

第1版获全国普通高等学校优秀教材一等奖  
第2版评为全国普通高等教育“十一五”精品教材

# 图像工程（上册）

# 图像处理

## （第3版）

章毓晋 著

ZHANG Yu-Jin

IMAGE ENGINEERING (I)  
IMAGE PROCESSING  
(Third Edition)



清华大学出版社



图像工程（上册）

# 图像处理

（第3版）

章毓晋 编著  
ZHANG Yu-jin

IMAGE ENGINEERING (I)  
**IMAGE PROCESSING**  
(Third Edition)

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本本书为《图像工程》第3版的上册,主要介绍图像工程的第一层次——图像处理的基本概念、基本原理、典型方法、实用技术以及国际上有关研究的新成果。

本本书主要分为4个单元。第1单元(包含第2~4章)介绍图像增强技术,其中第2章介绍基于点操作的空域增强技术,第3章介绍基于模板操作的空域增强技术,第4章介绍频域增强技术。第2单元(包含第5~7章)介绍图像恢复技术,其中第5章介绍图像消噪和恢复技术,第6章介绍图像校正和修补技术,第7章介绍图像投影重建技术。第3单元(包含第8~10章)介绍图像编码技术,其中第8章介绍图像编码基础,第9章介绍图像变换编码技术,第10章介绍其他编码技术。第4单元(包含第11~14章)介绍图像拓展技术,其中第11章介绍图像水印技术,第12章介绍彩色图像处理技术,第13章介绍视频图像处理技术,第14章介绍多尺度图像处理技术。书中的附录A介绍了图像方面的一些国际标准,主要与第3单元相关。书中提供了大量例题、思考题和练习题,并对部分练习题提供了解答。书末还给出了主题索引。

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、计算机视觉等学科大学本科和研究生专业基础课教材,也可供信息与通信工程、电子科学与技术、计算机科学与技术、测控技术与仪器、机器人自动化、生物医学工程、光学、电子医疗设备研制、遥感、测绘和军事侦察等领域的科技工作者参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

图像工程(上册):图像处理/章毓晋编著.—3版.—北京:清华大学出版社,2012.2  
ISBN 978-7-302-27767-5

I. ①图… II. ①章… III. ①计算机应用—图像处理—高等学校—教材 IV. ①TP391.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第280864号

责任编辑:文怡

封面设计:李召霞

责任校对:梁毅

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×230mm 印 张:25 字 数:559千字

版 次:2012年2月第3版 印 次:2012年2月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:39.50元

## 全套书第3版前言

这是《图像工程》第3版,全套书仍分3册,分别为《图像工程(上册)——图像处理》、《图像工程(中册)——图像分析》和《图像工程(下册)——图像理解》。该套书全面介绍图像工程的基础概念、基本原理、典型方法、实用技术以及国际上相关内容研究的新成果。

《图像工程》第2版也分3册,名称相同。上、中、下册分别在2006年、2005年和2007年出版。2007年还出版了《图像工程》第2版的3册合订本。至今共计重印20次,总计约合7万多册。

《图像工程》第1版也分3册,名称分别为《图像工程(上册)——图像处理和分析》、《图像工程(下册)——图像理解和计算机视觉》和《图像工程(附册)——教学参考及习题解答》。这3册分别在1999年、2000年和2002年出版。第1版共重印近30次,总计约11万册。

《图像工程》的多次重印表明作者一直倡导的,为了对各种图像技术进行综合研究、集成应用而建立的整体框架——图像工程作为一门系统地研究各种图像理论、技术和应用的新的交叉学科得到了广泛的认可。同时,随着研究的深入和技术的发展,编写新版的工作也逐渐提到议事日程上来。

第3版的编写开始于2009年,是年暑假静心构思了整书的新框架。其后,根据框架收集了一些最新的相关书籍和文献(包括印刷版和电子版),仔细进行了阅读并做了笔记。这为新版的编写打下了一个坚实的基础。第3版在内容的深度和广度上,仍希望读者能通过本套书的学习,独立和全面地了解该领域的基本理论、技术、应用和发展。

第3版仍如前两版那样,在编写的方针上,力求具有理论性、实用性、系统性、实时性;在内容叙述上,力求理论概念严谨,论证简明扼要。考虑到图像技术的飞速发展,第3版既保留了第2版中有代表性的经典内容,也削减了一部分近年使用不多的陈旧内容,同时还认真选取了近年的一些最新研究成果和得到广泛使用的典型技术以进行充实。这些新内容既参考了许多有关文献,也结合了作者的一些研究工作和成果以及这些年来教学教案。为使内容更加集中和紧凑,压缩了扩展性的讨论。第3版在覆盖面有所增加的情况下整体篇幅比第2版有一定的减少。

与上一版相比,第3版有如下几个调整:

第一,各册书均从第2章就开始介绍正式内容,更快进入主题。先修或预备内容分别安排在需先修部分的同一章前,从教学角度来说,更加实用,也突出了主线内容。

第二,除第1章绪论外,各册书的正式内容都结合成4个单元,每个单元都有具体说明,全书的系统性和结构性均得到了加强,也有利于复习考核。

第三,各章中的习题均只给出了少部分习题解答,给教师使用习题更灵活的选择。更多的习题和其余的习题解答将会放在出版社网站上,便于补充、改进,网址为: [www.tup.tsinghua.edu.cn](http://www.tup.tsinghua.edu.cn)。

第四,各册书后均增加了主题索引(并给出了英文),这样一来方便在书中查找有关内容,二来也方便在网上查找有关文献。

从1996年开始编写《图像工程》第1版至今已15年。这期间,作者与许多读者(包括教师、学生、自学者)有过各种形式的讨论和交流,除了面谈外,许多人打过电话或发过电子邮件。这些讨论和交流使作者获得了许多宝贵的意见和建议,在编写这3版中都起到了不可或缺的作用,特别是在解释和描述的详略方面都结合读者反馈意见进行了调整,从而更加容易理解和学习。值得指出的是,书中还汇集了几年来不少听课学生的贡献,许多例题和练习题是在历届学生作业和课堂讨论的基础上提炼出来的,一些图片还直接由学生帮助制作,在选材上也从学生的反馈中受到许多启发。借此机会对他们一并表示衷心的感谢。

书中有相当内容基于作者和他人共同研究的成果,特别是历年的学生边辉、蔡伟、陈权崎、陈挺、陈伟、陈正华、程正东、戴声扬、段菲、冯上平、傅卓、高永英、葛菁华、侯乐天、胡浩基、黄英、黄翔宇、贾波、贾超、贾慧星、姜帆、李娟、李乐、李品一、李勍、李睿、李硕、李小鹏、李雪、刘宝弟、刘锴、刘青棣、刘惟锦、刘晓旻、刘忠伟、陆海斌、罗惠韬、罗沅、钱宇飞、秦暄、秦垠峰、阮孟贵(Nguyen Manh Quy)、赛义(Saeid Bagheri)、沈斌、谭华春、汤达、王树徽、王宇雄、王志明、文熙安(Tristan Vincent)、吴高洪、吴玮、夏尔雷(Charley Paulus)、向振、徐丹、徐枫、徐洁、徐培、徐寅、薛菲、薛景浩、严严、杨劲波、杨翔英、姚玉荣、鱼荣珍(Eo Young Jin)、俞天利、于信男、袁静、张宁、赵雪梅、郑胤、朱小青、朱云峰,博士后高立志、王怀颖以及进修教师崔京守(Choi Jeong Swu)、石俊生、杨卫平、曾萍萍、张贵仓等,第1版、第2版和第3版采用的图片除作者本人制作的外,也包括他们在研究工作中收集和实验得到的。该书应该说是多人合作成果的体现。

最后,感谢妻子何芸、女儿章荷铭以及父母在各方面的理解和支持!

章毓晋

2012年元旦于清华大学

通信:北京清华大学电子工程系,100084

办公:清华大学,罗姆楼,6层305室

电话:(010)62798540

传真:(010)62770317

电邮:[zhang-yj@tsinghua.edu.cn](mailto:zhang-yj@tsinghua.edu.cn)

主页:[oa.ee.tsinghua.edu.cn/~zhangyujin/](http://oa.ee.tsinghua.edu.cn/~zhangyujin/)



## 本册书概况和使用建议

本册书为《图像工程》第3版的上册,主要介绍图像工程的第一层次——图像处理的基本概念、基本原理、典型方法、实用技术以及国际上有关研究的新成果。

本册书第1章是绪论,介绍图像基础知识并概述全书。主要内容分别在4个单元中介绍。第1单元(包含第2~4章)介绍图像增强技术,其中第2章介绍基于点操作的空域增强技术,第3章介绍基于模板操作的空域增强技术,第4章介绍频域增强技术。第2单元(包含第5~7章)介绍图像恢复技术,其中第5章介绍图像消噪和恢复技术,第6章介绍图像校正和修补技术,第7章介绍图像投影重建技术。第3单元(包含第8~10章)介绍图像编码技术,其中第8章介绍图像编码基础,第9章介绍图像变换编码技术,第10章介绍其他编码技术。第4单元(包含第11~14章)介绍图像拓展技术,其中第11章介绍图像水印技术,第12章介绍彩色图像处理技术,第13章介绍视频图像处理技术,第14章介绍多尺度图像处理技术。书中的附录A介绍了图像方面的一些国际标准,主要与第3单元相关。

本册书包括14章正文,1个附录,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86个二级标题(节),再下还有131个三级标题(小节)。全册书共有文字(也包括图片、绘图、表格、公式等)约50多万字。本册书共有编了号的图299个(包括363幅图片)、表格37个、公式640个。为便于教学和理解,本册书共给出各类例题93个。为便于检查教学和学习效果,各章后均有12个思考题和练习题,全书共有思考题和练习题168个,对其中的28个(每章2个)练习题提供了参考答案(更多的习题解答将考虑另行提供)。另外,统一列出了直接引用和提供参考文献的200篇文献的目录,最后,书末还给出了500多个主题索引(及英译)。

本册书各章内容和长度基本平衡,根据学生的基础和背景,每章可用3~4个课堂学时讲授,另外还需2~3个课外学时练习和复习。本书电子教案可在出版社网站 [www.tup.tsinghua.edu.cn](http://www.tup.tsinghua.edu.cn) 或作者主页 <http://oa.ee.tsinghua.edu.cn/~zhangyujin/> 下载。

本册书主要介绍图像处理的内容,最好作为学习图像技术的第一本书来学习(特别是自学的话)。如果仅要了解图像处理的基本内容,可以仅选取前3个单元;如果需要使用图像分析技术,可在学习完前两个单元后直接学习《图像工程》的中册。

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 图像 .....	1
1.1.1 图像表示和显示.....	1
1.1.2 空间分辨率和幅度分辨率.....	4
1.2 图像工程简介 .....	7
1.2.1 图像技术和图像工程 .....	7
1.2.2 图像工程的 3 个层次 .....	8
1.2.3 图像工程相关学科和领域 .....	9
1.2.4 图像工程的技术应用 .....	10
1.2.5 图像工程文献统计分类 .....	10
1.3 图像处理系统 .....	12
1.3.1 系统构成框图 .....	13
1.3.2 图像采集 .....	13
1.3.3 图像显示打印 .....	15
1.3.4 图像存储 .....	19
1.3.5 图像处理 .....	21
1.4 内容框架和特点 .....	22
总结和复习 .....	23

## 第 1 单元 图像增强

<b>第 2 章 空域增强：点操作</b> .....	29
2.1 图像坐标变换 .....	29
2.1.1 基本坐标变换 .....	30
2.1.2 坐标变换扩展 .....	31
2.2 图像间运算 .....	34
2.2.1 算术和逻辑运算 .....	35

2.2.2	图像间算术运算的应用 .....	37
2.3	图像灰度映射 .....	39
2.3.1	灰度映射原理 .....	39
2.3.2	典型灰度映射 .....	40
2.4	直方图变换 .....	43
2.4.1	直方图均衡化 .....	43
2.4.2	直方图规定化 .....	46
	总结和复习 .....	50
<b>第3章</b>	<b>空域增强：模板操作 .....</b>	<b>53</b>
3.1	像素间联系 .....	53
3.1.1	像素的邻域和邻接 .....	53
3.1.2	像素间的连接和连通 .....	54
3.1.3	像素间的距离 .....	56
3.2	模板运算 .....	58
3.3	线性滤波 .....	61
3.3.1	线性平滑滤波 .....	61
3.3.2	线性锐化滤波 .....	63
3.4	非线性滤波 .....	65
3.4.1	非线性平滑滤波 .....	65
3.4.2	非线性锐化滤波 .....	69
3.4.3	线性和非线性混合滤波 .....	71
3.5	局部增强 .....	72
	总结和复习 .....	74
<b>第4章</b>	<b>频域图像增强 .....</b>	<b>77</b>
4.1	频域技术原理 .....	77
4.2	傅里叶变换 .....	79
4.2.1	2-D 傅里叶变换 .....	79
4.2.2	傅里叶变换定理 .....	81
4.2.3	快速傅里叶变换 .....	85
4.3	低通和高通滤波器 .....	85
4.3.1	低通滤波器 .....	85
4.3.2	高通滤波器 .....	89
4.4	带通和带阻滤波器 .....	93



4.5 同态滤波器 .....	95
4.5.1 亮度成像模型 .....	95
4.5.2 同态滤波增强 .....	96
总结和复习 .....	98

## 第2单元 图像恢复

<b>第5章 图像消噪和恢复</b> .....	103
5.1 图像退化及模型 .....	103
5.1.1 图像退化示例 .....	104
5.1.2 图像退化模型 .....	105
5.2 噪声滤除 .....	107
5.2.1 噪声描述 .....	107
5.2.2 噪声概率密度函数 .....	108
5.2.3 均值类滤波器 .....	110
5.2.4 排序类统计滤波器 .....	112
5.2.5 选择性滤波器 .....	114
5.3 无约束恢复 .....	115
5.3.1 无约束恢复公式 .....	116
5.3.2 逆滤波 .....	116
5.4 有约束恢复 .....	119
5.4.1 有约束恢复公式 .....	119
5.4.2 维纳滤波器 .....	119
5.4.3 有约束最小平方恢复 .....	121
5.5 交互式恢复 .....	122
总结和复习 .....	124
<b>第6章 图像校正和修补</b> .....	127
6.1 图像仿射变换 .....	127
6.1.1 一般仿射变换 .....	127
6.1.2 特殊仿射变换 .....	131
6.1.3 变换间的联系 .....	133
6.2 几何失真校正 .....	134
6.2.1 空间变换 .....	134
6.2.2 灰度插值 .....	135

6.3	图像修复 .....	138
6.3.1	图像修补原理 .....	138
6.3.2	全变分模型 .....	141
6.3.3	混合模型 .....	142
6.4	区域填充 .....	143
6.4.1	基于样本的方法 .....	143
6.4.2	结合稀疏表达的方法 .....	145
	总结和复习 .....	149
<b>第7章</b>	<b>图像投影重建</b> .....	<b>151</b>
7.1	投影重建方式 .....	151
7.1.1	透射断层成像 .....	152
7.1.2	发射断层成像 .....	153
7.1.3	反射断层成像 .....	154
7.1.4	电阻抗断层成像 .....	155
7.1.5	磁共振成像 .....	156
7.2	投影重建原理 .....	156
7.2.1	基本模型 .....	156
7.2.2	拉东变换 .....	157
7.3	傅里叶反变换重建 .....	158
7.4	逆投影重建 .....	161
7.4.1	逆投影重建原理 .....	161
7.4.2	卷积逆投影重建 .....	161
7.4.3	其他逆投影重建方法 .....	165
7.5	代数重建技术 .....	167
7.6	综合重建方法 .....	169
	总结和复习 .....	170

### 第3单元 图像编码

<b>第8章</b>	<b>图像编码基础</b> .....	<b>175</b>
8.1	图像压缩原理 .....	175
8.1.1	数据冗余 .....	176
8.1.2	图像编解码 .....	178
8.1.3	图像保真度和质量 .....	179

8.2	编码定理 .....	181
8.2.1	信息单位和信源描述 .....	181
8.2.2	无失真编码定理 .....	183
8.2.3	率失真编码定理 .....	184
8.3	变长编码 .....	186
8.3.1	哥伦布编码 .....	186
8.3.2	哈夫曼编码 .....	188
8.3.3	香农-法诺编码 .....	189
8.3.4	算术编码 .....	190
8.4	位平面编码 .....	192
8.4.1	位平面的分解 .....	192
8.4.2	位平面的编码 .....	194
	总结和复习 .....	197
<b>第9章</b>	<b>图像变换编码</b> .....	<b>199</b>
9.1	可分离和正交图像变换 .....	199
9.2	离散余弦变换 .....	200
9.3	正交变换编码 .....	202
9.3.1	正交变换编码系统 .....	203
9.3.2	子图像尺寸选择 .....	203
9.3.3	变换选择 .....	204
9.3.4	比特分配 .....	205
9.4	小波变换 .....	208
9.4.1	小波变换基础 .....	208
9.4.2	1-D 小波变换 .....	212
9.4.3	快速小波变换 .....	213
9.4.4	2-D 小波变换 .....	215
9.5	小波变换编码 .....	218
9.5.1	小波变换编解码系统 .....	218
9.5.2	基于提升小波的编码 .....	219
	总结和复习 .....	220
<b>第10章</b>	<b>其他图像编码方法</b> .....	<b>223</b>
10.1	基于符号的编码 .....	223
10.2	LZW 编码 .....	224

10.3	预测编码 .....	228
10.3.1	无损预测编码 .....	228
10.3.2	有损预测编码 .....	230
10.4	矢量量化 .....	236
10.5	准无损编码 .....	239
10.6	比较和评述 .....	242
10.6.1	不同方法特性的比较 .....	242
10.6.2	其他编码方法 .....	243
	总结和复习 .....	245

## 第4单元 拓展技术

<b>第11章</b>	<b>图像水印 .....</b>	<b>251</b>
11.1	水印原理和特性 .....	252
11.1.1	水印的嵌入和检测 .....	252
11.1.2	水印特性 .....	253
11.1.3	水印分类 .....	254
11.2	DCT域图像水印 .....	256
11.2.1	无意义水印算法 .....	256
11.2.2	有意义水印算法 .....	258
11.3	DWT域图像水印 .....	259
11.3.1	人眼视觉特性 .....	259
11.3.2	小波水印算法 .....	261
11.4	水印性能评判 .....	263
11.4.1	失真测度 .....	263
11.4.2	基准测量和攻击 .....	264
11.4.3	水印性能测试示例 .....	265
11.5	信息隐藏 .....	268
11.5.1	水印与信息隐藏 .....	269
11.5.2	基于迭代混合的图像隐藏 .....	270
	总结和复习 .....	273
<b>第12章</b>	<b>彩色图像处理 .....</b>	<b>276</b>
12.1	彩色视觉和色度图 .....	276
12.1.1	彩色视觉基础 .....	276

12.1.2	三基色与色匹配 .....	277
12.1.3	色度图 .....	278
12.2	彩色模型 .....	281
12.2.1	面向硬设备的彩色模型 .....	282
12.2.2	面向视觉感知的彩色模型 .....	283
12.3	伪彩色增强 .....	286
12.4	真彩色处理 .....	288
12.4.1	处理策略 .....	289
12.4.2	单分量变换增强 .....	290
12.4.3	全彩色增强 .....	292
12.4.4	全彩色滤波和消噪 .....	293
	总结和复习 .....	297
<b>第 13 章</b>	<b>视频图像处理 .....</b>	<b>300</b>
13.1	视频表达和格式 .....	300
13.1.1	视频基础 .....	300
13.1.2	彩色电视制式 .....	304
13.2	运动分类和表达 .....	305
13.3	运动检测 .....	309
13.3.1	利用图像差的运动检测 .....	309
13.3.2	基于模型的运动检测 .....	312
13.3.3	频率域运动检测 .....	313
13.4	视频滤波 .....	314
13.4.1	基于运动检测的滤波 .....	315
13.4.2	基于运动补偿的滤波 .....	316
13.4.3	消除匀速直线运动模糊 .....	319
13.5	视频预测编码 .....	320
	总结和复习 .....	322
<b>第 14 章</b>	<b>多尺度图像处理 .....</b>	<b>324</b>
14.1	多尺度表达 .....	324
14.2	高斯和拉普拉斯金字塔 .....	327
14.2.1	高斯金字塔 .....	327
14.2.2	拉普拉斯金字塔 .....	328
14.2.3	原始图像的重建 .....	329

14.3	多尺度变换技术 .....	331
14.3.1	3类多尺度变换技术 .....	331
14.3.2	多尺度变换技术比较 .....	333
14.4	基于多尺度小波的处理 .....	336
14.5	超分辨率技术 .....	338
14.5.1	基本模型和技术分类 .....	338
14.5.2	基于单幅图像的超分辨率复原 .....	340
14.5.3	基于多幅图像的超分辨率重建 .....	341
14.5.4	基于示例的学习方法 .....	342
	总结和复习 .....	346
<b>附录 A</b>	<b>图像国际标准 .....</b>	<b>348</b>
A.1	国际标准 .....	348
A.2	二值图像压缩国际标准 .....	349
A.3	静止图像压缩国际标准 .....	350
A.4	运动图像压缩国际标准 .....	354
A.5	多媒体国际标准 .....	360
<b>部分习题解答</b>	<b>.....</b>	<b>363</b>
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>367</b>
<b>索引</b>	<b>.....</b>	<b>376</b>



# 第1章 绪 论

本书为《图像工程》的上册,是开篇或入门的一册。

本章对全书内容要点和布局结构进行概括介绍,安排如下:

1.1节介绍图像的基本概念,以及对图像的表达(包括图像的表达方法和显示形式)。

1.2节全面介绍对整个图像领域进行综合集成的新学科——图像工程。图像工程目前包括3个层次(本书介绍的图像处理是其第1个层次),与多个学科有密切关系,也有广泛的应用。为对图像工程研究应用的发展和现状有一个全面的了解,还介绍了对图像工程文献统计分类的一些结果。

1.3节结合对图像处理系统框架的介绍,讨论完成其中各个模块功能的典型设备情况。本书主要涉及图像处理的原理和算法,但硬设备是构成系统和实现各种算法的基础。该节概括了图像处理的外围知识,为后面各章集中介绍图像处理技术打下了基础。

1.4节概括介绍本书主要内容、框架结构、编写特点以及先修知识要求。

## 1.1 图 像

人们一般将图像看作对场景或景物的一种可视表现形式。例如,字典里对图像的一个定义是“对物体的表达、表象、模仿,一个生动的视觉描述,为了表达其他事物而引入的事物”[Bow 2002]。严格一点说,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[章 1996a]。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目中形成的影像。

图像含有丰富的信息。我们生活在一个信息时代,科学研究和统计表明,人类从外界获得的信息约有75%来自视觉系统,也就是从图像中获得的。这里图像的概念是比较广义的,包括照片、绘图、动画、视像,甚至文档等。中国有句古话,“百闻不如一见”。人们常说,“一图值千字”。这些都说明图像中所含的信息内容非常丰富,是我们最主要的信息源。

### 1.1.1 图像表示和显示

本书主要讨论对自然场景成像得到的图像,这也有许多类别。例如用数码相机拍摄的照片(人、风景等),用数码摄像机拍摄的视频(家庭联欢、足球比赛等),用监控系统记录下的

各种序列(交通管理、导弹飞行等),用太空望远镜摄取的各种电磁辐射图像,用雷达依靠反射波形成的图像,医学上常使用的 X 光图像、B 超图像、CT 图像、磁共振图像等。不仅有灰度的和彩色的图像,还可以有纹理的、深度的图像等。下面先来介绍如何表示和显示图像。

### 1. 图像和像素

客观世界在空间上是三维(3-D)的,但一般从客观景物得到的图像是二维(2-D)的。一幅图像可以用一个 2-D 数组  $f(x,y)$  来表示,这里  $x$  和  $y$  表示 2-D 空间  $XY$  中一个坐标点的位置,而  $f$  则代表图像在点  $(x,y)$  的某种性质  $F$  的数值。例如,灰度图像中  $f$  表示灰度值,它常对应客观景物被观察到的亮度。文本图像常为二值图像, $f$  的取值只有两个,分别对应文字和空白。图像在点  $(x,y)$  也可同时具有多种性质,此时可用矢量  $f$  来表示。例如一幅彩色图像在每一个图像点同时具有红绿蓝 3 个值,可记为  $[f_r(x,y), f_g(x,y), f_b(x,y)]$ 。需要指出,我们总是根据图像内不同位置所具有的不同性质来利用图像的。

#### 例 1.1.1 一般的图像表达函数。

图像可表示一种辐射能量的空间分布,这种分布可以是 5 个变量的函数,  $T(x,y,z,t,\lambda)$ , 其中  $x,y,z$  是空间变量,  $t$  代表时间变量,  $\lambda$  是波长(对应频谱变量)。例如,红色的物体反射波长在  $0.57\sim 0.70\mu\text{m}$  的光并吸收几乎所有其他波长的能量,绿色的物体反射波长在  $0.48\sim 0.57\mu\text{m}$  的光,蓝色的物体反射波长在  $0.40\sim 0.48\mu\text{m}$  的光,紫外(色)的物体反射波长在  $0.25\sim 0.40\mu\text{m}$  的光,红外(色)的物体反射波长在  $0.9\sim 1.5\mu\text{m}$  的光。它们合起来覆盖了波长为  $0.25\mu\text{m} < l < 1.5\mu\text{m}$  的范围。由于实际图像在时空上都是有限的,所以  $T(x,y,z,t,\lambda)$  是一个 5-D 有限函数。 □

早年获取的图像多是连续(模拟)的,即  $f,x,y$  的值可以是任意实数。进入 21 世纪后,所获取的图像均为离散(数字)的,可直接用计算机进行加工。曾有人用  $I(r,c)$  来表示数字图像,其中  $I,c,r$  的值都是整数。这里  $I$  代表离散化后的  $f,(r,c)$  代表离散化后的  $(x,y)$ ,其中  $r$  代表图像的行(row),  $c$  代表图像的列(column)。本书讨论的基本都是数字图像,在不致引起混淆的情况下均使用图像或  $f(x,y)$  代表数字图像,如不作特别说明,  $f,x,y$  都在整数集合中取值。

早期英文书籍里一般用 picture 来指图像,随着数字技术的发展,现都用 image 代表离散化了的“图象”,因为“计算机存储人像或场景的数字图象(computers store numerical images of a picture or scene)”[Zhang 1996]。这样看来,应该使用“数字图象”而不是“数字图像”。事实上“图象”比图像的含义更广,覆盖面更宽。图像中每个基本单元叫做图像元素,在早期用 picture 表示图像时就称为像素。对 2-D 图像,英文里常用简称 pixel 代表像素(也有用 pel 的)。如果采集一系列的 2-D 图像或利用一些特殊设备还可得到 3-D 图像。对 3-D 图像,英文里常用 voxel 代表其基本单元,简称体素。也有人建议用 imel 代表各种图像的单元。

### 2. 图像的矩阵和矢量表示

一幅  $M\times N$ (其中  $M$  和  $N$  分别为图像的总行数和总列数)的 2-D 图像既可以用一个

注: □ 为例题结束符。全书同。

2-D 数组  $f(x, y)$  来表示, 也可以用一个 2-D 矩阵  $F$  来表示:

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1N} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{M1} & f_{M2} & \cdots & f_{MN} \end{bmatrix} \quad (1.1.1)$$

上述矩阵表达也可以化成矢量表达, 例如上式可写成

$$F = [f_1 \quad f_2 \quad \cdots \quad f_N] \quad (1.1.2)$$

其中

$$f_i = [f_{1i} \quad f_{2i} \quad \cdots \quad f_{Mi}]^T \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (1.1.3)$$

需要注意数组运算和矩阵运算是不同的。以两幅  $2 \times 2$  的图像  $f(x, y)$  和  $g(x, y)$  为例, 它们的数组积为

$$f(x, y)g(x, y) = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} \\ f_{21} & f_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{11}g_{11} & f_{12}g_{12} \\ f_{21}g_{21} & f_{22}g_{22} \end{bmatrix} \quad (1.1.4)$$

而它们的矩阵积为

$$FG = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} \\ f_{21} & f_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{11}g_{11} + f_{12}g_{21} & f_{12}g_{12} + f_{12}g_{22} \\ f_{21}g_{11} + f_{22}g_{21} & f_{21}g_{12} + f_{22}g_{22} \end{bmatrix} \quad (1.1.5)$$

### 3. 图像的显示方式

对 2-D 图像的显示可以采取多种形式, 其基本思路是将 2-D 图像看作在 2-D 空间位置上的一种幅度分布。根据图像的不同, 采取的显示方式也可不同。

#### 例 1.1.2 灰度图像显示示例。

图 1.1.1(a) 和 1.1.1(b) 所示为两幅典型的灰度图像 (Lena 和 Cameraman) 和对它们的显示。图 1.1.1(a) 所用的坐标系常在屏幕显示中采用 (屏幕扫描是从左向右、从上向下进行的), 它的原点 (origin)  $O$  在图像的左上角, 纵轴标记图像的行, 横轴标记图像的列。  $I(r, c)$  既可代表这幅图像, 也可表示在  $(r, c)$  行列交点处的图像值。图 1.1.1(b) 所用的坐标系常在图像计算中采用, 它的原点在图像的左下角, 横轴为  $X$  轴, 纵轴为  $Y$  轴 (与常用的笛卡儿坐标系相同)。  $f(x, y)$  既可代表这幅图像, 也可表示在  $(x, y)$  坐标处像素的值。图 1.1.1(c) 给出对图 1.1.1(a) 的 3-D 透视显示, 其中将各个像素的灰度显示在对应的垂直高度上。

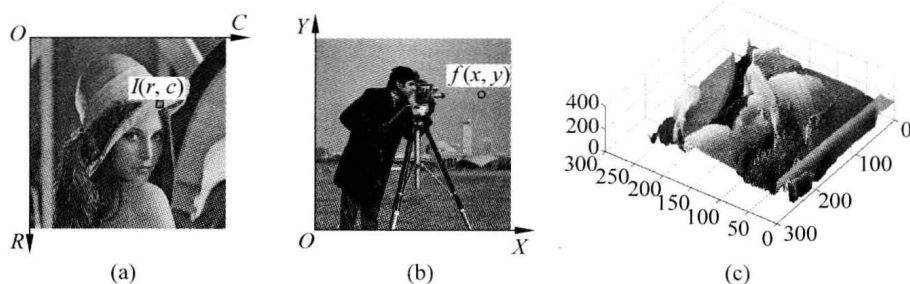


图 1.1.1 灰度图像显示示例

□