

重点大学计算机专业系列教材

数字图像处理与分析

刘直芳 王运琼 朱敏 编著

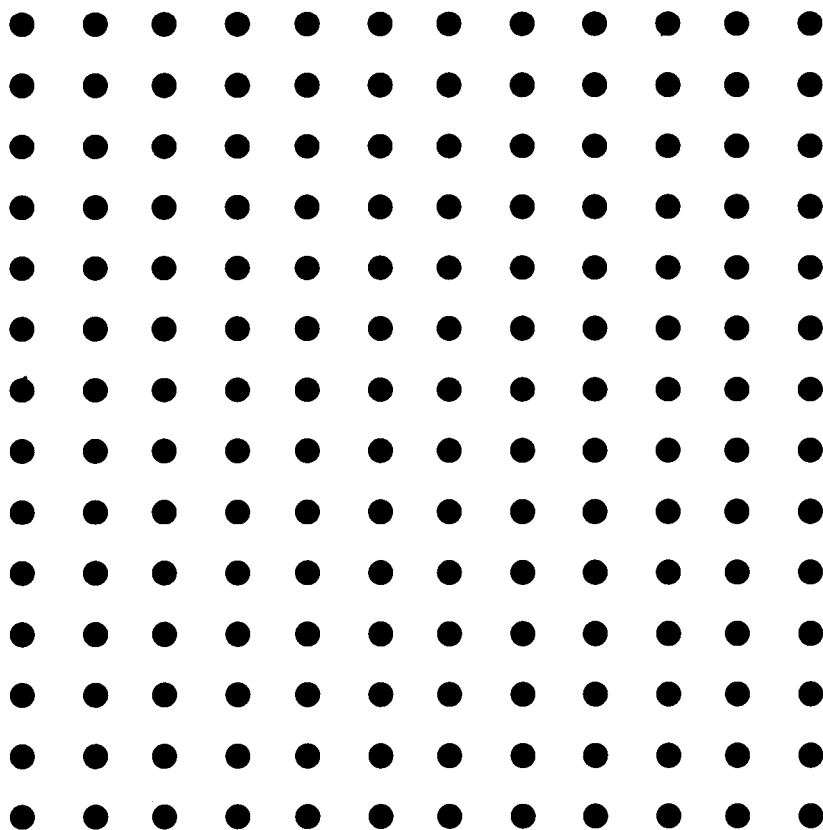
清华大学出版社



重点大学计算机专业系列教材

数字图像处理与分析

刘直芳 王运琼 朱敏 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书系统介绍了数字图像处理所涉及的数学基础、基本算法、各种典型方法和实用的处理技术,并根据编者近年来从事相关科研、教学的实践经验,列举了大量实例,以供读者参考。考虑到图像处理技术的飞速发展和广泛应用,本书在讲解基本理论的同时还介绍了国内外相关的最新研究动态、研究成果和应用实例。

全书主要包括三大部分:第一部分为图像处理的基本概念和数学基础,论述了图像处理技术整体概况、图像处理的基本知识和基本运算以及各种基本变换技术;第二部分为图像的基本处理技术,论述了图像处理的理论、方法和实例,如图像增强、复原和压缩等基础理论、技术和方法;第三部分为图像分析的基本原理和技术,论述了基于边缘和区域的分割、目标特征的提取与表达、图像目标特征的描述等。

本书可作为高等院校计算机科学与技术、信息和信号处理、图像通信、电子工程、生物医学工程、机器人自动化、自动控制、遥感技术和军事侦察等学科的大学本科和研究生的专业课教材,也可供相关领域的科研人员和工程技术人员参考。

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

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。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理与分析/刘直芳,王运琼,朱敏编著. —北京:清华大学出版社,2006.8

(重点大学计算机专业系列教材)

ISBN 7-302-13482-0

I. 数… II. ①刘… ②王… ③朱… III. 数字图像处理—高等学校—教材 IV. TN911.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 083344 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:付弘宇

文稿编辑:柴文强

印 刷 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

装 订 者:三河市化甲屯小学装订二厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:13.75 字数:336千字

版 次:2006年8月第1版 2006年8月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-13482-0/TN·347

印 数:1~4000

定 价:20.00元

随着国家信息化步伐的加快和高等教育规模的扩大, 社会对计算机专业人才的需求不仅体现在数量的增加上, 而且体现在质量要求的提高上, 培养具有研究和实践能力的高层次的计算机专业人才已成为许多重点大学计算机专业教育的主要目标。目前, 我国共有 16 个国家重点学科、20 个博士点一级学科、28 个博士点二级学科集中在教育部部属重点大学, 这些高校在计算机教学和科研方面具有一定优势, 并且大多以国际著名大学计算机教育为参照系, 具有系统完善的教学课程体系、教学实验体系、教学质量保证体系和人才培养评估体系等综合体系, 形成了培养一流人才的教学和科研环境。

重点大学计算机学科的教学与科研氛围是培养一流计算机人才的基础, 其中专业教材的使用和建设则是这种氛围的重要组成部分, 一批具有学科方向特色优势的计算机专业教材作为各重点大学的重点建设项目成果得到肯定。为了展示和发扬各重点大学在计算机专业教育上的优势, 特别是专业教材建设上的优势, 同时配合各重点大学的计算机学科建设和专业课程教学需要, 在教育部相关教学指导委员会专家的建议和各重点大学的大力支持下, 清华大学出版社规划并出版本系列教材。本系列教材的建设旨在“汇聚学科精英、引领学科建设、培育专业英才”, 同时以教材示范各重点大学的优秀教学理念、教学方法、教学手段和教学内容等。

本系列教材在规划过程中体现了如下一些基本组织原则和特点。

1. 面向学科发展的前沿, 适应当前社会对计算机专业高级人才的培养需求。教材内容以基本理论为基础, 反映基本理论和原理的综合应用, 重视实践和应用环节。

2. 反映教学需要, 促进教学发展。教材要能适应多样化的教学需要, 正确把握教学内容和课程体系的改革方向。在选择教材内容和编写体系时注意体现素质教育、创新能力与实践能力的培养, 为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。

3. 实施精品战略, 突出重点, 保证质量。规划教材建设的重点依然是专业基础课和专业主干课; 特别注意选择并安排了一部分原来基础比较好

的优秀教材或讲义修订再版，逐步形成精品教材；提倡并鼓励编写体现重点大学计算机专业教学内容和课程体系改革成果的教材。

4. 主张一纲多本，合理配套。专业基础课和专业主干课教材要配套，同一门课程可以有多样本具有不同内容特点的教材。处理好教材统一性与多样化的关系；基本教材与辅助教材以及教学参考书的关系；文字教材与软件教材的关系，实现教材系列资源配套。

5. 依靠专家，择优落实。在制订教材规划时要依靠各课程专家在调查研究本课程教材建设现状的基础上提出规划选题。在落实主编人选时，要引入竞争机制，通过申报、评审确定主编。书稿完成后要认真实行审稿程序，确保出书质量。

繁荣教材出版事业，提高教材质量的关键是教师。建立一支高水平的以老带新的教材编写队伍才能保证教材的编写质量，希望有志于教材建设的教师能够加入到我们的编写队伍中来。

教材编委会

P R E F A C E

序

图像是人类认识客观世界和相互交流的媒体。科学研究和统计表明，人类从外界获得的绝大部分信息是来自视觉所接收的图像信息。

自 20 世纪 20 年代 Bartlane 系统通过海底电缆传送第一张新闻图片以来，数字图像处理技术受到了愈来愈大的关注。近几十年来，随着大规模集成电路技术和计算机技术的发展，制约图像处理技术发展的瓶颈问题得到解决，信息高速公路、视频游戏、互联网络和数字电视等业务需求的不断增长，数字图像处理技术已成为当前研究热点，其应用领域越来越广泛，显示出了巨大的发展潜力和广阔的应用前景。

数字图像处理中所涉及的基础知识和专业技术相当广泛，包括计算机技术、数字信号处理技术、通信技术、电子技术、光电技术等，而数学、物理学、心理学、生理学等方面的知识则是图像处理中的基础知识，因此，数字图像处理是一门涉及多领域的交叉学科。

本教材的编者长期从事数字图像处理的教学和科研工作，以培养技术型、应用型人才为目标，在编写过程中既参考了国内外有代表性的经典内容和最新科研成果，也融入了作者的教学经验和科研成果。我很高兴地向计算机、电子信息相关专业的高年级本科生、研究生以及从事数字图像处理的科研工作者推荐此书，相信本书的出版会受到广大图像处理工作者的欢迎。

游志胜

2006 年 6 月 13 日

前言

数字图像处理的主要研究目的在于通过对原始图像的再加工,使之能具备更好的视觉效果或满足某些应用的特定需求。人类获得外界信息有视觉、听觉、触觉、嗅觉和味觉等多种方法,但科学研究和统计表明,人类从外界获得的绝大部分信息(约占80%)是通过视觉接收的图像信息。随着计算机技术的发展,数字图像技术近年来得到极大的重视和长足的发展,出现了许多新理论、新方法、新算法、新手段和新设备,并已在科学研究、工业生产、医疗卫生、教育、娱乐、管理和通信等方面得到了广泛的应用,对推动社会发展和改善人们生活水平都起到了重要的作用。

数字图像处理是综合各学科的先进技术发展而成的,因此它需要广泛的基础知识,包括计算机科学、数字信号处理、随机过程和统计学、矩阵分析、信息论、控制论和最优化理论等。此外,它还涉及到心理学、生理学和物理学等。数字图像处理是模式识别、计算机视觉、计算机图形学、图像通信、多媒体技术、人工智能、神经网络和专家系统等学科的基础,是一门涉及多领域的交叉学科。

本书在编写时力求达到理论性、实用性、系统性和实时性相结合。理论上概念严谨,论证简明扼要。本书在主要内容的编排上,充分注意理论的系统性和内容的结构化。根据图像技术的应用特点,本书列举了大量实例,使原理和概念具体化,以便更好地引导读者将这些概念和原理应用于实际工作中。

考虑到图像技术的飞速发展,本书在内容上认真选取了国内外有代表性的、经典的内容和国际上最新的研究成果。在编写时既参考了许多国内外相关的文献资料,也结合了编者的研究工作和成果以及教案等。

本书主要分为以下三大部分:

第一部分“图像处理的基本概念和数学基础”,包含第1章“绪论”、第2章“图像信息的基本知识和基本运算”和第3章“图像变换”,论述了图像处理技术的整体概况、图像处理的基本知识和基本运算以及各种基本变换技术。

第二部分“图像的基本处理技术”,包含第4章“图像增强”、第5章

“图像复原”和第6章“图像压缩编码”，论述了图像处理的理论、方法和实例，如图像增强、复原和压缩等基础理论、技术和方法。

第三部分“图像分析的基本原理和技术”，包含第7章“图像分割”和第8章“图像分析与描述”，论述了基于边缘和区域的分割、目标特征的提取与表达、图像目标特征的描述等。

本书可作为高等院校计算机科学与技术、信息和信号处理、图像通信、电子工程、生物医学工程、机器人自动化、自动控制、遥感技术和军事侦察等学科的大学本科和研究生的专业课教材，也可供相关领域的科研人员和工程技术人员参考。

本书由刘直芳主编，参加编写的还有王运琼副教授、朱敏副教授等。本书在编写过程中得到了四川大学计算机学院图形图像研究所的老师和研究生们的支持和帮助，得到了清华大学出版社的丁岭和付弘宇编辑的大力协助，在此表示衷心的感谢。此外，本书还参考和引用了一些论文和资料，谨此向这些论文和资料的作者表示由衷的感谢。

限于我们的水平有限，书中难免有不够严谨和错漏之处，敬请广大同行和读者指正。

作 者

2006年4月于成都

第 1 章 绪论	1
1.1 数字图像处理概述	1
1.2 数字图像处理的目的和基本特点	2
1.2.1 数字图像处理的目的	2
1.2.2 数字图像处理的基本特点	2
1.2.3 数字图像处理的优点	3
1.3 数字图像处理的主要研究内容	4
1.4 数字图像处理的发展及应用	5
1.4.1 数字图像处理的发展	5
1.4.2 数字图像处理的应用	5
习题	7
第 2 章 图像信息的基本知识和基本运算	8
2.1 概述	8
2.2 数字图像的术语及表示方法	8
2.2.1 术语	9
2.2.2 数字图像的表示方法	10
2.2.3 采样点数和量化级数的选取	12
2.3 图像与视觉之间的关系	13
2.3.1 人眼与视觉信息	13
2.3.2 颜色视觉	16
2.4 图像像素间的关系	20
2.4.1 像素的邻域	20
2.4.2 连通性	21
2.4.3 距离量度	23
2.5 基本代数运算	23
2.5.1 基本代数运算基础	24

2.5.2 几种代数运算的应用	24
2.6 基本几何运算	26
2.6.1 几何运算的定义	26
2.6.2 几种基本的几何运算	27
2.6.3 几何运算的应用	29
习题	30
第3章 图像变换	31
3.1 概述	31
3.2 图像的线性运算	31
3.3 傅里叶变换	34
3.3.1 一维连续傅里叶变换	34
3.3.2 二维连续傅里叶变换	36
3.3.3 离散傅里叶变换	37
3.3.4 二维离散傅里叶变换的性质	38
3.3.5 快速傅里叶变换	43
3.4 离散余弦变换	45
3.4.1 离散余弦变换的定义	45
3.4.2 离散余弦变换的计算	46
3.5 离散 K-L 变换	48
3.5.1 K-L 变换的概念	48
3.5.2 K-L 变换的实施	48
3.5.3 K-L 变换的性质与特点	49
3.5.4 K-L 变换实例	51
3.6 小波变换	53
3.6.1 概述	53
3.6.2 小波变换	54
3.6.3 小波变换在图像处理中的应用	57
习题	59
第4章 图像增强	60
4.1 概述与分类	60
4.2 基于点运算的增强	62
4.2.1 直接的灰度变换	62
4.2.2 灰度直方图的处理	65
4.2.3 图像之间的运算	75
4.3 基于空域滤波的增强	76
4.3.1 背景和原理	76
4.3.2 图像平滑滤波	77

4.3.3	图像锐化滤波	83
4.4	基于频域变换的增强	89
4.4.1	概述	89
4.4.2	频域图像平滑滤波	89
4.4.3	频域图像锐化滤波	92
4.4.4	图像的同态滤波	93
4.5	其他方面的增强	96
4.5.1	局部增强	96
4.5.2	彩色图像增强	96
	习题	99
第5章	图像复原	100
5.1	概述和分类	100
5.2	图像的退化模型	101
5.2.1	图像降质因素	101
5.2.2	图像退化模型	101
5.2.3	图像退化模型的离散形式	102
5.2.4	运动模糊的退化模型	105
5.3	图像的代数复原法	105
5.3.1	无约束代数复原方法	106
5.3.2	有约束代数复原方法	106
5.4	图像的频域复原法	108
5.4.1	逆滤波	108
5.4.2	最小二乘方滤波	109
5.5	其他图像复原法	111
5.5.1	人机交互式复原法	111
5.5.2	几何畸变校正	113
	习题	115
第6章	图像压缩编码	116
6.1	概述和分类	116
6.2	数据压缩与信息论基础	117
6.2.1	数据冗余	117
6.2.2	图像保真度	120
6.2.3	图像编码模型	121
6.2.4	信息论基础	122
6.3	无损压缩编码	124
6.3.1	哈夫曼编码	124
6.3.2	算术编码	127

6.3.3	行程编码	128
6.4	有损压缩编码	129
6.4.1	预测编码	129
6.4.2	离散余弦变换编码	134
6.4.3	矢量量化编码	136
6.5	图像压缩编码主要国际标准	138
6.5.1	静止图像压缩标准	138
6.5.2	序列图像压缩标准	139
6.5.3	视频图像压缩标准	141
6.5.4	中国的音视频编解码标准 AVS	143
	习题	143
第7章	图像分割	145
7.1	概述和分类	145
7.2	基于阈值的分割	146
7.2.1	直方图阈值分割	147
7.2.2	类间方差阈值分割	149
7.2.3	最大熵阈值分割	150
7.2.4	模糊阈值分割	153
7.3	基于边缘的分割	155
7.3.1	点检测	156
7.3.2	线检测	156
7.3.3	边缘检测	159
7.4	基于区域的分割	165
7.4.1	区域增长	165
7.4.2	区域分裂-合并	168
7.5	基于运动的分割	171
7.5.1	差分法运动分割	172
7.5.2	光流场运动分割	173
7.5.3	基于块的运动分割	175
	习题	177
第8章	图像分析与描述	178
8.1	概述和分类	178
8.2	图像目标的特征提取	179
8.2.1	幅度特征	179
8.2.2	统计特征	179
8.3	图像目标表达	181
8.3.1	边界表达	181

8.3.2 区域表达.....	185
8.4 图像目标描述	188
8.4.1 边界描述.....	188
8.4.2 区域描述.....	192
习题.....	201
参考文献.....	202

本章主要介绍有关数字图像处理的基本概念,其中包括图像处理概述、特点、研究内容以及一些重要的应用。

1.1 数字图像处理概述

图像处理就是对图像信息进行加工处理,以满足人的视觉心理和实际应用的要求。人类获取外界信息可通过视觉、听觉、触觉、嗅觉和味觉等多种方法,但绝大部分是来自视觉所接收的图像信息,作为传递信息最多的媒体之一,它比其他任何媒体都显得更为重要,所谓“百闻不如一见”就是最好的证明。因此,图像处理技术的广泛研究和应用是必然趋势。

数字图像处理又称为计算机图像处理,它是指将模拟的图像信号转换成离散的数字信号并利用计算机对其进行处理的过程,其输入是原始图像,输出则是改善后的图像或者是从图像中提取出的一些特征,以提高图像的实用性,从而达到人们所要求的预期结果。与人类对视觉机理着迷的历史相比,数字图像处理还是一门相对年轻的学科,但在其短短的发展历史中,它却不同程度地被成功应用于几乎所有与成像有关的领域。由于其表现方式所固有的魅力,它吸引着从科学家到平民百姓的注意。

数字图像处理技术最早出现于 20 世纪 20 年代,但直到 20 世纪 50 年代,电子计算机发展到了一定水平,人们才开始利用计算机来处理图形和图像信息。随着图像处理技术的深入发展,从 20 世纪 70 年代开始,计算机技术、人工智能和思维科学研究迅速发展,人们已开始研究如何用计算机系统解释图像,实现类似人类视觉系统来理解外部世界,这种处理技术称为图像理解或计算机视觉。很多国家,特别是发达国家投入了大量的人力、物力到这项研究中,取得了不少重要的研究成果。其中,代表性的成果是 20 世纪 70 年代末 MIT 的 Marr 提出的视觉计算理论,这个理论成为计算机视觉领域其后十多年的主导思想。图像分析和理解在理论方法研究上已取得了不小的进展,但它本身是一个比较难的研究领域,仍然存在不少困难,因为人类本身对自身的视觉过程还了解甚少,因此,计算机视觉是一个有待人们进一步探索的新领域。

随着计算机软件、硬件技术日新月异的发展和普及,人类已经进入一个高速发展的信息化时代,据统计,人类大概有 80% 的信息来自图像。在科学研究、技术应用中,图像处理技术越来越成为不可缺少的手段。图像处理所涉及的领域也越来越广泛,如军事应用、医学诊断、工业监控、物体的自动分检识别系统等,这些系统都需要计算机提供效果逼真的图像。

1.2 数字图像处理的目的是和基本特点

1.2.1 数字图像处理的目的

为什么我们要对图像进行处理?当图像被采集并显示时,通常需要改善,以便观察者更容易理解,以达到赏心悦目的目的。特别是要突出感兴趣的目标或者增强图像各部位之间的对比度来达到所需要的视觉效果。另外,为了使一些日常的或繁琐的工作自动化,减少工作量,节省人力、物力和财力的开销,也需要进行图像处理。

在日常生活和工作中,我们常常需要将一幅图像从一个介质传送到另外的介质,但图像处理不仅仅在传输、显示等领域起作用,它还存在其他目的。总的说来,图像处理的主要目的包括以下几点:

1. 存储和传输

为了节省存储容量和快速传输图像,很多情况下需要将图像进行压缩处理,这时就需要用到图像编码的相关算法。例如将图像存储到数码相机,将太空图像传送到地球等。

2. 显示和打印

有时为了合理、完整地显示一幅图像,我们需要调整图像的大小、色调等,这时可能用到图像旋转、缩放、改变颜色和调节亮度等。

3. 增强和恢复

为了突出感兴趣目标的信息,需要对图像进行增强和恢复等处理,例如从老的、发黄的照片中去除痕迹,在 X 照片中提高肿瘤的可视性等,这时就需要对相关图像进行增强和恢复等基本处理。

4. 提取有用信息

在很多情况下,图像中的某部分信息对我们而言是重要的,这时就需要对图像进行处理,提取图像中所包含的某些特征或特殊信息,以便于计算机分析。例如从信封上自动获取邮政编码,从航空影像上测量水的污染程度等。

1.2.2 数字图像处理的基本特点

数字图像处理的基本特点主要表现在以下几个方面:

1. 信息量大

目前,数字图像处理的信息基本上是二维信息,信息量很大。如一幅 256×256 低分辨率灰度图像,要求约 64KB 的数据量;对高分辨率彩色 512×512 图像,则要求 768KB 的数据量;如果要处理 30 帧/秒的电视图像序列,则每秒要求 500kb~22.5MB 的数据量;而一幅遥感图像大约要求 30MB 的数据量。因此,对计算机的计算速度、存储容量等都要求较高。

2. 综合性强

数字图像处理中所涉及的基础知识和专业技术相当广泛。一般来说涉及通信技术、计算机技术、电子技术、光电技术、心理学、生理学等,而数学、物理学等方面的知识则是图像处理中的基础知识。

3. 相关性大

数字图像中像素是不独立的,在一定范围内存在相关性。在一幅图像中,相邻像素之间一般都有相同或接近的灰度。对电视画面而言,同一行中相邻两个像素或相邻两行间的像素,它们之间的相关系数可达 0.9 左右,而相邻两帧之间的相关性比帧内相关性一般说来还要大些。因此,图像处理中信息压缩的潜力很大。

4. 受人的因素影响大

经过处理后的图像一般是给人观察和评价的,因此受人的因素影响较大。由于人的视觉系统很复杂,并且受环境条件、视觉性能、人的情绪爱好以及知识状况的影响,因此,图像质量的评价具有主观性。另外,计算机视觉是模仿人的视觉,人的感知机理必然影响计算机视觉的研究,因此,要求图像处理系统与人的视觉系统有良好的“匹配”,还是一个目前较难解决的问题。

1.2.3 数字图像处理的优点

与早期的模拟图像相比,数字图像处理有其自身的优点,具体表现在以下几个方面:

1. 再现能力强

与模拟图像处理的根本不同在于,数字图像处理不会因图像的存储、传输或复制等一系列变换操作导致图像质量的退化。只要图像在数字化时准确地表现了原图,则数字图像处理过程始终能保持图像的再现。

2. 处理精度高

按目前的处理技术,可将一幅模拟图像数字化为任意大小的二维数组,这主要取决于图像数字化设备的能力。现代扫描仪可以把每个像素的灰度级量化为 16 位甚至更高,这意味着图像的数字化精度可以满足任一应用需求。对计算机而言,不论数组大小,也不论每个像素的位数多少,其处理程序几乎是一样的。

3. 适用面宽

图像的获取可以来自多种信息源,可以是可见光图像,也可以是不可见的波谱图像(例如 X 射线图像、 γ 射线图像、超声波图像或红外图像等)。从图像反映的客观实体尺度看,可以小到电子显微镜图像,大到航空照片、遥感图像甚至天文望远镜图像。这些来自不同信息源的图像只要被转换为数字编码形式后,均可用二维数组来表示,因而都适合计算机处理。

4. 灵活性高

数字图像处理基本上可分为图像预处理(即图像质量改善)、图像理解分析和图像重建三大部分,每一部分均包含丰富的内容。由于图像的光学处理从原理上讲只能进行线性运算,这极大地限制了光学图像处理能实现的目标;而数字图像处理不仅能完成线性运算,而且能实现非线性处理,也就是说,凡是可以用数学公式或逻辑关系来表达的一切运算均可用于数字图像处理的实现。

1.3 数字图像处理的主要研究内容

数字图像处理的主要研究内容有以下几个方面:

1. 图像变换

由于图像阵列很大,如果直接在空间域中进行处理,涉及到的计算量很大。因此,往往采用各种图像变换的方法,如傅里叶变换、离散余弦变换、K-L 变换和小波变换等间接处理技术,将空间域的处理转换为变换域处理,这样不仅可以减少计算量,而且可以获得更有效的处理。

2. 图像增强和复原

图像增强和复原的目的是为了提高图像的质量,如去除噪声、提高图像的清晰度等。图像增强主要是突出图像中感兴趣的目标部分,如强化图像高频分量,可使图像中的物体轮廓清晰,细节明显;而强化图像低频分量,可减少图像中噪声的影响等。图像复原则要求对图像降质的成因有一定的了解,根据降质过程建立降质模型,然后采用某种滤波方法,恢复或重建原来的图像。

3. 图像编码压缩

图像编码压缩技术主要是为了减少描述图像的数据量,以便节省图像传输、处理的时间和减少所占用的存储器容量。压缩可以在不失真的前提下获得,也可以在允许的失真条件下进行。目前还有专门针对视频图像创建的国际编码标准。

4. 图像分割

图像分割是数字图像处理中的最关键技术之一。它是将图像中有意义的特征部分提取