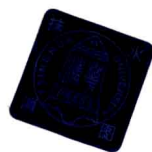


21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



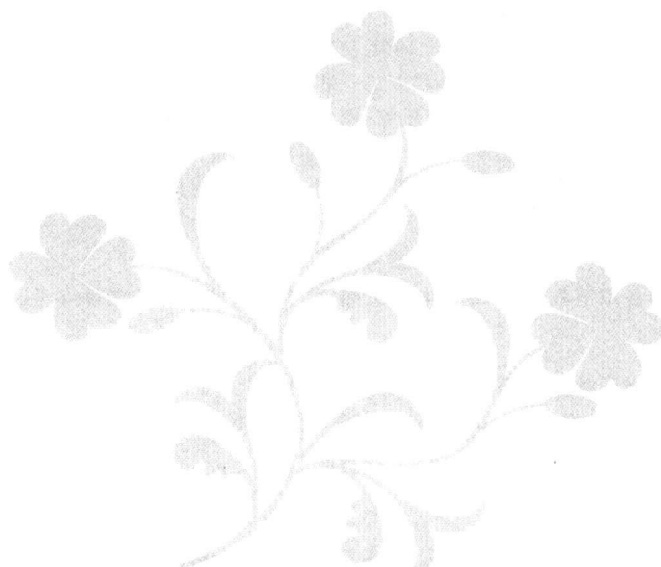
数字图像处理教程

朱秀昌 刘峰 胡栋 编著



清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



数字图像处理教程

朱秀昌 刘峰 胡栋 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本教程主要介绍数字图像处理方面的基本原理、主要技术、典型应用和实现方法。

全书共 13 章,大致可分为 3 部分。第一部分为第 1~5 章,在图像数字化的基础上,给出了图像的变换、增强和复原等图像处理的基本原理和处理方法;第二部分为第 6~12 章,在上述基本图像处理的基础上,分别介绍较近发展起来的小波变换、图像压缩、图像重建、图像分割、图像水印、形态学处理和彩色处理等基本原理和计算方法;第三部分为第 13 章,简单介绍图像处理的软件仿真环境和硬件实现平台。

本教程适合信号处理、自动控制、通信工程、广播电视、电子信息、生物医学工程、遥感遥测、计算机应用、模式识别、光学工程等专业的大学高年级学生、硕士研究生用作教材或参考书,也可供和图像有关的科技工作者、工程技术人员及其他感兴趣的读者参考。

本教程附有配套的各章节教学用 PPT 电子文档,可供开设此课程的老师参考。

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

数字图像处理教程/朱秀昌,刘峰,胡栋编著. —北京:清华大学出版社,2011.7

(21 世纪高等学校规划教材·电子信息)

ISBN 978-7-302-25079-1

I. ①数… II. ①朱… ②刘… ③胡… III. ①数字图像处理—高等学校—教材

IV. ①TN911.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 046425 号

责任编辑:闫红梅 柴文强

责任校对:梁 毅

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954, jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京市清华园胶印厂

装 订 者:三河市金元印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:20.5 字 数:511 千字

版 次:2011 年 7 月第 1 版 印 次:2011 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:29.50 元

产品编号:036899-01

编审委员会成员

东南大学
南京大学
南京航空航天大学
解放军理工大学

上海大学
上海交通大学

华中科技大学

华中师范大学
武汉理工大学

宁波大学
天津大学

中国科学技术大学

苏州大学
山东大学
山东科技大学
东北师范大学
沈阳工业学院
长春大学
吉林大学
湖南大学
长沙理工大学
华南理工大学

王志功 教授
王新龙 教授
王成华 教授
邓元庆 教授
刘景夏 副教授
方 勇 教授
朱 杰 教授
何 晨 教授
严国萍 教授
朱定华 教授
吴彦文 教授
刘复华 教授
李中年 教授
蒋刚毅 教授
王成山 教授
郭维廉 教授
王煦法 教授
郭从良 教授
徐佩霞 教授
赵鹤鸣 教授
刘志军 教授
郑永果 教授
朱守正 教授
张秉权 教授
张丽英 教授
林 君 教授
何怡刚 教授
曾喆昭 教授
冯久超 教授

西南交通大学

冯全源 教授

金炜东 教授

重庆工学院

余成波 教授

重庆通信学院

曾凡鑫 教授

重庆大学

曾孝平 教授

重庆邮电学院

谢显中 教授

张德民 教授

西安电子科技大学

彭启琮 教授

樊昌信 教授

西北工业大学

何明一 教授

集美大学

迟 岩 教授

云南大学

刘惟一 教授

东华大学

方建安 教授

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和教学方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称“质量工程”),通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上。精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

(1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。

(6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与计算机应用。

(7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。

清华大学出版社经过二十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人: 魏江江

E-mail: weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前言

图像信息、图像知识和图像技术的普及和发展,使得“数字图像”这一概念已经深入人心,无须更多的介绍和说明。有关《数字图像处理》的教科书也历经 30 余年,从国外到国内形成了为数不少各具特色的蓝本,有的注重理论,有的注重工程,有的注重前沿,有的注重基础,其中也不乏诸多的优秀教材。

那么,本教程编写的必要性何在?或者说本教程的特点何在?这是笔者曾思虑的问题。对此,笔者的想法是:编写本书,旨在让读者花最少的时间和精力读懂图像处理,掌握图像处理的基本原理和方法,尽量让读者为了读懂本书而少花费宝贵的时间(如找参考、找引证、解难题等),否则,这本书所起的作用就不大了。至于特点,通俗地说,尽量在一本书内解决问题,将最基本的内容及其所涉及的知识尽可能系统地提供给读者,使他们花较短的时间,就可以掌握最基本的内容,以节约更多的时间和精力去面对本领域不断涌现的新问题和新技术。

这也是本书编写的理由、初衷和目标。在编写本教程时,最重要的考虑是如何“说明白”,时刻假设读者是一个初学者,刚进入这一领域,或许是他看的第一本《数字图像处理》课本,我们应该如何编写才适合。

随着图像处理理论和技术的发展,已逐步形成了一种比较固定而合理的数字图像处理教科书的格局,本教程也基本遵循这一格局。但是,在数字图像处理领域,成千上万的人在从事研究、开发、应用,累积的知识、经验、理论、定理、算法等不计其数。因此,教科书往往会成为许多知识的横向“叠层”,其中纵向的关联,乃至至于诸多知识之间的溯源很难阐述明白。本教程力图解决这一问题,使读者学习到的图像处理知识不再是零散的技术资料,而是上下之间、左右之间有着根、枝、叶的关系,这样就可以将学到的知识有机地联系在一起,形成一个整体,一棵“知识树”,深入读者的思维,成为读者所理解的东西。对一个深入理解的体系和结构读者是不可能“忘记”的,除了它的细节,根本的原理想忘记都很难。学习中重要的不是要记住什么,而是要理解为什么。

经历了多年的教学和科研实践,作者听到毕业多年的学生们最深刻的体会是:基础重要,基础最重要。有良好的学习能力,有牢固的基础知识,今后面对新的理论高度,走向广阔的应用场合,甚至于涉足陌生的技术领域,将会使他们底气十足、受益匪浅。因此,作为教科书,没有什么比打造坚实的基础更为重要的了。

数字图像处理是一门实践性很强的工科课程,这里有必要提醒读者重视实验,重视在实验中加深对图像处理原理的理解。限于篇幅,本书没有提供图像处理的具体算法和程序方面的介绍,但并不代表这些内容不重要。这方面,Matlab 为我们提供了一个桌上“实验室”,让我们方便地通过具体编程来理解图像处理的原理。Matlab 对图像处理的贡献非常大,尤其是它的图像工具箱,对于基本的图像处理方法,几乎不需要具体一步一步地编程,要做的事可能只是编写 Matlab 的一条指令,对实际工程开发和验证这当然很好;但是,对于学习,

尤其对于初学者未必是太好的事。建议初学者,对于重要的图像处理方法,选择一部分自己编程,用 Matlab 工具做验证。

本书每一章后面都给出一定的习题和思考题,读者可以通过这些问题来衡量自己对该章节内容的掌握程度。这些问题中基本排除了简单地询问“什么”是“什么”这样一类问题,因为这样的问题,读者可以很方便地自我设问。我们想通过习题,具体查验一下读者所学到的原理和方法,并有可能稍稍扩展一下我们的思路。

本书编写过程中,参考和引用了同行的著作、论文及其他研究成果,具体出处均在书后的参考文献中一一列出。在此对这些文献的著作者表示深切的谢意。

在本书完稿时回首,正验证了一句俗语“说到容易做到难”,教程编写的初衷和目标好的,努力也是看得见的,但限于作者的学识水平,能够做到的程度却是令人遗憾的。敬待广大读者不吝赐教,对于书中任何错误、不足提出意见和建议,我们一定诚恳接受,并表示由衷的感谢。

作 者

2010 年冬于南京

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 数字图像处理	1
1.1.1 图像处理起源	1
1.1.2 图像处理内容	3
1.1.3 图像处理系统	5
1.2 光和图像	6
1.2.1 光学单位和成像原理	6
1.2.2 图像信息特点	10
1.3 人眼视觉系统	12
1.3.1 人眼视觉机理	12
1.3.2 人眼视觉特性	15
1.4 图像质量评价	17
1.4.1 主观评价方法	18
1.4.2 客观评价方法	18
1.4.3 其他评价方法	19
习题与思考	20
第 2 章 数字图像基础	22
2.1 连续图像的数学表示	22
2.1.1 连续图像	22
2.1.2 常见图像种类	23
2.2 连续图像的取样	24
2.2.1 二维冲激函数	25
2.2.2 图像信号频谱	27
2.2.3 二维取样定理	28
2.2.4 取样图像的恢复	29
2.3 混叠和亚取样	30
2.3.1 混叠效应	30
2.3.2 反混叠滤波	31
2.3.3 亚取样	32
2.3.4 实际取样脉冲影响	33
2.4 量化和编码	33

2.4.1	样值的量化	33
2.4.2	量化值的编码	35
2.5	数字图像的分辨率	36
2.5.1	空间分辨率	36
2.5.2	灰度分辨率	37
2.5.3	时间分辨率	39
2.5.4	综合考虑	39
习题与思考		40
第3章	图像变换	42
3.1	二维线性系统	42
3.1.1	二维线性位移不变系统	42
3.1.2	二维离散卷积	43
3.2	离散傅里叶变换	46
3.2.1	二维 DFT	47
3.2.2	二维 DFT 的性质	48
3.2.3	二维 DFT 的实现	49
3.3	离散余弦变换	50
3.3.1	一维离散余弦变换	50
3.3.2	二维离散余弦变换	52
3.4	图像信号的正交基表示	53
3.4.1	变换核	53
3.4.2	变换的矩阵表示	53
3.4.3	基本图像和基本频谱	54
3.5	沃尔什和哈达玛变换	56
3.5.1	离散沃尔什变换	56
3.5.2	离散哈达玛变换	59
3.6	离散 K-L 变换	61
3.6.1	K-L 变换	61
3.6.2	均方误差最小重建	63
习题与思考		63
第4章	图像增强	65
4.1	灰度变换	65
4.1.1	线性变换	66
4.1.2	非线性变换	67
4.2	直方图修正	68
4.2.1	图像的直方图	68
4.2.2	直方图均衡	69



4.2.3	直方图匹配	72
4.3	图像平滑和去噪	73
4.3.1	图像噪声	73
4.3.2	邻域平均	76
4.3.3	中值滤波	77
4.3.4	低通滤波	79
4.3.5	多图像平均去噪	80
4.4	图像锐化	81
4.4.1	高通滤波	81
4.4.2	微分法	82
4.4.3	拉普拉斯算子法	84
4.5	同态滤波	85
	习题与思考	87
第5章	图像复原	89
5.1	图像的降质模型	90
5.1.1	图像降质	90
5.1.2	图像降质模型	90
5.1.3	图像降质实例	92
5.1.4	降质模型的矩阵表示	95
5.1.5	循环矩阵的对角化	96
5.2	无约束图像复原	100
5.2.1	逆滤波图像复原	101
5.2.2	运动模糊的消除	102
5.2.3	无约束最小二乘方复原	104
5.3	有约束图像复原	105
5.3.1	有约束最小二乘方复原	106
5.3.2	维纳滤波复原	107
5.3.3	功率谱均衡复原	109
5.3.4	平滑约束复原	110
5.4	非线性图像复原	111
5.4.1	最大后验概率复原	112
5.4.2	最大熵复原	113
5.5	图像的几何校正	115
5.5.1	几何坐标的确定	115
5.5.2	像素灰度的确定	118
	习题与思考	119

第 6 章 小波变换	121
6.1 从傅里叶变换到小波变换	121
6.2 信号空间	125
6.2.1 距离空间	125
6.2.2 线性空间	126
6.2.3 正交基和框架	127
6.3 多分辨率分析基础	128
6.3.1 尺度函数和尺度空间	129
6.3.2 多分辨率分析	129
6.3.3 小波分析	130
6.3.4 小波函数的构造	132
6.4 连续小波变换	134
6.4.1 连续函数的小波变换	134
6.4.2 金字塔分解	136
6.4.3 滤波器族	137
6.4.4 子带滤波	138
6.5 离散小波变换	140
6.5.1 参数的离散化	141
6.5.2 二维多分辨率分析	142
6.5.3 二维离散小波变换	144
6.5.4 双正交小波变换	146
6.6 小波的选取及应用	147
6.6.1 小波的选取	147
6.6.2 小波变换的提升算法	148
6.6.3 小波变换的应用	149
习题与思考	152
第 7 章 图像压缩	153
7.1 图像的统计特性	153
7.1.1 图像的自相关函数	153
7.1.2 图像的信息熵	155
7.1.3 有限失真编码定理	156
7.1.4 图像的压缩性能	160
7.2 预测编码和变换编码	161
7.2.1 预测编码	161
7.2.2 变换编码	163
7.2.3 帧间预测	165
7.3 量化和熵编码	167

7.3.1 标量量化	167
7.3.2 矢量量化	169
7.3.3 统计编码	170
7.3.4 算术编码	172
7.3.5 Golomb 编码	175
7.4 图像压缩的国际标准	176
7.4.1 二值图像压缩标准	176
7.4.2 静止图像压缩标准	177
7.4.3 活动图像压缩标准	180
习题与思考	184
第 8 章 图像重建	186
8.1 投影重建基础	186
8.1.1 投影重建方式	187
8.1.2 投影定理	188
8.2 傅里叶反变换图像重建	191
8.2.1 基本原理	191
8.2.2 离散化处理	191
8.3 卷积逆投影图像重建	192
8.3.1 重建过程	193
8.3.2 重建滤波器	194
8.4 代数法图像重建	194
8.4.1 代数法基本原理	194
8.4.2 迭代算法	195
8.5 计算机断层扫描技术	196
习题与思考	198
第 9 章 图像分割和描述	199
9.1 图像分割简述	199
9.1.1 图像分割的定义	199
9.1.2 图像分割的分类	200
9.2 基于边界的分割	201
9.2.1 并行微分算法	201
9.2.2 边界跟踪算法	204
9.2.3 边界拟合算法	205
9.3 基于阈值的分割	206
9.3.1 全局阈值算法	206
9.3.2 自适应阈值算法	208
9.3.3 统计最优阈值算法	208

9.3.4	最大类间方差算法	209
9.4	基于区域的分割	210
9.4.1	区域生长算法	210
9.4.2	分裂合并算法	211
9.4.3	分水岭算法	213
9.5	图像的边界描述	215
9.5.1	边界的链码表示	215
9.5.2	边界的几何特性	215
9.5.3	边界的统计矩	217
9.5.4	边界的傅里叶描述子	217
9.6	图像的区域描述	218
9.6.1	区域的几何特性	218
9.6.2	区域的形状描述	219
9.6.3	区域的纹理描述	220
	习题与思考	222
第 10 章	图像水印	224
10.1	信息隐藏和图像水印	224
10.1.1	信息隐藏	224
10.1.2	图像水印	225
10.1.3	水印的分类	226
10.1.4	水印信息的嵌入	227
10.1.5	水印信息的提取	228
10.1.6	水印系统的评价	229
10.2	基本图像水印算法	231
10.2.1	空间域水印算法	231
10.2.2	变换域水印算法	232
10.2.3	扩频方式水印系统	234
10.2.4	压缩图像的水印	236
10.2.5	视觉特性的利用	236
10.3	水印图像的抗攻击性能	237
10.3.1	常见水印攻击方法	237
10.3.2	水印性能衡量	239
10.4	图像水印的应用	243
10.4.1	图像水印的典型应用	243
10.4.2	图像水印的新应用	244
10.4.3	图像水印的发展	245
	习题与思考	245

第 11 章 形态学处理	246
11.1 数学形态学基础	246
11.1.1 基本集合定义	246
11.1.2 图像空间的集合表示	247
11.1.3 形态学运算过程	248
11.2 基本形态学处理	249
11.2.1 腐蚀和膨胀运算	249
11.2.2 开启和闭合运算	252
11.2.3 击中与击不中运算	253
11.3 其他形态学处理	255
11.3.1 细化与厚化	255
11.3.2 滤波和平滑	256
11.3.3 边缘提取和区域填充	258
11.4 灰度图像的形态学处理	259
11.4.1 灰度腐蚀和膨胀	259
11.4.2 灰度开启和闭合	263
习题与思考	264
第 12 章 彩色图像处理	266
12.1 彩色空间表示	266
12.1.1 彩色视觉	267
12.1.2 CIE 的 XYZ 彩色空间	269
12.1.3 RGB 和 HSI 彩色空间	270
12.1.4 彩色空间的转换	273
12.2 基本彩色图像处理方法	273
12.2.1 彩色平衡和补偿	274
12.2.2 彩色图像增强和滤波	276
12.2.3 彩色图像分割	277
12.3 伪彩色图像处理	278
12.3.1 灰度分割伪彩色处理	279
12.3.2 频率域滤波伪彩色处理	280
习题与思考	281
第 13 章 图像处理的仿真与实现	282
13.1 MATLAB 图像处理仿真	282
13.1.1 MATLAB 简介	283
13.1.2 图像处理工具箱	286
13.1.3 图像处理示例	287

13.2	图像的采集和显示	288
13.2.1	图像的采集	288
13.2.2	图像的显示	293
13.2.3	图像的存储格式	296
13.3	高速 DSP 系统	298
13.3.1	图像处理对 DSP 的要求	298
13.3.2	高速 DSP 一例	299
13.4	嵌入式图像处理系统	300
13.4.1	嵌入式系统的特点	301
13.4.2	嵌入式操作系统和处理器	302
13.4.3	图像处理系统实例	303
	习题与思考	305
	参考文献	307