸图像定位算法 162

- 10.1 动态人脸图像定位问题 162
- 10.2 Hausdorff 距离 164
- 10.3 人脸图像定位算法 166
- 10.4 实验结果 169

第 11 章 动态人脸识别的相关性 179

11.1 人脸图像的相关性表示 179

11.2 动态人脸的相关系数 181

11.2.1 特征子空间相关系数 182

11.2.2 插值相关系数 184

11.2.3 图像内部信息相关系数 186

11.2.4 3 种相关系数的实验比较 187

11.3 相关性处理与动态图像分割 189

第 12 章 动态人脸图像识别 191

12.1 隐马尔科夫模型的基本问题 192

12.1.1 估价问题和前向算法 192

12.1.2 解码问题和 Viterbi 算法 192

12.1.3 训练问题 193

12.1.4 识别问题 195

12.2 基于隐马尔科夫模型的动态人脸识别系统 195

12.2.1 隐马尔科夫模型的状态及属性图像 196

12.2.2 观察序列数目 201

12.2.3 观察序列初始概率分布 202

12.2.4 相关系数与初始概率调整 202

12.2.5 隐马尔科夫模型训练和动态人脸图像识别 203

12.3 实验结果与分析 204

12.3.1 实验结果 204

12.3.2 与相关实验结果的对比 208

12.4 隐马尔科夫模型与动态图像分割 209

12.5 动态人脸图像识别中外界影响的处理 210

12.5.1 有外界影响的动态人脸识别 210

12.5.2 动态人脸识别算法在外界影响下的调整 211

第 13 章 结束语 213

参考文献 217

术语 233