



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

第1版获全国普通高等学校优秀教材一等奖
第2版评为全国普通高等教育“十一五”精品教材
第3版评为2013年北京高等教育精品教材

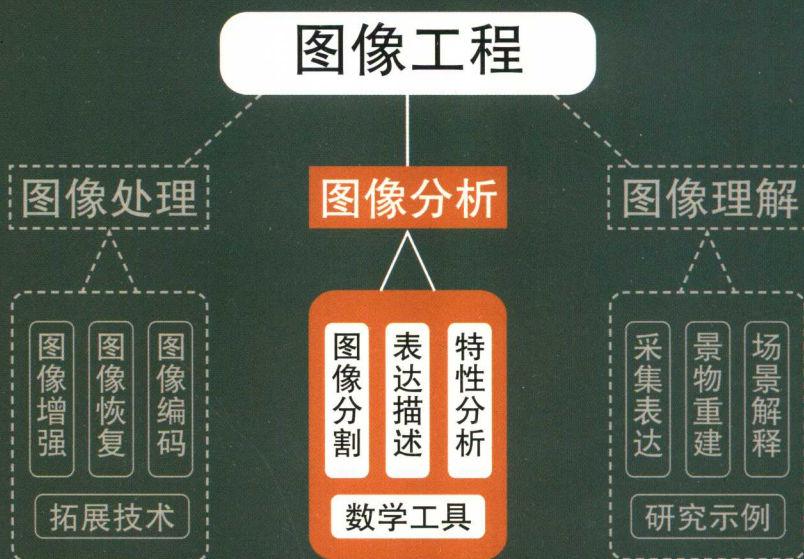
图像工程 (中册)

图像分析

(第4版)

章毓晋 (ZHANG Yu-Jin) 编著

IMAGE ENGINEERING (II)
IMAGE ANALYSIS
(Fourth Edition)



清华大学出版社





“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

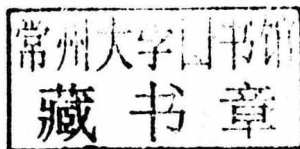
图像工程（中册）

图像分析

（第4版）

章毓晋 (ZHANG Yu-Jin) 编著

IMAGE ENGINEERING (II)
IMAGE ANALYSIS
(Fourth Edition)



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书为《图像工程》第4版的中册,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。

本书主要分为4个单元。第1单元(包含第2~5章)介绍图像分割技术,其中第2章介绍图像分割的基础知识和基本方法,第3章介绍一些典型的图像分割技术,第4章介绍对基本分割技术的推广,第5章介绍对图像分割的评价研究。第2单元(包含第6~8章)介绍对分割出来的目标的表达描述技术,其中第6章介绍目标表达技术,第7章介绍目标描述技术,第8章介绍进一步的测量和误差分析内容。第3单元(包含第9~12章)介绍目标特性分析技术,其中第9章介绍纹理分析技术,第10章介绍形状分析技术,第11章介绍运动分析技术。第12章介绍显著性和属性。第4单元(包含第13~15章)介绍一些相关的数学工具,其中第13章介绍二值图像数学形态学,第14章介绍灰度图像数学形态学,第15章介绍图像模式识别原理和方法。书中的附录介绍了人脸和表情识别的原理和技术,是与第15章相关的应用和扩展。书中还提供了大量例题、思考题和练习题,并对部分练习题提供了解答。书末还给出了主题索引。

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专业基础课或研究生专业教材,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。

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(中册):图像分析/章毓晋编著.—4版.—北京:清华大学出版社,2018
ISBN 978-7-302-49300-6

I. ①图… II. ①章… III. ①计算机应用—图像处理 IV. ①TP391.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第004388号

责任编辑:文怡

封面设计:李召霞

责任校对:梁毅

责任印制:王静怡

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:三河市君旺印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:29

字 数:703千字

版 次:1999年3月第1版 2018年2月第4版

印 次:2018年2月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:89.00元

产品编号:077214-01

全套书第4版前言

这是《图像工程》第4版,全套书仍分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》。它们全面介绍图像工程的基础概念、基本原理、典型方法、实用技术以及国际上相关内容研究的新成果。

《图像工程》第3版也分3册,名称相同。上、中、下册均在2012年出版,而2013年出版了《图像工程》第3版的3册合订本。第3版至今已重印13次,总计约3万多册。

《图像工程》第2版也分3册,名称相同。上、中、下册分别在2006年、2005年和2007年出版,2007年还出版了《图像工程》第2版的3册合订本。第2版共重印18次,总计近7万册。

《图像工程》第1版也分3册,名称分别为《图像工程(上册)——图像处理和分析》《图像工程(下册)——图像理解和计算机视觉》和《图像工程(附册)——教学参考及习题解答》。这三册分别在1999年、2000年和2002年出版。第1版共重印27次,总计约11万册。

《图像工程》的多次重印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,也在教学中得到大量使用。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4版的编写开始于2016年,是年暑假静心构思了全套书的整体框架。其后,根据框架陆续收集了一些最新的相关书籍和文献(包括印刷版和电子版),并仔细进行了阅读和做了笔记。这为新版的编写打下了一个坚实的基础。期间,还结合以往课堂教学和学生反馈,对一些具体内容(包括习题)进行了整理和调整。第4版内容具有一定的深度和广度,希望读者通过本套书的学习,能够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4版在编写的方针上,仍如前3版那样力求具有理论性、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。在内容方面,第4版基本保留了第3版中有代表性的经典内容,同时考虑到图像技术的飞速发展,还认真选取了近年的一些最新研究成果和得到广泛使用的典型技术进行充实。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。除每册书均增加了一章全新内容外,还各增加了多个节和小节,特别还增加了许多例题,其中有些是介绍一些新的选学内容,有些则从其他的角度来补充解释已有的概念和方法。这些例题可根据课时安排、学生基础等选择使用,比较灵活。总体来说,第4版的内容覆盖面更广,介绍更全面细致,整体篇幅比第3版有约20%的增加。

第4版在具体结构和章节安排方面仍然保留了上一版的特点:

第一,各册书均从第2章就开始介绍正式内容,更快进入主题。先修或预备内容分别安排在没有先修部分的同一章前部,从教学角度来说,更加实用,也突出了主线内容。

第二,除第1章绪论外,各册书的正式内容仍都结合成4个主题相关的单元(并画在封

面上),每个单元都有具体说明,帮助选择学习。全书有较强的系统性和结构性,也有利于复习考核。

第三,各章中的习题均只有少部分给出了解答,使教师可以更灵活地选择布置。更多的习题和其余的习题解答将会放在出版社网站上,便于补充、改进,网址为 www.tup.com.cn。

第四,各册书后均仍有主题索引(并给出了英文),这样既方便在书中查找有关内容,又方便在网上查找有关文献和解释。

第4版还增加了一项新的举措。书中的彩色图片印刷后均为黑白的,但可以通过手机扫描图片旁的二维码,调出存放在出版社网站上的对应彩色图片,获得更多的信息和更好的观察效果。

从1996年开始编写《图像工程》第1版以来至今已20多年。期间,作者与许多读者(包括教师、学生、自学者等)有过各种形式的讨论和交流,除了与一些同行面谈外,许多人打来电话或发来电子邮件。这些讨论和交流使作者获得了许多宝贵的意见和建议,在编写这4版中都起到了不可或缺的作用,特别是在解释和描述的详略方面都结合读者反馈意见进行了调整,从而更加容易理解和学习。值得指出的是,书中还汇集了多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。借此机会对他们一并表示衷心的感谢。

书中有相当内容基于作者和他人共同研究的成果,特别是历年研究室的学生(按姓名拼音排):卜莎莎、边辉、蔡伟、陈权崎、陈挺、陈伟、陈正华、崔崑、程正东、戴声扬、段菲、方慕园、冯上平、傅卓、高永英、葛菁华、侯乐天、胡浩基、黄英、黄翔宇、黄小明、贾波、贾超、贾慧星、姜帆、李佳童、李娟、李乐、李品一、李勍、李睿、李硕、李闻天、李相贤(LEE Sang Hyun)、李小鹏、李雪、梁含悦、刘宝弟、刘晨阳、刘峰、刘锴、刘青棣、刘惟锦、刘晓旻、刘忠伟、陆海斌、陆志云、罗惠韬、罗沅、朴寅奎(PARK In Kyu)、钱宇飞、秦暄、秦垠峰、阮孟贵(NGUYEN Manh Quy)、赛义(Saeid BAGHERI)、沈斌、谭华春、汤达、王树徽、王宇雄、王志国、王志明、王钟绪、温宇豪、文熙安(Tristan VINCENT)、吴高洪、吴纬、夏尔雷(Charley PAULUS)、向振、徐丹、徐枫、徐洁、徐培、徐寅、许翔宇、薛菲、薛景浩、严严、杨劲波、杨翔英、杨忠良、姚玉荣、游钱皓喆、鱼荣珍(EO Young Jin)、俞天利、于信男、袁静、负亮、张宁、赵雪梅、郑胤、周丹、朱施展、朱小青、朱云峰,博士后高立志、王怀颖以及进修教师崔京守(CHOI Jeong Swu)、郭红伟、石俊生、杨卫平、曾萍萍、张贵仓等。第1版、第2版、第3版和第4版采用的图表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。该书应该说是多人合作成果的体现。

最后,感谢妻子何芸、女儿章荷铭在各方面的理解和支持!

章毓晋

2018年元旦于书房

通信:北京,清华大学电子工程系,100084

办公:清华大学,罗姆楼,6层305室

电话:(010) 62798540

传真:(010) 62770317

电邮:zhang-yj@tsinghua.edu.cn

主页:oa.ee.tsinghua.edu.cn/~zhangyujin/

中册书概况和使用建议

本书为《图像工程》第4版的中册,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。

本书第1章是绪论,介绍图像分析基础并概述全书。图像分析的主要内容分别在4个单元中介绍。第1单元(包含第2~5章)介绍图像分割技术;其中第2章介绍图像分割的基础知识和基本方法,第3章介绍一些典型的图像分割技术,第4章介绍对基本分割技术的推广,第5章介绍对图像分割的评价研究。第2单元(包含第6~8章)介绍对分割出目标的表达描述技术,其中第6章介绍目标表达技术,第7章介绍目标描述技术,第8章介绍进一步的特征测量和误差分析内容。第3单元(包含第9~12章)介绍目标特性分析技术,其中第9章介绍纹理分析技术,第10章介绍形状分析技术,第11章介绍运动分析技术,第12章介绍显著性和属性。第4单元(包含第13~15章)介绍一些相关的数学工具,其中第13章介绍二值图像数学形态学,第14章介绍灰度图像数学形态学,第15章介绍图像模式识别原理和方法。书中的附录介绍了人脸和表情识别的原理和技术,是与第15章相关的应用和扩展。

本书包括15章正文,1个附录,以及“部分思考题和练习题解答”“参考文献”和“主题索引”。在这19个一级标题下共有91个二级标题(节),再向下还有148个三级标题(小节)。全书共有文字(也包括图片、绘图、表格、公式等)60多万字。本书共有编了号的图438个(包括478幅图片)、表格50个、公式760个。为便于教学和理解,本书共给出各类例题139个。为便于检查教学和学习效果,各章后均有12个思考题和练习题,全书共有180个,对其中的30个(每章2个)提供了参考答案(更多的思考题和练习题解答将考虑另行提供)。另外,统一列出了直接引用和提供参考文献的400多篇文献的目录。最后,书末还给出了650多个主题索引(及英译)。

本书各章主要内容和讲授长度基本平衡,根据学生的基础和背景,每章可用3~4个课堂学时讲授,另外可能还需要平均2~3个课外学时练习和复习。本书电子教案可在清华大学出版社网站 <http://www.tup.com.cn> 或作者主页 <http://oa.ee.tsinghua.edu.cn/~zhangyujin/> 下载。

本书主要介绍图像分析的内容,需要有一定的图像处理基础,最好作为学习图像技术的第二本书来学习(如果自学的话,最好在学习完上册的前两个单元后进行)。当学时比较紧张时,可先学习完本书前两个单元,再在后两个单元中选取部分内容。如果需要学习图像处理技术,可以在学习完本书前两个单元后去学习《图像工程》的下册。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 图像和图像工程	1
1.1.1 图像基础	1
1.1.2 图像工程	2
1.2 图像分析概论	5
1.2.1 图像分析定义和研究内容	5
1.2.2 图像分析系统	7
1.3 图像分析中的数字化	8
1.3.1 离散距离	8
1.3.2 连通组元	10
1.3.3 数字化模型	12
1.3.4 数字弧和弦	16
1.4 距离变换	18
1.4.1 定义和性质	18
1.4.2 局部距离的计算	19
1.4.3 距离变换的实现	20
1.5 内容框架和特点	22
总结和复习	24

第 1 单元 图像分割

第 2 章 图像分割基础	29
2.1 图像分割定义和技术分类	29
2.2 并行边界技术	30
2.2.1 边缘及检测原理	30
2.2.2 正交梯度算子	31
2.2.3 方向微分算子	32
2.2.4 二阶导数算子	34
2.2.5 边界闭合	38
2.3 串行边界技术	39
2.3.1 主动轮廓模型	39

2.3.2	能量函数	40
2.4	并行区域技术	42
2.4.1	原理和分类	42
2.4.2	依赖像素的阈值选取	44
2.4.3	依赖区域的阈值选取	46
2.4.4	依赖坐标的阈值选取	49
2.4.5	空间聚类	50
2.5	串行区域技术	51
2.5.1	区域生长	51
2.5.2	分裂合并	52
	总结和复习	53
第3章	典型分割算法	57
3.1	兴趣点检测	57
3.1.1	二阶导数检测角点	57
3.1.2	最小核同值区算子	58
3.1.3	哈里斯兴趣点算子	62
3.2	图割方法	64
3.3	特色的阈值化和聚类技术	70
3.3.1	多分辨率阈值选取	70
3.3.2	借助过渡区选择阈值	71
3.3.3	借助均移确定聚类	74
3.4	分水岭分割算法	76
3.4.1	基本原理和步骤	76
3.4.2	算法改进和扩展	80
	总结和复习	83
第4章	分割技术扩展	86
4.1	从像素单元到目标单元	86
4.1.1	像素和目标之间的单元	87
4.1.2	椭圆目标检测	88
4.2	从哈夫变换到广义哈夫变换	90
4.2.1	哈夫变换	90
4.2.2	广义哈夫变换原理	94
4.2.3	完整广义哈夫变换	96
4.3	从像素精度到亚像素精度	98
4.3.1	基于矩保持的技术	98
4.3.2	利用一阶微分期望值的技术	99
4.3.3	借助切线信息的技术	99

4.4	从 2-D 图像到 3-D 图像	101
4.4.1	3-D 边缘检测	102
4.4.2	3-D 图像阈值化	106
4.5	从灰度图像到彩色图像	108
4.5.1	彩色空间的选择	108
4.5.2	彩色图像分割策略	109
	总结和复习	110
第 5 章	分割评价比较	113
5.1	分割评价研究分类	114
5.2	分割算法评价框架	115
5.3	分割评价的准则	117
5.3.1	分析法准则	117
5.3.2	优度试验法准则	119
5.3.3	差异试验法准则	120
5.4	分割算法评价示例	122
5.4.1	实验算法和图像	122
5.4.2	实验结果和讨论	123
5.5	评价方法和准则比较	125
5.5.1	方法讨论和对比	126
5.5.2	准则的分析比较	127
5.5.3	准则的实验比较	128
5.6	基于评价的算法优选系统	131
5.6.1	算法优选思想和策略	131
5.6.2	优选系统的实现和效果	132
	总结和复习	134

第 2 单元 表达描述

第 6 章	目标表达	139
6.1	基于边界的表达	139
6.1.1	技术分类	139
6.1.2	链码	140
6.1.3	边界段	142
6.1.4	边界标志	144
6.1.5	多边形	146
6.1.6	地标点	147
6.2	基于区域的表达	148
6.2.1	技术分类	148

6.2.2	空间占有数组	149
6.2.3	四叉树	149
6.2.4	金字塔	151
6.2.5	围绕区域	152
6.2.6	骨架	154
6.3	基于变换的表达	157
6.3.1	技术分类	157
6.3.2	傅里叶变换表达	158
	总结和复习	159
第7章	目标描述	162
7.1	基于边界的描述	162
7.1.1	简单边界描述符	162
7.1.2	形状数	164
7.1.3	边界矩	165
7.2	基于区域的描述	165
7.2.1	简单区域描述符	165
7.2.2	拓扑描述符	170
7.2.3	区域不变矩	174
7.3	对目标关系的描述	177
7.3.1	目标标记和计数	177
7.3.2	点目标的分布	183
7.3.3	字符串描述	184
7.3.4	树结构描述	186
	总结和复习	187
第8章	测量和误差分析	189
8.1	直接测度和间接测度	189
8.2	需区别的术语	191
8.2.1	准确性和精确性	191
8.2.2	模型假设和实际观察	193
8.2.3	4-连通和8-连通	194
8.3	影响测量误差的因素	196
8.3.1	误差来源	196
8.3.2	光学镜头分辨率	197
8.3.3	采样密度	198
8.3.4	分割算法	204
8.3.5	特征计算公式	205
8.3.6	综合影响	208

8.3.7 随机样本共识	208
8.4 误差分析	209
总结和复习	211

第3单元 特性分析

第9章 纹理分析	215
9.1 纹理研究概况	215
9.2 纹理描述的统计方法	217
9.2.1 灰度共生矩阵	217
9.2.2 基于共生矩阵的纹理描述符	218
9.2.3 基于能量的纹理描述符	219
9.3 纹理描述的结构方法	221
9.3.1 结构描述法基础	221
9.3.2 纹理镶嵌	223
9.3.3 局部二值模式	224
9.4 纹理描述的频谱方法	227
9.4.1 傅里叶频谱	227
9.4.2 盖伯频谱	228
9.5 一种纹理分类合成方法	230
9.6 纹理分割	232
9.6.1 有监督纹理分割	233
9.6.2 无监督纹理分割	235
总结和复习	237
第10章 形状分析	240
10.1 形状定义和研究	240
10.2 平面形状的分类	242
10.3 形状特性的描述	243
10.3.1 形状紧凑性描述	244
10.3.2 形状复杂性描述	249
10.4 基于技术的描述	252
10.4.1 基于多边形的描述符	252
10.4.2 基于离散曲率的描述符	254
10.5 拓扑结构的描述	257
10.6 分形维数	258
总结和复习	262

第 11 章 运动分析	264
11.1 运动研究内容	264
11.2 运动目标检测	265
11.2.1 背景建模	265
11.2.2 光流场	270
11.2.3 特定运动模式的检测	273
11.3 运动目标分割	274
11.3.1 目标分割和运动信息提取	274
11.3.2 稠密光流算法	275
11.3.3 基于参数和模型的分割	277
11.4 运动目标跟踪	280
11.4.1 典型技术	280
11.4.2 子序列决策策略	286
总结和复习	287
第 12 章 显著性和属性	289
12.1 显著性概述	290
12.2 显著性检测	292
12.3 显著区域分割提取	294
12.3.1 基于对比度幅值	294
12.3.2 基于对比度分布	296
12.3.3 基于最小方向对比度	298
12.3.4 显著目标分割和评价	300
12.4 属性描述概况	302
12.5 属性提取中的特征比较	304
12.6 属性应用	306
12.6.1 跨类目标分类	306
12.6.2 属性学习和目标识别	308
12.6.3 基于局部动作属性的动作分类	310
总结和复习	311

第 4 单元 数学工具

第 13 章 数学形态学:二值	317
13.1 基本集合定义	317
13.2 二值形态学基本运算	319
13.2.1 二值膨胀和腐蚀	319
13.2.2 二值开启和闭合	324
13.2.3 二值基本运算性质	326

13.3	二值形态学组合运算	327
13.3.1	击中-击不中变换	327
13.3.2	二值组合运算	330
13.4	二值形态学实用算法	334
	总结和复习	339
第 14 章	数学形态学:灰度	341
14.1	灰度图像的排序	341
14.2	灰度形态学基本运算	342
14.2.1	灰度膨胀和腐蚀	342
14.2.2	灰度开启和闭合	346
14.2.3	灰度基本运算性质	348
14.3	灰度形态学组合运算	348
14.4	灰度形态学实用算法	352
14.5	图像代数	358
	总结和复习	361
第 15 章	图像识别	364
15.1	模式和分类	364
15.2	不变量交叉比	365
15.2.1	交叉比	365
15.2.2	非共线点的不变量	367
15.2.3	对称的交叉比函数	368
15.2.4	交叉比应用示例	369
15.3	统计模式识别	370
15.3.1	最小距离分类器	370
15.3.2	最优统计分类器	371
15.3.3	自适应自举	375
15.4	感知机和支持向量机	376
15.4.1	感知机	376
15.4.2	支持向量机	380
15.5	结构模式识别	383
15.5.1	字符串结构识别	383
15.5.2	树结构识别	386
	总结和复习	388
附录A	人脸和表情识别	391
A.1	生物特征识别	391
A.2	人脸检测定位	392

A. 2.1	基本方法	393
A. 2.2	基于豪斯道夫距离的方法	393
A. 3	脸部器官提取和跟踪	396
A. 3.1	眼睛几何模型及确定	396
A. 3.2	眨眼过程中的眼睛轮廓跟踪	398
A. 4	表情识别	400
A. 4.1	表情识别和步骤	400
A. 4.2	表情特征提取	401
A. 4.3	基于盖伯变换的特征提取	405
A. 4.4	表情分类	406
A. 4.5	基于高阶奇异值分解的分类	408
A. 5	人脸识别	412
A. 5.1	边缘本征矢量加权方法	412
A. 5.2	非特定表情人脸识别	413
部分思考题和练习题解答		415
参考文献		421
主题索引		438

第1章 绪 论

本书为《图像工程》整套书的中册,起着承上(图像处理)启下(图像理解)的作用。

本章对全书内容和结构进行概括介绍,其内容安排如下。

1.1节首先回顾一些与图像相关的概念、定义,然后对将各种图像技术集中结合以及对整个图像领域进行研究应用的新学科——图像工程进行概述。

1.2节概括介绍图像分析的定义和研究内容,讨论图像分析与图像处理,图像分析与模式识别的联系和区别,并结合图像分析系统的框架讨论其各个组成工作模块的功能和特点。

1.3节介绍了一系列图像分析中常用的数字化概念,包括离散距离、连通组元、数字化模型、数字弧和数字弦。

1.4节介绍图像分析中广泛使用的距离变换。先给出距离变换的定义和性质,然后介绍利用局部距离来逐步计算全局距离的原理,最后分别讨论离散距离变换的串行实现方法和并行实现方法。

1.5节概括介绍本书主要内容、框架结构、编写特点以及先修知识要求。

1.1 图像和图像工程

先简要回顾一些有关图像的基本概念,再概述图像工程学科3个层次的主要名词、定义和发展情况,以及与相近学科的联系、区别。

1.1.1 图像基础

图像是用各种观测系统以不同形式和手段观测客观世界而获得的,可以直接或间接作用于人眼并进而产生视知觉的实体[章1996a]。这里图像的概念是比较广义的,包括照片、绘图、动画、视像,甚至文档等。图像中包含了它所表达物体的丰富描述信息,是我们最主要的信息源。

客观世界在空间上是三维(3-D)的,通过投影得到的则是二维(2-D)的图像,这是本书讨论的主体。在常见的观察尺度上,客观世界是连续的。图像采集时考虑到计算机加工的要求,需要在坐标空间和性质空间中都要进行离散化。本书讨论的都是离散的数字图像,在不会引起误解的情况下,均直接使用图像一词。一幅图像可用一个2-D数组 $f(x, y)$ 来表示,这里 x 和 y 表示2-D空间 XY 中一个离散坐标点的位置,而 f 则代表图像在点 (x, y) 的某种性质 F 的离散数值。对实际图像, x 和 y 以及 f 的取值都是有限的。

从计算的角度出发,常用一个2-D的 $M \times N$ 的矩阵 F (其中 M 和 N 分别为图像的总行数和总列数)来表示一幅2-D图像

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1N} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{M1} & f_{M2} & \cdots & f_{MN} \end{bmatrix} \quad (1.1.1)$$

式(1.1.1)的形式比较形象地表明一幅 2-D 图像是一种空间属性(如亮度)的分布模式。2-D 图像中每个基本单元(对应式(1.1.1)中矩阵的每一项)称为图像元素,简称**像素**;而对 3-D 空间 XYZ 中的图像,其基本单元称为**体素**。由式(1.1.1)还可见,一幅 2-D 图像是某种性质幅度模式的 2-D 空间分布。对 2-D 图像显示的基本思路就是将 2-D 图像看作在 2-D 空间位置上的一种亮度分布。一般利用显示设备在每个空间位置赋以不同灰度来显示图像,如例 1.1.1。

例 1.1.1 图像显示

图 1.1.1 给出两幅典型的**灰度图像**(Lena 和 Cameraman),它们分别用两种形式显示。如图(a)所示的坐标系常在屏幕显示中采用,其坐标的原点 O 在图像的左上角,纵轴标记图像的**行**,横轴标记图像的**列**。图(b)所示的坐标系常在图像计算中采用,它的原点位于图像的左下角,横轴为 X 轴,纵轴为 Y 轴(与常用的笛卡儿坐标系相同)。注意 $f(x,y)$ 既可代表这幅图像,也可表示在 (x,y) 坐标处像素的值。

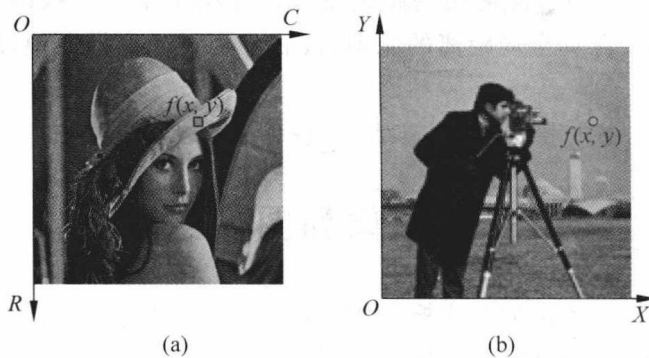


图 1.1.1 图像和像素

□

1.1.2 图像工程

图像技术在广义上是各种与图像有关的技术的总称,除对图像的采集和加工外,还可包括基于加工结果的判断决策和行为规划等,以及为完成上述功能而进行的硬件设计及制作等方面的技术。

图像工程学科是一个将数学、光学等基础科学的原理结合在图像应用中积累的经验而发展起来的,将各种图像技术集中结合起来的,对整个图像领域进行研究应用的新学科。

1. 图像工程 3 个层次

图像工程的内容非常丰富,覆盖面也很广,根据抽象程度、数据量和研究方法等的不同可分为 3 个层次,即图像处理、图像分析和图像理解,参见图 1.1.2。本套书上册已集中介绍的**图像处理**是比较低层的操作,它主要在图像像素级上进行处理,处理的数据量非常大。本册书集中介绍的**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非图形式的描述。本套书下册将集中介绍的**图像理解**主要是高层操作,基本上是对从

描述抽象出来的符号进行运算,其处理过程和方法与人类的思维推理有许多类似之处。

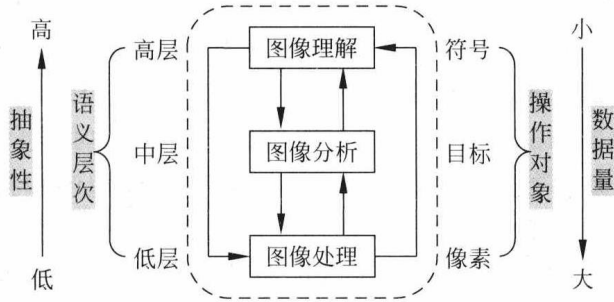


图 1.1.2 图像工程 3 层次示意图

另外由图 1.1.2 可见,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,其表达形式逐步转化,代表了更有组织和用途的信息。在这个过程中,一方面语义不断引入,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,因此能提高低层操作的效能。

例 1.1.2 从图像表达到符号表达

原始采集的图像一般采用**光栅图像**的形式存储。将图像区域分成小的单元,在每个单元中,使用一个介于最大值和最小值的灰度值来表示该单元处图像的亮度。如果光栅足够细,即单元尺寸足够小,就可看到连续的图像。

图像分析的目的是提取可以充分地描述目标特性的数据且使用尽可能少的存储空间。图 1.1.3 给出随着对光栅图像的分析而出现的表达变化。图(a)是原始的用光栅形式表达的图像,每个小正方形对应一个像素。图像中有些像素有较低的灰度(阴影),表示它们与周围其他像素(的性质)不同。这些有较低灰度的像素构成一个近似圆形的环。通过图像分析,可将圆目标(目标是图像中某些像素的集合)分割出来,得到轮廓曲线如图(b)所示。接下来,用一个圆来拟合上面的曲线,并采用几何表达将圆矢量化,得到一条封闭光滑的曲线。提取出圆后,可对其采用符号表达,其中图(c)定量且简洁地给出了圆的方程而图(d)抽象地给出了“圆”的概念。图(d)可以看成对图(c)的数学公式所给出的符号表达进行识别的结果或解释,相对图(c)的定量表达(描述目标的精确尺寸和形状),图(d)的表达更定性,也更抽象。

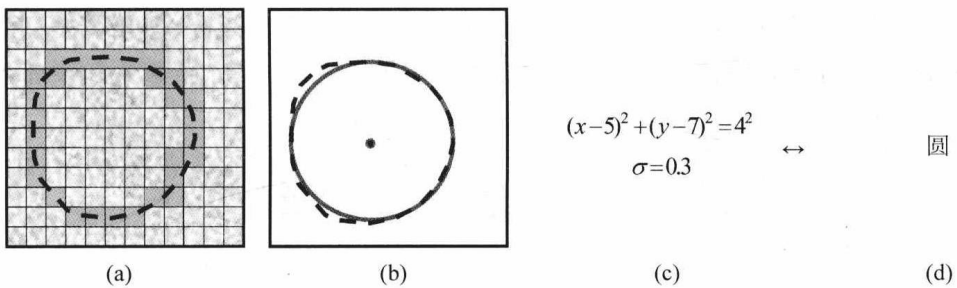


图 1.1.3 从图像表达到符号表达

很明显,随着对图像的处理和分析,从图像表达到符号表达,数据量减少,语义层次提高。 □