

普通高等教育“十三五”规划教材

数字图像处理 原理与实践

秦志远 主编



化学工业出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

数字图像处理 原理与实践

秦志远 主编



化学工业出版社

·北京·

《数字图像处理原理与实践》是关于数字图像处理原理和实践相结合的一本基础性教材。作者将多年的学习体会、科研经验、教学心得以及学生反馈有机揉入相关内容中，内容涵盖经典基础内容与理论前沿进展，技术实践注重普适性与专题性问题解决方案融合，以初学者编程实践为宗旨，能够满足实际课程教学要求。

本书按照教学规律和实践需求阐述基本理论与基本技术方法，且对各种图像处理算法的适用性及其局限进行了分析。主要包括从图像工程的角度认识图像处理、图像处理基础、典型图像变换理论、图像视觉质量提升、图像复原与超分辨率重建、图像压缩编码、彩色和多光谱图像处理、图像形态学处理、图像处理编程基础及应用实例几部分。

本书内容丰富、叙述简练、实用性强，可作为理工类本、专科学生数字图像处理类课程教学的基础教材，也可供从事数字图像处理研究及工程实践人员阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

数字图像处理原理与实践/秦志远主编. —北京: 化学工业出版社, 2017.9

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-30559-6

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 218605 号

责任编辑: 胡全胜 杨菁 闫敏

责任校对: 王素芹

文字编辑: 吴开亮

装帧设计: 张辉

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷: 三河市延风印装有限公司

装订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 14 $\frac{1}{4}$ 彩插 4 字数 350 千字 2017 年 12 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究



前言

随着现代计算机技术、传感器技术的快速进步和互联网资源的大众化普及，多媒体技术以及 VR/AR 的深入研究和广泛应用，尤其是数据存储设备性价比的大幅提高，数字图像作为大数据的一种，以其近实时反映感兴趣场景特征、真实客观、信息量大、传输速度快等一系列优点，逐渐成为人们日常生活中不可或缺的获取和处理信息的重要数据源。在现代信息社会和大数据时代，数字图像处理无论是在理论上，还是在实践中，都存在着巨大的科学研究和商业应用潜力。起源于 20 世纪 20 年代的图像处理技术，经过近一个世纪的发展，已成为一门多学科融合的数字化信息处理技术，日益为人们所重视和熟悉，并在航空航天、工农业生产、军事机动侦察、遥感测绘、数字医疗、资源勘探、气象精准预报、大气污染源探查、智慧城市建设等众多领域中扮演着不可或缺的角色。

作者在多年的数字图像处理教学和相关课题研究过程中，时时体悟着图像处理所涉及原理的深邃和算法实现后的愉快感觉。尽管目前国内外与图像处理相关的书目众多，但内心仍不时会产生要将自己多年学习实践经典理论与前沿进展的体会、教学科研心得及与博士、硕士、本科生的交流反馈等有机融合而编写一本理论与实践相结合的图像处理方面书籍的冲动，期望能够给读者带来些许有温度感的可借鉴的信息。同时，科学技术的快速发展和多学科的相互交融，促使数字图像处理理论研究更加深入而其应用领域变得尤为宽广，想在一本篇幅有限的教科书中涵盖所有的内容几乎是不可能的事情。我们编写此书的目的，旨在初步总结国内外关于数字图像处理的研究基础和目前的理论研究成果，亦是为了交流在处理图像时所遇到问题的解决方案和技巧，在开阔学生学术视野的同时加强实践能力。本书作为相关学科开设的数字图像处理课程的基础教材，力图在理论和实践紧密结合的基础上，使读者掌握图像处理的基础概念、基本方法和系统知识，从而构建出关于图像处理的理论体系和实践方法。至于图像分析和模式识别等更专业的理论和方法，本书并未深入论及，建议读者通过参考国内外相关专业书籍并借助充足的网络资源来加以补充和完善。

本书是作者在2004年、2011年所编著两版教材的基础上,结合理论拓展学习、具体教学实践和编程实现理论算法的体会,对相应章节进行完善、补新而成。该版书主要内容包括如下。

第1章 从图像工程的角度认识图像处理。依图像工程的层次观点来描述图像处理、图像分析和图像理解在理论方面的联系和区别,介绍数字图像处理的基本概念和系统组成、理论算法的发展脉络等,并对图像处理在实际相关领域中的应用加以概述。

第2章 图像处理基础。包括图像连续形式表示、空间频率的概念及数字化方法、离散图像的概念、对像素及相互之间联系的认识、图像直方图概念及其作用、图像二值化处理中的阈值选取和图像代数联合运算等。

第3章 典型图像变换理论。包括典型傅里叶变换、余弦变换、小波变换及其他线性变换方法的理论描述,对如何建立复杂算法与像素之间的关联问题进行经验总结。

第4章 图像视觉质量提升。包括图像对比度改善、图像噪声平滑、图像边缘锐化等基础算法及相关改进算法。

第5章 图像复原与超分辨率重建。包括图像降质模型、噪声类型分析和典型的复原方法,以及运动模糊、变焦图像恢复与图像的超分辨率重建理论等。

第6章 图像压缩编码。侧重介绍了与图像无损编码、有损编码、变换编码及编码效率评价等相关的基本概念和基础算法。

第7章 彩色和多光谱图像处理。概述了色彩空间及其相互之间的转换关系、伪彩色图像生成、假彩色图像处理及多光谱图像融合等理论和技术。

第8章 图像形态学处理。主要介绍基于集合论的数学形态学的基础运算、二值形态学和多值形态学,以及数学形态学在图像处理中的应用。

第9章 图像处理编程基础及应用实例。出于从底层了解图像处理算法的实现原理和集成算法应用两重目的,介绍目前常用的 Visual C++ 和 MATLAB 编程环境,选择典型算法进行编程实践,结合具体应用实例加强初学者对图像处理原理和技术的理解与掌握。

除上述主体内容外,还将常用的数字图像处理名词有针对性地选择汇编成附录。

应该强调的是,随着信息产业和计算机技术的成熟发展,数字图像处理早已成为一门多内容综合的学科,要想熟练掌握并加以应用需要较扎实的数学基础及相关专业的基础知识作为支撑。鉴于图像所覆盖场景的客观随机性,上述每一章节所涉及的相关问题均可作为独立的研究课题展开深入的探讨。此外,要想收到最佳的学习效果并获得相当的领悟,需要在图像处理的学习中将理论和实践有机结合。可以相信,对计算机编程的浓厚兴趣和解决实际问题所需要的灵感将会引导对数字图像处理的学习由烦琐枯燥变得轻松愉悦。

本书由秦志远主编,张宏敏、张卫国、高松峰、侯绍洋、杨锋参加编写。其中第1章由秦志远编写,第2章和第9章由张宏敏、张卫国编写,第3章和第6章由高松峰编写,第4章和第7章由侯绍洋编写,第5章和第8章由杨锋编写,全书的统稿工作由秦志远完成。在编写本书的过程中,作者得到了信息工程大学地理空间信息学院和河南城建学院测绘与城市空间信息学院很多专家、教授的指点和鼓励;高分辨率对地观测系统河南数据与应用中心平

顶山分中心的同仁同心协力、攻坚克难的敬业精神，尤其是我们的良师益友——河南城建学院李生平教授求真务实和不懈进取的精神，时时感染着我们；授课过程中与莘莘学子的智力碰撞更是编写及完善本书的巨大动力。

通过写书来表达作者的学术思想本身就是一件颇为主观的事情。况且，数字图像处理理论及相关技术领域的不断成熟和日新月异，使得作者理论学识和实践经验方面受到限制。敬请读者对书中不足之处加以批评指正。

作者

2017年秋于平顶山白龟湖畔



目 录

第 1 章 从图像工程的角度认识图像处理	1
1.1 图像及图像工程	1
1.1.1 对图像的认识	1
1.1.2 图像工程及包含的内容	3
1.2 图像处理概述	5
1.2.1 图像处理的分类	5
1.2.2 数字图像处理的主要内容	6
1.3 图像处理与数学的关系	7
1.4 图像处理系统及常用图像格式	9
1.4.1 常见的图像处理系统	9
1.4.2 常用图像格式	10
1.5 数字图像处理发展及应用简介	11
1.5.1 数字图像处理的发展	11
1.5.2 数字图像处理的应用	12
第 2 章 图像处理基础	18
2.1 图像与人类视觉的关系	18
2.1.1 人类视觉系统模型	18
2.1.2 视觉空间分辨率及感知特性	20
2.2 图像与数字图像	20
2.2.1 连续图像表示方法	21
2.2.2 图像数字化方法	22
2.2.3 数字图像的表示方法	26
2.2.4 数字图像的基本参数	27
2.3 像素之间的联系	28
2.3.1 像素的邻域	28

2.3.2	像素之间的连通性	29
2.3.3	像素之间的距离	30
2.4	图像直方图及其应用	31
2.4.1	图像直方图的定义	31
2.4.2	直方图的性质	32
2.4.3	直方图的用途	34
2.5	图像间运算	36
2.5.1	算术运算	36
2.5.2	逻辑运算	39
2.6	图像二值化	40
2.6.1	图像二值化原理	40
2.6.2	阈值确定方法的比较	41
第3章	典型图像变换理论	44
3.1	傅里叶变换及其性质	45
3.1.1	一维连续傅里叶变换	45
3.1.2	一维离散傅里叶变换	46
3.1.3	快速傅里叶变换	47
3.1.4	二维连续傅里叶变换	48
3.1.5	二维离散傅里叶变换	49
3.1.6	傅里叶变换的性质	52
3.1.7	傅里叶变换实例	53
3.2	线性变换	53
3.2.1	一维离散线性变换	54
3.2.2	二维离散线性变换	55
3.3	其他变换	56
3.3.1	离散余弦变换	56
3.3.2	沃尔什-哈达玛变换	57
3.3.3	小波变换	58
3.3.4	基于特征向量的变换	60
第4章	图像视觉质量提升	63
4.1	卷积与卷积滤波	64
4.1.1	系统与卷积	64
4.1.2	卷积滤波	67
4.2	图像对比度增强	69
4.2.1	线性增强法	69
4.2.2	非线性增强法	73
4.3	图像平滑	79
4.3.1	空间域平滑	79
4.3.2	频率域平滑	84

4.4	图像锐化	87
4.4.1	微分算子	87
4.4.2	拉普拉斯算子	92
4.4.3	频率域高通滤波	94
第5章 图像复原与超分辨率重建		96
5.1	引言	96
5.2	图像降质的数学模型	97
5.3	噪声分析	99
5.3.1	噪声分类	99
5.3.2	噪声模型	100
5.4	退化函数辨识	102
5.5	图像复原方法	104
5.5.1	逆滤波	104
5.5.2	维纳滤波	105
5.6	几何畸变校正	106
5.6.1	空间变换	107
5.6.2	灰度级插值	108
5.6.3	几何变换的实现	110
5.7	超分辨率重建的概念	111
5.7.1	图像的尺寸与分辨率	111
5.7.2	低分辨率图像成像的数学模型	112
5.8	超分辨率重建的方法	113
5.8.1	单幅图像超分辨率重建	113
5.8.2	多幅图像超分辨率重建	114
第6章 图像压缩编码		117
6.1	图像冗余分析	118
6.2	图像保真度准则	118
6.2.1	客观保真度准则	119
6.2.2	主观保真度准则	119
6.3	无损压缩编码	120
6.3.1	行程编码	120
6.3.2	基于统计的编码	120
6.4	有损压缩编码	125
6.4.1	预测编码	126
6.4.2	变换编码原理	126
6.4.3	正交变换的应用	127
6.4.4	离散余弦变换的应用	127
第7章 彩色和多光谱图像处理		129
7.1	引言	129

7.2 彩色图像处理	130
7.2.1 色度学的基础知识	130
7.2.2 色彩空间表示	131
7.2.3 色彩空间转换	133
7.2.4 彩色变换	137
7.2.5 减色与去色处理	142
7.3 多光谱图像融合	143
7.3.1 基于 HSL 变换的影像信息融合	144
7.3.2 基于小波变换的影像信息融合	144
7.3.3 主分量变换	144
7.3.4 缨帽变换	145
第 8 章 图像形态学处理	147
8.1 引言	147
8.2 数学形态学的基本概念	148
8.2.1 基本集合定义	148
8.2.2 图像集合表示及结构元素	148
8.2.3 二值形态学基础运算	149
8.2.4 基础运算性质	152
8.2.5 组合运算及其作用	153
8.2.6 组合运算代数性质	155
8.2.7 灰度形态学基本运算	156
8.3 形态学方法在图像处理中的应用	158
8.3.1 图像的边缘提取	158
8.3.2 图像的区域填充	159
8.3.3 目标探测——击中与否变换	160
8.3.4 细化和厚化	161
8.3.5 水域分割	162
第 9 章 图像处理编程基础及应用实例	164
9.1 Visual C++ 及 MATLAB 编程环境简介	164
9.1.1 Visual C++ 编程环境与微软基础类 (Microsoft Foundation Classes, MFC)	164
9.1.2 MATLAB 编程环境与图像处理工具箱	165
9.2 BMP 图像格式介绍	166
9.2.1 文件结构	167
9.2.2 结构详解	168
9.3 BMP 图像读取与显示	169
9.4 图像处理算法编程实现	171
9.4.1 VC++ 下的图像读取与显示	171
9.4.2 MATLAB 下的图像读取与显示	171
9.4.3 图像直方图统计	173

9.4.4	图像直方图均衡	174
9.4.5	图像空间域平滑	177
9.4.6	图像空间域锐化	182
9.4.7	FFT 幅值谱和相位谱生成	188
9.4.8	图像频率域滤波	197
9.4.9	图像二值形态学处理	201
9.5	图像处理应用实例	208
9.5.1	OCR 文字识别	208
9.5.2	水印隐藏与识别	209
附录	数字图像处理词汇表	214
参考文献	218



第1章 从图像工程的角度认识图像处理

以图像为研究对象或围绕各种图像开展的科研实践都可以归入图像工程或图像技术范畴。我们认为，类似于计算机视觉的根本目标是从影像中获取对场景能够达到人类视觉要求的描述，而关于图像处理理论与技术方法的研究则源于两个主要目的：其一是便于人们观察和分析而对图像信息进行有针对性的处理，这种处理以人类自身为图像的使用对象，为满足不同人的视觉效果要求而改变图像的表现形式或是改善图像的视觉效果；其二是随着计算机技术与人工智能技术的发展，为了能够借助计算机对图像进行自动场景解译等而对图像数据进行存储、传输、智能处理及显示。本章将试图界定图像的定义和种类及图像处理区别于图像分析和图像理解的研究范围，回顾图像处理领域的历史起源和发展脉络，简述图像处理与数学的关系，概述通用的典型图像处理系统组成，简要介绍图像处理这门学科在实际生活中的各个方面的应用领域。

1.1 图像及图像工程

1.1.1 对图像的认识

众所周知，人类是借助视觉、听觉、触觉、味觉、嗅觉等方式来感知世界的。而视觉是人类从客观世界中获取物体的颜色、纹理和形态大小等信息的最主要手段，是我们自出生以来的体验中最重要、最丰富的部分，更是人类感知色彩斑斓的世界，进而传递、表达和理解视觉信息来认识世界和改造世界的主要途径。

从人类视觉的角度来讲，图像就是二维或三维景物呈现在视网膜上的视觉记忆。按章毓晋在其编著的《图像工程》中的描述，图像应该包含两层含义，即“图”和“像”。所谓“图”，就是物体透射或者反射具有一定波长范围和能量的光分布；“像”是人的视觉系统接收图的信息而在大脑中形成的印象或认识。前者是客观存在的，而后者是人的感觉（推测是在象的左边放上单立人的缘故）。图像应该是两者的结合，即客观世界通过光学系统产生的视觉记忆，是对客观存在的物体的一种相似性描述或写真。因此，图像中肯定包含了被描述对象的相关信息，比如形状、大小、颜色、位置及相互关系等。或者从广义的角度出发，我

们可以这样认为：图像是用各种观测系统以不同形式和手段观测客观世界而获得的，可以直接或间接作用于人眼而产生视知觉的实体。人眼、数码相机、摄像机，以及搭载在各类航空航天平台上的传感器等等都可以认为是有效的观测系统。

根据人眼视觉的可视性可将图像简单地分为可见图像和不可见图像。如果我们考虑将所有物体作为一个集合，图像则形成了其中的一个子集，并且在这个子集中的每幅图像都和它所表示的物体存在着某种对应关系。在图像集合中，有一个非常重要的、包含了所有可见图像，即可由人眼看见的图像的子集。在该子集中又包含几种不同方法产生的图像的子集，一个子集为图片，它包括照片、图（指用线条画成的，类似于 AutoCAD 的绘图产品）和画（油画、素描、水粉画等）；另一个子集为光图像，即用透镜、光栅和全息技术产生的各种光学图像。不可见的物理图像如温度、压力、高度以及人口密度等的平面或空间分布图。它们无法用人眼直接进行观察，但是可以借助特定的测量仪器或统计方法获得并通过处理使其可见。

还有一种图像子集是由连续函数或离散函数构成的抽象的数学图像。我们认为，图像各个位置上的属性值乃是多种因素（包括光源的强度、颜色、位置和性质，场景中物体的位置、反射率和透明度，传输媒质的透射率、折射率、吸收和散射特性，以及成像设备的光电特性）交互作用的结果，图像具有空间坐标和属性。根据其连续性，可将图像分为模拟图像和数字图像。模拟图像又称为光学图像、物理图像或连续图像。这种图像类似于用胶片成像而得到的相片，是指空间坐标和图像数值连续变化的、计算机无法直接处理的图像，描述了物质或能量的实际分布，属于可见图像。数字图像则指空间坐标和图像数值不连续的、用一定的数字编码存储的、可用计算机直接处理的图像。一幅图像可定义为一个二维连续函数 $f(x, y)$ ，这里 x 和 y 是空间坐标，而在任何一对空间坐标 (x, y) 上的幅值 f 称为该点图像强度（亮度或灰度）。当 x 、 y 和幅值 f 都为有限的离散数值时，称该图像为数字图像。关于连续图像和离散图像的概念及联系，将在后面详细叙述。

图 1.1 表示图像的基本类型。这幅关于图像基本类型的分类图最早出现在 1996 年 [美] Kenneth R. Castleman 编著的《Digital Image Processing》中，且已经在国内很多关于图像处理的教科书中出现过，概括得很全面，也比较合理。

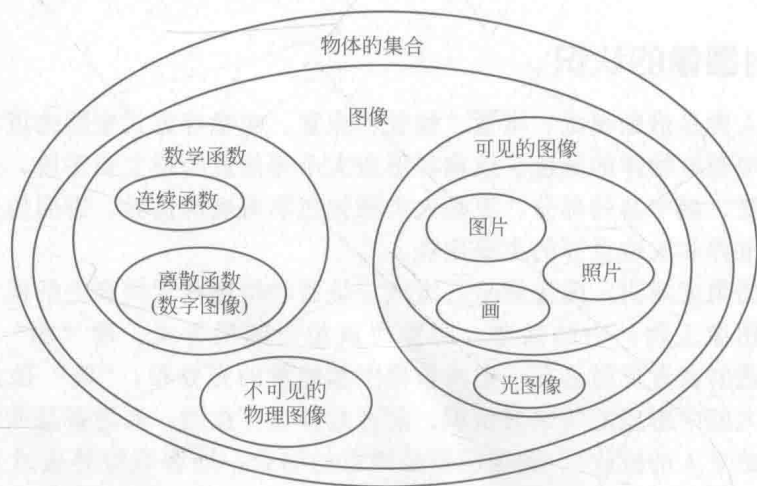


图 1.1 图像的基本类型

也可以从不同的侧面对图像的类型进行认识。

第一种类型,考虑图像的色彩特性,把图像分为灰度图像(或黑白图像)和彩色图像。黑白图像(或灰度图像, Intensity Images)在每个像点上只有一个归一化的取值表示亮度值的分布,不包含彩色信息的图像。就像我们平时看到的亮度由暗到亮的黑白照片,变化是连续的。二值图像(Binary Images)是灰度图像的特例,一幅二值图像由取值只有0和1的逻辑数组元素构成。而彩色图像每个像点上的属性值可被分解为红、绿、蓝三个不同的亮度值,这个属性值表示物体在不同光谱段上的反射强度,可通过视觉感知而得到不同的颜色。通常可把彩色图像分为索引图像(Indexed Images)和RGB图像(RGB Images)。索引图像有两个分量,即整数的数据矩阵和彩色映射矩阵,映射矩阵的每一行都定义单色的红、绿、蓝三个分量,索引图像将像素的亮度值“直接映射”到彩色值,每个像素的颜色由对应的整数矩阵的元素值指向彩色映射矩阵的一个地址决定。RGB图像是由按一定顺序排列的各个像素的R、G、B三个颜色值直接表示的。

第二种类型,根据图像的时间特性,把图像分为静态图像和动态图像。简单地说,我们常见的照片就是静态图像,而电影或电视画面就是动态图像。动态图像又称为视频图像、活动图像、运动图像或序列图像,它是由一组静态图像在时间轴上的有序排列构成的。

未加特殊提示,书中所说的图像指的是静态的灰度或彩色图像。

1.1.2 图像工程及包含的内容

在广义上,图像工程是指各种与图像有关技术的总称。按系統工程的观点,把图像工程描述为一个金字塔式的“处理锥”,即以原始图像数据为锥底,通过预处理和图像变换阶段,然后上升到特征提取和识别,最后以知识为引导,经过推理和理解达到锥顶,即求得图像处理问题的解答。整个系统以图像处理算法控制流、图像数据流为线索,组成高层次的智能化图像处理系统。常规而言,图像工程所涉及的研究内容按照抽象程度和智能化水平可分为三个层次,即图像处理、图像分析和图像理解。其层次分布如图1.2所示。

图1.2左侧标注“高水平”与“低水平”的纵线代表的是对图像数据处理过程中所采用算法对应的抽象程度及智能化水平的描述,也可以考虑是通过低级、中级和高级的三种类型的综合算法用计算机处理来划分。抽象程度高,数据量逐渐减少,研究难度越来越大,技术含量越来越高。而研究内容的三个层次相互间实际上是有交融的,目前并无十分明确的界定。如图像处理和图像分析两个层次比较合乎逻辑的重叠区域应该是对图像中特定目标对应区域的提取与识别这一领域。

图像处理(Image Processing),与处理锥的第一层至第三层的研究内容相关。主要是对图像信息进行加工得到满足人的视觉心理或应用需求行为的图像,为目标自动识别和图像理解打下基础,或对图像进行压缩编码,以减少图像的存储空间或提高对其传输的速度等。大体上可以这样认为,图像处理是一个从图像到图像的过程,主要研究内容包括图像的采集与获取、图像变换、图像降低噪声的预处理滤波、图像对比度增强和图像锐化、图像复原、图像重建和图像编码等。

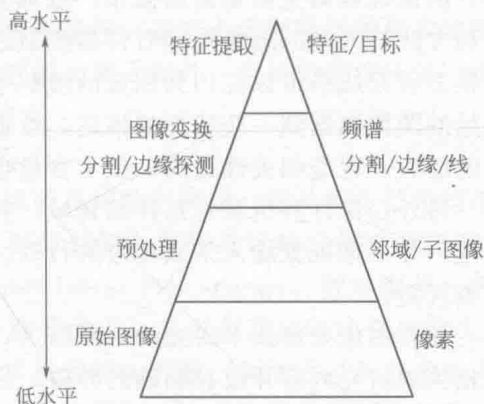


图 1.2 “金字塔”式的处理锥

图像分析 (Image Analysis), 与处理锥的第三层至第四层的研究内容相关。要求对图像中感兴趣的目标进行特征提取和测量, 以获得目标的客观信息, 从而帮助我们建立对图像的描述。特征提取是计算机视觉和图像处理中的一个概念。它指的是使用计算机提取图像信息, 决定每个图像的点是否属于一个图像特征 (边缘、角点、区域或颜色、纹理、形状、空间关系特征等)。特征提取的结果是把图像上的点分为不同的子集, 这些子集往往属于孤立的点、连续的曲线或者连续的区域。特征描述又称特征选择, 选择特征是某些感兴趣的定量信息或区分一组目标与其他目标的基础。识别则是基于目标的描述给目标赋予标号的过程。比如从图像上提取目标的边缘 (区分一个图像区域和另一个区域的像素集)、轮廓以及单个对象的特征信息, 并进行细化、连接和矢量跟踪以表达和测量目标。图像分析是一个从图像到数据的过程。这里的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, 它们描述了图像中感兴趣目标的某些特点和性质。

图像理解 (Image Understanding), 则位于处理锥的顶层。主要是指在图像处理及图像分析的基础上, 进一步研究图像中的目标及其相互之间的联系, 通过执行通常与人类视觉相关的感知函数, 做出对图像内容含义的理解以及对原来客观场景的解释及总体确认, 从而可以指导和规划行动。研究内容包括图像匹配、图像解释与推理等。

由上述分析可知, 图像处理、图像分析和图像理解是处在三个抽象程度和数据量各有特点的不同层次上。图像处理是比较低层的操作, 也是最基础的操作, 它主要在图像的元素 (像素) 上进行处理, 处理的原始图像数据量非常大; 图像分析位于图像工程的中层, 利用图像分割和特征提取等技术把原来以像素描述的图像转变成比较简洁的非图像形式的符号描述; 图像理解则主要是高层操作, 基本上是相关的符号运算和语义描述。图像理解的处理过程和方法与人类的思维推理有许多类似之处, 人工智能、模式识别、计算机视觉和专家系统的很多研究成果可以应用到图像的理解中。抽象程度和对智能化要求的提高, 涉及的数据由原始的图像数据到一些特征的描述, 数据量是逐渐减少的, 但是研究难度越来越大, 与处理者的经验、智能相关性提高, 技术含量也越来越高。

另外, 像计算机视觉这样的领域, 其最终目的是用计算机来模仿人类视觉, 包括学习和推理, 并根据视觉输入采取相应的行动。该领域本身是人工智能的一个分支, 其目的是模仿人类智能。

随着图像处理技术研究的不断深入, 上述三个层次作为图像工程这个连续的统一体内紧密相关的研究内容并没有明确的界限, 区分的界线也变得十分模糊, 很多内容已经交融在一起并互相促进。所以, 想从技术上严格地区分图像处理、图像分析和图像理解是十分困难的。近些年对图像工程研究的趋势表明, 国内外诸多学者将从图像中提取目标特征的方法、图像简单的代数运算、三维建模和场景恢复等也逐步归入图像处理的技术范畴。

图像工程过程模型如图 1.3 所示。整个图像处理过程可概略地分为如下几步: 第一步是由图像输入装置把图像送入计算机。一般情况下, 输入的图像中常常包含着各种噪声或失真, 这就需要第二步, 即去除噪声和失真, 使图像变得易于观看, 或者使图像中的对象物变得易于识别。这一过程称为图像预处理, 主要包括图像增强处理、图像几何校正、二值化处理等。第三步是为区分对象物和非对象物而进行的图像固有特征提取。例如在进行文字识别时, 就需要提取文字轮廓线的形状及笔画线段的位置、方向、交点、闭合框等几何特征。主要包括边缘提取、细化处理、膨胀与收缩、尺度量算及标注等。第四步是利用提取出的特征来识别对象物。包括模型匹配、结构分析和语义描述等。不过, 实际中很少能仅由最初设想的各步骤内容一成不变地进行到识别为止, 而是一边由人来观察各过程的处理结果, 一边对



其进行修正或追加处理内容，即给处理过程加上必要的反馈，使处理结果满足要求。

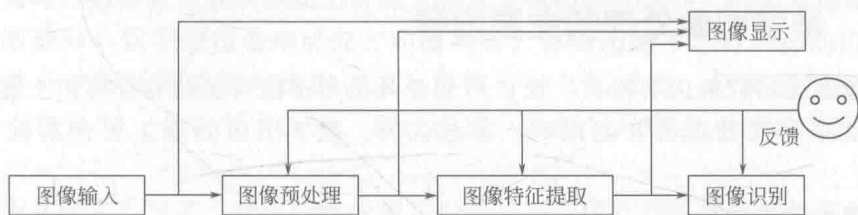


图 1.3 图像工程过程模型

1.2 图像处理概述

1.2.1 图像处理的分类

广义地讲，图像处理从研究手段所采用的物理设备的角度可分为光学方法和数字方法。即图像处理可分为模拟图像处理和数字图像处理。

(1) 模拟图像处理 (Analogue Image Processing)

模拟图像处理已经有很长的发展历史，从简单的光学滤波到目前的激光全息技术，光学处理理论日趋完善。包括对以胶片为载体的相片等的光学透镜处理、摄影作品的冲洗放大及后期处理等，这些都属于实时处理。其处理速度快、信息容量大、图像分辨率高，又比较经济，且能够并行作业，为数字方法奠定了坚实的理论基础。缺点是图像精度不够高，稳定性受到硬件和操作者经验等的限制，灵活性差，不便于重复操作，基本上无判断功能和非线性处理功能。这种处理方法，除了专业级的摄影和特殊领域必须采用外，常规的处理任务已很少使用。

(2) 数字图像处理 (Digital Image Processing)

数字图像处理通常是指借助计算机软、硬件技术或者其他数字硬件，对从模拟图像经过 A/D 转换（模/数转换，Analog/Digital Transform）而得到的电信号进行特定的数学运算。因此，在很多场合也称它为计算机图像处理（Computer Image Processing）。数字图像处理具有精度高、处理内容丰富、可进行复杂的非线性处理等优点，具有非常灵活的变通能力。缺点是处理速度依赖于算法及计算机性能，一般多用来处理静止图像。例如通过从卫星云图上分析云图的分布和运动趋势来判断天气的变化情况，从卫星影像中提取目标物的种种特征参数，常见的利用 PhotoShop 等软件编辑图像，等等。我们利用智能相机对图像的简单处理也可以视为简单的数字图像处理。

随着计算机技术的不断提高和普及、图像显示技术的成熟、大容量存储介质的出现和网络技术的广泛应用，模拟图像处理逐步被数字图像处理替代，并且数字图像处理已经进入了高速发展的时期。

本书重点讨论数字图像处理，即利用计算机进行图像处理。其有两个主要目的：一是产生更适合人视觉观察和识别的图像；二是希望能由计算机自动识别和理解图像。数字图像处理技术处理精度比较高，而且还可以按照用户的需要通过改进处理软件来优化处理效果。但是，数字图像处理的数据量非常庞大，以往计算机处理的速度相对较慢，显示技术又比较落后，在一定程度上限制了数字图像处理的发展。随着近几年计算机技术的飞速发展，计算机的运算能力大大提高，目前 4GHz 以上的 CPU 已经推广应用，立体彩色显示终端的成熟应

用，将大大促进数字图像处理技术的发展。

1.2.2 数字图像处理的主要内容

数字图像处理研究的内容极其广泛，广义上凡是与图像有关的在计算机上能够实现的处理都可归为数字图像处理研究的范畴。普遍认为，数字图像处理主要包括以下几项研究内容。

(1) 图像的基础运算

包括图像代数运算和几何变换等。图像代数运算主要是针对图像的像素进行加、减、乘、除等运算，或是将多幅图像用代数运算式加以联合得到一幅新的图像。通过图像的代数运算可以有针对性地处理图像中选择像素的像素值或将多幅图像加以联合应用。几何处理主要包括图像的坐标转换，图像的移动、缩小、放大、旋转，以及图像扭曲校正等，是最常见的图像处理手段，几乎任何图像处理软件都提供了最基本的图像缩放功能；图像的扭曲校正功能可以将存在几何变形的图像进行校正，从而得出准确几何位置的图像。

(2) 图像处理域变换

我们将由原始图像按序排列的像素灰度值构成的空间称为空间域；将经过傅里叶线性变换获得的图像频谱值构成的空间称为频率域（亦简称频域）。对图像进行处理域变换和反变换，有利于借助在变换域里的显著特征和成熟的技术对图像进行高效处理，处理后的影像再反变换到空间域，使最终处理结果能以我们熟悉的方法进行可视表达。随着学习的深入，我们会体会到在频率域里的一些滤波算法实现起来较空间域算法容易。

(3) 图像增强

有的参考书上把图像增强和下面将介绍的图像复原等划归为图像视觉质量提升或优化技术。从字面上理解，图像增强的作用就是要增强或突出图像中用户感兴趣的信息，同时减弱或者去除不需要的信息。它是改善图像视觉效果和提高人或计算机识别图像效率的重要手段。常用的方法有线性拉伸、直方图增强、图像平滑、图像锐化和伪彩色增强等。多光谱图像的彩色合成也可以看成是一种图像增强技术。

(4) 图像复原

图像复原的主要目的是设法恢复影像获取过程中干扰因素造成的影像质量的退化，从而复原图像的本来面目。例如根据降质过程建立“降质模型”，再采用某种滤波方法去除噪声，恢复原来的图像。

(5) 图像压缩编码

图像压缩编码属于信息论中信源编码的研究范畴，其宗旨是利用图像信号的统计特性及人类视觉特性对图像进行高效编码，从而达到压缩图像中的冗余信息以利于图像存储、处理、传输和图像保密等目的。图像压缩编码是数字图像处理中一个经典的研究范畴，有多年研究历史，目前已制定了140余种图像压缩标准，如 Huffman 编码、JPEG 编码和 MPEG 编码等。

(6) 图像重建

图像的重建起源于计算机断层扫描（Computer Tomography, CT）技术的发展，是一门很实用的数字图像处理技术，主要是利用采集的物体断层扫描数据来重建出图像。图像重建在医学图像分析中得到了极为广泛的应用。而目前在计算机视觉领域，基于图像重建原理发展出诸如投影重建、明暗恢复形状、立体视觉重建、目标重建和激光测距重建等等多种图像重构方法。