

刷脸背后

人脸检测
人脸识别
人脸检索

张重生
著

精解人脸检测与人脸检索原理
实战人脸识别应用



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

刷脸背后

人脸检测 人脸识别 人脸检索

张重生 著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

人脸识别是当今热门的研发方向,在安防、金融、旅游等领域具有十分广泛的应用。本书全面、系统地介绍“刷脸”背后的技术,包括人脸检测、人脸识别、人脸检索相关的算法原理和实现技术。本书中讲解的算法具有很强的可操作性和实用性。通过学习本书,研究人员、工程师能够在3~5个月内,系统了解、掌握人脸检测、人脸识别、人脸检索相关的原理和技术。

本书内容新颖、层次清晰,适合高校教师、研究人员、研究生、高年级本科生、人脸识别爱好者使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

刷脸背后:人脸检测 人脸识别 人脸检索 / 张重生著. —北京:电子工业出版社, 2017.8

ISBN 978-7-121-32138-2

I. ①刷… II. ①张… III. ①面—图象识别—研究 IV. ①TP391.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第161123号

策划编辑:董亚峰

责任编辑:董亚峰

特约编辑:赵树刚 赵海军等

印 刷:北京季蜂印刷有限公司

装 订:北京季蜂印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱

邮编:100036

开 本:720×1000 1/16 印张:15.25 字数:348千字 彩插:2

版 次:2017年8月第1版

印 次:2017年8月第1次印刷

定 价:48.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

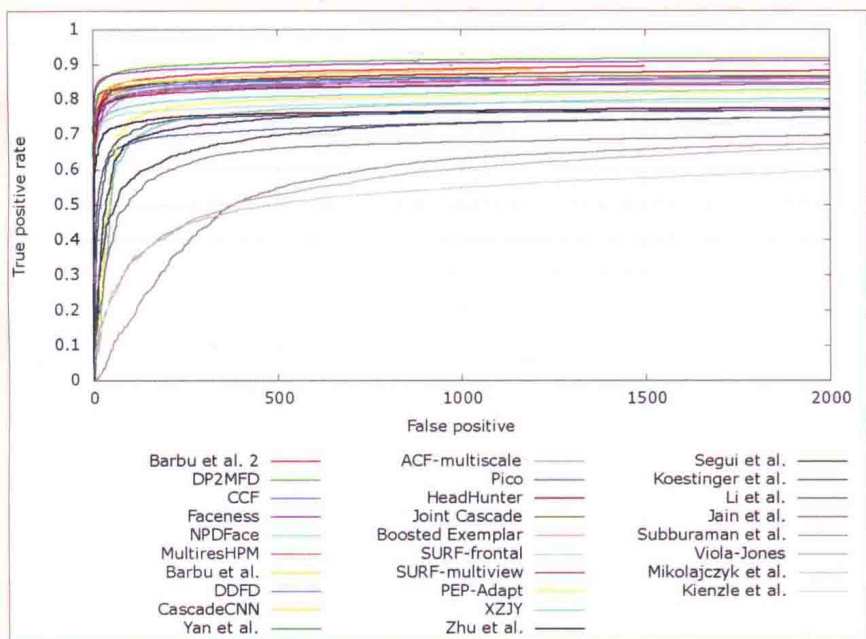
本书咨询联系方式:QQ3502629。



张重生，1982年9月生，博士，教授，硕士生导师，河南大学大数据团队带头人。研究领域为大数据分析、深度学习、数据挖掘、数据库、实时数据分析。

博士毕业于 INRIA, France（法国国家信息与自动化研究所），获得优秀博士论文荣誉。2010年8月至2011年3月，在美国加州大学洛杉矶分校计算机系，师从国际著名学者Carlo Zaniolo教授进行流数据挖掘方面的研究。

十多年来，一直从事与大数据相关的研究，发表SCI/EI论文20余篇，含Information Sciences、Expert Systems with Applications、Neurocomputing、IEEE ICDM、PAKDD、SSDBM等著名期刊和国际会议论文；先后指导硕士研究生16名，作为第一发明人获得3项国家发明专利授权。出版《深度学习：原理与应用实践》、《刷脸背后：人脸检测、人脸识别、人脸检索》、《大数据分析：数据挖掘必备算法示例详解》等学术专著，以及译著《数字视频处理与分析》，作为副主编合著《大数据》等教材。



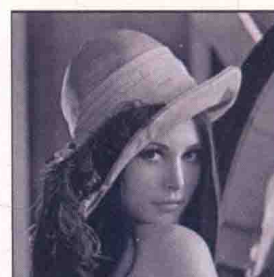
❖ 图 1-4 不同人脸检测算法在 FDDB 数据集上检测准确度的 ROC 曲线



(a) 原图像



(b) 饱和度为100



(c) 饱和度为-100

❖ 图 2-4 同一图片不同饱和度值的变化



❖ 图 2-5 “色相 / 饱和度”对话框



(a) 原灰度图像



(b) 修改对比度后的图像

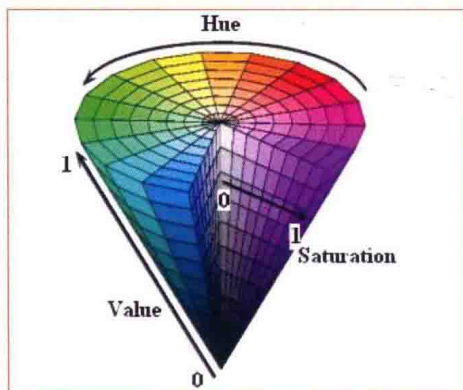


(c) 原RGB图像



(d) 修改对比度后的RGB图像

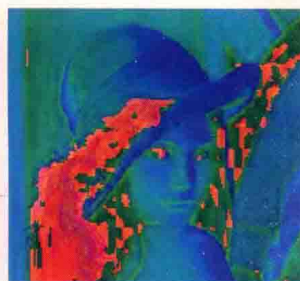
❖ 图 2-6 Code2 的运行结果



❖ 图 2-10 HSV 颜色空间模型

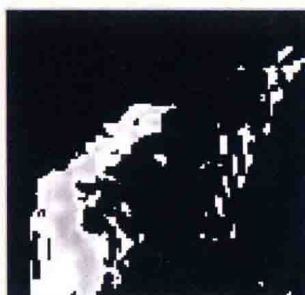


(a) 原RGB图像



(b) 转换后的HSV图像

❖ Figure1 : 原 RGB 图像和转换后的 HSV 图像



H分量



S分量



V分量

❖ Figure2 : 转换后的 HSV 图像的 H、S、V 分量图

❖ 图 2-11 Code4 的运行结果



(a) 原RGB图像



(b) 转换后的HSV图像



(c) 转换后的RGB图像

❖ 图 2-12 Code5 的运行结果



(a) 原真彩色图像



(b) 转换后灰度图像1



(c) 转换后灰度图像2

❖ 图 2-19 Code12 的运行结果



(a) 原索引图像

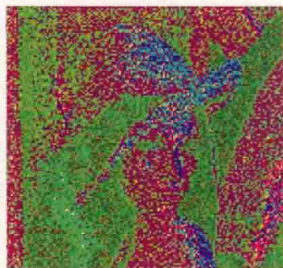


(b) 转换后的灰度图像

❖ 图 2-20 Code13 的运行结果



(a) 原RGB图像



(b) 转换后的索引图像1



(c) 转换后的索引图像2



(d) 转换后的索引图像3

❖ 图 2-23 Code16 的运行结果



(a) 原灰度图像



(b) 转换后的二值图像

❖ Figure1 : 原灰度图像和转换后的二值图像的比较



(a) 原RGB图像



(b) 转换后的二值图像

❖ Figure2 : 原 RGB 图像和转换后的二值图像的比较



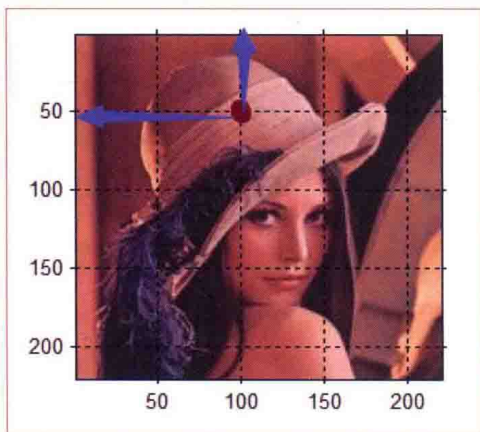
(a) 原索引图像



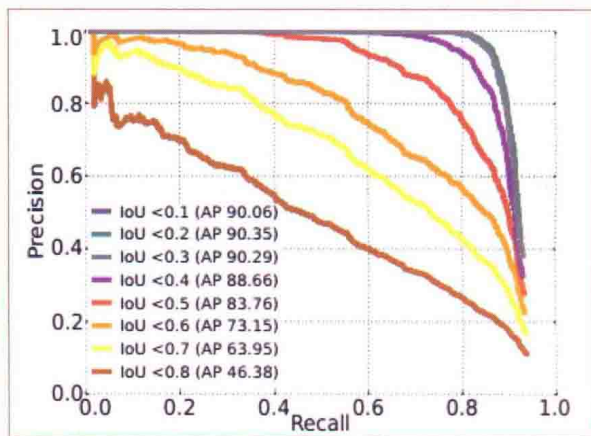
(b) 转换后的二值图像

❖ Figure3 : 原索引图像和转换后的二值图像的比较

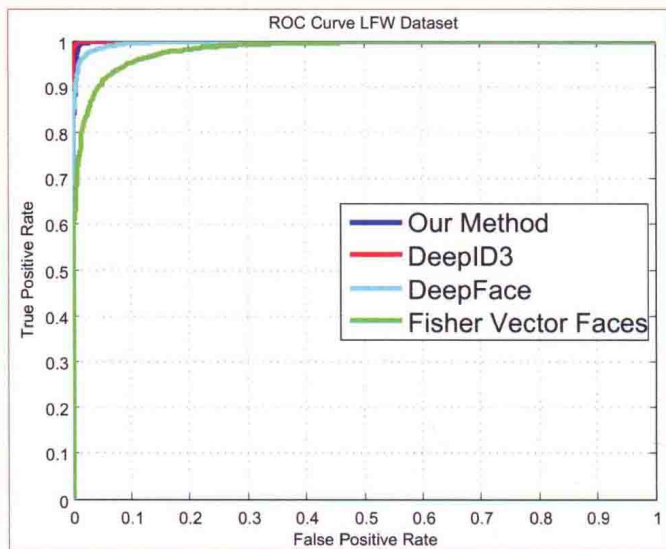
❖ 图 2-25 Code18 的运行结果



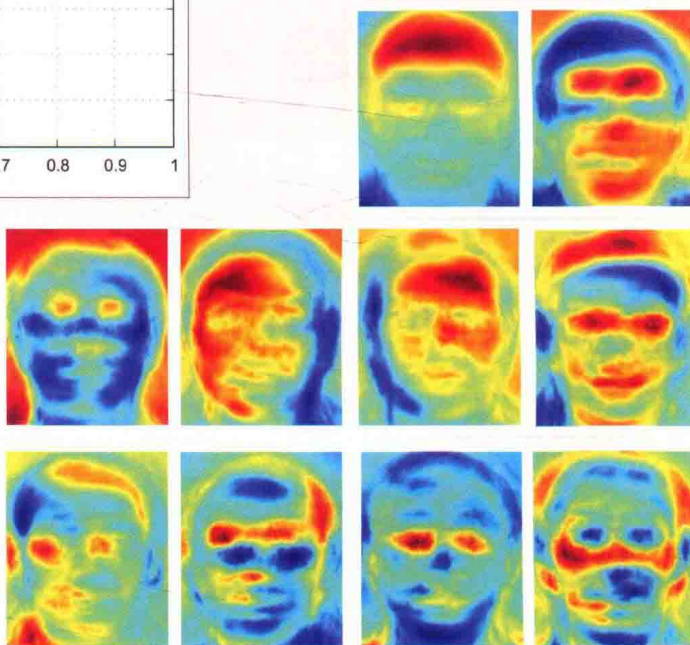
❖ 图 2-26 图像在 MATLAB 中的坐标形式



❖ 图 3-3 DPM 在 Pascal Faces 数据集上使用不同重叠阈值的检测结果



❖ 图 6-7 在 LFW 数据集上测试的结果



❖ 图 6-8 使用了 JET 模式色图的 10 个 Eigenfaces

前言

我们正处于“刷脸”的时代，越来越多的“刷脸”应用开始出现。例如，北京西站的刷脸检票、厦门景点的刷脸验票、余额宝的刷脸认证等。初学者如果想进行人脸识别相关的研究和开发，那么他们应该阅读什么书籍呢？

“刷脸”背后的技术，不仅仅是人脸识别，亦需要人脸检测和人脸检索等技术提供支撑。目前，市场上有少部分人脸识别的书籍，而专门讲解人脸检测和人脸检索技术的书籍则更少。近年来，笔者及其团队在从事人脸检测、人脸识别、人脸检索相关的研究时，查阅了很多国内外的参考资料，到目前为止，尚未见到一本能够全面涵盖“刷脸”应用所涉及的人脸检测、人脸识别和人脸检索相关技术且具有实战参考价值的书籍。其中的一个主要原因可能是刷脸技术的商业价值高。

本书按照“刷脸”应用开发时所需技术的先后顺序，通过原理、案例、实战的方式，分别讲解了“刷脸”应用需要掌握的三大技术：人脸检测、人脸识别和人脸检索。更为重要的是，本书高度注重实战应用，每一个算法都通过具体程序讲解算法的使用、实验设计，以及实验结果。读者不但能够了解每个算法的原理，而且能够掌握应用开发的实战技能。

本书的目标是作为通用、普及性强、可操作性强的人脸识别的书籍，方便研究人员、工程师、研究生、计算机专业的高年级本科生，快速上手并全面、深入理解，扎实掌握“刷脸”应用相关的理论和算法，帮助读者快速入门，理解“刷脸”应用背后的核心技术与算法，并切实掌握“刷脸”应用开发所需的实战技术。

本书主编为张重生，副主编为王弯弯、王朋友、赵冬冬。于珂珂、彭国雯、裴宸平等研究生对本书的编写、实验部分的验证提供了一定的帮助，在此致谢。

笔者自知才疏学浅，仅略知人脸检测、人脸识别、人脸检索之皮毛。书中谬误之处在所难免，如蒙读者不吝告知（邮箱：chongsheng.zhang@yahoo.com，微信号：A13938613173），将不胜感激。

张重生

2017年4月

目 录

第 1 章 人脸检测、人脸识别与人脸检索概述.....	1
1.1 人脸检测、人脸识别与人脸检索的应用场景.....	2
1.1.1 当前应用.....	3
1.1.2 未来应用.....	5
1.2 人脸检测、人脸识别与人脸检索常用的数据集.....	5
1.2.1 LFW 数据集.....	5
1.2.2 FDDB 数据集.....	6
1.2.3 Wanwan1 数据集.....	7
1.2.4 Wanwan2 数据集.....	8
1.3 OpenCV 的简介、安装与使用.....	8
参考文献.....	15
第 2 章 图像处理基础.....	16
2.1 数字图像处理的基本概念.....	16
2.1.1 像素.....	17
2.1.2 分辨率.....	17
2.1.3 图像的色调、亮度和饱和度.....	19
2.1.4 图像的对比度.....	22
2.1.5 图像的纹理.....	23
2.2 颜色空间.....	26
2.2.1 RGB 颜色空间.....	26
2.2.2 HSV 颜色空间.....	27
2.2.3 YUV 颜色空间.....	27
2.2.4 颜色空间的转换.....	28
2.3 数字图像处理的基本操作.....	32
2.3.1 图像的读取.....	32
2.3.2 图像的显示.....	34

2.3.3 图像的修改	35
2.3.4 图像的保存	36
2.3.5 获取图像的基本信息	37
2.4 图像类型及转换	38
2.4.1 图像类型	39
2.4.2 图像类型的转换	39
2.5 图像变换处理	48
2.5.1 图像的平移	48
2.5.2 图像的旋转	51
2.5.3 图像的缩放	52
2.5.4 图像的剪切	55
2.5.5 图像的翻转	58
2.6 图像的噪声和滤波	60
2.6.1 常见的噪声模型	60
2.6.2 经典的去噪算法	64
第3章 人脸检测实战	67
3.1 DPM 人脸检测算法	67
3.1.1 DPM 人脸检测算法的使用	68
3.1.2 DPM 人脸检测算法的原理	69
3.1.3 DPM 人脸检测算法的检测结果	73
3.2 LAEO 人脸检测算法	74
3.2.1 LAEO 人脸检测算法的使用	74
3.2.2 LAEO 人脸检测算法的原理	75
3.2.3 LAEO 人脸检测算法的检测结果	77
3.3 Viola&Jones 人脸检测算法	79
3.3.1 Viola&Jones 人脸检测算法的使用	79
3.3.2 Viola&Jones 人脸检测算法的原理	79
3.3.3 Viola&Jones 人脸检测算法的检测结果	82
参考文献	83
第4章 基于深度学习的人脸检测算法	84
4.1 CNN Facial Point Detection 人脸检测算法	84
4.1.1 CNN Facial Point Detection 人脸检测算法的使用	85

4.1.2 CNN Facial Point Detection 人脸检测算法的原理.....	85
4.1.3 CNN Facial Point Detection 人脸检测算法的检测结果.....	86
4.2 DDFD 人脸检测算法.....	87
4.2.1 DDFD 人脸检测算法的使用.....	87
4.2.2 DDFD 人脸检测算法的原理.....	88
4.2.3 DDFD 人脸检测算法的检测结果.....	89
4.3 人脸检测算法融合.....	90
参考文献.....	92
第 5 章 基于 Fast R-CNN 的人脸检测.....	94
5.1 Fast R-CNN 简介.....	94
5.2 Fast R-CNN 的特点和结构.....	95
5.3 Fast R-CNN 的使用.....	96
5.4 数据集的预处理.....	97
5.5 EdgeBoxes 的使用.....	98
5.6 使用 EdgeBoxes 提取 object proposal.....	99
5.7 基于 Fast R-CNN 训练人脸检测网络模型和测试.....	100
5.7.1 训练阶段.....	100
5.7.2 测试阶段.....	106
5.7.3 评估阶段.....	108
5.7.4 优化阶段.....	111
参考文献.....	112
第 6 章 人脸识别实战.....	113
6.1 DeepID 算法.....	114
6.1.1 DeepID 算法的原理.....	114
6.1.2 DeepID 算法的流程.....	116
6.1.3 DeepID 算法的结果.....	126
6.2 VGG Face Descriptor 算法.....	128
6.2.1 VGG Face Descriptor 算法的原理.....	128
6.2.2 VGG Face Descriptor 算法的实现.....	129
6.2.3 VGG Face Descriptor 算法的结果.....	131
6.3 OpenCV 中的 3 种人脸识别算法.....	132
6.3.1 Eigenfaces.....	132

6.3.2	Fisherfaces	140
6.3.3	Local Binary Patterns Histograms	148
6.4	人脸识别算法对比分析	152
6.5	小结	153
	参考文献	155
第 7 章	人脸检索实践	157
7.1	人脸检索简介	157
7.2	计算人脸相似度的方法	158
7.2.1	欧氏距离	159
7.2.2	余弦相似度	159
7.3	查询处理算法	161
7.4	评价人脸检索结果的标准	161
7.5	PHash 算法	161
7.5.1	PHash 算法的使用	162
7.5.2	PHash 算法原理	162
7.5.3	PHash 算法实现	162
7.5.4	PHash 算法的实验数据、实验结果及分析	164
7.6	DHash 算法	168
7.6.1	DHash 算法的使用	168
7.6.2	DHash 算法原理	168
7.6.3	DHash 算法实现	169
7.6.4	DHash 算法的实验数据、实验结果及分析	170
7.7	PCA 算法	173
7.7.1	PCA 算法的使用	173
7.7.2	PCA 算法原理	174
7.7.3	PCA 算法实现	175
7.7.4	PCA 算法的实验数据、实验结果及分析	177
7.8	BoF 特征	181
7.8.1	BoF-SIFT 算法的使用	182
7.8.2	BoF-SIFT 算法原理	182
7.8.3	BoF-SIFT 算法实现	182
7.8.4	BoF-SIFT 算法的实验数据、实验结果及分析	188

7.9 用于图像快速检索的 KD-Tree 索引	190
7.9.1 FLANN 算法的使用	191
7.9.2 KD-Tree 的创建与查询处理	191
7.9.3 FLANN 中 KD-Tree 的算法实现	192
7.9.4 FLANN 算法的实验数据、实验结果及分析	194
7.10 Gabor 算法	195
7.10.1 Gabor 算法的使用	196
7.10.2 Gabor 算法原理	196
7.10.3 Gabor 算法实现	199
7.10.4 Gabor 算法的实验数据、实验结果及分析	204
7.11 HOG 算法	208
7.11.1 HOG 算法的使用	209
7.11.2 HOG 算法原理	209
7.11.3 HOG 算法实现	210
7.11.4 HOG 算法的实验数据、实验结果及分析	212
7.12 深度学习特征	215
7.12.1 深度学习算法的使用	215
7.12.2 深度学习算法原理	215
7.12.3 深度学习算法实现	216
7.12.4 深度学习算法的实验数据、实验结果及分析	216
参考文献	220
第 8 章 人脸检测商业软件及其应用示例	222
8.1 人脸检测商业软件之 VeriLook	222
8.2 人脸检测商业软件之 Face++	226
8.3 各种人脸检测算法的对比分析	229
8.4 视频中的人脸检测与追踪	231
参考文献	234

第 1 章

人脸检测、人脸识别与人脸检索概述

视频和图像中人脸的检测、识别和检索，这些图像处理技术和应用在当今的科技发展中发挥着越来越重要的作用。例如，在公安、交通应用中，人群密度高的区域、城市的道路上都已部署了大量的监控摄像头（分辨率多为 200 万像素的高清数字摄像机），实现对目标人物（如可疑人物、犯罪嫌疑人）及其活动轨迹的全自动识别和检索，在公安和交通等应用中具有极其强烈的现实需求（目前主要通过人眼对视频进行人工分析，即办案人员用眼睛盯着视频、逐帧查看、反复比对，这一过程通常极为耗时）。要想实现对这些视频的全自动、智能分析，就需要准确地对人脸进行检测、识别和检索。而人脸检测、人脸识别和人脸检索，是当今智能识别的商业应用中迫切需要解决的现实问题。本书以实例为驱动，从应用的角度全面介绍、讲解、分析人脸检测、人脸识别和人脸检索问题中的经典算法及其应用。

“人脸检测”和“人脸识别”是两个容易混淆的概念。通俗地讲，人脸检测是根据肤色等特征定位人脸区域；人脸识别是识别这个人到底是谁。换句话说，需要首先在图像中检测出人脸的区域，即人脸检测，然后再使用人脸识别的算法，

识别出图像中的人到底是谁。而人脸检索，指给定一个或多个包含人脸的输入图像，从图像库或视频库中检索包含所输入图像中的人脸的那些图像。人脸检测和人脸检索通常都是非监督学习的过程，即图像一般都没有标签/分类；而人脸识别是有监督学习的过程，需要使用一定数量的有标签的图像训练分类模型。近年来，随着深度学习的发展，使用大量有标记的人脸图像训练的人脸识别模型，能够更加准确地提取人脸特征，用于人脸的检索、检测中。

需要说明的是，尽管现有算法在 LFW 等公开数据集上取得了 96% 甚至更高的准确度，但人脸检测、人脸识别与人脸检索仍然是一个尚未很好解决的实际问题。事实上，尽管 LFW 数据集比原有的公开数据集更加具有挑战性、更加接近真实应用，但其仍然只是一个非常简单和初级的数据集，远不能代表真实应用场景。由于表情、年龄变化、光线变化、不同姿态、不同图像分辨率等因素，现有的技术还达不到完全好用的程度。事实上，多数相关产品都要求正脸照，很多商业软件还需要手动采集不同光照、有无眼镜时人的图像。

1.1 人脸检测、人脸识别与人脸检索的应用场景

人脸检测是计算机视觉中的一个重要方向，也是一个和人们生活息息相关的研究方向，因为人脸是人最重要的外貌特征。利用计算机智能地检测、识别并分析人脸的特征信息，并利用这些信息进行进一步处理，可以使人们的生活更加方便化、安全化和自动化。

人脸检测技术在最近几年取得了突破性的进步。最初，人脸检测只能在无背景图片中检测出人脸的位置。现在，部分人脸检测技术可以准确地检测出自然场景下多种角度的人脸；可以判断两张人脸是否为同一个人；可以根据人脸分析人的年龄、性别和表情等。在人脸检测技术发展的过程中，出现了一系列的应用。本节就对基于人脸检测、人脸识别和人脸检索技术的应用做一个简单的概述。