

数字图像处理 技术及应用

Digital Image Processing
Technique and Application

孙正 编著



附带相关电子资源及源文件

<http://www.cmbook.com>



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

数字图像处理技术及应用

孙 正 编著



机械工业出版社

本书从工程应用的角度出发,介绍了数字成像及其图像的计算机后处理的基础理论和实用技术,以及近年来该领域的最新研究成果,全书注重理论,突出实用,共分为六章,主要内容包括数字图像发展概况,研究内容及图像识别等;X射线冠状动脉造影图像、超声图像及光学相干断层图像成像及后处理的主要方法和技术;虚拟冠状动脉内窥镜技术的原理和应用实例以及光声成像的原理和研究现状等。每章都包含多个工程应用实例,且各章的理论和技術具有一定的相关性和独立性。

本书结构紧凑,内容深入浅出,讲解图文并茂,可作为电子信息工程和生物医学工程等相关专业研究生的参考用书,也可供从事数字成像研究等相关领域的科技工作者、工程技术人员和学员等参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理技术及应用 / 孙正编著. —北京:机械工业出版社, 2015. 11
ISBN 978-7-111-53688-8

I. ①数… II. ①孙… III. ①数字图像处理 IV. ①TN911.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 095596 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:尚晨 责任校对:张艳霞

责任印制:李洋

三河市国英印务有限公司印刷

2016 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·19 印张·470 千字

0001-2000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-53688-8

定价:49.00 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

服务咨询热线:(010)88379833

读者购书热线:(010)88379649

封面防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

前 言

随着计算机技术、微电子技术和图像处理技术的飞速发展,数字图像处理、分析与识别技术在生物医学工程和临床医学等应用领域受到广泛重视并取得了重大的开拓性成就。

由于数字心血管图像的数据量巨大,且图像通常受噪声污染严重,对比度低,存在多种影响视觉效果的外观。若由医生手动完成对图像的分析 and 解读(包括找出存在病变的图像、提取血管壁内外膜(包含斑块)的边缘、对血管腔、血管壁和斑块组织的形态进行定量测量以及分析斑块成分等),将是一项非常烦琐的工作,而且结果易受操作者的专业知识和临床经验影响。利用先进的计算机技术和图像处理技术,对心血管图像进行自动分析和处理,可获得精确、客观、可重复性高的分析结果。

本书主要介绍数字图像(包括X射线造影、超声、OCT、光声成像等)的成像原理和计算机后处理技术的基础理论和实用算法,以及近年来该领域的相关最新研究成果。全书分为6章,每章都结合对临床图像的具体实例叙述其相关的理论和算法。

第1章介绍数字图像处理的概念与分类、发展概况、基本特点图像识别及医学图像处理的应用等。

第2章结合实例介绍X射线冠状动脉造影图像的成像及后处理,包括图像的滤波去噪、图像分割(分割血管区域和提取血管腔轮廓及骨架)、形态参数(腔径、长度和容积、曲率、挠率、分支夹角等)的定量测量、运动参数的定量估计、三维重建、最佳造影视角的估算等。介绍上述内容的基本技术、研究现状和目前的发展趋势等。

第3章结合实例介绍超声图像的成像及后处理,主要包括图像的滤波去噪、图像分割(提取血管壁内外膜的轮廓和斑块边缘)、形态参数的定量测量、斑块的自动识别和分类、伪影的去除、脱机门控、三维重建、血流动力学参数的定量测量、血管组织定征显像、与其他图像的融合等。介绍上述内容的基本技术、研究现状和目前的发展趋势等。

第4章结合实例介绍光学相干断层扫描图像的成像及后处理,主要包括图像分割(提取血管壁轮廓和斑块边缘)、抑制运动伪影、回顾性脱机门控以及与超声图像的配准和融合等。介绍上述内容的基本技术、研究现状和目前的发展趋势等。

第5章介绍融合多种成像方法的冠状动脉虚拟内窥镜技术,包括该技术的原理、典型方法和应用实例等。

第6章介绍新兴的内光声成像技术的原理、研究现状、主要的图像重建算法以及目前存在的问题等。

本书各章之间具有一定的相关性和独立性,每一章既相关邻域的研究综述,又提供了具体算法的原理和对临床数据的实验结果。可帮助读者了解数字成像技术的基本原理、图像后处理的典型方法和发展趋势,了解国内外相关领域的研究现状和一些最新研究成果与实用技术。

全书由孙正编写。徐智、黄家祥、胡春红和姜浩提供了第2章相关的图片资料。康元元、杨宇、郭晓帅、田美影、丁伟荣、韩少勤、刘存、刘冰茹、白桦、纪四稳、周雅、董

艺、李梦婵、王立欣、胡宏伟、苑园和韩朵朵等硕士研究生完成了书中的图表制作、文字录入编排和实验程序的编写调试等工作。另外，本书的出版得到了国家自然科学基金资助项目（编号：61372042）和中央高校基本科研业务费专项资金（项目号：2014ZD31）的资助，在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平与能力有限，书中难免存在错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

作者

目 录

前言

第1章 绪论	1	2.4 CAG图像中二维信息的提取	25
1.1 数字图像处理	1	2.4.1 区域的分割	25
1.1.1 图像的概念及分类	1	2.4.2 骨架的提取	27
1.1.2 数字图像处理的发展概况	2	2.4.3 骨架特征点的识别	28
1.1.3 数字图像处理的研究范畴	3	2.4.4 骨架树的拓扑结构描述	29
1.1.4 数字图像处理的基本特点	5	2.5 CAG图像中三维重建	30
1.1.5 数字图像处理与相关学科的关系	5	2.5.1 三维重建的目的和意义	31
1.1.6 数字图像处理的应用	6	2.5.2 造影成像系统的几何模型	32
1.2 图像识别	7	2.5.3 骨架点的三维重建	37
1.2.1 系统的基本构成	8	2.5.4 两个视角之间对应点的匹配	37
1.2.2 研究现状	9	2.5.5 骨架的三维重建	40
1.2.3 应用现状	10	2.5.6 表面的三维重建	43
1.3 医学图像处理技术概述	10	2.5.7 三维重建的误差及评价方法	51
第2章 X射线冠状动脉造影及图像的后处理	12	2.6 冠状动脉形态参数的定量测量	52
2.1 X射线造影概述	12	2.7 感兴趣血管段最佳造影视角的选取	55
2.1.1 X射线成像的基本原理	12	2.7.1 感兴趣血管段最佳视角的定义	55
2.1.2 X射线的衰减和对比度	14	2.7.2 感兴趣血管段的投影缩短百分比	57
2.1.3 X射线图像的特点	15	2.7.3 满足感兴趣血管段最小投影缩短造影角度的计算	59
2.1.4 X射线血管造影	16	2.7.4 满足感兴趣血管段最小遮盖造影角度的计算	62
2.1.5 数字减影血管造影	17	2.8 二维运动跟踪和估计	64
2.2 X射线冠状动脉造影	18	2.8.1 冠脉运动估计的目的和意义	64
2.2.1 成像原理	18	2.8.2 CAG图像中的运动跟踪	66
2.2.2 冠脉造影系统的分类	19	2.8.3 基于光流场的运动估计	71
2.2.3 造影角度	20	2.8.4 基于弹性配准的运动估计	79
2.2.4 造影系统的标定	21	2.9 三维运动跟踪和估计	82
2.2.5 冠状动脉造影的临床应用	22		
2.2.6 冠状动脉狭窄的衡量	23		
2.3 CAG图像的预处理	24		
2.3.1 CAG图像的噪声及去噪	24		
2.3.2 造影图像的畸变校正	24		

2.9.1 CAG 图像序列中三维运动跟踪	83	3.6.5 组织纹理特征的分类	143
2.9.2 三维运动估计	88	3.7 超声图像的检索和配准	146
2.9.3 三维运动参数的计算和符号描述	93	3.7.1 IVUS 关键帧的自动检索	146
参考文献	100	3.7.2 含钙化帧的弹性配准	149
第3章 超声成像及图像的后处理	105	3.8 冠状动脉内超声图像序列中运动伪影的抑制	157
3.1 超声成像的原理	105	3.8.1 ICUS 图像序列中运动伪影的产生机制和表现形式	157
3.1.1 超声成像基础	105	3.8.2 心电门控方法	158
3.1.2 人体组织的回声类型	105	3.8.3 基于图像的回顾性脱机门控方法	160
3.1.3 超声成像的种类	106	3.8.4 直接抑制运动伪影的方法	167
3.2 超声成像技术和设备	107	3.9 三维重建	169
3.2.1 超声成像系统的主要构成	107	3.9.1 X 射线造影图像中导管路径的三维重建	171
3.2.2 超声成像原理	109	3.9.2 确定各帧 IVUS 图像的轴向位置	172
3.2.3 超声的临床应用	109	3.9.3 确定各帧 IVUS 图像的空间方向	172
3.3 超声图像的特点	112	3.9.4 腔内外表面的拟合	175
3.3.1 单帧 IVUS 图像的特点	112	3.10 形态参数的定量测量	176
3.3.2 IVUS 图像序列的特点	115	3.10.1 长度和局部曲率	176
3.3.3 IVUS 图像中的伪影	115	3.10.2 横截面积	177
3.4 超声图像的降噪	117	3.10.3 容积	177
3.4.1 中值滤波	117	3.10.4 斑块的体积和厚度	178
3.4.2 高斯滤波	117	3.11 流动规律参数的估算	180
3.4.3 各向异性扩散滤波	118	3.11.1 基于三维血管模型的血管壁局部应力应变的估算	181
3.5 超声图像的分割	120	3.11.2 基于 IVUS 图像的血管壁局部应力应变的估算	183
3.5.1 现有方法分类	120	3.12 形态参数与流动规律及参数的关系	184
3.5.2 基于 snake 模型的二维分割方法	121	3.12.1 斑块分布与血管曲率之间的关系	184
3.5.3 模式识别类方法	122	3.12.2 斑块分布与血管壁剪应力之间的关系	184
3.5.4 三维分割方法	124	3.13 组织定征显像	184
3.5.5 基于 snake 模型的三维分割方法	124	3.13.1 虚拟组织成像	185
3.5.6 问题与展望	129	3.13.2 弹性图	186
3.6 超声图像的组织标定	129	参考文献	187
3.6.1 现有方法的分类	130		
3.6.2 斑块纹理特征的提取和描述	131		
3.6.3 分叉纹理特征的提取和描述	139		
3.6.4 支架纹理特征的提取和描述	139		

第4章 光学相干断层成像及其图像的后处理	195	5.2.1 VRML 基本概念	238
4.1 光学相干断层成像	195	5.2.2 VRML 的功能和执行模式	239
4.1.1 OCT 的成像原理	196	5.2.3 VRML 编辑器和浏览器	240
4.1.2 OCT 的成像技术	197	5.3 虚拟内窥镜技术简介	241
4.1.3 OCT 的临床应用	198	5.3.1 基本原理	241
4.1.4 OCT 与超声的比较	199	5.3.2 研究现状	242
4.1.5 OCT 技术存在的不足	200	5.3.3 主要特点	243
4.2 OCT 图像的特点	201	5.3.4 技术要点	244
4.2.1 OCT 图像的特点	201	5.4 冠状动脉虚拟内窥镜技术	245
4.2.2 OCT 图像中的伪影	202	5.5 基于 CAG、IVUS 和 IV-OCT 图像融合的冠状动脉虚拟内窥镜	248
4.3 OCT 图像的分割	205	5.5.1 虚拟场景下血管腔的表面拟合和显示	249
4.4 冠状动脉内 OCT 图像序列中运动伪影的抑制	206	5.5.2 三维血管模型的交互式可视化	250
4.4.1 抑制 IC-OCT 图像运动伪影的主要方法	206	5.6 虚拟支架植入	254
4.4.2 基于平均帧间差异度的门控方法	207	5.6.1 建立虚拟支架库	256
4.4.3 基于运动分量补偿的直接抑制方法	212	5.6.2 查看及选择支架	259
4.5 超声与 OCT 图像的配准与融合	217	5.6.3 模拟支架植入	259
4.5.1 图像配准基础理论	218	5.6.4 血管支架与血管壁交互的有限元分析	260
4.5.2 图像融合基础理论	219	参考文献	264
4.5.3 图像融合的主要方法	223	第6章 光声成像技术	268
4.5.4 超声和 OCT 图像融合的研究现状	223	6.1 光声成像及其在生物学中的应用	268
4.5.5 基于特征点的 IVUS 与 IV-OCT 图像配准	224	6.1.1 光声效应	268
4.5.6 基于 Bandelet 变换的 IVUS 与 IV-OCT 图像融合	228	6.1.2 光声成像的原理	270
4.5.7 图像融合质量的评价	230	6.1.3 光声成像的优势	270
参考文献	232	6.1.4 典型的光声成像系统	271
第5章 基于多成像方法融合虚拟内窥镜技术	236	6.1.5 光声图像的重建	273
5.1 虚拟现实技术简介	236	6.1.6 光声效应和光声成像在生物学中的应用	273
5.1.1 虚拟现实技术的原理	236	6.2 光声成像	274
5.1.2 虚拟现实技术的特点和应用	238	6.2.1 IVPA 的成像原理	274
5.2 虚拟现实造型语言简介	238	6.2.2 热 IVPA 成像 (tIVPA)	275
		6.2.3 光谱 IVPA 成像 (sIVPA)	276
		6.2.4 分子 IVPA 成像	277
		6.2.5 冠状动脉支架的 IVPA 成像	278

6.2.6	IVPA 成像导管	279	6.4	光声图像的重建	285
6.2.7	IVPA 成像存在的问题与技术 难点	280	6.4.1	时间反演算法	286
6.3	光声图像的建模与仿真	281	6.4.2	滤波反投影算法	286
6.3.1	建立横截面模型	281	6.4.3	相控聚焦算法	287
6.3.2	仿真激光脉冲照射血管壁的 过程	283	6.4.4	基于傅里叶变换的重建算法	287
6.3.3	仿真多层血管壁组织产生的光声 信号	284	6.4.5	其他重建算法	287
6.3.4	重建横截面的 IVPA 图像	285	6.4.6	IVPA 图像重建存在的问题	289
			参考文献		289

第1章 绪 论

数字图像处理又称为计算机图像处理，它是指将图像信号转换成数字信号并利用计算机对其进行处理的过程。本章主要介绍数字图像处理的发展概况、研究内容以及与其他相关学科的关系，从而引出数字图像识别及数字图像处理在医学领域的研究内容。

1.1 数字图像处理

1.1.1 图像的概念及分类

图像是对客观对象的一种相似性的、生动的描述或表示。图像的种类很多，属性及分类方法也很多。从不同的视角看图像，其分类方法也不同。

(1) 按人眼的视觉特点对图像分类

按人眼的视觉特点，可将图像分为可见图像和不可见图像。其中可见图像又包括生成图像（通常称为图形或图片，如图1-1所示）和光图像（如图1-2所示）两类。图形侧重于根据给定的物体描述模型、光照及想象中的摄像机的成像几何，生成一幅图或像的过程。光图像侧重于用透镜、光栅和全息技术产生的图像。我们通常所指的图像是后一类图像。不可见的图像包含不可见光（如X射线、红外线、紫外线、超声、磁共振等）成像和不可见量成像，如温度、压力及人口密度的分布图等。



图1-1 生成图像（图形）

(2) 按波段分类

按波段可将图像分为单波段、多波段和超波段图像。单波段图像在每个像素点只有一个亮度值；多波段图像上的每一个像素点具有不止一个亮度值，例如红、绿、蓝三波段光谱图像或彩色图像在每个像素具有红、绿、蓝三个亮度值，这三个值表示在不同光波段上的强度，人眼看来就是不同的颜色；超波段图像上每个像素点具有几十或几百个亮度值，如遥感图像等。

(3) 按空间坐标和明暗程度的连续性分类

按空间坐标和明暗程度的连续性，可将图像可分为模拟图像和数字图像。模拟图像的空间坐标和明暗程度都是连续变化的，计算机无法直接处理。数字图像是指其空间坐标和灰度均不连续、用离散的数字表示的图像，这样的图像才能被计算机处理。因此，数字图像可以理解为图像的数字表示，是时间和空间的非连续函数（信号），是由一系列离散单元经过量化后形成的灰度值的集合，即像素的集合。

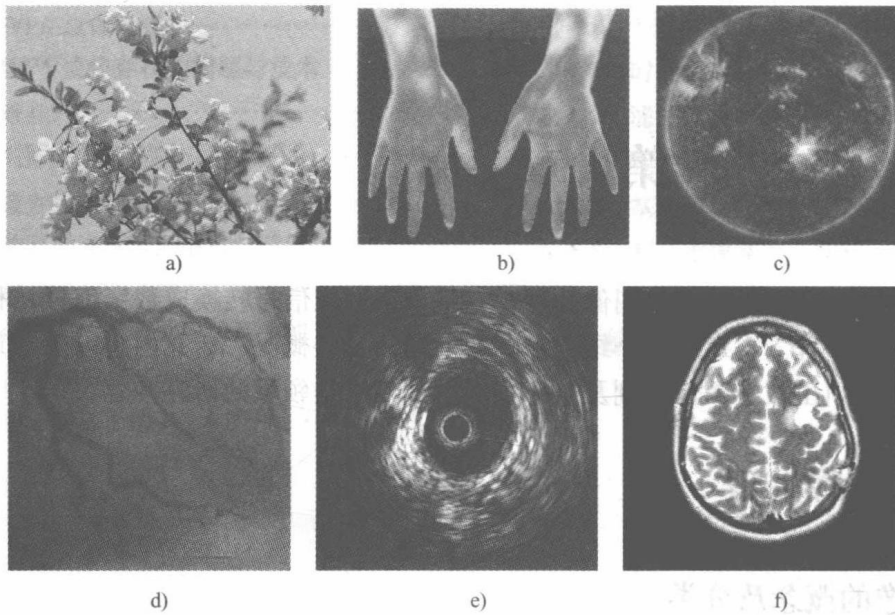


图 1-2 光图像

- a) 可见光图像 b) 红外线图像 c) 紫外线图像 d) X 射线血管造影图像
e) 血管内超声图像 f) 人脑磁共振图像

1.1.2 数字图像处理的发展概况

20 世纪 50 年代，人们开始利用电子计算机来处理图形和图像信息。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。早期图像处理的目的是提高图像的质量，改善图像的视觉效果，输入的是质量较低的图像，输出的是质量改善后的图像，常用的方法有图像增强、复原、编码、压缩等。首次获得实际成功应用的是 1964 年美国宇航局喷气推进实验室 (JPL) 对航天探测器“徘徊者 7 号”发回的几千张月球照片使用了图像处理技术，如几何校正、灰度变换、去除噪声等，并考虑了太阳位置和月球环境的影响，由计算机成功地绘制出月球表面地图。随后又对探测飞船发回的近十万张照片进行了更为复杂的图像处理，获得了月球的地形图、彩色图以及全景镶嵌图，为人类登月壮举奠定了坚实的基础，也推动了数字图像处理这门学科的发展。

20 世纪 60 年代到 70 年代，由于离散数学的创立和完善，使数字图像处理技术得到迅猛发展，理论和方法进一步完善，应用范围更加广阔。这一时期，数字图像处理取得的另一个巨大成绩是在医学上获得的成果。1972 年英国 EMI 公司工程师 Housfield 发明了用于头颅诊断的 X 射线计算机断层摄影装置 (Computer Tomography, CT)，它根据人头部截面的 X 射线投影，经计算机处理来重建截面图像。1975 年 EMI 公司又成功研制出可扫描全身的 CT 装置，获得了人体各个部位鲜明清晰的断层图像，1979 年这项无损伤诊断技术获得了诺贝尔奖。

与此同时，图像处理技术还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，例如航空航天、生物医学工程、工业检测、机器人视觉、公安司法、武器制导、文化艺术等，使图像处理成为一门引人注目、前景远大的新兴学科。

从 20 世纪 70 年代中期开始,随着计算机技术和人工智能、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。人们已经开始研究如何用计算机系统解释图像,实现类似人类视觉系统的功能来理解外部世界,这被称为图像理解或计算机视觉。其中代表性的成果是 20 世纪 70 年代末 Marr 提出的视觉计算理论,该理论成为计算机视觉领域其后十多年的主导思想。

图像的计算机处理和理解虽然在理论方法研究上已取得不小的进展,但因人类本身对自身的视觉过程的了解还不完全,因此仍然是一个有待进一步探索的新领域。

1.1.3 数字图像处理的研究范畴

图像是人类获取信息、表达信息和传递信息的重要手段。因此,数字图像处理技术已经成为信息科学、计算机科学、工程科学、地球科学等诸多领域的学者研究图像的有效工具。

1. 图像处理

所谓数字图像处理,就是利用计算机对数字图像进行的一系列操作,从而获得某种预期结果的技术。数字图像处理离不开计算机,因此又称为计算机图像处理。

数字图像处理的内容相当丰富,包括狭义的图像处理、图像分析(识别)与图像理解。狭义的图像处理着重强调在图像之间进行的变换,如图 1-3 所示,它是一个从图像到图像的过程,属于底层的操作。它主要在像素级进行处理,处理的数据量非常大。虽然人们常用图像处理泛指各种图像技术,但狭义图像处理主要指对图像进行各种加工,以改善图像的视觉效果,并为自动识别打基础,或对图像进行压缩编码,以减少所需存储空间或传输时间。它以人为最终的信息接收者,主要目的是改善图像的质量。主要研究内容包括图像变换、编码压缩、增强和复原、分割等。

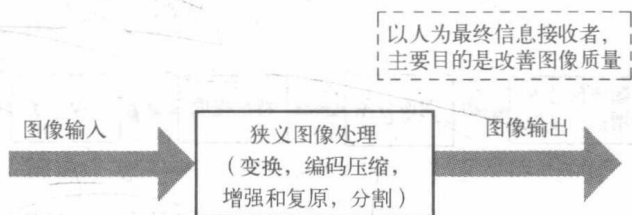


图 1-3 狭义图像处理

(1) 图像变换

由于图像阵列很大,直接在空间域中进行处理涉及的计算量很大。因此,往往采用各种图像变换方法,如傅里叶变换、离散余弦变换、哈达玛变换、小波变换等间接处理技术,将空间域的处理转化为变换域的处理,不仅可以减少计算量,而且可获得更有效的处理。

(2) 图像的压缩编码

图像压缩编码技术可减少用于描述图像的数据量(即比特数),以便节省图像传输和处理的时间,并减少存储容量。压缩可以在不失真的前提下获得,也可以在允许的失真条件下进行。编码是压缩技术中最重要的方法,它在图像处理技术中是发展最早且比较成熟的技术。

(3) 图像的增强和复原

图像增强和复原技术的目的是为了提高图像的质量,如去除噪声,提高清晰度等。其中

图像增强不考虑图像降质的原因，目的是突出图像中所感兴趣的部分。如果强化图像的高频分量，可使图像中物体的轮廓清晰，细节明显。强调低频分量则可减少图像中噪声的影响。图像复原要求对图像降质（或退化）的原因有一定的了解，建立降质模型，再采用某种方法，如去除噪声、干扰和模糊等，恢复或重建原来的图像。

(4) 图像分割

图像分割是将图像中有意义的特征（如图像中物体的边缘、区域等）提取出来，是进一步进行图像识别、分析和理解的基础。虽然目前已研究出不少边缘提取、区域分割的方法，但还没有一种普遍适用于各种图像的有效方法。因此，对图像分割的研究还在不断深入之中，是目前图像处理研究的热点之一。

2. 图像分析

图像分析是对图像中感兴趣的目标进行检测和测量，从而建立对图像的描述。它以机器为对象，目的是使机器或计算机能自动识别目标。

图像分析是一个从图像到数值或符号的过程，主要研究用自动或半自动装置和系统，从图像中提取有用的测度、数据或信息，生成非图像的描述或者表示。它不仅给景物中的各个区域进行分类，还要对千变万化和难以预测的复杂景物加以描述。因此，常依靠某种知识来说明景物中物体与物体、物体与背景之间的关系。目前，人工智能技术正在被越来越普遍地应用于图像分析系统中，进行各层次控制和有效地访问知识库。

如图 1-4 所示，图像分析的内容包括特征提取、符号描述、目标检测、景物匹配和识别等。它是一个从图像到数据的过程，数据可以是对目标特征测量的结果，或是基于测量的符号表示，它们描述了图像中目标的特点和性质，因此图像分析可以看作是中层处理。

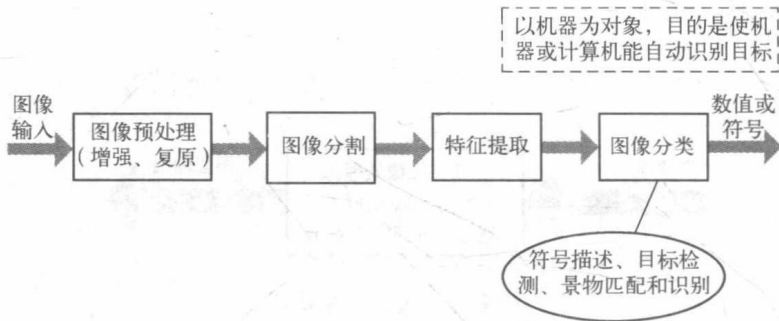


图 1-4 图像分析流程图

3. 图像理解

利用计算机系统解释图像，实现类似人类视觉系统的功能来理解外部世界，被称为图像理解或计算机视觉，有时也叫做景物理解。正确地理解要有知识的引导，因此图像理解与人工智能等学科有密切联系。

图像理解是由模式识别发展起来的，输入的是图像，输出的是一种描述，如图 1-5 所示。这种描述不仅仅是单纯的用符号做出详细的描述，而且要利用客观世界的知识使计算机进行联想、思考及推论，从而理解图像所表现出的内容。

图像理解的重点是在图像分析的基础上，进一步研究图像中各目标的性质和它们之间的相互联系，并得出对图像内容含义的理解以及对原来客观场景的解释，从而指导和规划行动。如果说图像分析主要是以观察者为中心研究客观世界，那么图像理解在一定程度上则是



图 1-5 图像理解流程图

以客观世界为中心，并借助知识、经验来把握和解释整个客观世界。因此图像理解是高层操作，其处理过程和方法与人类的思维推理有许多类似之处。

1.1.4 数字图像处理的基本特点

数字图像处理具有如下的特点：

1) 处理的信息量很大。如一幅 256×256 像素的低分辨率黑白 (二值) 图像，需要约 64 kbit 的数据量；对高分辨率彩色 512×512 像素的图像，则需要 768 kbit 数据量；如果要处理 30 帧/秒的电视图像序列，则每秒需要 500 kbit ~ 22.5 Mbit 数据量。因此对计算机的计算速度、存储容量等要求较高。

2) 占用的频带较宽。与语言信息相比，图像占用的频带要大几个数量级。如电视图像的带宽约 5.6 MHz，而语音带宽仅为 4 kHz 左右。所以数字图像在成像、传输、存储、处理、显示等各个环节的实现上，技术难度较大，成本也高，这就对频带压缩技术提出了更高的要求。

3) 数字图像中各个像素是不独立的，相关性较大。在图像画面上，常有多个像素有相同或接近的灰度或颜色。就电视画面而言，同一行中相邻两个像素或相邻两行间的像素，其相关系数可达 0.9 以上，而相邻两帧之间的相关性比帧内相关性一般来说还要更大些。因此，图像处理中信息压缩的潜力很大。

4) 在理解三维景物时需要知识导引。由于图像是三维景物的二维投影，一幅图像本身不具备复现三维景物的全部几何信息的能力，很显然三维景物背后的部分信息在二维图像画面上是反映不出来的。因此，要分析和理解三维景物必须作适当的假设或附加新的测量，例如双目图像或多视点图像，这也是人工智能中正在致力解决的问题。

5) 结果图像一般是由人来观察和评价的。对图像处理结果的评价受人的主观因素影响较大。由于人的视觉系统很复杂，受环境条件、视觉性能、人的情绪爱好以及知识状况影响很大，对图像质量的评价还有待进一步深入研究。另一方面，计算机视觉是模仿人的视觉，因而人的感知机理必然影响着计算机视觉的研究。例如，什么是感知的初始基元、基元是如何组成的、局部与全局感知的关系、优先敏感的结构、属性和时间特征等，这些都是心理学和神经心理学正在着力研究的课题。

1.1.5 数字图像处理与相关学科的关系

综上所述，数字图像处理技术包括三种基本范畴，如图 1-6 所示。低级处理：包括图像获取、预处理，不需要智能分析；中级处理：包括图像目标检测识别、表示与描述，需要智能分析；高级处理：包括图像解释，但缺少理论支持，为降低难度，常设计得更专一。

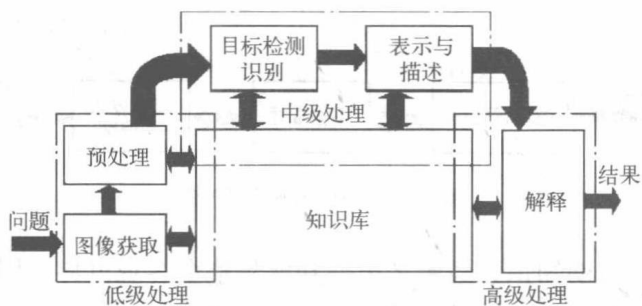


图 1-6 图像处理系统的三种基本范畴

数字图像处理是一门系统研究各种图像理论、技术和应用的新的交叉学科。从研究方法来看，它与数学、物理学、生理学、心理学、计算机科学等许多学科相关；从研究范围来看，它与模式识别、计算机视觉、计算机图形学等多个专业又互相交叉。

图 1-7 给出了数字图像处理与相关学科和研究领域的关系，可以看出数字图像处理的三个层次的输入输出内容，以及它们与计算机图形学、模式识别、计算机视觉等相关领域的关系。计算机图形学研究的是在计算机中表示图形、以及利用计算机进行图形的计算、处理和显示的相关原理与算法，是从非图像形式的数据描述生成图像，与图像分析相比，两者的处理对象和输出结果正好相反。另一方面，模式识别与图像分析则比较相似，只是前者把图像分解成符号等抽象地描述方式，二者有相同的输入，而不同的输出结果可以比较方便地进行转换。计算机视觉则主要强调用计算机实现人的视觉功能，这实际上用到了数字图像处理三个层次的许多技术，但目前研究的内容主要与图像理解相结合。

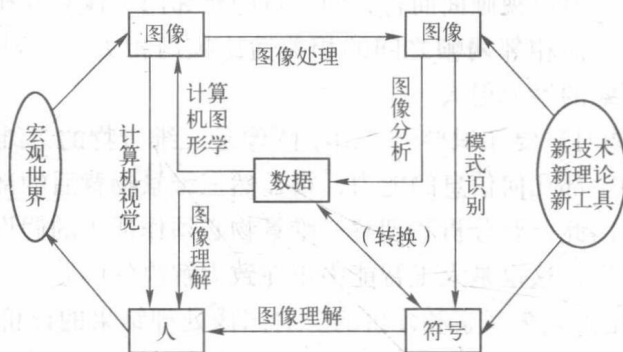


图 1-7 数字图像处理与相关学科和研究领域的关系

以上各学科都得到了包括人工智能、神经网络、遗传算法、模糊逻辑等新理论、新工具和新技术的支持，因此它们在近年得到了长足发展。另外，数字图像处理的研究进展与人工智能、神经网络、遗传算法、模糊逻辑等理论和技术都有密切的联系，它的发展应用与医学、遥感、通信、文档处理和工业自动化等许多领域也是不可分割的。

1.1.6 数字图像处理的应用

图像是人类获取和交换信息的主要来源，因此，图像处理的应用领域必然涉及到人类生活和工作的方方面面。随着人类活动范围的不断扩大，图像处理的应用领域也将随之不断扩大。数字图像处理的主要应用领域包括：

1. 航天和航空技术

数字图像处理技术在航天和航空技术方面的应用，除了上面提到的美国宇航局对月球和火星照片的处理之外，另一方面的应用是在飞机遥感和卫星遥感技术中。此外，在利用陆地卫星所获取的图像进行资源调查（如森林调查、海洋泥沙、渔业和水资源调查等）、灾害检测（如病虫害、水火灾害、环境污染等）、资源勘察（如石油勘查、矿产量探测、大型工程地理位置勘探分析等）、农业规划（如土壤营养、水分和农作物的生长、产量的估算等）、城市规划（如地质结构、水源及环境分析）、气象预报和对太空其他星球的研究等方面，数字图像处理技术也发挥了相当大的作用。

2. 生物医学工程

数字图像处理技术在生物医学工程方面的应用十分广泛，除了上面介绍的 CT 成像技术之外，还有对医学显微图像的处理分析，如红细胞、白细胞分类、染色体分析、癌细胞识别等。此外，在 X 射线图像、超声波图像、心电图分析、立体定向放射治疗、磁共振成像、光学相干断层扫描成像、红外热成像等医学诊断方面都广泛地应用了数字图像处理技术。

3. 通信工程

当前通信技术的主要发展方向是声音、文字、图像和数据结合的多媒体通信，也就是将电话、电视和计算机以三网合一的方式在数字通信网上进行传输。其中以图像通信最为复杂和困难，因为图像的数据量十分巨大，如传送彩色电视信号的速率达 100 Mbit/s 以上。要将这样高速率的数据实时传送出去，必须采用编码技术来压缩信息的比特量。因此从一定意义上讲，编码压缩是这些技术成败的关键。

4. 工业和工程

在工业和工程领域中图像处理技术有着广泛的应用，如自动装配线中检测零件的质量并对零件进行分类、印制电路板的瑕疵检查、弹性力学照片的应力分析、流体力学图片的阻力和升力分析、邮政信件的自动分拣、在有毒或放射性环境内识别工件及物体的形状和排列状态、先进设计和制造技术中采用的工业视觉等。

5. 军事和公安

在军事方面，图像处理和识别主要用于导弹的精确制导、各种侦察照片的判读、具有图像传输、存储和显示的军事自动化指挥系统、飞机、坦克和军舰模拟训练系统等；在公共安全方面，刑事图像的判读分析、指纹识别、人脸鉴别、不完整图片的复原，以及交通监控或事故分析等，都需利用图像处理技术。如目前已投入运行的高速公路不停车自动收费系统中的车辆和车牌照的自动识别就是图像处理技术成功应用的例子。

6. 文化艺术

目前这类应用包括电视或电影画面的数字编辑和处理、动画的制作、电子游戏的设计、纺织工艺品设计、服装设计、发型设计、文物资料照片的复制和修复、运动员动作分析和评分等。

1.2 图像识别

图像识别研究的目的是赋予机器类似生物的某种信息处理能力，对图像中的物体进行分类，或者找出图像中有哪些物体，有些情况下还要描绘图像中目标的形态等。图像识别属于

模式识别的范畴，其主要内容是图像经过某些预处理（如增强、复原、变换或者压缩）后，进行图像分割和特征提取，进而对特征向量进行判断与分类。从图像处理的角度来讲，图像识别又属于图像分析的范畴，它得到的结果是一幅由明确意义的数值或符号构成的图像或图形文件，而不再是一幅具有随机分布性质的图像。

图像识别技术是图像处理中的高难技术，是一门集数学、电子、物理、计算机软硬件及相关应用学科（如航空航天、医学、工业等）等多学科多门类的综合科学技术。因其具有较高的人工智能（专家知识）成分以及计算机特有的优势，可以快速、准确地捕获目标，进行自动分析处理，并得到有用的图像信息，因此实用价值非常高。

1.2.1 系统的基本构成

如图 1-8 所示，一个完整的数字图像识别系统通常包括四个组成部分：①规范：估计信息模型，压制噪声，即图像预处理；②标记和分组：判定每个像素属于哪一个空间对象或把属于同一对象的像素分组，即图像分割；③抽取：为每组像素计算特征，即图像特征提取；④匹配：解释图像对象，即判断匹配。



图 1-8 图像识别系统框图

图像分割将图像划分为多个有意义的区域，然后对每个区域的子图像进行特征提取，最后根据提取的图像特征，利用分类器对图像中的目标进行相应的分类。实际上，图像识别和图像分割并不存在严格的界限。从某种意义上讲，图像分割的过程就是图像识别的过程。图像分割着重于对象和背景的关系，研究的是对象在特定背景下所表现出来的整体属性。而图像识别则着重于对象本身属性的研究。

但是，并非所有的数字图像识别问题都是按照上述步骤进行的，根据具体图像的特征，有时可采用简单的方法实现对目标对象的识别。例如，图 1-9a 所示的图像是著名的华盛顿纪念碑，怎样自动检测出纪念碑在水平方向上的位置呢？仔细观察不难发现，纪念碑区域内像素的灰度值相差不大，而且与背景区域相差很大，因此可通过选取合适的阈值做削波处理，将该图像二值化，这里选 175 ~ 220（灰度值），结果如图 1-9b 所示。由于纪念碑所在的那几列中，白色像素比其他列多很多，如果把该图向垂直方向作投影，如图 1-9c 所示，

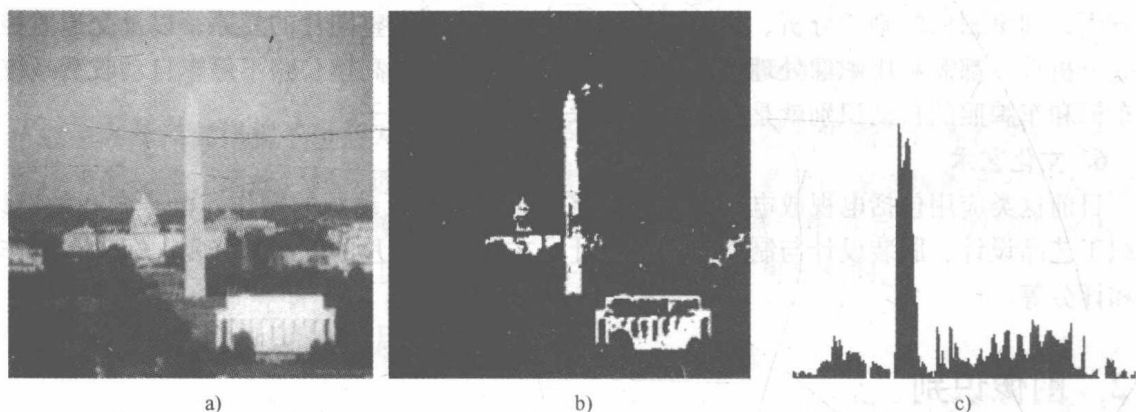


图 1-9 投影法图像识别实例

a) 华盛顿纪念碑图像 b) 将图 a) 二值化的结果 c) 将图 b) 做垂直投影