

21 世纪高等院校电子信息类教材

数字图像处理学

Visual C++ 实现

郎 锐 编写



北京希望电子出版社
Beijing Hope Electronic Press
www.bhep.com.cn

21 世纪高等院校电子信息类教材

数字图像处理学

Visual C++ 实现

郎 锐 编写



北京希望电子出版社
Beijing Hope Electronic Press
www.bhp.com.cn

内 容 简 介

本书是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果。本书全面系统地讲解了数字图像处理学的基本理论和基本技术,并提供了大量的 VC++ 6.0 程序实例源代码供读者参考,这些代码是作者从事数字图像处理教学科研工作的多年的心得、体会与成果。

全书由 12 章和 1 个附录组成,主要内容包括:数字图像处理导论、光学基础与视觉系统、对设备无关位图的访问、图像的变换、图像的增强、图像复原、图像重建、图像分割、图像纹理分析、图像腐蚀与膨胀、图像编码压缩、图像模式识别、图像处理新技术综述,并附有参考文献。

本书文字简洁,层次清晰,基本理论与程序实例相结合,具有很强的实用性和指导性。本书既适合高等院校相关专业师生教学用书,也可作为数字图像处理、信息和信号处理、通信和电子工程、生物、医学、遥感、物理学等领域工作者的参考书。

读者在使用本书过程中的技术问题,请与 langrui@sina.com 联系。

本版 CD 为本书所有实例的源代码。

盘 书 系 列 名 : 21 世纪高等院校电子信息类教材

盘 书 名 : 数字图像处理学——Visual C++ 实现

总 策 划 : 北京希望电子出版社

文 本 著 作 者 : 郎锐

责 任 编 辑 : 赵汶

C D 制 作 者 : 希望多媒体开发中心

C D 测 试 者 : 希望多媒体测试部

出版、发行者 : 北京希望电子出版社

地 址 : 北京市海淀区知春路甲 63 号卫星大厦三层 100080

网址: www.bhp.com.cn

E-mail: zwb@bhp.com.cn

电 话 : 010-62520290, 62521724, 62528991, 62630301, 62524940, 62521921, 82610344

(发行) 010-82675588-202 (门市), 010-82675588-501, 82675588-201 (编辑部)

经 销 : 各地新华书店、软件连锁店

排 版 : 希望图书输出中心 马伟科

CD 生 产 者 : 北京中新联光盘有限责任公司

文 本 印 刷 者 : 北京媛明印刷厂

开 本 / 规 格 : 787 毫米×1092 毫米 1/16 33 印张 769 千字

版 次 / 印 次 : 2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月第 1 次印刷

印 数 : 1~3000 册

本 版 号 : ISBN 7-89498-026-9

定 价 : 43.00 元 (本版 CD)

说明: 凡我社产品如有残缺, 可执相关凭证与本社调换。

出版说明

目前,高校正处于教改时期,新的专业目录已出台,从1999年秋季开始,各院校开始按新的专业设置进行招生。这样,原来的教材体系结构就很难适应当前调整后的专业需要,因而需要对教材进行相应的改革。为了适应当前教材改革与教材建设的需要,1996年教育部正式启动了“面向21世纪高等工程教育教学内容和课程体系改革计划”,许多高等院校经数年的研究与实践,取得了许多重要的成果。

为了配合全国各类高校电子信息类专业的教学改革与课程建设,推进高校电子信息类专业新教材的出版工作,在有关专家的倡议和有关部门的大力支持下,组织成立了全国高等学校电子信息类教材编委会;组织参加教育部组织的“电气信息类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究和实践”和“电工电子系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”两项课题的若干著名大学和其他高校的有关教师,讨论怎样尽快落实和实施面向21世纪的新教材的编写与出版工作,制定了新的教材出版规划。参加教材编写和编审的学校有:清华大学、北方交通大学、北京科技大学、北京理工大学、北京师范大学、北京航空航天大学、天津大学、太原理工大学、大连理工大学、同济大学、上海交通大学、中国科技大学、东南大学、南京大学、浙江大学、华中科技大学等。

编委会一致认为,组织编写教材应该能够反映当前教学改革的需要,要有特色和一定的前瞻性。组织编写的教材由个人申报或各校推荐,经编委会认真评审,最后由出版社审定出版。这批组织编写的教材都是教学改革力度大、有创新精神、有特色风格的教材和质量高、可读性好、可教性好的优秀教材,为满足各类高等学校21世纪初电子信息类专业及相关专业的教学需要。

限于我们的水平和经验,这批教材在编审、出版工作中还可能存在不少缺点和不足,希望使用本教材的教师、同学和其他广大读者提出批评和建议,以使教材质量不断提高,共同为建设电子信息类专业面向21世纪的新教材而努力。

全国高等学校电子信息类教材编委会
北京希望电子出版社

21 世纪高等院校电子信息类教材编写和编审的院校

- 清华大学
- 北方交通大学
- 北京科技大学
- 北京理工大学
- 北京师范大学
- 北京航空航天大学
- 天津大学
- 太原理工大学
- 大连理工大学
- 同济大学
- 上海交通大学
- 中国科技大学
- 东南大学
- 南京大学
- 浙江大学
- 华中科技大学

前 言

本书所要讨论的内容均属图像工程的范畴。这门学科总地来说是一门偏重于应用的工程学科，但同时也需要有一定的理论基础作支持。有关图像工程的相关书籍可以归为两大类：一类是纯学术性的，十分侧重于理论推导和分析，这样可以对图像处理的算法研究有一定的帮助；另一类书籍则多为某种图像开发包的用户手册之类的资料，这一类资料做到了与具体处理的紧密结合，但有时缺乏必要的理论支持。本书则是将必要的理论基础和具体的程序实现模块融为一体的图像处理专著，比较适合作为高等院校相关专业的师生的教材，各学校可根据自己的课程安排而适时选用。

在成书之际，作者特借此机会向所有在写作过程中曾给予我支持和帮助的家人、老师、朋友和同事表示感谢。首先要特别感谢我的父母在我写作全过程所给予的全力支持与鼓励。在此还要特别感谢山东大学的云昌钦先生，云教授在科研和教学过程中近乎苛刻的严谨、勤奋的治学态度，使作者在求学时得以打下扎实的专业基础，故今日方有能力完成此书，写作过程中作者也始终以云教授的严谨态度来鞭策自己。云教授和王浩副教授还为作者提供了在济南积成电子系统实验所（IESLab）工作、学习的机会，IESLab 异常浓厚的学术氛围和同周围众多才华横溢的科研人员的接触使作者受益匪浅。尤为幸运的是，在 IESLab 工作期间能够师从梁成辉硕士，作者现在能顺利地用规范化的语言编写完书中所有的程序代码，在很大程度上要归功于梁先生当年对作者的精心点拨。

另外，还要感谢中国电波传播研究所（CRIRP）为作者提供了良好的工作环境，以及罗发根高工为作者所提供的一系列便利条件。除此之外，西安电子科技大学金燕波硕士、青岛海洋大学王秀环硕士、中国人民解放军总装备部工程兵科研一所高攀工程师等为作者提供了大量必要的参考资料，同济大学姜龙、山东大学任莘、同事郝国欣等替作者翻译了部分资料，Thomas G.Lane、Chris Losinger 还为作者提供了图像编码部分的相关代码，正是在他们的共同帮助下本书才得以顺利完成。

除了前面提到的为本书完成作出了重要贡献的各位人士外，还要对以下诸位表示感谢：曾庆元博士（加拿大）、蒋保臣博士、易振慧硕士、刘殿秀副教授、王晶洁硕士以及哈尔滨工业大学的王玉伦教授等。最后，本书作者对书中所引论文和参考书籍的作者深表感谢。由于作者水平有限，书中难免会有缺陷和不足之处，敬请广大读者批评和指正！

作者 郎锐
2002 年 8 月于青岛

目 录

第 1 章 数字图像处理导论	1
1.1 图像处理概述	1
1.2 数字图像处理基本概念	1
1.2.1 色度学的相关知识	1
1.2.2 像素间的相互关系	2
1.3 数字图像处理特点	4
1.4 研究范畴与处理方法	5
1.4.1 数字图像处理的研究范畴	5
1.4.2 数字图像的处理方法	6
1.5 练习题	7
第 2 章 光学基础与视觉系统	8
2.1 光学基础	8
2.1.1 基本术语	8
2.1.2 光学基本理论	8
2.2 视觉系统与视觉过程	11
2.2.1 视觉系统	11
2.2.2 视觉过程	13
2.3 视觉时空特性分析	13
2.3.1 视觉时间特性分析	13
2.3.2 视觉空间特性分析	14
2.4 形状知觉与视错觉	15
2.4.1 目标与背景	15
2.4.2 主观轮廓	17
2.4.3 视错觉	19
2.5 空间知觉	22
2.5.1 视觉空间知觉的形成	22
2.5.2 形状知觉	23
2.5.3 大小知觉	23
2.5.4 单眼距离知觉	23
2.5.5 非视觉性距离知觉	24
2.5.6 双眼距离知觉	25
2.6 练习题	26
第 3 章 对设备无关位图的访问	27

3.1 设备无关位图	27
3.1.1 GDI 位图与 DIB	27
3.1.2 BMP 文件格式分析	27
3.2 访问 DIB 的 API 函数	29
3.2.1 显示、打印函数	29
3.2.2 拉伸显示函数	30
3.2.3 构造 DIB 函数	30
3.2.4 输出 GDI 位图函数	31
3.2.5 创建 DIB 项函数	31
3.3 CDIB 类库的建立	32
3.3.1 类库的声明及预定义	32
3.3.2 类库的实现	33
3.4 CDIB 类库应用示例	41
3.5 练习题	45
第 4 章 图像的变换	46
4.1 图像的灰度变换	46
4.1.1 灰度变换概述	46
4.1.2 灰度直方图统计	47
4.1.3 灰度线性变换	51
4.1.4 灰度窗口变换	57
4.1.5 灰度非线性变换	61
4.1.6 灰度均衡变换	64
4.1.7 灰度匹配变换	72
4.2 图像的正交变换	81
4.2.1 概述和分类	81
4.2.2 傅立叶变换	81
4.2.3 离散余弦变换	104
4.2.4 沃尔什变换	114
4.3 练习题	126
第 5 章 图像的增强	128
5.1 图像的空域滤波	128
5.1.1 基本原理与方法	128
5.1.2 线性平滑滤波器	129
5.1.3 线性锐化滤波器	133
5.1.4 中值滤波	134
5.1.5 非线性锐化滤波器	140
5.1.6 浮雕化特效滤波器	141

5.2	图像的频域滤波	150
5.2.1	基本原理	150
5.2.2	布特沃斯低通滤波器	150
5.2.3	布特沃斯高通滤波器	156
5.2.4	交互式带阻滤波	161
5.3	练习题	168
第 6 章	图像复原	169
6.1	基本方法与模型	169
6.2	无约束逆滤波	172
6.3	有约束维纳滤波	179
6.4	有约束最小平方滤波	190
6.5	常见的图像退化模型	196
6.5.1	卷积模糊	196
6.5.2	图像噪声	197
6.6	其他几种图像复原方法	200
6.6.1	空间失真复原方法	200
6.6.2	最大熵复原方法	210
6.6.3	盲目图像复原方法	211
6.7	练习题	212
第 7 章	图像重建	214
7.1	重建概述	214
7.1.1	图像重建分类	214
7.1.2	图像重建在工程中的应用	215
7.2	傅立叶反投影重建	217
7.2.1	基本思路	217
7.2.2	重建公式的推导	217
7.2.3	重建公式的实用化	220
7.3	卷积反投影重建	221
7.4	代数重建	223
7.5	其他的重建方法	224
7.5.1	基于锥形束的三维直接重建	224
7.5.2	断层间表面重建	225
7.5.3	Marching Cubes 重建	226
7.6	重建数据的显示	228
7.6.1	重建数据的可视化	228
7.6.2	表面显示	228
7.6.3	体积显示	229

7.7 练习题	231
第8章 图像分割	232
8.1 图像分割概述	232
8.2 并行边界分割算法	233
8.2.1 图像的边缘检测	233
8.2.2 梯度算子	234
8.2.3 拉普拉斯算子	247
8.2.4 高斯-拉普拉斯算子	251
8.2.5 Kirsch 方向算子	256
8.2.6 哈夫变换	257
8.2.7 轮廓提取	263
8.3 串行边界分割算法	267
8.3.1 串行边界技术概述	267
8.3.2 启发式搜索算法的边缘连接	268
8.3.3 曲线拟合算法的边缘连接	268
8.3.4 边界跟踪	270
8.4 并行区域分割算法	276
8.4.1 阈值化分割算法	276
8.4.2 极小值点阈值选取方法	277
8.4.3 最优阈值搜寻方法	277
8.4.4 迭代阈值选取方法	279
8.4.5 直方图凹性分析方法	285
8.5 串行区域分割算法	286
8.5.1 区域生长	286
8.5.2 概率松弛迭代	291
8.6 练习题	292
第9章 图像纹理分析	293
9.1 纹理的定义	293
9.2 纹理特征	294
9.3 纹理的分析方法	296
9.3.1 纹理测度	296
9.3.2 联合概率矩阵计算	297
9.3.3 灰度差分统计	298
9.3.4 灰度行程统计	299
9.3.5 结构分析	300
9.4 纹理分割	301
9.5 练习题	305

第 10 章 图像腐蚀与膨胀	306
10.1 数学形态学概述	306
10.1.1 数学形态学特征	306
10.1.2 集合论预备知识	306
10.2 图像腐蚀	307
10.2.1 腐蚀定义	307
10.2.2 腐蚀算法的实现	310
10.3 图像膨胀	323
10.3.1 膨胀定义	323
10.3.2 膨胀算法的实现	325
10.4 图像开启与闭合	337
10.4.1 开启与闭合定义	337
10.4.2 开启、闭合与集合的关系	340
10.4.3 算法的实现	344
10.5 数学形态学基本运算符性质总结	347
10.6 腐蚀、膨胀的几种重要变体	349
10.6.1 细化	349
10.6.2 粗化	358
10.6.3 中轴变换	361
10.6.4 剪枝	369
10.7 练习题	370
第 11 章 图像编码压缩	372
11.1 图像编码技术简介	372
11.1.1 概述及分类	372
11.1.2 理论基础	373
11.2 基于统计的编码方法	378
11.2.1 霍夫曼编码	378
11.2.2 仙农-费诺编码	387
11.3 基于字典技术的编码方法	396
11.3.1 游程编码	396
11.3.2 PCX 文件的访问	396
11.3.3 LZW 编码	409
11.3.4 GIF 文件的访问	414
11.4 JPEG 编码	448
11.4.1 JPEG 标准简介	448
11.4.2 JPEG 编码理论	449
11.4.3 JPEG 文件组织结构	454
11.4.4 对 JPEG 文件的访问	458

11.5 练习题	471
第 12 章 图像模式识别	472
12.1 内容概述	472
12.2 统计模式识别	473
12.2.1 统计决策理论	473
12.2.2 贝叶斯决策分析	476
12.2.3 特征选择	478
12.3 结构模式识别	478
12.3.1 结构模式识别概述	478
12.3.2 字符串结构识别	479
12.3.3 树结构识别	480
12.3.4 语法推理	481
12.4 模糊集模式识别	482
12.4.1 模糊集理论概述	482
12.4.2 模糊聚类	483
12.4.3 在模式识别中的应用	485
12.5 图像模式识别应用	485
12.5.1 在生物测定学中的应用	485
12.5.2 在生物信息学中的应用	490
12.5.3 在文字识别中的应用	491
12.6 练习题	493
附录 A 图像处理新技术综述	494
A.1 人工神经网络	494
A.1.1 概述	494
A.1.2 处理单元	494
A.1.3 反向传播网络	495
A.1.4 交互传播网络	498
A.2 遗传算法	499
A.2.1 发展与简介	499
A.2.2 遗传算法一般流程	499
A.2.3 遗传算法的特点	502
A.3 小波变换	502
A.3.1 小波变换概述	502
A.3.2 连续小波变换	503
A.3.3 离散小波变换	504
A.3.4 二维小波变换	505
A.3.5 二维小波对图像的分解与重构	506

A.4 图像水印	510
A.4.1 图像水印发展概况	510
A.4.2 基本原理	511
A.4.3 图像水印的特点	512
A.4.4 图像水印处理算法	512
A.4.5 图像水印的简单示例	514
A.5 练习题	516
参考文献	517

第 1 章 数字图像处理导论

1.1 图像处理概述

数字图像处理 (digital image processing) 技术起源于 20 世纪 20 年代, 当时受条件的限制一直没有取得较大进展, 直到 20 世纪 60 年代后电子技术、计算机技术有了相当的发展, 数字图像处理技术才开始进入了高速发展时期。经过几十年的发展, 数字图像处理技术目前已经广泛应用于工业、微生物领域、医学、航空航天以及国防等许多重要领域, 而且多年来一直得到世界各科技强国的广泛关注, 即使在某些国家大幅裁减军费的同时, 仍在不断加大图像处理在 SAR (Synthetic Aperture Radar, 合成孔径雷达) 成像、遥感遥测等方面的研究力度。

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能满足某些应用的特定需求。在处理上主要包括图像的采集、编码、存储和传输, 图像的合成, 图像的增强、变换与复原, 模式识别, 图像分割, 目标的检测, 以及数学形态学等诸多内容。图像处理着重强调图像之间进行的各类变换, 以及对图像中感兴趣的目标进行的特征提取与目标的分割。前述过程一般可用算法的形式加以表述, 对于某些对处理速度有特殊要求的场合, 还可以通过 DSP 芯片等以硬件的形式来实现。

图像处理技术近几年发展非常迅猛, 每年均有数以百计的新算法诞生, 其中包括小波变换等多种有相当影响的算法, 这些算法在设计时大量运用了数学、数字信号处理、信息论以及色度学的有关知识, 而且不少新算法还充分吸取了神经网络、遗传算法、人工智能以及模糊逻辑等相关理论的一些思想, 开阔了进行图像处理的设计思路。然而, 在现有的为数众多的图像处理算法中, 至今仍没有一种通用的处理算法, 大多都是针对某一种或某一类图像而提出来的, 在处理时对被处理的图像有相当的依赖性。

1.2 数字图像处理基本概念

1.2.1 色度学的相关知识

色度 (chrominance) 是色调和饱和度的统称。色调关联于混合光谱中的主要光波长, 而饱和度则与色调的纯度有关。亮度、色调和饱和度的共同作用构成了色彩的不同视觉效果, 并为人眼感知成不同的颜色。对于某颜色值 C , 可用色系数 x, y, z 和三个基本量 X, Y, Z 表示如下:

$$C = xX + yY + zZ \quad (1-1)$$

其中, 色系数 x, y, z 分别为比例系数:

$$\begin{cases} x = \frac{X}{X+Y+Z} \\ y = \frac{Y}{X+Y+Z} \\ z = \frac{Z}{X+Y+Z} \end{cases} \quad (1-2)$$

由于上式通过 3 个基本量对颜色进行表述, 因此在建立颜色模型时多选用三维坐标系统。RGB 模型是其中最常用的一种, 计算机屏幕的显示便采用该模型, 该模型的三个基本色, 也即三维坐标系中的三个坐标轴分别对应的 R、G、B 三原色, 通过加色合成法 (additive color synthesis) 合成出其他颜色。在处理多光谱的卫星遥感图像时常选用此模型。另一种常见的 YUV 颜色模型主要应用在 PAL 制式的电视系统中, Y 为颜色的明视度, U 和 V 分量则为颜色的色调, 该颜色模型与 RGB 模型的相互转换可通过下面的矩阵运算来完成:

$$\begin{pmatrix} Y \\ U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.148 & -0.289 & 0.437 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (1-3)$$

另外还有一种非常适合于人眼对彩色图像感知的 HSI 模型, 该模型有两个特点: (1) I 分量对图像的彩色信息独立; (2) H、S 分量与人眼对事物颜色的感知方式有密切的联系。至于其与 RGB 模型之间的相互转换, 可参照 Smith A R 提出的公式来进行:

$$\begin{cases} I = \frac{R+G+B}{3} \\ S = 1 - \frac{3[\min(R,G,B)]}{R+G+B} \\ H = \arccos\left(\frac{(R-G)+(R-B)}{2[(R-G)^2+(R-B)(G-B)]^{1/2}}\right) \end{cases} \quad (1-4)$$

在此给出了 YUV 模型和 HIS 模型与 RGB 模型的转换公式, 不只是因为计算机屏幕的显示模式是采用的 RGB 模型, 更主要的原因是在进行图像处理时, 不论是从算法设计上还是在具体的处理实现上, 为了方便, 多是被处理对象先转化为 BMP 格式, 然后再做进一步的处理; 而 BMP 格式图像不论是 8 位、16 位还是 24 位的位深度, 均采用的是 RGB 模型。

1.2.2 像素间的相互关系

图像在进行处理时, 只有一些比较简单的处理算法是针对单一像素进行的, 所能实现的功能也因此受到限制。不少算法, 尤其图像分割类和数学形态学等方面的图像处理算法多是同时或依次对邻近的几个像素或区域进行分析处理。这就牵扯到一些表征图像像素间相互关系的概念, 如“邻域”和“连通性”等在数字图像处理技术中是非常基本和重要的。

1. 邻域

本书所涉及的图像均是指二维图像，这些图像不论是以位图的形式保存在磁盘上，还是已经显示在屏幕上，其所蕴含的图像信息都是通过像素点阵来表达的。这些像素点阵组成了一个矩形阵列。在这个像素点阵中，每个像素点（位于图像边缘的点除外）周围存在8个像素。这8个像素根据其所处位置的不同可分为4-邻域像素、对角近邻像素以及8-邻域像素。在图1-1中，中心黑色方格代表当前的中心像素 (x, y) ，(a)图4个浅灰色方格构成了像素 (x, y) 的4-邻域，其各自坐标为 $(x, y-1)$ 、 $(x-1, y)$ 、 $(x+1, y)$ 和 $(x, y+1)$ ；图(b)中的4个深灰色区域为中心像素的4对角近邻像素，坐标分别为 $(x-1, y-1)$ 、 $(x+1, y-1)$ 、 $(x-1, y+1)$ 、 $(x+1, y+1)$ ；4-近邻像素和4对角近邻像素共同构成了中心像素的8-近邻像素（如图1-1(c)所示）。

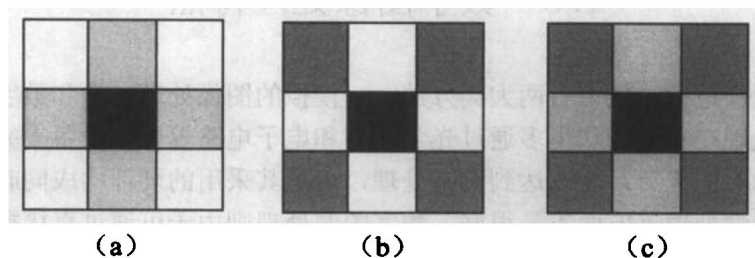


图 1-1 像素的邻域

2. 连通性

图像的连通性在图像分割和目标识别等处理过程对边界的建立、区域的选定时，是一个很重要的基本概念。要确定某两像素间是否存在连通性关系，首先要确定其是否接触，严格来讲还要看是否具备相同的灰度值。具体讲，连通性又分4-连接、8-连接以及m-连接等多种情况。当一个像素位于另一像素的4-邻域中，并且其灰度取值符合特定的相似准则时，就认为这两个像素存在4-连接；类似地，如果一个像素位于另一像素的8-邻域中，灰度取值也符合特定的相似准则，那么这两个像素就存在8-连接；m-连接又称混合连接。一般来说，凡是满足下列两个条件之一的即可称之为m-连接：条件一，如果一个像素在另一像素的4-邻域中，且灰度取值满足特定的相似准则；条件二，一像素是另一像素的4对角近邻像素，且这两个像素的4-邻域不存在交集，而且仍需满足灰度取值在相似准则约定范围内。从上述定义可以看出，4-连接是8-连接的一个子集，而m-连接则可看作是8-连接的一种变体。

进而可以引入通路的概念。如果一系列的像素点相互连接，那么就组成了一条通路，并可根据这些像素点的连接性，将通路进一步划分为4-通路、8-通路和m-通路。如果图像中的两像素点之间存在一条通路，则该两像素点相互连通，实际图像中与一个像素点相连通的像素点往往不止一个，这些像素点构成了图像中的一个连通组元。

3. 像素间的距离

图像中像素的间距有多种度量标准和方法，在数字图像处理中常用的有三种：采用模1运算的城区（city-block）距离、采用模2计算方式的欧氏（Euclidean）距离以及采用模 ∞ 运算的棋盘（chessboard）距离。这些距离算法在用差分进行微分近似时常被用到。具体

地讲,对于像素点 $P(x_1, y_1)$ 和 $Q(x_2, y_2)$, 其城区距离 $D_4(P, Q)$ 、欧氏距离 $D_E(P, Q)$ 和棋盘距离 $D_8(P, Q)$ 可分别用下面的解析表达式来加以描述:

$$D_4(P, Q) = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2| \quad (1-5)$$

$$D_E(P, Q) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (1-6)$$

$$D_8(P, Q) = \max(|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|) \quad (1-7)$$

以上三种像素距离的度量方法在运算复杂程度、几何原理以及结果精度上均有所不同,在对其进行应用时,应充分考虑实际处理过程是把重点放在准确度上还是放在运算量上,以及其他的一些因素,并选择适当的度量方法进行计算。

1.3 数字图像处理特点

通常,对图像进行的处理有两大类方法——模拟的图像处理方法和数字的图像处理方法。模拟图像处理在实现方法上多通过光学设备和电子电路等硬件设备来完成,因此在处理速度上拥有绝对的优势,可以达到实时处理,但是其采用的硬件构成同时也决定了模拟图像处理在灵活性处理等方面不是很好。数字图像处理则由于可通过直接摄取或模数转换等手段获取到数字图像,而可被计算机或其他一些 DSP 芯片进行处理。对于数字图像处理的特点,可以归纳如下:

(1) 处理算法灵活多样。由于计算机以及 DSP 等特制硬件的介入,使得对数字图像的处理可由计算机软件进行控制,从而能够很灵活地对数字图像进行一些复杂的非线性处理、变换域处理等,这些模拟图像处理方法是所无法实现或很难实现的处理操作。

(2) 处理数据量大。计算机处理的数字图像可以看作是由有限个像素组成的图像矩阵,矩阵中的每一个像素由固定的比特位进行表示。不难想见,当数字图像尺寸较大、位深度较深时,图像尺寸必将非常巨大,在存储、传输和使用时将会出现一些不便,尤其是在处理速度上影响较为严重。

(3) 算法涉及多种相关学科。数字图像作为一种二维数字信号,许多应用于数字信号处理的成熟算法(如二维离散傅立叶变换等)仍可以应用于数字图像处理中。除了数字信号处理的有关知识外,数字图像处理的算法的设计实现还大量借鉴融合了高等数学、数值分析、通讯、信息论乃至视觉系统等多学科的有关知识和相关理论。近些年,数字图像处理技术还结合一些新兴技术(如人工神经网络、小波变换和遗传算法等)研究出众多有特色的图像处理算法,因此在某种程度上,数字图像处理技术也可以看作一门涉及多学科的综合学科,它的发展与应用和生物医学、遥感、通讯以及工业自动化等相关领域的研究发展也是密不可分的。

(4) 数字图像处理算法的图像相关性。数字图像处理还有一个非常大的特点:处理算法与数字图像的自身特性存在相当大的关联性,即某种算法只对某类或某几类图像有很好的处理效果,但在处理其他类型的数字图像时将很难取得同样好的效果,甚至还会在某种程度上降低图像的处理效果。

(5) 对处理结果评价的主观性。对于数字图像处理结果的评价,缺乏一种统一的衡量