

第1版获全国普通高等学校优秀教材一等奖

清华大学信息科学技术学院教材——信息与通信工程系列

图像工程(上册)

图像处理

(第2版)

Image Engineering (I)

Image Processing
(Second Edition)

章毓晋 编著

Zhang Yujin

清华大学出版社

清华大学信息科学技术学院教材——信息与通信工程系列

图像工程(上册)

图像处理

(第2版)

Image Engineering (I) Image Processing (Second Edition)

章毓晋 编著

Zhang Yujin

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本册书为《图像工程》的上册,主要介绍图像工程的第一层次——图像处理的基本概念、基本原理、典型方法、实用技术以及国际上有关研究的新成果。

本册书主要内容归纳在三个单元中。第一个单元(包含第1,2,3,4章)主要介绍图像的基础知识和图像工程的整体状况,并对初步的图像采集技术和常用的空域增强技术进行讨论,为进一步的学习打下基础。第二个单元(包含第5,6,7,8,9章)主要涉及改善图像质量的一些图像处理技术,其中第5章作为基础介绍基本的图像变换,第6,7,8章分别介绍频域增强、彩色处理和图像恢复技术,第9章的图像重建技术可看作图像恢复的特例。第三个单元(包含第10,11,12,13,14章)主要介绍与图像编码相关的技术,其中第10章介绍的典型图像变换是后几章的基础,第11,12章讨论图像编码,第13章讨论图像水印,第14章介绍多尺度技术,并对全书给予回顾。书中的附录介绍了图像方面的一些国际标准,主要与第三个单元相关。书中还提供大量例题、思考题和练习题,并对半数练习题提供了解答。

本书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、计算机视觉等学科大学本科和研究生专业基础课教材,也可供信息与通信工程、电子科学与技术、计算机科学与技术、测控技术与仪器、机器人自动化、生物医学工程、光学、电子医疗设备研制、遥感、测绘和军事侦察等领域的科技工作者参考。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

图像工程.上册,图像处理/章毓晋编著.—2版.—北京:清华大学出版社,2006.3

(清华大学信息科学技术学院教材——信息与通信工程系列)

ISBN 7-302-12445-0

I. 图… II. 章… III. 计算机应用—图像处理—高等学校—教材 IV. TP391.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 005789 号

出 版 者: 清华大学出版社

地 址: 北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn>

邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175

客 户 服 务: 010-62776969

组稿编辑: 陈国新 邹开颜

文稿编辑: 陈国新

印 装 者: 北京市昌平环球印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×230 印 张: 29.25 字 数: 626 千字

版 次: 2006 年 3 月第 2 版 2006 年 3 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-12445-0/TN·301

印 数: 1~5000

定 价: 36.00 元

《清华大学信息科学技术学院教材》

编 委 会

(以姓氏拼音为序)

主 任: 郑大钟

副 主 任: 蔡鸿程 邓丽曼 胡事民 任 勇 章 征
王希勤 王 雄 余志平

编 委: 高文焕 华成英 陆文娟 王诗宓 温冬婵
萧德云 谢世钟 殷人昆 应根裕 郑君里
郑纬民 周立柱 周润德 朱雪龙

秘 书: 王 娜

责任编辑: 马瑛珺 王一玲 陈国新 邹开颜

出版说明

本套教材是针对清华大学信息科学技术学院所属电子工程系、计算机科学与技术系、自动化系、微电子研究所、软件学院的现行本科培养方案和研究生培养计划的课程设置而组织编写的。这些培养方案和培养计划是基于清华大学对研究型大学的定位和对研究型教学的强调,吸纳多年来在教学改革与实践中所取得的成果和形成的共识,历经多届试用和不断修订而形成的。贯穿于其中的“本科教育的通识性、培养模式的宽口径、教学方式的研究型、专业课程的前沿性”的相关思想是我们组编本套教材所力求体现的基本指导原则。

本套教材以本科教材为主并适量包括研究生教材。定位上,属于信息学科大类中各个基本方向的基本理论和前沿技术的一套高等院校教材。层次上,覆盖学院公共基础课程、专业技术基础课程、专业课程、研究生课程。领域上,涉及6个系列14个领域,即学院公共基础课程系列,信息与通信工程系列(含通信、信息处理等领域),微电子光电子系列(含微电子、光电子等领域),计算机科学与技术系列(含计算机科学、计算机网络与安全、计算机应用、软件工程、网格计算等领域),自动化系列(含控制理论与控制工程、模式识别与智能控制、检测与电子技术、系统工程、现代集成制造等领域),实验实践系列。类型上,以文字教材为主并适量包括多媒体教材,以主教材为主并适量包括习题集、教师手册等辅助教材,以基本理论和工程技术教材为主并适量包括实验和实践课程教材。列入这套教材中的著作,大多是清华大学信息科学技术学院所属系所院开设的课程中经过较长教学实践而形成的,既有多年教学经验和教学改革基础上新编著的教材,也有部分已出版教材的更新和修订版本。教材在总体上突出求新与求实的风格,力求反映所属领域的基本理

论和新进展,力求做到学科先进性和教学适用性的统一。

本套教材的主要读者对象为电子科学与技术、信息与通信工程、计算机科学与技术、控制科学与工程、系统科学、电气工程、机械工程、化学与技术工程、核能工程等相关理工专业的大学生和研究生,以及相应领域和部门的科学工作者和工程技术人员。我们希望,这套教材既能为在校大学生和研究生的学习提供内容先进、论述系统和适于教学的教材或参考书,也能为广大科学工作者与工程技术人员知识更新与继续学习提供适合的和有价值的进修或自学读物。我们同时要感谢使用本系列教材的广大教师、学生和科技工作者的热情支持,并热忱欢迎提出批评和意见。

《清华大学信息科学技术学院教材》编委会

2003年10月

全套书第2版前言

Preface

本套书为《图像工程》第2版,共分3册,分别为《图像工程(上册)——图像处理》,《图像工程(中册)——图像分析》和《图像工程(下册)——图像理解》。整套书全面介绍图像工程的基本概念、基本原理、典型方法、实用技术以及国际上有关研究的新成果。

本套书的第1版也分3册,其中《图像工程(上册)——图像处理和图像分析》1999年出版,《图像工程(下册)——图像理解和计算机视觉》2000年出版,《图像工程(附册)——教学参考与习题解答》2002年出版。至今各册已一共重印20多次,总计达10万册。根据在网上查询的结果,约有上百所学校院所采用该套书作为教材、教学参考书或考研指定书/参考书。从读者向作者发来的上千封电子邮件中,也得知许多人在利用该套书进行自学。

本套书第1版自出版后也得到相关领域研究人员的广泛使用。根据利用“中国期刊网”中的“中国期刊全文数据库”和“万方数据库”中的“万方数字化期刊”所做的检索,可知本套书第1版自出版以来,已被600多篇在国内重要学术期刊上发表的研究文献所引用。又根据利用“中国期刊网”中的“中国优秀博硕士论文全文数据库”所做的检索,可知本套书第1版自出版以来,已被1000多篇博士和硕士论文所引用。

该套书的多次重印和多次被引用表明,作者一直倡导的,为了对各种图像技术进行综合研究、集成应用而建立的整体框架——图像工程作为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得到了广泛的认可。同时,随着研究的深入和技术的发展,编写新版的工作也逐渐提到议事日程上来。

第2版的编写开始于2003年,是年作者选择了进行学术休假。期

间作为新加坡南洋理工大学的访问教授,一方面在那里开出一门新课“图像分析”(advance in image analysis),并参与了其他几门课的教学工作;另一方面,静心构思了整套书的新框架,并开始了第2版的编写。为使新版有更多新的内容,在那里收集了10多本相关书籍,还借阅了20多本书,并作了15万词(英文)的笔记。这些书籍中,既包括多本典型的图像处理、图像分析和图像理解教材,也包括如成像技术、数字电视、小波变换、二值图像处理、非线性图像处理、三维图像处理、图像分割和组合、纹理分析、形状分析、立体图像分析、体视学、多视几何、图像代数、视觉表达和识别等专著。这为新版的编写打了一个坚实的基础。第2版在内容的深度和广度上,仍希望读者能通过本书的学习,独立地和全面地了解该领域的基本理论、技术、应用和发展。

第2版的编写仍如第1版那样,在编写的方针上,力求具有理论性、实用性、系统性、实时性;在内容叙述上,力求理论概念严谨,论证简明扼要。考虑到图像技术的飞速发展,第2版既保留了第1版有代表性的经典内容,也消减了一部分近年使用不多的陈旧内容,同时还认真选取了近年的许多最新研究成果和得到广泛使用的典型技术以进行充实。这些新内容既参考了许多有关文献,也结合了作者的一些研究工作和成果以及这些年来教学教案。第2版在整个篇幅上比第1版有相当的增加。

与第1版相比,第2版有如下几个特点:

第一,从总体框架上,第2版按图像工程的三个层次分为对应的三册。2004年,作者在清华大学也开出了“图像分析”课程,这样加上原有的两门课程,三门课程和三册教材就互相对应起来了。为此,第2版每册书都增加了教学使用建议,以帮助使用者。

第二,从教学的角度出发,以章为单位,对内容进行了均衡;同时对内容较多的技术,划分成基础部分和深入部分,以有利于不同专业背景使用者的选择。

第三,从学习的角度出发,结合教学实践和读者对第1版书的反馈意见,对一些重要和基本的章节概念,增加了解释和示例,以帮助读者理解和自学。

第四,从深入学习和开展科研的角度出发,在每章结尾处增加了各节小结以及为读者扩大视野和进一步研究而提供的一些相关参考文献的介绍,以帮助读者有的放矢地进行查阅。

第五,从使用方便的角度出发,将习题和对应的解答都集中在同一册书中。

本套书的第1版从1996年开始编写,至今已近10年。这期间,作者与许多读者(包括教师、学生、自学者)有过各种形式的讨论和交流,除了面谈外,许多人打过电话发过电子邮件。这些讨论和交流使作者获得了许多宝贵的意见和建议,对完善第1版和编写第2版起到了不可或缺的作用。值得指出的是,书中汇集了几年来不少听课学生的贡献,许多例题和练习题是在历届学生作业和课堂讨论的基础上提炼出来的,一些图片还直接由学生帮助制作,在选材上也从学生的反馈中受到许多启发。借此机会一并表示衷心的感谢。

本套书中有相当内容基于作者和他人共同研究的成果,特别是历年的学生边辉、陈挺、戴声扬、傅卓、高永英、葛菁华、胡浩基、黄英、黄翔宇、贾波、贾慧星、姜帆、李乐、李勍、李睿、刘青棣、刘惟锦、刘晓旻、刘忠伟、陆海斌、罗惠韬、罗沅、钱宇飞、秦暄、谭华春、王志明、吴高洪、吴玮、徐丹、徐枫、徐寅、薛景浩、杨静波、杨翔英、姚玉荣、俞天利、张宁和朱小青,博士后高立志以及进修教师崔京守、石俊生、杨卫平、张贵仓等,第1版和第2版采用的图片除作者本人制作的外,也包括他们在研究工作中收集和实验得到的。本套书应该说是多人合作成果的体现。

全书在编写过程中得到陈国新编辑认真的审阅和精心的修改,这既使全书增色不少,也使作者受益匪浅。

最后,作者感谢妻子何芸,女儿章荷铭以及父母家人在各方面的理解和支持!

章毓晋

2005年夏于清华园

通信:北京清华大学电子工程系,100084

电话:(010) 62781430

传真:(010) 62770317

电子邮件:zhangyj@ee.tsinghua.edu.cn

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

研究室网:image.ee.tsinghua.edu.cn

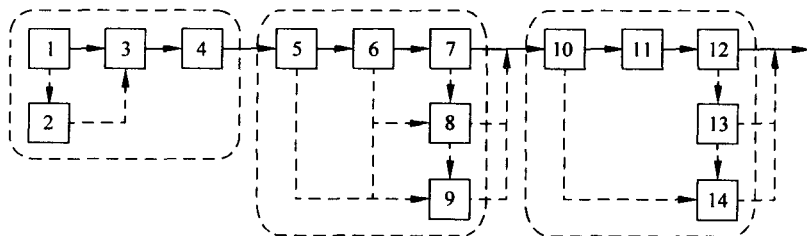
本册书概况和使用建议

本册书为《图像工程》的上册,主要介绍图像工程的第一层次——图像处理的基本概念、基本原理、典型方法、实用技术以及国际上有关研究的新成果。

本册书主要内容可划分在三个单元中。第一个单元(包含第1,2,3,4章)主要介绍图像的基础知识和图像工程的整体状况,基本的视觉过程和图像采集方法,图像中像素间的联系和坐标变换以及常用的空域图像增强技术等。这些也为进一步学习后面单元的内容打下了基础。第二个单元(包含第5,6,7,8,9章)以第5章介绍的基本图像变换为基础,论述改善图像质量的各种图像处理技术,包括频域图像增强技术,彩色图像处理技术和退化图像恢复技术,以及由投影重建图像技术等的基本原理和方法。这些典型的技术既可用于解决实际问题也为进一步学习图像工程中的高层技术奠定了基础。第三个单元(包含第10,11,12,13,14章)以第10章介绍的典型图像变换为基础,论述图像编码的基本原理和常用方法,涉及图像水印的相关内容,以及建立在多尺度表达基础上的图像处理方案等。书中的附录介绍了一些有关图像国际标准的情况,主要也与第三个单元相关。

本册书共有14章正文,1个附录,以及习题解答和参考文献。在这17个一级标题下共有75个二级标题(节),再下还有131个三级标题(小节)。全册书共有文字(也包括图片、绘图、表格、公式等)约60万字。本册书共有编了号的图304个、表格43个、公式923个。为便于教学和理解,本册书共给出各类例题109个。为便于检查教学和学习效果,各章后均有思考题和练习题,本册书共有思考题和练习题260个,对其中的137个练习题提供了参考答案。另外书末列出了直接引用和提供参考文献的近200篇文献的目录。

关于本册书的使用可借助下图解释。



本册书主要包括14章,根据内容可结合成为三个单元,每个单元包括的章如三个虚线框所示。每个单元选了三章作为基本内容,即第1章,第3章,第4章,第5章,第6章,第7章,第10章,第11章,第12章(可按此次序学习)。在包括了这9章基本内容的基础

上,可考虑根据专业和学时选择其他内容。如果需要了解图像采集方面的内容,可在第1章后学习第2章。第5章提供了第二部分的一些基础,如果有较好的数学基础且希望较深入地学习改善图像质量的技术,可在第6章或第7章后学习第8章;生物医学专业的也可以在第5章或第6章后直接学习第9章。第10章提供了第三部分的一些基础,如果希望了解图像水印方面的内容,可在第12章后学习第13章。最后第14章介绍多尺度技术,对许多图像处理技术从另一个角度进行了分析,可借助对它的学习来复习一些图像处理技术。

本册书各章内容基本平衡,根据学生的基础和背景,每章可用2~4课堂学时。各章后面均有较多的思考题和练习题(包括有若干个涉及编程实现图像处理算法),可每章平均安排1~3课外学时来完成。

本册书主要介绍图像处理的内容,最好作为学习图像技术的第一本书来学习(特别是自学的話)。如果比较关心图像分析的内容,可在学习完第1章,第3章,第4章后学习本套书的中册。在学习了第一个单元和第二个单元后应可以直接学习本套书下册。

目录

Contents

1	绪论	1
1.1	图像基本概念	1
1.1.1	图像和数字图像	1
1.1.2	图像的表达式	3
1.2	图像工程简介	5
1.2.1	图像技术和图像工程	5
1.2.2	图像工程的3个层次	6
1.2.3	图像工程相关学科和领域	8
1.2.4	图像工程的技术应用	9
1.2.5	图像工程文献统计分类	9
1.3	图像处理系统	11
1.3.1	系统构成框图	11
1.3.2	图像采集	12
1.3.3	图像显示打印	14
1.3.4	图像存储	19
1.3.5	图像处理	22
1.4	主要内容和安排	23
	总结和复习	26
2	图像采集	28
2.1	视觉过程	29
2.2	成像中的空间关系	31
2.2.1	成像几何	31

2.2.2	观察距离和角度	34
2.2.3	景深	35
2.3	光度学和亮度视觉	37
2.3.1	光度学	37
2.3.2	一个简单的成像模型	40
2.3.3	视觉系统对光的感知特点	40
2.4	采样和量化	43
2.4.1	空间分辨率和幅度分辨率	43
2.4.2	图像质量与采样和量化	45
2.4.3	对采样和量化的讨论	48
	总结和复习	49
3	像素空间关系	52
3.1	像素间联系	52
3.1.1	像素的邻域	52
3.1.2	像素间的邻接,连接和连通	53
3.1.3	像素间的距离	56
3.2	基本坐标变换	58
3.2.1	图像坐标变换	58
3.2.2	坐标变换讨论	61
3.3	形态变换	62
3.3.1	变换体系	62
3.3.2	一般仿射变换	63
3.3.3	特殊仿射变换	65
3.3.4	变换的层次	67
3.3.5	仿射变换的另一种描述方案	70
3.4	几何失真校正	71
3.4.1	空间变换	72
3.4.2	灰度插值	73
	总结和复习	76
4	空域增强技术	79
4.1	空域技术分类	80
4.2	图像间运算	81

4.2.1 算术和逻辑运算	82
4.2.2 图像间运算的应用	84
4.3 直接灰度映射	87
4.3.1 灰度映射原理	87
4.3.2 典型灰度映射	88
4.4 直方图变换	90
4.4.1 直方图均衡化	90
4.4.2 直方图规定化	93
4.5 线性滤波	97
4.5.1 技术分类和实现原理	97
4.5.2 线性平滑滤波器	99
4.6 非线性滤波	101
4.6.1 非线性平滑滤波器	101
4.6.2 非线性锐化滤波器	105
4.7 局部增强	107
总结和复习	108
5 基本图像变换	113
5.1 可分离和正交图像变换	113
5.2 傅里叶变换	115
5.2.1 2-D 傅里叶变换	115
5.2.2 傅里叶变换定理	117
5.2.3 快速傅里叶变换	121
5.3 沃尔什/哈达玛变换	122
5.3.1 沃尔什变换	122
5.3.2 哈达玛变换	124
5.3.3 关于两种变换的讨论	125
5.4 离散余弦变换	128
5.5 Radon 变换	130
5.5.1 Radon 变换定义	130
5.5.2 Radon 变换基本性质	132
5.5.3 Radon 反变换	133
总结和复习	135

6 频域图像增强	139
6.1 频域增强原理	140
6.2 低通滤波	141
6.3 高通滤波	145
6.4 带通和带阻滤波	149
6.5 同态滤波	151
6.6 频域技术与空域技术	153
总结和复习	156
7 彩色图像处理	158
7.1 彩色视觉和描述	159
7.1.1 彩色视觉基础	159
7.1.2 三基色与色匹配	159
7.1.3 色度图	161
7.2 彩色模型	164
7.2.1 面向硬设备的彩色模型	165
7.2.2 面向视觉感知的彩色模型	167
7.3 伪彩色增强	173
7.4 真彩色处理	175
7.4.1 处理策略	175
7.4.2 单分量变换增强	176
7.4.3 全彩色增强	178
总结和复习	179
8 图像恢复	183
8.1 退化及噪声	184
8.1.1 图像退化示例	184
8.1.2 噪声及来源	185
8.1.3 噪声概率密度函数	190
8.2 退化模型和对角化	191
8.2.1 退化模型	191
8.2.2 退化模型的计算	192
8.2.3 轮换矩阵对角化	194
8.3 关于恢复的讨论	196

8.3.1 有误差时的恢复	196
8.3.2 加性噪声信号	197
8.3.3 实恢复函数的确定	198
8.3.4 无约束和有约束恢复	199
8.4 无约束恢复	200
8.4.1 逆滤波	200
8.4.2 消除匀速直线运动模糊	202
8.5 有约束恢复	204
8.5.1 维纳滤波	204
8.5.2 有约束最小平方恢复	206
8.6 交互式恢复	209
总结和复习	211
9 图像重建	214
9.1 投影重建概述	215
9.1.1 投影重建方式	215
9.1.2 投影重建原理	220
9.2 傅里叶反变换重建	222
9.3 逆投影重建	226
9.3.1 卷积逆投影重建	226
9.3.2 其他逆投影重建	230
9.4 级数展开重建	233
9.5 综合重建方法	237
9.6 离散周期重建	238
总结和复习	240
10 典型图像变换	244
10.1 Gabor 变换	244
10.1.1 窗函数	244
10.1.2 短时傅里叶变换	245
10.1.3 连续 Gabor 变换	246
10.1.4 离散 Gabor 表达	247
10.2 哈尔变换	249
10.3 小波变换	250

10.3.1	小波变换基础	250
10.3.2	1-D 小波变换	255
10.3.3	快速小波变换	256
10.3.4	2-D 小波变换	258
10.3.5	小波包变换	263
10.4	霍特林变换	265
	总结和复习	269
11	图像编码基础	271
11.1	基本概念	272
11.1.1	数据冗余	272
11.1.2	图像保真度和质量	275
11.1.3	图像编码模型	277
11.2	基础理论	279
11.2.1	信息论简介	279
11.2.2	基本编码定理	282
11.3	LZW 编码	287
11.4	变长编码	289
11.4.1	哈夫曼编码	290
11.4.2	亚最优变长码	291
11.4.3	香农-法诺编码	292
11.4.4	算术编码	293
11.4.5	变长码的特性	295
11.5	位平面编码	296
11.5.1	位平面的分解	296
11.5.2	位平面的编码	298
	总结和复习	301
12	图像编码方法	305
12.1	预测编码	305
12.1.1	无损预测编码	305
12.1.2	有损预测编码	307
12.2	变换编码	314
12.2.1	变换编码系统	314