

信息与通信工程研究生规划教材

数字图像处理与分析

Digital Image Processing and Analysis

田 岩 彭复员 编著

华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

信息与通信工程研究生规划教材

数字图像处理与分析

Digital Image Processing and Analysis

田 岩 彭复员 编著

华中科技大学出版社
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理与分析/田 岩 彭复员 编著. —武汉:华中科技大学出版社,2009年
6月

ISBN 978-7-5609-5348-9

I. 数… II. ①田… ②彭… III. 数字图像处理-研究生-教材 IV. TN911·73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 080624 号

数字图像处理与分析

田 岩 彭复员 编著

策划编辑:王新华

责任编辑:刘 勤

责任校对:朱 霞

封面设计:潘 群

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉佳年华科技有限公司

印 刷:湖北新华印务有限公司

开本:850mm×1065mm 1/16

印张:19.25

字数:429 000

版次:2009年6月第1版

印次:2009年6月第1次印刷

定价:35.00元

ISBN 978-7-5609-5348-9/TN·140

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

信息与通信工程研究生规划教材 编 委 会

主任

李乐民(中国工程院院士,电子科技大学)

编委(按姓氏笔画排列)

史浩山(西北工业大学)

朱光喜(华中科技大学)

朱秀昌(南京邮电大学)

余少华(武汉邮电科学研究院)

陈庆虎(武汉大学)

吴嗣亮(北京理工大学)

赵晓群(同济大学)

胡先志(武汉邮电科学研究院)

胡爱群(东南大学)

祝跃飞(解放军信息工程大学)

曾贵华(上海交通大学)

曾烈光(清华大学)

彭复员(华中科技大学)

裘正定(北京交通大学)

内 容 简 介

本书是作者多年从事图像处理教学与科研工作的总结。主要介绍了图像处理的基本原理、方法和基本技术,还包括图像处理技术的现状和最新进展。

书中首先论述了数字图像处理的基本概念、图像处理的预处理方法(包括图像增强、图像恢复等内容)、图像分割、描述及图像融合等常见的图像处理内容;其次对目前流行的图像处理的工具(包括小波变换的最新变种、数学形态学及经验模式分解)进行了介绍;最后对以激光扫描数据为代表的三维数字图像处理进行了介绍。书中的许多内容反映了图像处理领域的最新研究成果,并结合应用实例进行了阐释。每章末附有练习题(部分参考答案集中放书末),为读者学习和掌握该章的主要内容提供了便利。

本书可作为信息与通信类专业研究生教材,以及遥感技术、计算机信息处理、自动控制、生物医学工程等科技人员的入门书,也可以作为相关专业高校师生的教学参考书。

总 序

随着信息时代的到来,人类已经生活在信息的“海洋”之中,信息和通信已渗入我们生活的各个方面。近年来,我国的电信产业以 10% 以上的年增长率迅猛发展,“中国制造”的通信产品广泛进入了全球市场。与此同时,信息和通信领域的理论与技术获得了迅速发展,不少技术难题已取得实质性突破,技术进步和产业发展相互推动、相互促进。

产业的发展带来了对人才,特别是高层次专业人才的巨大需求。信息与通信工程是我国工科门类中应用前景广阔、招生量比较大的学科,对我国的现代化建设起着非常重要的作用。其中的通信与信息系统更是近几年硕士研究生报考的热门专业之一。随着硕士研究生的不断招收,研究生教育成为一个突出的问题。鉴于通信学科的迅猛发展,广大科技工作者和硕士、博士研究生迫切需要学习与掌握信息和通信的现代理论与技术。目前本专业的研究生教材已有一些,其中亦不乏典范之作,但专门针对研究生读者成系列出版的尚为少见。其中的一个原因是各校研究生课程设置自成体系,各校之间不尽相同,这为研究生教材的建设和推广造成困难。

有鉴于此,来自清华大学等十多所高校、科研单位的教授和专家相约聚首,对通信专业的研究生课程体系设置进行探讨,尝试从各校现有的课程体系中提取共同性的知识结构框架,并结合他们多年的教学实践积累,编写一套针对通信专业研究生,兼顾高年级本科生的系列教材,为研究生教育做一点工作。

本系列研究生教材针对性强,知识覆盖较为全面,相信该系列教材的出版将会为读者系统掌握通信科学、信息科学的基础理论与技巧,以及本领域的先进技术方法和现代技术手段提供相对便捷的途径,对培养具有从事通信科学、信息科学以及相关领域的科研与开发和教学工作能力的人才提供有益的手段,对本专业研究生教学起到积极的推动作用。

本系列教材的作者均来自信息和通信学科实力较强的院校,不但有较为丰富的教学经验,而且在研究方向和地域分布上具有一定的代表性。我有感于他们对教育事业的热忱、对教书育人的执著,遂为之序。

中国工程院院士 李乐民

2007 年 8 月

前 言

图像是人类相互交流和认识客观世界的主要媒体。已有数据表明,人类感知的各种信息中大约四分之三来自于视觉。伴随着计算机技术的发展以及相关领域的迫切需求,图像处理技术已广泛应用于科学研究、工业生产、文化娱乐、医疗卫生、教育、管理和航空航天等许多领域,已成为现代信息化社会的重要支柱之一。

图像处理是一门融数学、物理、生理学、心理学、电子学和计算机科学于一体的交叉学科。其研究范围与模式识别、机器视觉、计算机图形学相互融合,其研究进展与人工智能、神经网络、遗传算法、模糊逻辑等理论和技术密切相关。目前,图像处理已成为最具生命力的边缘学科之一。

本书在编排过程中,主要基于两点考虑:其一,较为全面地介绍图像处理的基本原理、方法和使用技术;其二,力求反映图像处理近 20 年来的最新进展。因此在内容安排上,仔细归纳了图像处理中的经典内容,同时又遴选了最新的一些研究成果。因此,本书包括了图像处理的基本内容,同时又具有一定的深度和广度。希望通过本书的学习,使读者能够掌握图像处理概貌,同时又能把握图像处理的国际动态和发展趋势。对于许多概念、原理和方法,书中都有具体的实例来阐释,期望给读者以直观明了的认识。

本书的许多内容除了源自于经典图像处理内容的归纳总结外,另外许多篇章引自国内外的期刊文献。前八章主要是图像处理基本概念、原理和方法的介绍。从第 9 章到第 13 章,其中许多内容都是国际上最近的研究成果,部分内容是作者从事相关研究成果的积累。第 9 章到第 12 章中的内容主要是最新的图像处理工具的介绍。最后一章是想突破二维图像的概念,拓展至高维,考虑到内容的驳杂,仅以激光雷达图像为例,介绍高维图像的应用、原理与方法,以期达到引导读者关注高维图像处理研究与应用的目的。

本书在写作过程中得到了香港理工大学史文中教授的指导和帮助,他为本书提出了许多有益的建议,这使得本书大为增色,同时也得到了华中科技大学柳健教授的关心和鼓励,他为本书提供了大量的建议和资料。另外本书还采用了李涛博士、彭士纯博士以及张采芳、李勇江、黄应等研究生论文的若干实验结果,赵坤博士和郭海雷、谢成等同学为本书的编写搜集和整理了部分资料,在此一并致谢。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中错误在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2009 年 2 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 数字图像处理的定义	(1)
1.2 数字图像处理的意义	(1)
1.3 数字图像处理的基本内容	(2)
1.4 数字图像处理系统简介	(4)
参考文献	(6)
第 2 章 数字图像处理基础	(7)
2.1 电磁波谱	(7)
2.2 视觉基础	(9)
2.2.1 人眼与亮度视觉	(9)
2.2.2 颜色视觉	(11)
2.2.3 光度学	(14)
2.3 遥感平台及传感器	(16)
2.3.1 遥感平台的种类	(16)
2.3.2 几种遥感卫星简介	(17)
2.4 数字图像的采样和量化	(21)
2.5 数字图像的像素关系	(22)
2.5.1 相邻像素	(22)
2.5.2 邻接性、连通性、区域和边界	(23)
2.5.3 距离度量	(24)
习题	(25)
参考文献	(26)
第 3 章 图像增强	(27)
3.1 概述	(27)
3.2 图像的对比度处理	(28)
3.2.1 图像灰度变换法	(28)
3.2.2 直方图处理	(30)
3.3 图像的平滑和锐化	(38)
3.3.1 邻域平均法	(38)
3.3.2 中值滤波器	(40)
3.3.3 低通滤波	(41)

3.3.4	微分法	(43)
3.3.5	反锐化掩模与高提升滤波	(46)
3.3.6	高通滤波	(47)
3.4	图像的代数运算	(48)
3.5	图像的同态滤波	(50)
	习题	(52)
	参考文献	(53)
第4章	图像恢复	(55)
4.1	图像退化模型	(55)
4.1.1	连续的图像退化模型	(55)
4.1.2	离散的图像退化模型	(57)
4.2	图像的去噪恢复	(59)
4.2.1	均值滤波器	(59)
4.2.2	顺序统计滤波器	(60)
4.2.3	带阻滤波器	(61)
4.2.4	带通滤波器	(61)
4.3	点扩展函数的估计	(61)
4.3.1	运用先验知识的方法	(61)
4.3.2	运用后验判断的方法	(63)
4.3.3	误差-参数曲线分析法	(65)
4.4	图像恢复的滤波方法	(66)
4.4.1	逆滤波	(66)
4.4.2	等功率谱滤波	(68)
4.4.3	维纳滤波	(70)
4.4.4	约束最小平方滤波	(72)
4.4.5	几何均值滤波	(75)
4.5	图像恢复的非线性方法	(75)
4.5.1	最大后验法	(75)
4.5.2	最大熵法	(78)
4.5.3	凸集投影法	(80)
4.6	超分辨率恢复	(81)
4.6.1	反向投影迭代(IBP)	(82)
4.6.2	统计理论的超分辨率恢复方法	(83)
4.6.3	集合论方法	(83)
4.7	几何畸变校正	(84)
4.7.1	坐标的几何校正——多项式扭曲	(84)

	4.7.2 像素灰度级的估算	(86)
	习题	(87)
	参考文献	(88)
第 5 章	图像压缩	(91)
	5.1 概述	(91)
	5.2 基本概念和理论	(92)
	5.2.1 数据冗余	(92)
	5.2.2 图像保真度	(95)
	5.2.3 图像压缩系统模型	(96)
	5.2.4 信息论简介	(97)
	5.2.5 基本编码定理	(99)
	5.3 无损压缩	(101)
	5.3.1 变长编码	(102)
	5.3.2 LZW 编码	(104)
	5.3.3 位平面编码	(106)
	5.3.4 无损预测编码	(107)
	5.4 有损编码	(108)
	5.4.1 有损预测编码	(109)
	5.4.2 变换编码	(109)
	5.5 国际标准简介	(112)
	5.5.1 二值图像压缩标准	(113)
	5.5.2 静止图像压缩标准	(114)
	5.5.3 序列图像压缩标准	(117)
	习题	(119)
	参考文献	(120)
第 6 章	图像分割	(122)
	6.1 概述	(122)
	6.2 边缘检测	(122)
	6.2.1 差分算子	(123)
	6.2.2 模板匹配	(130)
	6.2.3 最佳曲面拟合	(134)
	6.3 边缘连接	(135)
	6.3.1 局部处理	(135)
	6.3.2 霍夫变换	(135)
	6.3.3 基于图论的边缘连接方法	(139)
	6.4 门限化处理	(140)

	6.4.1 基本原理	(140)
	6.4.2 基本全局门限	(142)
	6.4.3 最优全局门限	(142)
	6.4.4 p 参数法	(144)
	6.4.5 最大类间方差	(145)
	6.5 区域性检测	(147)
	6.5.1 区域生长法	(147)
	6.5.2 区域的分裂与合并	(148)
	习题	(150)
	参考文献	(150)
第 7 章	图像的描述	(153)
	7.1 概述	(153)
	7.2 边缘描述	(153)
	7.2.1 一些简单的描绘子	(153)
	7.2.2 形状数	(154)
	7.2.3 傅里叶描绘子	(155)
	7.2.4 统计矩	(156)
	7.3 区域描绘子	(157)
	7.3.1 简单的描绘子	(157)
	7.3.2 拓扑描绘子	(157)
	7.3.3 纹理	(157)
	7.3.4 二维函数矩	(160)
	习题	(162)
	参考文献	(163)
第 8 章	图像融合	(165)
	8.1 概述	(165)
	8.2 像素级融合	(167)
	8.2.1 空间域图像融合	(167)
	8.2.2 变换域图像融合	(170)
	8.2.3 其他方法	(173)
	8.2.4 几种方法的比较	(173)
	8.2.5 图像配准	(174)
	8.3 特征级融合	(174)
	8.4 决策级融合	(175)
	8.4.1 模糊综合决策方法	(175)
	8.4.2 神经网络法	(176)

8.5	图像融合的评价	(177)
8.5.1	客观的评价方法	(177)
8.5.2	融合图像质量的主观评价	(178)
8.6	多传感器图像融合技术	(179)
8.7	多光谱图像融合	(180)
8.7.1	概述	(180)
8.7.2	基于 EMD 分解的融合方法	(181)
	习题	(186)
	参考文献	(187)
第 9 章	小波变换及其在图像处理中的应用	(188)
9.1	概述	(188)
9.2	矢量小波	(189)
9.2.1	矢量小波的概念	(189)
9.2.2	图像矢量小波压缩算法	(191)
9.3	多进制小波	(193)
9.3.1	多进制小波的概念	(193)
9.3.2	多进制小波的应用	(194)
9.4	曲面波	(196)
9.4.1	曲面小波概念	(196)
9.4.2	曲线的确定	(197)
9.5	复小波	(197)
9.5.1	基本原理	(198)
9.5.2	算法构造流程	(199)
9.5.3	复小波变换在图像处理中的应用	(202)
9.6	多维小波	(205)
	习题	(207)
	参考文献	(208)
第 10 章	数学形态学及其在图像处理中的应用	(210)
10.1	概述	(210)
10.1.1	基本集合定义	(210)
10.1.2	二值数学形态学的基本运算	(211)
10.2	腐蚀和膨胀	(213)
10.2.1	膨胀	(213)
10.2.2	腐蚀	(213)
10.2.3	膨胀、腐蚀的性质	(214)
10.3	开运算和闭运算	(215)

	10.3.1 开运算	(215)
	10.3.2 闭合	(216)
	10.3.3 开启与闭合的对偶性	(216)
10.4	击中和击不中变换	(217)
10.5	数学形态学算子在图像处理中的应用	(218)
	10.5.1 边界提取	(219)
	10.5.2 区域填充	(219)
	10.5.3 连通分量的提取	(220)
	10.5.4 细化	(222)
	10.5.5 粗化	(223)
	10.5.6 抽取骨架	(223)
	10.5.7 裁剪	(226)
	习题	(228)
	参考文献	(228)
第 11 章	分形在图像处理中的应用	(230)
11.1	概述	(230)
11.2	分形基础介绍	(231)
	11.2.1 分形维数	(232)
	11.2.2 FBM 模型	(235)
	11.2.3 基于分形的特征参数	(236)
11.3	迭代函数系统	(238)
11.4	分形在图像处理中的应用	(240)
	11.4.1 图像分割	(240)
	11.4.2 图像压缩	(241)
	11.4.3 图像去噪	(245)
	11.4.4 遥感影像上云图的检测	(246)
	习题	(253)
	参考文献	(253)
第 12 章	经验模式分解	(256)
12.1	概述	(256)
12.2	一维经验模式分解	(257)
12.3	二维经验模式分解	(259)
	12.3.1 极值点的查找方法	(260)
	12.3.2 插值方法的选取	(261)
	12.3.3 端点效应和边界效应处理	(262)
	12.3.4 IMF 筛选停止标准	(264)

12.3.5	信号分解停止准则	(265)
12.4	经验模式分解的图像应用示例	(266)
12.4.1	基于 EMD 的图像插值	(266)
12.4.2	基于 EMD 的图像融合	(269)
12.4.3	EMD 在图像编码压缩中的应用	(271)
	习题	(278)
	参考文献	(278)
第 13 章	激光扫描数据处理	(281)
13.1	激光测量特点	(281)
13.2	国内外激光扫描技术的研究现状	(282)
13.3	激光扫描数据的处理过程	(282)
13.4	机载激光扫描数据建筑物的提取	(284)
13.5	一种基于多特征的机载激光扫描数据建筑物的提取	(286)
	习题	(291)
	参考文献	(292)

第 1 章 绪 论

图像是人类传递信息的主要媒体之一,由于图像具有直观、生动、信息量大等特点,它成为人类获取信息、感知世界,进而改造世界的一种重要手段。有资料显示,通过视觉获取的信息占人类接受信息总和的 75%以上,图像信息的重要性由此可见一斑。图像处理的发展迄今已有 50 年左右,其应用领域愈来愈广,许多技术已日臻成熟并产生了巨大的效益。目前,图像处理和其他相关学科交叉融合、广泛渗透,已成为科学研究、社会生产乃至人类生活中不可或缺的有效工具。

虽然图像在人类生活中早已司空见惯,图像一词也频繁地出现在人们的日常交流中,但究竟何谓图像并没有一个严格的定义。在韦伯(Webster)英文词典中,对图像的定义为:图像是人或事物的一种模拟或表示(an imitation or representation of a person or thing, drawn, painted, photographed)。其他描述和定义的还有:“在一般意义下,一幅图像是另一个东西的一个表示”,“图像是以某一技术手段被再现于二维平面上的视觉信息”。但从数学的观点来看,可以认为图像是对真实事物的一种近似或逼近。

1.1 数字图像处理的定义

在计算机尚未出现时,图像处理指的是模拟图像处理(analog image processing),模拟图像是指图像空间坐标和明暗程度都连续变化的、计算机无法直接处理的图像。模拟图像处理主要包括光学处理(利用透镜)和电子处理,其优点是速度快,理论上可达到光速;缺点是精度低,灵活性差。数字图像处理(digital image processing)是指经过空间采样和幅值量化后的图像,它可以利用计算机或其他实时的硬件处理,因而又称之为计算机图像处理(computer image processing)。它的优点是精度高,变通能力强,然而处理速度低下是其不足之处。

1.2 数字图像处理的意义

近十几年来,随着大型集成电路技术和计算机体系结构及算法的快速发展,图像处理系统的性能大大提高,从而使图像处理技术得到广泛的应用。下面介绍若干典型的应用领域及其意义。

1. 天文图像处理

天文图像处理的主要目的包括:克服大气扰动层对地基观测图像的降质;克服成像系统不理想造成的图像降晰;抑制各种因素引起的噪声;改善空间飞行器获得的摄像和录像质量。

2. 光学遥感图像处理

光学遥感图像处理的主要任务是:克服大气扰动层对星载遥感图像的降晰;克服摄像或成像系统不理想及机(星)载相对地面运动造成的图像降晰;抑制噪声和薄云。

3. 合成孔径雷达(SAR)遥感图像处理

SAR 遥感图像处理旨在改善图像的分辨率(超分辨率技术);抑制噪声,特别是相干斑噪声抑制;鬼影抑制;局部几何校正和反降晰。

4. 医学图像处理

医学图像处理包括抑制各种医学成像系统或图像获取系统的噪声;改善医学图像的分辨率。

5. 材料科学图像处理

材料科学图像处理的意义在于改善光学显微图像的分辨率;改善电子显微图像和衍射图像的分辨率;菊池线(Kikuchi)增强;由 X 射线衍射图像重建分子结构;改善工业 X-CT 分辨率。

6. 公安、历史、人文照片复原

公安、历史、人文照片复原能提高事发现场、涉案嫌疑人员的照片质量或有助于对考古价值和历史意义的历史材料照片的恢复。

7. 监视录像复原

该处理要求能在一些重要场合设置监视录像,监视录像复原通过提高录像中场景的分辨率和抑制噪声来辨识有无异常情况的发生。

8. 早期电影的复新

由于时间的久远,早期电影会出现斑驳、色变的现象,通过图像处理可改善图像的质量。

9. 视频和多媒体图像处理

该处理要求能克服由于数据高度压缩和分块变换(如 DCT)造成的解码图像的块纹干扰;克服转录系统引入的图像降质。

10. 扫描文档处理

扫描文档处理的值在于:克服扫描文档图片的网纹干扰;从文档图片的网版色调变成连续色调,以改善视觉效果。

必须说明的是,上面所列出的仅仅是数字图像处理技术目前常见的几种应用领域,它所涉及的领域远远不止于此。随着各行各业的发展,相关理论和技术的萌生,必将会对数字图像处理技术提出更高的要求 and 更多的需求,进而激发数字图像处理技术在更多领域的进一步发展。

1.3 数字图像处理的基本内容

图像处理的基本内容包括:图像获取,图像增强,图像恢复(复原),图像压缩,图像分割,目标的表示与描述,以及图像识别等;在某些应用中可能还包括图像几何/辐射纠正(校正)等内容。针对某一具体问题,上述各步内容并不一定都要用到,这里只是给出其一般流程。一般情况下,图像场景愈复杂,图像恶化愈严重;达到的目的愈具体,用到的相关图像处理步骤就会愈多。

1. 图像获取

图像获取是图像处理的第一步。目前,建立在电磁波谱辐射基础上的图像为人们最为熟悉并且应用最为广泛。如果按照电磁波在真空中传播的能量递减或波长递增的顺序排列,就

能够得到电磁波谱图(见图 1.1),位于最高端的是伽马射线(能量最高),位于最低端的是无线电波(能量最低)。



图 1.1 根据光子能量排列的电磁波谱

从电磁波谱图可以看到,电磁波的波长范围非常宽,从波长最短的伽马射线到最长的无线电波,它们的波长之比达到 10^{15} 倍以上,在实际应用中,应根据不同的任务选择不同的波段。

就数字图像而言,图像信息的获取,还应包括光电转换及数字化等步骤。也就是说,数字图像的采集除了需用对某个电磁波谱段(如 X 射线、紫外线、可见光、红外线等)敏感的物理器件外,还需用将模拟图像数据转化成数字信号的数字化器件。常用的图像采集部件包括摄像机和图像采集卡,飞点扫描器,鼓式扫描器(扫描鼓),图像扫描仪,显微光密度计等。在遥感中常用的有如下几类:光学摄影中的摄像机、多光谱相机;红外摄影中的红外辐射计、红外摄影仪、多通道红外扫描仪;MSS 中的多光谱扫描仪;微波中的微波辐射计、测视雷达、真实孔径雷达、合成孔径雷达(SAR)等。

2. 图像增强

图像增强是图像处理的基本内容之一,它是指根据一定的要求,突出图像中被模糊了的细节或图像中感兴趣的特征,而抑制或去除不需要的信息,以扩大图像中不同物体特征之间的差别,以便为其他后续图像分析技术奠定良好的基础。一般情况下,增强后的图像会具有良好的视觉效果,这意味着,图像中的某些特定信息得到了增强。值得注意的是,图像增强带有极大的主观性。

3. 图像恢复

在图像的获取、传输过程中,由于成像系统内外的各种因素,不可避免地会造成图像的退化。图像恢复是指采用某种技术去除干扰和模糊,力图使图像恢复其本来面目。噪声是图像中常见的一种干扰,因而噪声的去除属于图像恢复。造成图像模糊的因素很多,包括透镜散焦、相对运动、大气湍流以及云层遮挡等。图像恢复建立在图像退化原理的基础上,以退化图像作为依据并运用某些先验知识,建立图像退化模型,从而得到恢复结果,因而它是一种客观性的技术。

4. 图像压缩

图像的数据量是非常大的,庞大的图像数据量对图像的存储和传输带来了极大的困难,图像编码就是在保证图像质量的前提下,利用图像信号的统计特性及人类视觉的生理学及心理学特性对图像数据进行最大限度的压缩,以解决数据量庞大的问题。

5. 图像分割

图像分割是将图像分成各具特性的区域并提取感兴趣的目标,建立的基础是亮度值的两个基本特性:相似性和不连续性。图像经分割后,便可以进一步处理,如测量、分类和识别等,因而图像分割是从图像处理到图像分析的关键步骤。目前的图像分割算法达上千种之多,由此可见图像分割的重要性及困难性。