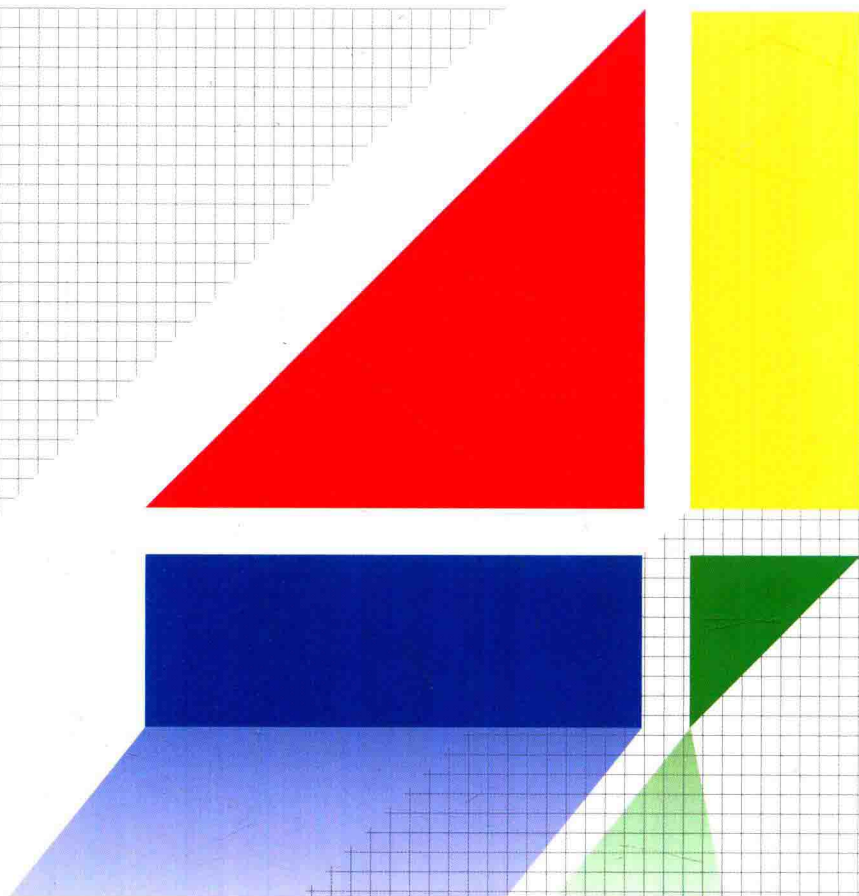


数字图像处理

Visual Studio C++ 技术实现

杨淑莹 张 桦 陈胜勇 / 著



科学出版社

数字图像处理

Visual Studio C++ 技术实现

杨淑莹 张 桦 陈胜勇 / 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书介绍各种数字图像处理的算法分析及编程技术实现。全书共分为13章,包括位图基础、图像显示、图像几何变换、图像灰度变换、图像平滑处理、图像边缘锐化处理、图像分割及测量、图像形态学处理、图像变换域处理、图像合成、24位彩色图像处理、图像小波变换处理以及图像压缩编码。

本书可作为高等院校计算机工程、信息工程、生物医学工程、智能机器人、工业自动化、模式识别及相关学科的教学用书,也可作为数字图像处理相关专业工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理: Visual Studio C++技术实现/杨淑莹, 张桦, 陈胜勇著. —北京: 科学出版社, 2017

ISBN 978-7-03-054032-4

I. ①数… II. ①杨… ②张… ③陈… III. ①图像处理 ②C 语言—程序设计 IV. ①TN911.73②TP312.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 180966 号

责任编辑: 马琦杰 刘 刚 / 责任校对: 陶丽荣

责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 木 杉

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>

北京艺堂印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2017 年 8 月第一次印刷 印张: 24 1/2

字数: 378 000

定价: 64.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈艺堂〉)

销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62151821

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

人类传递信息的主要媒介是语音和图像。在人类接受的信息中，视觉信息占 75%，俗话说“百闻不如一见”“一目了然”，都反映出图像信息的重要性。数字图像处理(Digital Image Processing)是利用计算机技术对图像信息进行加工的过程。近几十年，随着数字图像处理技术飞速的发展，数字图像处理的应用领域越来越广泛，并取得了重大的成就，属于这些领域的有交通、航空、生物医学、工业检测、机器人视觉、公安司法、军事制导、文化艺术等，使数字图像处理成为一门引人注目、前景远大的新型学科。

本书内容涵盖了目前图像处理技术重要的理论和方法，包括位图基础、图像显示、图像几何变换、图像灰度变换、图像平滑处理、图像锐化处理及边缘检测、图像分割、图像形态学处理、图像变换域处理、图像合成、24 位彩色图像处理、图像压缩和小波变换等技术。通过算法分析和编程实践相结合的方式，系统地介绍数字图像处理技术。书中有理论的讲解和推理，有将理论转化为编程的实现步骤，有计算机能够运行的源代码，有效果分析与展示。使读者可以从理论和实用的编程技巧两方面掌握本书的内容。

本书特点如下：

(1) 选用新技术。除了介绍一些重要的经典内容外，还介绍一些发展中的新技术和新理论，比如图像形态学处理、小波变换、图像压缩等技术。

(2) 理论与应用紧密结合。针对每一种图像处理技术，分为理论基础、实现步骤、编程代码和效果展示四部分介绍，使理论和实践相结合，避免了空洞的理论说教。先介绍图像处理技术的基本理论；在此基础上，介绍理论的实现步骤，了解算法的设计思路；进一步介绍核心代码，为综合性软件开发打下基础；最后，通过效果图展示出理论的应用情况，增强对理论的理解。

(3) 实用性强。书中以实践为导向，以实用为目标，精选在实际应用中基于 Visual Studio C++开发工具实现数字图像处理常用的典型算法。读者对实例程序稍加改进，就可以应用到不同的场合，做到理论与应用紧密结合，达到学以致用目的。

本书可作为高等院校计算机工程、信息工程、生物医学工程、智能机器人、工业自动化等学科研究生、本科生的教材或教学参考书，亦可供有关工程技术人员参考。

本书由天津师范大学王志军教授主审，为作者提供了许多宝贵的建议和必要的参考资料，参加本书编写的还有：朱晨岗、姜娇娇、郭俊、宋士豹、韩峰、马占杰、邓飞、梁昭、王伦、陶卓青、邓和平、杨倩、蔡梦轩等，他们在作者指导下的研究工作中付出了辛勤的劳动，取得了有益的研究成果，正是在他们的努力下本书得以顺利完成，作者表示衷心的感谢。由于作者业务水平和实践经验有限，书中缺点与错误在所难免，欢迎读者予以指正！

作者将不辜负广大读者的期望，努力工作，不断充实新的内容。为方便广大读者，提供了技术支持电子邮箱：ysying1262@126.com。读者可通过该邮箱及时与作者取得联系，获得技术支持。

作者 谨识

2017 年 2 月

目 录

第 1 章 位图基础	1
1.1 数字图像的基本概念	1
1.2 数字图像处理技术简介	4
1.3 数字图像处理的应用	8
1.4 图像的存储格式	9
1.5 BMP 文件存储格式	12
小结	16
习题	16
第 2 章 图像显示	18
2.1 图像处理编程基础	18
2.2 图像的显示	25
2.3 图像的特效显示	30
小结	41
习题	41
第 3 章 图像几何变换	42
3.1 概述	42
3.2 图像平移	48
3.3 图像镜像	50
3.4 图像缩放	53
3.5 图像转置	58
3.6 图像旋转	60
小结	64
习题	65
第 4 章 图像灰度变换	66
4.1 概述	66
4.2 二值化和阈值处理	71
4.3 灰度线性与分段线性变换	76
4.4 灰度非线性变换	82
4.5 直方图	88
小结	98
习题	99
第 5 章 图像平滑处理	100
5.1 概述	100
5.2 噪声消除法	103
5.3 邻域平均法	107

5.4	中值滤波	118
5.5	产生噪声	126
	小结	128
	习题	129
第6章	图像边缘锐化处理	130
6.1	概述	130
6.2	微分运算	136
6.3	梯度锐化	142
6.4	边缘检测	148
	小结	165
	习题	165
第7章	图像分割及测量	166
7.1	概述	166
7.2	图像阈值分割	167
7.3	目标物体的轮廓提取	174
7.4	图像的测量	183
7.5	投影量的计算	196
7.6	纹理分析	198
	小结	206
	习题	206
第8章	图像形态学处理	207
8.1	概述	207
8.2	图像腐蚀	208
8.3	图像膨胀	216
8.4	图像开启与闭合	223
8.5	图像细化	226
8.6	图像粗化	231
8.7	中轴变换	232
	小结	238
	习题	238
第9章	图像变换域处理及应用	240
9.1	概述	240
9.2	图像的正交变换	244
9.3	频率域低通滤波	267
9.4	频率域高通滤波	277
	小结	280
	习题	281
第10章	图像合成	282
10.1	概述	282
10.2	图像加运算	283

10.3	图像减运算	285
10.4	图像逻辑运算	287
小结		296
习题		297
第 11 章	24 位彩色图像处理	298
11.1	概述	298
11.2	图像的颜色处理	305
11.3	彩色图像的特效处理	313
11.4	彩色图像的平滑处理	319
11.5	彩色图像的锐化处理	324
小结		336
习题		336
第 12 章	图像小波变换处理	337
12.1	概述	337
12.2	连续小波变换	342
12.3	离散小波变换	342
12.4	小波变换编程实现	344
12.5	基于小波变换的图像滤波处理	351
小结		354
习题		354
第 13 章	图像压缩编码	355
13.1	概述	355
13.2	变换编码	360
13.3	JPEG 压缩编码	366
小结		376
习题		376
参考文献		377



1.1 数字图像的基本概念

1.1.1 图像

人类约有 75% 的信息是通过视觉获取的，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影像，视网膜的感光细胞接受光的能量并形成视觉图案，将影像传入大脑皮层视觉功能代表区，经过大脑皮层分析综合，将倒置的影像纠正为正立影像，产生正确视觉。数字图像处理是用计算机处理视觉信息的技术，对图像信息进行加工处理和分析，以满足人的视觉心理需求和实际应用的要求。

计算机屏幕上显示出来的画面通常有两种描述方法：一种为图形，另一种为图像。图形、图像在存储结构和表示方法上有着根本的区别。图形是矢量结构的画面存储形式，是由指令集合组成的描述，这些指令描述构成一幅图的所有直线、圆、圆弧、矩形、曲线等的位置、维数和大小、形状、颜色，显示时需要相应的软件读取这些命令，并将其转变为屏幕上所显示的形状和颜色，图形记录的主要内容是坐标值或坐标值序列，对一般画面内容的颜色或亮度隐含且统一地描述，以矢量结构显式地表现画面内容的坐标值。图像是以栅格结构存储画面内容，如图 1-1 所示，栅格结构将一幅图划分为均匀分布的栅格，每个栅格称为像素，显式地记录每一像素的光度值（亮度或彩色），所有像素位置按规则方式

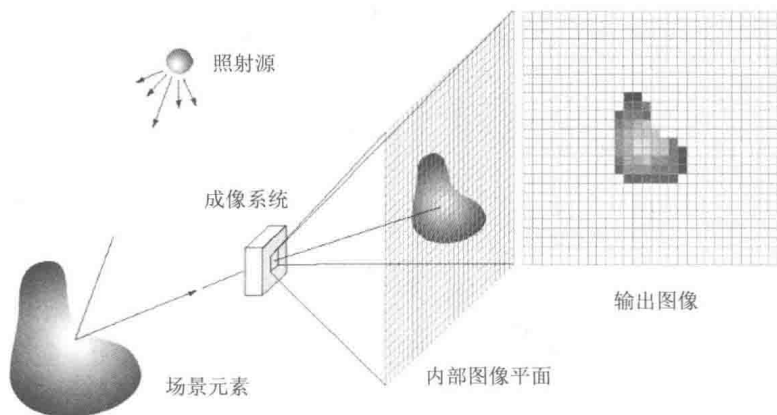


图 1-1 图像存储画面方式

排列，像素位置的坐标值却是有规则地隐含。图像由数字阵列信息组成，用以描述图像中各像素点的强度与颜色，因此图像适合于表现含有大量细节（如明暗变化、场景复杂和多种颜色等）的画面，并可直接、快速地在屏幕上显示出来。图像占用存储空间较大，一般需要进行数据压缩。

1.1.2 图像的颜色

色度学理论认为，任何颜色都可由红（Red）、绿（Green）、蓝（Blue）三种基本颜色按照不同的比例混合得到。红、绿、蓝被称为三原色，简称 RGB 三原色。在个人计算机的显示系统中，显示的图像是由一个个像素组成的，每一个像素都有自己的颜色属性，像素的颜色是基于 RGB 模型的，每一个像素的颜色由红、绿、蓝三原色组合而成。三种颜色值的结合确定了在图像上看到的颜色。人眼看到的图像都是连续的模拟图像，其形状和形态表现由图像各位置的颜色所决定。因此，自然界的图像可用基于位置坐标的三维函数来表示，即

$$f(x, y, z) = \{f_{red}(x, y, z), f_{green}(x, y, z), f_{blue}(x, y, z)\}$$

其中 f 表示空间坐标为 (x, y, z) 位置点的颜色， f_{red} 、 f_{green} 、 f_{blue} 分别表示该位置点的红、绿、蓝三种颜色分量值。它们都是空间的连续函数，即连续空间的每一点都有一个精确的值与之相对应。

为了便于研究，主要考虑平面图像。平面上每一点仅包括两个坐标值，因此，平面图像函数是连续的二维函数，即

$$f(x, y) = \{f_{red}(x, y), f_{green}(x, y), f_{blue}(x, y)\}$$

1.1.3 数字图像的表达

数字图像是连续图像 $f(x, y)$ 的一种近似表示，通常用由采样点的值所组成的矩阵来表示。每一个采样单元叫做一个像素（Pixel），如图 1-2 所示。

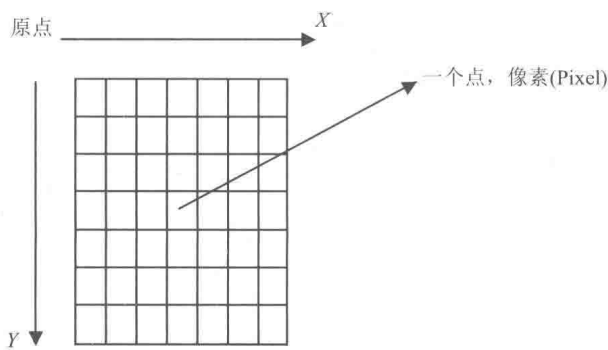


图 1-2 图像的表达

在计算机内通常用二维数组来表示数字图像的矩阵，可抽象为如下数字矩阵：

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

其中， $f()$ 代表坐标位置的像素彩色或灰度值； M 、 N 分别为数字图像在横、纵方向上的像素总数。如图 1-3 所示代表一幅图像在计算机内部表示为数据矩阵。

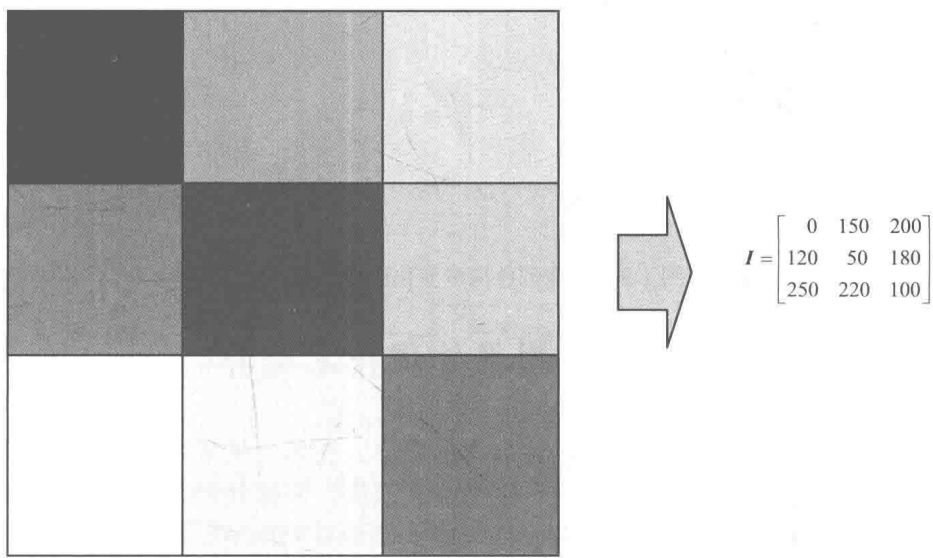


图 1-3 图像表示为数据矩阵

把像素按不同的方式进行组织或存储，就得到不同的图像格式，把图像数据存成文件，就得到图像文件。图像文件按其数字图像格式的不同一般具有不同的扩展名。最常见的图像格式是位图格式，其文件以 BMP 为扩展名。

1.1.4 图像数字化的精度

图像数字化的精度包括两个部分，即空间分辨率和数字图像的灰度级分辨率。空间分辨率指图像数字化的空间精细程度，是数字化图像时划分图像的像素密度，即单位长度内的像素数，其单位是每英寸的点数 DPI（Dots Per Inch）。空间分辨率说明了数字图像的实际精细度。如图 1-4 所示，图像空间分辨率从高到低变化，可见图像空间分辨率越高，图像越逼真。

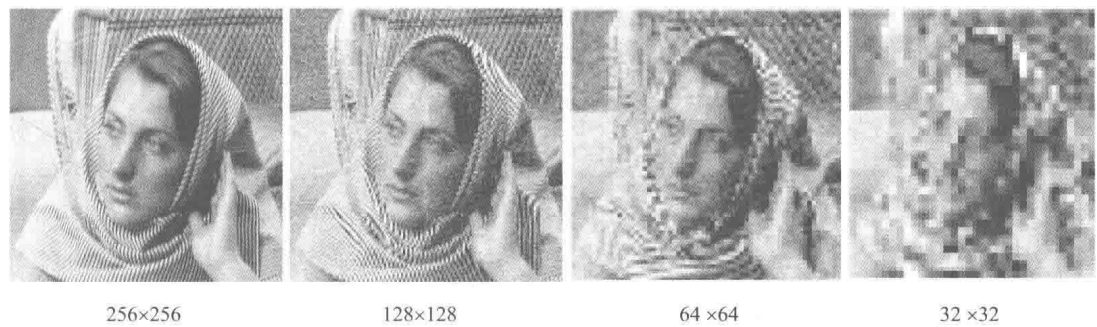


图 1-4 图像空间分辨率变化的典型效果

数字图像的灰度级分辨率表示每一像素的颜色值所占的二进制位数，也叫颜色深度。图 1-5 表明图像灰度级分辨率越高，能表示的颜色数目就越多，图像也越清晰。

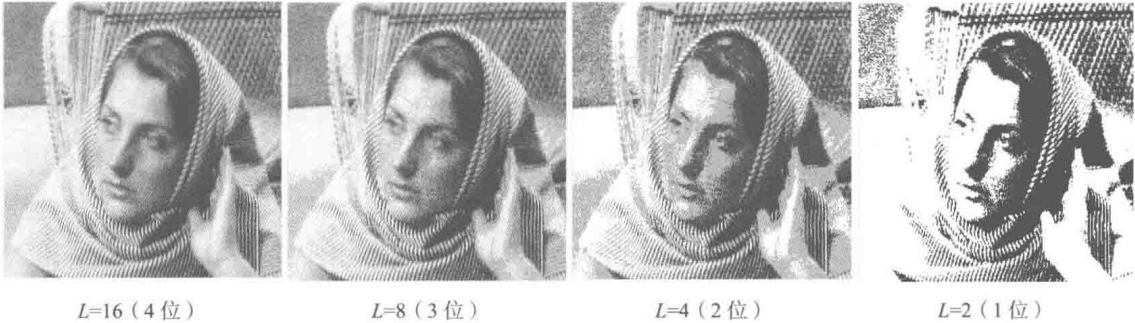


图 1-5 图像颜色深度变化的典型效果

1.2 数字图像处理技术简介

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。数字图像处理系统由四部分组成，分别为图像输入模块、图像处理与分析模块、图像存储模块以及图像输出模块，如图 1-6 所示。图像输入模块是利用图像采集设备（如数码照相机）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化成适于计算机处理的数字图像。图像处理与分析模块包括处理算法，编写软件完成图像信息处理的所有功能。图像输出模块将处理前后的图像显示出来。图像存储模块完成图像信息的永久保存。

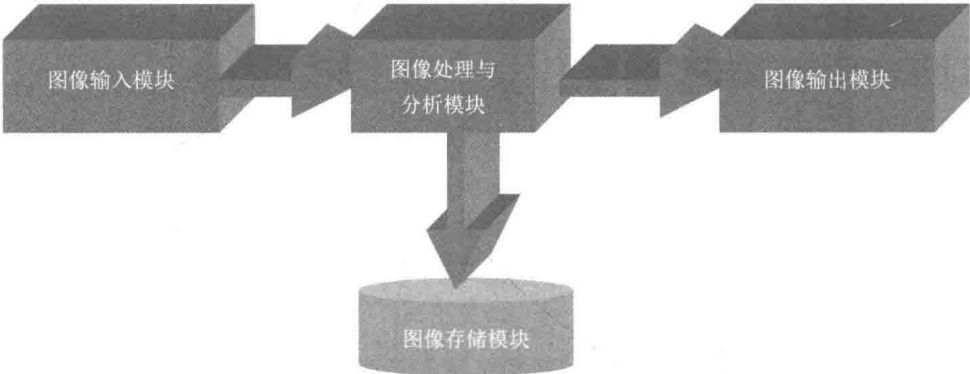


图 1-6 数字图像处理系统示意图

图像处理与分析模块一般由图像预处理、图像分割、特征提取、图像识别、图像分析五部分组成，如图 1-7 所示。图像预处理阶段主要是在像素级上进行处理，进行图像的几何校正、图像的灰度变换处理、图像噪声滤除的平滑处理、目标物体边界的锐化处理等，这些工作尤为重要，如果该阶段处理不好，后面的工作根本无法展开。图像分析阶段主要对图像里感兴趣的目标进行检测、分割、特征提取和测量，分析的结果能为用户提供描述图像目标特点和性质的数据，把原来以像素描述的图像转变成比较简洁的非图像方式的描述。图像理解阶段主要通过对图像里各目标的性质和它们之间相互关系的研究，对描述抽象出来的符号进行运算，了解把握图像内容并解释原来的客观场景，提供客观世界的信息，指导和规划行为，其处理过程和方法与人类的思维推理有许多类似之处。

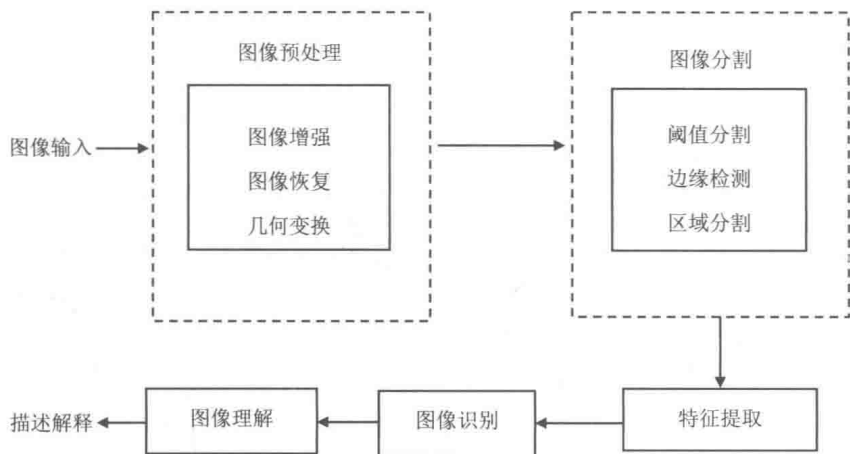


图 1-7 图像处理与分析系统

图像处理是一门综合利用计算机、传感器、信息技术、信号处理、人工智能、模式识别等技术改变图像的像素，达到改善图像质量的目的，便于人们观察和适于机器识别。一般来说，对含有噪声的图像，要除去噪声、滤去干扰，提高信噪比；对信息微弱的图像要进行灰度变换等增强处理；对已经退化的模糊图像要进行各种复原的处理；对失真的图像要进行几何校正等变换。除此之外，图像的合成、图像的编码与传送等技术也属于图像处理的内容。

从广义上讲，数字图像处理的方法主要包括图像复原、图像增强、图像分割、图像压缩编码、图像重建、图像分析等。以下介绍几种图像处理的方法。

1. 图像复原

当造成图像退化（图像品质下降）的原因已知时，复原技术可以对图像进行校正。图像复原关键是对每种退化都需要有一个合理的模型。因此，复原技术是基于模型和数据的图像恢复，其目的是消除退化的影响，从而产生一个等价于理想成像系统所获得的图像。如图 1-8 所示，其中（a）显示由于物体运动，造成图像退化；（b）显示复原后的图像。



图 1-8 图像复原

2. 图像增强

图像增强可以改善图像质量，达到使图像清晰的目的。如图 1-9 所示，其中 (a) 显示模糊，经过图像增强技术后，(b) 比 (a) 更加清晰。

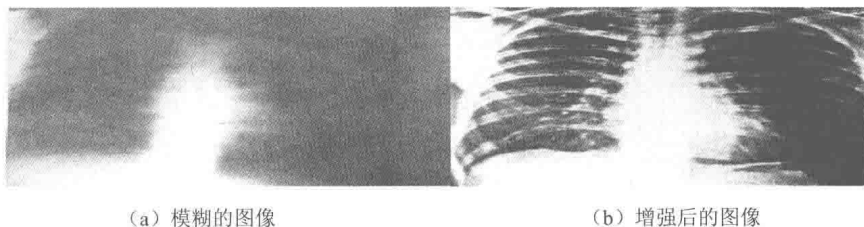


图 1-9 图像增强

3. 图像分割

图像分割即为达到识别和理解的目的，按照一定的规则将图像分割成区域（物体）。人类视觉系统可以将复杂场景中的对象分类、识别，但计算机视觉却是一个难题。如图 1-10 所示为汽车牌照字符分割示意图。



图 1-10 汽车牌照字符分割

4. 图像压缩编码

相比语音等其他信号，图像具有信息量大、占用频带宽等特点，在成像、传输、处理、显示等各环节的实现上技术难度都很大，成本较高，尤其是在图像通信中，有限的信道根本无法实现实时传输图像，这就对图像的（频带）压缩提出了很高的要求。数字图像具有像素间相关性大的特点，即在同一帧内各相邻像素间具有相同（似）的灰度值的可能性很大，其相关系数一般大于 0.9，这些都说明数字图像中存在大量冗余，通过减少或消除它们，进行图像压缩的潜力（可能性）很大。图像数据量庞大，图像压缩可以减少数据存储量；降低数据率以减少传输带宽；压缩信息量，便于特征提取，为后续识别做准备。图 1-11 表明对图像数据进行部分压缩，对人的视觉影响不大。



图 1-11 图像数据进行部分压缩后的效果图

5. 图像重建

图像复原、图像增强输入的是图像，处理后输出的也是图像。而图像重建与上述不同，输入的是某种数据，而经过处理后得到的结果是图像。CT 图像是重建图像，如图 1-12 所示，CT 是用 X 射线束对人体某部一定厚度的层面进行扫描，由探测器接收透过该层面的 X 射线，转变为可见光后，由光电转换变为电信号，再经模拟/数字转换器转为数字，经计算而获得每个体素的 X 射线衰减系数或吸收系数，再排列成矩阵，把数字矩阵中的每个数字转为由黑到白不等灰度的像素，构成 CT 图像。

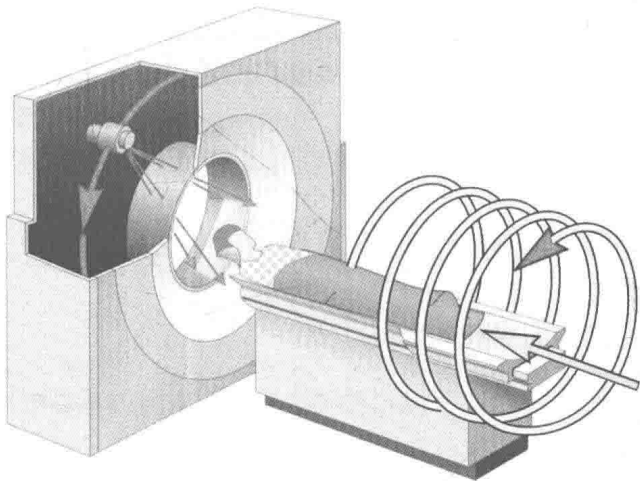


图 1-12 CT 影像机的图像重建

6. 图像分析

图像处理应用的目标几乎均涉及图像分析，从而有利于计算机对图像进行分类、识别和理解。如交通路口的视频监控，对每一幅图都要分析是否违章，违章的图像需要识别出汽车牌照。如图 1-13 所示为汽车牌照分析示意图。



图 1-13 汽车牌照分析示意图

综上所述，图像处理的目的是有很多，通过图像去除噪声，改变图像的亮度、颜色，增强图像中的某些成分、抑制某些成分，对图像进行几何变换等，从而改善图像的质量，提

高图像的视感质量，达到赏心悦目的目的。通过提取图像中某些特征，如频域特性、灰度/颜色特性、边界/区域特性、纹理特性、形状特性等，以便于分析，可用作模式识别、计算机视觉的预处理等。在分析的基础上，进行图像内容识别，例如：汽车牌照识别、人脸识别、虹膜识别、指纹识别等。通过对图像数据压缩，便于存储和传输，提高存储量，提高传输速度。

1.3 数字图像处理的应用

目前数字图像处理技术的应用越来越广泛，已经渗透到人们的日常生活中，如天气预报、医院、银行、超市、道路交通管理、重要部门的监控报警系统、可视电话、网络传输等。下面列举一些典型的应用实例。

1. 遥感航天中的应用

- (1) 天文、太空星体的探测及分析。
- (2) 军事侦察、定位、指挥等。
- (3) 地质、地形、地图的普查及绘制。
- (4) 地下矿藏的勘探。
- (5) 环境污染的监测。
- (6) 气象、天气预报的合成分析。

2. 生物医学中的应用

- (1) 显微图像处理。
- (2) DNA 显示分析。
- (3) 生物进化的图像分析。
- (4) 手术规划。
- (5) 内脏大小、形状、活动及异常检出分析。
- (6) 癌细胞识别。

3. 工业应用

- (1) 产品无损检测、焊缝及内部缺陷检测。
- (2) 流水线零件自动检测识别。
- (3) 生产过程的监控。
- (4) 交通管制、机场监控。
- (5) 支票、签名辨伪及识别。
- (6) 机器人视觉系统的应用。

4. 军事公安领域中的应用

- (1) 罪犯脸形的合成。
- (2) 指纹自动识别。
- (3) 巡航导弹地形识别。

- (4) 手迹、印章的鉴定识别。
- (5) 遥控飞行器的引导。
- (6) 雷达的目标侦察。

5. 其他应用

- (1) 多媒体计算机系统及应用。
- (2) 图像的远程通信。
- (3) 电视会议。
- (4) 可视电话。
- (5) 服装试穿显示。
- (6) 现场视频管理。

数字图像处理技术的应用远远超出上述的内容，它在国民经济中发挥着越来越大的作用。

1.4 图像的存储格式



第二讲 (1.4)

1.4.1 单色图像

单色图像具有比较简单的格式，一般由黑色区域和白色区域组成，如图 1-14 所示。每个像素点仅占一位，其值只有 0 或 1，分别代表黑或白。因为图像中的每个像素仅需 1 位信息，常把单色图像称为 1 位图像，如图 1-15 所示。



图 1-14 单色图像

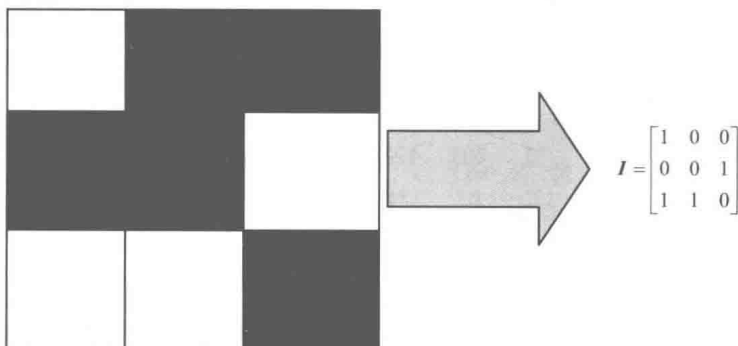


图 1-15 单色图像的数据示意图

1.4.2 8 位灰度图像

8 位灰度图像具有如下特征。

(1) 8 位灰度图像的存储文件带有图像颜色表，如表 1-1 所示，此颜色表共有 256 项，图像颜色表中每一表项由红、绿、蓝颜色分量组成，并且红、绿、蓝颜色分量值都相等，即

f_{red}(x,y)=f_{green}(x,y)=f_{blue}(x,y)

表 1-1 图像颜色表

索引号	R	G	B
0	0	0	0
1	1	1	1
...	...	...	...
254	254	254	254
255	255	255	255

(2) 图像中每一个像素信息是图像颜色表的索引号。每个像素由 8 位组成，其值范围为 0~255，表示 256 种不同的灰度级。每个像素的像素值 $f(x,y)$ 是图像颜色表的表项入口地址。图 1-16 表明图像中取出一子块灰度图像（16×6）。

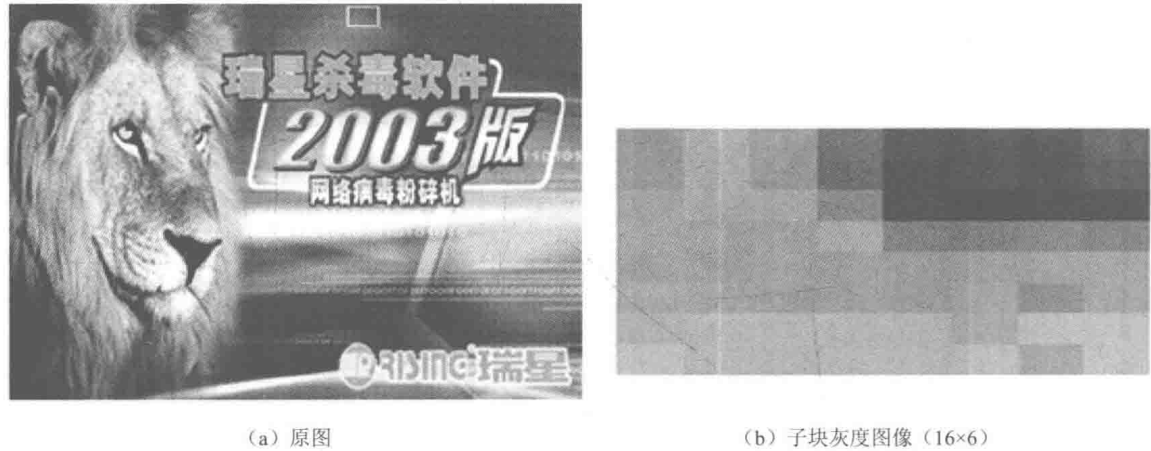


图 1-16 图像中取出一小块灰度图像（16×6）

子块灰度图像（16×6）对应的数值矩阵如下所示，其数据值的含义是图像颜色表的索引号，没有彩色信息。

125	153	158	157	127	70	103	120	129	144	144	150	150	147	150	160
133	154	158	100	116	120	97	74	54	74	118	146	148	150	145	157
155	163	95	112	123	101	137	108	81	71	63	81	137	142	146	152
167	69	85	59	65	43	85	34	69	78	104	101	117	132	134	149
54	46	38	44	38	36	44	36	25	48	115	113	114	124	135	152
58	30	44	35	28	69	144	147	57	60	93	106	119	124	131	144