

人脸

识别与



曹林 / 著

人体动作

识别

技术及应用



人脸识别与人体动作识别 技术及应用

曹 林 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书以模式识别的一些基本理论与方法为基础,重点讨论了模式识别在人脸识别、人脸配准、人脸检测、素描人脸识别、图像超分辨率重建、Kinect 人体动作识别中的应用。全书共分 7 章,第 1 章概述了人脸识别技术与人脸图像超分辨率重建技术的发展现状。第 2 章提出了基于人脸纹理特征点 3D 人脸配准算法和基于均值权重粒子滤波器的人脸检测跟踪算法。第 3 章提出了基于 LBP 的素描人脸识别算法。第 4 章提出了一种基于 Gabor 小波变换和隐马尔可夫模型的人脸识别算法。第 5 章提出了一种基于分块 PCA 的单帧人脸超分辨率算法。第 6 章提出了基于空间几何角度信息的人体动作识别算法。第 7 章实现了一种基于 Kinect 的手势识别算法,完成了对智能小车的控制。

本书可供从事图像理解与识别、生物特征识别及相关研究和开发的教师、研究生及工程技术人员参考。

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

人脸识别与人体动作识别技术及应用 / 曹林著. —北京:电子工业出版社, 2015.8

ISBN 978-7-121-26660-7



I. ①人… II. ②曹… III. ①图像识别 ②人体—运动—图像识别 IV. ①TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 161226 号

策划编辑:董亚峰

责任编辑:郝黎明

印 刷:三河市华成印务有限公司

装 订:三河市华成印务有限公司

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:720×1 000 1/16 印张:13.25 字数:339.2 千字

版 次:2015 年 8 月第 1 版

印 次:2015 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。

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

服务热线:(010) 88258888。

展 望



本书以模式识别的一些基本理论与方法为基础，重点讨论了模式识别在图像配准、人脸检测、素描人脸识别、图像超分辨率重建、Kinect 人体动作识别中的应用。其中两个章节涉及小波分析领域关于人脸识别的应用。现如今人脸识别及人体行为动作研究已经取得了一定研究成果，但是这并不说明它的弊端问题已经得以解决。

以物体之间的遮挡为例，此时人体部分被遮挡，如何剥离与之重叠的物体，并完整地分割出人体目标将是一个挑战。可以将监控视频中目标人体各个部位的定位与分割作为研究的切入点，通过对大量人体样本的训练与学习，从而精准地识别出人体的各个部位，并由此构建出人体骨架。对于实时性来讲，它受多方面因素的影响，如硬件条件、算法的复杂度、算法的识别效率，其间需要找到一个平衡点来处理这些影响。另外，图像配准在实际应用中的严格性也是一个挑战，由于它的准确度很多情况下并不尽如人意，因此，图像配准常常需要手工矫正，自动图像配准技术仍然是一个难题。

问题的存在其实并不能掩盖它们在实用性方面的价值，人脸识别技术在生物特征识别领域、司法领域、访问权限控制领域等均有应用。很显然，传统的人脸识别已经趋近成熟，这势必带来研究热点的一个新的转移。目前，异质人脸识别领域的素描人脸识别以及漫画人脸识别正在悄然兴起，这无疑给人脸识别研究注入新的动力。然而，异质人脸识别研究并不像传统研究那样简单，作为新兴事物，它正面临着一系列的挑战。用于刑侦的素描人脸识别与常规人脸识别不同，素描人脸识别通常都是正向的，姿态影响较小；表情通常为中性表情，表情变化较小；光照条件人为可控，基本不受光照影响。素描人脸识别的困难在于，刑侦专家根据目击者的描述所画的图像与真实图像之间的“像几分”问题。现场临摹的素描图与真实人像之间的相似度较大，相对识别效果较好；事后回忆的素描图与真实人像之间的差异偏大，识别率

必然降低,但实际应用中,刑侦素描人脸识别往往不需要 Rank-1,因此识别率可通过 Rank-N 提高。

未来,合成素描照,即通过软件处理或其他手段得到的素描照,或许会提高法医素描照识别的可操作性。它可以通过 CBR (Component Based Representation) 来处理原图和合成素描图之间的形态差距,以 ASM 检测人脸的局部信息,以 MLBP 捕捉纹理和结构特征作为切入点,这里不同局部图像之间存在的相关性将会是未来研究的重点。但是年龄问题仍然是亟待解决和不可避免的,同一个人不同时间段的照片(与素描照)匹配度能否理想也是未来研究的一个方向。

当前,基于原型的可操作异质人脸识别框架表明,异质面部特征或许可以用到异质人脸图像匹配上。当在复杂场景下进行红外热像与原图匹配时,就需要考虑到诸多不确定因素,这仍然是目前研究努力的一个方向,就像深度图像的人脸匹配需要使用到 LIDAR 传感器。已经证明这种传感器在远距离捕获高分辨率图像上具有较为优秀的能力,这将在人工智能及法律实施应用上形成一种可实施的人脸识别场景。

异质人脸识别领域的另一热点——漫画人脸识别技术或许会成为未来研究的一个新方向,随着大量数据库的开放,将有助于一些研究者找到新的算法来处理这类问题。对于漫画人脸识别,单一的算法是很难做到较高的识别率的,不同算法的结合应该会是新的思路。也许我们可以利用漫画人脸与原图特征点的相对位置,及各特征点之间的相对距离,探索新的研究方式。

另外,基于 Kinect 的人体动作研究目前大都针对于单个人体动作的识别,研究层面尚且较浅。很显然,实时的实现多目标的人体动作识别或将成为目标检测新的研究热点。例如,小组人群目标的检测,即多个人在同一时刻表现出不同的行为,若将其实时的检测出来,而不是分别对单个目标检测后组合,这样检测识别效率明显提高,应用性势必会得到提升。就社会意义来讲,人体动作识别的最终目标即是实现异常目标人体动作的识别,然而这仍然任重道远。

图像超分辨率重建技术目前处于研究初级阶段,由于其社会意义重大,很多研究者们仍然希望找到更为高速高效的算法,如盲超分辨率重建方法、概率模型方法等。实际情况下,人们更需要在“盲的”情况下进行超分辨率重建,对于重建质量,仍然需要进一步提高。未来继续在运动估计、退化模型、压缩视频、算法优化等方面进行更深入的研究或许会取得新的进展。

前 言



人脸识别与人体动作因其在公安、视频监控、人机交互等方面良好的应用前景而成为近年来模式识别、图像处理等领域中的研究热点。虽然人类可以毫无困难地通过人脸而识别出某个人,但要建立一个能够完全自动进行人脸识别的人工智能系统却非常困难。困难的原因在于人类对视觉认知机理的了解还很肤浅,还不知道如何用数学来准确描述认知现象。使用图像处理技术来进行人脸识别时,困难表现在:人脸光照模式的不确定性,人脸表情的多样性和人脸姿态的随意性。到目前为止,已经取得的研究成果离这一问题的彻底解决还有很大的距离。

本书以模式识别的一些基本理论与方法为基础,重点讨论了模式识别在图像配准、人脸检测、素描人脸识别、图像超分辨率重建、Kinect 人体动作识别中的应用。全书共分 7 章,各章节主要内容如下:

第 1 章概述了人脸识别技术与人脸图像超分辨率重建技术的发展现状,并介绍了人体行为识别的研究进展。

第 2 章提出了基于人脸纹理特征点 3D 人脸配准算法。通过对 3D 人脸投射到 XOY 平面,获取正面人脸纹理图,利用 VOSM 算法实现了 3D 人脸数据库的重建以及配准。提出基于均值权重粒子滤波器的人脸检测跟踪算法,提高了系统对于人脸跟踪的准确度。

第 3 章提出了一种新的素描人脸识别,以 LBP 算子描述素描人脸和光学照人脸的相似性,采用 DOG 滤波器进一步提升了图像纹理效果。利用机器学习思想,加入分块特征,实现了素描人脸识别。提出了基于 SIFT 特征的人脸验证算法,以 SIFT 特征为基础,划分为数量特征和位置特征进行验证,实现了人脸验证。

第 4 章提出了一种基于 Gabor 小波变换和隐马尔可夫模型的人脸识别算法,以及基于 Gabor 小波变换、独立元分析和隐马尔可夫模型的人脸识别方

法。上述方法识别率高,复杂度较低,对部分遮挡的图像具有较大的容忍度。

第5章提出了一种基于分块PCA的单帧人脸超分辨率算法。此算法用人脸图像块位置信息表征人脸图像的全局结构,图像块内容表征人脸图像的细节,进而重建出高分辨率人脸图像。

第6章提出了一种基于深度传感器提取人体骨骼空间角度信息的动作识别方法和一种基于三维时空特征的人体行为识别算法。上述算法着眼于虚拟现实、人机交互中的人体动作识别,利用空间几何角度来实现人体动作识别。

第7章实现了一种基于Kinect的手势识别算法,完成了对智能小车的控制。

本书的出版得到了北京市属高校青年拔尖人才培养计划(项目号:CIT&TCD201304119)、国家科技重大专项煤层气田地面集输信息集成及深度开发技术(项目编号:2011ZX05039-004-02)、人才培养项目—学科与研究生教育水平提高项目(项目号:5111524100)等科研项目的资助,在此一并表示感谢。

由于时间仓促,书中难免存在不足,欢迎读者对本书批评指正。

目 录



第 1 章 绪论	1
1.1 人脸识别技术的研究与应用	1
1.1.1 国内外人脸库介绍	2
1.1.2 国内外研究现状	2
1.1.3 人脸识别技术的难点和发展趋势	3
1.2 人脸图像超分辨率重建技术的研究与实现	4
1.2.1 图像超分辨率的发展及国内外研究现状	8
1.2.2 低分辨率图像退化模型	10
1.3 空间角度的人体行为识别介绍	11
1.3.1 国内外研究现状	13
1.3.2 人体行为视频数据库	14
本章参考文献	17
第 2 章 人脸图像配准和人脸检测跟踪	21
2.1 人脸配准简介	21
2.1.1 3D 人脸配准简介	22
2.1.2 数据库简介	22
2.2 3D 人脸配准	23
2.2.1 获取纹理图像	24
2.2.2 检测特征点	25
2.2.3 细化特征点位置	25
2.2.4 特征点模型标准化	27
2.2.5 3D 人脸模型配准	28

2.3	人脸检测简介与常用算法介绍	30
2.3.1	神经网络	31
2.3.2	支持向量机 (SVM)	32
2.3.3	AdaBoost 算法	32
2.4	Gentle AdaBoost 人脸检测算法	33
2.4.1	图像训练预处理	33
2.4.2	haar 特征选择和积分图的计算	34
2.4.3	Gentle AdaBoost 算法	35
2.5	实时人脸跟踪	39
2.5.1	均值权重粒子滤波器	40
2.5.2	人脸检测校正策略	41
2.5.3	人脸检测和跟踪实验结果分析	42
2.6	本章小结	45
	本章参考文献	46
第 3 章	人脸验证和素描人脸识别	48
3.1	人脸验证简介	48
3.2	SIFT 匹配算法	50
3.2.1	SIFT 算子	50
3.2.2	SIFT 匹配	51
3.2.3	SIFT 数量特征匹配分析	52
3.3	SIFT 位置特征的人脸验证算法	53
3.4	人脸验证实验结果与分析	55
3.4.1	SIFT 数量特征的人脸识别	56
3.4.2	结合 SIFT 位置特征的人脸验证	57
3.4.3	和传统人脸验证算法的对比	59
3.5	人脸识别简介	61
3.6	LBP 识别算法	62
3.6.1	LBP 基本算子	62
3.6.2	LBP 人脸识别	63
3.6.3	LBP 算法分析	64
3.6.4	滤波器分析	65

3.7 结合 LBP 和分块特征的识别算法	66
3.7.1 训练算法	66
3.7.2 识别过程	70
3.8 素描人脸识别实验结果和分析	70
3.8.1 训练样本数量分析	71
3.8.2 特征数量对识别效果的影响	72
3.8.3 识别级别对识别结果的影响	73
3.8.4 和目前已存在算法进行比较	74
3.8.5 交叉验证实验	75
3.9 本章小结	76
本章参考文献	76
第 4 章 Gabor 小波在人脸识别中的应用研究	79
4.1 人脸识别典型方法	80
4.1.1 子空间方法	80
4.1.2 基于连接机制的人脸识别方法	80
4.1.3 隐马尔可夫模型识别方法	81
4.1.4 基于贝叶斯的人脸识别方法	81
4.1.5 基于流形的人脸识别	82
4.2 隐马尔可夫模型	83
4.2.1 隐马尔可夫模型介绍	83
4.2.2 隐马尔可夫模型的三个基本问题	84
4.2.3 隐马尔可夫模型算法实现中的问题	89
4.3 基于 Gabor 脸和 HMM 的人脸识别方法	95
4.3.1 研究背景	95
4.3.2 Gabor 小波概述	97
4.3.3 利用 Gabor 小波进行特征提取	100
4.3.4 主元分析降维	103
4.3.5 HMM 人脸识别	104
4.3.6 算法复杂度分析	107
4.3.7 实验结果及分析	109
4.3.8 结论	117
4.4 基于 Gabor 小波、ICA 和 HMM 的人脸识别方法	117
4.4.1 独立元分析降维	117

4.4.2	实验结果及分析	119
4.4.3	结论	123
4.5	本章小结	125
	本章参考文献	127
第 5 章	人脸图像超分辨率重建	130
5.1	基于 PCA 的人脸超分辨率重建	131
5.1.1	PCA 算法原理	131
5.1.2	算法流程	131
5.2	全局重建和残差补偿结合的人脸超分辨率重建	133
5.2.1	人脸超分辨率重建的约束条件	133
5.2.2	全局人脸重建	134
5.2.3	残差补偿	135
5.3	基于分块 PCA 的单帧人脸图像超分辨率重建	136
5.3.1	图像分块策略	136
5.3.2	训练库生成策略	138
5.3.3	算法流程	139
5.4	本章小结	142
	本章参考文献	143
第 6 章	Kinect 人体动作识别	144
6.1	基于 Kinect 骨骼空间几何角度的动作识别	145
6.1.1	人体骨骼信息获取	145
6.1.2	骨骼空间角度特征提取	146
6.1.3	多分类支持向量机	151
6.1.4	训练与识别结果分析	153
6.2	基于三维时空特征的人体行为识别	157
6.2.1	时空直方图特征提取	157
6.2.2	基于图像显著性的轮廓特征提取	163
6.2.3	基于 SVM 的人体行为识别	166
6.2.4	行为识别结果及分析	166
6.3	本章小结	170
	本章参考文献	170

第 7 章 Kinect 应用示例	172
7.1 基于深度信息的手势识别的实现	172
7.1.1 基于 Kinect 的深度信息的获取	173
7.1.2 手部区域分割	174
7.1.3 手势分类	179
7.1.4 实验结果	184
7.2 智能小车的设计与实现	190
7.2.1 模块介绍	190
7.2.2 PC 端控制程序	194
7.2.3 智能小车制作与控制	195
7.3 本章小结	197
本章参考文献	197

第 1 章

绪 论



1.1 人脸识别技术的研究与应用

现代社会中,随着计算机技术的高速发展,计算机技术已经融入了人们生活的方方面面,人们和计算机进行交互的场合也越来越多,人工智能技术成为了许多学者研究的热点和重点。让计算机像人类一样思考,是人们一直以来在努力实现的目标,从“深蓝”象棋机器人的诞生,到现在的人工智能机器人可以和人进行简单交流,人工智能技术已经取得了长足的发展。同时,随着人工智能的发展,利用计算机代替人工作,也是人们对人工智能技术发展的一个重要需求。安全问题是各个国家都十分看重的问题,而人工智能在安全问题方面可以提供非常大的帮助,智能安防系统在近年来已经进入人们的生活中。其中,人脸识别^[1]技术,正是人工智能领域的关键技术。人脸识别的相关技术包括人脸检测和跟踪,人脸验证以及各类人脸识别等,这些技术都可以广泛地应用于智能机器人、智能视频监控系統、门禁系統中。因此人脸识别不仅是一项拥有极高学术研究价值的技术,还是一个有巨大商业价值的技术。尽管人脸识别技术已经发展多年,但是还未能达到人们预期的目标。由于以上原因,人们对于人脸识别技术研究从未停止。本书在前人的研究基础上,对人脸识别技术进行了深入的研究,为了全面地研究人脸识别技术,实现人脸识别的整个流程,下面按图像配准、人脸检测和跟踪、人脸验证以及人脸识别的顺序,完成人脸识别技术所有步骤,对人脸识别技术的各个方面进行了完整的展现。

1.1.1 国内外人脸库介绍

人脸识别技术属于大数据技术的一种,因此作为人脸识别的基础,人脸库的建立不可缺少。国内外已经建立许多权威人脸库,具体介绍如下:

(1) FERET 人脸数据库。本数据库是由美国军方建立的人脸数据库,共有 14000 多幅图片,每人对应 7 幅图像,在不同的姿态、表情和光照条件下采集。采集的人脸多数是由西方人构成的,人种较为单一。

(2) CMU-PIE 人脸数据库。本数据库由美国卡内基梅隆大学所建立,库中共有 68 名志愿者共 41368 幅图像,每幅图像的姿态和光照条件都进行了严格控制。

(3) YALE 人脸数据库。由耶鲁大学建立的人脸数据库,包含了 15 名志愿者以及对应的 165 幅图像。

(4) ORL 人脸数据库。由剑桥大学的 AT&T 实验室所建立的人脸数据库,由 40 名志愿者以及对应的 400 幅图像所组成,是人脸识别研究最常用的人脸数据库之一。

(5) MIT 人脸数据库。由麻省理工大学所建立的人脸数据库,包括 16 名志愿者以及对应的 2592 幅不同姿态、光照等条件的图像。

(6) CAS-PEAL 人脸数据库。中国最大的人脸数据库^[2],是中国人脸库中最具权威的数据库。该数据库由中科院计算所建立,包括 1040 名志愿者,对应不同表情、光照、年龄、饰物等条件的共 99450 幅图像。

(7) BJUT-3D 3D 人脸数据库。由北京工业大学建立的第一个中国人的 3D 人脸数据库^[3],是国内常用 3D 人脸数据库,有男女各 250 名,共 500 幅 3D 人脸图像。

(8) CHUK 素描人脸数据库。由香港大学所建立的素描人脸数据库^[4],主要用于研究素描人脸识别,数据库包含有 606 人,分别来自香港大学人脸数据库以及其他数据库,每人都有一幅常规光学人脸图像以及对应的一幅素描人脸图像。

还有其他一些常用数据库,因为篇幅有限,没有一一列举。

1.1.2 国内外研究现状

早在 1964 年,国外就开始了对人脸识别的相关研究。研究初级人脸识别并没有单独作为一个研究领域,只是作为一般性的模式识别问题进行研究,方法也大多是针对人脸几何特征实现的算法。进入 20 世纪 90 年代后,人脸研究突飞猛进,不仅建立了数个大型人脸库的建立,而且出现了一些商业化的人脸识别系统。

麻省理工大学在这个阶段提出的特征人脸算法 (Eigenface) 被公认为是经典的人脸识别算法。与此同时, 由 Belhumeur 等提出的 PCA 结合 LDA 的人脸识别算法, 也是人脸识别算法的一个里程碑^[5, 6]。在 20 世纪 90 年代末, Viola 提出了 AdaBoost 算法^[7], 在人脸检测方面取得了突破性进展, 为后续人脸检测的相关研究奠定了基础。除此之外, 还有像 Gabor、神经网络等方法。20 世纪后, 3D 人脸识别的相关研究开始崭露头角, 3D 人脸识别、3D 人脸检测等算法也相应出现。在 3D 人脸研究方面做出突出贡献的 Blanz 和 Vetter, 最先提出了基于 3D 变形^[8, 9] (3D Morphable Model) 模型人脸识别, 解决了人脸检测与识别难以解决的多姿态问题。同时, 在这一阶段, 更多的 2D 人脸识别算法也相应提出, 支持向量机 (Support Vector Machine, SVM)^[10]作为统计学习理论的代表算法, 是最为突出的。

相比于国外, 国内的发展相对较晚, 但是发展迅速, 在 20 世纪 90 年代起, 国内开始在人脸技术方面进行相关研究, 各个研究机构开始建立。最有代表性的研究机构以及学校包括, 清华大学计算机系、自动化系和电子系, 代表人物有徐光佑教授、边肇祺教授等; 哈尔滨工业大学计算机系和中科院计算技术研究所合作的研究组, 代表人物有高文教授、陈熙霖教授等; 中科院自动化研究所模式识别国家重点实验室, 代表人物有谭铁牛博士、王蕴红博士等; 北京交通大学, 代表人物有袁保宗教授等; 北京工业大学, 代表人物有沈兰荪教授、尹宝才教授等。还有许多研究机构和学校就不一一列举, 这些研究机构, 研究小组和学校在人脸识别以及其他模式识别领域进行了许多有意义的尝试, 取得了非常多的研究成果。

1.1.3 人脸识别技术的难点和发展趋势

尽管人脸识别以及相关的研究已经取得了非常多的成果, 但是仍有一些研究难点并未解决。

1. 光照影响

光照因素对于各类人脸研究的影响是非常巨大的, 无论是检测、识别还是验证。在光照条件不理想 (过强或者过弱) 的情况输入待处理图像, 会导致结果误差增大。目前解决这一问题的方法有两种: 第一是通过算法对图像进行光照补偿处理, 消除部分光照影响; 第二是通过外部条件实现, 如让检测、识别以及验证人脸区域的光照保持在合理程度, 或者直接采用不受光照影响的红外图像等来实现算法。在这两种方法中, 第一种节约成本但是效果不好, 第二种

效果更佳，但是成本更大。

2. 姿态影响

人脸的姿态会影响到各类人脸识别算法的效果，因为人脸识别的研究基础是人脸数据库，而人脸数据库中收集的人脸一般都是正面姿态的人脸，所以对其他姿态的人脸容忍度都比较低。针对这个问题，一般在训练的时候，加入其他类型姿态的人脸，增加算法对多姿态人脸的鲁棒性。另一类方法，采用 3D 人脸可以有效地解决多姿态问题，因为 3D 人脸本身具有可旋转性，可改变模型的姿态，但是 3D 人脸获取困难，很难在一般设备上得到普及。

3. 目标图像的分辨率影响

一般来说，目标图像的分辨率越高，目标人脸保留的信息也越多，因此人脸识别率更高。相反的分辨率低的图像会造成识别率下降。增强监控设备获取图像的像素是一个很好的解决手段，然而在一些情况下获取的图像往往是低分辨率的，因此针对这个情况，一些学者提出了图像超分辨重建算法，通过训练的方法由低分辨率的图像获取高分辨率的图像。

与此同时，人脸识别的发展也取得了长足的进步，主要从深度和广度两个方面分析：

(1) 深度方面，人脸识别的相关技术已经和人们生活息息相关。人脸识别的相关技术可用于安防系统，譬如门禁系统、监控系统等。因此人脸识别相关技术已经走向了商业化、产业化，同时算法的稳定性，兼容性也在不断提高。

(2) 广度方面，人脸识别技术也从开始的 2D 人脸识别、同质人脸识别等，发展到 3D 人脸识别以及异质人脸识别。3D 人脸识别技术在虚拟现实领域发挥巨大的作用，同时异质人脸识别的相关技术也能为医学、刑侦等领域提供巨大的帮助。因此人脸识别的相关技术将在未来扮演更加重要的角色。

1.2 人脸图像超分辨率重建技术的研究与实现

数字图像处理是一门迅速发展的学科，它与人类的生活越来越密不可分，随着对计算机研究的不断深入，图像处理已经在很多领域中广泛应用，如机器视觉、工业检测、遥感卫星，图像传输、医学图像及视频监控等。

图像是经过图像观测系统,以不同形式和手段对真实的客观世界进行二维平面投影得到的。现实生活中,很多因素会不可避免地造成图像质量的下降,这些因素包括传感器的形状和尺寸、光照的影响、运动模糊、噪声干扰等,因此获得一幅高分辨率的图像几乎是不可能的。提高图像分辨率最直接的方法是提高成像装置的分辨率,但是受传感器阵列排列密度的限制,提高传感器的空间分辨率越来越难,通常采用的方法是减少单位像素的尺寸(即增加单位面积内的像素数量),例如:对于数字摄像机来说,就是减少其传感单元的尺寸,从而提高传感器的阵列密度,使其能够分辨出更多场景细节,但是成本会很高。另外,现有的技术工艺也限制了图像分辨率的进一步提高。因此从硬件方面来提高图像的分辨率是不切实际的。因此从软件方面着手来提高图像的分辨率,即超分辨率重建技术(Super Resolution Reconstruction, SRR)有着极大的现实意义和应用价值。

图像分辨率是指图像在单位长度上具有的像素数,单位一般为“像素/英寸”(pixel/inch),通常将分辨率作为衡量图像细节丰富程度的指标。图像质量的优劣和图像分辨率有着紧密的联系,图像的分辨率越高代表图像质量越好,越清晰,并且含有的高频信息越丰富。高分辨率图像的像素密度高,图像细节信息丰富,在实际应用中这些细节信息是很重要的。例如,高分辨率的医学影像可以帮助医生做出更精确的诊断;高分辨率的卫星图像有助于判断出地面上的相似建筑物或物体;高分辨率的人脸图像能够更准确有效地检测和识别人脸,在刑侦领域帮助警察更快地识别犯罪嫌疑人的相貌,加速破案。因此,在实际生活中高分辨率图像有很高的应用价值,对高分辨率图像的强烈需求有力地推动了图像超分辨率研究领域的发展^[1]。

图像超分辨率重建技术就是利用软件的方法,将一幅或多幅低分辨率(Low Resolution, LR)图像重建成一幅高分辨率(High Resolution, HR)图像的过程。图 1.1 是两组低分辨率图像进行超分辨率重建后的效果图,左边的图像是低分辨率的,右边的图像的是重建的图像,通过对比可知,重建后的图像更清晰,噪声也降低了,如字母,边界部分都清晰可见。

超分辨率问题的解决涉及许多图像处理、计算机视觉、优化理论等领域中的基本问题,例如图像配准、图像分割、图像压缩、图像特征提取、图像质量评价、机器学习、最优化算法等,超分辨率是这些基本问题的一个具体应用领域,同时也对它们的研究进展起到了推动的作用。因此超分辨率问题本身的研究具有重要的理论意义。

图像超分辨率重建技术在很多领域都有着广阔的应用前景^{[1],[2]},包括以下几个方面。