



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 数字图像处理

**(MATLAB版)** (第2版)

Digital Image Processing (MATLAB Version)  
Second Edition

闫敬文 著



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

# 数字图像处理 (MATLAB 版) (第 2 版)

闫敬文 著

國防工業出版社

· 北京 ·

# 内 容 简 介

本书是在 2007 年出版的《数字图像处理》(MATLAB 版)一书的基础上经修改而成的。

本版保留了原教材以概要形式讲述基本理论,并紧密结合实践应用研究的特色,对少量内容进行了修改,对第 1 版中出现的错误进行了修订。本书论述清晰、概念明确、重点突出并配有大量源代码,便于教学和自学。

全书内容包括:小波分析和应用的基本理论、图像压缩编码、空间域内图像增强、频域内图像增强、小波域去噪滤波器、数字视频处理、图像融合算法以及附录。各章均配有不同层次的习题以及源代码以供参考。

本书以精缩的理论知识、实践教学和工程训练相结合,可以用作计算机应用、通信工程和电子工程专业高年级本科生、研究生、工程硕士、教师及工程技术人员学习数字图像处理和基本图形学技术的参考书或实验教学指导书,也可作为本科生和研究生的研究型课程教材。

## 图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理:MATLAB 版/闫敬文著.—2 版.—北京:国防工业出版社,2011.8  
普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
ISBN 978-7-118-07648-6

I. ①数... II. ①闫... III. ①数字图像处理—Matlab 软件—高等学校—教材 IV. ①TN911.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 144984 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司印刷

新华书店经售

\*

开本 710×960 1/16 印张 21 字数 376 千字

2011 年 8 月第 2 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 38.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

# 前 言

感谢广大读者的厚爱,国家级十一五规划《数字图像处理》(MATLAB 版)已于 2010 年年底售完。在出版三年多的时间里,数字图像处理技术已经取得一些新进展,作为一门研究型课程,其内容需要进行适当增加和调整。再版仍将以高密度压缩式教学方式,浓缩大量的理论和实践教学内容,以培养创新能力为目的。删除第 8 章的图像图形学内容,因为这部分不属于图像处理技术部分,增加了 6.6 节基于父系数及邻域系数的双树复数小波去噪滤波器和 6.7 节基于 Context 模型和 3D 视频图像的小波去噪滤波器,增加了第 8 章 8.6 节和 8.7 节图像融合的内容。增加部分仍有源代码提供给读者,以供练习。这样本书自成系统,重点内容就是图像压缩、图像增强与去噪声和图像融合,使这特点更加鲜明。

本书以概要形式讲述基本理论,并紧密结合实践应用研究。第 1 章仍保持原来的内容,介绍本门课程的学习方法——方法论,介绍如何开展课程学习方法、新技术学习对策和工程训练推荐方式。第 2 章介绍小波分析和应用的基本理论。小波分析在图像处理和应用中占有越来越重要的地位,所以本章用少量篇幅介绍常用的基本理论和二代提升小波。第 3 章是图像压缩编码,压缩是常用的图像处理技术之一。本章主要介绍图像压缩中常用的矢量量化压缩、基于小波变换的零树编码(EZW)和集复合树编码压缩(SPIHT)方法,且侧重实时应用实现。研究包括基于小波变换的对块矢量压缩编码、KL 变换在三维光谱数据压缩中的应用等诸多内容。KLT + 小波变换压缩方法不局限于光谱数据压缩,也可以应用于其他图像压缩应用或读者研究中。最后给出了本章中应用 MATLAB 语言实现相关程序源代码。学过这部分内容的读者,可以跳过这部分内容直接进入应用或提高部分学习。第 4 章为空间域内图像增强。图像增强也是图像处理中广泛的应用技术之一。传统的空间域增强有均值滤波、线性滤波、梯度倒数加权滤波、中值滤波和对比度调节、直方图均衡化和规定化等方法。在此基础上,本章引进了 digital TV 模型滤波、边缘检测和噪声分类相结合的线性滤波器、USM 增强滤波以及提出了基于个数判断脉冲噪声的中值滤波和一种自适应门限的中值滤波两种新方法。通过对目前图像中含有噪声模型分析和对已经有的成熟增强方法研究,让读者了解和学会如何设计各种数据滤波器,并对各种滤波器的性能全面了解。第 5 章是频域内

图像增强。主要讲授用于频域内增强的巴特沃斯滤波器和同态滤波器的设计方法和实现技术,包括频率域图像增强的数字滤波器设计,如根据不同的要求设计的低通滤波器、高通滤波器、带通滤波器和同态滤波。第6章是小波域内去噪声滤波器,重点对小波域内图像增强技术进行了重点研究。包括小波变换域内传统的软门限和硬件门限阈值去噪声方法和新提出的若干改进新方法。这些新方法是当前主流去噪声方法,具有较强的应用性。在对HMT模型分析基础上,对利用相邻尺度小波系数的相关性可以较好地提取图像的细节的Context模型进行了分析,提出了基于尺度空间和Context模型相结合的自适应小波去噪滤波器、基于父系数及邻域系数的双树复数小波去噪滤波器和基于Context模型和3D视频图像的小波去噪滤波器。再版中增加了6.6节基于父系数及邻域系数的双树复数小波去噪滤波器和6.7节基于Context模型和3D视频图像的小波去噪滤波器,这两节是近年来项目组研究取得的最新成果。本章对遥感图像处理和应用进行了研究,包括SAR图像增强、低对比度图像增强与目标提取等遥感图像处理常用的技术。第7章是数字视频处理技术。主要包括去隔行算法、运动检测和运动估计、运动补偿和压缩常用方法,并对其中的部分内容进行了FPGA和DSP实现。具体压缩方法主要是在了解了基于小波变换技术的集复合树分割SPIHT压缩编码(SPIHT)方法的基础上,进行硬件实现技术。具体包括应用C语言进行基于小波变换视频压缩的DSP技术和实现。硬件部分内容主要针对硬件感兴趣读者精心设计,特别是DSP和FPGA两个硬件例子都已经测试通过,这对学习和了解这部分知识很有帮助。附录主要介绍图像格式读写和MATLAB应用基本技巧。特别是对应用MATLAB进行绘图和进行VC++混合编程的同学,可以认真读附录中的内容。根据附录的内容,结合最后附的综合训练题练习,可使读者基本上掌握这部分内容。

本书的三大核心内容是图像压缩技术、图像增强与去噪声和图像融合技术。书中所涉及的全部是现代数字图像处理中的压缩编码、图像增强等重要的研究内容,且紧密结合应用研究展开的。虽然从基础知识方面不是很全面和系统,但力求以点代面,为读者学习和研究开拓新方法和新思路。兵法云:“伤其十指,不如断其一指”。本书以工程训练为背景,以“断其一指”为宗旨,以创新能力培养为目标,具有较强的科学性。正所谓“百看不如一练,百练不如一专”,看知识多了就不要再看了,需要练习。练习多了不如做成一个完整项目。能力从实践训练中来。本书中多数内容都是多年教学和科研中实践经验的积累。

本书以精缩的理论知识、实践教学和工程训练相结合,可以作为计算机应用、通信工程和电子工程专业高年级本科生、研究生、工程硕士、教师及工程技术人员学习数字图像处理和基本图形学技术的参考书或实验教学指导书,也可以作为本

科生和研究生的研究型课程教材。书中包含很多内容,不同学校不同专业可以根据自己的侧重点进行适当取舍。全部内容可以作为 60 学时讲授。其中很多内容可以作为实验教学内容,不用再辅之以实验指导书。这是本书的另一个特点。书中附有大量的实例,采用 MATLAB 和 VC++ 编程,全部代码均以调试通过。因篇幅有限,有些相关内容和源程序代码放在作者本人网页中供下载。需要源程序代码的读者可先用邮件联系:xdyjwen@126.com,jwyan@stu.edu.cn,最好说明需要哪一部分代码,因为有的章节包括数据,受邮箱容量限制,较大的文件用邮件传输不了。

特别感谢清华大学章毓晋教授对本书第 1 版提出宝贵建议,感谢广大读者对本书中存在问题 and 纰漏进行的指正和建议,感谢卢刚、林小芬和屈小波同学对书中的部分程序仿真和部分内容的整理工作。由于水平和能力有限,书中难免有不足之处,欢迎读者指正!

作者

2011 年 5 月于广东汕头

# 目 录

<b>第 1 章 数字图像处理学习方法</b> .....	1
1.1 数字图像处理技术学习对策 .....	1
1.2 新知识和技术进展学习攻守策略 .....	2
1.3 工程训练或研究课题推荐学习方式 .....	3
1.4 数字图像处理技术的应用前景 .....	4
<b>第 2 章 小波分析基本理论</b> .....	6
2.1 傅里叶变换到小波分析 .....	6
2.2 积分小波变换和时间-频率分析 .....	7
2.3 小波的多分辨分析与分解重构 .....	8
2.4 Mallat 算法 .....	11
2.5 用提升方法构造的整数小波 .....	13
<b>第 3 章 图像处理中的压缩编码/解码</b> .....	16
3.1 标量量化的 JPEG 压缩编码 .....	17
3.2 矢量量化编码 .....	19
3.3 基于小波变换的图像压缩 .....	20
3.3.1 编码原理 .....	21
3.3.2 图像统计特性和适合图像数据压缩小波基的确定 .....	23
3.3.3 基于小波变换的零树编码和集复合树编码压缩 .....	24
3.3.4 基于小波变换的对块零树编码压缩 .....	30
3.4 小波树结构快速矢量量化编码方法 .....	34
3.4.1 小波树及其树结构矢量量化 .....	35
3.4.2 小波树结构矢量量化压缩编码 .....	37
3.4.3 小波树结构矢量量化编码快速算法实现 .....	37
3.5 码矢量激励预测编码 .....	39
3.5.1 预测图 .....	40

3.5.2	块截短编码	42
3.5.3	改进块截短编码	43
3.6	WT + IBTC 压缩研究实验和结论	44
3.7	三维多光谱数据压缩	45
3.7.1	多光谱遥感图像 KLT 及其统计特征分析	46
3.7.2	KLT 码流分配的方法设计	47
3.7.3	实验结果和讨论	49
3.8	本章部分程序	54
	习题	62
<b>第 4 章</b>	<b>空间域内图像增强</b>	<b>63</b>
4.1	均值滤波	63
4.1.1	均值滤波的基本理论	63
4.1.2	均值滤波器	65
4.2	线性加权滤波	66
4.3	梯度倒数加权滤波	67
4.4	基于 Digital TV 模型的线性滤波器	69
4.4.1	TV 模型	69
4.4.2	Digital TV 线性滤波器	69
4.5	边缘检测和噪声分类相结合的线性滤波器	72
4.5.1	图像边缘检测算子	72
4.5.2	分块平均边缘检测和噪声分类相结合的滤波器	76
4.6	中值滤波器	78
4.7	基于个数判断脉冲噪声的中值滤波器	79
4.8	自适应门限的中值滤波器	82
4.9	图像增强	83
4.10	直方图处理	85
4.10.1	直方图均衡化	85
4.10.2	直方图规定化	86
	小结	87
	习题	87
<b>第 5 章</b>	<b>频率域内图像增强</b>	<b>88</b>
5.1	用巴特沃斯 (Butterworth) 滤波器进行图像滤波设计	88



5.1.1	点阵图像的频谱特性及滤波方案 .....	88
5.1.2	模拟巴特沃斯低通滤波器设计 .....	89
5.1.3	模拟低通滤波器转变为数字低通滤波器 .....	90
5.1.4	数字低通、高通、带通滤波器 .....	90
5.1.5	巴特沃斯滤波器实验结果 .....	91
5.2	同态滤波 .....	92
5.2.1	图像形成模型 .....	92
5.2.2	同态滤波器 .....	92
小结	.....	94
习题	.....	94
<b>第6章</b>	<b>小波域去噪滤波器 .....</b>	<b>95</b>
6.1	门限相关的小波去噪滤波器 .....	95
6.1.1	Donoho 软门限去噪滤波器 .....	95
6.1.2	硬门限去噪滤波器 .....	97
6.1.3	GCV 阈值和 SURE 阈值软门限去噪滤波器 .....	98
6.1.4	Bayes 估计阈值软门限去噪滤波器 .....	100
6.2	基于 Context 模型的空间自适应小波去噪滤波器 .....	101
6.3	基于尺度和空间混合模型的小波图像去噪滤波器 .....	104
6.4	基于隐马尔可夫树模型的小波去噪滤波器 .....	107
6.5	基于尺度空间和 Context 模型相结合的自适应小波去噪滤波器 .....	111
6.6	基于父系数及邻域系数的双树复数小波去噪滤波器 .....	116
6.7	基于 Context 模型和 3D 视频图像的小波去噪滤波器 .....	123
6.8	SAR 图像处理 .....	129
6.8.1	SAR 图像增强系统结构设计 .....	130
6.8.2	实验结果和结论 .....	130
小结	.....	133
习题	.....	133
<b>第7章</b>	<b>数字视频处理 .....</b>	<b>135</b>
7.1	运动估计 .....	135
7.1.1	基于像素的运动估计 .....	135
7.1.2	基于块的运动估计 .....	136
7.1.3	多分辨率运动估计 .....	140
7.1.4	几种运动估计方法的比较 .....	141

7.2	运动补偿 .....	143
7.2.1	运动补偿方式 .....	144
7.2.2	多假设运动补偿 .....	145
7.2.3	重叠块运动补偿 .....	146
7.2.4	重叠可变块运动补偿 .....	146
7.3	去隔行算法 .....	148
7.3.1	非运动补偿的去隔行算法 .....	148
7.3.2	运动补偿的去隔行算法 .....	150
7.3.3	其他去隔行算法 .....	152
7.3.4	仿真结果 .....	159
7.4	去隔行算法 FPGA 实现 .....	162
7.4.1	VLSI 设计方法简介 .....	163
7.4.2	去隔行算法 FPGA 实现 .....	163
7.5	小波 SPIHT 编码方法 C 语言及 DSP 实现 .....	170
7.5.1	SPIHT 编码的 C 语言实现 .....	170
7.5.2	小波 SPIHT 编码在 C6701 评估板上实现 .....	172
	小结 .....	191
	习题 .....	191
<b>第 8 章</b>	<b>基于多尺度的 PCNN 图像融合算法 .....</b>	<b>193</b>
8.1	图像融合技术的发展过程 .....	193
8.2	基于小波变换图像融合的基本原理 .....	194
8.3	融合效果性能评价指标 .....	195
8.3.1	均值和标准差 .....	195
8.3.2	熵 .....	196
8.3.3	平均梯度 .....	196
8.3.4	互信息 .....	196
8.3.5	归一化指标 .....	197
8.4	高频域融合算法研究 .....	197
8.4.1	均值法 .....	198
8.4.2	最大值法 .....	198
8.4.3	基于区域的最大值法 .....	199
8.4.4	基于区域能量的图像融合算法 .....	200
8.4.5	基于边缘强度的自适应融合法 .....	202
8.4.6	基于 PCNN 的图像融合算法 .....	203

8.4.7	改进的 PCNN 图像融合算法 .....	208
8.4.8	高频域内不同融合算法的比较 .....	210
8.5	低频域融合方法 .....	215
8.5.1	低频平均法 .....	216
8.5.2	基于低频域边缘的选择方案 .....	216
8.5.3	基于 PCNN 的低频域融合算法 .....	217
8.5.4	低频域内不同融合算法的比较 .....	218
8.5.5	最终融合结果 .....	221
8.6	改进拉普拉斯能量和的尖锐频率局部化 Contourlet 域多聚焦 图像融合 .....	224
8.6.1	尖锐频率局部化 Contourlet 变换 .....	225
8.6.2	循环平移 SFLCT 域图像融合方法 .....	226
8.6.3	融合规则 .....	227
8.6.4	实验结果 .....	229
8.7	非子采样 Contourlet 变换域内的空间频率 激励的 PCNN 的图像融合 .....	235
8.7.1	图像融合中的 NSCT .....	235
8.7.2	基于 NSCT-SF-PCNN 的图像融合算法 .....	236
8.7.3	实验结果 .....	238
8.8	PCNN 图像融合的相关方法 .....	244
附录 1 MATLAB 中图像工具箱基本技巧 .....		246
附录 2 练习题参考答案和部分应用程序 .....		289
参考文献 .....		317

# 第1章 数字图像处理学习方法

如何进行计算机数字图像处理学习？在现今的大学生学习生活中，对这一问题的重要性、迫切性和影响还没有得到足够的认识。这是一个自然辩证法或自然科学中的方法论的问题，也是每个老师和同学必须面对和掌握的。对于学生来说，不了解这一问题是很正常的。因为学生不可能像老师那样了解各门课程的学科体系结构，也不清楚各种知识之间的相互关系。相信大家有很多人都看过金庸的武侠小说，对其中刻画的人物形象记忆深刻，这正是艺术作品的真正魅力所在。但如果提一个问题，请说出各小说中的人物关系和武功流派？相信不是金庸武侠小说的研究人员，很少有人能够说明白。而计算机学科的发展正是建立在通信技术、电子技术、网络技术和信息处理技术基础之上的，各学科和课程之间的关系复杂度，远远超过金庸作品中的人物关系和武功流派。而各学科或课程所需要的纷繁的数学知识，则更为复杂。需要在教学过程中引导学生去了解 and 掌握这些关系，建立系统的知识结构体系。学生在学习过程中，知道了哪些内容是重要，了解重点或感兴趣的内容是什么，如何去学，怎样应用，想学到什么技术和特长等。如果学生清楚了这些问题，在大学四年的学习生活中，会过得很充实，即学到了扎实的理论知识，又学会了研究方法和技术应用。这将会使学生在择业的竞争中占据有利地位，也为以后的发展奠定坚实的基础。

## 1.1 数字图像处理技术学习对策

当今社会已经进行了数字化的信息时代，而占存储空间最大的信息量则是图像。图像中所包含的信息比所有其他媒体信息的总和还要多，人类认识自然界都离不开这些信息。当今科技和现实生活中的任何领域的设备都要求数字化和成像。用于宇宙观测的天文望远镜获得了大量的观测数据，遥感地球资源卫星获得了大量对地观测数据，气象卫星获得云图来预测气象的变化，各种成像系统获得相关的测量或成像数据等。这些例子不胜枚举，数字图像已经深入到各生活领域中。这么多纷杂的图像如何存储、传输、处理和分析，是必须解决的问题。但又不能用较短的篇幅来说明这个问题，即使写几本书或十几本书也不可能覆盖所有的内容。因此本书只强调图像处理技术中常用的方法和新技术，将理论精缩，侧重于实践技

术和实现方法,以弥补理论教学与实践脱节的不足。在无法做到面面俱到的同时,力争以几个领域中的经典方法为例,讲清楚和透彻,起到举一反三的效果。在理论和应用的实践教学中,要打“歼灭战”,才能取得良好的效果,培养学生的创新能力,并以此带动其他相关的教学内容,创造良好的对新知识和新技术学习氛围,加强创新能力培养。既然数字图像处理涉及到这么多的数学和专业基础知识,而大家又不能够对这些知识一一进行系统地学习,所以只能在应用过程中遇到相关知识时,学生自己进行学习或复习。

另一种比较好的切实可行的方法则是以研究小课题为主的实际训练,代替或弥补课堂上教学内容的不足。每一个学生的知识掌握程度如何,会不会灵活应用,主要取决于真正的实际训练。不但要训练,还要看训练效果,也要看是不是学生自己或研究小组独立设计完成。本书的内容设计和安排借鉴了法国高等电信学校的 ECOLE 教学模式中的大容量紧缩方法,内容安排紧凑合理,即有深度又注重基础训练,克服传统教学中的空谈理论缺乏实践教学的缺点。本书中的另一个突出特点是把学习 MATLAB 语言和数字图像处理的工程训练紧密结合起来,克服只学习 MATLAB 语言或介绍其中的某个工具箱应用的个性学习的不足。以点代面,要求读者不要局限于书中的特例,借鉴特例,自己独立完成书中的习题或自己设计的习题。

## 1.2 新知识和技术进展学习攻守策略

本书十分侧重新知识和新技术内容的学习,引入了近年图像处理研究和应用中的最新进展。如小波分析基本理论和应用技术,提升小波变换技术等内容都是 20 世纪 80 年代后期世界上开展的研究,个别研究领域是近几年才刚开始的。对于数学知识侧重于数学变换及应用,以这一点为主线展开,不再讲解系统的各种变换,避免和相关基础课程内容的重复。这部分内容很多,对于学生来说也最难。在做这部分内容课题时,本书提供了必要的例子和相关的基于 MATLAB 环境的源代码。加强学生学习的积极性和主动性,给学生一定的自由度,在教师的引导下,自己去选择应该学什么和做什么,充分发挥想象力和创造力。好在图像处理技术应用学习条件要求不高,只要有一台电脑也就可以开展研究工作。随着国家 211 工程和 985 工程的建设,重点高校的各种条件都得到了进一步改善。大量的微机实验室都基本对外开放。而地方所属的高等院校,也不同程度地得到改善。经济发达省份改善的幅度更大一些。同时为了弥补课外时间上机不足,IT 专业多数高年级学生自购了电脑,在宿舍也可以学习。开放实验室,让学生有更多的业余时间进入实验室,特别是课余时间利用实验室进行开放性自主设计实验,是提高实验教学

质量的必经之路。因为教师只能在课堂上进行教学和实验,课时所限无法保证学生的学习质量。如果只是以教师为主体进行教学和实验,不发挥同学的积极性和主动性,也无法真正提高教学质量。现在学生学习大部分或者说主流是好的,比较珍惜学习时间。但是有小部分同学,在没有条件时总是要条件,但是满足了条件或者有了条件却不去利用,甚至利用电脑玩游戏、网上聊天或看看新闻,做一些与学习无关的事情。只有学生进行实验感到时间紧张或者完不成时,才会使学生真正利用实验室的条件。而这方面的引导全部要靠教师以教学方式来进行指导,不是空谈地说教,更不能应用旧的教学课程内容进行教导,或进行广播操式的机械式验证实验。因为学生一入学就会从上届学生那里了解各门课程和实验教学情况,会有公正的评价。这方面对教师要求较高。不但要求教师要完全掌握教学内容,而且要懂得如何结合本课程进行将来科学研究的强化针对性训练。教师必须有科研工作的基础和不断充实自己的科研能力,并把科研中的研究成果和经验引入到教学实践中,做到相互促进和提高。

而这些新技术新知识的引入和学习,可以填补这方面的不足。真正的能力是训练出来的,真“功夫”是在课外学习到的。课堂上教学主要是传授知识和引导。随着大学生就业压力的增加,相信他们会喜欢这些新技术和新知识。通过上述的过程,可以培养学生的创新能力,使他们在择业竞争中处于有利地位。

### 1.3 工程训练或研究课题推荐学习方式

在学习课程内容的同时,我们会布置很多习题或研究小课题供学习选择。习题或研究小课题分成 A、B 和 C 三个级别,据难度不同侧重点也不同。学生根据数学基础和应用能力水平决定,选择适当的级别题。当然学生也可以自己选择课题,经过授课教师考察后确定其级别。级别设立可以让学生有较大的选择余地,也可以视学习完成的效果进行综合评价成绩。这些成绩计入期末考试成绩。有条件的专业可以结合教师的研究课题,或研究生做的项目来进行。通过这样的专题训练,可以不断推进研究课题的水平不断提高。要不断的积累和总结,对特别优秀的进行点评,要进行经验交流,促进学生共同提高。进行经验交流是十分必要的,让学生了解自己哪些地方做的不好,哪些地方有创新。在完成这些研究课题的时候,建议系统训练,以打好基础为主,为以后的学习和研究创造条件。切忌“贪”而不“实”地学,做到真正弄懂了。举个例子,如果大家训练了 10 道题,多数都不会,那么,相信只有会的才有收获。要打歼灭战,“伤其十指不如断其一指”,道理就是这么简单。不以量取胜,以质为准。本书力求压缩篇幅,尽量做到言之有物,百闻不如一见。特别是书中的好多例程,没有给出结果图像,目的是让学生亲自去练习做

出结果。学生能力从大量有研究性和创新性的实践练习中来,不是从教科书中来。知识并不等于能力,知识和能力之间的关系是因果关系,知识是培养能力的前提条件和基础;能力是在对知识掌握并灵活运用的基础上,实现并应用于软件和硬件开发过程中产生的。

在工程训练或研究课题进行过程中,十分注重系统性。系统的概念在每个人学习过程中的地位都十分重要。如果有了系统的知识或概念,对学习过程中的知识体系结构就能够正确地把握。如果能够把一门课程和它的前续基础课建立起系统的联系,那么在学习过程中或之后,学生都能够把握知识点,并能灵活应用。知识系统的概念,贯穿每个人一生学习的始终,也是能否成功的关键因素之一。本书推荐工程训练或研究课题的过程不具体,是指导性的。各学校和专业视实际情况不同,可以选择或确定适合自己的学习方式。而上述提出的经验是在多年实际教学和实验教学经验的基础上提出来的。总之,在教学过程中,要充分调动教师和学生的积极性,做到有的放矢,要使学生创新能力培养与教师科研结合起来,与实验教学和实际工程项目联系起来。

## 1.4 数字图像处理技术的应用前景

人们做一件事时都要有针对性和目的。针对性强又能结合同学们学习的兴趣,学习态度就会认真。那么数字图像处理技术有什么用途和前景呢?下面就这一问题展开讨论,目的是为了提提高大家发自内心的学习兴趣。

任何仪器设备都需要成像。如医学上用的 X 光机、CT 机、PET 设备和 B 超设备等,需要在检查时对病人进行成像,根据成像进行技术分析,从而做出正确的医学诊断。生物技术上近年来出现了各种生物芯片,有些就是进行成像分析的。还有用高倍显微镜进行成像分析的。这方面的应用正在迅速发展起来的分支称为医学信息学或生物信息学,其中图像技术占有很重要的地位。

在探地雷达技术和地质探测技术中,成像技术是必不可少的。为了找石油,现代探测技术中经常采用放炮技术,根据回波情况判断油气情况。而反演方法中也用到成像技术进行图像处理。另外探地雷达(GPR)也用到成像技术,需要对成像数据进行增强、压缩和分析等。而在这方面的应用中,还需要进行三维或更高维的图像处理技术,包括多视角模拟显示,给研究人员以逼真的效果。

在机械设计和制造领域中,机器视觉、CAD 技术和汽车等相关重要性能仿真都需要进行成像和数字图像处理技术。如机械人足球,需要根据镜头对小球场上的图像进行处理,判断球的位置后,做出正确动作。各种复杂的机械设备中的零件可以用 CAD 技术进行设计和加工。需要对零件进行三维成像,多角度显示,才能进

行加工。

在航空航天工程应用中,需要对发射后运载器飞行情况进行跟踪和控制。这样的跟踪和控制很多都是通过图像处理技术来完成的,如卫星姿态技术,飞行轨道去抖运动等,都可以采用图像处理技术来实现。卫星对地观测、卫星遥感、气象卫星和其他相关实验卫星,也都需要专用的多种图像处理技术。

在应用与信息领域中应用最为广泛的的视频技术,刚更是显示出其强大的生命力。如利用计算机图像技术制作出的多媒体广告、动画、数字电影、电视、视频会议和远程视频监控等,图像处理是必需的。

本小节的目的是给读者说明图像处理技术一些应用领域(几乎覆盖了所有的社会生活领域)让读者了解学习本门课程后的知识和技术能够在哪些方面应用,特别是自己感兴趣的领域,增加学习的浓厚兴趣。



## 第 2 章 小波分析基本理论

### 2.1 傅里叶变换到小波分析

令  $L^2(0, 2\pi)$  为区间  $(2\pi)$  上定义的函数集合  $f(x)$  满足  $\int_0^{2\pi} |f(x)|^2 dx < \infty$ 。假定  $L^2(0, 2\pi)$  中的函数都可以周期地延拓到实直线  $IR: = (-\infty, \infty)$ , 即  $f(x) = f(x - 2\pi)$  都成立。因此  $L^2(0, 2\pi)$  常称为  $2\pi$  周期的平方可积。这样在  $L^2(0, 2\pi)$  中任何一个函数  $f$  都有一个傅里叶级数表示式

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{inx} \quad (2-1)$$

其中系数  $c_n$  定义为

$$c_n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(x) e^{-inx} dx \quad (2-2)$$

$c_n$  称为函数  $f$  的傅里叶系数。式 (2-1) 中的级数收敛在  $L^2(0, 2\pi)$  中,  $\lim_{M, N \rightarrow \infty} \int_{-M}^M |f(x) - \sum_{n=-M}^M c_n e^{inx}|^2 dx = 0$ , 即函数  $f$  满足平方可积。而基函数  $w(x) = \cos(x) + i\sin(x)$  含有各种频率成分。因此  $L^2(IR)$  中的每个函数必须在  $\pm \infty$  衰减为零, 并且在实际应用中, 衰减应该是很快的。这样就可以用一个小的波  $\psi$  生成  $L^2(IR)$  空间, 应用移动的方法使  $\psi$  能够覆盖整个实直线。

令  $ZZ = \{\dots, -1, 0, 1, \dots\}$  表示整数集合。要使  $\psi$  覆盖  $IR$  的方法是平移  $\psi$  成为  $\psi(x-k)$ ,  $k \in ZZ$ 。像正弦波那样,  $\psi$  仍具有不同频率成分。因此考虑到频率成分的划分, 小波仍为  $\psi(2^j x - k)$ ,  $j, k \in ZZ$ 。即  $\psi(2^j x - k)$  可由单个小波函数  $\psi(x)$  通过一个二进制膨胀和一个二进制平移得到。在本章中定义  $L^2(IR)$  空间的内积与范数为

$$\langle f, g \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \overline{g(x)} dx \text{—— 内积,}$$

$$\|f\|_2 = \langle f, f \rangle^{1/2} \text{—— 范数}$$

式中  $f, g \in L^2(IR)$ 。对于任何的  $j, k \in ZZ$ , 有