



电子信息前沿技术丛书



A Selection of Image Engineering Techniques

图像工程技术选编

章毓晋 编著

ZHANG Yu-Jin

41

清华大学出版社

电子信息前沿技术丛书



A Selection of Image Engineering Techniques

图像工程技术选编

章毓晋 编著

ZHANG Yu-Jin

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书选取了 10 类当前得到广泛使用的图像技术给予介绍。具体包括: 噪声消除技术、图像修补技术、数字水印技术、超分辨率技术、图像分割技术、人脸识别技术、表情分类技术、图像融合技术、图像检索技术和时空理解技术。

对每类技术, 先对其中的基本概念、工作的基本原理、过程的基本步骤给予概括介绍, 以帮助了解和学习该类技术; 接下来介绍几种具体实现技术功能的典型方法作为示例, 了解该类技术的特点, 以帮助有效运用该类技术进行图像加工; 最后介绍一些近年来在相关技术方面发表的文献, 总结归纳它们的特点, 以帮助深入开展进一步的工作。

本书主要供电信行业、交通管理、电视广播、媒体传播、光学仪器、生物医学工程、机器人自动化、电子医疗设备、遥感、测绘、航天、公安和军事侦察等涉及图像领域的科技工作者及公司研发人员参考; 也可供大学本科生开展图像相关科技活动和科技制作参考; 还可作为信号与信息处理、通信与信息系统、电子与通信工程、模式识别与智能系统、计算机视觉等学科相关课程的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签, 无标签者不得销售。

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

图像工程技术选编/章毓晋编著. —北京: 清华大学出版社, 2016

电子信息前沿技术丛书

ISBN 978-7-302-43401-6

I. ①图… II. ①章… III. ①图像处理 IV. ①TN911.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 075639 号

责任编辑: 文 怡

封面设计: 李召霞

责任校对: 梁 毅

责任印制: 李红英

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座

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

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者: 北京嘉实印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm

印 张: 15.5

字 数: 386 千字

版 次: 2016 年 7 月第 1 版

印 次: 2016 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 1~2000

定 价: 49.00 元

产品编号: 068942-01

前言

FOREWORD

本书是一本面向实际应用介绍图像工程技术的图书。本书与教材和专著都有所不同,但又试图结合它们的一些特点。本书的读者定位于原先没有很多图像技术的基础,但又需要利用图像技术解决特定工作任务的科技工作者。

本书除引言外正文共分为 10 章,分别介绍 10 种图像技术。它们是:噪声消除技术、图像修补技术、数字水印技术、超分辨率技术、图像分割技术、人脸识别技术、表情分类技术、图像融合技术、图像检索技术和时空理解技术。

本书正文各章均由三部分组成。第一部分介绍该技术的基本概念、基础原理、用途、历史和发展情况,这部分的深度比较接近教材,可以入门。第二部分是实现该技术的若干示例方法,每种方法均包括技术分析、算法描述、具体步骤和效果实例等,这部分的深度介于教材和专著之间,可以实用。第三部分是对近年来一些与该技术相关文章的分析归纳,提炼其特点并分类,类似研究文章的综述介绍,这部分的深度更接近专著,可提供最新的相关信息,帮助读者进一步选择特定的参考文献,了解该领域的进展情况和发展趋势。

本书各章共有 49 节(二级标题),再下还有 86 小节(三级标题),共有文字(也包括图片、绘图、表格、公式等折合)30 多万,共有编号的图 152 个、表格 29 个、公式 280 个。本书在文中对 436 篇近年来的相关文章进行了分类并归纳了它们的特点,列表介绍给读者。最后,书末列出了所引用的 168 篇参考文献的目录和用于索引的 184 个术语(同时给出对应英文)。

本书的选材内容和结构方式都是新的尝试,欢迎读者提出宝贵意见和建议。

最后,要特别感谢我的妻子何芸和女儿章荷铭,正是她们的理解和支持,使本书得以在节日中写到本页并完稿。

章毓晋

2016 年元旦于书房

通信:北京清华大学电子工程系,100084

电话:(010) 62798540

传真:(010) 62770317

电子邮件:zhang-yj@tsinghua.edu.cn

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

目录

CONTENTS

第0章 引言	1	2.1.2 图像修补原理	30
0.1 图像技术	1	2.1.3 面向小尺寸修补的 图像修复	31
0.1.1 图像工程	2	2.1.4 面向大尺寸修补的 区域填充	33
0.1.2 图像技术分类	3	2.2 结合稀疏表达的算法	35
0.2 本书特点	4	2.2.1 稀疏表达的原理	35
0.2.1 写作动机	4	2.2.2 稀疏表达的基本算法	36
0.2.2 选材内容	5	2.2.3 稀疏表达算法的改进	38
0.2.3 结构安排	6	2.3 加权稀疏非负矩阵分解 算法	40
第1章 噪声消除	7	2.4 上下文驱动的混合方法	44
1.1 噪声类型和特性	7	2.5 近期文献分类总结	46
1.1.1 噪声类型	7	第3章 数字水印	50
1.1.2 噪声特性描述	9	3.1 水印概述	51
1.2 图像增强消噪	11	3.1.1 水印的嵌入和检测	51
1.2.1 空域噪声滤波器	11	3.1.2 水印特性	52
1.2.2 频域周期噪声 滤波器	15	3.1.3 水印分类	54
1.3 图像恢复消噪	18	3.2 DCT 域水印	56
1.3.1 图像退化模型	18	3.2.1 特点和原理	56
1.3.2 逆滤波	19	3.2.2 无意义水印算法	57
1.3.3 维纳滤波	20	3.2.3 有意义水印算法	59
1.4 选择性滤波器	22	3.3 DWT 域水印	63
1.5 近期文献分类总结	23	3.3.1 特点和流程	63
第2章 图像修补	28	3.3.2 人眼视觉特性	63
2.1 图像修补概述	28	3.3.3 小波水印算法	65
2.1.1 图像修补辨析	29	3.4 近期文献分类总结	68

第4章 超分辨率	71	5.3 医学图像分割	106
4.1 图像超分辨率原理	71	5.3.1 医学图像分割算法	
4.1.1 基本模型和技术分类	71	概述	106
4.1.2 基于单幅图像的超		5.3.2 交互式水平集胸主动脉	
分辨率复原	74	图像分割	108
4.1.3 基于多幅图像的超		5.4 近期文献分类总结	110
分辨率重建	75		
4.2 基于学习的超分辨率技术	78	第6章 人脸识别	116
4.2.1 常规流程	78	6.1 人脸识别原理	116
4.2.2 基于示例的单帧超		6.1.1 研究和应用概况	116
分辨率	78	6.1.2 人脸识别流程	117
4.2.3 基于示例的多帧超		6.1.3 人脸识别影响因素	119
分辨率	81	6.2 子空间方法	121
4.2.4 结合全变分正则化		6.3 基于豪斯多夫距离和	
方法	82	对称性度量的人脸定位	124
4.2.5 基于学习的方法	83	6.4 面向类依赖特征分析的	
4.3 基于局部约束线性编码的		相关滤波器设计	128
重建	85	6.5 基于鉴别投影嵌入的有监督	
4.3.1 基于稀疏表示的重建		线性降维	130
算法	85	6.6 基于边缘本征矢量加权的	
4.3.2 局部约束线性编码	86	人脸识别	132
4.3.3 基于局部约束线性		6.7 近期文献分类总结	133
编码的重建	86		
4.3.4 对多帧图像的超		第7章 表情分类	139
分辨率重建	88	7.1 表情分类原理	139
4.4 近期文献分类总结	89	7.1.1 表情类别	139
第5章 图像分割	93	7.1.2 表情分类流程	141
5.1 图像分割基础	93	7.1.3 表情特征提取	141
5.1.1 图像分割定义	93	7.1.4 表情分类方法	145
5.1.2 图像分割算法分类	94	7.1.5 表情分类系统性能	146
5.1.3 并行边界类算法	94	7.2 脸部器官检测	148
5.1.4 串行边界类算法	96	7.2.1 眼睛定位	148
5.1.5 并行区域类算法	98	7.2.2 眼睛跟踪	149
5.1.6 串行区域类算法	101	7.2.3 嘴唇检测和跟踪	151
5.2 彩色图像分割	102	7.3 借助盖伯变换的表情	
5.2.1 彩色图像分割概况	102	特征提取	153
5.2.2 彩色图像的序列分割	105	7.4 向量输入多类输出	
		表情分类	155
		7.5 近期文献分类总结	158

第 8 章 图像融合 161

8.1 图像融合原理 161

8.1.1 图像融合的主要步骤 ... 162

8.1.2 图像融合的 3 个层次 ... 163

8.1.3 像素级融合示例 164

8.1.4 图像融合效果评价 167

8.2 像素级融合 169

8.2.1 基本融合方法 170

8.2.2 融合方法的改进 171

8.2.3 融合方法的结合 172

8.3 双能透射和康普顿背 散射融合 175

8.3.1 成像技术的互补性 分析 175

8.3.2 互补融合 176

8.4 近期文献分类总结 177

第 9 章 图像检索 185

9.1 图像检索原理 185

9.2 基于视觉特征的图像检索 ... 189

9.2.1 颜色特征 189

9.2.2 纹理特征 191

9.2.3 形状特征 192

9.2.4 空间关系特征 193

9.2.5 运动特征 195

9.3 基于分层匹配跟踪的检索 ... 198

9.3.1 基于分层匹配跟踪的 检索框图 198

9.3.2 单层图像特征提取 199

9.3.3 多层特征提取和图像 检索 200

9.3.4 结合颜色直方图 201

9.4 近期文献分类总结 202

第 10 章 时空理解 207

10.1 时空理解概述 207

10.1.1 五个层次 207

10.1.2 时空兴趣点 208

10.1.3 动态轨迹学习和 分析 210

10.1.4 动作分类和识别 211

10.1.5 活动和行为建模 213

10.2 基于均移的运动目标 跟踪 214

10.2.1 均移算法 214

10.2.2 尺度非各向同性的 均移算法 216

10.2.3 均移算法结合粒子 滤波器 217

10.3 移动阴影检测 218

10.4 结合姿态和上下文的 动作分类 223

10.5 近期文献分类总结 225

参考文献 230

索引 237

引 言

近年来(数字)图像已在许多领域得到广泛应用,下面是一些典型的例子。

(1) 工业生产: 工业检测,工业探伤,自动生产流水线监控,邮政自动化,移动机器人,以及各种危险场合工作的机器人,无损探测,金相分析,印刷板质量检验,精细印刷品缺陷检测。

(2) 军事公安: 军事侦察,合成孔径雷达图像分析,巡航导弹路径规划/地形识别/制导,无人驾驶飞机飞行,罪犯脸型合成、识别、查询,指纹、印章的鉴定识别,战场环境/场景建模表示。

(3) 日常生活: 家庭护理,卫生清扫,家庭娱乐,日常活动识别。

(4) 生物医学: 红白学球计数,染色体分析、X光、CT、MRI、PET 图像分析,显微医学操作,对放射图像,显微图像的自动判读理解,人脑心理和生理的研究,医学手术模拟规划,远程医疗。

(5) 视频通信: 可视电话,电视会议,远程教育,网络课程。

(6) 文字档案: 文字识别,过期档案复原,邮件分拣,办公自动化,支票,签名辨伪。

(7) 遥感测绘: 巡航导弹制导,无人驾驶飞机飞行,精确制导,矿藏勘探,资源探测,气象预报,自然灾害监测监控。

(8) 智能交通: 交通管理,自动驾驶,车辆导航,航天飞行,太空探测。

针对图像在不同领域的应用特点,人们已研究了范围很广的许多图像技术。本书试图从应用已研制和开发方法的角度出发,对一些使用比较多的图像技术分类进行由浅到深的介绍。本章是引言,先分别介绍图像工程的概况以及本书的特点。

0.1 图像技术

人们对图像的利用由来已久,用计算机处理、分析和解释数字图像也已有几十年的历史,由此发展出许多技术。图像技术在广义上讲是各种与图像有关的技术的总称。目前,人们主要研究的是数字图像,主要应用的是计算机图像技术。这包括利用计算机和其他电子设备进行和完成的一系列工作,例如图像的采集、获取、(压缩)编码、水印保护、存储和传输,

图像的合成、绘制和生成,图像的显示和输出,图像的变换、增强、恢复(复原)和重建,图像的分割,图像中目标的检测、表达和描述,特征的提取和测量,多幅图像或序列图像的校正、配准,3-D 景物的重建复原,图像数据库的建立、索引和抽取,图像的分类、表示和识别,图像模型的建立和匹配,图像和场景的解释和理解,以及基于它们的判断决策和行为规划等。另外,图像技术还包括为完成上述功能而进行的硬件设计及制作等方面的技术。

0.1.1 图像工程

上述这些技术可统一到一起称为**图像工程(IE)**技术。图像工程是一门系统地研究各种图像理论、技术和应用的新的交叉学科。从它的研究方法来看,它与数学、物理学、生理学、心理学、电子学、计算机科学等许多学科可以相互借鉴;从它的研究范围来看,它与模式识别、计算机视觉、计算机图形学等多个专业又互相交叉。另外,图像工程的研究进展与人工智能、神经网络、遗传算法、模糊逻辑、机器学习等理论和技术都有密切的联系,它的发展应用与医学、遥感、通信、文档处理和工业自动化等许多领域也是不可分割的。

如果考虑图像工程技术的特点,又可将它们分为 3 个既有联系又有区别的层次(如图 0.1.1 所示):图像处理技术、图像分析技术和图像理解技术。

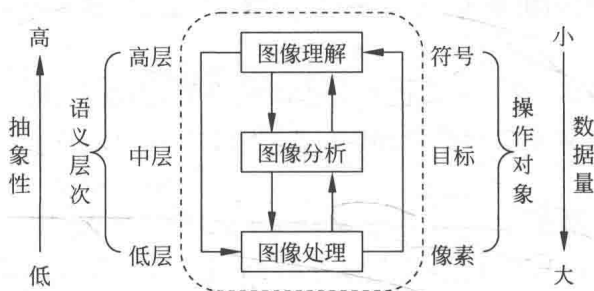


图 0.1.1 图像工程 3 层次示意图

图像处理(IP)着重强调在图像之间进行的变换。虽然人们常用图像处理泛指各种图像技术,但比较狭义的图像处理主要指对图像进行各种加工以改善图像的视觉效果并为自动识别打基础,或对图像进行压缩编码以减少所需存储空间或传输时间从而满足给定传输通路的要求。

图像分析(IA)则主要是对图像中感兴趣的目标进行检测和测量,以获得它们的客观信息从而建立对图像的描述。如果说图像处理是一个从图像到图像的过程,则图像分析是一个从图像到数据的过程。这里的数据可以是对目标特征测量的结果,或是基于测量的符号表示。它们描述了图像中目标的特点和性质。

图像理解(IU)的重点是在图像分析的基础上,进一步研究图像中各目标的性质和它们之间的相互联系,并得出对图像内容含义的理解以及对原来客观场景的解释。如果说图像分析主要是以观察者为中心研究客观世界(主要研究可观察到的事物),那么图像理解在一定程度上则是以客观世界为中心,并借助知识、经验等来把握和解释整个客观世界(包括没有直接观察到的事物)。

由上所述,图像处理、图像分析和图像理解在抽象程度和数据量上各有特点,操作对象和语义层次各不相同,其相互联系如图 0.1.1 所示。图像处理是比较低层的操作,它主要在

图像的像素层次上进行处理,处理的数据量非常大;图像分析则进入了中层,分割和特征提取把原来以像素描述的图像转变成比较简洁的对目标的描述;图像理解主要是高层操作,操作对象基本上是从描述中抽象出来的符号,其处理过程和方法与人类的思维推理有许多类似之处。另外,如图 0.1.1 所示,随着抽象程度的提高数据量是逐渐减少的。具体说来,原始图像数据经过一系列的处理过程逐步转化得更有组织并被更抽象地表达。在这个过程中,语义不断引入,操作对象发生变化,数据量得到了压缩;另一方面,高层操作对低层操作有指导作用,能提高低层操作的效能。

0.1.2 图像技术分类

从 1996 年开始,作者对国内 15 个重要期刊的图像工程文献年进行了逐年的统计,并给以分析和综述,至今已有 21 年,见[章 1996a],[章 1996b],[章 1997a],[章 1998a],[章 1999a],[章 2000a],[章 2001a],[章 2002a],[章 2003a],[章 2004a],[章 2005a],[章 2006a],[章 2007a],[章 2008],[章 2009a],[章 2010],[章 2011],[章 2012a],[章 2013a],[章 2014a],[章 2015a],[章 2016]。这个综述系列在一定程度上反映了图像工程发展演化的情况和趋势。

该综述系列还进行了图像技术分类(目前共包括 23 个小类),图像技术在图像处理(共 6 个小类)、图像分析(共 5 个小类)和图像理解(共 5 个小类)3 个层次中的分类情况如表 0.1.1 所示。

表 0.1.1 当前图像处理、图像分析和图像理解 3 个层次中研究的图像技术

3 个层次	图像技术分类和名称
图像处理	图像采集(包括各种成像方法、获取及存储、摄像机校正等)
	图像重建(从投影等重建图像)
	图像增强和恢复等(包括变换、滤波、复原、校正等)
	图像(视频)压缩编码(包括算法研究、国际标准实现等)
	图像数字水印和图像信息隐藏
	图像多分辨率处理(超分辨率重建、图像分解和插值、分辨率转换等)
图像分析	图像分割和边缘检测
	目标表达、描述、测量(包括二值图处理等)
	目标特性(颜色、形状、纹理、空间、运动等)的分析
	目标检测和识别(目标 2-D 定位、提取和分类等)
	人体生物特征提取和验证(包括人脸和器官的检测、定位与识别)
图像理解	图像匹配和融合等(包括序列、立体图的配准、镶嵌等)
	场景恢复(3-D 表达、建模、重构、重建等)
	图像感知和解释(包括语义描述、信息模型、专家系统、机器学习、推理等)
	基于内容的图像和视频检索
	时空技术(3-D 运动分析、姿态检测、对象跟踪、行为判断和理解)

0.2 本书特点

有关图像技术的图书已有很多,那么本书的特点是什么呢?下面从写作动机、选材内容和结构安排三个方面给予介绍。

0.2.1 写作动机

图像工程覆盖的领域很宽,包含的技术很多,循序渐进地全面了解和掌握图像技术是一个庞大的工程。另一方面,在很多图像应用和相关科研及开发工作中,又常需要用到特定的比较专门的图像技术来完成任务。许多教材由浅到深地对许多图像技术进行了逐步介绍,但读者要想通过逐次学习来达到一定的高度和深度需要比较长的时间。而有些专著虽然对特定图像技术的介绍很深入,但一开始就需要读者有较多较好的基础,所以并不适合初步接触图像技术的读者。

如图 0.2.1 所示,对图像工程的完整介绍应包括 3 个部分(对应图中从中心向外的 3 个圆环):①基本概念和基础原理;②具体方法和实用技术;③研究前沿和最新成果。教材主要侧重①(如图 0.2.1 中部所示),如果从基本概念开始一级一级学上去,基础会比较扎实,但要达到②需要经过长期努力。专著一般更侧重③(如图 0.2.1 上部所示),对前沿创新科研有借鉴作用,但有些技术和方法在当前解决实际应用中的问题时可能还不够成熟。

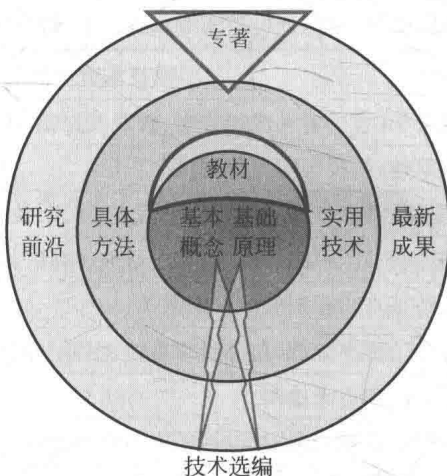


图 0.2.1 完整介绍图像工程的 3 个层次示意图

本书试图将两者的长处结合起来,并克服两者各自的不足,满足原先没有很多图像技术的基础,但又需要利用图像技术解决特定工作任务的需要。因此,先根据图像技术分类选择一些近期应用比较多的技术进行介绍,满足有特定应用的读者的需求;再在对每类技术的介绍中循序渐进,从基本原理开始介绍,使基础不多的读者也能上手学习。我们将其称为技术选编,针对一些选定的技术将 3 个圆环贯通,如图 0.2.1 下部所示。在介绍这些技术时,既从基本概念和基础原理出发,介绍一些当前的具体方法和实用技术,也结合技术的发展情况涉及一些研究前沿和最新成果。

0.2.2 选材内容

在前述各种图像技术中,多数已发展了一些年头,有些比较成熟,有些则还在不断改进中。根据对图像工程文献统计分类得到的数据,本书选取了其中10类当前得到广泛使用的图像技术给予介绍。它们是:①噪声消除,②图像修补,③图像水印,④超分辨率,⑤图像分割,⑥人脸识别,⑦表情分类,⑧图像融合,⑨图像检索,⑩时空理解。这些内容也覆盖了图像处理、图像分析、图像理解3个层次,其中前4类属于图像处理技术,接下来3类属于图像分析技术,最后3类属于图像理解技术(可参考[章2005b],[章2006b],[章2007b])。

对每类技术都集中在一章内介绍,长度也基本相同。以下为10章的内容。

第1章介绍噪声消除技术。在对常见噪声类型和特性分析的基础上,分别介绍了按照图像增强方式和按照图像恢复方式进行噪声消除的一些方法。

第2章介绍图像修补技术。先阐述了名称的由来,然后介绍了结合稀疏表达的算法,加权稀疏非负矩阵分解算法和上下文驱动的混合方法。

第3章介绍图像水印技术。在对水印嵌入和检测过程进行介绍后,分别介绍了离散余弦变换域的水印技术和离散小波变换域的水印技术。

第4章介绍超分辨率技术。在介绍了基于单幅图像的超分辨率复原和基于多幅图像的超分辨率重建后,介绍了基于学习的超分辨率技术和基于局部约束线性编码的重建技术。

第5章介绍图像分割技术。除了对通用的技术分类和各类技术的概括介绍外,着重讨论了彩色图像和医学图像分割的概况,并各介绍了一种具体的算法。

第6章介绍人脸识别技术。根据人脸识别流程,在罗列了各种子空间方法后,分别具体介绍了人脸定位、特征降维、分类器设计和识别的方法。

第7章介绍表情分类技术。在对表情分类总流程进行介绍后,具体给出了脸部器官检测、表情特征提取和表情分类的实用方法。

第8章介绍图像融合技术。在对图像融合的主要步骤和3个层次介绍的基础上,结合实际图像,分别介绍了像素级融合的多种基本方法以及双能透射和康普顿背散射融合的步骤。

第9章介绍图像检索技术。除介绍了基于视觉特征(包括颜色、纹理、形状、空间关系和运动特征)的图像检索思路,还具体描述了基于分层匹配跟踪的检索及改进方法。

第10章介绍时空理解技术。将它们划分为5个层次,分别列举了一些典型的技术类型的发展情况,还介绍了具体进行运动目标跟踪,移动阴影检测和动作分类的具体方法。

从学习各类图像技术的角度来说,有3个方面的基础知识比较重要,即数学、计算机科学和电子学。数学里值得指出的是线性代数,因为图像可表示为点阵,借助矩阵表达解释各种加工过程。计算机科学里值得指出的是计算机软件技术,因为对图像的加工处理要使用计算机,通过编程用一定的算法来完成。电子学里值得指出的一个是信号处理,因为图像可看作1-D信号的扩展,图像的加工处理是对信号处理的扩展;另一个是电路原理,因为要最终实现对图像的加工处理,需要使用一定的电子设备。

本书假设读者有一定的理工科背景,对线性代数、矩阵、信号处理、统计和概率等有一些了解。最好已对一些基本的图像概念有所理解,如像素、图像表示、图像显示、图像变换、图

像滤波等。相关名词术语可参见[章 2015b]。当然本书以解决实际问题的图像技术为主导,相关行业从业者的工作经历和基本技能也很有用。

本书不是教材,所以没有例题、练习题或思考题,也没有考虑内容的全面性和系统性,只对特定的技术给以由浅到深的介绍。本书也不是专著,所以并不太强调先进性和实时性,而主要考虑的是比较成熟的技术方法。本书尝试在选定的各个技术方面,覆盖从介绍性的教材到研究性的专著的纵向范围,满足特定读者的需求。

0.2.3 结构安排

本书以下各章的样式比较一致。在每章开始除整体内容介绍外,均罗列了一些各对应技术的应用领域和场合,体现为应用服务的思想;也都有对各节的概述,以把握全章脉络。

各章正文内容的安排结构有类似之处,每章都有多个节,这些节从前到后依次可以分成如下3部分(3个单元)。

(1) 原理和技术概述。每章开始的第1节(个别章为开始的若干节)介绍该图像技术的原理、历史、用途、方法概况、发展情况等。目的是给出比较全面基本的信息,其中有一些内容是从专业教材或图书中摘录的(可参考[章 2012b],[章 2012c],[章 2012d])。

(2) 具体方法介绍。每章接下来中间的若干节介绍几种相关的典型技术,从方法上讲述比较详细,目的是给出一些可以有效地和高效地解决该类图像技术要解决问题的思路,并提供实际中可以应用的具体方法和手段。这几节可以有一定的递进关系,也可以是比较独立的并行关系。这其中的内容主要来自期刊或会议论文集集中的文献。

(3) 最新文献导读。每章最后一节都基于对近3年(个别章为近4年)一些重要期刊上相关文献内容的分析,对这些文献的技术进行了分类并归纳了它们的特点,列表介绍给读者。目的是提供最新的相关信息,了解该领域的进展情况和发展趋势。

对各章正文内容的安排如表0.2.1所示。

表 0.2.1 本书各章正文内容安排表

序 号	技术内容	原理介绍	具体方法	文献导读
第1章	噪声消除	1.1 ~ 1.3	1.4	1.5
第2章	图像修补	2.1	2.2 ~ 2.4	2.5
第3章	数字水印	3.1	3.2、3.3	3.4
第4章	超分辨率	4.1	4.2、4.3	4.4
第5章	图像分割	5.1	5.2、5.3	5.4
第6章	人脸识别	6.1、6.2	6.3 ~ 6.6	6.7
第7章	表情分类	7.1	7.2 ~ 7.4	7.5
第8章	图像融合	8.1	8.2、8.3	8.4
第9章	图像检索	9.1	9.2、9.3	9.4
第10章	时空理解	10.1	10.2 ~ 10.4	10.5

从了解技术概况的角度出发,可只翻看原理介绍的章节。如要解决实际问题,则需了解具体方法。而为了更深入地解决复杂的问题,可以参阅文献导读进行更多的学习。

噪声消除

图像中有噪声是一种很普遍的图像退化情况,常在图像记录过程中产生,也可在图像加工或传输过程中产生[章 2012b]。噪声可来源于采集环境、采集设备、测量误差、记数误差等。噪声是一个比较广泛的概念,有很多类型,也各有特性。噪声除可从物理学角度用强度等来定义和描述外,也可从生理学角度用人的感受性等来定义和描述。人们一般认为噪声是烦人的东西,因为它影响了对感兴趣内容的观看和接受。

噪声的种类很多,消除噪声在图像应用中很常见,例如:

- (1) 电视上的雪花点会影响人的视觉感受,降低观看者对节目内容的理解能力。
- (2) 图片中的噪声会降低图像的质量,妨碍对图像中信息的接受。
- (3) 雾霾对室外场景的影响也可看作一种噪声,使得能见度降低。对雾霾天采集的图像,为了解场景中的信息,常必须要消除噪声。

噪声可借助图像增强类的技术来消除,也可借助图像恢复类的技术来消除。虽然根据对噪声特点的一般了解可以采用不同的增强技术,但如果对噪声模型有更好的把握,采用图像恢复技术来处理则有可能获得更好的效果。

1.1 噪声类型和特性

噪声的种类很多,分类的方法也很多,下面介绍几种比较常用的。

1.1.1 噪声类型

图像中的噪声可定义为图像中不希望有的部分,或图像中不需要的部分。噪声一般具有一定的随机性,如电视屏幕上的雪花点;但也可能有一定的规律性,如噪声源有一定周期时。当电视图像由于电冰箱的电机干扰或行驶过去的摩托车的发动机干扰而产生独立的亮点时,噪声既有随机特性也有规则特性。总体来说,噪声导致图像质量产生具有不确定性的退化。

对信号来说,噪声是一种外部干扰。但噪声本身也是一种信号,只不过它携带了噪声源的信息。如果噪声与信号无关,那就无法根据信号的特性来预测噪声的特性。另一方面,如

果噪声是独立的,则可在完全没有所需信号的情况下单独考虑噪声。有些噪声本质上与信号有关,但一般此时关系很复杂。很多情况下将噪声看成不确定的随机现象,主要采用概率论和统计的方法来处理。需要注意,所需要的信号本身也可能有随机性,例如用于对地测量的热微波或红外辐射就有这种特点。由上面的讨论可知,图像中的噪声并不需要与信号对立,它可以与信号有密切的联系。如果将信号除去,噪声也可能变化。

噪声的问题常常不能完全看作一个纯科学或纯数学问题,因为噪声主要影响人类,所以在定义和测量噪声中至少应该考虑人的反应。例如,一个人的噪声或许是另一个人的信号,反过来也成立。噪声干扰人们注意力和接收能力的效果与它自身的特点有关,但也与人的生理和心理因素有关。例如,在观看电视时,黑噪声(即屏幕上的黑点)远比白噪声(如雪花点)的影响小。

在很多情况下,噪声的(随机/规则)特性不是很重要,重要的是它的强度,或者说人们只关心它的强度。常用的信噪比(SNR)一词就反映了噪声相对于信号的强度比值。信噪比是一个重要的放大器或通信系统的质量指标。典型的信噪比是用能量比(或电压平方比)来定义的:

$$\text{SNR} = 10\log_{10} \left(\frac{V_s^2}{V_n^2} \right) \quad (1.1.1)$$

但在一些特定的应用中,也有一些变型。例如,在电视应用中,信号电压 V_s 用峰-峰值而噪声电压 V_n 用均方根(RMS)为单位。此时得到的数值比都用均方根单位得到的数值要高 9.03dB。

噪声形成的原因是多种多样的,其性质也千差万别。

1. 热噪声

热噪声与物体的绝对温度有关,它产生的原因是由于任何物质中的分子都永远处于温度所驱动的运动中,所以导电载流子受到热扰动而产生噪声。这种热导致的噪声在从零频率直到很高的频率范围之间分布一致,一般认为它可以产生对不同波长有相同能量的频谱(或者说在频谱的任何地方,相同频率间隔内的能量相同)。这种噪声也称为高斯噪声(其空间幅度符合高斯分布)或白噪声(其频率覆盖整个频谱)。

2. 发射噪声

发射噪声是由电流非均匀流动导致的一种噪声。这种非均匀性在电子从一个真空管的热阴极或从一个半导体三极管的发射极被发射出来时尤其明显。例如,显像管中的电流除根据图像信号变化外,还会根据电子的随机运动而变化,这样,在本应该稳定的直流分量里实际上还有一个交流分量。发射噪声也常形象地称为“房顶雨”噪声。它也是一种高斯分布的噪声,可以用统计和概率的原理来量化。

3. 闪烁噪声

闪烁噪声是由于电子运动有随机性的结果。事实上,电子或电荷的流动并不是一个连续的完美过程,它们的随机性会产生一个很难量化和测量的交流成分(随机 AC)。在由碳组成的电阻中,这种随机性会远大于一般的统计所能估计出的数值,在图像显示中体现为忽暗忽明。闪烁噪声一般具有反比于频率($1/f$)的频谱,所以也称 $1/f$ 噪声,一般常在 1000Hz 以下的低频时比较明显。也有人称其为粉色噪声。粉色噪声在对数频率间隔内有相同的能量(例如,在 1~10Hz 和 10~100Hz 之间的粉色噪声能量是相同的)。

4. 有色噪声

有色噪声是指具有非白色频谱的宽带噪声。典型的例子如运动的汽车、计算机风扇、电钻等产生的噪音等。另外,白噪声通过一定的信道后也会被“染色”而成为有色噪声。图 1.1.1 分别给出两种常见的有色噪声的示例:左边为粉色噪声,右边为褐色噪声。相对白噪声来说,有色噪声中低频分量占了较大比重。

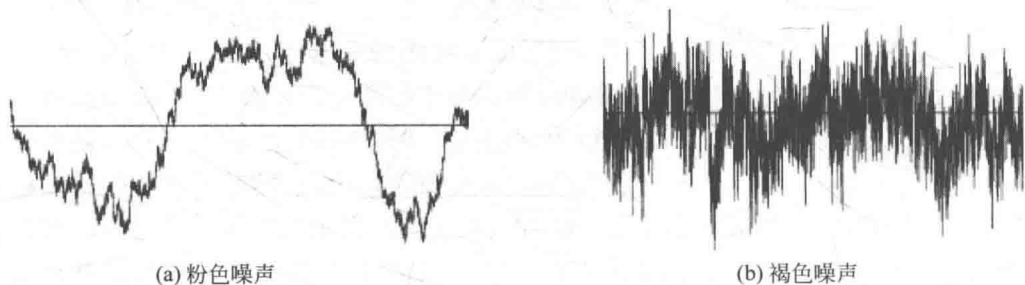


图 1.1.1 有色噪声示例

1.1.2 噪声特性描述

由于噪声的影响,图像像素的灰度会发生变化。噪声常是随机的,随机的噪声对一个特定图像的影响是不确定的。在很多情况下,人们最多可对这个过程有一定的统计特性知识,所以噪声常描述成一个统计过程。噪声常迭加在原始图像上,此时称为加性噪声;但有些噪声与原始图像是相乘的关系,此时称为乘性噪声。如果将噪声本身的灰度看作随机变量,则其分布可用概率密度函数(PDF)来刻画。下面介绍几种重要的噪声概率密度函数。

1. 高斯噪声

高斯噪声是非常常见的。一个高斯随机变量 z 的 PDF 可表示为:

$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(z-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (1.1.2)$$

其中, z 代表灰度, μ 是 z 的均值, σ 是 z 的标准差。高斯概率密度函数的一个示例如图 1.1.2 所示。具有高斯分布特性的高斯噪声的灰度值多集中在均值附近,且随着离均值的距离增加而数量减少。

高斯噪声的典型例子如电子设备的噪声或传感器(由于不良照明或高温度)的噪声。高斯噪声模型在数学上比较好处理,许多分布接近高斯分布的噪声也常用高斯噪声模型近似地来处理。高斯分布也称正态分布。

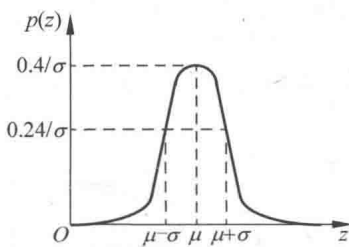


图 1.1.2 一个高斯噪声的概率密度函数

2. 脉冲(椒盐)噪声

脉冲噪声所对应的随机变量的 PDF 可表示为:

$$p(z) = \begin{cases} P_a, & z = a \\ P_b, & z = b \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1.1.3)$$

脉冲噪声的概率密度函数的一个示例如图 1.1.3 所示,它的分布相当于在 $z=a$ 和

$z=b$ 处的两个德尔塔脉冲。

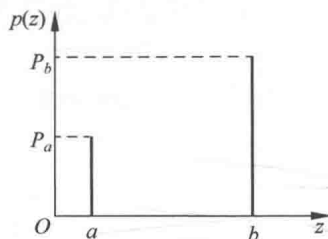


图 1.1.3 一个脉冲噪声的概率密度函数

一般情况下,噪声脉冲可以是正的或负的。因为脉冲的影响常比图像中信号的强度要大,脉冲噪声一般量化成图像中的极限灰度(显示为白或黑)。实际中,一般假设 a 和 b 都是“饱和”值,即它们取图像所允许的最大灰度和最小灰度。如果 $b > a$,灰度 b 在图像中显示为白点,而灰度 a 在图像中显示为黑点。如果 P_a 或 P_b 为 0,脉冲噪声称为单极性的。如果 P_a 和 P_b 均不为 0,特别是两者大小很接近时,脉冲噪声就像椒盐粒随机撒在图像上。因为这个原因,双极性的脉冲噪声也称为椒盐噪声。

在图像显示时,负脉冲显示为黑色(椒噪声)而正脉冲显示为白色(盐噪声)。对 8bit 的图像,有 $a=0$ (黑)和 $b=255$ (白)。错误交换、发射噪声和尖峰噪声等都可用脉冲噪声的 PDF 来描述。

3. 均匀噪声

均匀噪声所对应的随机变量的 PDF 可表示为(a 和 b 分别是随机变量取值的上下限):

$$p(z) = \begin{cases} 1/(b-a), & a \leq z \leq b \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1.1.4)$$

均匀噪声的均值和方差分别是:

$$\mu = (a+b)/2 \quad (1.1.5)$$

$$\sigma^2 = (b-a)^2/12 \quad (1.1.6)$$

均匀噪声的概率密度函数的一个示例如图 1.1.4 所示。均匀噪声的灰度值在所定义的范围内是均衡分布的,即统计上所有值出现的概率相等。

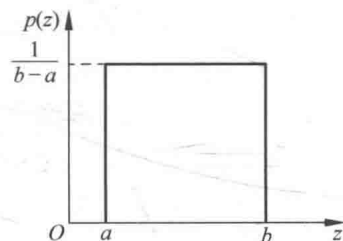


图 1.1.4 一个均匀噪声的概率密度函数

均匀噪声密度常作为许多随机数发生器的基础。例如,可用它来产生高斯噪声。

4. 瑞利噪声

瑞利噪声所对应的随机变量的 PDF 可表示为(a 和 b 都是常数):

$$p(z) = \begin{cases} \frac{2}{b}(z-a)e^{-(z-a)^2/b}, & z \geq a \\ 0, & z < a \end{cases} \quad (1.1.7)$$

瑞利噪声的均值和方差分别是:

$$\mu = a + \sqrt{\pi b/4} \quad (1.1.8)$$

$$\sigma^2 = b(4-\pi)^2/4 \quad (1.1.9)$$

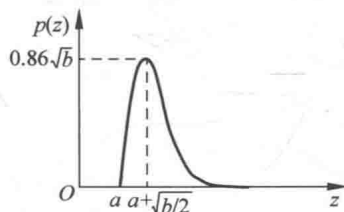


图 1.1.5 一个瑞利噪声的概率密度函数

瑞利噪声的概率密度函数的一个示例如图 1.1.5 所示。瑞利噪声的分布与原点有一定的偏移(由 a 确定)且整体形状右偏/右倾(右拖尾)。

除上述几种噪声概率密度函数外,在描述噪声时还会用到如指数、伽马等噪声概率密度函数;还有些噪声根据不同需要使用多种噪声概率密度函数。例如,在超声断层扫