



普通高等教育**电子通信类**国家级特色专业系列规划教材

数字图像处理学习指导

(第二版)

许录平 编著



科学出版社

普通高等教育电子

业系列规划教材

数字图像处理学习指导

(第二版)

许录平 编著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是与科学出版社出版的《数字图像处理》(第二版)(许录平编著)配套的学习指导书。在章节安排上与主教材相一致,各章内容包括学习要点、难点和重点、典型例题、习题及解答。第1~2章讲述数字图像处理基础知识;第3~7章给出了实现主教材中主要算法的示例 Matlab 程序;第8~9章介绍了图像描述与图像分类识别。附录给出了一套上机实验题及对应的 Matlab 程序和结果。

本书可作为高等院校数字图像处理等相关课程的教学参考书,也可作为自学者学习数字图像处理的辅导材料,还可供数字图像处理和领域的科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理学习指导/许录平编著. —2版. —北京:科学出版社, 2017.3

普通高等教育电子通信类国家级特色专业系列规划教材

ISBN 978-7-03-052055-5

I. ①数… II. ①许… 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 (2017) 第 047151 号

责任编辑:潘斯斯 / 责任校对:桂伟利
责任印制:张 伟 / 封面设计:迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年2月第 一 版 开本:B5(720×1000)
2017年3月第 二 版 印张:13
2017年3月第四次印刷 字数:252 000

定价:45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

第二版前言

《数字图像处理学习指导》的第一版是作者于 2009 年按照高等院校教材及科技工作者参考的需要,为 2007 年出版的《数字图像处理》教材配套的学习指导书。该书出版后,受到了高校师生和广大科技工作者的一致好评,很好地配合了《数字图像处理》书籍的使用,取得了良好的社会效益。

近十年来,数字图像处理技术得到了迅猛发展,并已应用到许多领域,如工业、农业、国防军事、生物医学、通信、社会和日常生活等,尤其在人工智能等应用领域,数字图像处理已成为其核心技术。对此,在科学出版社“十二五”规划教材项目和西安电子科技大学教材立项的支持下,作者在全面总结原学习指导书的基础上,适应学科和专业的发展需要,汲取读者反馈的信息,尤其是宝贵的意见和建议,对全书进行了系统全面的修改。

本次修订,使本书作为教材的学习指导和技术参考的特色更加突出,主要表现在如下几个方面。

- (1) 结构上力求简洁明了,内容上规范、实用,内涵上注重引导、启发和能力培养。
- (2) 配合教材的教学,融合科学研究成果,使其具备教学指导和参考书的必备功能。
- (3) 概括学习要点,总结重点和难点,分析典型例题。
- (4) 列举书中主要算法的示例 Matlab 程序。
- (5) 每章配有详细的习题解答,便于教师参考,读者学习、理解掌握。

本书修订过程中,得到了科学出版社“十二五”规划教材和西安电子科技大学教材建设立项的资助,在此表示感谢。同时,参考了国内外大量书籍和论文等参考资料,对这些参考资料的著作者,作者深表感谢。

由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和不足之处,期待读者一如既往的批评指正。

许录平

2017 年 2 月于西安电子科技大学

第一版前言

数字图像处理是利用计算机或数字系统对图像进行转换、加工、分析和处理,以改善其视觉效果,满足实际应用需要,或达到识别理解的目的。近十年来,数字图像处理技术得到了迅猛发展,并已应用到许多领域,如工业、农业、国防军事、社会和日常生活、生物医学、通信等。数字图像处理的理论方法与技术涉及数学、物理学、信号处理、控制论、模式识别、人工智能、生物医学、神经心理学、计算机科学与技术等众多学科,是一门兼具交叉性和开放性的学科。为了教好、学好这门课,既要理解概念,掌握处理方法,也要学会各种应用。

为此,编者根据多年的实际教学经验编写了这本学习指导书,以配合教师的教学,帮助学生学习。为便于教学及配合主教材,书中采用与主教材章节一致的内容安排方式,并遵循主教材将面向教学和面向应用相结合,从概念出发、深入浅出、结合应用、注重能力培养的指导思想,除了对各章的学习要点进行概括外,也对各章的难点和重点进行了总结,给出了典型例题及其解答过程,以辅助教师在教学中对各章内容的把握和侧重,帮助学生对所学内容全面了解。本书还给出了与主教材内容相配套的习题及习题参考答案,供学生练习使用。同时,在第3~7章给出了实现主教材中主要算法的示例 Matlab 程序,以帮助学生进行图像处理算法的实践锻炼。最后,在附录中给出了一套上机实验题及对应的 Matlab 程序和结果。

本书在编写过程中,得到了西安电子科技大学教材建设立项的资助,在此表示感谢。同时,本书也参考了国内外大量书籍和论文等参考资料,在此对其作者深表感谢。

由于编者的水平有限,书中难免有错误和不妥之处,希望广大读者批评指正,编者将不胜感激,并在后续的版本中逐步修改完善。

许录平

2008年10月于西安

目 录

第二版前言

第一版前言

第 1 章 绪论	1
1.1 学习要点	1
1.2 难点和重点	3
1.3 习题及解答	3
第 2 章 数字图像处理基础	6
2.1 学习要点	6
2.2 难点和重点	7
2.3 典型例题	9
2.4 习题及解答	9
第 3 章 图像变换	14
3.1 学习要点	14
3.2 难点和重点	17
3.3 典型例题	18
3.4 示例程序	22
3.5 习题及解答	35
第 4 章 图像增强	46
4.1 学习要点	46
4.2 难点和重点	48
4.3 典型例题	49
4.4 示例程序	51
4.5 习题及解答	88
第 5 章 图像恢复	99
5.1 学习要点	99
5.2 难点和重点	101
5.3 典型例题	102
5.4 示例程序	104
5.5 习题及解答	109
第 6 章 图像压缩编码	114
6.1 学习要点	114

6.2	难点和重点	115
6.3	典型例题	116
6.4	示例程序	119
6.5	习题及解答	129
第7章	图像分割	136
7.1	学习要点	136
7.2	难点和重点	138
7.3	典型例题	139
7.4	示例程序	140
7.5	习题及解答	146
第8章	图像描述	152
8.1	学习要点	152
8.2	难点和重点	155
8.3	典型例题	156
8.4	习题及解答	158
第9章	图像分类识别	169
9.1	学习要点	169
9.2	难点和重点	170
9.3	典型例题	171
9.4	习题及解答	171
参考文献		173
附录 数字图像处理上机实验题及参考答案		175
附录 A 上机实验题		175
附录 B 参考答案		176

第 1 章 绪 论

1.1 学 习 要 点

本章主要介绍了数字图像处理的一些基本概念、图像处理技术、图像处理系统构成及图像处理的重要应用。

1.1.1 图像、像素及其取值

一幅灰度图像是一个二维的光强函数 $f(x, y)$, 其中 x 和 y 是空间坐标, f 在 (x, y) 点的值是正比于图像在该点亮度值的函数取值。如果是一幅彩色图像, f 则是一个向量, 它的每一个分量代表图像在该点相应颜色通道(band)的亮度值。

数字图像是空间坐标和函数值都离散化的图像 $f(m, n)$, 它可以用一个二维的整数数组来表示, 或者一系列的二维数组来表示, 每一个二维数组代表一个颜色通道。数字化后的亮度值称为灰度级(gray level)的值, 简称灰度值。

数组的每一个元素称为像素(pixel 或 pel), 这个名称是来自术语“图像元素”(picture element)。

1.1.2 图像分类

根据表示图像的空间坐标和亮度(或色彩)的连续性可将图像分为模拟图像和数字图像。

模拟图像是空间坐标和亮度(或色彩)都连续变化的图像; 数字图像是一种空间坐标和亮度(或色彩)均不连续的、用离散数字(一般是整数)表示的图像。

1.1.3 图像处理

图像处理就是对图像信息进行加工处理和分析, 以满足人的视觉心理需要和实际应用或某种目的(如压缩编码或机器识别)的要求。图像处理可分为以下 3 类。

(1) 模拟图像处理(光学图像处理): 利用光学透镜或光学照相方法对模拟图像进行处理。

(2) 数字图像处理: 利用数字系统或数字计算机对数字图像进行处理。

(3) 光电结合处理: 利用光学方法处理运算量巨大的频谱变换等, 而用计算机对其频谱进行处理分析。

1.1.4 图像表示

$I=f(x,y,z,\lambda,t)$ 可代表一幅运动的(t)、彩色/多光谱的(λ)、立体(x,y,z)图像。在一些特殊情况下,可表示为:

(1) 静止图像

$$I=f(x,y,z,\lambda)$$

(2) 灰度图像

$$I=f(x,y,z,t)$$

(3) 平面图像

$$I=f(x,y,\lambda,t)$$

(4) 平面静止灰度图像

$$I=f(x,y)$$

图像具有空间有界和幅度有限的特点。

1.1.5 数字图像处理的基本步骤

数字图像处理的基本步骤可分为图像信息的获取、存储、处理、传输、输出和显示。

1.1.6 数字图像处理的基本方法及要解决的主要问题

数字图像处理的基本方法包括图像数字化、图像变换、图像增强、图像恢复、图像压缩编码、图像分割、图像分析与描述和图像识别分类。

数字图像处理的目的是为了解决如下四个问题。

(1) 给定一幅图像 f , 选择合适的处理方法, 使得基于某种主观标准时, 输出图像 g 比 f 更好, 这就是图像增强(image enhancement)问题。这里更好的意思是, 处理后图像 g 比原图像 f 更清晰或更易于后续处理。

(2) 给定一幅图像 f , 选择合适的处理方法获得处理后图像 g , 使得不损失有用信息(无损压缩)或不会损失太多细节(有损压缩)的前提下, g 相对 f 而言可以用更少的比特来表示。这就是图像压缩(image compression)的问题。

(3) 原图像 f 经过某成像或处理系统 $h(x,\alpha,y,\beta)$ 变成了 g , 当给定一幅图像 g 和 $h(x,\alpha,y,\beta)$ 的一个估计, 使得基于某种客观准则来恢复图像 f , 这就是图像复原(image restoration)的问题。

(4) 给定一幅图像 f , 选择合适的处理方法, 使得输出图像 g 在某一些(或某一个)特征上比 f 突出, 这就是图像描述(特征分析)问题。

1.1.7 数字图像处理系统的构成

数字图像处理系统的构成主要包括图像输入(图像数字化)、图像输出、图像存储、图像处理和分析及图像通信, 如图 1.1 所示。

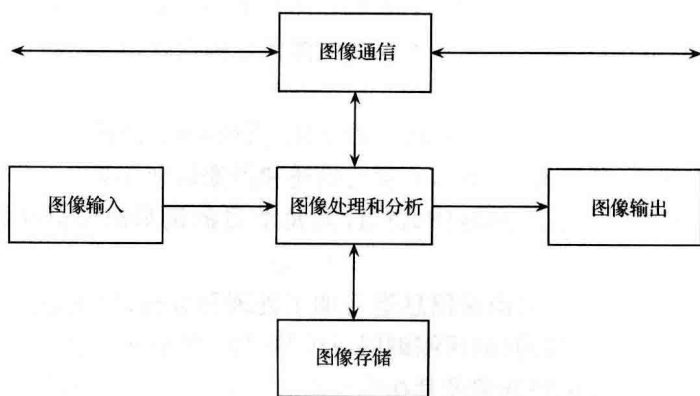


图 1.1 图像处理系统的组成示意图

1.1.8 数字图像处理的应用

数字图像处理的应用领域非常广泛,主要包括宇宙探测、通信工程、遥感、生物医学、工业生产、军事公安、信息安全和信息检索等。

1.2 难点和重点

数字图像处理即把在空间上离散、幅度上量化分层的数字图像,经过一系列待定模式的加工处理,以达到有利于人眼视觉或某种接收系统所需要的图像的过程。广义地说,一般数字图像处理的方法主要包括图像变换、图像增强、图像恢复、图像压缩编码、图像分析、图像识别等。由于数字图像处理技术发展很快,可认为图像分析和识别是相对独立的另两个部分,其基本特点为:输入的是图像信息,输出为非图像,即对图像的分析 and 识别分类,或对图像的描述和解释。

1.3 习题及解答

题 1.1 什么是图像? 如何区分数字图像和模拟图像?

解答 “图”是物体透射或反射光的分布,是客观存在的。“像”是人的视觉系统对图在大脑中形成的印象或认识,是人的感觉。图像是图和像的有机结合,既反映物体的客观存在,又体现人的心理因素;图像是对客观存在的物体的一种相似性的生动模仿或描述,或者说图像是客观对象的一种可视表示,它包含了被描述对象的有关信息。

模拟图像是空间坐标和亮度(或色彩)都连续变化的图像;数字图像是空间坐标和亮度(或色彩)均不连续的、用离散数字(一般是整数)表示的图像。

题 1.2 一般的数字图像处理要经过几个步骤？由哪些内容组成？

解答 数字图像处理的基本步骤包括图像信息的获取、存储、处理、传输、输出和显示。

数字图像处理的内容主要包括图像数字化、图像变换、图像增强、图像恢复(复原)、图像压缩编码、图像分割、图像分析与描述和图像识别分类。

题 1.3 图像处理的目的是什么？针对每个目的请举出实际生活中的一个例子。

解答 图像处理就是对图像信息进行加工处理和分析，以满足人的视觉心理需要和实际应用或某种目的(如压缩编码或机器识别)的要求。如视频图像的高清晰化处理、医学图像的识别分类及其在疾病诊断中的应用，就是图像处理这两个目的的实际例子。

题 1.4 请说明图像数学表达式 $I = f(x, y, z, \lambda, t)$ 中各参数的含义，该表达式代表哪几种不同种类的图像？

解答 图像数学表达式 $I = f(x, y, z, \lambda, t)$ 中， (x, y, z) 是空间坐标， λ 是波长， t 是时间， I 是光点 (x, y, z) 的强度(幅度)。

该表达式表示一幅运动的(t)、彩色/多光谱的(λ)、立体(x, y, z)图像。

题 1.5 请说明 $f(x, y)$ 表示的图像类型及与 $f(x, y, z, \lambda, t)$ 之间的关系。

解答 $f(x, y, z, \lambda, t)$ 表示一幅运动的(t)、彩色/多光谱的(λ)、立体(x, y, z)图像。对于静止图像，与时间 t 无关；对于单色图像(也称灰度图像)，波长 λ 为一常数；对于平面图像，与坐标 z 无关，故 $f(x, y)$ 表示平面上的静止灰度图像，它是一般图像 $f(x, y, z, \lambda, t)$ 的一个特例。

题 1.6 一个数字图像处理系统由哪几个模块组成？试说明各模块的作用。

解答 一个基本的数字图像处理系统由图像输入、图像存储、图像输出、图像通信、图像处理和分析 5 个模块组成，如图 1.1 所示。

各个模块的作用分别为以下几种。

图像输入模块：图像输入也称图像采集或图像数字化，它是利用图像采集设备(如数码照相机、数码摄像机等)来获取数字图像，或通过数字化设备(如图像扫描仪)将要处理的连续图像转换成适于计算机处理的数字图像。

图像存储模块：主要用来存储图像信息。

图像输出模块：将处理前后的图像显示出来或将处理结果永久保存。

图像通信模块：对图像信息进行传输或通信。

图像处理与分析模块：数字图像处理与分析模块包括处理算法、实现软件和数字计算机，以完成图像信息处理的所有功能。

题 1.7 数字图像处理主要应用到哪些方面？试举例说明。

解答 数字图像处理主要应用在如下 9 个方面。

(1) 宇宙探测：星体图像处理。

(2) 通信中:图像信息传输、电视电话、卫星通信、数字电话等。主要是压缩图像数据和动态图像(序列)传送。

(3) 遥感方面:主要是航空遥感和卫星遥感,如地形、地质、资源的勘测,自然灾害监测、预报和调查,环境监测、调查等。

(4) 生物医学领域:细胞分析、染色体分类、放射图像处理、血球分类、各种CT、核磁共振图像分析、DNA 显示分析、显微图像处理、癌细胞识别、心脏活动的动态分析、超声图像成像、生物进化的图像分析等。

(5) 工业生产中:将CAD和CAM技术应用于磨具和零件优化设计和制造、印制板质量和缺陷的检测、无损探伤、石油气勘测、交通管制和机场监控、纺织物的图案设计、光的弹性场分析、运动工具的视觉反馈控制、流水线零件的自动监测识别、邮件自动分拣和包裹的自动分拣识别等。

(6) 军事和公安中。

军事:军事目标的侦察和探测、导弹制导、各种侦察图像的判读和识别,雷达、声呐图像处理、指挥自动化系统等。

公安:现场实景照片、指纹、足迹的分析与鉴别,人像、印章、手迹的识别与分析,集装箱内物品的核辐射成像检测,人随身携带物品的X射线检查等。

(7) 天气预报:天气云图测绘、传输,卫星云图的处理和识别等。

(8) 考古:珍贵文物图片、名画、壁画的辅助恢复等。

(9) 新领域:信息安全、图像检索和体育运动中。

信息安全:信息隐藏与数字水印,指纹识别、虹膜识别和面部识别等。

图像检索:基于内容的图像检测、识别与检索。

体育运动:运动员动作的分析、评测及优化设计。

第 2 章 数字图像处理基础

2.1 学习要点

2.1.1 三基色原理

人眼的视网膜上存在大量能在适当亮度下分辨颜色的锥状细胞,它们分别对应红、绿、蓝三种颜色,即分别对红光、绿光、蓝光敏感。据此,利用红、绿、蓝三种基色来表示自然界里的绝大多数颜色。

2.1.2 颜色的属性和表示方法

颜色有三种属性:色调(hue)、饱和度(saturation)和亮度(brightness)。色调由颜色所在光谱中的波长决定,是颜色在“质”方面的特征,用来表示颜色的种类。饱和度决定于颜色中混入白光的数量,表示颜色的深浅。颜色中混入的白光数量越多,其饱和度越高,颜色也越淡。亮度决定于颜色的光强度,是颜色在“量”方面的特征,用来表征颜色的明亮程度。

由于颜色具有不同的主观和客观特性,即使相同的颜色,在主观感觉(人眼视觉)及客观效果方面也不尽相同,而在不同的应用领域(如影视、光照、印染等)更是如此,因此人们提出了各种表示颜色的方法,称作颜色模型。目前使用最多的是面向机器(如显示器、摄像机、打印机等)的 RGB 模型和面向颜色处理(也面向人眼视觉)的 HSI(HSV)模型。但是在印染界及影视界分别使用 CMYK 和 YUV 模型。

2.1.3 人眼的亮度感觉及其应用

人眼的亮度感觉具有相对性,即人在观察处于不同亮度背景中的两个不同亮度的目标物时,会按对比度感觉目标物的亮度。

由人眼亮度感觉的相对性可知,若一幅原图像经过处理,恢复后得到重现图像,重现图像的亮度不必等于原图像的亮度,只要保证二者的对比度及亮度层次(灰度级)相同,就能给人以真实的感觉。这就为图像处理奠定了灵活的基础。

2.1.4 数字图像的表达

一般我们把原点坐标规定为 $(0,0)$, 则该数字图像 $f(m,n)$ 可以以矩阵形式表示如下:

$$f(m,n) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \cdots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix}$$

2.1.5 数字图像的特点

相比于语音等其他信号,图像具有信息量大、占用频带宽的特点,无论在成像、传输、存储、处理、显示等各环节的实现上,技术难度都加大,成本增高。尤其是图像通信中,有限的信道根本无法实时传输图像,这就对图像(频带)压缩提出了很高的要求。

数字图像还具有像素间相关性大,即在同一帧(幅)内各相邻像素间具有相同(或相近)灰度的可能性很大(即相关性很大),其相关系数一般大于 0.8。而运动图像的相邻帧对应像素间相关性更大,其相关系数大于 0.9。这些都说明数字图像中存在着大量的冗余,通过减少或消除这些冗余,进行图像压缩的潜力(可能性)很大。

数字图像还具有其视觉效果受人的主观影响大的特点。因为图像作为图(客观)和像(主观)的有机结合,对于同一幅图像,不同的人对图像中不同的目标物的感兴趣程度不同,会给出不同的视觉效果评价。因此,在数字图像处理中,一方面要充分考虑人的视觉特点,提高图像的清晰度;另一方面也要利用人的视觉特性,简化处理过程。

2.1.6 图像的分辨率

图像的分辨率表示的是能看到图像细节的多少,它包括图像的空间分辨率(采用点数 $N \times N$)和幅度分辨率(灰度离散级数,即灰度级 2^k)。

保持 k 不变而减少 N 会导致棋盘状效果(checkerboard effect,见《数字图像处理(第二版)》图 2.3.5)。保持 N 不变而减少 k 则会导致假轮廓(false contouring,见《数字图像处理(第二版)》图 2.3.6)。

2.2 难点和重点

2.2.1 图像采样及采样定理

图像在空间位置上的离散化称为图像采样。图像采样过程相当于用一个二维离散采样函数 $s(x,y)$ 与原连续图像 $f(x,y)$ 相乘,结果会使采样后的图像信号在位置上离散化,但其频谱等于原图像信号频谱的周期化延拓。要想从周期化延拓的频谱中恢复出原信号的频谱,必须保证原信号是有限带宽,这是采样定理的条

件。同时,要保证周期化延拓后的频谱不混叠,即采样频率不低于信号最高频率的两倍,这是采样定理的基本内容。

因此,图像采样时也要满足采样定理,以保证能恢复出原图像信号。实际应用中,采样频率(采样点数)已远远超过了采样定理的要求,因此,有的教科书中可能没有明确说明图像采样时一定要满足采样定理。这不是说图像采样时可以不满足采样定理,而是已经满足或超过了采样定理的要求。

2.2.2 颜色模型在彩色图像处理中的应用

在计算机等机器中,彩色图像常用 RGB 模型表示,但如果直接对 R、G 和 B 分量图像分别进行处理,其处理过程中很可能会引起三个量不同程度的变化,从而很可能带来颜色上很大程度的扭曲(颜色种类的改变)。因此,通过先将 RGB 模型转化为 HSI 模型,得到相关性较小的色调、色饱和度和亮度,然后对其中的亮度分量进行处理,再转化为 RGB 模型,这样就可以避免由于直接对 RGB 分量进行处理时所产生的图像失真。

2.2.3 从点光源到图像处理算子

1) 基于点光源的算子的定义

算子可用它们的点扩散函数(point spread function)来定义。算子的点扩散函数就是把算子应用到点光源所得到的结果:

$$S(\text{点光源}) = \text{点扩散函数} \quad (2-1)$$

或者

$$S[\delta(x-\alpha, y-\beta)] = h(x, \alpha, y, \beta) \quad (2-2)$$

其中, $[\delta(x-\alpha, y-\beta)]$ 是中心在点 (α, β) 处且亮度值为 1 的点光源。

2) 基于算子的图像处理

如果一个算子是线性的,当点光源的亮度值是原来的 a 倍,那么结果也将是原来的 a 倍:

$$S[a\delta(x-\alpha, y-\beta)] = a h(x, \alpha, y, \beta) \quad (2-3)$$

图像可看作具有自身亮度值的点光源(像素点)的集合,也可以说图像是这些点光源的总和。那么用点扩散函数 $h(x, \alpha, y, \beta)$ 来刻画的算子对图像 $f(x, y)$ 作用的效果可以写为:

$$g(\alpha, \beta) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) h(x, \alpha, y, \beta) \quad (2-4)$$

其中, $g(\alpha, \beta)$ 是输出“图像”, $f(x, y)$ 是输入图像,并且大小为 $N \times N$ 。

3) 点扩散函数

点扩散函数 $h(x, \alpha, y, \beta)$ 表示位置 (x, y) 的输入值对位置 (α, β) 的输出值影响的大小。如果这种用点扩散函数表示的影响与实际位置不相关,而是仅依赖于影

响和被影响像素之间的相对位置,就有移不变(shift invariant)的点扩散函数:

$$h(x, \alpha, y, \beta) = h(\alpha - x, \beta - y) \quad (2-5)$$

这时,式(2-4)就是卷积:

$$g(\alpha, \beta) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) h(\alpha - x, \beta - y) \quad (2-6)$$

如果被影响的列与图像的行是独立的,那么点扩散函数就是可分离的(separable):

$$h(x, \alpha, y, \beta) \equiv h_c(x, \alpha) h_r(y, \beta) \quad (2-7)$$

上述表达式也作为函数 $h_c(x, \alpha)$ 和 $h_r(y, \beta)$ 的定义。这时,式(2-4)可以被写成两个一维变换的叠加:

$$g(\alpha, \beta) = \sum_{x=0}^{N-1} h_c(x, \alpha) \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) h_r(y, \beta) \quad (2-8)$$

如果点扩散函数既是位移不变的且是可分离的,那么式(2-4)可以被写成两个一维卷积的叠加:

$$g(\alpha, \beta) = \sum_{x=0}^{N-1} h_c(\alpha - x) \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) h_r(\beta - y) \quad (2-9)$$

2.3 典型例题

例 2.1 对于图像中的如下区域:(A)纹理区域(有许多重复单元的区域);(B)灰度平滑区域;(C)目标边界区域;(D)灰度渐变区域。当图像的空间分辨率变化时,影响最大的是哪种?当图像的幅度分辨率变化时,结果又如何?

解答 当图像的空间分辨率变化时,影响最大的是(A);当图像的幅度分辨率变化时,影响最大的是(B)和(D)。

例 2.2 当图像的灰度级数逐渐减少时,会出现什么结果?

解答 当图像的灰度级数逐渐减少时,图像平滑区域内渐变的灰度会出现突变,直到图像的灰度级数不够多时,会出现虚假轮廓。

2.4 习题及解答

题 2.1 试说明视觉成像的基本原理。

解答 人眼对物体颜色的感知是由物体投射或反射的光的特性决定的。当眼前出现物体时,从物体表面反射出来的光线,通过折光系统透射投影到视网膜的相应部位,此时形成该物体的倒置的影像,视网膜的感光细胞可接收光的能量并形成视觉图案(锥状细胞主要感受颜色,杆状细胞主要提供视野范围),将影像传入到大脑皮层的视觉功能代表区,经过大脑皮层的分析和综合,把倒置的影像纠正为物体

的正立影像,产生正确的视觉。

题 2.2 为何彩色图像要经过 RGB 到 HSI 的模型转换才能处理?

解答 如果直接对 RGB 模型中的 R、G、B 分量进行处理,很可能会引起三个量不同程度的变化,由 RGB 模型描述的处理图像中就会出现色差问题,颜色上可能也会有很大程度的失真。因此,人们在此基础上提出了 HSI 模型,它的出现使得在保持色彩无失真的情况下实现彩色图像处理成为可能。

通过先将 RGB 模型转化为 HSI 模型,得到相关性较小的色调、色饱和度和亮度,然后仅对其中的亮度分量进行处理,再转化为 RGB,这样就可以避免由于直接对 R、G、B 分量进行处理时而产生的图像失真。

题 2.3 请解释马赫带效应。

解答 对于由一系列条带组成的灰度图像,其中每个条带内的亮度是均匀分布的,而相邻两条带的亮度相差一个固定值,但人的感觉认为每个条带内的亮度不是均匀分布的,而是感觉到所有条带的左边部分都比右边亮一些,这便是所谓的马赫带效应。

马赫带效应的出现,是因为人眼对于图像中不同空间频率具有不同的感知灵敏度,而在空间频率突变处就出现了“欠调”或“过调”。

题 2.4 发光强度、亮度和照度各有什么不同?

解答 发光强度指光源的能量辐射强度。光度学亮度指扩展光源在某个方向上单位投影面积的发光强度。主观亮度指观察者所看到的物体表面反射光的度量,它受观察者心理因素的影响。照度指光源照射到物体表面的光通量,它是光源对物体辐射的一种量度,其数值主要是受到光源的能量和光源到物体表面距离的影响。

题 2.5 什么是视觉模型? 它在图像处理中有何用途?

解答 为了对人眼的机理和成像过程进行定性描述和分析,人们试图用线性光学成像系统的原理来解释某些视觉特性,而建立的视觉特性描述模型就称为视觉模型。目前常用的视觉模型是视觉系统的低通-对数-高通模型,大多数视觉现象都可以用其来解释。

在图像处理中,一方面要充分考虑视觉模型,采用适合人眼视觉特性的处理方法,以获得更清晰的处理图像;另一方面,也要充分利用视觉模型,达到简化运算、加速处理的目的。

题 2.6 人观察如题 2.6 图所示两幅形状相同的目标图像时,会觉得哪一个目标更亮一些? 与实际亮度有无不同? 简述理由[黑色(最暗)灰度值定为 0,白色(最亮)灰度值定为 255]。

解答 两个不同亮度的目标物处于不同亮度的背景中,人会按对比度感觉目标的亮度对比,因此人感觉题 2.6(a)图要亮一些,但事实上,目标图 2.6(b)的实