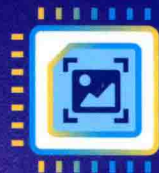



智能图像信息
处理丛书



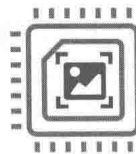
朱秀昌 唐贵进 / 编著

现代 数字图像处理

• Advanced
Digital
Image
Processing

 中国工信出版集团

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



智能图像信息
处理丛书

朱秀昌 唐贵进 / 编著

现代 数字图像处理

Advanced
Digital
Image
Processing

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

现代数字图像处理 / 朱秀昌, 唐贵进编著. -- 北京:
人民邮电出版社, 2020. 5
(智能图像信息处理丛书)
ISBN 978-7-115-52039-5

I. ①现… II. ①朱… ②唐… III. ①数字图象处理
IV. ①TN911.73

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第197213号

内 容 提 要

本书主要介绍现代数字图像处理的基本原理、主要技术和典型应用,共15章,大致分为4部分。第一部分为第1章和第2章,介绍图像基本概念和数字化图像基础。第二部分为第3章至第8章,介绍经典的图像处理原理和技术,包括图像的变换、增强、复原、小波、压缩和分割处理等。第三部分为第9章至第12章,介绍近来发展较快的图像特征描述、彩色图像处理、形态学图像处理和基于偏微分方程的图像处理。第四部分为第13章至第15章,介绍近期已成为热门的图像处理新方法,包括图像的超分辨率重建、基于人工神经网络的图像处理和图像压缩感知。

本书适合电子信息、信号处理、自动控制、通信工程、广播电视、生物医学工程、遥感遥测、计算机应用、模式识别、光学工程等专业的本/专科高年级学生、硕士研究生等用作教材或参考书,也可供和图像有关的科技工作者、工程技术人员及其他感兴趣的读者阅读。

-
- ◆ 编 著 朱秀昌 唐贵进
责任编辑 邢建春
责任印制 彭志环
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京市艺辉印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16 彩插: 4
印张: 29 2020年5月第1版
字数: 688千字 2020年5月北京第1次印刷
-

定价: 198.00 元

读者服务热线: (010)81055493 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证:京东工商广登字 20170147 号

几十年前，谈到图像技术，人们大致会联想到电视、电影、照相、遥感、美术等方面的相关技术，和大多数人关系不大。但是，随着信息化浪潮席卷全球，作为信息重要来源的图像信息和相应的图像技术随之迅猛发展。今天，图像已经无处不在、无时不在，几乎找不到什么地方、什么人、什么时间、什么工作不需要图像和图像技术。

正是这无时无处不在的图像信息、图像知识和图像技术的普及和发展，使“数字图像”这一概念深入人心。自冈萨雷斯教授 1977 年出版《数字图像处理》一书到现在已 40 余年，从国外到国内出现了各具特色的有关图像处理的教材和参考资料，有的注重理论，有的注重工程，有的注重前沿，有的注重基础，其中不乏优秀教材。

我们编写过数字图像处理方面的教材，为什么还要编写这本《现代数字图像处理》，其必要性何在？这实际上是近年来我们不断思考的问题，编写这本书的初心和动机归纳起来大致如下：其一是图像处理技术发展很快，不断有新理论、新方法和新应用出现，有的图像处理方面的教材往往不能反映当前图像处理技术的发展，因此需要不断吐故纳新，精炼经典内容，补充最新内容，跟上时代发展的脚步；其二是对迄今为止在图像处理领域出现的比较成熟的新概念和新技术进行梳理，给出一些实例，让读者花较少的时间和精力就能理解和掌握这些新内容，少花宝贵的时间来翻资料、找参考、钻难点；其三是面向广大的读者，不让图像处理新技术成为学习的拦路虎，融合经典和现代技术，出版一本让初学者能够逐步看懂、有一定基础的读者可以获得启发的教材。

本书尝试在传统和现代之间架起一座桥梁，使读者可以领略从经典到现代数字图像处理的大致内容、处理方法和发展趋势。实际上，这也是我们亲历过的一段学习和研究过程。这是我们的良好愿望，但繁杂冗长的写作过程告诉我们，虽然已经尽力，但要达到上述目标并不容易，特别是把握好那些仍然在蓬勃“生长”中的新理论和新技术更是如此。

对于数字图像处理，本书总的特点是规范“经典”、强调“现代”。“现代”发源于“经典”，既和以往的图像处理有深厚的联系，但也有显著的不同之处，大致可以归结为以下几个方面：学科之间的相互交融，如和计算机科学、数理方程、数学形态学等学科的交融；人工智能的引入，如人工神经网络、机器学习、模式识别等；新的数学理论的引入，如压缩感知理论等。

在这个理念的指导下，本书共编写了 15 章，大致分为 4 部分。第一部分为第 1 章和第 2 章，内容是图像基本概念和数字化图像基础。第二部分为第 3 章至第 8 章，介绍经典的图像处理原理和技术，包括图像的变换、增强、复原、小波、压缩和分割处理等。即使是经典部分，在其中也增加了一些最新内容。第三部分为第 9 章至第 12 章，分别介绍近来发展较快和应用较多的图像特征描述、图像配准、彩色图像处理、形态学图像处理和偏微分方程图像处理等。第四部分为第 13 章至第 15 章，介绍近期热门的图像处理新方法，包括图像的超分辨率重建、基于神经网络的图像处理和图像的压缩感知。

从课程的性质看，数字图像处理是一门工科课程，是一门实践性很强的课程。因此，建议读者重视图像处理实践，重视在实验中加深对图像处理原理的理解。限于篇幅，本书没有图像处理的具体算法和程序方面的介绍，但并不代表不重要。在这方面，Matlab 为我们提供了一个桌上“实验室”，Open CV 提供了一个开源的图像处理算法库，在人工智能领域应用广泛的基于 Python 的多种开源软件也是一个很好的选择，这些软件已成为我们进行图像处理实验的好帮手。

本书在编写过程中，得到了同事、学生和朋友的支持和帮助，参考和引用了前人的著作、论文和其他研究成果，我们对这些文献的作者和提供意见、建议的朋友表示深切的谢意。

最后，限于作者的学识水平，编写谬误在所难免，希望广大读者对于书中任何错误、不足提出宝贵的意见和建议，我们一定诚恳接受，并对此表示由衷感谢。

作者

2019 年 5 月于南京

目 录

第 1 章 绪论	001
1.1 数字图像处理	002
1.2 光和图像	010
1.3 人眼视觉特性	016
1.4 图像质量评价	023
第 2 章 数字图像基础	029
2.1 连续图像	030
2.2 连续图像的数字化的	032
2.3 混叠和亚取样	042
2.4 数字图像的分辨率	046
第 3 章 图像变换和分析	051
3.1 二维线性系统	052
3.2 离散傅里叶变换	056
3.3 离散余弦变换	060
3.4 沃尔什和阿达马变换	063
3.5 图像变换的矩阵表示	069
3.6 主分量分析	073
3.7 奇异值分解	078
第 4 章 图像增强	085
4.1 灰度变换	086
4.2 直方图修正	089
4.3 图像增晰	094
4.4 图像去噪	110
第 5 章 图像复原	125
5.1 图像降质分析	126
5.2 无约束图像复原	138

5.3	有约束图像复原	144
5.4	非线性图像复原	151
5.5	图像的几何校正	155
第 6 章	小波变换	161
6.1	信号的时频分析	162
6.2	多分辨率分析	170
6.3	连续小波变换	177
6.4	离散小波变换	184
6.5	小波变换的应用	191
第 7 章	图像压缩	197
7.1	图像的相关性	198
7.2	预测编码和变换编码	199
7.3	静止图像压缩	204
7.4	活动图像压缩	207
7.5	量化和熵编码	215
7.6	有限失真编码定理	225
第 8 章	图像分割	235
8.1	图像分割的定义和方法	236
8.2	基于阈值的分割	237
8.3	基于边界的分割	242
8.4	基于区域的分割	248
8.5	基于遗传算法的分割	253
第 9 章	图像描述和配准	259
9.1	图像的边界描述	260
9.2	图像的区域描述	267
9.3	图像配准	272
9.4	SIFT 配准算法	281
第 10 章	彩色图像处理	293
10.1	彩色空间表示	294
10.2	基本彩色图像处理	305
10.3	灰度图像的伪彩色处理	311
10.4	灰度图像的彩色化	314

第 11 章 形态学图像处理	319
11.1 数学形态学基础	320
11.2 二值图像形态学处理	323
11.3 二值图像形态学处理的应用	330
11.4 灰度图像形态学处理	335
第 12 章 PDE 图像处理	341
12.1 偏微分方程基础	342
12.2 PDE 图像去噪	354
12.3 PDE 图像放大	357
12.4 PDE 图像分割	360
12.5 PDE 图像修复	365
第 13 章 图像超分辨率重建	369
13.1 超分辨率重建基础	370
13.2 基于插值的超分辨率方法	376
13.3 基于重建的超分辨率方法	382
13.4 基于学习的超分辨率方法	387
第 14 章 ANN 图像处理	397
14.1 人工神经网络	398
14.2 BP 网络	410
14.3 基于 CNN 的图像处理	414
14.4 基于 GAN 的图像处理	420
第 15 章 图像压缩感知	427
15.1 压缩感知基础	428
15.2 从测量值重建原信号	432
15.3 视频压缩感知	442
参考文献	449

本章首先简要介绍数字图像处理理论和技术的起源，它所采用的基本方法和包含的主要内容。然后，简述图像的呈现机理，以及光和图像之间的密切关联，分析图像信息不同于其他媒体信息的主要特点；简述人眼的视觉特性，它的几种常见表现和对图像处理的影响。最后，从应用的角度介绍常见的图像质量评价方法，这是一个既经典、又现代，且至今尚未很好解决的关键问题。

随着人类社会的进步和科学技术的发展,人们对信息处理和信息交流的要求越来越高。图像(Image)信息具有直观、形象、易懂和信息量大等特点,已成为人们日常生活、生产中频繁接触的信息种类之一。近年来,随着信息社会数字化的进展,数字图像处理(DIP, Digital Image Processing)无论在理论研究方面还是在实际应用方面都取得了长足进展,尤其是计算机技术的应用、因特网的普及、人工智能的兴起、遥感技术的发展、数字处理芯片性能的提高以及数学理论与方法的更新,对数字图像处理的发展起了关键性的推动作用;而数字图像处理技术的应用和发展又有力地促进和加速了上述各项技术的进步。

| 1.1 数字图像处理 |

图像是人类获取信息的一个重要来源,相关研究表明,约70%的信息是通过人眼获得的图像信息。在当代科学研究、军事技术、航天、气象、医学、工农业生产等领域,人们越来越多地通过图像信息来认识和判断事物,解决实际问题。例如,人们利用人造卫星所拍摄的地面照片分析地球资源、气象态势和污染情况,利用宇宙飞船所拍摄的月球表面照片分析月球的地形、地貌。在医学上,通过计算机断层(CT, Computed Tomography)图像,医生可以观察和诊断人体内部是否有病变组织。在公安侦破中,采用指纹图像提取和比对来识别罪犯。在军事上,目标的自动识别和跟踪都有赖于高速图像处理。在交通领域,通过计算机视觉对场景的分析来实现汽车的无人驾驶。尚有更多的应用难以一一列举。从这些耳熟能详的事例中,我们可以清楚地看到图像处理技术的广泛应用前景。

1.1.1 图像处理的简要历程

如果将1826年世界上第一张照片算作图像技术的开始,图像至今经历了光学图像、印刷图像、电子图像的发展历程。最早的数字图像处理可以追溯到20世纪20年代人们借助于打印机设备进行的数字图像处理。图1.1是当时电报打印机采用不同字符表示不同的灰度在编码纸带上打印出的图像。但现代意义上的数字图像处理技术是建立在计算机快速发展基础上的,它开始于20世纪60年代初期,那时第三代计算机研制成功,快速傅里叶变换(FFT, Fast Fourier Transform)出现,图像的输出有了专用设备,这些使某些图像处理算法可以在计算机上实现。

在图像处理的研究和应用方面,美国国家航空航天局喷气推进实验室(JPL, Jet Propulsion Laboratory)的开拓性工作就是其中一例。在20世纪60年代中期,他们对航天探测器“徘徊者”发回的几万张月球照片用几何校正、灰度变换、去噪声、傅里叶变换、去模糊以及二维滤波等方法进行处理,由计算机成功地绘制了月球表面地形图、彩色图以及全景镶嵌图。图1.2是当时航天器传送的第一张月球表面照片。



图 1.1 1921 年打印的图像

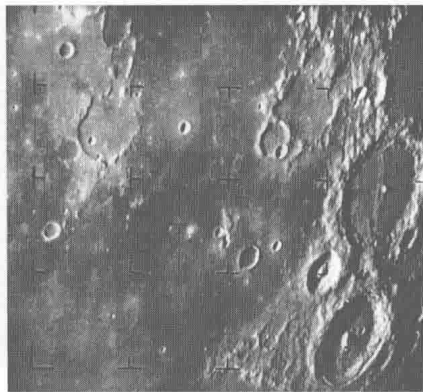


图 1.2 1964 年第一张月球表面照片

20 世纪 70 年代以来，数字图像处理从空间技术逐渐向其他应用领域推广。例如，在生物医学领域，CT 技术的发明以及在临床诊断中的广泛应用，使医学数字图像处理技术倍受关注，成功地推动了图像处理的理论和技术跨上一个新的台阶。

到了 20 世纪 80 年代以及进入 21 世纪以来，越来越多从事数学、物理、计算机等基础理论和工程应用的研究人员关注和加入图像处理这一研究领域，逐渐改变了图像处理仅受信息工程技术人员关注的状况。各种与图像处理有关的新理论与新算法不断出现，如小波分析（Wavelet）、分形几何（Fractal）、形态学（Morphology）、偏微分方程（PDE, Partial Differential Equations）、模糊集合（Fuzzy Sets）、遗传算法（GA, Genetic Algorithms）、人工神经网络（ANN, Artificial Neural Networks）、压缩感知（CS, Compressed Sensing）等，已经成为图像处理理论与技术的研究热点，并取得了长足进展。与此同时，计算机运算速度的提高，硬件处理器能力的增强，使人们不仅能够处理单幅的二维灰度图像，而且开始处理彩色图像、视频序列图像、三维图像和虚拟现实图像。

图像处理技术如今已逐步应用到我国社会生活和生产的各个方面，如近年来蓬勃发展的医学图像处理、航天图像处理、智能图像分析、多媒体信息处理、遥感图像处理、生物图像特征识别、自动目标识别和跟踪、虚拟现实技术等。作为图像处理技术应用的一个生动缩影，在 2010 年“上海世博会”，除了参展区宏大的气势和各展馆精美的展品外，留给广大观众深刻印象的就是五彩缤纷的图像技术应用：从传统的彩色图片，到高清晰度、特大屏幕的动态“清明上河图”的演示；从传统的视频动画到环幕、球幕三维视频的显示等。

另外一个实例是近 5 年我国发射的一系列高分辨率遥感卫星（简称高分卫星），如 2018 年 7 月发射的高分辨率十一号光学遥感卫星，具有非常高的空间分辨率（1 m 以下），为国土普查、城市规划、路网设计、农作物估产和防灾减灾等领域提高足够高分辨率的地面图像。图 1.3 是 2014 年高分二号卫星发回的上海浦东地面照片。实际上，我国目前最强的民用侦测卫星分辨率已经达到 0.3 m，军用侦测卫星的精度更高。



图 1.3 中国高分二号卫星拍摄的上海浦东地面图像

1.1.2 图像处理的内容

1. 数字信号处理

数字信号处理 (DSP, Digital Signal Processing) 是比数字图像处理更大的一个学科范畴, 数字图像处理是数字信号处理的一部分, 因此, 在介绍图像处理的基本方法时, 不得不从数字信号处理说起。一般说来, 数字信号处理的基本理论、技术和系统能够适用于数字图像处理。和一般数字信号处理的不同之处在于图像系统中处理的是数字图像信号, 它往往具有维数高 (一般大于二维)、数据量大、运算复杂度高等特点。

数字信号处理技术通常是指利用计算机或/和专用处理设备 (包括器件), 以数字的形式对信号进行采集、滤波、去噪、检测、均衡、变换、压缩、分类、估计等处理, 以得到符合人们需要的信号形式。这里所指的处理是对数字化后的信号施加某种数学或逻辑运算。例如, 对音频信号进行去噪和压缩处理, 其目的是滤除混杂在信号中的噪声和干扰, 将信号变换成易于识别和理解的形式, 也可对它进行压缩, 减少信号中的冗余信息, 便于存储、传输。再如, 对卫星云图进行图像增强处理, 以便于观察和分析, 有助于准确地预报天气。

数字信号处理是相对于模拟信号处理而言的, 它比模拟信号处理有更多的优点, 如处理功能强、处理精度高、处理灵活性强、稳定性好、抗干扰能力强、设备体积小、便于加密等, 因此, 更易于大规模集成, 易于实现多维处理, 从而使适用领域更加广泛。

自 1965 年快速傅里叶变换算法提出以来, 数字信号处理技术获得了重大突破。随着超大规模集成电路技术和计算机技术的发展, 各种快速数字信号处理器件大量问世并得到广泛应用。目前, 国际市场上涌现出多种多样的数字信号处理器 (DSP, Digital Signal Processor) 芯片和系统, 如专用的数字滤波器、数字频谱分析器件、并行图像处理系统、视频编解码芯片、通用的图像处理单元 (GPU, Graphics Processing Unit)、高速多媒体信号处理器等。DSP 的高速运算能力和多核化解决了许多信号实时处理问题, 使图像实时处理易于实现。目前, 高性能 DSP 的指令处理能力在千 MIPS (Million Instructions Per Second) 以上, 单片集成度高达数百万门以上, 而功



耗却低至 $0.1\text{mW}/\text{MIPS}$ 以下。同时，器件性能的更新周期还在逐步缩短。

随着信息技术的日益普及，数字信号处理技术正在迅速地扩展到各个应用领域中。在图像处理领域，人们广泛地利用图像处理技术对光学图像、雷达图像、红外图像、超声图像、CT 图像、遥感图像等进行图像的增强、复原、去噪、滤波、压缩、分割等处理。可见，数字图像处理就是根据特定的数学原理，采用某些信号处理的方法，对数字图像信号进行有目的运算，使其结果满足人们的视觉需求和其他应用需求。

2. 图像处理的 3 个层面

数字图像处理既是一个前沿的理论研究领域，又是一个高端的工程技术领域，同时还是一个新兴的推广应用领域。图像处理学科的这一特性，恰好反映了图像领域 3 个层面的基本结构，如图 1.4 所示。

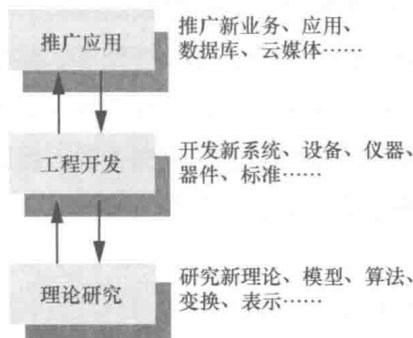


图 1.4 图像处理的 3 个层面

在理论研究层面，主要涉及应用数学、光电物理、信息理论、信号处理、形态学等基础学科和前沿学科的部分内容。在工程开发层面，涉及电子技术、微电子技术、计算机技术、通信技术以及软件技术等多门类技术。在推广应用层面，更是丰富多彩，如航天图像处理、医学图像处理、遥感图像处理、普通图像处理、雷达图像处理等多个领域。图像处理的这 3 个层面之间是相互关联、相互影响的。图像处理理论研究的新成果，往往会直接影响到新的工程实现方案的诞生，有可能带动一种新业务的出现，或提高以往图像处理业务的效率和质量；类似地，工程开发方面的新进展，也会同时促进理论研究的改进和加快推广应用的步伐；而推广应用则是图像处理理论研究和工程开发的最终目标，新的图像处理应用的普及和深入，必定会对理论研究和工程开发提出新的要求，提供新的研究方向和新的开发目标。

本书所涉及的数字图像处理是围绕这 3 个层面介绍和分析的，我们把主要精力集中于现代数字图像处理的基础理论、基本技术及其最新发展等方面，对开发和应用也给予必要的关注和说明。

3. 本书的主要内容

数字图像处理的内容非常丰富，在后续章节中我们将详细地介绍以下基本内容，这也是各章的内容提要。

(1) 数字图像处理

数字图像处理主要包括图像处理发展的历程,光和图像的关系,人眼的视觉特性和图像质量评价方法。

(2) 图像数字化 (Image Digitalization)

外部场景图像以及人眼所能够感知、理解的是模拟图像,但计算机(或其他数字设备)进行处理的必须是数字图像,这其中的桥梁就是模拟图像的数字化处理。了解图像数字化过程有助于对数字图像的产生图像处理方法以及数字图像和模拟图像之间关系有深入的理解。模拟图像数字化过程中最为关键的是取样、量化和编码这3个步骤,我们主要关注其中取样图像的混叠效应和图像的分辨率指标。

(3) 图像变换 (Image Transform)

图像变换通常是指利用正交变换能够改变图像数据结构、便于处理的特性,如傅里叶变换、余弦(正弦)变换、沃尔什/阿达马变换、小波变换等,将图像转换到变换域中进行分析或处理。例如,将空间域的图像转换到频率域进行各种滤波处理,以改善图像的质量;对空间域图像进行主分量分析,以消除图像数据之间的相关性。另外,大多数变换都有快速实现的方法,大大提高了处理运算的速度。我们主要关注多种变换和分析的原理、特性、模型和快速实现方法。

(4) 图像增强 (Image Enhancement)

图像增强是按照人们的主观要求对目标图像进行处理,主要是指利用各种数学方法和变换手段提高图像中人们感兴趣部分的清晰度等观看指标。我们主要关注图像的灰度修正、图像平滑、噪声去除、边缘增强、特殊图像(如雾天图像、暗光图像等)增强等具体措施。

(5) 图像复原 (Image Restoration)

在景物成像过程中,光学或电学系统的畸变、各种噪声的干扰、目标的运动等因素,会导致成像后的图像降质(或退化)。图像复原就是把降质图像尽可能恢复成原来的图像,是一类以客观指标为准的图像处理方法。我们主要关注对图像降质因素和降质模型的分析,以及针对降质模型的多种复原处理方法,包括无约束复原、有约束复原、非线性复原以及几何校正等。

(6) 小波变换 (Wavelet Transform)

小波变换虽然属于图像变换的一种,但是由于小波变换和常见的傅里叶变换等有很大不同,所以对它单独介绍。小波变换是一种局部化时频域分析方法,具有傅里叶变换、Gabor变换等所不具备的优良特性,如多尺度分解性、时频联合分析、方向选择、对象的自适应性等。我们主要关注小波变换的原理和方法,多分辨率分析的基本内容和离散小波变换及其应用。

(7) 图像压缩 (Image Compression)

因为数字图像的数据量庞大,存在较强的内在相关性,所以有必要对数字图像进行压缩(编码),减少其相关性,形成高效的表示方法。这里主要介绍基于图像统计特性的图像压缩



原理和方法,在满足一定图像质量要求的前提下,最大限度地压缩图像的数据量,以便存储更多的图像,或使图像传输节省更多的带宽。我们主要关注静止图像和活动图像的压缩方法(包括预测编码、变换编码和熵编码等),以及指导图像压缩的信息熵概念和有限失真编码定理等。

(8) 图像分割 (Image Segmentation)

图像分割的主要目标是按照具体应用的要求将图像中有意义或感兴趣的部分分离或提取出来,这种分离或提取通常是依据图像的各种特征或属性进行的。图像分割往往不是最终目的,它可以帮助我们进一步理解、分析或识别图像的内容,因而图像分割经常是模式识别和图像分析的前处理阶段。我们主要关注经典的基于阈值、边界和区域的分割,以及较新的基于遗传算法的分割等方法。

(9) 图像描述 (Image Description) 和图像配准 (Image Registration)

图像描述是指用简单明确的数值、符号、图形或它们的组合表达图像目标或区域的特征,以及区域之间的关系等。图像配准主要是通过比对同一场景不同图像的特征,将这些图像在几何位置上进行配准,以便综合利用多幅图像中的信息满足一定的应用需求。图像描述和配准大多是为其后续的图像处理服务的,如图像目标识别、机器人视觉、数据挖掘、目标分类等。我们主要关注图像的边界描述、区域描述,基于特征的图像配准,如近年来行之有效的 SIFT 配准和 SURF 配准方法等。

(10) 彩色图像处理 (Color Image Processing)

彩色图像处理和灰度图像处理有很多的共同之处,但是也存在不少的差异。在灰度图像处理的基础上,针对图像的彩色特性进行处理就形成了独具特点的彩色图像处理。我们主要关注不同彩色空间的基本构成和转换,彩色图像的平衡、增强、分割等基本处理方法。

(11) 形态学图像处理 (Morphological Image Processing)

将数学形态学应用于图像处理和模式识别领域,形成了图像处理的一类新方法。在这类方法中,用集合来描述图像目标及图像各部分之间的关系,说明目标的结构特点。在形态学图像处理中,特别设立了一种“结构元素”(Structure Element)来度量和提取图像中的对应形状,以达到对图像进行分析和识别的目的。我们主要关注二值图像和灰度图像的形态学处理两部分,腐蚀和膨胀两种基本形态学运算方法。

(12) 基于偏微分方程的图像处理 (Image Processing based on Partial Differential Equation)

基于偏微分方程(PDE)的图像处理方法针对图像空间域内像素点灰度值建立一阶、二阶或高阶微分方程,以此来表征图像中的区域纹理或边界等特征。由于 PDE 具有不同于信号分析和统计分析的特性,如各向异性的扩散性能等,因而通过 PDE 数值解的方法可以在图像处理的同时较好地保持图像的原有特征。我们主要关注基于 PDE 的图像去噪、分割、放大和修复等处理方法。

(13) 超分辨率重建 (SRR, Super Resolution Reconstruction)

在实际的应用中,由于受到多种因素的影响,理想的高分辨率图像往往会退化为低分辨率图像,而我们总希望恢复到原来的高分辨图像。这样,从低分辨率到高分辨图像的超分辨率重建技术是当前一类较新的图像处理技术。图像超分辨率技术与图像恢复技术的目标都是重建高质量的原图像,不同之处是图像恢复技术处理后的图像空间分辨率不变,而超分辨率技术所重建的图像空间分辨率是成倍增加的。我们主要关注基于插值的、基于重建的和基于学习的 3 类超分辨率图像重建方法。

(14) 人工神经网络 (ANN, Artificial Neural Network) 图像处理

基于人工神经网络图像处理是人工智能领域兴起的一项重要理论和应用技术。它从信息处理角度对人脑神经网络进行抽象和模仿,建立某种简单模型,按不同的连接方式组成不同的信息处理网络,已在图像处理、模式识别、自动控制等领域得到广泛应用,表现出了良好的智能特性。我们主要关注人工神经网络的基本结构和工作原理,基本的反向传播 (BP, Back Propagation) 网络,在图像处理中应用效果良好的卷积神经网络 (CNN, Convolutional Neural Network) 和生成对抗网络 (GAN, Generative Adversarial Network)。

(15) 图像的压缩感知 (CS, Compressed Sensing)

除了基于统计特性的图像压缩方法外,近年来出现一类新的基于信号稀疏性的压缩方法,即压缩感知理论和技术,为大多数自然信号的采集和压缩带来了突破性进展。该技术以远小于奈奎斯特 (Nyquist) 采样率,用随机采样获取信号的离散样本,将常规的取样、压缩两个步骤合并一起完成;而且,对压缩感知产生的压缩信号,通过适当的非线性重建算法可准确地重建原信号。我们主要关注压缩感知理论中的 3 个基本问题 (信号的稀疏表示、非相关测量和感知信号非线性重建),以及视频信号的分块压缩感知方法。

上面列举的是本书主要涉及的数字图像处理的内容,尚有不少内容没有涉及。这是由于图像处理包括的内容实在太多,随着技术的发展,学科本身的发展及学科之间的渗透和融合,有些内容已发展成为独立的专业学科,如模式识别、图像分析、图像理解等。

1.1.3 图像处理系统

实际的图像处理系统是一个非常复杂的系统,既包括硬件又包括软件,还和网络环境密切相关。虽然图形处理系统随着具体应用目标的不同,其构成大不相同,但从最基本的功能特征出发,可以构建出如图 1.5 所示的数字图像处理系统的概念模型。

在这个基本的系统中,除了网络环境以外,包括五大部分图像处理功能:待处理图像信号的输入,即采集模块;已处理图像的输出,即显示模块;在处理过程中需要用到控制和存储模块;和用户打交道的存取、通信模块;最为关键的图像处理核心模块,即主图像处理设备。下面简要介绍这几个模块的组成和特点。

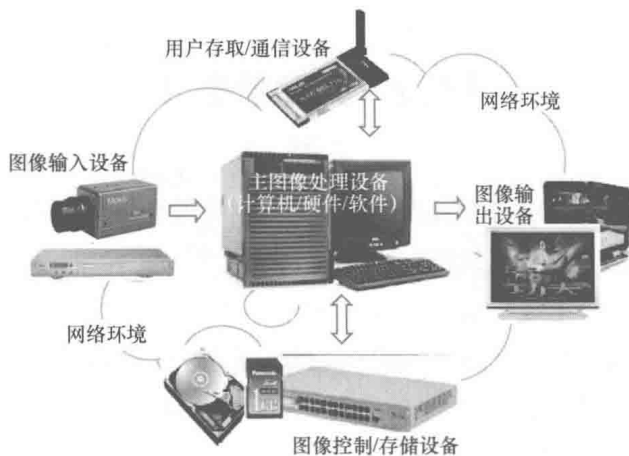


图 1.5 数字图像处理系统模型

(1) 图像输入设备：根据不同的应用需求，图像的输入设备可以采用不同的方式。如 CCD/CMOS 摄像机、数字照相机、磁带录像机的输出，激光视盘的输出，红外光摄像机、扫描仪的输出，计算机断层扫描的输出，磁共振成像 (MRI) 的输出等。此外，接收的广播电视信号，来自互联网的图像数据以及来自其他图像处理系统的信号，也可以作为图像处理系统的输入。

(2) 图像输出设备：常见的图像输出设备如电视机、计算机的显示器。高质量显示设备包括平板液晶显示器 (LCD, Liquid Crystal Display) 和发光二极管 (LED, Light Emitting Diode) 显示器，还有色彩更加丰富的有机发光二极管 (OLED, Organic LED) 显示器，便于携带的可弯曲的 LED 显示器等。除了各类显示器，还有大屏幕投影仪、彩色打印机、硬盘复制机、彩色绘图仪等，甚至网络云端的各种输出设备。

(3) 图像控制/存储设备：控制设备主要用于在图像处理过程中对主图像处理设备进行控制，如键盘、鼠标、控制杆、各种开关，还包括立体图像处理中使用的数据手套、力感应器和各种专用控制部件等。图像存储设备更是种类繁多，主要用于在图像处理过程中，对图像信息本身和其他相关信息进行暂时或永久存储，如各种大容量 RAM、ROM、闪存 (Flash Memory)、SD 卡、硬盘、光盘、磁带机等。对于大容量、特大容量的数据可快速地存储在云端的数据中心。

(4) 用户存取/通信设备：有些情况下，用户需将已处理好的或还要进一步处理的图像信号取出或送入主图像处理设备，该模块可满足用户的这一需求。存取一般是指本地操作，如光盘、磁带、硬盘或各种存取器件等；而通信则相当于远端的存取操作，如基于局域网、Internet、数字通信网的通信设备等。

(5) 主图像处理设备：这部分是图像处理系统的核心。主处理设备可以大到分布式计算机组、一台大型计算机，小至一台微机，甚至一片 DSP 芯片。除了硬件外，它还包括用于图像处理的各种通用或专用软件，其规模可以是一套图像处理系统软件，也可以只是一段图像处理指令。