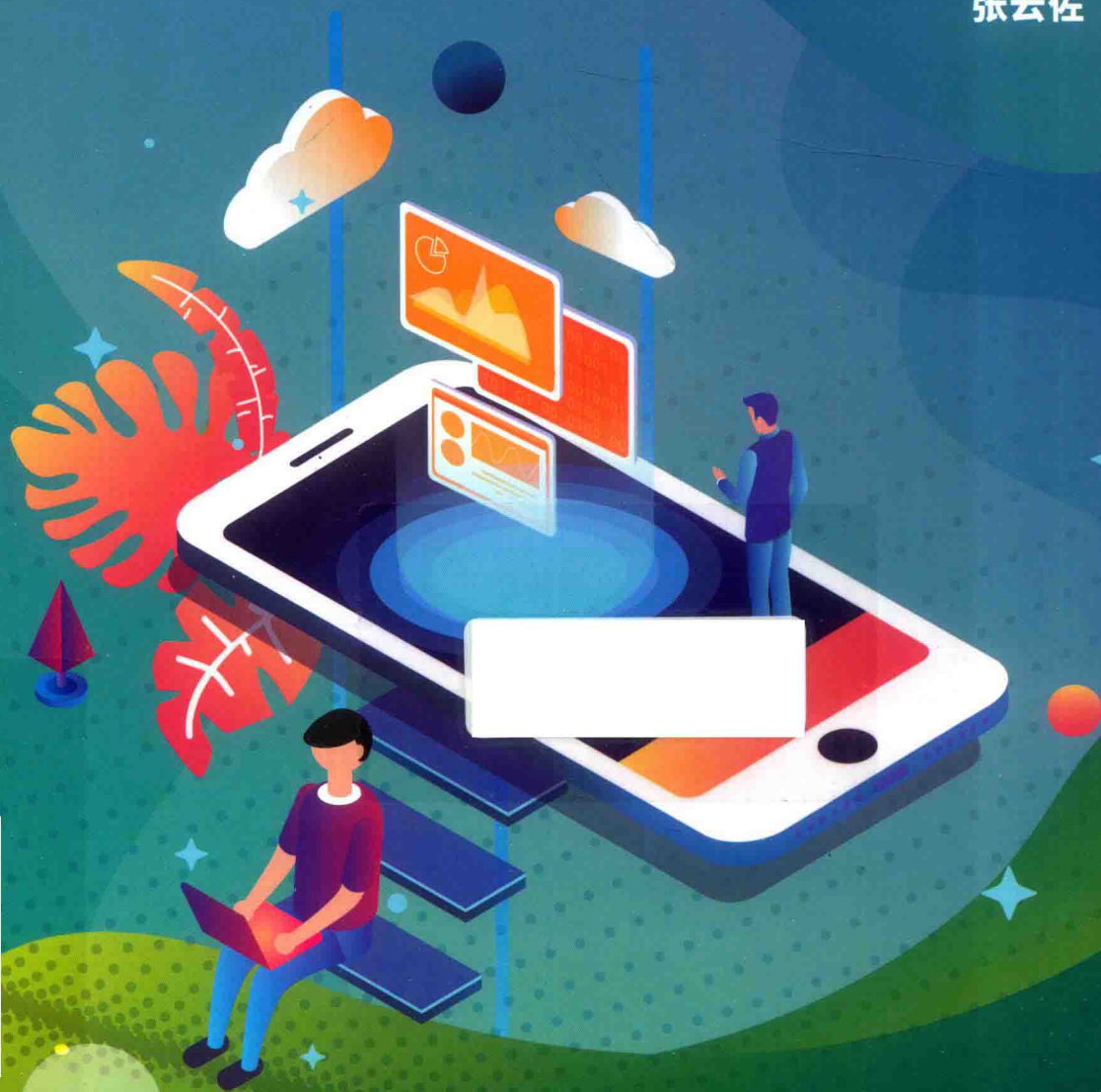


数字图像处理技术及应用

张云佐 编著



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

数字图像处理技术及应用

张云佐 编著

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

数字图像处理技术是利用计算机对图像进行分析、加工、处理以满足人们视觉或应用需求的技术，它可以将图像处理得更加符合人眼视觉感知，让信息以一种更加直观、明了的形式呈现在人们面前。

本书简化数学推导过程，附以简洁明了的文字解释，理论与实例应用紧密结合，设置配套习题，将编程能力和系统设计能力作为培养的重点，便于读者快速掌握数字图像处理技术的基本理论与方法、实用技术及典型应用。此外，作者结合课题组近五年的研究成果，对相关章节内容进行了知识点和应用方面的拓展，加深读者对基础知识的理解，拓宽读者视野。

本书可作为本科信息类专业学生的数字图像处理教材，可为数字图像处理领域的科研工作者们提供参考，也可作为数据挖掘、人工智能等新兴专业的研究生教学用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (C I P) 数据

数字图像处理技术及应用 / 张云佐编著. -- 北京 :
北京理工大学出版社, 2021. 11

ISBN 978-7-5763-0734-4

I. ①数… II. ①张… 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 (2021) 第 248020 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68944723 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 河北盛世彩捷印刷有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 14

彩 插 / 8

字 数 / 355 千字

版 次 / 2021 年 11 月第 1 版 2021 年 11 月第 1 次印刷

定 价 / 86.00 元

责任编辑 / 江 立

文案编辑 / 李 硕

责任校对 / 刘亚男

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题，请拨打售后服务热线，本社负责调换

前 言

当下，我们正处于一个被信息充斥的时代，图像作为我们感知世界、记录世界的视觉基础工具给日常生活、工作带来了诸多便利，是我们获取信息、传达信息的重要途径。如何快速、准确地获取图像，感知其中的关键信息成为当前的研究热点，数字图像处理技术为此提供了有效的解决手段。

数字图像处理技术是利用计算机对图像进行分析、加工、处理以满足人们视觉或应用需求的技术。相比于雷达、卫星导航这些能够直接带来巨大社会效益的技术来说，数字图像处理技术更像是一种辅助技术，它可以将图像处理得更加符合人眼视觉感知，让信息以一种更加直观、明了的形式呈现在人们面前。成熟的数字图像处理技术已广泛应用于气象监测、卫星探测、医用检查、考古、航空航天、遥感图像处理、医学图像处理、通信图像处理、工业图像处理、军事、公安等诸多领域，彰显出其巨大的潜在应用价值。随着计算机软、硬件水平的快速发展，数字图像处理技术的应用范围越来越广。人们要想准确、实时地采集图像，且确保图像的质量和清晰程度，离不开数字图像处理技术的强大支撑。

现存的数字图像处理类书籍大都内容繁多、理论复杂，晦涩难懂的公式推导占据很大篇幅，无法匹配当下高校课时日益压缩的现状，理论与实践分离也不利于学生综合能力的培养。为此，本书简化其数学推导过程，附以简洁明了的文字解释，理论与实例应用紧密结合，设置配套习题，将编程能力和系统设计能力作为培养的重点，便于读者快速掌握数字图像处理技术的基本理论与方法、实用技术及典型应用。此外，作者结合课题组近5年的研究成果，对相关章节内容进行了知识点和应用方面的拓展，加深读者对基础知识的理解，拓宽读者视野。本书分9章来阐述数字图像处理及应用相关理论知识和技术应用。

第1章主要对图像处理的基础知识进行介绍，从图像及数字图像的概念、图像处理技术与图像工程及图像处理系统的构成等方面展开，对图像处理应用及其发展动向进行分析，为后续章节的学习奠定基础。

第2章首先介绍图像视觉基础，包括人眼视觉系统、成像原理以及人类的视觉特性等，然后对图像数字化、图像的表达及其数据结构、图像类型转换展开介绍，使读者了解和掌握数字图像处理的预备知识。

第3章归纳了典型的图像处理运算，包括像素点运算、图像几何变换和图像邻域运算，便于读者快速掌握数字图像处理的基本操作。

第4章详细分析图像处理中的傅里叶变换、离散余弦变换、离散沃尔什变换和小波变换，并给出图像频域分析算法在监控视频分析中的应用实例。

第5章系统梳理了各种图像增强算法，包含空域和频域中的图像增强以及彩色图像增强算法，并给出图像增强算法在安防领域的应用实例。

第6章主要对图像复原相关知识进行介绍，包括图像复原模型及方法、图像退化模型和几何失真校正等，并给出图像复原技术在文物修复中的应用实例。

第7章主要介绍图像压缩的基本原理、赫夫曼编码等图像编码算法,以及预测编码等知识,讲述静止图像和序列图像的压缩标准,并给出基于赫夫曼图像压缩重建的实例。

第8章从基于阈值的图像分割方法、基于边缘的图像分割方法和基于区域的图像分割方法3个方面对图像分割进行详细介绍,给出高铁钢轨表面缺陷图像分割系统的设计与实现的应用实例。

第9章通过图像处理基本操作整合系统、基于树莓派的人脸识别门禁系统和面向智慧社区的监控视频目标行为浓缩系统等经典应用案例将本书的各章内容贯穿起来,实现数字图像处理技术的综合运用。

本书涵盖了数字图像处理领域的典型算法与应用,融合了课题组近五年在数字图像处理、监控视频智能分析等领域的研究成果,这些研究成果都是在国家自然科学基金项目(项目号:61702347)、河北省自然科学基金项目(项目号:F2017210161)以及河北省教育厅科研基金项目(项目号:QN2017132)的支持下完成的,研究生郭亚宁、张嘉煜、李怡、郭凯娜、郭威、董旭、李汶轩、杨攀亮、李文博、郑婷婷、宋洲臣等参与了书稿的撰写与整理工作,在此表示衷心的感谢!

本书既有理论介绍,又有实践案例分析,可作为本科信息类专业学生的数字图像处理教材,可为数字图像处理领域的科研工作者们提供参考,也可作为数据挖掘、人工智能等新兴专业的研究生教学用书。

由于作者水平有限,加之时间紧迫,书中存在不妥与疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正,并提出宝贵意见,以便进一步完善。

编者

目 录

| | |
|-------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 | 1 |
| 1.1 图像和图像处理 | 2 |
| 1.1.1 图像及图像的分类 | 2 |
| 1.1.2 数字图像 | 3 |
| 1.1.3 图像处理 | 6 |
| 1.2 数字图像处理的 3 个层次以及与其他相关学科的关系 | 7 |
| 1.2.1 数字图像处理的 3 个层次 | 7 |
| 1.2.2 数字图像处理与相关学科的关系 | 8 |
| 1.3 数字图像处理系统构成 | 9 |
| 1.3.1 数字图像处理硬件系统 | 9 |
| 1.3.2 数字图像处理软件系统 | 10 |
| 1.4 数字图像处理的应用与发展动向 | 10 |
| 1.4.1 数字图像处理的应用 | 11 |
| 1.4.2 数字图像处理的发展动向 | 13 |
| 1.5 习题 | 13 |
| 第 2 章 数字图像处理基础 | 15 |
| 2.1 视觉基础 | 16 |
| 2.1.1 人眼的视觉原理 | 16 |
| 2.1.2 颜色视觉 | 19 |
| 2.2 数字图像基础 | 25 |
| 2.2.1 图像数字化 | 25 |
| 2.2.2 图像表示与数据结构 | 28 |
| 2.2.3 图像成像模型 | 33 |
| 2.2.4 图像文件格式 | 34 |
| 2.3 MATLAB 图像处理基础 | 34 |
| 2.3.1 图像类型转换 | 34 |
| 2.3.2 图像文件读写与显示 | 35 |
| 2.4 习题 | 35 |
| 第 3 章 基本图像处理运算 | 37 |
| 3.1 像素点运算 | 38 |

| | | |
|------------|----------------------|-----------|
| 3.1.1 | 图像像素间关系 | 38 |
| 3.1.2 | 算术运算和逻辑运算 | 42 |
| 3.2 | 几何变换 | 47 |
| 3.2.1 | 平移、镜像与转置 | 47 |
| 3.2.2 | 缩放、旋转与剪切 | 49 |
| 3.2.3 | 透视变换与几何变形 | 52 |
| 3.3 | 图像邻域运算 | 54 |
| 3.4 | 习题 | 55 |
| 第4章 | 图像变换 | 57 |
| 4.1 | 概述 | 58 |
| 4.2 | 傅里叶变换 | 58 |
| 4.2.1 | 傅里叶变换基础 | 58 |
| 4.2.2 | 傅里叶变换及其反变换 | 62 |
| 4.2.3 | 傅里叶变换的性质 | 64 |
| 4.3 | 离散余弦变换 | 67 |
| 4.3.1 | 一维离散余弦变换及其反变换 | 67 |
| 4.3.2 | 二维离散余弦变换及其反变换 | 67 |
| 4.4 | 离散沃尔什变换 | 68 |
| 4.4.1 | 一维离散沃尔什变换及其反变换 | 68 |
| 4.4.2 | 二维离散沃尔什变换及其反变换 | 68 |
| 4.5 | 小波变换 | 68 |
| 4.6 | 图像变换技术应用与系统设计 | 71 |
| 4.6.1 | 图像变换应用概述 | 71 |
| 4.6.2 | 监控视频中相同动作识别 | 72 |
| 4.6.3 | 监控视频中模糊视频帧复原 | 79 |
| 4.6.4 | 图像变换应用拓展 | 83 |
| 4.7 | 习题 | 83 |
| 第5章 | 图像增强 | 85 |
| 5.1 | 概述 | 86 |
| 5.2 | 空域变换增强 | 86 |
| 5.2.1 | 灰度变换法 | 86 |
| 5.2.2 | 直方图处理 | 89 |
| 5.3 | 空域滤波增强 | 93 |
| 5.3.1 | 原理与分类 | 93 |
| 5.3.2 | 平滑滤波器 | 94 |
| 5.3.3 | 锐化滤波器 | 98 |
| 5.4 | 彩色增强 | 103 |

| | | |
|------------|---------------------|------------|
| 5.4.1 | 伪彩色增强 | 103 |
| 5.4.2 | 假彩色增强 | 105 |
| 5.4.3 | 真彩色增强 | 105 |
| 5.5 | 频域滤波增强 | 106 |
| 5.5.1 | 低通滤波 | 106 |
| 5.5.2 | 高通滤波 | 108 |
| 5.5.3 | 同态滤波 | 109 |
| 5.6 | 图像增强技术应用与系统设计 | 111 |
| 5.6.1 | 图像增强应用概述 | 112 |
| 5.6.2 | 空域图像增强模块 | 113 |
| 5.6.3 | 图像去雾与光照不足处理 | 116 |
| 5.6.4 | 图像增强应用拓展 | 118 |
| 5.7 | 习题 | 118 |
| 第6章 | 图像复原 | 121 |
| 6.1 | 概述 | 122 |
| 6.1.1 | 图像复原模型 | 122 |
| 6.1.2 | 图像复原与增强 | 122 |
| 6.1.3 | 图像复原的特点 | 123 |
| 6.1.4 | 图像复原的应用 | 123 |
| 6.2 | 图像退化 | 123 |
| 6.2.1 | 图像退化模型 | 123 |
| 6.2.2 | 退化函数 | 124 |
| 6.2.3 | 图像噪声 | 126 |
| 6.3 | 图像复原方法 | 131 |
| 6.3.1 | 逆滤波 | 132 |
| 6.3.2 | 维纳滤波 | 133 |
| 6.3.3 | 约束最小二乘方滤波 | 135 |
| 6.4 | 几何失真校正 | 136 |
| 6.4.1 | 几何失真 | 136 |
| 6.4.2 | 几何校正 | 136 |
| 6.5 | 图像复原技术应用与系统设计 | 141 |
| 6.5.1 | 图像复原应用概述 | 141 |
| 6.5.2 | 图像导入与保存 | 142 |
| 6.5.3 | 文物图像复原预处理 | 143 |
| 6.5.4 | 文物图像复原实现 | 145 |
| 6.5.5 | 文物图像复原效果评价 | 149 |
| 6.5.6 | 图像复原应用拓展 | 150 |
| 6.6 | 习题 | 150 |

| | |
|-------------------------------|-----|
| 第 7 章 图像压缩 | 152 |
| 7.1 概述 | 153 |
| 7.1.1 图像压缩基础概念 | 153 |
| 7.1.2 图像数据的冗余 | 153 |
| 7.1.3 图像压缩中的保真度准则 | 154 |
| 7.1.4 图像压缩方法分类 | 156 |
| 7.2 图像编码算法 | 156 |
| 7.2.1 信息论 | 156 |
| 7.2.2 熵编码算法 | 158 |
| 7.3 预测编码 | 163 |
| 7.3.1 基本思想和原理 | 163 |
| 7.3.2 无损压缩编码 | 164 |
| 7.3.3 有损压缩编码 | 164 |
| 7.4 变换编码 | 164 |
| 7.5 国际标准简介 | 165 |
| 7.5.1 基本知识 | 165 |
| 7.5.2 静止图像压缩标准 | 165 |
| 7.5.3 序列图像压缩标准 | 165 |
| 7.6 图像压缩技术应用与系统设计 | 165 |
| 7.6.1 图像压缩技术概述 | 165 |
| 7.6.2 理论基础 | 166 |
| 7.6.3 系统设计与实现 | 167 |
| 7.6.4 图像压缩应用拓展 | 167 |
| 7.7 习题 | 168 |
| 第 8 章 图像分割 | 170 |
| 8.1 概述 | 171 |
| 8.2 阈值分割 | 171 |
| 8.2.1 基本原理 | 171 |
| 8.2.2 人工阈值 | 171 |
| 8.2.3 自适应阈值 | 172 |
| 8.3 边缘检测 | 172 |
| 8.3.1 基本原理 | 172 |
| 8.3.2 Roberts 算子 | 174 |
| 8.3.3 Prewitt 算子 (平均差分) | 174 |
| 8.3.4 Sobel 算子 (加权平均差分) | 175 |
| 8.3.5 Laplacian 算子 | 177 |
| 8.3.6 Canny 算子 | 178 |

| | | |
|------------|---------------------------|------------|
| 8.3.7 | 算子比较 | 179 |
| 8.4 | 区域分割 | 179 |
| 8.4.1 | 区域生长算法 | 179 |
| 8.4.2 | 分水岭算法 | 180 |
| 8.5 | 图像分割技术应用与系统设计 | 181 |
| 8.5.1 | 图像分割技术应用概述 | 181 |
| 8.5.2 | 列直方图最小值法 | 183 |
| 8.5.3 | 均值建模法 | 185 |
| 8.5.4 | 背景差分法 | 185 |
| 8.5.5 | 自适应阈值分割 | 187 |
| 8.5.6 | 图像滤波 | 187 |
| 8.5.7 | 图像分割算法比较 | 188 |
| 8.5.8 | 图像分割应用拓展 | 188 |
| 8.6 | 习题 | 188 |
| 第9章 | 数字图像处理应用实例 | 190 |
| 9.1 | 图像处理基本操作整合系统 | 191 |
| 9.1.1 | 图像算术与逻辑运算 | 191 |
| 9.1.2 | 图像几何变换与图像变换 | 191 |
| 9.1.3 | 图像增强 | 191 |
| 9.1.4 | 图像复原 | 192 |
| 9.1.5 | 图像分割 | 192 |
| 9.2 | 基于树莓派的人脸识别门禁系统 | 193 |
| 9.2.1 | 系统概述 | 193 |
| 9.2.2 | 人脸识别相关理论 | 193 |
| 9.2.3 | 总体结构设计 | 195 |
| 9.2.4 | 树莓派控制系统的模块设计与实现 | 198 |
| 9.2.5 | 管理员系统的模块设计与实现 | 200 |
| 9.2.6 | 总结 | 201 |
| 9.3 | 面向智慧社区的监控视频目标行为浓缩系统 | 201 |
| 9.3.1 | 系统概述 | 201 |
| 9.3.2 | 理论基础 | 201 |
| 9.3.3 | 系统的设计与实现 | 205 |
| 9.3.4 | 总结 | 208 |
| | 参考文献 | 209 |



第1章

绪论

数字图像处理方法的研究源于两个主要应用领域：其一是为了便于人们分析而对图像信息进行改进；其二是为使机器自动理解而对图像数据进行存储、传输及显示。数字图像处理在现代信息处理、国计民生中有不可替代的重要作用。作为全书的第1章，本章介绍有关图像的概念，包括数字图像的概念、图像处理的概念、数字图像处理的3个层次以及与其他相关学科的关系、数字图像处理的系统构成、数字图像处理的应用领域和发展动向等，本章节的内容框架图如图1-1所示。通过对本章的学习，希望读者建立起对图像、数字图像及数字图像处理的基本认识。

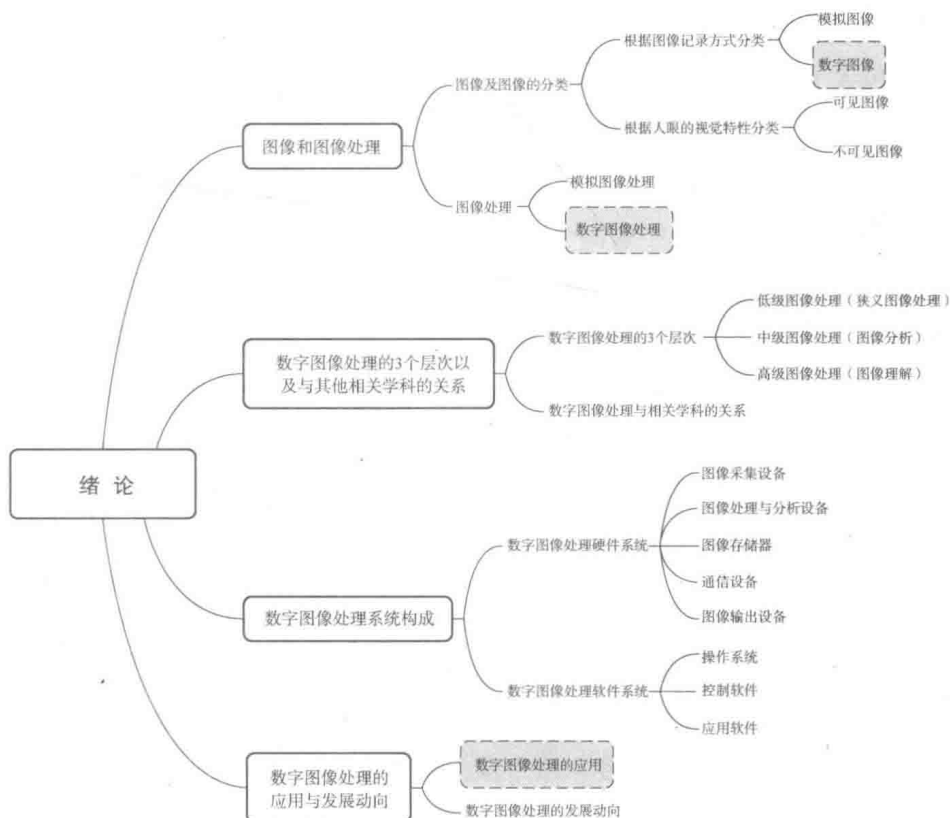


图 1-1 内容框架图

学习目标：了解图像、图像处理及数字图像的基本概念，了解数字图像处理的3个层次、与其他相关学科的关系、系统构成、应用领域和发展动向。

学习重点：概念的理解、应用领域的了解。

学习难点：理解数字图像及数字图像处理。

1.1 图像和图像处理

图像是对客观对象的一种相似性的、生动性的描述或写真，在日常的学习生活中，图像是必不可少的组成部分。此外，图像是人们最主要的信息源。据统计，一个人获取的信息大约75%来自视觉。“百闻不如一见”“一目了然”都反映了图像在信息传递中的独特效果。

图像可以分为模拟图像和数字图像两大类，随着数字采集和信号处理理论的发展，越来越多的图像以数字形式存储。因而，在有些情况下，“图像”一词实际上是指数字图像，本书主要探讨的也是数字图像的处理。

1.1.1 图像及图像的分类

“图”是物体投射或反射光的分布，“像”是人的视觉系统对图的接受在大脑中形成的印象或反映。图像是对客观对象的一种相似性的生动描述或写真，或者说是客观对象的一种表示，它包含了被描述对象的有关信息，即图像是客观和主观的结合。一幅图像是其所表示物体的信息的一个浓缩和高度概括，广义地讲，凡是记录在纸介质上的，拍摄在底片和照片上的，显示在电视、投影仪和计算机屏幕上的所有具有视觉效果的画面都可以称为图像。

1.1.1.1 模拟图像和数字图像

根据不同的记录方式可将图像分为模拟图像（Analog Image）和数字图像（Digital Image）。模拟图像是通过某种物理量（光、电等）的强弱变化来记录图像上各点的亮度信息的，如模拟电视图像；而数字图像则完全是用数字（即计算机存储的数据）来记录图像亮度信息的。

1.1.1.2 可见图像和不可见图像

根据人眼的视觉特性可将图像分为可见图像和不可见图像，如图1-2所示。其中，可见图像包括图片和光图像，图片包括照片、用线条画的图和画，光图像是用透镜、光栅和全息技术产生的图像；不可见图像包括不可见光成像（如红外线、微波等的成像）和不可见量按数学模型生成的图像（如温度、压力及人口密度等的分布图）。本书中的图像仅仅指图片范畴。

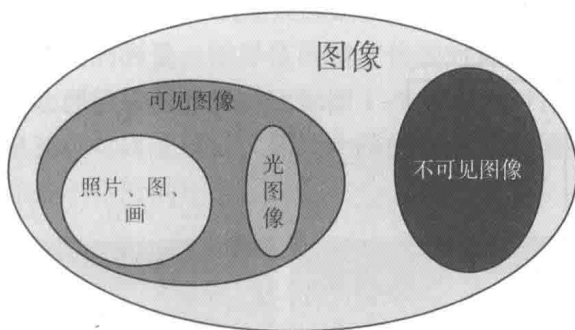


图 1-2 根据人眼视觉特性的图像分类

1.1.2 数字图像

数字图像又称数码图像或数位图像，是可以由数字计算机或数字电路存储和处理的图像，数字图像由模拟图像数字化^①得到。数字图像以像素为基本元素，由数组或矩阵表示，其模型如图 1-3 所示。

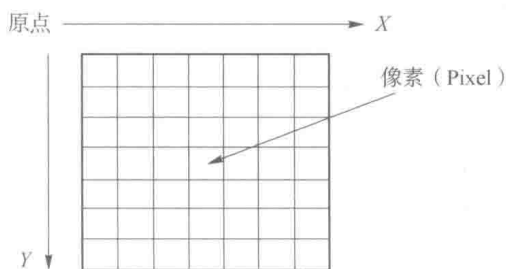


图 1-3 数字图像模型

像素指由一个数字序列表示的图像中的一个最小单位。简单地说，把模拟图像的画面分割成如图 1-3 所示的小方块，这些小方块都有一个明确的位置和被分配的色彩数值，一个小方块就是一个像素，或者可以将像素理解为整个图像中不可分割的单位或者元素，它是以一个单一颜色的小格子的形式存在的。

1.1.2.1 数字图像的表达——二维矩阵

数字图像的数据可以用矩阵来表示，因此可以采用矩阵理论和矩阵算法对数字图像进行分析和处理。如图 1-4 所示，左边的数字图像由 $M \times N$ 个像素构成，右边是数字图像对应的图像矩阵。其中， f 代表该像素的灰度值，下标代表像素的坐标位置，矩阵的行对应图像的高（单位为像素），矩阵的列对应图像的宽（单位为像素），矩阵的元素对应图像的像素，矩阵元素的值就是像素的灰度值。

由于数字图像可以表示为矩阵的形式，因此在计算机数字图像处理程序中，通常用二维数组来存放图像数据，如图 1-5 所示。二维数组的行对应数字图像的高，二维数组的列

^① 为了从一般的照片、景物等模拟图像中得到数字图像，需要对传统的模拟图像进行采样与量化两种图像数字化操作，图像数字化详见 2.2.1 节。

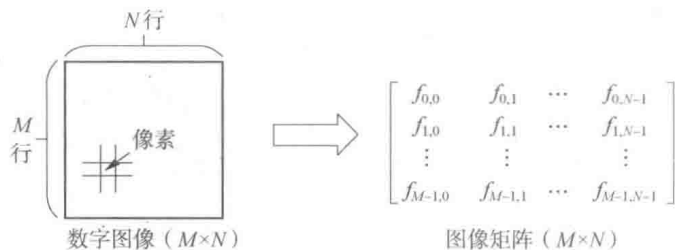


图 1-4 数字图像与图像矩阵

对应图像的宽，二维数组的元素对应图像的像素，二维数组元素的值就是像素的灰度值。采用二维数组来存储数字图像，符合二维图像的行列特性，同时也便于程序的寻址操作，使得计算机图像编程十分方便。

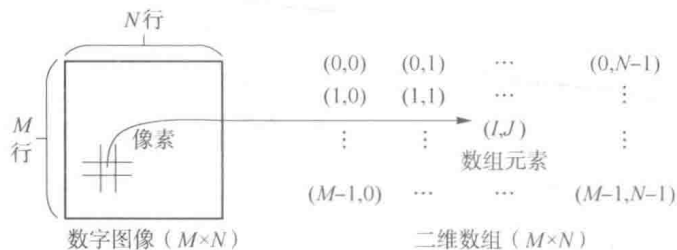


图 1-5 数字图像与二维数组

1.1.2.2 数字图像的质量

数字图像的质量评判标准分为主观效果评判和客观效果评判，主观效果评判评估的是图像的视觉效果，由个人感觉设定目的，评判标准和认定由主观者决定；客观效果评判是不由个人偏好和感觉作评判，而由大众或实际效果作最真实的效果评价，不夹杂个人感情。

1) 主观效果评判

主观效果评判主要是评判图像的层次、对比度和清晰度，下面进行详细介绍。

(1) 图像的层次：表示图像实际拥有的灰度级的数量，而图像灰度表示像素明暗程度的整数量。图像的层次越多，视觉效果就越好。

由图 1-6 可得，256 个层次的图像看起来非常顺滑，而 16 个层次的图像会看到有明显的条纹。

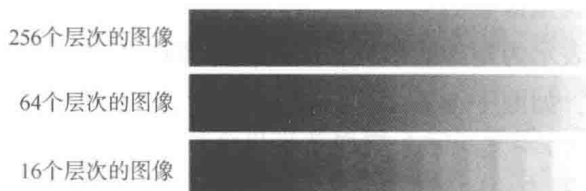


图 1-6 不同层次效果比较

(2) 图像的对比度：指一幅图像中灰度反差的大小，是一幅图像中明暗区域最亮的白和最暗的黑之间不同亮度层级的测量，差异范围越大代表对比度越大，差异范围越小代表对比度越小。图像对比度处理前后的效果对比如图 1-7 所示，对比度越高，照片中暗的部分就越暗，亮的部分就越亮；对比度越低，照片中暗的部分就会偏亮，而亮的部分则会偏暗。对比度为最大亮度和最小亮度的比值。

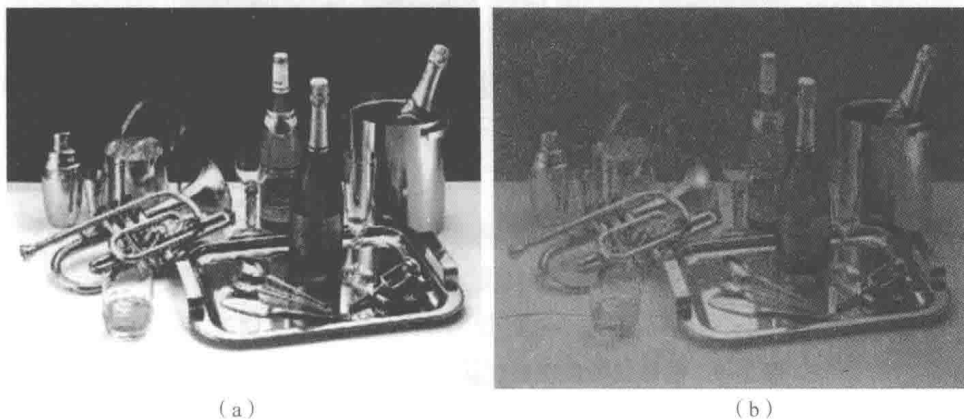


图 1-7 图像对比度处理前后的效果对比 (附彩插)

(a) 原始图像；(b) 对比度降低后的图像

(3) 图像的清晰度：由图像边缘灰度变化的速度来描述。与清晰度相关的主要因素有亮度^①、对比度、尺寸、细微层次、颜色饱和度^②等，下面对图像的尺寸和细微层次的概念进行阐述。

图像的尺寸指图像的大小，图像的长度与宽度以像素为单位或者以厘米为单位。简单地说，对图像尺寸的操作就是对图像大小的操作。图像尺寸处理前后的效果对比如图 1-8 所示，可见，图 1-8 (b) 缩小为图 1-8 (a) 的 1/2。

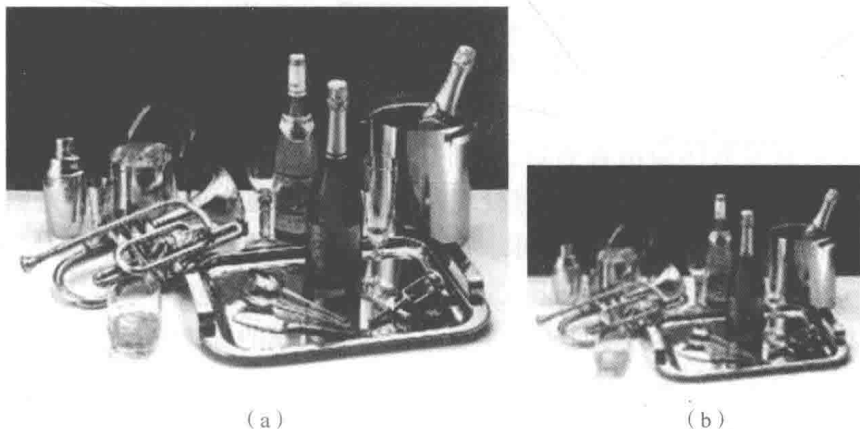


图 1-8 图像尺寸处理前后的效果对比 (附彩插)

(a) 原始图像；(b) 缩小尺寸后的图像

① 亮度是指发光体光强与光源面积之比，定义为该光源单位的亮度，即单位投影面积上的发光强度，亮度的单位是坎德拉/平方米 (cd/m^2)。详见 2.1.2.1 节。

② 详见 2.1.2.1 节。

图像的细微层次一般会随着网点线数的升高以及图像基本单元的变小而表达得更加精细。图像细微层次处理前后的效果对比如图 1-9 所示，可见，减少细微层次后的图像变得模糊。

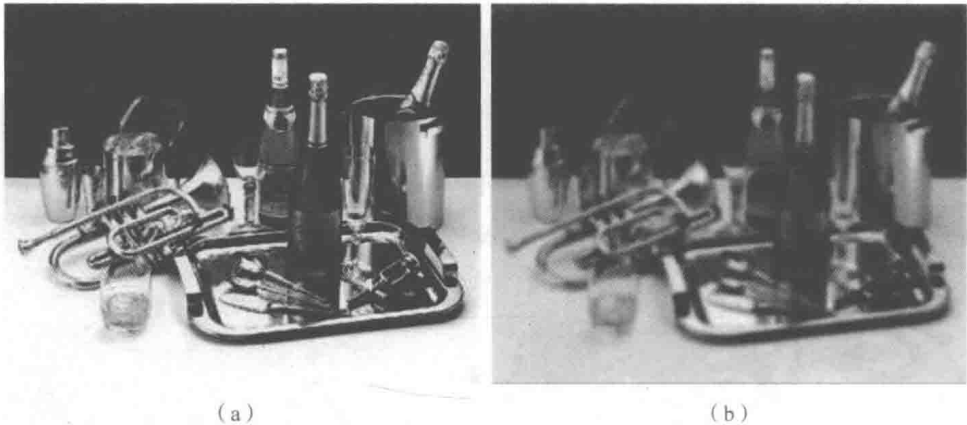


图 1-9 图像细微层次处理前后的效果对比 (附彩插)

(a) 原始图像; (b) 减少细微层次后的图像

2) 客观效果评判

图像质量的优劣既可以通过人眼的主观视觉效果来判断，也可以通过均方误差 (MSE) 和峰值信噪比 (PSNR) 来衡量，公式分别为

$$MSE = \frac{1}{NM} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (f_{ij} - f'_{ij})^2 \quad (1-1)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{L^2}{MSE} \quad (1-2)$$

式中： N, M —— x 方向， y 方向图像像素点的数量；

f_{ij}, f'_{ij} ——原始图像和测试图像在 (i, j) 点上的取值；

L ——图像中灰度取值的范围，对 8 bit 的灰度图像而言， $L=256$ 。

1.1.3 图像处理

图像处理是对图像信息进行加工、处理和分析，以满足人的视觉、心理需要或者实际应用及某种目的（如机器识别）的要求。图像处理分为两大类：模拟图像处理和数字图像处理。

(1) 模拟图像处理又称光学处理，主要采用连续数学的方法处理，处理方式很少，往往只能进行简单的放大、缩小等，并且模拟图像的保存性较差。例如，望远镜、显微镜、哈哈镜、透镜、胶片合成照相、凸透镜都属于模拟图像处理的范畴。其优点是实时处理，速度快；缺点是精度低，灵活度差，难有判断功能。

(2) 数字图像处理又称计算机处理，是通过计算机对图像进行去除噪声、增强、复原、分割、提取特征等处理，从而达到某种预期的处理目的的方法和技术。随着数字技术和数字计算机技术的飞速发展，数字图像处理技术在近二十年的时间里，迅速发展成为一门独立的有强大生命力的学科，应用领域十分广泛。其优点是精度高、内容丰富、方法易

变、灵活度高；缺点是处理速度较慢。数字图像处理的特点包括以下3个方面。

- ①再现性好：数字图像可多次复制，不失真，不退化。
- ②精度高：采样量化一定，多次处理可保精度。
- ③适用面宽：可处理抽象数据、可作非线性处理（光学只作线性处理）。

本书将在后续章节对数字图像处理相关内容展开详细介绍。

1.2 数字图像处理的3个层次以及与其他相关学科的关系

数字图像处理是一个多学科交叉的技术应用领域，计算机、通信、自动化、航空航天、生物医学（医学影像），另外，农学、林学、纺织业、考古学、地质学，甚至文学、语言学、教育学、心理学、法学、艺体等人文社科领域，都离不开图像处理技术，换句话说，任何人、任何行业和领域都离不开图像处理。

1.2.1 数字图像处理的3个层次

数字图像处理所包含的内容是相当丰富的，根据抽象程度不同，可分为3个层次：低级图像处理、中级图像处理和高级图像处理（狭义图像处理、图像分析和图像理解）。数字图像处理3个层次的关系示意如图1-10所示。

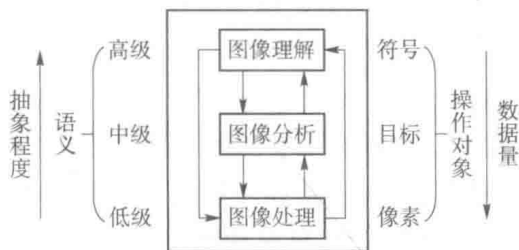


图 1-10 数字图像处理 3 个层次的关系示意（根据抽象程度和研究方法等的不同）

1) 低级图像处理（狭义图像处理）^①

内容：低级图像处理主要对图像进行各种加工以改善图像的视觉效果或突出有用信息，并为自动识别打基础，或者通过编码以减少对其所需存储空间、传输时间或传输带宽的要求。

特点：输入是图像，输出也是图像，即图像之间进行的变换。

2) 中级图像处理（图像分析）

内容：中级图像处理一般利用数学模型并结合图像处理的技术来分析底层特征和上层结构，最终对图像中感兴趣的目标进行检测和测量，以获得它们的客观信息从而建立对图像的描述。图像分析是一个从图像到数据的过程，这里的数据可以是对目标特征检测的结

^① 广义图像处理：涉及更广泛的内容，包括图像采集（光学系统、材料器件、工艺及传感器阵列等），传输（编码、通信），处理（清晰度、对比度等后续成像质量改善），分析与识别（分割、特征提取、描述、分类识别等）以及各种场合的技术应用等。