



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
电子信息科学与工程类专业



数字图像处理学

(第二版)

● 阮秋琦 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电子信息科学与工程类专业

数字图像处理学

(第二版)

阮秋琦 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是在《数字图像处理学》第一版的基础上作了进一步修订而成的。该版本除了在第一版全面地、系统地介绍了数字图像处理学的基本理论及基本技术外,增加了一些新的内容,并根据作者多年从事数字图像处理的教学、科研的心得体会和科研成果列举了大量的实例,这些实例一并汇集在光盘内,而不再在书中印刷,以便读者参考。

全书仍分十章,其中包括:绪论,图像、图像系统与视觉系统,图像处理中的正交变换,图像增强,图像编码,图像复原,图像重建,图像分析,数学形态学原理,模式识别的理论和方法。在每一章的结尾都附有必要的思考题,供教学或自学练习,以便加深对本书所述内容的理解。

随本书仍附有光盘一张。本书作者编制了一个数字图像处理软件。该软件既可作为教学演示和实验工具,也可以在实际图像处理中应用。同时,随本书附带的光盘中还附有有关本课教学辅助的 Powerpoint 一套,供采用本书教学的教师参考选用,可根据教学内容及教学时数的需要进行裁剪。此外,在教学中的几个典型试验也附在光盘中,希望给您带来一些方便。

本书可供从事信号与信息处理、通信、自动控制、遥感、生物工程、医学、物理、化学、计算机科学乃至经济、商务及社会科学的科研人员、大专院校的教师及本科生、研究生参考学习。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理学/阮秋琦编著. —2版. —北京:电子工业出版社,2007.2
普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 电子信息科学与工程类专业
ISBN 978-7-121-03804-4

I. 数… II. 阮… III. 数字图像处理—高等学校—教材 IV. TN911.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 007981 号

责任编辑:陈晓莉 特约编辑:李双庆

印 刷:北京季蜂印刷有限公司

装 订:涿州市桃园装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:34 字数:870 千字

印 次:2010 年 1 月第 4 次印刷

印 数:3 000 册 定价:48.00 元(含光盘 1 张)

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

再版前言

数字图像处理起源于 20 世纪 20 年代,当时通过海底电缆从英国的伦敦到美国的纽约采用数字压缩技术传输了第一幅数字照片。此后,由于遥感等领域的应用,使图像处理技术逐步受到关注并得到相应的发展。1964 年美国的“喷气推进实验室”处理了由太空船“徘徊者七号”发回的月球照片,这标志着第三代计算机问世后数字图像处理开始得到普遍应用。由于 CT 的发明、应用及获得备受科技界瞩目的诺贝尔奖,使得图像处理技术大放异彩。其后,数字图像处理技术发展迅速,目前已成为工程学、计算机科学、信息科学、统计学、物理、化学、生物学、医学甚至社会科学等领域中各学科之间学习和研究的对象。随着信息高速公路、数字地球概念的提出以及 Internet 的广泛应用,信息传输中的非话业务也会急剧增长。其中,图像信息以其信息量大,传输速度快,作用距离远等一系列优点使其成为人类获取信息的重要来源及利用信息的重要手段。今天,随着科技事业的进步以及人类需求的多样化发展,使得多学科交叉、融合成为现代科学发展的突出特色和必然途径,因此,图像处理科学与技术逐步向其他学科领域渗透并为其他学科所利用是科学发展的必然。图像处理科学又是一门与国计民生紧密相联的一门应用科学,它已给人类带来了巨大的经济和社会效益,不久的将来它不仅在理论上会有更深入的发展,在应用上亦是科学研究、社会生产乃至人类生活中不可缺少的强有力的工具。它的发展及应用与我国的现代化建设联系之密切、影响之深远是不可估量的。在信息社会中,图像处理科学无论是在理论上还是实践上都存在着巨大的潜力。

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,本课程也于 2007 年被教育部评为“国家精品课程”。全书共分十章。书中根据作者多年教学及科研实践的体会并参考相关文献概括地描述了图像处理理论和技术所涉及的各个分支。众所周知,图像处理理论和技术所包含的内容是如此之广泛,以至于各章都涉及更加专深的理论及内容,因此,每一个章节自成一书亦不为过。本书只能提纲挈领地介绍图像处理的基本理论和方法,其目的是使读者对图像处理有一个全面的了解,以便为进一步深入研究打下一个扎实的基础。

本书还根据多年的实践编制了一套实验演示软件,该软件既可以作教学或自学演示,以便加深读者的感性认识,也可以在教学中用作实验软件或直接做图像处理之用。该软件附在书后光盘之中。此外,为教学方便计,本书第二版还附上 Powerpoint 一套,可供使用该书的教师选用(可根据教学时数及内容裁剪)。

本书在编写过程中得到学校行政部门的大力支持,同时在编程实验及课件制作中也得到本所博士生、硕士生王延江、邹国辉、刘汝杰、陆宽、陆俊、舒志龙、张颖、王萌、李毅、仵冀颖、曹溪渺、支瑞聪等同学的帮助。此外,书中还引用了一些论文和资料,对此,本人深表感谢。本书之所以能高效率、高质量地及时出版是与电子工业出版社的支持分不开的,在此,也表示由衷地感谢。由于本人水平所限,书中一定会有许多不足之处,敬请读者批评指正。

作者
于北京交通大学

目 录

第1章 绪论	1
1.1 序言	1
1.2 图像处理技术的分类	3
1.2.1 模拟图像处理	3
1.2.2 数字图像处理	3
1.3 数字图像处理的特点	3
1.4 数字图像处理的主要方法及主要内容	4
1.4.1 数字图像处理方法	4
1.4.2 数字图像处理的主要内容	5
1.5 数字图像处理的硬件设备	10
1.6 数字图像处理的应用	11
1.7 数字图像处理领域的发展动向	14
思考题	16
第2章 图像、图像系统与视觉系统	17
2.1 图像	17
2.1.1 有关光学的预备知识	17
2.1.2 图像的概念	19
2.1.3 图像信息的分类	20
2.1.4 图像的统计特性	21
2.1.5 图像信息的信息量	26
2.2 图像处理系统中常用的输入设备	27
2.2.1 电视摄像机	27
2.2.2 飞点扫描设备	37
2.2.3 鼓形扫描器	38
2.2.4 微密度计	38
2.2.5 其他图像输入设备	39
2.3 图像处理系统中的输出设备	40
2.3.1 监视器	40
2.3.2 激光扫描器	43
2.3.3 液晶显示器	43
2.3.4 等离子体 PDP 显示技术	51
2.3.5 数码纸显示技术	54
2.3.6 其他图像显示装置	61

2.4	数字图像处理的主机系统	62
2.5	视觉系统	66
2.5.1	视觉系统的基本构造	66
2.5.2	光觉和色觉	67
2.6	光度学及色度学原理	69
2.6.1	颜色的表示方法及观察条件	69
2.6.2	三基色混色及色度表示原理	70
2.6.3	CIE 的 R、G、B 颜色表示系统	70
2.7	亮度和颜色感觉的视觉特征	72
2.7.1	刺激强度与感觉的关系	72
2.7.2	亮度适应和颜色适应	73
2.7.3	亮度对比和颜色对比	73
2.7.4	颜色感觉与刺激面积的关系	74
2.7.5	主观颜色	74
2.7.6	记忆色	74
2.7.7	进入色、后退色、膨胀色、收缩色	74
2.7.8	颜色和爱好	74
2.8	视觉的空间性质	74
2.8.1	视力	74
2.8.2	视觉的空间频率特性	75
2.8.3	颜色辨别门限的空间频率特性	77
2.8.4	视觉的空间频率特性和图像的清晰度	77
2.9	视觉的时间特性	77
2.10	运动的感觉	79
2.11	形状感觉与错视	80
	思考题	81
第3章	图像处理中的正交变换	83
3.1	傅里叶变换	83
3.1.1	傅里叶变换的定义及基本概念	83
3.1.2	傅里叶变换的性质	86
3.1.3	离散傅里叶变换	88
3.1.4	快速傅里叶变换	93
3.1.5	用计算机实现快速傅里叶变换	98
3.1.6	二维离散傅里叶变换	100
3.2	离散余弦变换	102
3.2.1	离散余弦变换的定义	102
3.2.2	离散余弦变换的正交性	104
3.2.3	离散余弦变换的计算	105
3.3	沃尔什变换	106
3.3.1	正交函数的概念	107

3.3.2	拉德梅克函数	108
3.3.3	沃尔什函数	109
3.3.4	沃尔什函数的性质	118
3.3.5	沃尔什变换	120
3.3.6	离散沃尔什哈达玛变换	121
3.3.7	离散沃尔什变换的性质	122
3.3.8	快速沃尔什变换	128
3.3.9	多维变换	130
3.4	哈尔函数及哈尔变换	134
3.4.1	哈尔函数的定义	134
3.4.2	哈尔函数的性质	135
3.4.3	哈尔变换及快速算法	137
3.5	斜矩阵与斜变换	139
3.5.1	斜矩阵的构成	139
3.5.2	斜变换	143
3.6	小波变换	144
3.6.1	概述	144
3.6.2	时-频分析	145
3.6.3	连续小波变换	149
3.6.4	离散小波变换	157
3.6.5	小波包	166
3.6.6	二维小波	168
3.6.7	Mallat 算法	171
	思考题	175
第4章	图像增强	178
4.1	用直方图修改技术进行图像增强	178
4.1.1	直方图	179
4.1.2	直方图修改技术的基础	179
4.1.3	直方图均衡化处理	180
4.1.4	直方图规定化处理	185
4.1.5	图像对比度处理	190
4.2	图像平滑化处理	193
4.2.1	邻域平均法	193
4.2.2	低通滤波法	194
4.2.3	多图像平均法	197
4.3	图像尖锐化处理	199
4.3.1	微分尖锐化处理	199
4.3.2	零交叉边缘检测	201
4.3.3	Canny 算子	204
4.3.4	Prewitt 算子	209

4.3.5	经典的 Kirsch 算子	211
4.3.6	高通滤波法	212
4.3.7	梯形高通滤波器	214
4.4	利用同态系统进行增强处理	215
4.5	彩色图像处理	217
4.5.1	关于颜色的基本理论	219
4.5.2	颜色模型	221
4.5.3	伪彩色图像处理	228
4.5.4	关于彩色显示	233
4.5.5	实时伪彩色增强系统	234
	思考题	235
第 5 章	图像编码	238
5.1	图像编码分类	238
5.2	图像编码中的保真度准则	240
5.2.1	客观保真度准则	240
5.2.2	主观保真度准则	240
5.3	PCM 编码	241
5.3.1	PCM 编码的基本原理	241
5.3.2	PCM 编码的量化噪声	242
5.3.3	编码器、译码器	243
5.3.4	非线性 PCM 编码	245
5.3.5	亚奈奎斯特取样 PCM 编码	247
5.4	统计编码	250
5.4.1	编码效率与冗余度	250
5.4.2	三种常用的统计编码法	253
5.4.3	算术编码	264
5.5	预测编码	267
5.5.1	预测编码的基本原理	268
5.5.2	$\Delta M(DM)$ 编码	270
5.5.3	DPCM 编码	278
5.6	变换编码	281
5.6.1	几种特殊的映射变换编码法	281
5.6.2	正交变换编码	287
5.7	图像编码的国际标准	299
5.7.1	H. 261 编码标准	300
5.7.2	H. 261 解码原理	307
5.7.3	H. 261 的图像复用编码	308
5.7.4	传输缓冲器与传输编码	309
	思考题	310
第 6 章	图像复原	312

6.1	退化模型	312
6.1.1	系统 H 的基本定义	312
6.1.2	连续函数退化模型	313
6.1.3	离散的退化模型	315
6.2	复原的代数方法	318
6.2.1	非约束复原方法	318
6.2.2	约束复原法	318
6.3	逆滤波	319
6.3.1	逆滤波的基本原理	319
6.3.2	去除由均匀直线运动引起的模糊	320
6.4	最小二乘方滤波	325
6.4.1	最小二乘方滤波的原理	325
6.4.2	用于图像复原的几种最小二乘方滤波器	328
6.5	约束去卷积	329
6.6	中值滤波	334
6.6.1	中值滤波的基本原理	334
6.6.2	加权的中值滤波	336
6.7	几种其他空间复原技术	338
6.7.1	几何畸变校正	338
6.7.2	盲目图像复原	340
6.7.3	递归图像复原技术	341
	思考题	346
第7章	图像重建	348
7.1	概述	348
7.2	傅里叶变换重建	349
7.3	卷积法重建	351
7.4	代数重建方法	352
7.5	重建的优化问题	355
7.6	图像重建中的滤波器设计	358
7.7	重建图像的显示	360
7.7.1	重建图像的显示	361
7.7.2	单色显示	361
7.7.3	重建对象的显示	363
7.7.4	图像重建的应用	370
	思考题	381
第8章	图像分析	382
8.1	分割	382
8.1.1	灰度阈值法分割	382
8.1.2	样板匹配	386
8.1.3	区域生长	390

8.1.4 区域聚合	390
8.2 描绘	391
8.2.1 区域描绘	392
8.2.2 关系描绘	397
8.2.3 相似性描绘	408
8.2.4 霍夫变换	410
8.3 纹理分析	412
8.3.1 纹理特征	413
8.3.2 用空间自相关函数做纹理测度	414
8.3.3 傅里叶功率谱法	414
8.3.4 联合概率矩阵法	415
8.3.5 灰度差分统计法	416
8.3.6 行程长度统计法	417
8.3.7 其他几种方法	417
8.3.8 纹理的句法结构分析法	417
8.4 形状分析的细线化	418
8.5 图像配准	420
思考题	427
第9章 数学形态学原理	429
9.1 数学形态学的发展	429
9.2 数学形态学的基本概念和运算	430
9.2.1 数学形态学定量分析原则	431
9.2.2 数学形态学的基本定义及基本算法	431
9.3 一些基本形态学算法	439
9.3.1 边缘提取算法	439
9.3.2 区域填充算法	440
9.3.3 连接部分提取算法	440
9.3.4 凸壳算法	440
9.3.5 细化	443
9.3.6 粗化运算	443
9.3.7 骨骼化算法	444
9.3.8 裁剪	445
9.4 灰度图像的形态学处理	449
9.4.1 膨胀	449
9.4.2 腐蚀	450
9.4.3 开和闭运算	451
9.4.4 灰度形态学的应用	452
思考题	455
第10章 模式识别的理论和方法	456
10.1 概述	456

10.2	统计模式识别法	458
10.2.1	决策理论方法	458
10.2.2	统计分类法	466
10.2.3	特征的抽取与选择	469
10.2.4	统计学习理论与支持向量机	471
10.3	句法结构模式识别	480
10.3.1	形式语言概述	481
10.3.2	句法结构方法	488
10.3.3	误差校正句法分析	489
10.3.4	文法推断	499
10.4	模糊集识别法简介	504
10.4.1	模糊集合及其运算	504
10.4.2	模糊关系及性质	507
10.4.3	模糊模式识别的方法	510
10.5	模式识别的几种应用	514
10.5.1	生物特征识别	515
10.5.2	模式识别在医学上的应用	524
10.5.3	模式识别在自动检测中的应用	524
	思考题	526
	参考文献	528

第 1 章 绪 论

1.1 序言

人类传递信息的主要媒介是语音和图像。据统计,在人类接收的信息中,听觉信息占 20%,视觉信息占 60%,其他如味觉、触觉、嗅觉加起来不过占 20%。所以,作为传递信息的重要媒体和手段——图像信息是十分重要的,俗话说“百闻不如一见”、“一目了然”都反映了图像在传递信息中的独到之处。

图像处理技术的最早应用当属遥感与医学领域。从世界上出现第一幅照片(1839 年)及意大利人乘飞机拍摄了第一张照片(1909 年)通常被认为是遥感技术的起源,也是图像处理技术的兴起。在医学领域中利用图像进行直观诊断可追溯至 1895 年 X 射线的发现。德国维尔茨堡大学校长兼物理研究所所长伦琴教授(1845—1923 年见图 1-1),在他从事阴极射线的研究时,发现了 X 射线。1895 年 11 月 8 日傍晚,他在研究阴极射线时,为了防止外界光线对放电管的影响,也为了不使管内的可见光漏出管外,他把房间全部弄黑,还用黑色硬纸给放电管做了个封套。为了检查封套是否漏光,他给放电管接上电源,当他看到封套没有漏光时,感到十分满意。可是,当他切断电源后,却意外地发现一米以外的一个小工作台上有了闪光,闪光是从一块荧光屏上发出的。他非常惊奇,因为阴极射线只能在空气中行进几个厘米,这是别人和他自己的实验早已证实的结论。于是他全神贯注地重复刚才的实验,把荧光屏一步步地移远,直到 2 米以外仍可见到屏上有荧光。至此,伦琴确信这不是阴极射线了。治学态度非常严谨认真的伦琴经过反复实验,确信这是一种尚未为人所知的新射线,便取名为 X 射线。他发现的 X 射线可穿透上千页书、2~3 厘米厚的木板、几厘米厚的硬橡皮、15 毫米厚的铝板,等等。可是 1.5 毫米的铅板几乎就完全把 X 射线挡住了。

他还偶然发现 X 射线可以穿透肌肉照出手骨轮廓,于是有一次他夫人到实验室来看他时,他请她把手放在用黑纸包严的照相底片上,然后用 X 射线对准照射 15 分钟,显影后,底片上清晰地呈现出他夫人的手骨像,手指上的结婚戒指也很清楚,如图 1-2 所示。这就是第一张具有历史意义的图像。后来在医学领域发挥了巨大作用,同时也促进了图像技术的发展。



图 1-1 德国科学家伦琴



图 1-2 世界第一张 X 光图像

数字图像处理技术起源于 20 世纪 20 年代,当时通过海底电缆从英国伦敦到美国纽约传输了一幅照片,它采用了数字压缩技术。就 20 世纪 20 年代的技术水平来看,如果不压缩,传一幅图像要一星期时间,压缩后只用了 3 小时。1964 年美国的“喷气推进实验室”处理了由太空船“徘徊者七号”发回的月球照片,这标志着第三代计算机问世后数字图像处理概念开始得到应用。其后,数字图像处理技术发展迅速,目前已成为工程学、计算机科学、信息科学、统计学、物理、化学、生物学、医学甚至社会科学等领域中各学科之间学习和研究的对象。如今数字图像处理技术已给人类带来了巨大的经济和社会效益。未来,它不仅在理论上会有更深入的发展,在应用上亦是科学研究、社会生产乃至人类生活中不可缺少的强有力的工具。

当前图像处理面临的主要任务是研究新的处理方法,构造新的处理系统,开拓更广泛的应用领域。

图像处理科学对人类具有重要意义,它表现在如下三个方面。

(1) 图像是人们从客观世界获取信息的重要来源

人类通过感觉器官从客观世界获取信息,即通过耳、目、口、鼻、手通过听、看、味、嗅和触摸的方式获取信息。在这些信息中,视觉信息占 60%~70%。视觉信息的特点是信息量大,传播速度快,作用距离远,有心理和生理作用,加上大脑的思维和联想,具有很强的判断能力。其次是人的视觉十分完善,人的眼睛灵敏度高,鉴别能力强,不仅可以辨别景物,还能辨别人的情绪。由此可见,图像信息对人类来说是十分重要的。

(2) 图像信息处理是人类视觉延伸的重要手段

众所周知,人的眼睛只能看到可见光部分,但就目前科技水平看,能够成像的并不仅仅是可见光。一般来说可见光的波长为 $0.38\sim 0.8\mu\text{m}$,而迄今为止人类发现可成像的射线已有多,如:

γ 射线	$0.003\sim 0.03\text{nm}$
X 射线	$0.03\sim 3\text{nm}$
紫外线	$3\sim 300\text{nm}$
红外线	$0.8\sim 300\mu\text{m}$
微波	$0.3\sim 100\text{cm}$

这些射线均可以成像。利用图像处理技术把这些不可见射线所成图像加以处理并转换成可见图像,实际上大大延伸了人类视觉器官的功能,扩大了人类认识客观世界的能力。

(3) 图像处理技术对国计民生有重要意义

图像处理技术发展到今天,许多技术已日趋成熟。在各个领域的应用取得了巨大的成功和显著的经济效益,在工程领域、工业生产、军事、医学以及科学研究中的应用已十分普遍。例如:通过分析资源卫星得到的照片可以获得地下矿藏资源的分布及埋藏量;利用红外线、微波遥感技术不仅可以进行农作物估产、环境污染监测、国土普查,而且还可以侦查到隐蔽的军事设施;X 射线 CT 已广泛应用于临床诊断,由于它可得到人体内部器官的断层图像,因此,可准确地确定病灶位置,为诊断和治疗疾病带来了极大的方便。至于在工业生产中的设计自动化及产品质量检验中更是大有可为。在安全保障及监控方面图像处理技术更是不可缺少的基本技术,如:无损安全检查、指纹、虹膜、掌纹、人脸等生物特征识别与认证等应用例子随处可见,在信息安全中的信息隐藏及数字水印技术以其不可替代的优势也正受到广泛的关注,至于在通信及多媒体技术中,数字图像处理更是重要的关键技术。因此,图像处理技术在国计民生中的重要意义是显而易见的。正因为如此,图像处理理论和技术受到了各界的广泛重视。在科

学工作者的不懈努力之下,已取得了令人瞩目的成就,并正在向更加深入及更高的层次发展。

1.2 图像处理技术的分类

图像处理技术基本可分为两大类,即模拟图像处理和数字图像处理。

1.2.1 模拟图像处理

模拟图像处理(Analog Image Processing)包括:光学处理(利用透镜)和电子处理。如:照相、遥感图像处理、电视信号处理等。模拟图像处理的特点是速度快,一般为实时处理,理论上讲可达到光的速度,并可同时并行处理。电视图像是模拟信号处理的典型例子,它处理的是活动图像,25 帧/秒。模拟图像处理的缺点是精度较差,灵活性差,很难有判断能力和非线性处理能力。

1.2.2 数字图像处理

数字图像处理(Digital Image Processing)一般都用计算机处理或实时的硬件处理,因此,也称之为计算机图像处理(Computer Image Processing)。其优点是处理精度高,处理内容丰富,可进行复杂的非线性处理,有灵活的变通能力,一般来说只要改变软件就可以改变处理内容。其缺点是处理速度还有待提高,特别是进行复杂的处理更是如此。一般情况下处理静止画面居多,如果实时处理一般精度的数字图像,计算机大约要具有 100MIPS 的处理能力;其次是分辨率及精度尚有一定限制,如一般精度图像是 $512 \times 512 \times 8\text{bits}$,分辨率高的可达 $2048 \times 2048 \times 12\text{bits}$,如果精度及分辨率再提高,所需处理时间将显著的增加。

广义上讲,一般的数字图像很难为人所理解,因此,数字图像处理也离不开模拟技术,为实现人一机对话和自然的人—机接口,特别需要人去参与观察和判断的情况下,模拟图像处理技术是必不可少的。

1.3 数字图像处理的特点

数字图像处理的特点表现在如下几个方面。

(1) 图像信息量大

在数字图像处理中,一幅图像可看成是由图像矩阵中的像素(pixel)组成的,每个像素的灰度级至少要用 6bit(单色图像)来表示,一般采用 8bit(彩色图像),高精度的可用 12bit 或 16bit。一般分辨率的图像像素数为 256×256 无量纲、 512×512 无量纲,高分辨率图像可达 1024×1024 无量纲或 2048×2048 。

例如: $256 \times 256 \times 8 = 64\text{Kbytes}$
 $512 \times 512 \times 8 = 256\text{Kbytes}$
 $1024 \times 1024 \times 8 = 1\text{Mbytes}$
 $2048 \times 2048 \times 8 = 4\text{Mbytes}$

X 光照片一般有 $64 \sim 256\text{Kbytes}$ 的数据量,一幅遥感图像 $3240 \times 2340 \times 4 = 30\text{Mbits}$,因此,大数据量给存储、传输和处理都带来巨大的困难。

(2) 图像处理技术综合性强

在数字图像处理中涉及的基础知识和专业技术相当广泛。一般来说涉及通信技术、计算机技术、电子技术、电视技术,至于涉及的数学、物理等方面的基础知识就更多。

当今的图像处理理论大多是通信理论的推广,很多理论是把通信中的一维问题推广到二维,以便于分析。在此基础上,逐步发展自己的理论体系。因此,图像处理技术与通信技术休戚相关。

在图像处理工程中的信息获取和显示技术主要源于电视技术,其中的摄像、显示、同步等各项技术是必不可少的。

计算机已是图像处理的常规工具。在图像处理中涉及软件、硬件、网络、接口等多项技术,特别是并行处理技术在实时图像处理中显得十分重要。

图像处理技术的发展涉及越来越多的基础理论知识,雄厚的数理基础及相关的边缘学科知识对图像处理科学的发展有越来越大的影响。总之,图像处理科学是一项涉及多学科的综合性科学。

(3) 图像信息理论与通信理论密切相关

早在1948年Shannon发表了“A mathematical Theory of Communication”(通信中的数学理论)一文,它奠定了信息论的基础。此后,信息理论已渗透到了各个领域。图像信息论也属于信息论科学中的一个分支。从当今的理论发展看,我们可以说,图像信息论是在通信理论研究的基础上发展起来的。图像理论是把通信中的一维时间问题推广到二维空间上来研究的,也就是说,通信研究的是一维时间信息;图像研究的是二维空间信息;通信理论研究的是时间域和频率域的问题;图像理论研究的是空间域和空间频率域(或变换域)之间的关系;通信理论中认为:任何一个随时间变化的波形都是由许多频率不同、振幅不同的正弦波组合而成的;图像理论认为:任何一幅平面图像都是由许多频率、振幅不同的 x - y 方向的空间频率波相叠加而成的,高空间频率波决定图像的细节,低空间频率波决定图像的背景和动态范围。

总之,通信中的一维问题都可推广到二维来研究和分析图像处理问题,尽管有些理论尚不完全贴切,但对图像自身理论体系的形成有极大的借鉴意义。

1.4 数字图像处理的主要方法及主要内容

1.4.1 数字图像处理方法

数字图像处理方法大致可分为两大类,即空域法和变换域法。

1. 空域法

这种方法是把图像看作是平面中各个像素组成的集合,然后直接对这个二维函数进行相应的处理。空域处理法主要有两大类:

(1) 邻域处理法

其中包括:

- 梯度运算(Gradient Algorithm);
- 拉普拉斯算子运算(Laplacian Operation);
- 平滑算子运算(Smoothing Operation);
- 卷积运算(Convolution Algorithm)等。

(2) 点处理法

其中包括:

灰度处理(Grey Processing),面积、周长、体积、重心运算,等等。

2. 变换域法

数字图像处理的变换域处理方法是首先对图像进行正交变换,得到变换域系数阵列,然后再施行各种处理,处理后再将其反变换到空间域,得到处理结果。

这类处理包括:滤波、数据压缩、特征提取等处理。

1.4.2 数字图像处理的主要内容

完整的数字图像处理工程大体上可分为如下几个方面:

图像信息的获取,图像信息的存储,图像信息的传送,图像信息的处理,图像信息的输出和显示。

1. 图像信息的获取(Image Information Acquisition)

就数字图像处理而言,图像信息获取主要是把一幅图像转换成适合计算机或数字设备处理的数字信号。这一过程主要包括摄取图像、光电转换及数字化等几个步骤。通常图像获取的方法有如下几种:

(1) 电视摄像机(Video Camera)

这是目前使用最广泛的图像获取设备。早期主要有光电摄像管、超正析摄像管等。近年来,主要是采用 CCD 摄像设备,如图 1-3 所示。该设备有如下特点:

优点:设备小巧、速度快、成本低、灵敏度高。

缺点:灰度层次较差、非线性失真较大、有黑斑效应,在使用中需校正。

目前 CCD 摄像机在分辨率、灵敏度等方面已达到较高水平,如:1920×1035 或 1024×1024 的高分辨率的 CCD 摄像机已很成熟。



图 1-3 CCD 摄像设备

(2) 飞点扫描器(Flying Point Scanner)

这是一种以光源做扫描的图像获取设备。飞点扫描器是通过阴极射线管(CRT)作为光源,在图片上进行扫描,其反射光由光电倍增管接收并变换为电信号输出。

飞点扫描器可获得与电视摄像机相仿的扫描速度,但位置精度和分辨率都比它高,图像清晰、可透射成像亦可反射成像。

飞点扫描器的缺点是稳定性和再现性比较差,这与荧光物质的不均匀、阴极射线管的畸变、光点在屏幕上的位置不够稳定等因素有关。其体积略显庞大,设备价格也较高。

(3) 扫描鼓

这是一种高精度的滚筒式的图像摄取设备。机械扫描鼓的原理与传真机相似。照片或负片安放在鼓形滚筒上,最大尺寸可达 $250\text{mm} \times 250\text{mm}$,由光线照射或从内部光源透射在图像上,再由光学系统收集后送至光电倍增管,转换成电信号,经放大后送至 A/D 变换器,再经高速数据接口送入计算机。一般先送入磁盘等外存储器,再做处理。

机械扫描鼓是一种扫描精度高、信噪比高、可靠性好的图像输入设备。它输入一幅 36mm^2 的图片只需要数分钟,速度比平台式微密度计要快得多,它既可以输入也可以输出。其缺点是只能采用逐行扫描方式,不能用于随机扫描。同时,价格也相当昂贵,维护要求高。

(4) 扫描仪



图 1-4 扫描仪

扫描仪的特点是精度和分辨率中等,600dpi 精度的扫描仪已常见,如图 1-4 所示。扫描仪的成本很低,近几年尤其降价显著,一般台式的已有不足一千元的产品。所以是当今应用最为广泛的图像信息获取设备。

扫描仪的缺点是速度较慢,精度一般。扫描仪是非实时设备。

(5) 微光密度计

微光密度计(Microdensitometer)是一种平台机械扫描式的光电转换图像输入设备,它既可输入如胶片之类的负片图像,又可输入如照片、文件之类的正片图像。微光密度计的测量精度很高。使用计算机控制旋转被测样片的平台,作 x, y 方向运动,可形成逐行扫描、螺旋扫描、随机扫描及跟踪扫描。国外典型的产品有英国的 PDS 微光密度计、MDM—6 型微光密度计,都是比较先进的。以上产品的基本原理和操作都大体相似,只是光路系统设计各有特长。

微光密度计是一种速度很慢、精度很高、取样很密、价格昂贵的图像输入设备。一般输入一张图片到计算机磁带上要费一小时以上的时间。因此,它一般用于要求精度高、速度慢的图像输入。

此外,在遥感中常用的图像获取设备已有多种,如:

光学摄影:摄像机、多光谱像机等。

MSS:多光谱扫描仪。

微波:微波辐射计、侧视雷达、真实空孔径雷达、合成孔径雷达(SAR)。

合成孔径雷达(见图 1-5)是 20 世纪 50 年代发展起来的技术。它采用小天线通过直线飞行(长距离)合成一条很长的线阵天线,从而达到优良的横向方位的分辨率。目前的国际水平,在距雷达 $50 \sim 100\text{km}$ 范围内,合成孔径雷达(SAR)的纵向和横向分辨率已达 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 以下。雷达的天线孔径计算公式如下:

$$L = K \frac{\lambda R_0}{2\delta\gamma_a}$$

例如 $\lambda = 3\text{cm}$,距雷达 50km 处的分辨率要达到 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 时所需的飞行直线合成孔径为:

$\lambda = 3\text{cm}, K = 1.35, R_0 = 50\text{km}, \delta\gamma_a = 1, L = 1012\text{m}$ 。

由此可以看出飞行距离很长。为使飞机能直线、恒速飞行,要用到陀螺导航仪、GPS 定位