

21世纪高等学校计算机规划教材

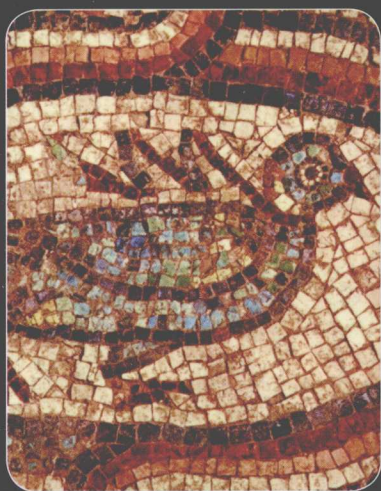
21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

图像处理和 分析教程

A Course of Image Processing and Analysis

章毓晋 编著

- 图像工程领域的经典教材
- 选材全面、注重实用、解释直观、示例丰富
- 各章平衡、方便教学、提供索引、便于查阅



名家系列

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

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

A Course of Image Processing and Analysis

章毓晋 编著



名家系列

人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

图像处理和分析教程 / 章毓晋编著. — 北京: 人民邮电出版社, 2009. 11

21世纪高等学校计算机规划教材
ISBN 978-7-115-21356-3

I. ①图… II. ①章… III. ①图像处理—高等学校—教材②图像分析—高等学校—教材 IV. ①TP391.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第168801号

内 容 提 要

本教材系统地介绍图像处理和分析的一些基本原理、典型方法和实用技术。内容包括图像采集、空域图像增强、彩色图像增强、图像变换、频域图像增强、图像恢复、图像投影重建、图像编码和国际标准、图像分割原理和典型方法、目标表达描述、特征提取和测量误差、数学形态学方法。读者可从中了解图像处理和分析的基本原理和典型技术并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, 每章均有要点小结、参考文献介绍和练习题(部分练习题还提供了解答)。

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、计算机科学及计算机视觉等学科大学本科专业基础课教材, 也适合作为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、广播电视、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、军事侦察等)的科技工作者自学和科研参考。

21世纪高等学校计算机规划教材

图像处理和分析教程

-
- ◆ 编 著 章毓晋
责任编辑 滑 玉
执行编辑 武恩玉
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市海波印务有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 21.5
字数: 563千字 2009年11月第1版
印数: 1-3000册 2009年11月河北第1次印刷

ISBN 978-7-115-21356-3

定价: 35.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

出版者的话

计算机科学与技术日新月异的发展,对我国高校计算机人才的培养提出了更高的要求。许多高校主动研究和调整学科内部结构、人才培养目标,提高学科水平和教学质量,精炼教学内容,拓宽专业基础,优化课程结构,改进教学方法,逐步形成了“基础课程精深,专业课程宽新”的良性格局。作为大学计算机教材建设的生力军,人民邮电出版社始终坚持服务高校教学、致力教育资源建设的出版理念,在总结前期教材建设成功经验的同时,深入调研和分析课程体系,并充分结合我国高校计算机教育现状和改革成果,推出“推介名师好书,共享教育资源”的教材建设项目,出版了“21世纪高等学校计算机规划教材”名家系列。

本套教材的突出特点如下:

(1) **作者权威** 本套教材的作者均为国内计算机学科中的学术泰斗或高校教学一线的教学名师,他们有着深厚的科研功底和丰富的教学经验。可以说,这套教材汇聚了众师之精华,充分显示了这套教材的格调和品位。无论是刚入杏坛的年轻教师,还是象牙塔内的莘莘学子,细细品读其中的章节文字,定会受益匪浅。

(2) **定位准确** 本套教材是为普通高等院校的学生量身定做的精品教材。具体体现在:一是本套教材的作者长期从事一线科研和教学工作,对高校教学有着深刻而独到的见解;二是本套教材在选题策划阶段便多次召开调研会,对普通高校的教学需求和教材建设情况进行充分摸底,从而保证教材在内容组织和结构安排上更加贴近实际教学;三是组织有关作者到较为典型的普通高等院校讲授课程教学方法,深入了解教师的教学需求,充分把握学生的理解能力,以教材内容引导授课教师严格按照科学方法实施教学。

(3) **教材内容与时俱进** 本套教材在充分吸收国内外最新计算机教学理念和教育体系的同时,更加注重基础理论、基本知识和基本技能的培养,集思想性、科学性、启发性、先进性和适应性于一身。

(4) **一纲多本,合理配套** 根据不同的教学法,同一门课程可以有多个不同的教材,教材内容各具特色,实现教材系列资源配套。

总之,本套教材中的每一本精品教材都切实体现了各位教学名师的教学水平,充分折射出名师的教学思想,淋漓尽致地表达着名师的教学风格。我们相信,这套教材的出版发行一定能够启发年轻教师们真正领悟教学精髓,教会学生科学地掌握计算机专业的基本理论和知识,并通过实践深化对理论的理解,学以致用。

我们相信,这套教材的策划和出版,无论在形式上还是在内容上都能够显著地提高我国高校计算机专业教材的整体水平,为培养符合时代发展要求的具有较强国际竞争力的高素质创新型计算机人才,为我国普通高等教育的计算机教材建设工作做出新的贡献。欢迎各位老师和读者给我们的工作提出宝贵意见。

前 言

本书是一部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，希望为普通高等工科院校的相关专业开设第一门图像课程服务。

本书选材比较全面，覆盖了相关领域的基本内容，同时兼顾了不同专业背景的学生和读者自学的需要。因为图像技术是一门比较实用的技术，所以本书比较注重实用性。考虑到近年许多专业使用了图像技术，但并非专门研究图像技术，所以本书没有过多强调理论性，尽量减少了公式推导。本书有较多的例题，通过直观的解释来帮助读者理解抽象的概念。

本书编写时，从读者学习的角度出发，对概念尽可能先给出比较精炼的定义再进行具体介绍，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讲清楚，基本不再参引书中其他部分，也不需再查看其他参考文献。

本书从方便课堂教学的角度出发，分成了内容比较平衡（如同一个主题内容较多，则分为两章）、长度接近的 15 章（每章均 4 节或 5 节），可每章一次课，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，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。本书各章后的习题也是等数量的，同样考虑了各章的均衡。

本书每章后都包括总结和复习，一方面总结该章各节的要点，帮助读者复习；另一方面，有针对性地介绍一些相关的参考文献，帮助学有余力的学生进一步深入研究学习。本书还在文后给出了术语索引（文中标为黑体），对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，也方便读者联网搜索相关资料。

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 83 个二级标题（节），再之下还有 156 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，其中共有编了号的图 361 个、表 27 个、公式 640 个。为便于教学和理解，本书共给出各类例题 119 个，思考题和练习题 180 个，对其中的 66 个练习题提供了参考答案。另外，书末列出了所介绍的 135 篇参考文献的目录和索引的 700 个术语。

感谢出版社编辑的精心组织、认真审阅和细心修改。

最后，作者感谢妻子何芸、女儿章荷铭以及父母家人在各方面给予的理解和支持。

章毓晋

2009 年暑假于蓝旗营

通信：北京清华大学电子工程系，100084

电话：(010) 62781430

传真：(010) 62770317

邮箱：zhangyj@ee.tsinghua.edu.cn

主页：www.ee.tsinghua.edu.cn/~zhangyujin/

研究室网：image.ee.tsinghua.edu.cn

目 录

第 1 章 绪论	1	第 3 章 空域图像增强	43
1.1 图像及应用	1	3.1 灰度映射	43
1.1.1 不同波段的图像	1	3.1.1 灰度映射原理	43
1.1.2 不同类型的图像	4	3.1.2 灰度映射示例	45
1.1.3 图像应用领域	9	3.2 图像运算	46
1.2 图像工程概述	9	3.2.1 算术运算	47
1.2.1 图像工程的 3 个层次	9	3.2.2 逻辑运算	48
1.2.2 相关学科	10	3.3 直方图修正	50
1.3 图像表示和显示	11	3.3.1 直方图均衡化	50
1.3.1 图像和像素	11	3.3.2 直方图规范化	53
1.3.2 图像显示	13	3.4 空域滤波	57
1.4 图像存储与格式	15	3.4.1 原理和分类	57
1.4.1 图像存储器件	15	3.4.2 线性平滑滤波器	58
1.4.2 图像文件格式	16	3.4.3 线性锐化滤波器	60
1.5 本书内容提要	17	3.4.4 非线性平滑滤波器	60
1.5.1 图像技术分类和选取	17	3.4.5 非线性锐化滤波器	63
1.5.2 如何学习使用本书	18	总结和复习	64
总结和复习	20	第 4 章 彩色图像增强	66
第 2 章 图像采集	22	4.1 三基色与色度图	66
2.1 几何成像模型	22	4.1.1 三基色	66
2.1.1 投影成像几何	23	4.1.2 色度图	67
2.1.2 基本模型	24	4.2 彩色模型及转换	69
2.1.3 一般模型	26	4.2.1 面向硬设备的彩色模型	69
2.2 亮度成像模型	28	4.2.2 面向视觉感知的彩色模型	71
2.3 采样和量化	29	4.3 伪彩色增强	74
2.3.1 空间分辨率和幅度分辨率	29	4.4 真彩色增强	76
2.3.2 图像质量与采样和量化	31	4.4.1 处理策略	77
2.4 像素间联系	33	4.4.2 彩色单分量增强	77
2.4.1 像素邻域	33	4.4.3 全彩色增强	79
2.4.2 像素间距离	34	总结和复习	81
2.5 图像坐标变换	35	第 5 章 图像变换	83
2.5.1 基本坐标变换	36	5.1 傅里叶变换	83
2.5.2 几何失真校正	38	5.1.1 可分离和对称变换	83
总结和复习	40		

5.1.2 2-D 傅里叶变换	85	7.3 组合滤波器	131
5.1.3 傅里叶变换定理	86	7.3.1 混合滤波器	131
5.2 沃尔什和哈达玛变换	89	7.3.2 选择性滤波器	132
5.2.1 沃尔什变换	89	7.4 无约束恢复	133
5.2.2 哈达玛变换	90	7.4.1 无约束恢复模型	133
5.2.3 两种变换的联系	92	7.4.2 逆滤波	134
5.3 离散余弦变换	94	7.4.3 消除匀速直线运动模糊	135
5.4 霍特林变换	96	7.5 有约束恢复	136
5.4.1 变换的计算	96	7.5.1 有约束恢复模型	136
5.4.2 变换的特点	98	7.5.2 维纳滤波器	136
总结和复习	99	总结和复习	138
第 6 章 频域图像增强	101	第 8 章 图像投影重建	140
6.1 低通滤波器	101	8.1 投影重建方式	140
6.1.1 理想低通滤波器	102	8.1.1 透射断层成像	140
6.1.2 实用低通滤波器	103	8.1.2 发射断层成像	142
6.2 高通滤波器	105	8.1.3 反射断层成像	143
6.2.1 基本高通滤波器	105	8.2 投影重建原理	143
6.2.2 特殊高通滤波器	107	8.2.1 基本模型	143
6.3 带阻带通滤波器	109	8.2.2 拉东变换	144
6.3.1 带阻滤波器	109	8.2.3 逆投影	145
6.3.2 带通滤波器	109	8.3 傅里叶反变换重建	147
6.3.3 陷波滤波器	111	8.3.1 基本步骤和定义	147
6.3.4 交互消除周期噪声	112	8.3.2 傅里叶反变换重建公式	147
6.4 同态滤波器	113	8.3.3 头部模型重建	149
6.5 空域技术与频域技术	115	8.4 卷积逆投影重建	151
6.5.1 空域技术的频域分析	115	8.4.1 连续公式推导	151
6.5.2 空域或频域技术的选择	116	8.4.2 离散计算	152
总结和复习	117	8.4.3 扇束投影重建	153
第 7 章 图像恢复	120	8.5 级数展开重建	154
7.1 图像退化和噪声	121	8.5.1 重建模型	154
7.1.1 图像退化示例	121	8.5.2 代数重建技术	155
7.1.2 基本退化模型	122	8.5.3 级数法的一些特点	156
7.1.3 噪声介绍	123	总结和复习	156
7.1.4 噪声概率密度函数	124	第 9 章 图像编码基础	159
7.2 空域噪声滤波器	126	9.1 图像压缩和数据冗余	159
7.2.1 均值滤波器	126	9.1.1 图像压缩原理	160
7.2.2 排序统计滤波器	128	9.1.2 数据冗余类型	160
7.2.3 自适应滤波器	129	9.2 图像保真度	163

9.2.1 客观保真度准则	163	11.4.4 动态阈值的选取	217
9.2.2 主观保真度准则	164	11.5 串行区域技术	218
9.3 编码定理	164	11.5.1 区域生长	218
9.3.1 信息和信源描述	165	11.5.2 分裂合并	219
9.3.2 无失真编码定理	166	总结和复习	220
9.4 变长编码	167	第 12 章 典型图像分割算法	224
9.4.1 哈夫曼编码	167	12.1 SUSAN 检测算子	224
9.4.2 算术编码	170	12.1.1 USAN 原理	224
9.5 位平面编码	172	12.1.2 SUSAN 算子边缘检测	225
9.5.1 位面分解	172	12.2 主动轮廓模型	228
9.5.2 位面编码	174	12.2.1 主动轮廓	228
总结和复习	176	12.2.2 设计能量函数	229
第 10 章 图像编码技术和标准	179	12.3 特色的取阈值技术	232
10.1 预测编码	179	12.3.1 多分辨率阈值选取	232
10.1.1 无损预测编码	179	12.3.2 类间最大交叉熵阈值	233
10.1.2 有损预测编码	181	12.3.3 类内最小模糊散度阈值	235
10.2 变换编码	185	12.3.4 借助过渡区选择阈值	237
10.2.1 基于 DCT 的变换编码	185	12.4 分水岭分割算法	240
10.2.2 基于 DWT 的变换编码	187	总结和复习	243
10.3 静止图像压缩国际标准	189	第 13 章 目标表达和描述	245
10.4 运动图像压缩国际标准	191	13.1 目标标记	245
总结和复习	197	13.2 基于边界的表达	247
第 11 章 基本图像分割技术	200	13.2.1 技术分类	247
11.1 图像分割定义和技术分类	200	13.2.2 链码	247
11.1.1 图像分割定义	200	13.2.3 边界段和凸包	249
11.1.2 图像分割技术分类	201	13.2.4 边界标记	249
11.2 并行边界技术	201	13.2.5 多边形	251
11.2.1 边缘及检测原理	201	13.2.6 地标点	252
11.2.2 一阶导数算子	202	13.3 基于区域的表达	253
11.2.3 二阶导数算子	204	13.3.1 技术分类	253
11.2.4 边界闭合	207	13.3.2 空间占有数组	253
11.3 串行边界技术	208	13.3.3 四叉树	253
11.3.1 图搜索	208	13.3.4 金字塔	254
11.3.2 动态规划	209	13.3.5 围绕区域	255
11.4 并行区域技术	211	13.3.6 骨架	256
11.4.1 原理和分类	211	13.4 基于边界的描述	258
11.4.2 全局阈值的选取	212	13.4.1 简单边界描述符	258
11.4.3 局部阈值的选取	214	13.4.2 形状数	259

13.4.3 边界矩·····	260	总结和复习·····	284
13.5 基于区域的描述·····	261	第 15 章 数学形态学方法 ·····	286
13.5.1 简单区域描述符·····	261	15.1 二值形态学基本运算·····	286
13.5.2 拓扑描述符·····	262	15.1.1 膨胀和腐蚀·····	287
13.5.3 不变矩·····	263	15.1.2 开启和闭合·····	290
总结和复习·····	264	15.2 二值形态学组合运算·····	292
第 14 章 特征提取和测量误差 ·····	267	15.2.1 击中-击不中变换·····	292
14.1 区域形状特征及测量·····	267	15.2.2 组合运算·····	294
14.1.1 形状紧凑性·····	267	15.3 二值形态学实用算法·····	297
14.1.2 形状复杂性·····	270	15.4 灰度数学形态学·····	300
14.2 区域纹理特征及测量·····	272	15.4.1 灰度图像排序·····	300
14.2.1 统计法·····	272	15.4.2 灰度膨胀和腐蚀·····	301
14.2.2 结构法·····	274	15.4.3 灰度开启和闭合·····	305
14.2.3 频谱法·····	276	总结和复习·····	306
14.3 运动检测及测量·····	278	部分练习题解答 ·····	308
14.3.1 差图像的计算·····	278	参考文献 ·····	318
14.3.2 累积差图像的计算·····	279	索引 ·····	324
14.4 特征测量的准确度·····	280		
14.4.1 准确度和精确度·····	281		
14.4.2 影响测量准确度的因素·····	282		
14.4.3 直线长度测量·····	283		

第 1 章

绪论

随着科学技术，特别是电子技术和计算机技术的发展，对图像的采集和应用，以及加工技术近年来得到极大的重视和长足的进展，出现了许多有关的新理论、新技术、新算法、新手段和新设备，并已使得图像技术在科学研究、工业生产、医疗卫生、教育、娱乐、管理、通信等方面得到了广泛的应用，对推动社会发展、改善人们生活水平都起到了重要的作用。

本书主要介绍一些基本的和典型的图像（处理和分析）技术，本章则先对图像相关概念给予介绍，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 节给出图像的定义，并举出各种各样的图像示例，还罗列了一些图像应用的领域。
- 1.2 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。
- 1.3 节讨论如何表示图像和图像的基本单元——像素，以及如何显示图像。
- 1.4 节介绍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 节对图像技术进行了初步分类，在此基础上讨论了内容的选取和使用本书的一些建议。

1.1 图像及应用

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。例如，人的视觉系统就是一个观测系统，通过它得到的图像就是客观景物在人心中形成的影像。视觉是人类观察世界、认知世界的重要功能手段。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。视觉信息来源于图像，这里的图像是比较广义的，如照片、绘画、草图、动画、视像等。

客观世界在空间上是三维（3-D）的，但大部分成像装置都将 3-D 世界投影到二维（2-D）像平面，此时得到的图像是 2-D 的。由于获取的方法不同以及使用的领域不同，图像有许多种形式。

图像带有大量的信息，百闻不如一见，一图值千字都说明了这个事实。早期英文书籍里一般用 picture 代表图像，随着数字技术的发展，现在都用 image 代表离散化了的数字图像（所以中文用“图像”这个词应更合理）。

1.1.1 不同波段的图像

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。图像成像可用可见光，也

可借助各种电磁波辐射。电磁波谱很宽，各种电磁波的波长从短到长依次为：宇宙 γ 射线（伽马射线及宇宙射线）、X射线（伦琴射线）、紫外线、可见光、红外线、微波、无线电波（包括微波）和交流电波。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 γ 射线图像

γ 射线是原子核受激后产生的，其波长非常短（常达0.001nm，更短的常称宇宙射线，另也有人把 γ 射线看做宇宙射线的一部分），但能量非常高（甚至高于 10^{11} 电子伏）。图1.1.1所示为天文学方面利用 γ 射线获得的5幅 γ 射线图像。

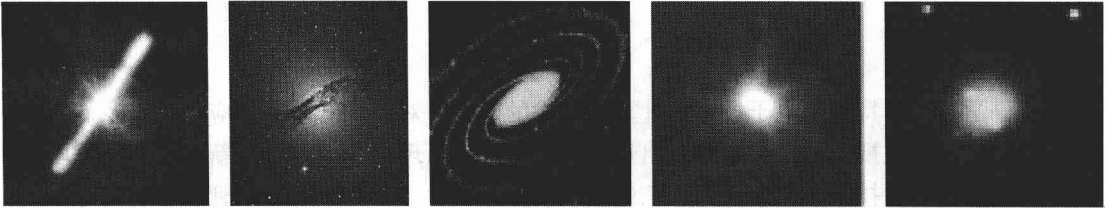


图 1.1.1 γ 射线图像示例

2. X射线图像

X射线是原子受激后产生的，其波长在0.001~10nm之间，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。X射线常用于医学诊断和治疗，以及晶体结构分析等。图1.1.2所示为3幅关于人体不同部位的X射线图像。



图 1.1.2 X射线图像示例

图1.1.3所示为一幅利用反向散射X射线成像获得的人体轮廓图像，它还检测出被隐藏起来的枪支。

3. 紫外线图像

紫外线是物质外层电子受激发后产生的，其波长约在10~400nm之间，比可见紫色光还短。紫外线还可进一步分为：真空紫外线，10~200nm；短波紫外线，200~290nm；中波紫外线，290~320nm；长波紫外线，320~400nm。图1.1.4所示为两幅紫外线图像。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。图1.1.4中左图对应漩涡状星系的星暴区，而右图则展示了两个星系间的冲撞。

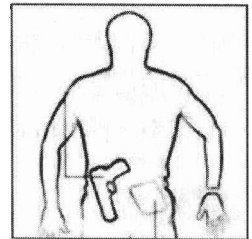


图 1.1.3 利用反向散射X射线成像获得的人体轮廓图像示例

4. 可见光图像

可见光是人眼能感受到的，其波长约在400~800nm之间。其还可进一步分为：紫光，400~430nm；蓝光，430~460nm；青光，460~490nm；绿光，490~570nm；黄光，570~600nm；橙光，600~630nm；红光，630~750nm。这些不同颜色的光可从白光中借助三棱镜分离出来，如

图 1.1.5 所示。

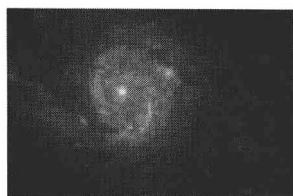


图 1.1.4 紫外线图像示例

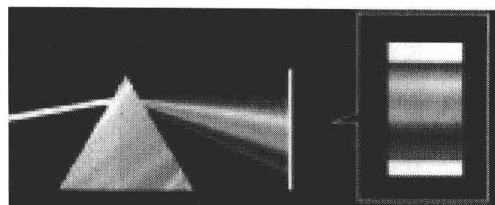
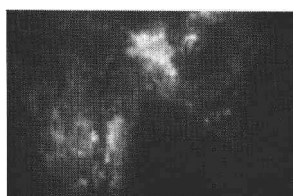


图 1.1.5 由白光中分离出不同颜色的光

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，虽然利用同一光谱成像，但由于照射条件（照度、角度等）不同，所获得的感觉也会不同。图 1.1.6 所示为一组不同光照的人脸样本图像。



图 1.1.6 不同光照图像示例

另外需要注意，采用同一光谱并以相似的照射条件成像时，如果成像的对象有变化，也会给出不同的图像。图 1.1.7 所示为从常用人脸数据库中选出来的一些表情不同的图像，它们给人以不同的印象。



图 1.1.7 不同表情的人脸样本图像示例

5. 红外线图像

所有高于绝对零度（ -273°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 $0.78\sim 1\,000\mu\text{m}$ 之间，有比较强的穿透浓雾的能力。其还可进一步分为：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 1.1.8 所示为 3 幅红外线图像。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植被的情况。



图 1.1.8 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**是借助不同的无线电波得到的。图 1.1.9 所示为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。

7. 交流电波图像

交流电波的波长常在上千千米，如频率为 50Hz 的家用交流电的波长达 $6\,000\text{km}$ 。**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 8 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 1.1.10 所示为利用电阻抗断层成像得到的两幅图像。

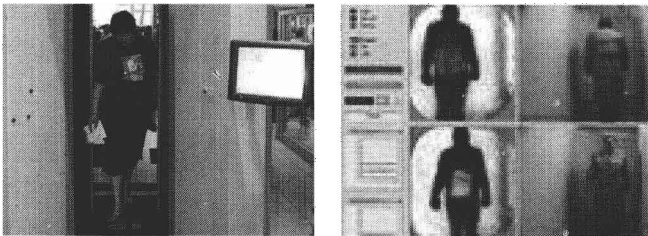


图 1.1.9 毫米波全身扫描成像系统

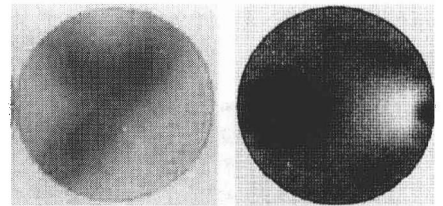


图 1.1.10 电阻抗断层成像的图像示例

1.1.2 不同类型的图像

图像的概念近年有许多扩展。虽然以前一般谈到图像常指 **2-D 图像**，但 **3-D 图像**、**彩色图像**、**多光谱图像**、**立体图像**、**多视图图像** 等也越来越多见。虽然以前一般谈到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量强度的灰度点阵（彩色图像可用 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. 3-D 图像

3-D 图像一般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。另一方面，**视频图像**也可看做 3-D 图像，用 $f(x, y, t)$ 来表示，这将在后面另外介绍。3-D 图像可看做由一系列 2-D 图像叠加而成。例如，图 1.1.11 所示为由 3-D 图像分解出来的一组 2-D 细胞切片图像。这些 2-D 图像对应 3-D 图像的不同层，将它们结合起来就可以完整地表示整个细胞的全貌。

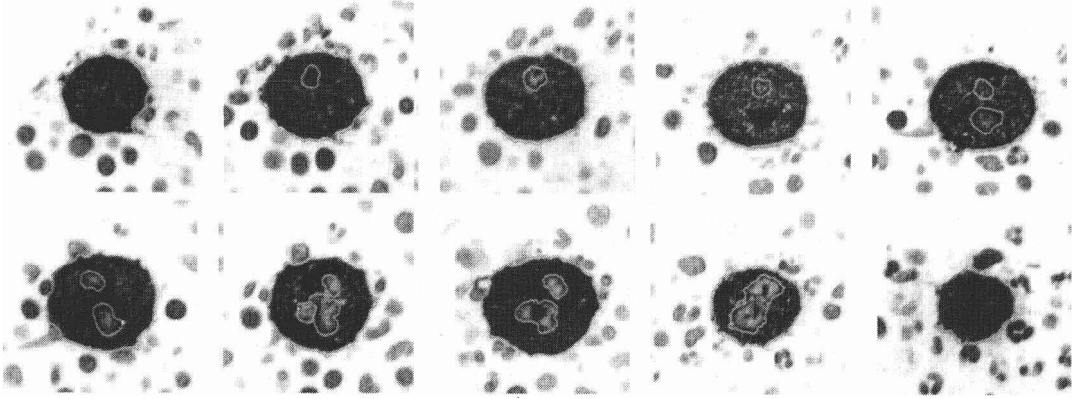


图 1.1.11 对应 3-D 图像不同层的一组 2-D 图像示例

2. 彩色图像

彩色图像是用 3 个性质空间（如 R , G , B ）的数值来表示的，给人以彩色感觉的图像。彩色图像在空间上可以是 2-D 的，但在 2-D 空间每个点有 3 种性质。图 1.1.12 所示为几幅典型的彩色图像，色彩都比较鲜艳。

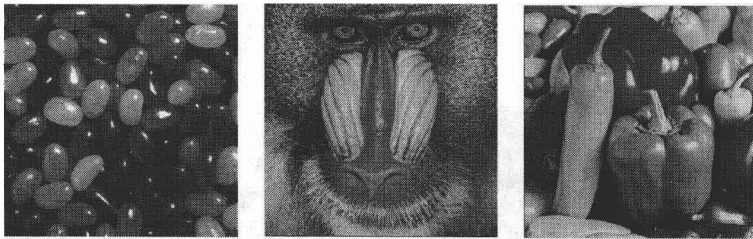


图 1.1.12 彩色图像示例

每幅彩色图像可看做由 3 幅代表 R , G , B 强度的无彩色图像结合而成。图 1.1.13 (a) 所示的一幅彩色图像是由图 (b) 所示的 R 分量、图 (c) 所示的 G 分量和图 (d) 所示的 B 分量结合而成。

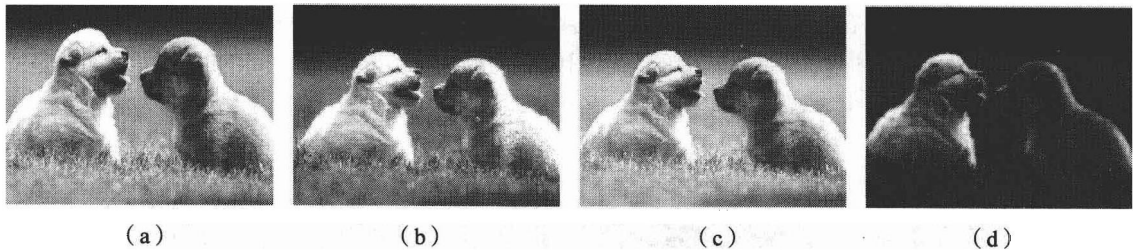


图 1.1.13 彩色图像及其 3 个分量图

3. 多光谱图像

多光谱图像也称多波段图像，包含多个频段的一组图像，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 1.1.14 (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 1.1.14 (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所不同。

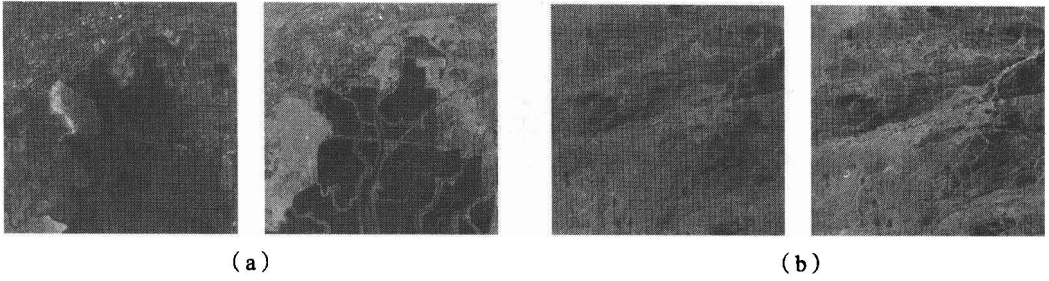


图 1.1.14 遥感图像示例

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，此时两幅图根据相机位置分别称为上图和下图。图 1.1.15 所示为相关的两对立体图像，其中图（a）和图（b）构成一对水平立体图的左图和右图，图（b）和图（c）构成一对垂直立体图的下图和上图。

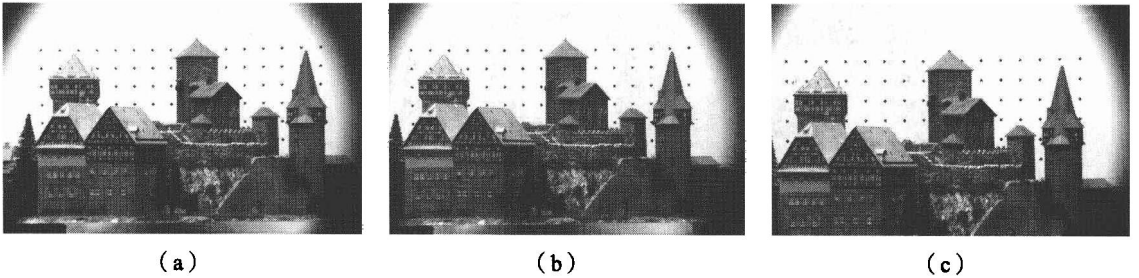


图 1.1.15 两对相关的立体图像对

5. 序列图像

序列图像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。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常是固定的。图 1.1.16 所示为由 8 幅帧图像构成的一个序列。

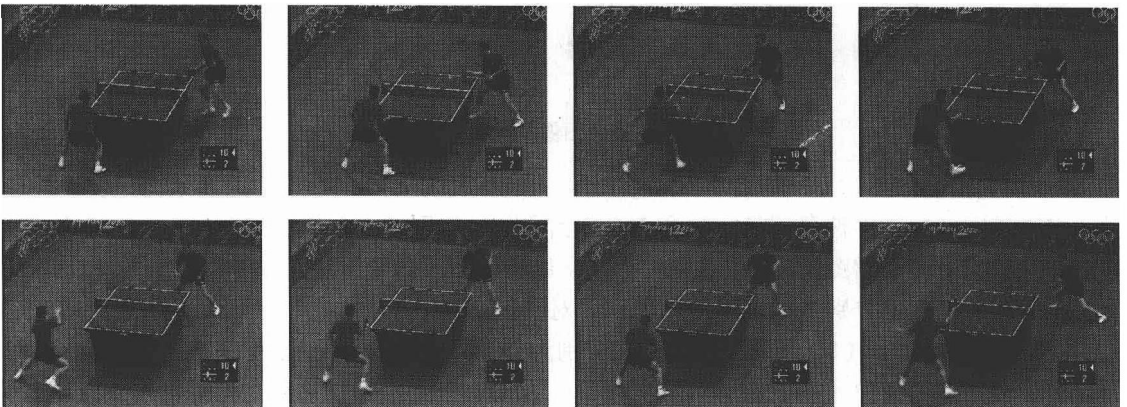


图 1.1.16 图像序列示例

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。图 1.1.17 所示为反映眨眼过程中的几幅图像。

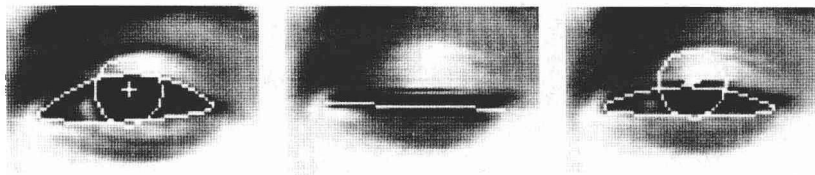


图 1.1.17 间隔不固定的图像序列示例

6. 深度图像

深度图像指其灰度反映场景中景物与摄像机之间距离信息的图像。例如, 由图 1.1.15 (a) 和 (b) 的一对立体图像计算得到的深度图像如图 1.1.18 (a) 所示, 由图 1.1.15 的 3 幅立体图像计算得到的深度图像如图 1.1.18 (b) 所示。图中浅色表示较近的距离值, 深色对应较远的距离值。

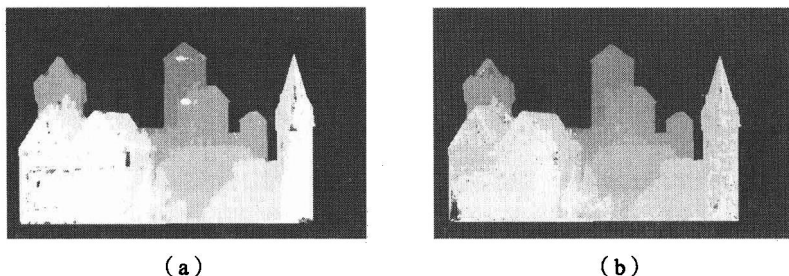


图 1.1.18 深度图像示例

7. 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。对纹理有不同的表达和分类方法, 如图 1.1.19 给出 3 幅不同的纹理图像, 其中图 (a) 所示为砖墙的图像, 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 (b) 所示为一块木疤的图像, 含有局部有序 (在图中局部区域的每个点存在某种方向性) 的纹理; 图 (c) 所示为软木的图像, 纹理是无序的 (既无单元的重复性, 也无明显的方向性)。

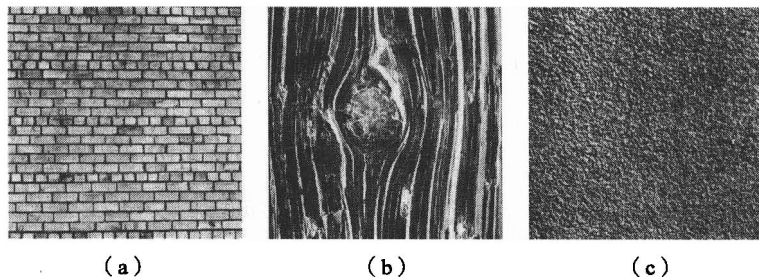


图 1.1.19 纹理图像的示例

8. 投影重建图像

投影重建图像指利用计算机从景物的投影出发恢复出来的图像 (参见第 8 章)。投影重建的方法很多, 最常见的是计算机断层扫描图像, 其中又可分发射断层 (CT) 图像, 正电子发射 (PET) 图像和单光子发射 (SPECT) 图像。图 1.1.20 (a) 和 (b) 所示为两幅 CT 图像, 图 (c) 所示为

一幅 PET 图像。

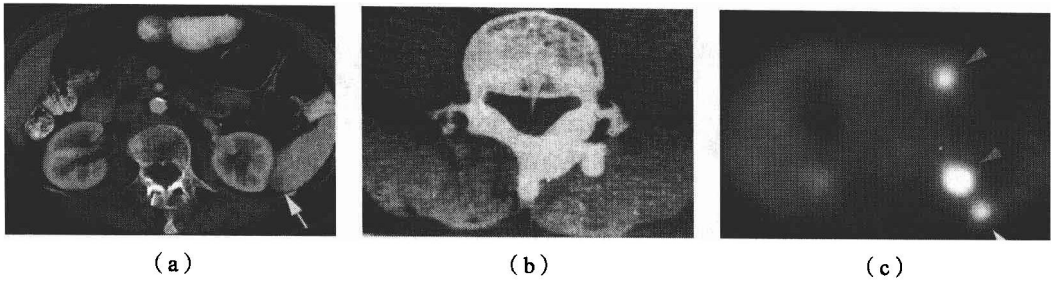


图 1.1.20 CT 图像和 PET 图像示例

磁共振 (MRI) 图像也是利用投影重建原理获得的。图 1.1.21 所示为 3 幅 MRI 图像。



图 1.1.21 MRI 图像示例

另外，雷达图像也是利用投影重建原理获得的。图 1.1.22 所示为两幅合成孔径雷达 (SAR) 图像。

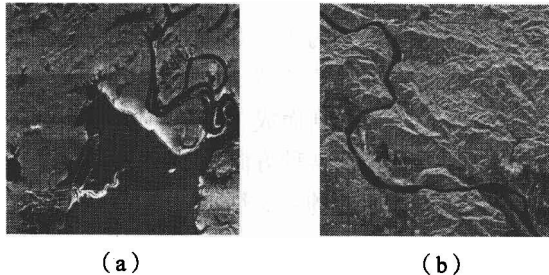


图 1.1.22 合成孔径雷达图像示例

9. 合成图像

真实图像是从客观世界获得的，但在对图像技术的研究中，有时为了保证研究的客观性和通用性或集中考虑特定的技术特性，也常根据需要构建合成图像以作为参考图来测试技术的性能。这样做的好处是研究结果不局限于具体的应用，可重复性强。这样的图像应能反映客观世界，除把应用领域的知识结合进去，还应适应诸如图像内容的变化、各种获取图像的条件等实际情况。

图 1.1.23 所示为一组合成的用于分割评价的试验图，这些图均为 256×256 像素、256 级灰度图。基本图是由亮圆目标在暗背景正中而组成的。图中目标与背景间的灰度对比度均为 32，迭加的噪声均为零均值高斯随机噪声。从左至右 8 列图中的目标面积分别为全图的 20%，15%，10%，5%，3%，2%，1%，0.5%，从上至下 4 行图的信噪比分别为 1，4，16，64。