

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(中册)

图像分析

(第2版)

Image Engineering (II)

Image Analysis

(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(中册)

图像分析

(第2版)

Image Engineering (II)

Image Analysis

(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》的中册,主要介绍图像工程的第二层次——图像分析的基本概念、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五大部分中。第一大部分(包含第1,2,3章)介绍图像和图像工程基础,回顾了有关的图像处理技术,并对数字化的图像进行了详细描述,以便为进一步的学习打下基础。第二大部分(包含第4,5,6,7章)讨论图像分析的关键步骤——图像分割,除介绍了基本的图像分割原理和技术外,还对近年常用的典型分割技术及其扩展进行了讲解,另外还对图像分割评价给予了全面的概括。第三大部分(包含第8,9,10章)介绍图像分析的另一组关键工作——对目标的表达、描述和特征测量,其中对测量误差分析给予了详细讨论。第四大部分(包含第11,12,13章)分别介绍对图像目标的一些重要特性,包括纹理特性、形状特性和运动特性的分析技术。第五大部分(包含第14,15章)介绍一类重要的图像分析数学工具——数学形态学方法(包括二值数学形态学和灰度数学形态学)。书中对与图像分析密切相关的视觉学原理进行了介绍。书中还提供了大量例题、思考题和练习题,对部分练习题提供了解答。

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、测绘和军事侦察等学科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(中册)——图像分析/章毓晋编著. 第2版. —北京:清华大学出版社,2005.10
(清华大学信息科学技术学院教材——信息与通信工程系列)
ISBN 7-302-11519-2

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(2005)第 088311 号

出 版 者:清华大学出版社

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

社 总 机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

组稿编辑:邹开颜 陈国新

文稿编辑:陈国新

印 刷 者:北京市昌平环球印刷厂

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×230 印张:31.25 字数:657千字

版 次:2005年10月第2版 2005年10月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-11519-2/TN·268

印 数:1~4000

定 价:39.90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 汪 蕙 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: 马瑛琚 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”的相关思想将成为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、网络计算等领域),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。教材总体上将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主要概念、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被多次引用,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,是年自己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,自己在那里收集了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、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版在内容上,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文献,也结合了作者的一些研究工作和成果以及这些年来的教学教案。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,自己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。

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,以利于不同专业背景使用者选择。

第三,从学习的角度出发,结合教学实践和读者反馈意见,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帮助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,笔者与许多读者(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。这些讨论和交流使笔者获得了许多宝贵的意见、建议,为完善第1版和编写第2版都不可或缺。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,特别是历来的学生边辉、

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、李勍、李睿、刘青棣、刘惟锦、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自己制作的外,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》(第2版)的中册,主要介绍了图像工程的第二层次——图像分析的基本概念、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。

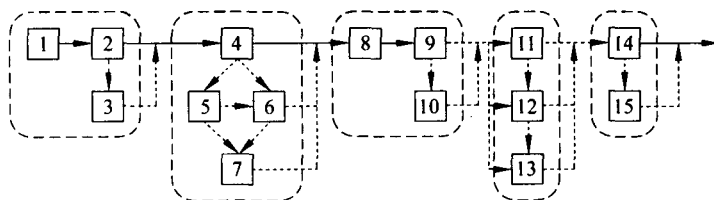
本册书主要内容归纳在五大部分中。第一大部分(包含第1,2,3章)介绍图像和图像工程基础,回顾了有关的图像处理技术,并对数字化的图像进行了详细描述,以便为进一步的学习打下基础。第二大部分(包含第4,5,6,7章)讨论图像分析的关键步骤——图像分割,除介绍了基本的图像分割原理和技术外,对近年一些得到广泛使用的分割技术以及对典型基本技术向3-D、运动和其他属性特殊图像扩展也进行了讨论,另外还对图像分割的评价等分割研究高层次内容给予了全面的概括。第三大部分(包含第8,9,10章)介绍图像分析的另一组关键工作——对目标的表达、描述和特征测量,除具体介绍了各种基本的表达和描述方法外,还特别对特征测量的误差分析进行了详细的讨论。第四大部分(包含第11,12,13章)分别介绍对图像目标重要特性,包括纹理特性、形状特性和运动特性的分析,这是对第三大部分的深入,与实际应用结合得更紧。第五大部分(包含第14,15章)介绍一类重要的图像分析数学工具——数学形态学方法(包括二值数学形态学和灰度数学形态学),它在图像分析的各种技术中都有广泛的应用。另外,附录A介绍了与图像分析密切相关的体视学内容。

本册书共有15章正文、1个附录以及习题解答和参考文献。在这18个一级标题下共有69个二级标题(节),再之下还有140个三级标题(小节)。本册书共有编了号的图451个、表格49个、公式646个。为便于教学和理解,本册书共给出各类例题113个。为便于检查教学和学



习,各章后均有思考题和练习题。本册书共有思考题和练习题 217 个,对其中的 64 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 300 多篇文献的目录。

关于本册书的学习/教学使用,建议参考下图。



图中将本册书主要包括的 15 章根据内容所结合成的五部分用五个虚线框来表示。本册书最基本的内容为第 1 章,第 2 章,第 4 章,第 8 章,第 9 章(可按此次序学习)。在包括了这些最基本内容的基础上,可考虑根据专业和学时选择其他内容。如果希望加强数字图像几何方面的内容,可在第 2 章后学习第 3 章。如果希望加强图像分割方面的内容,可在第 4 章后学习第 5 章或第 6 章(也可都学习)。如果希望加强对图像分割各层次的深入了解,还可学习第 7 章。如果希望加强特征测量方面的内容,可在第 9 章后学习第 10 章。第 11 章到第 13 章基本上相互并行,可根据应用要求和学时情况独立选择。对第 14 章和第 15 章的学习除可掌握数学形态学工具外,也可帮助回顾和总结复习先前各章的内容。对第 15 章的学习需在第 14 章的学习后进行。

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。各章后面的练习题中有一部分涉及编程实现图像分析算法,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分析的内容,最好在学习完本套书上册后再进行学习(特别是自学),此时第 1 章和第 2 章可供简单回顾。但本册书也可作为学习图像工程的第一门课的教材,此时需对第 1 章和第 2 章详细介绍。

目 录

Contents

第 1 章	绪论	1
1.1	图像和图像工程	1
1.1.1	图像基础知识	1
1.1.2	图像工程概述	3
1.2	图像分析概论	6
1.2.1	图像分析定义和研究内容	6
1.2.2	图像分析系统	8
1.3	主要内容和安排	10
	总结和复习	13
第 2 章	相关图像基础	15
2.1	图像处理技术概述	16
2.2	图像成像过程	17
2.2.1	成像变换	18
2.2.2	成像亮度	19
2.2.3	采样和量化	21
2.3	离散距离及扩展	24
2.3.1	常用离散距离	24
2.3.2	斜面距离和扩展	30
2.4	图像噪声消除	32
2.4.1	线性滤波消除噪声	32
2.4.2	非线性滤波消除噪声	35
2.4.3	混合滤波提高效率	37

2.4.4 组合滤波消除噪声	38
总结和复习	40
第3章 数字化的图像	43
3.1 图像采集网格	44
3.2 数字化模型	47
3.2.1 数字化模型基础	47
3.2.2 方盒量化	49
3.2.3 网格相交量化	51
3.2.4 目标轮廓量化	53
3.3 离散直线性	55
3.3.1 弦和弧	55
3.3.2 直线性	58
3.4 距离变换	60
3.4.1 定义和性质	60
3.4.2 局部距离的计算	61
3.4.3 离散距离变换的实现	63
3.4.4 3-D 距离变换	65
3.5 3-D 图像中的连通和拓扑	68
总结和复习	71
第4章 图像分割基础	73
4.1 图像分割定义和技术分类	74
4.2 并行边界技术	75
4.2.1 边缘及检测原理	75
4.2.2 正交梯度算子	77
4.2.3 方向微分算子	80
4.2.4 二阶导数算子	81
4.2.5 边界闭合	85
4.2.6 边界细化	86
4.3 串行边界技术	87
4.3.1 图搜索	87
4.3.2 动态规划	89
4.4 并行区域技术	91

4.4.1	原理和分类	91
4.4.2	依赖像素的阈值选取	93
4.4.3	依赖区域的阈值选取	96
4.4.4	依赖坐标的阈值选取	99
4.4.5	空间聚类	100
4.5	串行区域技术	102
4.5.1	区域生长	102
4.5.2	分裂合并	103
	总结和复习	105
第 5 章	特色分割算法	108
5.1	SUSAN 检测算子	109
5.1.1	USAN 原理	109
5.1.2	SUSAN 算子边缘检测	110
5.2	主动轮廓模型	113
5.2.1	主动轮廓	114
5.2.2	设计能量函数	114
5.3	特色的取阈值技术	118
5.3.1	多分辨率阈值选取	118
5.3.2	类间最大交叉熵阈值	120
5.3.3	类内最小模糊散度阈值	121
5.3.4	借助过渡区选择阈值	125
5.4	分水岭分割算法	128
5.4.1	基本原理和步骤	128
5.4.2	算法改进和扩展	132
	总结和复习	136
第 6 章	分割技术扩展	139
6.1	哈夫变换及广义哈夫变换	140
6.1.1	基本哈夫变换原理	140
6.1.2	哈夫变换的改进	143
6.1.3	广义哈夫变换原理	146
6.1.4	完整广义哈夫变换	149
6.2	亚像素边缘检测	150

6.2.1	基于矩保持的技术	151
6.2.2	利用一阶微分期望值的技术	153
6.2.3	借助切线信息的技术	154
6.3	从2-D推广到3-D	156
6.3.1	3-D边缘检测	156
6.3.2	3-D边界细化	161
6.3.3	3-D图像阈值化分割	162
6.3.4	3-D主动轮廓	165
6.3.5	3-D分裂合并和组合	166
6.4	特殊图像的分割	168
6.4.1	彩色图像的分割	168
6.4.2	深度图像的分割	170
6.4.3	合成孔径雷达图像的分割	172
	总结和复习	173
第7章	图像分割评价	177
7.1	分割评价研究分类	178
7.2	分割算法评价框架	180
7.3	分割评价准则	183
7.3.1	分析法准则	183
7.3.2	优度实验法准则	184
7.3.3	差异实验法准则	185
7.4	算法评价实例	188
7.4.1	试验设置和环境	188
7.4.2	试验结果和讨论	189
7.5	评价方法和准则比较	192
7.5.1	方法讨论和比较	193
7.5.2	准则的分析比较	194
7.5.3	准则的实验比较	195
7.6	基于评价的分割算法优选系统	198
7.6.1	算法优选思想和策略	198
7.6.2	优选系统的实现和效果	199
	总结和复习	201

第 8 章 目标表达	204
8.1 基于边界的表达	205
8.1.1 技术分类	205
8.1.2 链码	206
8.1.3 边界段和凸包	208
8.1.4 边界标记	209
8.1.5 多边形	211
8.1.6 地标点	213
8.2 基于区域的表达	215
8.2.1 技术分类	215
8.2.2 空间占有数组	215
8.2.3 四叉树	216
8.2.4 金字塔	217
8.2.5 围绕区域	219
8.2.6 骨架	220
8.3 基于变换的表达	224
8.3.1 技术分类	224
8.3.2 傅里叶变换表达	224
总结和复习	226
第 9 章 目标描述	229
9.1 基于边界的描述	230
9.1.1 简单边界描述符	230
9.1.2 形状数	231
9.1.3 边界矩	233
9.2 基于区域的描述	234
9.2.1 简单区域描述符	234
9.2.2 拓扑描述符	237
9.2.3 不变矩	240
9.3 对目标关系的描述	243
9.3.1 目标标记和计数	243
9.3.2 点目标的分布	248
9.3.3 字符串描述符	250
9.3.4 树结构描述符	251

总结和复习	252
第 10 章 特征测量和误差分析	255
10.1 直接测度和间接测度	256
10.2 准确性和精确性	258
10.3 4-连通和 8-连通	260
10.4 影响测量误差的因素	263
10.4.1 误差来源	263
10.4.2 光学镜头分辨率	264
10.4.3 采样密度	265
10.4.4 分割算法	269
10.4.5 特征量计算公式	271
10.4.6 综合影响	274
10.5 误差分析	274
总结和复习	276
第 11 章 纹理分析	279
11.1 关于纹理的讨论	280
11.2 纹理描述的统计方法	282
11.2.1 灰度共生矩阵	282
11.2.2 基于共生矩阵的纹理描述符	285
11.2.3 基于能量的纹理描述符	288
11.3 纹理描述的结构方法	290
11.3.1 基本的结构描述法	290
11.3.2 典型的结构描述法	291
11.4 纹理描述的频谱方法	293
11.5 一种纹理分类合成方法	299
11.6 纹理分割方法	302
11.6.1 纹理在图像分割中的作用	302
11.6.2 有监督纹理分割	303
11.6.3 无监督纹理分割	306
总结和复习	309