



北京市高等教育精品教材立项项目

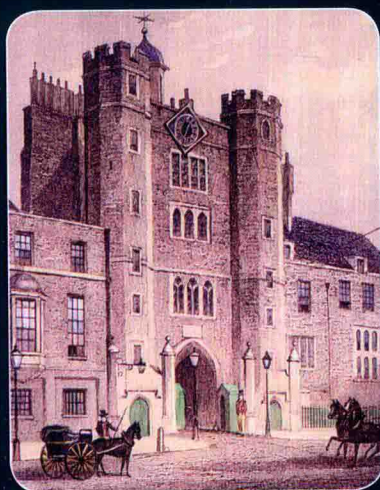
21 世纪高等学校计算机规划教材  
21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

# 图像处理和 分析教程 (第2版)

A Course of Image Processing and  
Analysis (2nd Edition)

章毓晋 编著

- 图像工程领域的入门经典教材
- 内容全面、选材前沿、解释直观、定义精炼
- 各章平衡、方便教学、示例丰富、提供索引



名家系列

 中国工信出版集团

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS



北京市高等教育精品教材立项项目

21 世纪高等学校计算机规划教材  
21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

# 图像处理和分析教程 (第2版)

A Course of Image Processing and  
Analysis (2nd Edition)

章毓晋 编著



名家系列

人民邮电出版社

北京

## 图书在版编目 (C I P) 数据

图像处理和分析教程 / 章毓晋编著. — 2版. — 北京: 人民邮电出版社, 2016.1  
21世纪高等学校计算机规划教材. 名家系列  
ISBN 978-7-115-41002-3

I. ①图… II. ①章… III. ①图象处理—高等学校—教材②图象分析—高等学校—教材 IV. ①TP391.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第290057号

## 内 容 提 要

《图像处理和分析教程》(第2版)系统地介绍了图像处理和分析的一些基本原理、典型方法和实用技术。其内容包括绪论、图像采集、空域图像增强、频域图像增强、图像恢复、图像投影重建、图像编码基础、图像编码技术和标准、基本图像分割技术、典型图像分割算法、目标表达和描述、特征提取和测量误差、彩色图像处理和分析、视频图像处理和分析、数学形态学方法。读者可从中了解图像处理和分析的基本思路和常用技术,并应能据此解决实际图像应用中的一些具体问题。本书包括许多讲解例题,每章均有要点总结、参考文献介绍和练习题(为部分练习题提供了解答)。

本书可作为信号与信息处理、通信与信息系统、电子与通信工程、模式识别与智能系统、计算机科学和计算机视觉等学科大学本科专业基础课教材,也适合用作远程教育或继续教育中电子技术、计算机应用等专业大学本科和研究生课程教材,还可供涉及图像技术应用行业(如生物医学、电视广播、工业自动化、文档识别、机器人、电子医疗设备、遥感测绘、智能交通和军事侦察等)的科技工作者自学和科研参考。

- 
- ◆ 编 著 章毓晋  
责任编辑 武恩玉  
责任印制 沈 蓉 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>  
三河市潮河印业有限公司印刷
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 23 2016年1月第2版  
字数: 608千字 2016年1月河北第1次印刷
- 

定价: 49.80元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316  
反盗版热线: (010)81055315

本书为《图像处理和分析教程》的第2版，是一本介绍图像处理和分析的基本原理、典型方法和实用技术的专门教材，适合作为普通高等工科院校的相关专业（包括并非专门研究图像技术的专业）开设第一门图像课程的教材。

本次再版仍保持了原版的基本特点和风格，选材比较全面，覆盖了相关领域的基本内容，注重兼顾不同专业背景学习者和自学读者学习的需要；使用了较多的例题，并通过直观的解释和大量的图片来帮助读者理解抽象的概念。

本次再版根据图像技术的发展对内容进行了增删调整。一方面，考虑到视频图像的广泛应用，增加了新的一章——视频图像处理和分析。对其他章，增加了图像修复、图像超分辨率、迭代变换法、彩色图像消噪、彩色图像分割和灰度数学形态学组合运算6节新的内容。还补充介绍了仿射变换、电阻抗断层成像、磁共振成像、哥伦布编码、香农-法诺编码、小波变换基础、基于提升小波的编码、二值图像压缩国际标准、特征空间聚类、局部二值模式、偏心率以及交叉数和连接数等内容。另一方面，删除了近年逐步淡出应用的沃尔什和哈达码变换、先修课程常介绍的色度图，以及更适合后续课程学习的自适应滤波器和霍特林变换等内容。

本书从方便课堂教学的角度出发，设计了内容比较平衡（如同一个主题内容较多则分为两章）、长度基本相同的15章，每章一次课，用于一个学期的教学。对专业基础较好或较高年级的学生，可考虑每章用2个学时，而对其他一些相近专业或较低年级的学生，可考虑每章用3个学时。编写本书时，从读者学习的角度出发，对新概念尽可能先给出比较精练的定义然后再进行具体介绍，对所涉及的技术方法除给出原理外还提供了比较详细的描述。本书各部分相对独立，对每个概念或方法尽量一次完整描述，基本上不再需要参引书中其他部分，正文中也没有引述参考文献。

本书每章后都有一节为总结和复习，一方面总结了该章各节的要点，帮助复习；另一方面，有针对性地介绍了一些相关的参考文献，帮助学有余力的学生进一步深入。本书还在文后给出了术语索引（文中标为黑体），每个术语均在索引中给出了对应的英文，既方便读者对本书的查阅，也方便联网搜索相关资料。

本书从结构上看，共有15章正文，以及部分习题解答、参考文献和索引。在这18个一级标题下共有91个二级标题（节），再之下还有177个三级标题（小节）。全书共有文字（也包括图片、绘图、表格、公式等）约50万字，共有图400个、表格26个、公式689个。为便于教学和理解，本书共给出各类例题138个，思考题和练习题180个，对其中的30个练习题提供了参考答案。相比上一版，练习题仍保持每章12个（也考虑了各章的均衡），但把提供参考答案的题数量限制在两个，以供教师布置作业时有更多的选择。另外，书末列出了所介绍的189篇参考文献的目录和用于索引的735个术语。

在此,感谢出版社编辑的精心组稿、认真审阅和细心修改。

最后,感谢妻子何芸、女儿章荷铭以及父母家人在各方面的理解和支持。

章毓晋

2015年暑假于书房

通信:北京清华大学电子工程系,100084

电话:(010) 62798540

传真:(010) 62770317

邮箱:zhang-yj@tsinghua.edu.cn

主页:oa.ee.tsinghua.edu.cn/~zhangyujin/

# 目 录

## 第 1 章 绪论.....1

- 1.1 图像概述.....1
  - 1.1.1 基本概念和术语.....1
  - 1.1.2 不同波段的图像示例.....2
  - 1.1.3 不同类型的图像示例.....5
  - 1.1.4 图像应用领域.....9
- 1.2 图像工程概述.....10
  - 1.2.1 图像工程的三个层次.....10
  - 1.2.2 相关学科.....11
  - 1.2.3 图像处理分析系统的组成.....12
- 1.3 图像表示和显示.....13
  - 1.3.1 图像和像素的表示.....13
  - 1.3.2 图像显示.....14
- 1.4 图像存储与格式.....16
  - 1.4.1 图像存储器件.....16
  - 1.4.2 图像文件格式.....17
- 1.5 本书内容提要.....19
  - 1.5.1 图像技术分类和选取.....19
  - 1.5.2 图像处理和图像分析.....19
  - 1.5.3 如何学习使用本书.....21
- 总结和复习.....22

## 第 2 章 图像采集.....25

- 2.1 几何成像模型.....25
  - 2.1.1 投影成像几何.....26
  - 2.1.2 基本成像模型.....27
  - 2.1.3 一般成像模型.....29
- 2.2 亮度成像模型.....31
- 2.3 采样和量化.....32
  - 2.3.1 空间分辨率和幅度分辨率.....32
  - 2.3.2 图像质量与采样和量化.....34
- 2.4 像素间联系.....36
  - 2.4.1 像素邻域.....36
  - 2.4.2 像素间距离.....37

- 2.5 图像坐标变换和应用.....39
  - 2.5.1 基本坐标变换.....39
  - 2.5.2 仿射变换.....41
  - 2.5.3 几何失真校正.....42
- 总结和复习.....45

## 第 3 章 空域图像增强.....48

- 3.1 灰度映射.....48
  - 3.1.1 灰度映射原理.....48
  - 3.1.2 灰度映射示例.....50
- 3.2 图像运算.....51
  - 3.2.1 算术运算.....52
  - 3.2.2 逻辑运算.....53
- 3.3 直方图修正.....55
  - 3.3.1 直方图均衡化.....55
  - 3.3.2 直方图规定化.....58
- 3.4 空域滤波.....62
  - 3.4.1 原理和分类.....62
  - 3.4.2 线性平滑滤波器.....63
  - 3.4.3 线性锐化滤波器.....64
  - 3.4.4 非线性平滑滤波器.....65
  - 3.4.5 非线性锐化滤波器.....67
- 总结和复习.....68

## 第 4 章 频域图像增强.....71

- 4.1 傅里叶变换.....72
  - 4.1.1 2-D 傅里叶变换.....72
  - 4.1.2 傅里叶变换定理.....73
  - 4.1.3 傅里叶变换特性.....75
- 4.2 低通滤波器.....75
  - 4.2.1 理想低通滤波器.....76
  - 4.2.2 实用低通滤波器.....77
- 4.3 高通滤波器.....79
  - 4.3.1 基本高通滤波器.....80
  - 4.3.2 特殊高通滤波器.....81

4.4 带阻带通滤波器.....	83	6.1.1 透射断层成像.....	117
4.4.1 带阻滤波器.....	83	6.1.2 发射断层成像.....	119
4.4.2 带通滤波器.....	84	6.1.3 反射断层成像.....	120
4.4.3 陷波滤波器.....	85	6.1.4 电阻抗断层成像.....	121
4.4.4 交互消除周期噪声.....	86	6.1.5 磁共振成像.....	121
4.5 同态滤波器.....	87	6.2 投影重建原理.....	122
4.6 空域技术与频域技术.....	89	6.2.1 基本模型.....	122
4.6.1 空域技术的频域分析.....	89	6.2.2 拉东变换.....	123
4.6.2 空域或频域技术的选择.....	90	6.2.3 逆投影.....	124
总结和复习.....	91	6.3 傅里叶反变换重建.....	125
<b>第5章 图像恢复.....</b>	<b>94</b>	6.3.1 基本步骤和定义.....	126
5.1 图像退化和噪声.....	95	6.3.2 傅里叶反变换重建公式.....	126
5.1.1 图像退化示例.....	95	6.3.3 头部模型重建.....	128
5.1.2 基本退化模型.....	96	6.4 卷积逆投影重建.....	130
5.1.3 典型噪声介绍.....	96	6.4.1 连续公式推导.....	130
5.1.4 噪声概率密度函数.....	98	6.4.2 离散计算.....	130
5.2 空域噪声滤波器.....	100	6.4.3 扇束投影重建.....	131
5.2.1 均值滤波器.....	100	6.5 级数展开重建.....	133
5.2.2 排序统计滤波器.....	102	6.5.1 重建模型.....	133
5.3 组合滤波器.....	103	6.5.2 代数重建技术.....	134
5.3.1 混合滤波器.....	103	6.5.3 级数法的一些特点.....	135
5.3.2 选择性滤波器.....	104	6.6 迭代变换重建.....	135
5.4 无约束恢复.....	106	总结和复习.....	136
5.4.1 无约束恢复模型.....	106	<b>第7章 图像编码基础.....</b>	<b>139</b>
5.4.2 逆滤波.....	107	7.1 图像压缩和数据冗余.....	139
5.5 有约束恢复.....	108	7.1.1 图像压缩原理.....	140
5.5.1 有约束恢复模型.....	108	7.1.2 数据冗余类型.....	140
5.5.2 维纳滤波器.....	108	7.2 图像保真度.....	143
5.6 图像修复.....	109	7.2.1 客观保真度准则.....	143
5.6.1 图像修复原理.....	110	7.2.2 主观保真度准则.....	144
5.6.2 图像修复示例.....	110	7.3 编码定理.....	144
5.7 图像超分辨率.....	112	7.3.1 信息和信源描述.....	144
5.7.1 基本模型.....	112	7.3.2 无失真编码定理.....	145
5.7.2 基于单幅图像的超分辨率复原.....	113	7.4 变长编码.....	147
5.7.3 基于多幅图像的超分辨率重建.....	114	7.4.1 哥伦布编码.....	147
总结和复习.....	115	7.4.2 香农-法诺编码.....	148
<b>第6章 图像投影重建.....</b>	<b>117</b>	7.4.3 哈夫曼编码.....	149
6.1 投影重建方式.....	117	7.4.4 算术编码.....	152
		7.5 位平面编码.....	154



7.5.1 位面分解	154	9.5.2 分裂合并	202
7.5.2 位面编码	157	总结和复习	203
总结和复习	158	<b>第 10 章 典型图像分割算法</b>	<b>205</b>
<b>第 8 章 图像编码技术和标准</b>	<b>161</b>	10.1 SUSAN 检测算子	205
8.1 预测编码	161	10.1.1 USAN 原理	205
8.1.1 无损预测编码	161	10.1.2 SUSAN 算子边缘检测	206
8.1.2 有损预测编码	163	10.2 主动轮廓模型	209
8.2 余弦变换编码	167	10.2.1 主动轮廓	209
8.2.1 离散余弦变换	167	10.2.2 设计能量函数	210
8.2.2 基于 DCT 的编码	169	10.3 特色的取阈值技术	213
8.3 小波变换编码	171	10.3.1 多分辨率阈值选取	213
8.3.1 小波变换基础	171	10.3.2 类间最大交叉熵阈值	214
8.3.2 离散小波变换	173	10.3.3 类内最小模糊散度阈值	216
8.3.3 基于 DWT 的编码	174	10.3.4 借助过渡区选择阈值	218
8.3.4 基于提升小波的编码	175	10.3.5 特征空间聚类	220
8.4 图像压缩国际标准	176	10.4 分水岭分割算法	221
8.4.1 二值图像压缩国际标准	176	总结和复习	224
8.4.2 灰度图像压缩国际标准	177	<b>第 11 章 目标表达和描述</b>	<b>227</b>
总结和复习	181	11.1 目标标记	227
<b>第 9 章 基本图像分割技术</b>	<b>183</b>	11.2 基于边界的表达	229
9.1 图像分割定义和技术分类	183	11.2.1 技术分类	229
9.1.1 图像分割定义	183	11.2.2 链码	229
9.1.2 图像分割技术分类	184	11.2.3 边界段和凸包	231
9.2 并行边界技术	184	11.2.4 边界标记	231
9.2.1 边缘及检测原理	184	11.2.5 多边形	233
9.2.2 一阶导数算子	185	11.2.6 地标点	234
9.2.3 二阶导数算子	187	11.3 基于区域的表达	235
9.2.4 边界闭合	190	11.3.1 技术分类	235
9.3 串行边界技术	191	11.3.2 空间占有数组	235
9.3.1 图搜索	191	11.3.3 四叉树	236
9.3.2 动态规划	192	11.3.4 金字塔	236
9.4 并行区域技术	193	11.3.5 围绕区域	237
9.4.1 原理和分类	194	11.3.6 骨架	238
9.4.2 全局阈值的选取	195	11.4 基于边界的描述	240
9.4.3 局部阈值的选取	197	11.4.1 简单边界描述符	240
9.4.4 动态阈值的选取	200	11.4.2 形状数	242
9.5 串行区域技术	200	11.4.3 边界矩	243
9.5.1 区域生长	201	11.5 基于区域的描述	243



11.5.1 简单区域描述符.....	243	14.2 运动信息检测.....	297
11.5.2 拓扑描述符.....	245	14.2.1 基于摄像机模型的检测.....	297
11.5.3 不变矩.....	245	14.2.2 基于差图像的检测.....	299
总结和复习.....	247	14.3 视频滤波.....	301
<b>第 12 章 特征提取和测量误差</b> .....	<b>249</b>	14.3.1 基于运动检测的滤波.....	301
12.1 区域纹理特征及测量.....	249	14.3.2 基于运动补偿的滤波.....	302
12.1.1 统计法.....	249	14.3.3 消除匀速直线运动模糊.....	304
12.1.2 结构法.....	253	14.4 视频压缩国际标准.....	305
12.1.3 频谱法.....	256	14.5 背景建模.....	310
12.2 区域形状特征及测量.....	258	14.5.1 基本原理.....	310
12.2.1 形状紧凑性.....	258	14.5.2 典型实用方法.....	311
12.2.2 形状复杂性.....	262	14.5.3 效果示例.....	312
12.3 拓扑结构描述参数.....	264	总结和复习.....	313
12.4 特征测量的准确度.....	265	<b>第 15 章 数学形态学方法</b> .....	<b>316</b>
12.4.1 准确度和精确度.....	265	15.1 二值形态学基本运算.....	316
12.4.2 影响测量准确度的因素.....	267	15.1.1 膨胀和腐蚀.....	317
12.4.3 直线长度测量.....	267	15.1.2 开启和闭合.....	318
总结和复习.....	268	15.2 二值形态学组合运算.....	320
<b>第 13 章 彩色图像处理和分析</b> .....	<b>271</b>	15.2.1 击中-击不中变换.....	321
13.1 基于物理的彩色模型.....	271	15.2.2 组合运算.....	323
13.1.1 三基色模型.....	272	15.3 二值形态学实用算法.....	326
13.1.2 基于三基色的模型.....	273	15.4 灰度形态学基本运算.....	328
13.2 基于感知的彩色模型.....	274	15.4.1 灰度图像排序.....	328
13.2.1 HSI 模型.....	275	15.4.2 灰度膨胀和腐蚀.....	329
13.2.2 其他彩色感知模型.....	277	15.4.3 灰度开启和闭合.....	333
13.3 伪彩色增强.....	279	15.5 灰度形态学组合运算.....	334
13.4 真彩色增强.....	281	总结和复习.....	336
13.4.1 处理策略.....	281	<b>部分思考题和练习题的参考解答</b> .....	<b>339</b>
13.4.2 彩色单分量增强.....	282	<b>参考文献</b> .....	<b>344</b>
13.4.3 全彩色增强.....	284	<b>索引</b> .....	<b>352</b>
13.5 彩色图像消噪.....	286		
13.6 彩色图像分割.....	289		
13.6.1 彩色空间的选择.....	289		
13.6.2 彩色图像分割策略.....	290		
总结和复习.....	291		
<b>第 14 章 视频图像处理和分析</b> .....	<b>293</b>		
14.1 视频表达和格式.....	293		

# 第 1 章

## 绪论

图像是非常典型的一种携带大量信息的媒体形式，也是人类与自然交流中的重要纽带。在信息社会中，电子技术和计算机技术的发展对图像的广泛应用起到了极大的推动作用，有关各类图像的采集和加工技术近年来得到了长足的进展，出现了许多有关的新理论、新技术、新算法、新手段和新设备，并已使得各种图像技术在科学研究、工业生产、医疗卫生、教育、娱乐、管理和通信等方面得到了广泛的重视，对推动社会发展、改善人们生活水平都起到了重要的作用。

本书是一本介绍基本的和典型的图像（处理和分析）技术的教材。作为第 1 章，先对图像相关的概念给予介绍，对图像技术的整体情况给予概述，并为后续各章的学习打些基础。

本章各节安排如下。

1.1 小节先列出有关图像的一些基本概念和术语，并展示出各种类型的图像范例，还罗列了一些图像及图像技术应用的领域。

1.2 小节概括介绍代表图像技术总体的图像工程学科的情况，以及与一些相关学科的联系和区别，还简单介绍了图像处理分析系统的主要功能模块。

1.3 小节讨论如何表示整幅图像及图像的基本单元——像素，并介绍图像显示设备和显示原理，以及半调输出和抖动技术。

1.4 小节介绍一些存储图像数据的基本器件以及几种常用的图像数据格式。

1.5 小节对图像技术进行了初步分类，对图像处理技术和图像分析技术进行了对比，在此基础上讨论了各章内容的选取和使用本书的一些建议。

## 1.1 图像概述

这里先给出一些图像的基本概念和术语的简短定义（详细解释见后），然后展示一些各种类型的图像范例，最后罗列一些图像应用的领域。

### 1.1.1 基本概念和术语

#### 1. 图像

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并进而产生视知觉的实体。图像带有大量的信息，如百闻不如一见、一图值千字都说明了这个事实。在实际中，图像这个概念是比较广义的，如照片、绘画、草图、动画、视像等都是图像的形式。可见，所有人的视觉对象都是图像，更准确地说是连续图像。

## 2. 连续图像

连续图像源自客观世界中景物的影像,是人眼直接感受到的图像(视觉对象),也称模拟图像。

## 3. 视觉

视觉是人用眼睛观测世界,并用人脑感知世界的一种能力,也是人类观察世界、认知世界的重要功能手段。视觉是人类从外界获得信息的主要源泉。据统计,人类从外界获得的信息约有75%来自视觉系统,这既说明视觉信息量巨大,也表明人类对视觉信息有较高的利用率。

## 4. 视觉系统

视觉系统是通过观测世界获得图像,并进而实现视觉功能的系统。人的视觉系统包括眼睛、神经、脑皮层等器官。随着科技的进步,由计算机和电子设备构成的人造视觉系统也越来越多,它们试图实现并改善人工视觉系统。人造视觉系统主要使用数字图像作为计算机的输入。

## 5. 数字图像

数字图像是对连续图像数字化或离散化的结果,也称离散图像。早期英文书籍里一般用 picture 代表图像。随着数字技术的发展,现都用 image 代表离散化了的数字图像(所以中文用“图象”这个词应更合理)。本书讨论的基本都是用电子设备获得的且用计算机技术来加工的数字图像,在不引起歧义的时候,均只写图像。

## 6. 图像技术

图像技术指利用计算机和电子设备对图像进行各种加工的技术。这里被加工的都是数字图像,所以也有人称为数字图像技术。但正如上所述,本书均用图像技术来代表。两类比较基本和应用广泛的图像技术是图像处理技术和图像分析技术,将在后面各章节展开讲述。

## 7. 图像处理技术

图像处理技术主要关注的是通过对图像的加工获得更好的视觉观察效果,或在保证一定的视觉观察效果的基础上减少图像存储所需的空间或传输所需的时间。

## 8. 图像分析技术

图像分析技术主要关注的是对图像中感兴趣的目标进行检测和测量,以获得各种描述目标特点和性质的客观数据和信息。

# 1.1.2 不同波段的图像示例

图像反映了客观世界中景物的映像,呈现出亮度模式的空间分布。图像成像可借助各种电磁波辐射(包括可见光)来实现。电磁波谱很宽,各种电磁波的波长从短到长依次为:宇宙 $\gamma$ 射线(伽玛射线及宇宙射线)、X射线(伦琴射线)、紫外线、可见光、红外线、无线电波(包括微波)、交流电。由不同波长的电磁波所获得的图像有不同的特点,下面依次介绍。

### 1. 宇宙 $\gamma$ 射线图像

$\gamma$ 射线是原子核受激后产生的电磁波,其波长非常短(常达约0.001 nm,更短的电磁波常称宇宙射线,也有人把 $\gamma$ 射线看作宇宙射线一部分的),但能量非常高(甚至高于 $10^{11}$ eV)。图1.1.1所示是几幅天文方面所获得的 $\gamma$ 射线图像。

### 2. X射线图像

X射线是原子受激后产生的电磁波,其波长在0.001~10 nm。它具有很高的穿透本领,能透过许多对可见光不透明的物质,如墨纸、木料等,所以常用于医学诊断和治疗,也常用于晶体结构分析等。图1.1.2所示是几幅对人体不同部位获取的X射线图像,展示了肉眼不能直接观察到的人体内部的结构信息。

图 1.1.1 宇宙 $\gamma$ 射线图像示例

图 1.1.2 X 射线图像示例

图 1.1.3 所示是一幅利用反向散射 X 射线成像获得的人体轮廓图像，从中可检测出被隐藏枪支的轮廓和位置。这在安全监测等领域很有用。

### 3. 紫外线图像

紫外线是物质外层电子受激发后产生的电磁波，其波长约在  $10\sim 400\text{ nm}$ ，比可见紫色光还短。紫外线还可进一步分为真空紫外线 ( $10\sim 200\text{ nm}$ )、短波紫外线 ( $200\sim 290\text{ nm}$ )、中波紫外线 ( $290\sim 320\text{ nm}$ )、长波紫外线 ( $320\sim 400\text{ nm}$ )。图 1.1.4 所示是两幅天文方面的紫外线图像。由于宇宙正在膨胀，远处星系辐射来的紫外线的波长变长而成为可见光。在图 1.1.4 里，左图对应旋涡状星系的星暴区，而右图则展示了两个星系之间的冲撞。

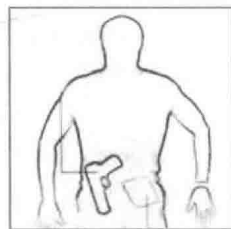


图 1.1.3 利用反向散射 X 射线成像获得的人体轮廓图像示例

### 4. 可见光图像

可见光是人眼能直接感受到的电磁波，其波长约在  $400\sim 800\text{ nm}$ 。其中不同的波长对应不同的颜色：紫光 ( $400\sim 430\text{ nm}$ )、蓝光 ( $430\sim 460\text{ nm}$ )、青光 ( $460\sim 490\text{ nm}$ )、绿光 ( $490\sim 570\text{ nm}$ )、黄光 ( $570\sim 600\text{ nm}$ )、橙光 ( $600\sim 630\text{ nm}$ )、红光 ( $630\sim 750\text{ nm}$ )。这些从红色到紫色的不同颜色的光可从日常的白光中借助三棱镜分离出来，如图 1.1.5 所示。本书中讨论的图像处理和分析技术主要用可见光图像转化来的灰度图像进行介绍，有关彩色图像的更多介绍见第 13 章。

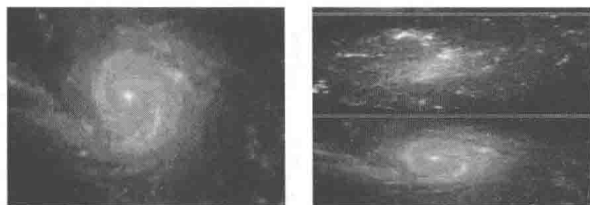


图 1.1.4 紫外线图像示例

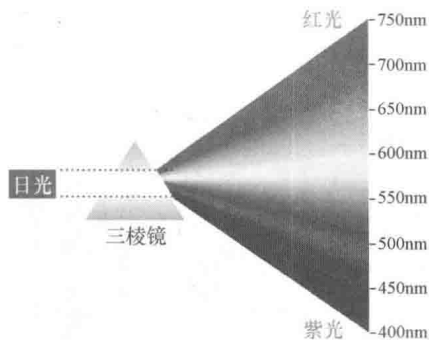


图 1.1.5 由日光中分离出不同颜色的光

人们日常观察到的图像主要是借助可见光获得的, 可见光图像使用得也最广泛。需要指出, 虽然利用同一光源的光谱(一定的波长范围, 如日光)来成像, 但由于照射条件(光源的照度、角度或光源与成像物间的方位等)的不同, 所获得的图像及反映的细节也会不同。例如, 图 1.1.6 所示是一组不同光照角度下的人脸样本图像。

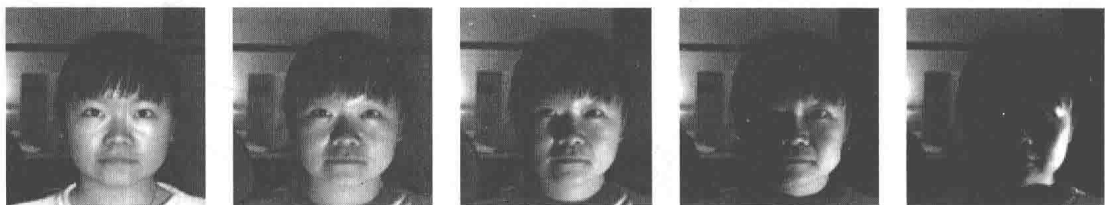


图 1.1.6 不同光照图像示例

### 5. 红外线图像

所有高于绝对零度( $-273^{\circ}\text{C}$ )的物质都可以产生红外线。红外线的波长比可见红色光还长, 约在  $0.78\sim 1\,000\ \mu\text{m}$ , 有比较强的穿透浓雾的能力。红外线还可进一步分为近红外( $0.78\sim 1.5\ \mu\text{m}$ )、中红外( $1.5\sim 6\ \mu\text{m}$ )、远红外( $6\sim 1\,000\ \mu\text{m}$ )。

图 1.1.7 所示是几幅红外线图像(常称红外图像)。左图是对一个读报人拍摄的图片, 反映了人体不同部位热度的分布。中图是有大火和浓烟时拍摄的图片, 红外线穿透浓烟给出了人的位置。右图是飞机航拍得到的图片, 不同的亮度指示了地面不同植被的分布情况。



图 1.1.7 红外线图像示例

### 6. 无线电波图像

无线电波广泛使用在无线电广播、电视、雷达、手机、通信等领域, 其波长范围比较大, 包括微波( $1\sim 10\,000\ \text{mm}$ )、短波( $10\sim 50\ \text{m}$ )、中波( $50\sim 3\,000\ \text{m}$ )、长波( $3\sim 50\ \text{km}$ )。其中, 微波又可细分为毫米波(它对金属比较敏感)、厘米波和分米波。无线电波图像是借助各种无线电波得到的。图 1.1.8 所示是两幅毫米波全身扫描成像系统的图像, 左图(可见光图)反映了乘客通过安全门接受检查的情况, 右图对应系统的屏幕显示, 其中左列两图是借助毫米波成像获得的。



图 1.1.8 毫米波全身扫描成像系统

## 7. 交流电波图像

交流电波的波长常在上千 km, 如频率为 50 Hz 的家用交流电的波长长达 6 000 km。交流电波图像与交流电场有密切联系。电阻抗断层成像就是一种利用交流电场和第 6 章介绍的从投影重建图像技术原理工作的一种成像方式。图 1.1.9 所示是利用电阻抗断层成像得到的两幅图像。

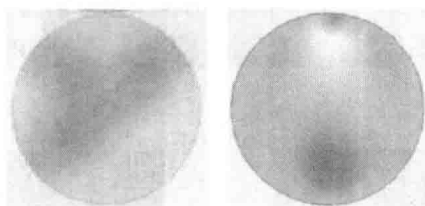


图 1.1.9 电阻抗断层成像的图像示例

### 1.1.3 不同类型的图像示例

图像的概念近年有许多扩展。虽然以前一般谈到的图像常指 2-D 图像, 但 3-D 图像、彩色图像、多光谱图像、立体图像和多视图像等也越来越多见。虽然以前一般谈到的图像常指静止的单幅图像, 但运动的图像序列(如电视和视频)等也逐步得到了广泛的应用。虽然图像常用对应辐射强度的灰度点阵(彩色图像可结合使用 3 个灰度点阵)的形式显示, 但图像灰度代表的也可能是景物的深度值(如深度图像)、景物表面的纹理变化(如纹理图像)、景物的物质吸收值(如投影重建图像)等。下面对这些类型的图像各举几个例子。

#### 1. 彩色图像

彩色图像是用三个性质空间(如  $R$ 、 $G$ 、 $B$ )的数值来表示的, 能给人以彩色感觉的图像。彩色图像在空间上(类似于灰度图像)可以是 2-D 的, 但在 2-D 空间每个点同时有三个值(表示三种性质)。图 1.1.10 所示是几幅典型的彩色图像, 色彩都比较鲜艳。

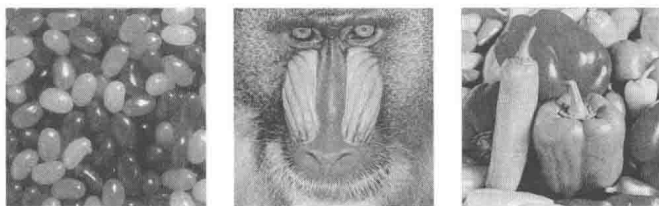


图 1.1.10 彩色图像示例

每幅彩色图像可看作由三幅代表  $R$ 、 $G$ 、 $B$  强度的无彩色图像结合而成。图 1.1.11 (a) 所示的一幅彩色图像是由图 1.1.11 (b) 所示的  $R$  分量、图 1.1.11 (c) 所示的  $G$  分量和图 1.1.11 (d) 所示的  $B$  分量结合而成。更多关于彩色图像的介绍见第 13 章。

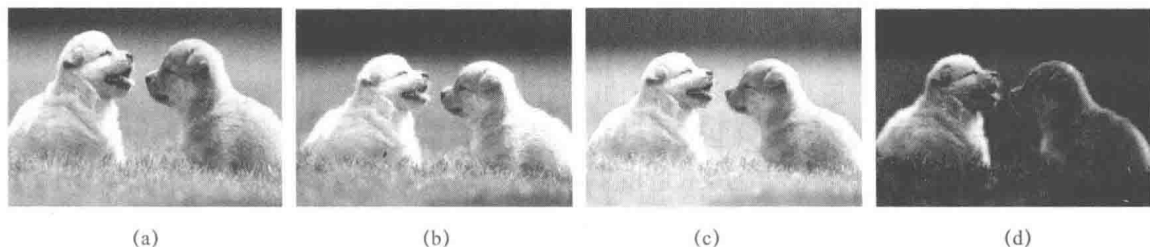


图 1.1.11 彩色图像及其三个分量图

## 2. 多光谱图像

多光谱图像也称多波段图像，是包含多个（几个到几十个）频段的一组图像。每幅图像对应一个频段。遥感图像一般均为多光谱图像，它是对同一个场景以不同波段的辐射进行成像而得到的。图 1.1.12 (a) 所示的两幅图像分别是用不同波长的辐射对同一个场景获得的，很明显它们反映了场景的不同特性。图 1.1.12 (b) 所示的两幅图像分别为 Landsat 地球资源卫星所获得的 TM (thematic mapper) 多光谱图像和 SPOT 遥感卫星所获得的 SPOT 全色图像，它们在光谱特性方面也有不同。

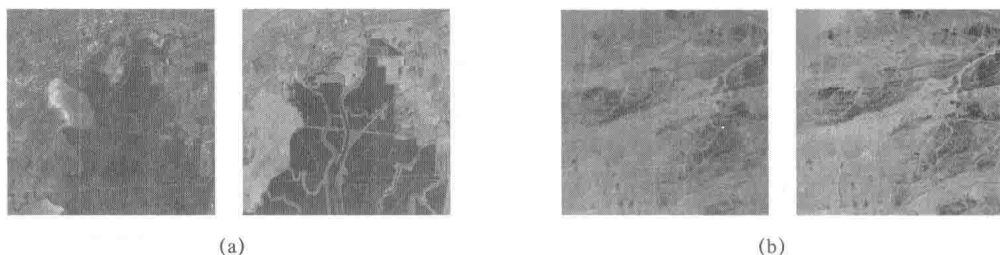


图 1.1.12 遥感图像示例

## 3. 纹理图像

纹理图像侧重反映物体表面的特性，因为纹理是物体表面的固有特征之一。例如，图 1.1.13 所示是三幅不同的纹理图像，其中图 1.1.13 (a) 是砖墙的图像，含有全局有序（常由一些类似的单元按一定规律排列而成）的纹理；图 1.1.13 (b) 是一块木疤的图像，含有局部有序（在图中局部区域的每个点存在某种相对一致的方向性）的纹理；图 1.1.13 (c) 是软木的图像，纹理是无序的（既无单元的重复性也无明显的方向性）。对纹理有不同的表达和分类方法，第 12 章还有更多的介绍。

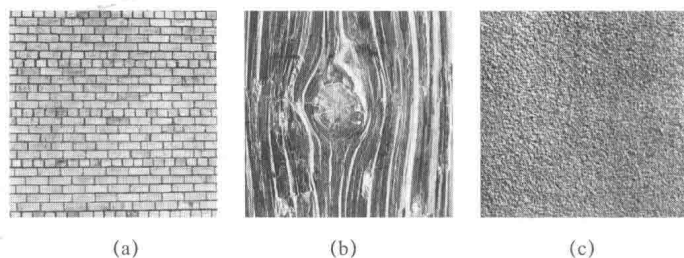


图 1.1.13 纹理图像示例

## 4. 立体图像

为获得场景中的深度信息，可以仿照人类视觉系统，利用双目立体视觉技术，即借助（多图像）成像技术从而获取场景中物体的距离（深度）信息。

立体图像最常用的是双目图像（也称立体图像对），近年也有许多方法采集和利用多目图像（有时也称多视图像）。一般双目图像是将相机左右并排放置获得的，两幅图像根据相机位置分别称为左图和右图。有时双目图像也可将相机上下并列放置而获得，此时两幅图像根据相机位置分别称为上图和下图。图 1.1.14 所示是相关的两对立体图像，其中图 1.1.14 (a) 和图 1.1.14 (b) 构成一对水平立体图像的左图和右图，图 1.1.14 (b) 和图 1.1.14 (c) 构成一对垂直立体图像的下图和上图。



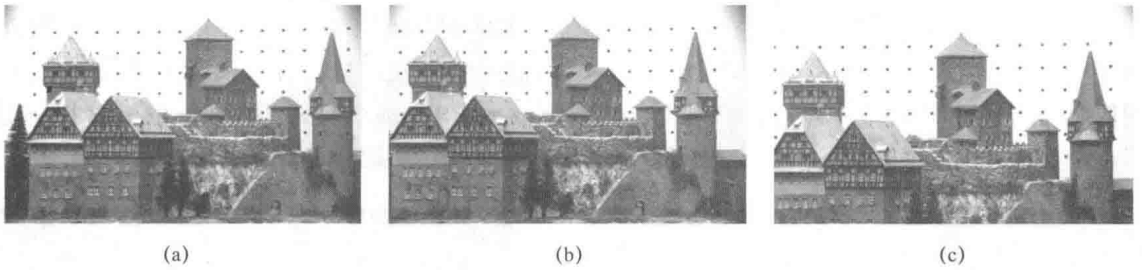


图 1.1.14 相关的两对立体图像

### 5. 深度图像

深度图像是指其灰度反映场景中景物与摄像机之间距离信息的图像。从深度图像可获得的信息并不是景物的亮度而是景物的 3-D 结构信息。例如，由图 1.1.14 (a) 和图 1.1.14 (b) 的一对立体图像计算得到的深度图像如图 1.1.15 (a) 所示，由图 1.1.14 的三幅立体图像计算得到的深度图像如图 1.1.15 (b) 所示（效果更好一些）。图中浅色表示较近的距离值，深色对应较远的距离值。

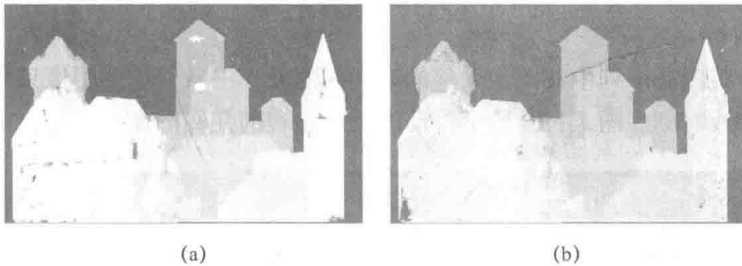


图 1.1.15 深度图像示例

### 6. 3-D 图像

3-D 图像一般是指其坐标空间为三维，需要用三元函数  $f(x, y, z)$  来表示的图像。3-D 图像可看作由一系列 2-D 图像叠加而成。例如，图 1.1.16 所示是一组 2-D 细胞切片图像。这些 2-D 图像依次对应 3-D 图像的不同层，将它们结合起来就可以获得 3-D 图像，完整地表示整个细胞的全貌。另一方面，视频图像也可看作 3-D 图像，用  $f(x, y, t)$  来表示，这将在第 14 章专门进行介绍。

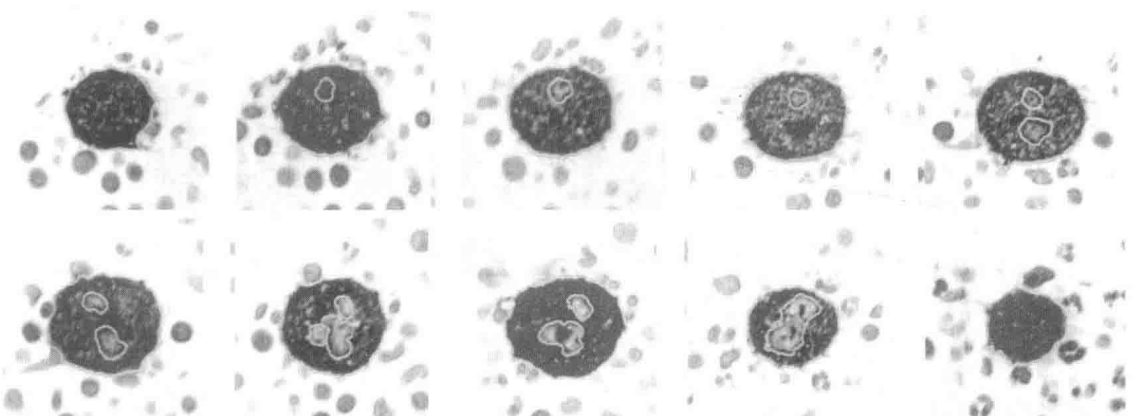


图 1.1.16 对应 3-D 图像不同层的一组 2-D 图像示例

### 7. 序列图像

序列图像是指时间上有一定顺序和间隔、内容上相关的一组图像,也称图像序列或运动图像,可如上所述用 $f(x, y, t)$ 来表示。视频图像是一种特殊的序列图像,其中的每幅图像称为帧图像,帧图像之间的时间间隔常是固定的。图 1.1.17 所示是一个由 8 幅帧图像构成的一个图像序列,描述了一段乒乓球比赛中的场景。更多关于视频图像的介绍见第 14 章。

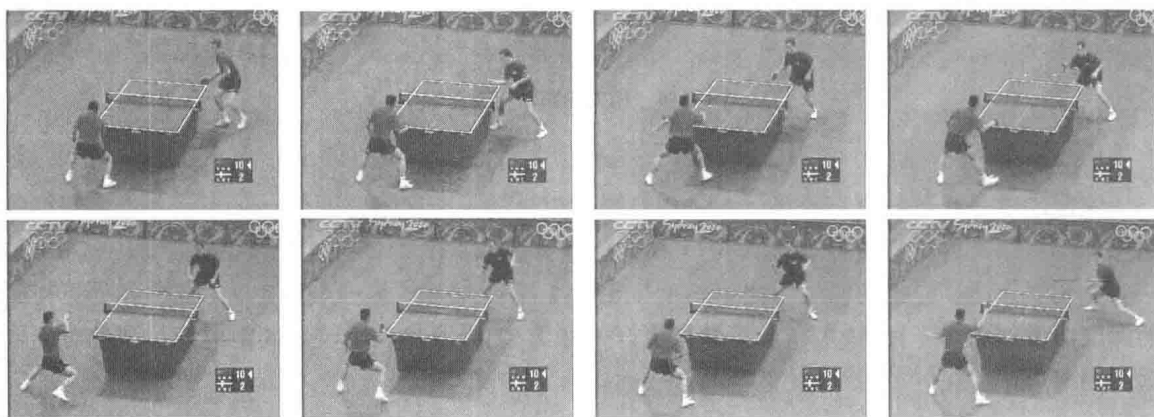


图 1.1.17 图像序列示例

另外,也有一些图像序列中各图像采集的时间间隔并不一致,这些图像只是反映了事件进程中不同的几个状态或时刻。图 1.1.18 所示是反映眨眼过程的几幅图像。



图 1.1.18 间隔不固定的图像序列示例

### 8. 投影重建图像

投影重建图像是指利用计算机从景物的投影出发重构复原出来的图像(详见第 6 章)。投影重建的方法很多,最常见的是利用计算机断层扫描,所得到的图像又可分为发射断层(CT)图像,正电子发射(PET)图像和单光子发射(SPECT)图像。图 1.1.19 (a)、图 1.1.19 (b)和图 1.1.19 (c)所示的分别是一幅示例图像。

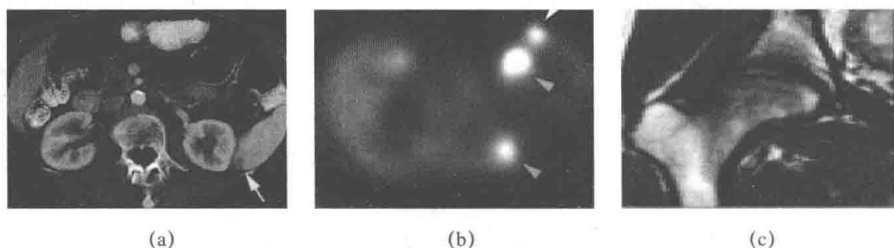


图 1.1.19 CT 图像、PET 图像和 SPECT 图像示例

磁共振(MRI)图像也是利用投影重建原理获得的(参见第 6 章)。图 1.1.20 所示是几幅 MRI 图像。