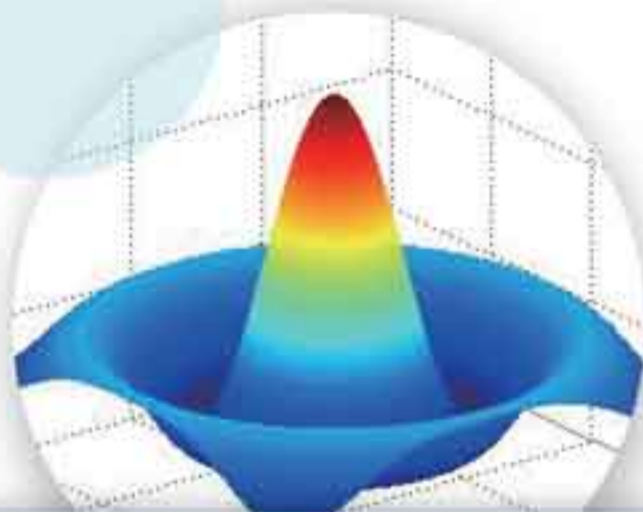


高校转型发展系列教材

程远航 编著



数字图像处理基础及应用



清华大学出版社

高校转型发展系列教材

数字图像处理 基础及应用

程远航 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书将现代图像处理理论与应用紧密结合,在阐述理论的基础上,大量使用习题、软件仿真等工具来介绍图像处理的基本方法。全书共分8章,主要内容包括数字图像基础、图像增强、图像分割、图像复原、形态学图像处理、图像融合等。

全书具有较强的实用性和先进性,内容选材新颖,并配有大量的MATLAB仿真案例。本书可以作为高等院校信息技术等相关专业的核心课程教材或教学参考书籍,也可以作为数字图像处理技术人员的参考资料和培训教材。

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。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理基础及应用 / 程远航 编著. —北京:清华大学出版社, 2018
(高校转型发展系列教材)
ISBN 978-7-302-49269-6

I. ①数… II. ①程… 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(2018)第 003496 号

责任编辑:施 猛 马遥遥

封面设计:常雪影

版式设计:方加青

责任校对:曹 阳

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:13.25 字 数:306千字

版 次:2018年3月第1版 印 次:2018年3月第1次印刷

定 价:38.00元

产品编号:074716-01

高校转型发展系列教材

编委会

主任委员：李继安 李 峰

副主任委员：王淑梅

委员(按姓氏笔画排序)：

马德顺 王 焱 王小军 王建明 王海义 孙丽娜
李 娟 李长智 李庆杨 陈兴林 范立南 赵柏东
侯 彤 姜乃力 姜俊和 高小珺 董 海 解 勇

前 言

数字图像处理最早出现于20世纪20年代，当时人们采用数字压缩技术通过海底电缆从英国伦敦传输第一幅数字照片到美国纽约。数字图像处理作为一门学科大约形成于20世纪60年代初期。早期的图像处理的目的是改善图像质量，它以人为对象，以改善人的视觉效果为目的。第三代计算机问世后，数字图像处理技术因应用于医学领域而大放异彩。目前，数字图像处理已成为工程学、计算机科学、信息科学、统计学、物理学、化学、生物学、医学等领域中学习和研究的对象。

数字图像处理课程作为信息技术学科专业课程，学时较少，但知识衔接性强、新概念多，所以，如何在较短的时间内让学生比较系统地掌握数字图像处理的实践能力，是摆在我们面前的一个难题。本书的编写是在充分吸收众多专家研究成果的基础上，讲清基本理论、基本知识，结合编程语言，验证相应算法和理论，培养学生图像处理的基本技能，进而指导其设计图像处理的软件或硬件系统。

本书结构紧凑，内容深入浅出，讲解图文并茂，可作为通信与信息工程、电子科学与技术、计算机科学与技术、控制科学与工程、生物医学工程等相关专业本科高年级学生的专业选修课教材及研究生相关应用课程的教材和参考用书，也可为从事图像处理、分析和识别等相关领域的科技工作者和工程技术人员提供参考。

本书共分为8章。第1章主要介绍了图像处理、图像分析、计算机视觉的界定，各种成像方式的原理及其主要应用领域；第2章介绍了数字图像处理的一些基本概念；第3章介绍了空间域图像增强的基本方法；第4章分析了频率域图像增强的基本方法；第5章介绍了图像分割的原理、方法及其主要应用领域；第6章介绍了图像复原的基本方法；第7章介绍了形态学图像处理的基本理论与基本方法；第8章介绍了图像融合的基本方法。

本书由沈阳大学程远航编著。具体分工为：程远航负责总体策划，编写第3章、第4章、第7章，田丹编写第1章、第2章，张世辉编写第5章、第6章、第8章。

由于编者水平有限，书中难免存在一些不足之处，恳请同行专家及读者提出宝贵意见。反馈邮箱：wkservice@vip.163.com。

编者
2017年11月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 数字图像处理的概念	1
1.1.1 数字图像的定义	1
1.1.2 图像处理、图像分析、计算机视觉的界定	2
1.1.3 三种典型的计算处理	4
1.2 数字图像处理的起源	5
1.3 数字图像处理的应用实例	6
1.3.1 伽马射线成像	7
1.3.2 X射线成像	8
1.3.3 紫外波段成像	9
1.3.4 可见光及红外线成像	9
1.3.5 微波波段成像	12
1.3.6 无线电波成像	13
1.3.7 其他图像模式应用实例	13
1.4 数字图像处理的基本步骤	15
1.5 图像处理系统的部件	17
第2章 数字图像基础	22
2.1 视觉感知和要素	22
2.1.1 人眼的构造	22
2.1.2 眼睛中的图像形成	23
2.1.3 亮度适应和鉴别	24
2.2 光和电磁波谱	26
2.3 图像感知和获取	27
2.4 图像取样和量化	27
2.4.1 取样和量化的基本概念	27
2.4.2 数字图像表示	29
2.4.3 空间和灰度级分辨率	30
2.4.4 香农采样定理	33

2.4.5	放大和收缩数字图像	35
2.5	像素间的一些基本关系	37
2.5.1	相邻像素	37
2.5.2	邻接性、连通性、区域和边界	38
2.5.3	距离度量	40
2.5.4	基于像素的图像操作	41
2.6	线性和非线性操作	41
第3章	空间域图像增强	43
3.1	背景知识	43
3.1.1	“空间域增强”的基本方法	43
3.1.2	二值图像	44
3.2	某些基本灰度变换	44
3.2.1	线性灰度变换	45
3.2.2	分段线性灰度变换	47
3.2.3	非线性灰度变换	49
3.3	直方图处理	53
3.3.1	直方图的定义	53
3.3.2	直方图的用途	54
3.3.3	积累直方图	54
3.3.4	直方图均衡化	56
3.3.5	直方图匹配(规定化)	59
3.4	空间滤波基础	61
3.4.1	线性滤波	61
3.4.2	非线性滤波	62
3.5	平滑空间滤波器	66
第4章	频率域图像增强	75
4.1	背景	75
4.2	傅里叶变换	76
4.2.1	离散傅里叶变换	76
4.2.2	连续函数的傅里叶变换	78
4.2.3	快速傅里叶变换	78
4.2.4	频率域滤波	82
4.2.5	空间域滤波和频率域滤波之间的对应关系	89
第5章	图像分割	98
5.1	边缘检测与区域分割概述	98
5.1.1	图像的基本概念	98
5.1.2	边缘检测	99

5.1.3	Roberts算子	101
5.1.4	Prewitt算子和Sobel算子	102
5.1.5	Kirsch算子	104
5.2	Canny准则及Canny算法	106
5.2.1	Canny边缘检测的准则	106
5.2.2	Canny边缘检测算法	108
5.2.3	拉普拉斯算子	110
5.2.4	Facet算子	112
5.2.5	Nalwa算子	113
5.2.6	边缘检测的一种概率方法	115
5.3	基于最大隶属度原则的边缘检测算法	121
5.3.1	邻域及平均灰度值的确定	122
5.3.2	模糊最大隶属度函数的确定	123
第6章	图像复原	126
6.1	图像退化/复原处理的模型	126
6.2	噪声模型	127
6.2.1	噪声的空间和频率特性	127
6.2.2	一些重要的噪声的概率密度函数	127
6.2.3	周期噪声	132
6.2.4	噪声参数的估计	133
6.3	噪声存在下的唯一空间滤波复原	134
6.3.1	均值滤波器	134
6.3.2	顺序统计滤波器	137
6.3.3	自适应滤波器	138
6.4	频域滤波削减周期噪声	141
6.4.1	带阻滤波器	141
6.4.2	带通滤波器	142
第7章	形态学图像处理	144
7.1	预备知识	145
7.1.1	集合论中的几个基本概念	145
7.1.2	二值图像的逻辑运算	146
7.2	膨胀与腐蚀	147
7.2.1	膨胀	147
7.2.2	腐蚀	149
7.3	开运算和闭运算	151
7.3.1	开运算及其性质	151
7.3.2	闭运算及其性质	152

7.4	击中和击不中变换	154
7.5	一些基本的形态学算法	157
7.5.1	边界提取	157
7.5.2	区域填充	158
7.5.3	连通分量的提取	160
7.5.4	细化	162
7.5.5	骨骼化	163
第8章	图像融合	165
8.1	图像融合的层次与步骤	165
8.2	图像融合的方法	166
8.3	基于PCA变换的加权图像融合方法	167
8.3.1	主成分分析	167
8.3.2	主成分分析的数学模型	168
8.3.3	主成分分析的推导	169
8.3.4	主成分分析的步骤	171
8.3.5	基于PCA变换的图像融合的步骤及实验结果	172
8.4	图像融合技术的发展和现状	173
8.5	图像配准技术	174
8.5.1	图像配准原理	174
8.5.2	图像配准的方法	176
8.6	小波分析理论	176
8.6.1	小波分析的历史与发展	176
8.6.2	傅里叶变换分析	177
8.6.3	小波变换分析	178
8.7	基于小波的数字图像融合	185
8.7.1	基于小波变换的数字图像流程	185
8.7.2	图像小波变换过程	186
8.7.3	图像融合的规则	187
附录	图像处理Matlab函数汇总	190
	参考文献	199

第1章 绪论

教学目的和要求

- | | |
|--------------|---|
| ➤ 课时数 | 1 |
| ➤ 课程类型 | 理论课 |
| ➤ 教学目的和要求 | 让学生了解图像处理、图像分析、计算机视觉的界定，掌握各种成像方式的原理及其主要应用领域 |
| ➤ 教学重点 | 数字图像处理的含义 |
| ➤ 教学难点 | 无 |
| ➤ 教学方法、手段、媒介 | 以多媒体为主，黑板板书为补充 |

1.1 数字图像处理的概念

1.1.1 数字图像的定义

图像泛指视觉景物的某种形式的表示和记录。例如，显示在照片、传真、复印图、电视、计算机等介质上的具有视觉效果的画面均可称之为图像。根据记录方式的不同，图像可分为模拟图像和数字图像。模拟图像可以通过某种物理量(如光、电等)的强弱变化来记录图像的亮度信息，而数字图像则通过计算机存储的数据来记录图像上各点的亮度信息。

数字图像的基本单位是像素(Pixel)，像素是在模拟图像数字化处理时对连续空间进行离散化得到的。每个像素都具有整数行和列的位置坐标，即数字图像以二维矩阵的形式存储于计算机中。每个像素上的值代表图像在该位置的亮度，即色彩的深浅程度。对于二值图像而言，像素值仅由0、1两个值构成，“0”表示黑色，“1”表示白色。对于灰度图像而言，像素值称为灰度值，范围是 $[0, 255]$ 间的整数。其中，“0”表示最小亮度(纯黑色)，“255”表示最大亮度(纯白色)，中间的数字从小到大表示由黑到白的过渡色。对于索引图像而言，除了存放图像像素值的二维矩阵外，还包括一个称之为颜色索引矩阵MAP的二维数组。MAP的大小由存放图像的矩阵元素值域决定，如矩阵元素值域为 $[0, 255]$ ，则MAP矩阵的大小为 256×3 ，用 $MAP=[R, G, B]$ 表示。MAP中每一行的三个元素分别指定该行对应颜色的红、绿、蓝单色值。图像在屏幕上显示时，每一像素的颜色由存放在矩阵中该像素的灰度值作为索引，通过检索颜色索引矩阵MAP得到。而

对于彩色图像而言，分别用红(R)、绿(G)、蓝(B)三原色的组合来表示每个像素的颜色。但与索引图像不同的是，RGB图像每一个像素的颜色值直接存放在图像矩阵中，由于每一像素的颜色需由R、G、B三个分量来表示，每个分量的范围是[0, 255]间的整数， M 、 N 分别表示图像的行列数，因此三个 $M \times N$ 的二维矩阵分别表示各个像素的R、G、B三个颜色分量。

图像信息的数学描述方式取决于图像的类型。例如，灰度图像函数可以表示为

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

式中： (x, y) 表示像素的空间坐标， I 表示图像的灰度值。

对于彩色图像而言，图像函数可以表示为R、G和B三个通道的值，即

$$I=\{f_R(x, y), f_G(x, y), f_B(x, y)\} \quad (1-2)$$

式中： $f_R(x, y), f_G(x, y), f_B(x, y)$ 分别表示各像素的R、G、B三个颜色分量。

1.1.2 图像处理、图像分析、计算机视觉的界定

1. 图像处理

图像作为人类感知世界的视觉基础，是人类获取信息、表达信息和传递信息的重要手段。图像处理一般指数字图像处理，是利用计算机对图像进行增强、复原、编码等处理的方法和技术，有时也称之为计算机图像处理。图像处理主要包括以下几方面内容。

(1) 图像增强。图像增强是针对给定图像的应用场合，有目的地强调图像的整体或局部特性，将原来不清晰的图像变得清晰；或强调某些感兴趣的特征，扩大图像中不同物体特征之间的差别，抑制不感兴趣的特征，使之改善图像质量、丰富信息量、加强图像判读和识别效果，满足某些特殊分析的需要。

(2) 图像复原。图像复原是利用退化现象的某种先验知识，建立退化现象的数学模型，再根据模型进行反向的推演运算，以恢复原来的景物图像。因而，图像复原可以理解图像降质过程的反向过程。图像复原的典型操作是图像的去噪、去模糊处理。

(3) 图像编码。图像编码又称为图像压缩，是指在满足一定质量(信噪比或主观评价)的条件下，以较少比特数表示图像或图像中所包含信息的技术。图像编码的目的是：减少数据存储量；降低数据率以减少传输带宽；压缩信息量，便于特征抽取，为识别做准备。现代编码法的特点是：充分考虑人的视觉特征；恰当地考虑对图像信号的分解与表述；采用图像的合成与识别方案压缩数据率。

图像处理技术可以帮助人们更客观、准确地认识世界。它的优点在于处理内容丰富，可进行复杂的非线性处理，有灵活的变通能力；而缺点则在于处理速度还有待提高，特别是针对某些特定复杂的处理更是如此。图像处理的各个研究内容是互相联系的。一个实用的图像处理系统往往要结合应用多种图像处理技术才能得到所需要的结果。

2. 图像分析

图像分析主要是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。图像分析的目的是从图像中抽取某些有用的度量、数据或信息，而不是产生另一幅图像。图像分析主要包括以下几方面内容。

(1) 图像分割。图像分割是指将图像分割成一些互不重叠的区域，每一个区域是像素的一个连续集，度量它们的性质和关系，最后把得到的图像关系结构和描述景物分类的模型进行比较，以确定其类型。一般可以把分割看成是一个决策过程，它的算法可分为像素技术和区域技术两类。像素技术是用阈值方法对各个像素进行分类。区域技术是利用纹理、局部区域灰度对比度等特征检出边界、线条、区域等，并用区域生长、合并、分解等技术确定图像的各个组成成分。此外，为了进一步考察图像整体在分割中的作用，还有松弛技术等方法。

(2) 图像识别。图像识别是指利用计算机对图像进行分析，以识别各种不同模式的目标和对象的技术。图像识别问题的数学本质属于模式空间到类别空间的映射问题。一般工业使用中，采用工业相机拍摄图像，然后利用软件根据图像灰阶差做进一步识别处理。一般可以根据形状和灰度信息用决策理论和结构方法进行识别，也可以构造一系列已知物体的图像模型，把要识别的对象与各个图像模型进行匹配和比较。识别或分类的基础是图像的相似度。一种简单的相似度解释可用区域特征空间中的距离来定义；另一种定义是基于像素值的相似度量，表示图像函数的相关性；最后一种定义是建立在关系结构上的相似度，称为结构相似度。

(3) 图像解释。图像解释是用启发式方法或人机交互技术结合识别方法建立物景的分级构造，说明物景中有些什么物体，物体之间存在什么关系。在三维物景的情况下，可以利用物景的各种已知信息和物景中各个对象相互间制约关系的知识进行图像解释。例如，通过二维图像中的灰度阴影、纹理变化、表面轮廓线形状等推断出三维物景的表面走向；也可根据测距资料，或从几个不同角度的二维图像进行景深的计算，得出三维物景的描述和解释。

图像分析的内容和模式识别、人工智能的研究领域有交叉，但图像分析与典型的模式识别还有区别。图像分析不限于把图像中的特定区域按固定数目的类别加以分类，它主要提供关于被分析图像的一种描述。为此，既要利用模式识别技术，又要利用关于图像内容的知识库，即人工智能中关于知识表达方面的内容。图像分析需要用图像分割方法抽取图像的特征，然后对图像进行符号化的描述。这种描述不仅能对图像中是否存在某一特定对象做出回答，还能对图像内容做出详细描述。

3. 计算机视觉

计算机视觉是指利用摄影机和计算机模拟生物视觉。它的主要任务是代替人眼对目标进行识别、跟踪和测量，并进一步做图形处理，通过计算机处理获取更适合人眼观察或传送给仪器检测的图像。计算机视觉的主要研究内容包括：视觉和视知觉、图像采集、图像预处理、基元检测、目标分割、目标表达和描述、形状特性分析、立体视觉、三维景物恢复、运动分析、景物识别、广义匹配、场景解释等。

作为一门科学学科，计算机视觉研究相关的理论和技术，试图建立能够从图像或者多

维数据中获取信息的人工智能系统。这里所指的信息指可以用来帮助做决策的信息。因为感知可以看做从感官信号中提取信息，所以计算机视觉也可以看做研究如何使人工系统从图像或多维数据中感知的科学。

图像处理、图像分析和计算机视觉是彼此紧密关联并且有一定程度交叉的学科。这些学科的基础理论大致是相同的，但研究的侧重点和研究对象有所不同。从研究的侧重点角度而言，图像处理侧重信号处理方面的研究，比如图像对比度的调节、图像编码、去噪以及各种滤波的研究。图像分析的侧重点在于研究图像的内容，包括但不局限于使用图像处理的各种技术，它更倾向于对图像内容的分析、解释和识别。因而，图像分析和计算机科学领域中的模式识别、计算机视觉关系更密切一些。从研究对象角度而言，图像处理与图像分析的研究对象主要是二维图像，实现图像的转化，尤其针对像素级的操作，例如提高图像对比度、边缘提取、去噪声和几何变换(如图像旋转、图像缩放、图像平移)。这一特征表明无论是图像处理还是图像分析，其研究内容都和图像的具体内容无关。计算机视觉的研究对象主要是映射到单幅或多幅图像上的三维场景，例如三维场景的重建。计算机视觉的研究很大程度上针对图像的内容。

■ 1.1.3 三种典型的计算处理

图像处理、图像分析、计算机视觉这个连续的统一体内并没有明确的界线。然而，在这个连续的统一体中，可以考虑用三种典型的计算处理(即低级处理、中级处理和高级处理)来区分各个学科。

1. 低级处理

低级处理涉及初级操作，处理内容主要包括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。低级处理的实例有降低噪声的图像预处理、对比度增强和图像锐化等。可见，低级处理隶属于图像处理范畴，其特点是输入、输出均为图像，即实现图像之间的变换。

2. 中级处理

中级处理主要是对图像中感兴趣的目标进行检测(或将图像分割为不同区域或目标物)和测量，以获得它们的客观信息从而建立对图像的描述，以使其更适合计算机处理及对不同目标进行分类(识别)。可见，中级处理隶属于图像分析范畴，其特点是输入图像，但输出从这些图像中提取的特征(如边缘、轮廓及不同物体的标识等)数据。

3. 高级处理

高级处理是在中级处理的基础上，进一步研究图像中各目标的性质和它们之间的相互联系，并得出对图像分析中被识别物体的总体理解(对象识别)及对原来客观场景的解释(执行与计算机视觉相关的识别函数)，从而指导和规划行动。可见，高级处理隶属于计算机视觉范畴，其特点是模拟人类视觉理解和推理，并根据视觉输入采取行动。

1.2 数字图像处理的起源

数字图像处理技术源于20世纪20年代, 当时利用图像压缩技术改善了伦敦与纽约之间海底电缆发送的图片质量。引入Btutlane电缆图片传输系统, 将横跨大西洋传送一幅图片所需的时间从一个多星期减少到3个小时。为了用电缆传输图片, 首先要进行编码, 然后在接收端用特殊的打印设备重构该图片。这些早期数字图像处理技术涉及打印过程的选择和亮度等级的分布等问题。随后出现的数字图像视觉质量的改进工作, 转而支持一种基于光学还原的技术, 该技术在电报接收端用穿孔纸带打出图片。

早期的数字图像处理工作并没有涉及计算机。事实上, 数字图像需要非常强的存储和计算能力, 因此数字图像处理领域的发展必须依靠数字计算机及数据存储、显示和传输等相关技术的发展。现代计算机的基础可追溯到20世纪40年代由约翰·冯·诺依曼提出的两个重要概念: 保存程序和数据的存储器; 条件分支。这两个概念是中央处理单元的基础。从冯·诺依曼开始, 引发了一系列重要的技术进步, 使得计算机以强大的功能应用于数字图像处理领域。这些进步可归纳为如下几方面。

- (1) 1948年, 贝尔实验室发明了晶体三极管;
- (2) 20世纪50年代到20世纪60年代, 高级编程语言(如COBOL和FORTRAN)的开发;
- (3) 1958年, 德州仪器公司发明了集成电路;
- (4) 20世纪60年代早期操作系统的发展;
- (5) 20世纪70年代, Intel公司开发了微处理器(由中央处理单元、存储器和输入输出控制组成的单一芯片);
- (6) 1981年, IBM公司推出了个人计算机;
- (7) 20世纪70年代出现的大规模集成电路所引发的元件微小化革命, 20世纪80年代出现了YLSI(超大规模集成电路), 现在已出现了ULSI(特大规模集成电路)。

伴随着这些技术进步, 大规模的存储和显示系统也随之发展起来, 这两者均是数字图像处理的基础。第一台可以执行有意义的图像处理任务的大型计算机出现在20世纪60年代早期。数字图像处理技术的诞生可追溯至这一时期这些机器的使用和空间项目的开发, 这两大发展把人们的注意力集中到数字图像处理的潜能上。利用计算机技术改善空间探测器发回的图像的工作, 始于1964年美国宇航局的喷气推进实验室。当时对“徘徊者7号”探测器发来的几千张月球照片进行了几何校正、灰度变换、去除噪声等处理, 并考虑到太阳位置和月球环境的影响, 利用计算机绘制了月球表面的照片。在以后的宇航空间技术, 如对火星、土星等星球的探测研究中, 数字图像处理技术都发挥了巨大的作用。

进行空间应用的同时, 数字图像处理技术在20世纪60年代末和20世纪70年代初开始扩展到生物学、遥感监测和天文学等领域。1972年, 英国EMI公司工程师Outfield发明了用于头颅诊断的X射线计算机轴向断层摄影(Computer Tomography, CT)装置。这种无损伤诊断技术的基本方法是根据人的头部截面的投影, 经计算机处理来重建截面图像, 称为图像

重建，这是数字图像处理在医学诊断领域重要的应用之一。1975年，EMI公司又成功研制出适用于全身的CT装置，获得了人体各个部位鲜明清晰的断层图像。该断层技术获得了1979年诺贝尔医学奖。

从20世纪70年代中期开始，随着计算机技术、人工智能和思维科学研究的迅速发展，数字图像处理向更高、更深层次发展。人们已开始研究如何用计算机系统解释图像，构建类似人类视觉系统来理解外部世界，这被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很多的人力、物力用于这项研究，取得了不少重要的研究成果。其中较有代表性的成果是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。图像理解虽然在理论方法研究上已取得不小的进展，但它本身是一个比较难的研究领域，存在不少困难，因为人类本身对自己的视觉过程了解甚少，所以计算机视觉是一个有待人们进一步探索的新领域。

数字图像处理在国民经济的许多领域已经得到广泛的应用，取得了重大的开拓性成就。这些应用领域有航空航天、生物医学工程、工业检测、机器人视觉、公安司法、军事制导、文化艺术等。目前，图像处理成为一门引人注目、前景远大的新型学科。例如，农林部门通过遥感图像了解植物生长情况，进行估产，监视病虫害发展及治理。水利部门通过遥感图像分析，获取水害灾情的变化。气象部门用以分析气象云图，提高预报的准确程度。国防及测绘部门使用航测或卫星获得地域地貌及地面设施等资料。机械部门可以使用图像处理技术，自动进行金相图分析识别。医疗部门采用各种数字图像技术对各种疾病进行自动诊断。数字图像处理在通信领域有特殊的用途及应用前景。传真通信、可视电话、会议电视、多媒体通信以及宽带综合业务数字网(B-ISDN)和高清晰度电视(HDTV)都采用了数字图像处理技术。图像处理技术的应用与推广，使得为机器人配备视觉的科学预想转为现实。计算机视觉或机器视觉迅速发展。计算机视觉实际上就是图像处理加图像识别，要求采用十分复杂的处理技术，需要设计高速的专用硬件。

数字图像处理技术在国内外发展十分迅速，应用也非常广泛，但是就其学科建设来说，还不够成熟，还没有广泛适用的研究模型和齐全的质量评价体系指标，多数方法的适用性因分析处理对象的不同而不同。数字图像处理的研究方向是建立完整的理论体系。

1.3 数字图像处理的应用实例

数字图像处理可以简单理解为通过数字计算机来处理一幅数字图像。人眼所看到的图像限于电磁波谱中的可见光部分。而数字图像处理可以覆盖整个电磁波谱(从超声到无线电波)成像、电子显微成像和计算机合成成像等，大大超过人的视觉能力范围，扩大了数字图像处理的应用领域。电磁波谱可以按每光子的能量或波长来进行分组，见图1.1。

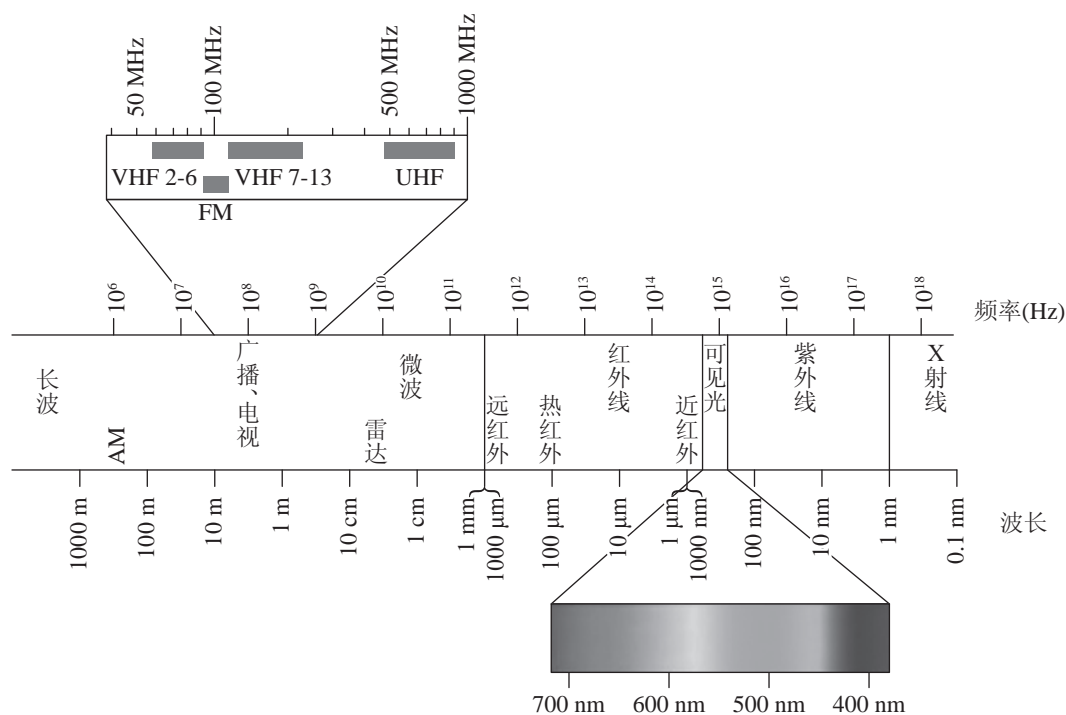
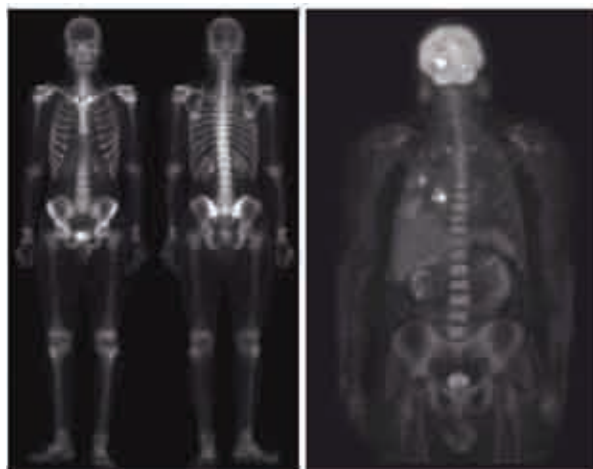


图1.1 电磁波谱

1.3.1 伽马射线成像

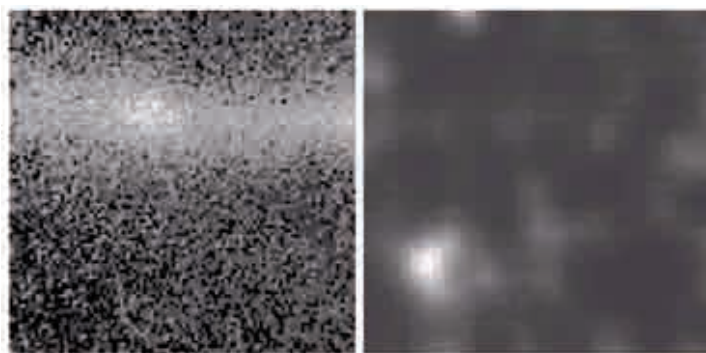
伽马射线，又称伽马粒子流，是原子核能级跃迁蜕变时释放的射线，是波长短于0.01埃的电磁波。伽马射线有很强的穿透力，工业中可用来探伤或对流水线进行自动控制。伽马射线对细胞有杀伤力，医疗上用来治疗肿瘤。伽马射线成像应用实例见图1.2、图1.3。



(a) 骨骼扫描

(b) PET图像

图1.2 伽马射线成像应用实例(1)



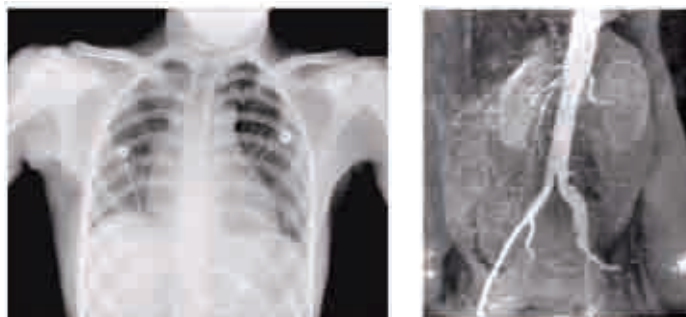
(a) 天鹅座圈

(b) 反应堆阀的伽马辐射

图1.3 伽马射线成像应用实例(2)

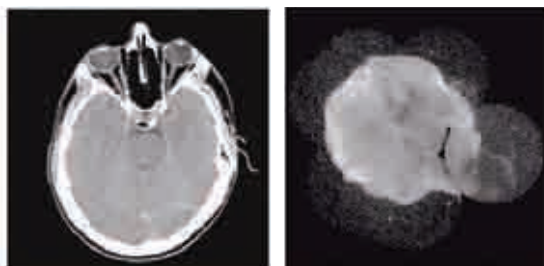
1.3.2 X射线成像

数字X射线成像是影像增强技术、电视技术和计算机技术与常规的X射线血管造影相结合的一种新的医学检查方法。X射线又称伦琴射线，它是肉眼看不见的一种射线，但可使某些化合物产生荧光或使照相底片感光；它在电场或磁场中不发生偏转，能发生反射、折射、干涉、衍射等；它具有穿透物质的能力，但对不同物质它的穿透能力也不同；能使分子或原子电离；有破坏细胞的作用，人体不同组织对于X射线的敏感度不同，受损害程度也不同。因此，X射线能使人体在荧屏上或胶片上形成影像。X射线成像应用实例见图1.4。



(a) 胸部X射线成像

(b) 血管造影图像



(c) 头部CT图像

(d) 天鹅座圈

图1.4 X射线成像应用实例

1.3.3 紫外波段成像

在高压设备电气放电时，根据电场强度的不同，会产生电晕、闪络或电弧。在放电过程中，空气中的电子不断获得能量和释放能量。当电子释放能量(即放电)时，便会放出紫外线。紫外波段成像技术就是利用这个原理，接收设备放电时产生的紫外信号，经处理后与可见光影像重叠，显示在仪器的屏幕上，达到确定电晕的位置和强度的目的，从而为进一步评估设备的运行情况提供更可靠的依据。紫外波段成像应用实例见图1.5。

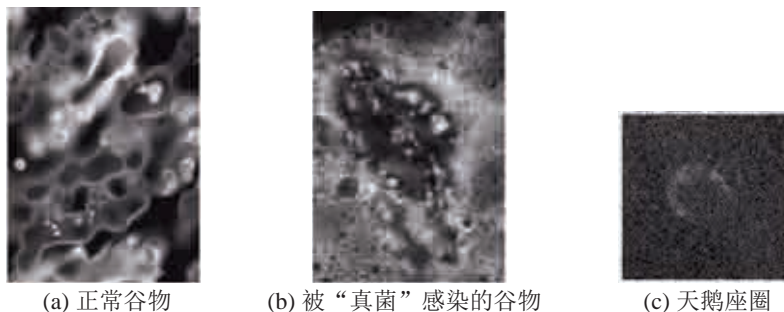


图1.5 紫外波段成像应用实例

1.3.4 可见光及红外线成像

可见光是电磁波谱中人眼可以感知的部分，可见光谱没有精确的范围。一般人的眼睛可以感知的电磁波的波长为400~760nm，但还有一些人能够感知波长为380~780nm 的电磁波。正常视力的人眼对波长约为555nm的电磁波最为敏感，这种电磁波处于光学频谱的绿光区域。人眼可以看见的光的范围受大气层影响。大气层对于大部分的电磁波辐射来讲都是不透明的，只有可见光波段和其他少数如无线电通信波段等例外。很多其他生物能看见的光波范围与人类不一样，例如包括蜜蜂在内的一些昆虫能看见紫外线波段，对于寻找花蜜有很大帮助。

图1.6、图1.7是几个利用光学显微镜获取图像的实例，实例涉及的范围包括药物和材料特性的显微检测。

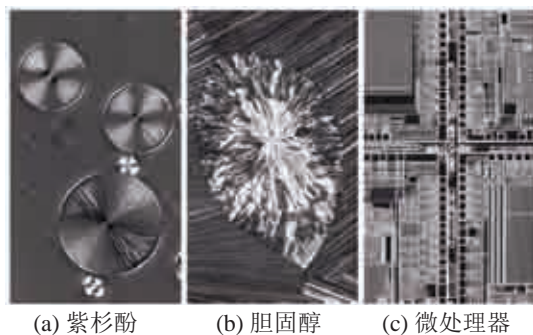
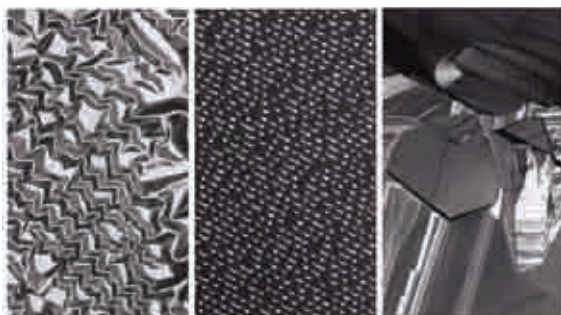


图1.6 光学显微镜成像实例(1)



(a) 氧化镍薄膜 (b) 音响光碟表面 (c) 有机超导体

图1.7 光学显微镜成像实例(2)

天气观测与预报是卫星多光谱图像的主要应用领域。图1.8是由海洋大气管理局的卫星用可见光及红外光传感器取得的飓风图像，在这幅图像中飓风眼清晰可见。

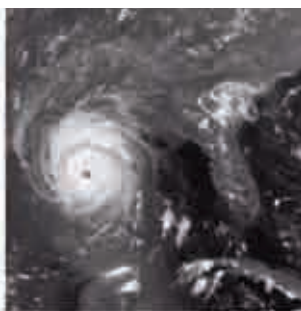
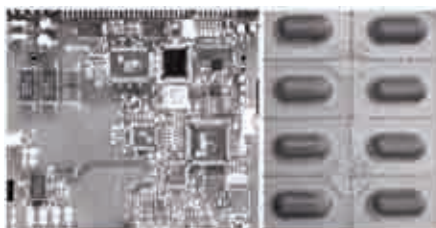
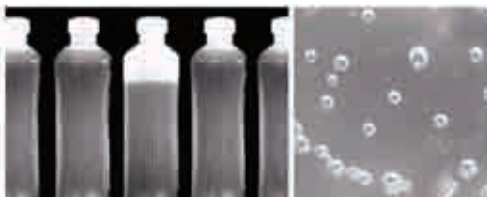


图1.8 飓风的多光谱成像实例

在可见光谱中，一个很重要的成像领域是生产产品的自动视觉检测。图1.9、图1.10提供了一些实例，包括检测电路控制板中丢失的部件、丸剂胶囊中缺少的药丸、瓶子中装水量是否达标、一个干净的塑料部件内带有不可接受的气泡数量、谷物异常(如变黑的叶子)等现象。



(a) 电路控制板 (b) 丸剂胶囊



(c) 瓶装液体 (d) 塑料部件中的气泡

图1.9 工业检测产品实例(1)

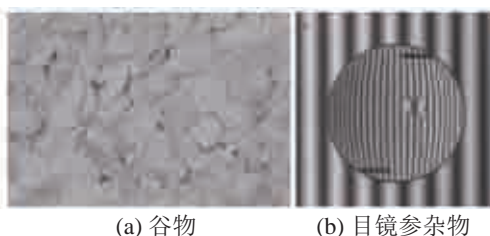


图1.10 工业检测产品实例(2)

可见光谱成像的应用处理还有一些其他实例，如图1.11所示，包括指纹图像的匹配，纸币图像的自动计数、系列号读取，汽车牌照图像的读取。其中，图像系统在亮方块指定的区域内检测该平面，在黑方块区域内显示系统自动读取内容的结果。牌照和其他字符识别的应用广泛用于交通监测和监视中。



图1.11 可见光谱成像实例

红外成像技术是一项前景广阔的高新技术。位于可见光光谱红色以外，比 $0.78\mu\text{m}$ 长的电磁波称为红外线，又称红外辐射。红外线波长范围是 $0.78\sim 1000\mu\text{m}$ ，其中波长为 $0.78\sim 2.0\mu\text{m}$ 的部分称为近红外线，波长为 $2.0\sim 1000\mu\text{m}$ 的部分称为热红外线。自然界中，一切物体都可以辐射红外线，因此利用探测仪测量目标本身与背景间的红外线差可以得到由不同的热红外线形成的红外图像。红外卫星成像实例见图1.12。



图1.12 美洲的红外卫星成像实例

1.3.5 微波波段成像

微波成像是以微波作为信息载体的一种成像手段，实质属于电磁逆散射问题。由于它既要用被成像目标散射的幅度信息，也要用它的相位信息，因此也称为微波全息成像。它的原理是用微波照射被测物体，然后通过物体外部散射场的测量值来重构物体的形状或介电常数分布。微波雷达成像实例见图1.13。

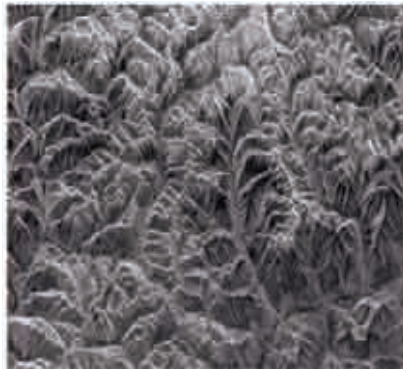


图1.13 西藏东南山区微波雷达成像实例

1.3.6 无线电波成像

无线电波成像又称射频成像。将高频发射机置于钻孔或坑道中，由它发射的高频电磁波通过地下岩石介质向四周传播。如在传播过程中遇到具有不同电学性质的矿体时，电磁波的传播规律将发生改变。在不同电性介质的分界面上，电磁波的能量有一部分被反射回来，称为反射波；另一部分穿过界面，在矿体中穿行，称为透射波。若用接收机接收反射回来的电磁波，并根据测量结果推断矿体存在与否，便为无线电波反射法。若测量的是穿过矿体的那部分电磁波，并根据矿石与岩石吸收电磁波能量的差异来推断矿体存在与否，便为无线电波透视法。如果测量反射波和直达波相干涉的信号，并根据干涉规律来推断地质情况，则称为无线电波干涉法。若发射和接收均在地面，可用反射波法和干涉波法。这些方法统称为无线电波法。根据无线电波法测量的结果绘出测区内的地质结构图像，称为无线电波成像。无线电波成像实例见图1.14。

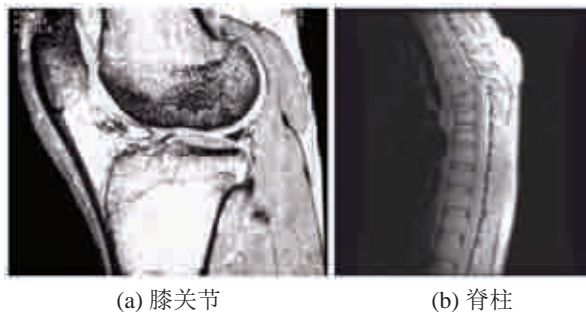


图1.14 无线电波成像实例

上述几种成像方法的实例对比，见图1.15。

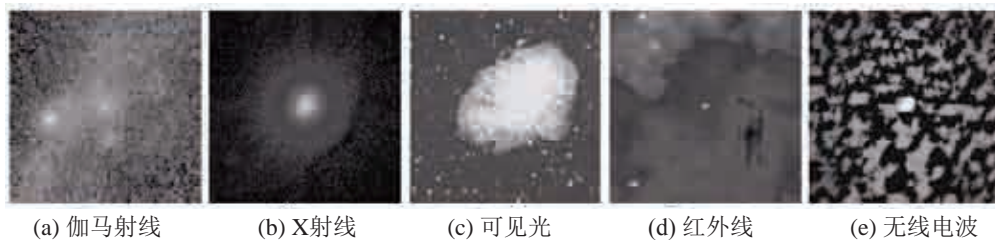


图1.15 蟹状星云脉冲星成像实例

1.3.7 其他图像模式应用实例

下面将介绍其他几种重要的图像模式，包括声波成像、电子显微镜成像和计算机合成成像。

能够在听觉器官引起声音感觉的波动称为声波。声波成像是基于传声器阵列测量技术，通过测量一定空间内的声波到达各传声器的信号相位差异，依据相控阵原理确定声源

的位置，测量声源的幅值，并以图像的方式显示声源在空间的分布，即取得空间声场分布云图，其中以图像的颜色和亮度代表声音的强弱。人类能够感觉到的声波频率范围为20~20 000Hz。频率超过20 000Hz，人的感觉器官感觉不到的声波，叫做超声波。超声成像常用于医学，特别是妇产科，图1.16给出了几个实例。

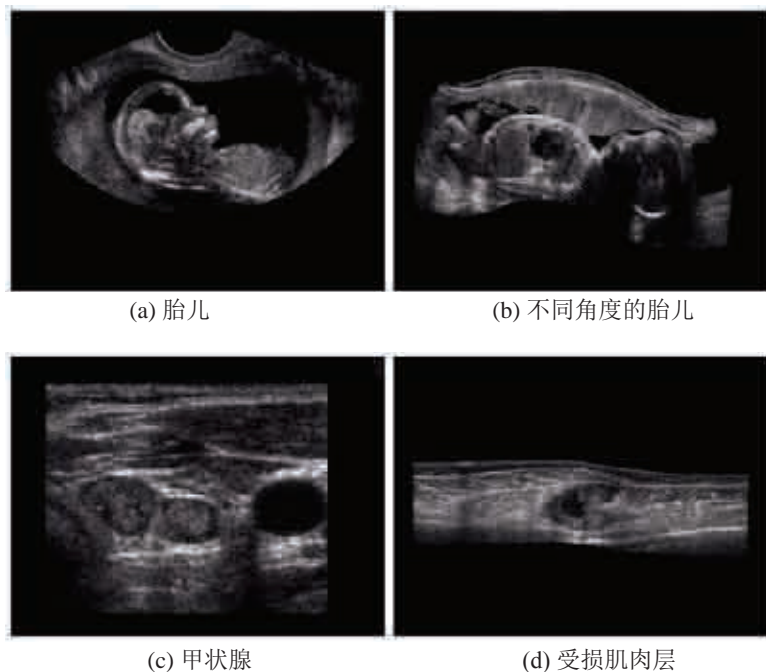


图1.16 超声成像实例

电子显微镜是根据电子光学原理，用电子束和电子透镜代替光束和光学透镜，使物质的细微结构在非常高的放大倍数下成像的仪器。该仪器以非摄影方式获取微观世界的影像。波长愈短，显微镜的放大能力愈强，其最大放大倍率超过300万倍，而光学显微镜的最大放大倍率约为2000倍，所以通过电子显微镜就能直接观察到某些重金属的原子和晶体中排列整齐的原子点阵。电子显微镜的分辨率虽已远胜于光学显微镜，但电子显微镜因需在真空条件下工作，所以很难观察活的生物，而且电子束的照射也会使生物样品受到辐照损伤。图1.17显示了由于热过载造成损坏成像实例。

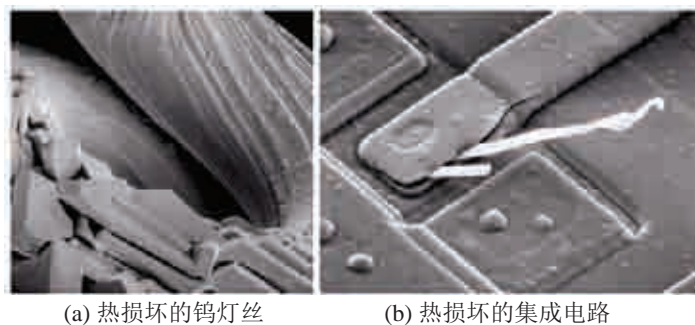


图1.17 热过载造成损坏成像实例

分形是一种很有影响力的计算机合成图像例子，它是根据某些数学定律对一个基本模式的迭代复制。从整体上看，分形几何图形是处处不规则的。例如，海岸线和山川形状，从远距离观察，其形状是极不规则的。但在不同尺度上，图形的规则性又是相同的。上述海岸线和山川形状，从近距离观察，其局部形状又和整体形态相似，它们从整体到局部都是自相似的。当然，也有一些分形几何图形，它们并不完全是自相似的。其中一些是用来描述一般随机现象的，还有一些是用来描述混沌和非线性系统的。分形图广泛应用于多个领域，例如，工程、设计布局、设计素材、器型设计、印刷品等。

分形图中的几何形状可以是任意的，如图1.18所示。分形图像朝着艺术的、根据某一规则的子图像元素生长的数学表示方向发展，借助于计算机更结构化的图像生成研究，依赖于三维模型。这是一个在图像处理和计算机图形学之间提供了重要交叉的领域，也是许多三维可视化系统的基础。

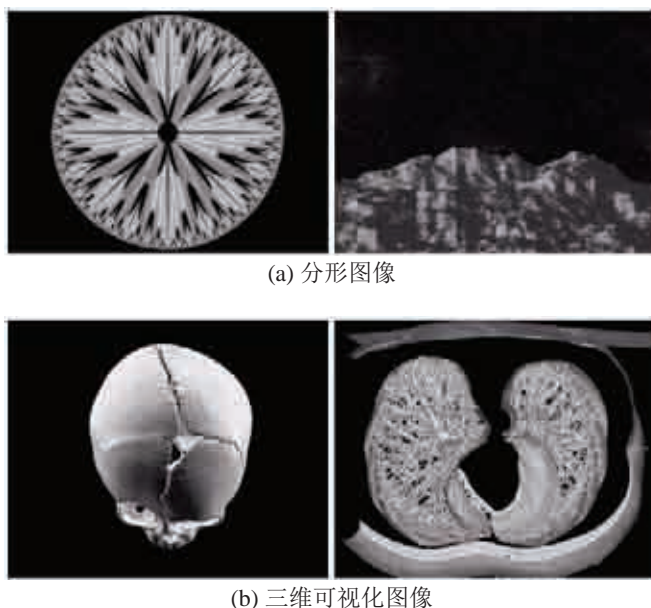


图1.18 计算机合成成像实例

1.4 数字图像处理的基本步骤

图像采集是数字图像处理的第一步，该方向研究涉及数字图像来源、比例尺设置等预处理。后续的图像处理分别涉及图像增强、图像复原、图像压缩、图像分割、表示和描述、目标识别等操作。

图像增强是数字图像处理最简单且最有吸引力的领域。图像增强的目标是显现那些被模糊了的细节或简单地突出一幅图像中令人感兴趣的特征。图像增强的典型实例是图像的对比度增强。图像增强技术的研究要借助一些数学工具，例如傅里叶变换、拉氏变换等。

图像复原也是改善图像表现效果的一个重要研究领域。它与图像增强的本质性区别是，前者是客观的处理，而后者是主观的处理。从某种意义上说，复原技术倾向于以图像退化的数学或概率模型为基础，而增强技术以怎样构成好的增强效果这种主观偏爱为基础。

图像压缩是减少图像的存储量，或者在传输图像时降低频带的技术。虽然数据存储技术目前已有许多显著性的研究成果，但传输能力尚有待进一步改善，尤其在图像数据的网络传输方面更是如此。互联网是以大量的图片内容为特征的。图像压缩技术对应的图像文件扩展名对大多数计算机用户来说是很熟悉的，如JPG文件扩展名用于JPEG(联合图片专家组)图像压缩标准。

图像分割是将一幅图像划分为组成部分或目标物的处理。通常自主分割是数字图像处理中较为困难的任务之一，目前还没有一种适合分割任意类型数字图像的通用方法。图像分割的精度会严重影响后续的目标识别工作。图像分割输出的通常是区域的边缘(区分一个图像区域和另一个区域的像素集)或者区域本身的所有点。

图像分割的后续处理通常为表示与描述，即将图像数据转换成适合计算机处理的形式。首先，需确定图像数据表示的是区域边界还是整个区域。对于外部形状特性(如拐角和曲线)，适合用区域边界表示；而对于内部特性(如纹理或骨骼形状)，适合用整个区域表示。在某些应用中，这些表示方法是互补的。选择一种表示方式仅是解决把原始数据转换为适合计算机后续处理的形式的一部分。为了描述数据以使感兴趣的特征更明显，还必须确定一种描述方法。描述又称特征选择，涉及提取特征。该特征是某些感兴趣的定量信息或是区分一组目标与其他目标的基础，而后续的图像识别处理则是基于目标的描述给目标赋以符号的过程。

在数字图像处理中，先验知识及知识库与各处理模块之间具有交互性关系。关于问题域的知识以知识库的形式被编码装入一个图像处理系统。这一知识可以是图像细节区域，在这里感兴趣的信息被定位，这样限制性的搜索就被引导到要寻找的信息处。知识库也可以是一些复杂信息，如材料检测问题中所有主要缺陷的相关列表或者图像数据库(该库包含变化检测应用相关区域的高分辨率卫星图像)。除了引导每一个处理模块的操作，知识库还控制了模块间的交互。数字图像处理的基本步骤见图1.19。

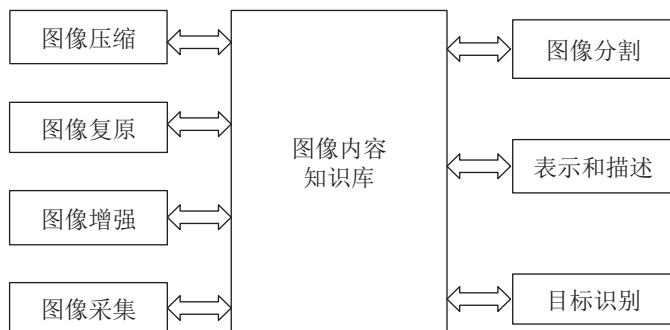


图1.19 数字图像处理的基本步骤

1.5 图像处理系统的部件

图像处理系统是用于图像信息数字处理及数字制图的设备系统，包括图像处理硬件和图像处理软件两大部分。

1. 图像处理硬件

随着数字计算机性能价格比的提高，计算机图像处理系统得到迅速发展和普及。主机为PC，配以图像采集卡、显示设备和丰富的图像处理软件，构成了基本的计算机图像处理系统。计算机图像处理硬件系统主要由图像输入设备、图像运算处理设备(微计算机)、图像储存器、图像输出设备等组成。软件系统包括操作系统、控制软件及应用软件等。较完整的数字图像处理系统结构框图如图1.20所示，它由输入设备、交换控制设备、存储设备、输出设备组成。下面，我们对其中较为重要的部分进行说明。

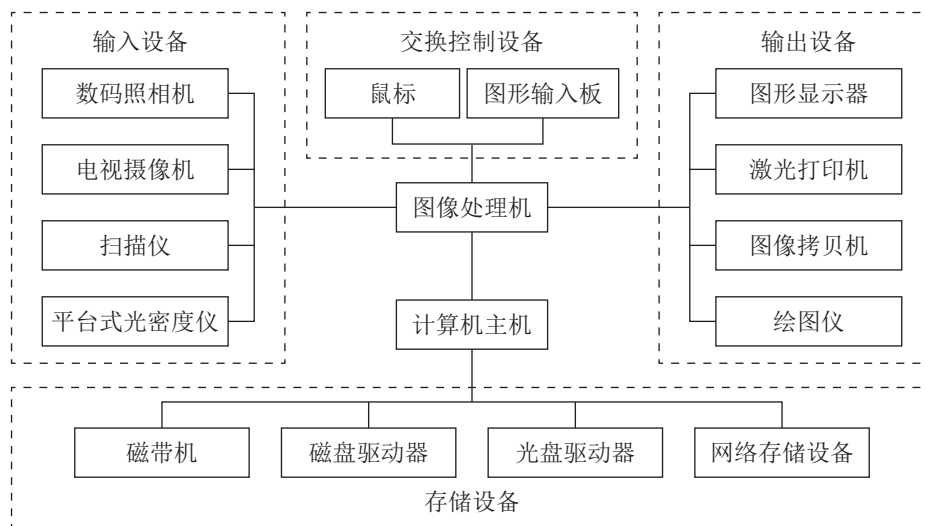


图1.20 数字图像处理系统结构框

1) 图像输入设备

图像输入设备是图像处理的信号来源，完成将光学图像转换成模拟电图像的过程。数字化图像输入设备进一步将模拟电图像进行数字化，以便于介质存储和计算机处理。根据不同的需求，输入设备有以下几种类型。

光-机械式——激光扫描仪、光学读入器、微密度计等。

电子束式——电视摄像管、飞点扫描仪、彩色飞点扫描仪等。

固态器件——以电荷耦合器件为主体的输入设备(CCD摄像机)得到广泛的应用，它具有空间分辨率高、位置线性好、体积小等优点。另外，它与电子束式摄像机相比，突出的优点是能在低照度下工作。

图像输入设备通常会引入噪声，其噪声指标是影响图像处理系统工作的关键指标。因此，任何图像处理系统都会为去除噪声做许多工作。例如，高档相机的低噪声性使图像的灰

度分辨率提高,从而获得图像中的微弱灰度变化信息。

2) 图像存储器

为了适应图像的大数据量要求,输入图像、输出图像及中间结果图像必须用大容量存储介质进行存储。大容量硬盘、磁带等磁存储设备,CD-ROM、CD-RW等光学存储装置,以及存储区域网(Storage Area Network, SAN)、网络附属存储(Network Attached Storage, NAS)等网络存储系统,为海量图像数据存储提供了良好的支持。存储容量以字节(B)、千字节(KB)、兆字节(MB)、吉字节(GB)、太字节(TB)为单位。

3) 主机

主机即用于图像处理的计算机。由于图像数据量大、计算复杂度高,因而对系统硬件配置具有较高的要求。主机的配置主要反映在CPU、内存和硬盘等指标上。目前,主流个人计算机的配置已完全满足一般图像处理的要求。在专业应用场合可以选用图形工作站完成图像处理工作。为了完成图像处理工作,一些功能卡有时也是不可缺少的,主要包括图像采集卡、高速图像处理卡、显示卡等。

(1) 图像采集卡。图像采集卡是一种可以获取数字化视频图像信息,并将其存储和播放出来的硬件设备。很多图像采集卡能在捕捉视频信息的同时获得伴音,使音频部分和视频部分在数字化时同步保存、同步播放。采集卡主要包括摄像头A/D接口、帧存储器、监视器D/A接口和PC总线接口单元等。摄像头采集图像数据,经A/D变换后将图像存放在图像存储单元中,D/A变换电路自动将图像显示在监视器上。通过主机发出指令,将某一帧图像采集到帧存储器中,然后可对图像进行存盘或处理。

(2) 高速图像处理卡。通常在非实时的场合下,采用软件方案可以实现大部分图像处理的任务。但在工业生产现场、军事等实时应用领域,常常需要用图像处理专用硬件代替图像采集卡,对采集的图像进行实时处理并对其处理结果进行监控。

通过在图像采集卡上集成高性能的DSP芯片而构成高速图像处理卡,由DSP替代计算机的CPU进行图像处理。摄像机将捕捉到的视频信号输入ADC后,转换成数字视频信号,然后数字视频信号输入高速FIFO中。当FIFO中的数字视频数据快满时,DSP便将这些数据读入内部RAM中,进行数字视频信号的算法处理。DSP将最后的运算结果输入PCI总线控制器,PCI总线控制器再以DMA方式将运算结果传到主机的内存中。

(3) 显示卡。显示卡简称显卡,全称显示接口卡,是计算机最基本的配置,也是最重要的配件之一。显卡作为电脑主机里的一个重要组成部分,是电脑进行数模信号转换的设备,承担输出显示图形的任务。显卡接在电脑主板上,它将电脑的数字信号转换成模拟信号让显示器显示出来,同时显卡还有图像处理能力,可协助CPU工作,提高主机整体的运行速度。对于从事专业图形设计的人而言,显卡非常重要。

目前,PC机多采用SVGA标准显卡,相应的显示器可显示 800×600 个或 1024×768 个像素点,256色或24位真彩色。其中,24位真彩色指灰度值红、绿、蓝各占8位,共计 $2^{24}=16\,777\,216$ 种颜色。

4) 显示器及图像输出设备

图像输出设备是计算机硬件系统的终端设备,用于接收计算机数据并实现输出显示、

打印等操作,把各种计算结果数据或信息以图像形式表现出来。常见的输出设备有显示器、打印机、绘图仪、影像输出系统等。

(1) 显示器。显示器又称监视器,是与主机相连接的终端设备,是实现人机对话的主要工具,同时也是一种必不可少的图像输出设备。通过显示器用户可以随时观察图像处理的中间结果和最终结果。常用的显示器主要有两种类型,一种是阴极射线管(Cathode Ray Tube, CRT)显示器,用于一般的台式机;另一种是液晶(Liquid Crystal Display, LCD)显示器,用于便携式微机。按颜色区分显示器又可分为黑白显示器和彩色显示器。黑白显示器既可显示键盘输入的命令或数据,也可显示计算机数据处理结果。彩色显示器又称图形显示器。它有两种基本工作方式:字符方式和图形方式。在字符方式下,显示内容以标准字符为单位,字符的字形由点阵构成,字符点阵存放在字形发生器中。在图形方式下,显示内容以像素为单位,屏幕上的每个像素均可由程序控制其亮度和颜色,因此能显示高质量的图形或图像。

显示器的分辨率分为高、中、低三种。分辨率的指标用屏幕上每行的像素数与每帧行数的乘积表示。乘积越大,像素点越小,数量越多,分辨率就越高,图形就越清晰。

(2) 打印机。打印机是将计算机的处理结果打印在纸张上的输出设备,即将计算机输出数据转换成印刷字体的设备。按物理结构划分,打印机可分为击打式和非击打式两类。按传输方式划分,可分为字符打印机、行式打印机和页式打印机。其中,击打式又分为字模式打印机和点阵式打印机;非击打式又分为喷墨印字机、激光印字机、热敏印字机和静电印字机。

微型计算机最常用的是点阵式打印机,又常称为针式打印机。点阵(针式)打印机的特点是结构简单、体积小、价格低、字符种类不受限制。

打印机有联机和脱机两种工作方式。联机是指与主机接通,能够接收及打印主机传送的信息。脱机是指切断与主机的联系。在脱机状态下,可以进行自检或自动进/退纸。这两种状态由打印机面板上的联机键控制。

(3) 绘图仪。绘图仪是计算机辅助制图和计算机辅助设计中广泛使用的一种外围设备。绘图仪一般由驱动电机、插补器、控制电路、绘图台、笔架、机械传动等部分组成。绘图仪除了必要的硬件设备之外,还必须配备丰富的绘图软件。只有软件与硬件结合起来,才能实现自动绘图。绘图仪的性能指标主要有绘图笔数、图纸尺寸、分辨率、接口形式及绘图语言等。

绘图仪的种类很多,按结构和工作原理可分为滚筒式和平台式。按绘图方式可分为跟踪式(如笔式绘图仪)和扫描式(如静电扫描绘图仪、激光扫描绘图仪、喷墨式扫描绘图仪等)。按机械结构可分为滚筒式和平台式两类。

绘图仪能按照人们的要求自动绘制图形。它可将计算机的输出信息以图形的形式输出,可绘制各种管理图表和统计图、大地测量图、建筑设计图、电路布线图、机械图、计算机辅助设计图等。最常用的是X-Y绘图仪。现代的绘图仪已向智能化发展,它自身带有微处理器,可以使用绘图命令,具有直线和字符演算处理以及自检检测等功能。

2. 图像处理软件

图像处理软件是用于处理图像信息的各种应用程序的总称。与其他信息处理系统相

同，图像处理的软件系统也是分层次的。

1) 图像设备驱动程序

上述各种图像处理硬件装置均需配置驱动程序才能正常工作。对普通用户而言，主要是安装问题，并不需要自主开发。为了避免用户对硬件了解的困难，Windows等操作系统提供了“即插即用”功能，以简化设备驱动程序开发和设备管理工作，使用户能够方便地添加或删除设备，并允许操作系统在无须用户干预的情况下按照硬件配置的改变进行自动调整，从而在每个设备和它的驱动程序之间建立通信信道。即插即用功能包括总线驱动程序、设备安装与配置程序以及从系统注册表中读写信息的自动操作。即插即用提供了对已安装硬件的自动识别、为指定设备驱动程序分配并维护资源、为即插即用系统提供适当接口、为设备事件登记提供相关代码等功能。

2) 操作系统

操作系统是图像处理系统最重要的系统软件，其他软件需要在操作系统的平台上运行。操作系统主要依赖于主机的种类。常见的操作系统有三类。

(1) IBM PC及其兼容机一般使用Microsoft Windows操作系统。该系统是一种单用户实时闭源操作系统。

(2) Apple Macintosh机一般使用Mac OS X操作系统。该系统是一种分时闭源操作系统。

(3) 图形工作站一般使用UNIX或X Windows 操作系统。

3) 图像处理开发工具

图像处理系统的主流开发工具有Visual C++和MATLAB的图像处理工具箱。两种开发工具各有所长且相互间有软件接口。

(1) Visual C++面向对象可视化集成工具。Visual C++(简称VC++或VC)是Microsoft公司推出的以C++语言为基础的开发环境程序，是一种面向对象的可视化集成编程系统。它不但具有程序框架自动生成、灵活方便的类管理、代码编写和界面设计集成交互操作、可开发多种程序等优点，而且可使其生成的程序框架支持数据库接口、OLE2.0、WinSock网络、3D控制界面。

由于图像格式多且复杂，为了使程序员将主要精力放在特定问题的图像处理算法上，Visual C++ 6.0以上版本提供的动态链接库ImageLoad.dll支持BMP、JPG、TIF等常用的6种格式图像的读写功能。该动态链接库共有22个函数，其中18个函数与图像文件的读写操作有关，这些函数分为三类：Load函数用于读入图像文件，Save函数用于保存图像文件，Get函数用于获取图像文件的相关信息。

(2) MATLAB的图像处理工具箱。MATLAB是美国MathWorks公司推出的商业数学软件。该软件主要面向科学计算、可视化以及交互式程序设计等高科技计算环境。它将数值分析、矩阵计算、科学数据可视化以及非线性动态系统的建模和仿真等诸多强大功能集成在一个易于使用的视窗环境中，为科学研究、工程设计以及必须进行有效数值计算的众多科学领域提供了一种全面的解决方案，并在很大程度上摆脱了传统非交互式程序设计语言(如C、Fortran)的编辑模式，代表了当今国际科学计算软件的先进水平。

MATLAB图像处理工具箱涵盖了在工程实践中经常遇到的图像处理手段和算法，如

图形句柄、图像的表达、图像变换、二维滤波器、图像增强、二叉树分解域边缘检测、二值图像处理、小波分析、分形几何、图形用户界面等。但是，MATLAB软件仍存在一些不足之处。首先，它的功能只能在安装MATLAB系统的机器上使用图像处理工具箱中的函数或自编函数文件来实现；其次，MATLAB使用行解释方式执行代码，执行速度很慢；最后，MATLAB擅长矩阵运算，但对于循环处理和图形界面的处理不及C++等语言。为此，通用程序接口(API)和编译器与其他高级语言(如C、C++、Java等)混合编程将会发挥各种程序设计语言之长，协调完成图像处理任务。API支持MATLAB与外部数据及程序的交互。编译器产生独立于MATLAB环境的程序，从而使其他语言的应用程序能够使用MATLAB。

(3) 图像应用软件。图像应用软件是可直接供用户使用的商品化软件。用户从使用功能出发，只要了解软件的操作方法就可以完成图像处理的任务。对大部分用户来说，商品化的图像应用软件无须用户进行编程，操作方便，功能齐全，因此得到了广泛应用。其中，Adobe Photoshop拥有较大的用户数量。

Adobe Photoshop简称“PS”，是一种最常用的图像处理应用软件，它主要处理以像素为单位的数字图像。用户使用其众多的编修与绘图工具，可以有效地进行图片编辑工作。PS有很多功能，在图像、图形、文字、视频、出版等各方面都有涉及。2003年，Adobe Photoshop 8被更名为Adobe Photoshop CS。2013年7月，Adobe公司推出了新版本的Photoshop CC。自此，Photoshop CS6作为Adobe CS系列的最后一个版本被新的CC系列取代。截至2016年1月，Adobe Photoshop CC 2015为市场最新版本。Adobe支持Windows操作系统、安卓系统与Mac OS，但Linux操作系统的用户需要通过使用Wine来运行Photoshop。

高版本的Photoshop支持多达20多种图像格式和TWAIN接口，接受一般扫描仪、数码相机等图像输入设备采集的图像。Photoshop支持多图层的工作方式，这是Photoshop的最大特色。使用图层功能可以很方便地编辑和修改图像，使平面设计充满创意。利用Photoshop还可以方便地对图像进行各种平面处理、绘制简单的几何图形、对文字进行艺术加工、进行图像格式和颜色模式的转换、改变图像的尺寸和分辨率、制作网页图像等。

练习题

1. 使用关键字描述各种成像方式的原理及其主要应用领域。
2. 简述数字图像处理的基本步骤及各步骤的主要任务。
3. 图像处理可分为哪三个阶段？它们是如何划分的？各有什么特点？
4. 数字图像与连续图像相比具有哪些优点？它们有何联系和区别？