

❖ 高等院校通信与信息专业规划教材 ❖

# 数字图像处理 (MATLAB版)

DIGITAL IMAGE PROCESSING



王科平 主编

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



本书赠送电子教案

高等院校通信与信息专业规划教材

# 数字图像处理 (MATLAB 版)

主 编 王科平  
副主编 张志刚 张中卫  
参 编 张培玲 李 辉 赵运基



机械工业出版社

本书详细地介绍了数字图像处理技术。为了使基于理论的图像知识点更加容易理解,书中大量地结合具体实例,紧密联系实际图像处理应用背景,同时列举了基于 MATLAB 的仿真实例,使书中内容易于理解、实用性强。

本书共 7 章。第 1 章为绪论,让读者对数字图像处理的基础有一个概要的认识。第 2 章为图像视觉系统与图像采集系统,从硬件角度对数字图像处理系统有个整体的认识。第 3~7 章为基本的、常见的数字图像处理技术,涵盖内容有图像变换、图像增强、图像编码、彩色图像处理和图像的形态学处理技术,并在每章后边配有一节基于 MATLAB 的图像处理技术实例,帮助读者进一步加深书中知识点的理解。

本书既可作为高等学校电子信息、通信工程、信号与信息处理学科的本科生教材,也可作为从事图像处理研究的科研工作者的参考用书。

为了满足教师和工程技术人员电子教学和培训的需要,本书免费提供电子课件。欢迎使用该教材的教师登录 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 免费注册、审核后下载,或联系编辑索取(QQ: 1157122010, 电话: 010-88379753)。

## 图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理: MATLAB 版/王科平主编. —北京:机械工业出版社, 2015. 7

高等院校通信与信息专业规划教材

ISBN 978-7-111-51032-1

I. ①数… II. ①王… III. ①数字图象处理 - Matlab 软件 - 高等学校 - 教材 IV. ①TN911.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 176149 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:李馨馨 责任编辑:李馨馨 王 荣

责任校对:张艳霞 责任印制:李 洋

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2015 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·12.5 印张·307 千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-51032-1

定价:29.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:(010)88379833

机工官网:[www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线:(010)88379649

机工官博:[weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网:[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

封面无防伪标均为盗版

金书网:[www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

# 前 言

数字图像处理主要研究的是将图像信号转换成数字信号并利用计算机对其进行处理,使之能具备更好的视觉效果或满足某些应用的特定需求。随着计算机技术的发展,数字图像处理技术在许多应用领域受到广泛重视并取得了重大的开拓性成就,目前已成为工程学、信息科学、计算机科学、生物学、医学甚至社会科学等各学科之间学习和研究的对象。其应用遍及社会的各个领域,如航空航天、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,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。

本书第1章和第2章主要介绍了数字图像处理的基础知识和图像处理系统的框架、硬件设备。第3~7章是最基本的、典型的图像处理技术:第3章详细地分析了图像处理中的傅里叶变换、离散余弦变换和非常实用的小波变换;第4章非常系统、全面地讲解了空域和频域中的各种不同的图像增强方法;第5章分别从无损压缩编码和限失真压缩编码的角度分析了不同的图像编码技术;第6章包含彩色图像处理的基本知识和真彩色、伪彩色图像增强的方法;第7章分析了形态学中的基础知识,结合实例讲述了多种形态学方法。

本书在介绍图像处理理论的同时,采用MATLAB软件,对书中的技术进行了编程实现,使读者在最短时间内,达到最好的学习效果。通过本书的学习,读者不仅能够快速掌握数字图像处理的理论知识,而且还可以掌握MATLAB的编程和开发,以及基于MATLAB软件的图像处理技术。

本书由河南理工大学的王科平(第1、4章)、张中卫(第2、3章的3.1~3.4节、3.6节)、张培玲(第5章)、赵运基(第7章)、李辉(第3.5节)以及焦作大学的张志刚(第6章)共同编写。本书的顺利出版,要感谢河南理工大学的领导和老师给予的大力支持和帮助。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,请读者提出宝贵意见。

编 者

# 目 录

前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 数字图像处理的基本概念	1
1.1.1 模拟图像	1
1.1.2 数字图像	1
1.1.3 像素间的关系	5
1.2 常用文件存储格式	8
1.2.1 BMP 图像文件格式	8
1.2.2 TIFF 图像文件格式	8
1.2.3 GIF 图像文件格式	9
1.2.4 JPEG 图像文件格式	9
1.2.5 PNG 图像文件格式	10
1.2.6 PCX 图像文件格式	11
1.3 数字图像处理的主要内容	11
1.4 数字图像处理的应用	15
1.5 MATLAB 图像处理基础	21
1.5.1 数字图像的表达	22
1.5.2 图像的输入/输出和显示	23
1.6 思考题	25
第 2 章 图像视觉系统与图像采集系统	26
2.1 图像视觉系统	26
2.1.1 人眼的视觉原理	26
2.1.2 视觉系统的构成	27
2.1.3 光觉和色觉	29
2.1.4 视觉的特性	34
2.2 图像处理系统中的常用输入/输出设备	37
2.2.1 输入设备	37
2.2.2 输出设备	40
2.3 习题	41
第 3 章 基本图像变换	42
3.1 图像变换的基础知识	42
3.2 傅里叶变换	43
3.2.1 一维傅里叶变换	43

3.2.2 二维傅里叶变换 .....	44
3.3 离散余弦变换 .....	48
3.3.1 基本概念 .....	48
3.3.2 一维离散余弦变换 .....	49
3.3.3 二维离散余弦变换 .....	50
3.4 小波变换 .....	51
3.4.1 概述 .....	51
3.4.2 连续小波变换 (CWT) .....	52
3.4.3 离散小波变换 (DWT) .....	54
3.5 基本图像变换 MATLAB 仿真实例 .....	54
3.5.1 傅里叶变换仿真实例 .....	54
3.5.2 离散余弦仿真实例 .....	56
3.5.3 小波变换仿真实例 .....	58
3.6 习题 .....	60
<b>第4章 图像增强 .....</b>	<b>61</b>
4.1 空域图像增强技术 .....	62
4.1.1 直方图修正技术 .....	62
4.1.2 图像灰度映射 .....	69
4.1.3 图像间运算 .....	71
4.1.4 图像平滑处理 .....	75
4.1.5 图像锐化处理 .....	81
4.2 频域图像增强技术 .....	84
4.2.1 频域增强的理论基础 .....	85
4.2.2 低通滤波法 .....	85
4.2.3 高通滤波法 .....	88
4.2.4 带通、带阻滤波法 .....	91
4.2.5 同态滤波器 .....	91
4.3 频域增强技术与空域增强技术 .....	93
4.4 图像增强 MATLAB 仿真实例 .....	93
4.5 习题 .....	101
<b>第5章 图像编码 .....</b>	<b>102</b>
5.1 图像编码的基础知识 .....	102
5.1.1 数据冗余 .....	102
5.1.2 图像编码中的保真度准则 .....	104
5.1.3 图像编码模型 .....	106
5.1.4 信息论的基础理论 .....	107
5.2 无损压缩编码 .....	109
5.2.1 基本编码定理 .....	109
5.2.2 霍夫曼编码 .....	110

5.2.3	香农-法诺编码	111
5.2.4	算术编码	113
5.3	限失真编码	114
5.3.1	信息率失真定理	114
5.3.2	预测编码	116
5.3.3	正交变换编码	121
5.4	图像编码 MATLAB 仿真实例	126
5.5	习题	135
<b>第6章</b>	<b>彩色图像处理</b>	<b>136</b>
6.1	彩色图像的基本概念	136
6.1.1	彩色视觉基础	136
6.1.2	三原色与色匹配	137
6.1.3	色度图	138
6.1.4	彩色图像在 MATLAB 中的表示	139
6.2	彩色模型	143
6.2.1	面向硬件设备的彩色模型	144
6.2.2	面向视觉感知的彩色模型	146
6.3	伪彩色增强处理	149
6.3.1	亮度切割	150
6.3.2	从灰度到彩色的映射	151
6.3.3	频域滤波方法	151
6.4	真彩色图像处理	152
6.4.1	真彩色处理策略	152
6.4.2	单分量变换增强	153
6.4.3	全彩色增强	156
6.5	彩色图像处理 MATLAB 仿真实例	157
6.6	习题	167
<b>第7章</b>	<b>形态学图像处理</b>	<b>168</b>
7.1	形态学预备知识	168
7.1.1	集合的基本知识	168
7.1.2	二值图像、集合和逻辑运算符	168
7.2	腐蚀和膨胀	170
7.2.1	腐蚀	170
7.2.2	膨胀	171
7.3	开运算和闭运算	172
7.4	击中和击中不中变换	173
7.5	一些基本形态学算法	175
7.5.1	边界提取	175
7.5.2	孔洞填充	176

7.6 灰度级形态学 .....	176
7.6.1 腐蚀和膨胀 .....	176
7.6.2 开运算和闭运算 .....	183
7.7 仿真实例 .....	186
7.7.1 二值图像腐蚀和膨胀的仿真实例 .....	186
7.7.2 二值图像开运算和闭运算 .....	188
7.7.3 灰度图像的腐蚀和膨胀 .....	189
7.7.4 灰度图像的开运算和闭运算 .....	189
7.8 习题 .....	191
参考文献 .....	192



# 第1章 绪 论

## 1.1 数字图像处理的基本概念

图像是我们人类非常熟悉的概念，图像有多种含义，其中最常见的定义是指各种图形和影像的总称。在日常的学习或统计中，图像都是必不可少的组成部分，它为人类构建了一个形象的思维模式，有助于我们学习、思考问题。据统计，在人类从外界接收的信息中约有75%来自于视觉系统，也就是从图像中得到的。所以，图像信息是十分重要的。中国古语中有“百闻不如一见”“一目了然”“耳听为虚，眼见为实”等，都反映了图像在获取信息中的重要程度。

“图像”一词主要来自西方艺术史译著，通常指 image、icon、picture 和它们的衍生词，也指人对视觉感知的物质再现。图像可以由光学设备获取，如照相机、镜子、望远镜、显微镜等；也可以人为创作，如手工绘画。图像可以记录与保存在纸质媒介、胶片等对光信号敏感的介质上。图像处理技术的应用非常广泛，已给人类带来了巨大的经济和社会效益。未来，它不仅在理论上会有更深入的发展，在应用上亦是科学研究、社会生产乃至人类生活中不可缺少的强有力工具。

图像可以分为模拟图像和数字图像两大类，随着数字采集技术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，本书中主要探讨的也是数字图像的处理。

### 1.1.1 模拟图像

日常所见到的实物图像，如照片、底片、印刷品、画等都是模拟图像，即，只要可以通过客观的物理量表现颜色的图像就是模拟图像。模拟图像是可以用连续函数来描述的，如

$$I = F(x, y) \quad (1-1)$$

式中， $I$  表示图像； $(x, y)$  为图像任意一点的光照位置； $F$  为图像各点对应的特性，如光照强度。 $x$ 、 $y$  和  $F$  均可以取任意数值，它们均为连续变化的量。

在计算机尚未出现时，图像处理指的是模拟图像处理。模拟图像是指图像空间坐标和明暗程度都连续变化的、计算机无法直接处理的图像。模拟图像处理主要包括光学处理（利用透镜）和电子处理，其优点是速度快，理论上可达到光速；缺点是精度低，灵活性差。数字图像处理是指经过空间采样和幅值量化后的图像，它可以利用计算机或其他实时的硬件处理，因而又称为计算机图像处理，它的优点是精度高，变通能力强。

### 1.1.2 数字图像

数字图像（或称数码图像）是指以数字方式存储的图像。将图像在空间上离散、量化存储每一个离散位置的信息，这样就可以得到最简单的数字图像。数字图像处理技术起源于

20 世纪 20 年代, 当时通过海底电缆从英国伦敦到美国纽约传输了一幅照片, 它采用了数字压缩技术。就当时年代的技术水平来看, 如果不压缩, 传一幅图像要一星期时间, 压缩后只用了 3 h。1964 年美国的“喷气推进实验室”处理了由太空船“徘徊者七号”发回的月球照片, 这标志着第三代计算机问世后, 数字图像处理概念开始得到应用。其后, 数字图像处理技术发展迅速, 目前已成为工程学、计算机科学、信息科学、统计学、物理、化学、生物学、医学甚至社会科学领域中各学科之间学习和研究的对象。

图 1-1 给出两幅图像, 图 1-1a 所用的坐标系统常在屏幕显示中采用, 它的原点在图像的左上角, 纵坐标标记图像的行, 横坐标标记图像的列。图 1-1b 所用的坐标系统常在图像计算中采用, 它的坐标原点在图像的左下角, 横轴为  $X$  轴, 纵轴为  $Y$  轴。



图 1-1 图像在坐标中的表示

这种数字图像一般数据量很大, 需要采用图像压缩技术以便能更有效地存储在数字介质上。简单地说, 数字图像就是把传统图像的画面分割成如图 1-2 所示的被称为像素 (picture element, 简称 pixel。有时候也用 pel 这一缩写词) 的小的离散点, 各像素的灰度值也是用离散值即整数来表示的。数字图像 (digital image) 和传统的图像即模拟图像 (picture) 是有差别的。

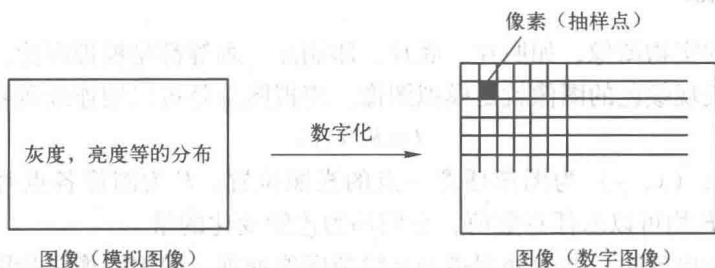


图 1-2 数字图像中的像素

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操作 (二者统称为数字化)。

### 1. 采样

采样 (sampling) 就是把在时间上和空间上连续的图像变成离散点 (采样点, 即像素) 的集合的一种操作。图像基本上是在二维平面上连续分布的信息, 如图 1-3 所示, 要把它输入到计算机中, 首先要把二维信号变成一维信号, 因此要进行扫描 (scanning)。最常用

的扫描方法是在二维平面上按一定间隔从上方顺序地沿水平方向的直线（扫描线）扫描，从而取出图像中每一点的浓淡值（即灰度值）。对于由此得到的一维信号，通过求出每一特定间隔的值，可以得到离散的信号。对于运动图像，除进行水平、垂直两个方向的扫描以外，还要进行时间轴上的扫描。

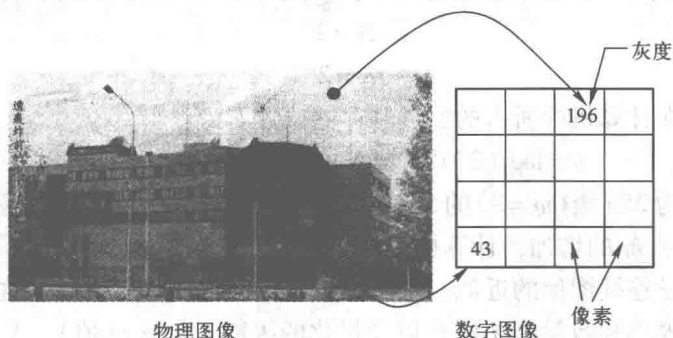


图 1-3 模拟图像数字化采样示例

通过采样，如设横向的像素数为  $M$ ，纵向的像素数为  $N$ ，则画面的大小可以表示为  $M \times N$  个像素。

采样时最关键之处在于采样间隔的选取。采样间隔太小，则会增大数据量；采样间隔太大，则会发生信息的混叠，导致细节无法辨认。

在采样过程中有一个非常重要的概念，就是空间分辨率。空间分辨率是指要精确测量和再现一定尺寸的图像所必需的像素个数，是图像空间中可分辨的最小细节，一般用单位长度上采样的像素数目表示，单位为像素  $\times$  像素（如数码相机指标 30 万像素（640 像素  $\times$  480 像素）。空间分辨率（图像的采样）与图像质量的关系非常密切，图像空间分辨率的大小直接影响图像的品质。空间分辨率越高，图像质量越好；空间分辨率越低，图像质量越差，会出现棋盘模式。所以在对图像进行数字化处理时，应根据不同的用途而设置不同的分辨率，最经济有效地进行工作。

## 2. 量化

经过采样，图像被分解成在时间上和空间上离散分布的像素，但是像素的值（灰度值）还是连续值。像素的值，是指白色—灰色—黑色的灰度值，有时候也指光的强度（亮度）值或灰度值。把这些连续的灰度值变为离散的值（整数）的操作就是量化。可以用灰度分辨率来描述图像灰度值量化的程度。灰度分辨率是图像灰度级中可分辨的最小变化。一般用灰度级或比特数表示。

如果把这些连续变化的值（灰度值）量化为 8 bit，则灰度值被分成 0 ~ 255 的 256 个级别，分别对应于各个灰度值的浓淡程度，叫作灰度等级或灰度标度。在 0 ~ 255 的值对应于白—黑的时候，有以 0 为白、255 为黑的方法，也有以 0 为黑、255 为白的方法，这取决于图像的输入方法以及用什么样的观点对图像进行处理等，这是在编程时应特别注意的问题。但对于只有黑白二值的二值图像的情形，一般设 0 为白，1 为黑。

对连续的灰度值赋予量化级的，即灰度量化的方法有均匀量化（uniform quantization）、线性量化（liner quantization）、对数量化、MAX 量化和锥形量化（tapered quantization）等。一

般采用均匀量化的较多。

### 3. 采样、量化和图像细节的关系

上面的数字化过程, 如果横向采样点和纵向采样点数相同, 设为  $N$  的话, 需要确定数值  $N$  和灰度级的级数  $K$ 。在数字图像处理中, 一般都取成 2 的整数幂, 即

$$N = 2^n \quad (1-2)$$

$$K = 2^m \quad (1-3)$$

一幅数字图像在计算机中所占的二进制存储位数  $b$  为

$$b = \log_2(2^m)^{N \times N} = N \times N \times m \text{ (单位为 bit)} \quad (1-4)$$

例如, 灰度级为 256 级 ( $m = 8$ ) 的 512 像素  $\times$  512 像素的一幅数字图像, 需要大约 210 万个存储位。随着  $N$  和  $m$  的增加, 计算机所需要的存储量也随之迅速增加。

由于数字图像是连续图像的近似, 从图像数字化的过程可以看到。这种近似的程度主要取决于采样样本的大小和数量 ( $N$  值) 以及量化的级数  $K$  (或  $m$  值)。 $N$  和  $K$  的值越大, 图像越清晰。

图 1-4 给出一组空间分辨率变化所产生效果例子, 其中图 1-4a 为一幅 512 像素  $\times$  512 像素, 256 个灰度级的图像, 其余各图依次为保持灰度级不变而将原图空间分辨率在横竖两个方向逐次减半所得到的结果, 即它们的空间分辨率分别为 256 像素  $\times$  256 像素、128 像素  $\times$  128 像素、64 像素  $\times$  64 像素、32 像素  $\times$  32 像素、16 像素  $\times$  16 像素。由这组图像可以看出, 随着空间分辨率的降低, 图像质量越来越粗糙。图 1-4e 的面部细节已模糊不清, 而图 1-4f 几乎看不到任何图像的脸部信息。

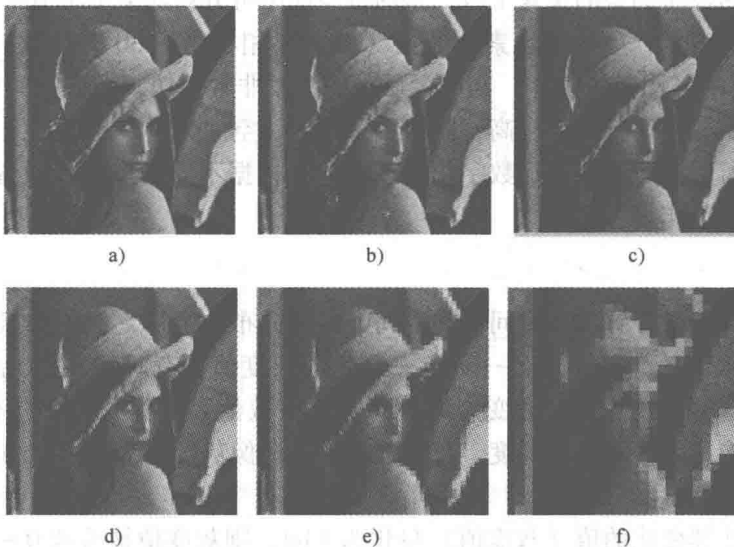


图 1-4 图像空间分辨率逐渐变小所产生的效果

图 1-5 给出一组灰度分辨率变化所产生效果例子, 其中图 1-5a 为一幅 512 像素  $\times$  512 像素, 256 个灰度级的图像, 其余各图依次为保持空间分辨率不变而将原图灰度级逐次减小所得到的结果, 即它们的灰度级分别为 64、16、8、4、2。由这组图像可以看出, 随着灰度的降低, 图像逐渐产生虚假轮廓的现象。

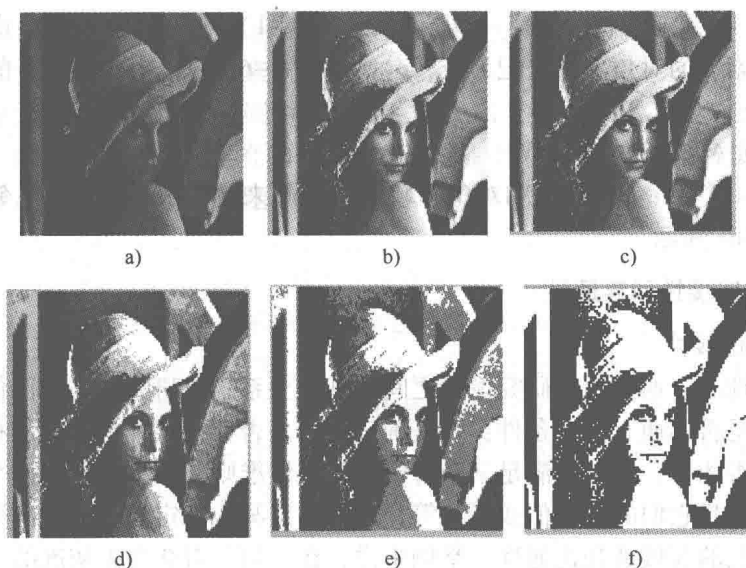


图 1-5 图像灰度分辨率逐渐变小所产生的效果

### 1.1.3 像素间的关系

数字图像是由其基本单元——像素组成的，像素在图像空间是按某种规律排列的，互相之间有一定的联系。为了表述上的方便，本节在讨论图像中像素间的关系时约定，用诸如  $p$ 、 $q$  和  $r$  这样的一类小写字母表示某些特指的像素，用诸如  $S$ 、 $T$  和  $R$  这样的一类大写字母表示像素子集。

#### 1. 像素的邻域

对一个像素来说，与它关系最密切的常是它的邻近像素，它们组成该像素的邻域。图像中常见的像素邻域有如下 3 种：

##### (1) 4-邻域 $N_4(p)$

设图像中的像素  $p$  位于  $(x, y)$  处，则  $p$  在水平方向和垂直方向相邻的像素  $q_i$  最多可有 4 个，其坐标分别为  $(x-1, y)$ 、 $(x, y-1)$ 、 $(x, y+1)$ 、 $(x+1, y)$ 。由这 4 个像素组成的集合称为像素  $p$  的 4 邻域，记为  $N_4(p)$ 。在图 1-6a 中，中心像素  $p$  的 4 个 4 邻域像素是  $q_1$ 、 $q_2$ 、 $q_3$  和  $q_4$ 。

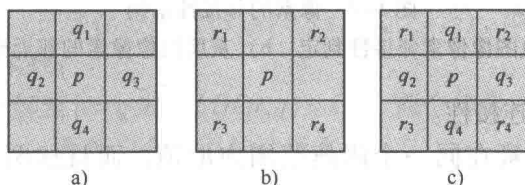


图 1-6 像素的相邻和邻域

a) 4-邻域 b) 对角邻域 c) 8-邻域

##### (2) 对角邻域 $N_D(p)$

它由像素  $p$  的对角（左上、右上、左下和右下）共 4 个近邻像素组成，这些近邻像素

的坐标分别是 $(x+1, y+1)$ 、 $(x+1, y-1)$ 、 $(x-1, y+1)$ 、 $(x-1, y-1)$ 。由这4个像素组成的集合称为像素 $p$ 的对角邻域, 记为 $N_D(p)$ 。在图1-6b中, 中心像素 $p$ 的4个对角像素是 $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_3$ 和 $r_4$ 。

### (3) 8-邻域 $N_8(p)$

把像素 $p$ 的4个4-邻域像素和对角邻域像素合起来就构成了 $p$ 的8-邻域, 用 $N_8(p)$ 来表示, 如图1-6c所示。

## 2. 像素间的连接性和连通性

### (1) 像素的连接性

像素的连接性和连通性用于研究像素之间的基本关系, 是研究和描述图像的基础。确定图像间两个像素是否连通有两个条件: 一是确定它们是否存在某种意义上的相邻; 二是确定它们的灰度值是否相等, 或是否满足某个特定的相似性准则。如果图像间两个像素存在某种意义上的相邻, 而且它们的灰度值或者相等, 或者满足某个特定的相似性准则, 则这两个像素存在某种意义上的邻接性和连通性。举例来说, 在一幅只有0和1灰度的二值图像中, 一个像素和它邻域中的像素只有当它们具有相同的灰度值时才可以说是连通的。

设 $V$ 是一个用于定义像素间连接性的灰度值集合。对于黑白图像来说, 若相邻像素的灰度值等于1, 则说明它们彼此相邻, 也即 $V = \{1\}$ 。比如, 位于 $(x, y)$ 处的像素 $p$ 的灰度值为1,  $N_4(p)$ 中位于 $(x, y-1)$ 和 $(x, y+1)$ 处的像素 $q_1$ 和 $q_2$ 的灰度值分别为0和1, 如图1-7a所示, 那么在灰度值是否同时属于 $V = \{1\}$ 中的元素的准则意义下, 像素 $p$ 与像素 $q_1$ 是不邻接的, 但像素 $p$ 与像素 $q_2$ 是邻接的。对于256灰度级的图像来说, 一般用0~255中的任意一个灰度级子集作为判定是否相邻的准则。比如,  $V = \{20, 21, \dots, 28\}$ , 且位于 $(x, y)$ 处的像素 $p$ 的灰度值为25,  $N_4(p)$ 中位于 $(x-1, y)$ 、 $(x, y-1)$ 和 $(x, y+1)$ 处的像素 $q_1$ 、 $q_2$ 和 $q_3$ 的灰度值分别为220、21和27, 如图1-7b所示, 那么在灰度值是否同时属于 $V = \{20, 21, \dots, 28\}$ 中的元素的准则意义下, 像素 $p$ 与像素 $q_1$ 是不邻接的, 但像素 $p$ 与像素 $q_2$ 和 $q_3$ 都是连接的。

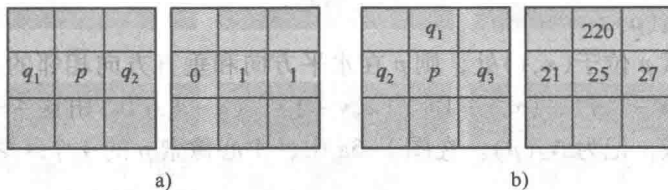


图1-7 像素的邻接性示例

a) 二值图像像素邻接性判定 b) 灰度图像像素的邻近性判定

像素间有3种类型的连接性。

1) 4-连接: 两个像素在同一个阈值范围内取值, 而且这两个像素空间关系为4-连接。

2) 8-连接: 两个像素在同一个阈值范围内取值, 而且这两个像素空间关系为8-连接。

3)  $m$ -连接 (混合连接): 若两个像素 $p$ 和 $r$ 在同一个阈值范围内 $V$ 中取值, 且满足下



列条件之一, 则它们为  $m$ -连接: ①  $r$  在  $N_4(p)$  中; ②  $r$  在  $N_D(p)$  中, 且集合  $N_4(p) \cap N_D(p)$  中没有值为  $V$  中元素的像素, 则像素  $p$  和  $r$  为  $m$  连接。

混合连接在实质上是在像素间同时存在 4-连接和 8-连接时, 优先采用 4-连接, 并屏蔽两个和同一像素间存在 4-连接的像素之间的 8-连接。混合连接可以消除 8-连接可能存在的二义性或者称为是多路问题。下面以图 1-8 为例进行说明。

由图 1-8 可见,  $r$  在  $N_D(p)$  中,  $N_4(p)$  包括标为  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  的 4 个像素,  $N_4(r)$  包括标为  $c$ 、 $d$ 、 $e$ 、 $f$  的 4 个像素,  $N_4(p) \cap N_D(r)$  包括标为  $c$  和  $d$  的两个像素。设  $V = \{1\}$ , 则图 1-8b 和图 1-8c 分别给出满足和不满足条件②的各一个例子。

考虑图 1-9 所示的像素排列, 当  $V = \{1\}$  时, 中心像素与其他 8-邻域中像素间的连接由图 1-9b 中的连线所示, 请注意由于 8-连接所产生的歧义性, 即中心像素和右上角像素间有两条连线, 这时就可以用  $m$ -连接来消除。因为中心像素和右上角像素之间直接的  $m$ -连接不能成立, 所以只剩下一条连线, 如图 1-9c 所示。

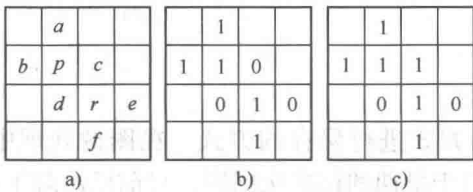


图 1-8 混合连接判断例图

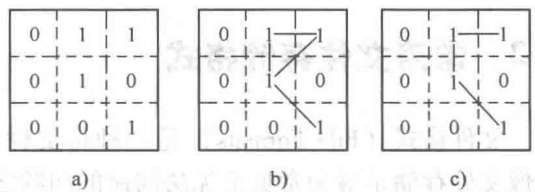


图 1-9 像素间的混合连接

## (2) 像素的连通性

在像素连接的基础上, 可进一步探讨像素的连通性。实际上, 像素的连接可以视为像素连通的一种特殊情况。先来引入一个通路的概念, 从具有坐标  $(x, y)$  的像素  $p$  到具有坐标  $(s, t)$  的像素  $q$  的一条通路由一系列具有坐标  $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$  的独立像素组成。这里  $(x_0, y_0) = (x, y), (x_n, y_n) = (s, t)$ , 且  $(x_i, y_i)$  与  $(x_{i-1}, y_{i-1})$  是相邻的 (4-邻域、8-邻域), 其中  $1 \leq i \leq n$ ,  $n$  为通路长度。如果这条通路上的所有像素的灰度值均满足某个特定的相似准则, 则说像素  $p$  和像素  $q$  是连通的。根据所采用的空间相邻方式不同, 可以得到不同的连通, 如 4-连通、8-连通。当长度  $n=1$  时, 两个连通的像素就是前面定义的连接。

## 3. 像素间的距离

像素之间的接近程度可以用像素之间的距离来测量。为测量距离, 需要定义距离量度函数。给定 3 个像素  $p$ 、 $q$ 、 $r$ , 坐标分别为  $(x, y)$ 、 $(s, t)$ 、 $(u, v)$ , 如果下列条件满足的话, 称函数  $D$  为一个距离量度函数:

- 1)  $D(p, q) \geq 0$  当且仅当  $p=q$  时,  $(D(p, q) = 0)$ , 两个像素之间的距离总是正的。
- 2)  $D(p, q) = D(q, p)$ , 距离与起终点的选择无关。
- 3)  $D(p, r) \leq D(p, q) + D(q, r)$ , 最短距离是沿直线的。

在数字图像中, 距离有不同的量度方法, 本节介绍三种, 分别为欧氏距离 (Euclidean)、城区距离 (city-block) 和棋盘距离 (chessboard)。

欧氏距离定义为

$$D_E(p, q) = [(x-s)^2 + (y-t)^2]^{1/2} \quad (1-5)$$

根据式 (1-5) 的距离量度函数可得, 所有距离像素点  $(x, y)$  的欧氏距离小于或等于  $d$  的像素都包含在以  $(x, y)$  为中心, 以  $d$  为半径的圆内。该方法的特点是: 比较直观, 但运算量大, 要开方。

城区距离定义为

$$D_4(p, q) = |x - s| + |y - t| \quad (1-6)$$

根据式 (1-6) 的距离量度函数可得, 所有距离像素点  $(x, y)$  的城区距离小于或等于  $d$  的像素组成一个中心点在  $(x, y)$  的菱形。  $D_4 = 1$  的像素就是点  $(x, y)$  的 4-邻域像素。

棋盘距离定义为

$$D_8(p, q) = \max(|x - s|, |y - t|) \quad (1-7)$$

根据式 (1-7) 的距离量度函数可得, 所有距离像素点  $(x, y)$  的棋盘距离小于或等于  $d$  的像素组成一个中心点在  $(x, y)$  的正方形。  $D_8 = 1$  的像素就是点  $(x, y)$  的 8-邻域像素。

城区距离与棋盘距离不用计算开方, 计算量小, 但是误差较大。

## 1.2 常用文件存储格式

文件格式 (File Formats) 是一种将文件以不同方式进行保存的方式。在图像处理中, 图像文件存储是最为常见又无法回避的问题之一, 由于早期的标准化问题, 目前已出现了众多的图像存储格式, 对这些图像文件格式的基本了解是必备的知识之一。常用图像文件格式主要包括固有格式 BMP、JPEG、TIFF、GIF、PNG 等, 下面选择一些在图像处理中常用的重要格式进行讲解。

### 1.2.1 BMP 图像文件格式

BMP 是 Windows Bit Map 的缩写, 它是最普遍的点阵图像格式之一, 也是 Windows 及 OS/2 两种操作系统的标准格式。它采用位映射存储格式, 除了图像深度可选以外, 不采用其他任何压缩, 因此, BMP 文件所占用的空间很大。BMP 文件的图像深度可选 1 bit、4 bit、8 bit 及 24 bit。BMP 文件存储数据时, 图像的扫描方式是按从左到右、从下到上的顺序。由于 BMP 文件格式是 Windows 环境中交换与图有关的数据的一种标准, 因此在 Windows 环境中运行的图形图像软件都支持 BMP 图像格式。

典型的 BMP 图像文件由四部分组成:

- (1) 位图头文件数据结构 它包含 BMP 图像文件的类型、显示内容等信息。
- (2) 位图信息数据结构 它包含有 BMP 图像的宽、高、压缩方法, 以及定义颜色等信息。
- (3) 调色板 这个部分是可选的, 有些位图需要调色板, 有些位图, 比如真彩色图 (24 bit 的 BMP) 就不需要调色板。
- (4) 位图数据 这部分的内容根据 BMP 位图使用的位数不同而不同, 在 24 位图中直接使用 RGB, 而其他的小于 24 bit 的使用调色板中颜色索引值。

### 1.2.2 TIFF 图像文件格式

TIFF (Tag Large File Format) 图像文件是由 Aldus 和 Microsoft 公司为桌上出版系统研制



开发的一种较为通用的图像文件格式。TIFF 格式灵活易变，它又定义了四类不同的格式：TIFF-B 适用于二值图像；TIFF-G 适用于黑、白、灰度图像；TIFF-P 适用于带调色板的彩色图像；TIFF-R 适用于 RGB 真彩图像。

TIFF 支持多种编码方法，其中包括 RGB 无压缩、RLE 压缩及 JPEG 压缩等。

TIFF 是现存图像文件格式中最复杂的一种，它具有扩展性、方便性、可改性。TIFF 图像文件由三个数据结构组成，分别为文件头、一个或多个称为 IFD 的包含标记指针的目录以及数据本身。TIFF 图像文件中的第一个数据结构称为图像文件头或 IFH。这个结构是一个 TIFF 文件中唯一的、有固定位置的部分；IFD 图像文件目录是一个字节长度可变的信息块，Tag 标记是 TIFF 文件的核心部分，在图像文件目录中定义了要用的所有图像参数，目录中的每一目录条目就包含图像的一个参数。

### 1.2.3 GIF 图像文件格式

GIF (Graphics Interchange Format) 的原义是“图像互换格式”，是 CompuServe 公司在 1987 年开发的图像文件格式。GIF 文件的数据，是一种基于 LZW 算法的连续色调的无损压缩格式。其压缩率一般在 50% 左右，它不属于任何应用程序。目前几乎所有相关软件都支持它，公共领域有大量的软件在使用 GIF 图像文件。

GIF 图像文件的数据是经过压缩的，而且是采用了可变长度等压缩算法。所以 GIF 的图像深度为 1~8 bit，也即最多支持 256 种色彩的图像。GIF 格式的另一个特点是其在一个 GIF 文件中可以存多幅彩色图像，如果把存于一个文件中的多幅图像数据逐幅读出并显示到屏幕上，就可构成一种最简单的动画。

GIF 解码较快，因为采用隔行存放的 GIF 图像，在边解码边显示的时候可分成 4 遍扫描。第一遍扫描虽然只显示了整个图像的 1/8，第二遍的扫描后也只显示了 1/4，但这已经把整幅图像的概貌显示出来了。在显示 GIF 图像时，隔行存放的图像会给用户感觉到它的显示速度似乎要比其他图像快一些，这是隔行存放的优点。

### 1.2.4 JPEG 图像文件格式

JPEG 是联合图像专家组 (Joint Photographic Experts Group) 的缩写，文件扩展名为“.jpg”或“.jpeg”，是最常用的图像文件格式，由一个软件开发联合会组织制定，是一种有损压缩格式，能够将图像压缩在很小的储存空间，图像中重复或不重要的资料会被丢失，因此容易造成图像数据的损伤。尤其是使用过高的压缩比例，将使最终解压缩后恢复的图像质量明显降低，如果追求高品质图像，则不宜采用过高压缩比例。但是 JPEG 压缩技术十分先进，它用有损压缩方式去除冗余的图像数据，在获得极高的压缩率的同时，能展现十分丰富生动的图像，换句话说，就是可以用最少的磁盘空间得到较好的图像品质。而且 JPEG 是一种很灵活的格式，具有调节图像质量的功能，允许用不同的压缩比例对文件进行压缩，支持多种压缩级别，压缩比率通常在 10:1 到 40:1 之间，压缩比越大，品质就越低；相反地，压缩比越小，品质就越好。比如可以把 1.37 MB 的 BMP 位图文件压缩至 20.3 KB。当然也可以在图像质量和文件尺寸之间找到平衡点。JPEG 格式压缩的主要是高频信息，对色彩的信息保留较好，适合应用于互联网，可减少图像的传输时间，可以支持 24bit 真彩色，也普遍应用于需要连续色调的图像。