

YIXUE SHUZI TUXIANG CHULI JI YINGYONG

医学数字图像处理及应用

张兆臣 李 强 张春玲 王红梅 尚宪刚 邱建峰 张光玉 著

- ◆ 理论结合于实践，技术融合于应用
- ◆ 精选实际案例，附有实用程序
- ◆ 可应用于各行业，实践于医学影像



清华大学出版社

医学数字图像处理及应用

张兆臣 李强 张春玲 王红梅 尚宪刚 邱建峰 张光玉 著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是作者根据课题组几年来的医学数字图像方面的教学和科研实际工作,参考了国内外最新的研究成果撰写而成。主要内容有数字图像的形成、医学数字图像处理系统的基本组成、医学图像的数据源、图像与视觉、数字图像的数据结构及基本统计特征、医学图像的 DICOM 结构、图像运算与变换、数字图像增强与应用、图像恢复及几何校正、图像的编码、图像分析、图像的几何尺寸测量与医学图像的重建等。附录程序是在总结多年教学、科研经验的基础上用 Visual Basic 语言编写而成的,可以直接运行,以利于学习、理解和应用图像处理的计算机程序设计方法。

本书以实用为主,系统地论述了医学数字图像处理的基本理论和基本方法、技术。适合作为高等院校数字图像专业、医学信息专业的学生作为教材,也可作为医学数字图像处理爱好者的参考书。

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

医学数字图像处理及应用/张兆臣等著. —北京:清华大学出版社,2017
ISBN 978-7-302-47351-0

I. ①医… II. ①张… III. ①医学摄影—图象数字化处理—高等学校—教材 IV. ①R445

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 113134 号

责任编辑:白立军

封面设计:杨玉兰

责任校对:焦丽丽

责任印制:杨 艳

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

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:三河市吉祥印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:17.25 字 数:412千字

版 次:2017年8月第1版 印 次:2017年8月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:39.00元

产品编号:039062-01

前 言

数字图像处理最早出现于 20 世纪 50 年代,当时的电子计算机已经发展到一定水平,人们开始利用计算机来处理图形和图像信息。数字图像处理作为一门学科大约形成于 20 世纪 60 年代初期。早期图像处理的目的是改善图像的质量,它以人为对象,以改善人的视觉效果为目的。图像处理中,输入的是质量低的图像,输出的是改善质量后的图像,常用的图像处理方法有图像增强、复原、编码、压缩等。随着图像处理技术的深入发展,从 20 世纪 70 年代中期开始,随着计算机技术和人工智能、思维科学研究的迅速发展,数字图像处理向更高、更深层次发展。人们已开始研究如何用计算机系统解释图像,实现类似人类视觉系统理解外部世界,这称为图像理解或计算机视觉。很多国家,特别是发达国家投入更多的人力、物力到这项研究,取得不少重要的研究成果。其中代表性之一的成果是 20 世纪 70 年代末 MIT 的 Marr 提出的视觉计算理论,这个理论成为计算机视觉领域其后十多年的主导思想,再就是因将图像处理技术应用医学而发明 CT 的英国电子工程师 Hounsfield,他于 1979 年获得诺贝尔医学奖。

图像处理技术在许多应用领域受到广泛重视并取得了重大的开拓性成就,这些领域包括航空航天、生物医学工程、工业检测、机器人视觉、公安司法、军事制导、文化艺术等,使图像处理成为一门引人注目、前景远大的新型学科。随着数字化医疗设备的不断应用和普及,数字医学图像已经成为临床诊断的主要依据,医学影像的后处理技术也得到了不断的应用,并且有着广泛的应用前景。

本书主要内容有数字图像的形成、医学数字图像处理系统的基本组成、医学图像的数据源、图像与视觉、数字图像的数据结构及基本统计特征、医学图像的 DICOM 结构、图像运算与变换、数字图像增强与应用、图像恢复及几何校正、图像的编码、图像分析、图像的几何尺寸测量与医学图像的重建等。附录程序是在总结多年教学科研经验的基础上用 Visual Basic 语言编写而成的,可以直接运行,以利于学习、理解和应用图像处理的计算机程序设计方法。本书以实用为主,系统地论述了医学数字图像处理的基本理论和基本方法、技术。在撰写过程中作者参考了国内外最新的资料,在讨论传统的图像处理和模式识别方法的基础上,引入最新的图像处理方法和模式识别方法,理论联系实际、深入浅出、具有方法性和实用性等特点。

全书共分 9 章,第 1.1~1.5 节、第 2 章由尚宪刚撰写;第 3 章由李强撰写;第 1.6 节、第 4~5 章以及附录 B 和附录 C 由张兆臣撰写;附录 A、第 6 章由王红梅撰写;第 7 章由张春玲

撰写;第8章由邱建峰撰写;第9章由张光玉撰写。全书由张兆臣统稿、修改定稿,裘著霞校对。本书在撰写过程中得到了学校领导和很多老师的大力支持和帮助,特别是得到了医学信息工程学院、放射学院领导及泰安市中医医院的大力支持,在此一并表示衷心感谢!

由于时间仓促加上作者水平有限,书中难免有不足之处,请广大读者批评指正!

著 者

2017年3月

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 数字图像处理发展史	1
1.1.2 数字图像处理的基本特点	3
1.1.3 数字图像处理的优点	4
1.1.4 数字图像处理的发展动向	4
1.2 数字图像的形成	5
1.2.1 抽样	6
1.2.2 图像抽样方法	6
1.2.3 量化	9
1.2.4 图像量化方法	10
1.3 数字图像处理的主要研究内容及应用	12
1.3.1 数字图像处理的主要研究内容	12
1.3.2 数字图像处理的应用	14
1.4 数字图像处理系统的基本组成	17
1.5 医学数字图像处理系统的构成	24
1.5.1 医学图像的概念及特点	24
1.5.2 医学图像处理设备	26
1.6 医学数字图像的数据源	28
1.6.1 医学 X 线成像	28
1.6.2 显微医学成像	28
1.6.3 核医学图像	29
1.6.4 体表医学图像	29
1.6.5 超声医学图像	30
1.6.6 医学断层图像	31
1.6.7 磁共振成像	31
1.6.8 PET 成像	32
1.6.9 医用 LCD 液晶显示器	33
1.7 医学数字图像的主要研究内容	34

第 2 章 图像与视觉	39
2.1 概述	39
2.1.1 图像质量评价与视觉的心理	40
2.1.2 画面组成和视觉心理	40
2.1.3 视觉的时空频率分析	40
2.1.4 视觉生理和模型的研究	40
2.2 光辐射	41
2.2.1 可见光	41
2.2.2 相对视敏度	42
2.2.3 光源的辐射功率波谱	42
2.2.4 可见光的度量	42
2.2.5 黑体辐射与色源	45
2.2.6 标准光源	46
2.2.7 辐射谱分解及反射率	47
2.3 视觉系统	48
2.3.1 视觉现象	48
2.3.2 视觉系统的基本构造	49
2.4 光度学	50
2.5 彩色视觉	51
2.5.1 物体的颜色	51
2.5.2 三基色原理和混色方法	51
2.5.3 彩色视觉	53
2.5.4 彩色量	54
2.6 人眼成像原理	54
第 3 章 数字图像的数据结构及基本统计特征	56
3.1 数字图像的基本数学模型	56
3.2 数字图像的数据结构及格式文件	57
3.2.1 图像的数据结构	57
3.2.2 图像的格式文件	60
3.3 数字图像的统计特征	75
3.3.1 图像的基本统计量	75
3.3.2 概率分布及直方图	76
第 4 章 数字图像的运算与变换	78
4.1 数字图像的点运算	78
4.1.1 数字图像的点运算概述	78

4.1.2	数字图像的代数运算	79
4.2	数字图像的几何运算	80
4.2.1	概述	80
4.2.2	几何变换基础——齐次坐标	81
4.2.3	图像的位置变换	82
4.2.4	图像的形状变换	84
4.3	数字图像的傅里叶变换	85
4.3.1	1-D 连续函数的傅里叶变换	85
4.3.2	1-D 离散傅里叶变换	86
4.3.3	2-D 连续函数的傅里叶变换	87
4.3.4	2-D 离散傅里叶变换	87
4.3.5	2-D 傅里叶变换的性质	88
4.3.6	快速傅里叶变换	91
4.4	数字图像的沃尔什变换	95
4.4.1	正交函数的概念	95
4.4.2	拉格尔函数	96
4.4.3	沃尔什函数	97
4.4.4	沃尔什变换	99
4.5	数字图像的哈达玛变换	100
4.5.1	1-D 离散哈达玛变换	100
4.5.2	2-D 离散哈达玛变换	103
4.6	数字图像的离散余弦变换	104
4.6.1	1-D 离散余弦变换	104
4.6.2	2-D 离散余弦变换	104
4.7	数字图像的霍特林变换	105
4.8	数字图像的小波变换	107
4.8.1	离散小波变换	107
4.8.2	2-D 小波	109
4.8.3	小波包	112
4.8.4	Mallat 算法	115
第 5 章	数字图像的增强及应用	116
5.1	图像的直方图增强	116
5.1.1	对比度扩展	116
5.1.2	非线性变换	118
5.1.3	直方图调整	119
5.2	图像的平滑处理	127
5.2.1	局部平均法	127

5.2.2	阈值法	127
5.2.3	空间域低通滤波	128
5.2.4	频域低通滤波法	128
5.2.5	多帧平均法	130
5.3	图像的锐化处理	130
5.3.1	空间域图像锐化	130
5.3.2	频率域高通滤波	136
5.4	图像的彩色增强	137
5.4.1	伪彩色处理	137
5.4.2	假彩色处理	140
5.5	图像彩色变换	141
5.5.1	颜色模型	141
5.5.2	彩色变换	143
5.5.3	图像的彩色变换	145
5.6	二值图像处理	146
5.6.1	图像的二值化	146
5.6.2	二值化图像处理	147
5.7	图像的同态增强	148
5.8	图像的非线性滤波	150
5.8.1	图像的中值滤波	150
5.8.2	选择平均法	154
5.8.3	加权平均法	155
第6章	数字图像的恢复及几何校正	157
6.1	图像退化的数学模型	157
6.1.1	一维离散退化模型	157
6.1.2	2-D 离散退化模型	159
6.2	图像退化的参数估计	161
6.2.1	点扩散函数的估计	161
6.2.2	噪声功率谱的估计	162
6.3	图像的非约束恢复	163
6.3.1	逆滤波	163
6.3.2	消除匀速直线运动模糊	165
6.4	图像的约束恢复	166
6.4.1	最小二乘方滤波器和 Wiener 滤波器	166
6.4.2	最小二乘方恢复	167
6.5	图像的同态滤波复原	169
6.6	图像的几何校正	171

6.6.1	空间几何坐标变换	171
6.6.2	像元值的内插	174
6.6.3	控制点的确定	176
第 7 章	数字图像的编码	178
7.1	数字图像的编码的分类	178
7.2	图像的 PCM 编码	179
7.2.1	PCM 编码的基本原理	179
7.2.2	PCM 编码的量化噪声	180
7.2.3	编码器	181
7.2.4	非线性 PCM 编码	181
7.2.5	亚奈奎斯特采样 PCM 编码	183
7.3	图像的预测编码	184
7.3.1	无损预测编码	184
7.3.2	有损预测编码	185
7.4	图像的熵编码	190
7.4.1	概述	190
7.4.2	哈夫曼编码方法	192
7.4.3	香农编码法	193
7.5	图像的变换编码	194
7.5.1	变换编码的策略	195
7.5.2	变换编码的方法	195
7.6	图像的分形编码	198
7.6.1	分形编码方法与步骤	199
7.6.2	自动分形图像编码	201
7.7	图像的小波变换编码	205
7.7.1	小波变换编码一般方法	205
7.7.2	利用正交小波变换实现图像编码	206
7.7.3	图像编码的 KL 变换及小波包快速算法	209
第 8 章	数字图像分析	211
8.1	图像分割方法	212
8.1.1	阈值法	212
8.1.2	边缘检测	214
8.2	图像的纹理分析	216
8.2.1	直方图特征	216
8.2.2	傅里叶特征	217
8.2.3	灰度共生矩阵特征	217

8.2.4	纹理边缘的检测	219
8.2.5	纹理区域分割	219
8.3	形状分析的细化	219
8.4	图像特征的描绘方法	221
8.4.1	区域描绘	221
8.4.2	关系描绘	225
8.4.3	相似性描绘	227
第9章	图像测量与医学图像重建	229
9.1	图像的几何测量	230
9.1.1	长度测量	230
9.1.2	面积和周长测量	230
9.1.3	角度测量	232
9.2	形状分析	232
9.2.1	圆形度	232
9.2.2	矩形度	233
9.2.3	中心矩	234
9.2.4	主轴	234
9.2.5	链码及形状分析	234
9.3	图像的特征值提取	236
9.3.1	图像的特征	236
9.3.2	图像的特征值提取概述	240
9.4	医学图像重建	243
9.5	医学图像重建方法	243
9.5.1	方程联立法	244
9.5.2	迭代法	245
9.5.3	二维傅里叶变换法	245
9.5.4	反投影法	247
9.6	图像三维可视化	248
9.6.1	面绘制	248
9.6.2	体绘制	249
9.6.3	体数据二维重建	250
附录A	常用数字图像处理英文词条	252
附录B	常用医学数字图像处理 Visual Basic 程序	254
附录C	医学图像的实际处理效果图	264

1.1 概述

视觉是人类从自然界获取信息的最主要手段,人类从外界获得的信息大约有 75% 来源于视觉,而图像是人类获取视觉信息的主要途径。一般来说,图像包含两层含义,即“图”和“像”。“图”是指物体透射或者反射光的分布;“像”是人的视觉系统接收图的信息而在大脑中形成的印象或认识。图像是两者的结合,“图”是客观存在的,而“像”是人的感觉。从广义的角度出发,可以这样认为: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而产生视知觉的实体。

图像处理技术是利用相关技术对所获取的图像进行处理或从中提取信息的技术。在广义上是各种与图像相关的技术的总称。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。

模拟图像处理(Analog Image Processing)一般采用光学处理(利用透镜)和电子处理。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。照相、遥感图像处理、电视信号处理等均属于模拟图像处理范畴。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。

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,也称为计算机图像处理(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,一般来说只要改变相关的处理程序就可以改变处理内容。

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-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。

1.1.1 数字图像处理发展史

数字图像处理的首次应用发生在报纸行业。20 世纪 20 年代,通过海底电缆图片传送系统使得穿越大西洋的伦敦和纽约之间的一幅图片的传递时间由原来的几个星期减少到三个小时。

通过打印字符模拟中间色调和基于图片再生技术用穿孔纸带打印的灰度图像如图 1.1 所示。

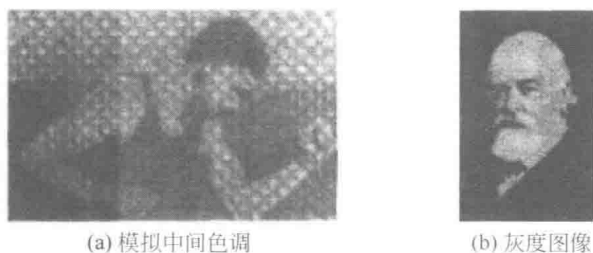


图 1.1 通过打印字符模拟中间色调和基于图片再生技术用穿孔纸带打印的灰度图像

随着数字计算机及相关技术,如存储、显示和传送等技术的快速发展,数字图像处理技术开始出现。在 20 世纪 60 年代早期,出现了第一台真正可以执行图像处理任务的足够强大的计算机,此时的数字图像处理技术的发展也得益于这时的空间计划。首次获得实际成功应用的是美国喷气推进实验室(JPL)。它们对航天探测器旅行者 7 号在 1964 年发回的几千张月球照片(见图 1.2)使用了图像处理技术,如几何校正、灰度变换、去除噪声等方法进行处理,并考虑了太阳位置和月球环境的影响,由计算机成功地绘制出月球表面地图,获得了巨大的成功。随后又对探测飞船发回的近十万张照片进行更为复杂的图像处理,以致获得了月球的地形图、彩色图及全景镶嵌图,获得了非凡的成果,为人类登月创举奠定了坚实的基础,也推动了数字图像处理这门学科的诞生。在以后的宇航空间技术,如对火星、土星等星球的探测研究中,数字图像处理技术都发挥了巨大的作用。

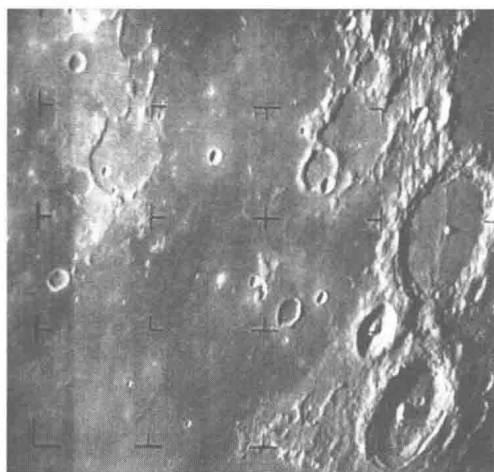


图 1.2 由旅行者 7 号于 1964 年 7 月 31 号在东部白天时间上午 9:09 发回的第一张美国航天器拍摄(着陆前 17 分钟的月球表面图像,网状标记表示经过了几何校正)

由于在空间计划上的成功,20 世纪 60 年代末和 20 世纪 70 年代数字图像处理技术开始用于医学图像、地球遥感探测和天文学等尖端科学领域。CT(Computerized Tomography)是数字图像处理技术在医学诊断领域最重要的应用之一。1972 年英国 EMI 公司工程师 Housfield 发明了用于头颅诊断的 X 射线计算机断层摄影装置,也就是通常所说的 CT。CT 的基本方法是根据人的头部截面的投影,经计算机处理来重建截面图像,称为图像重建。1975 年 EMI 公司又成功研制出全身用的 CT 装置,获得了人体各个部位鲜明清晰的断

层图像。1979年,这项无损伤诊断技术获得了诺贝尔奖,说明它对人类做出了划时代的贡献。与此同时,图像处理技术在许多应用领域受到广泛重视并取得了重大的开拓性成就,属于这些领域的有航空航天、生物医学工程、工业检测、机器人视觉、公安司法、军事制导、文化艺术等,使图像处理成为一门引人注目、前景远大的新型学科。

随着图像处理技术的深入发展,从20世纪70年代中期开始,随着计算机技术和人工智能、思维科学研究的迅速发展,数字图像处理向更高、更深层次发展。人们已开始研究如何用计算机系统解释图像,实现类似人类视觉系统理解外部世界,这被称为图像理解或计算机视觉。很多国家,特别是发达国家投入更多的人力、物力到这项研究,取得了不少重要的研究成果。其中代表性的成果是20世纪70年代末MIT的Marr提出的视觉计算理论,这个理论成为计算机视觉领域其后十多年的主导思想。图像理解虽然在理论方法研究上已取得不小的进展,但它本身是一个比较难的研究领域,存在不少困难,因人类本身对自己的视觉过程还了解甚少,因此计算机视觉是一个有待人们进一步探索的新领域。

1.1.2 数字图像处理的基本特点

(1) 数字图像处理的信息大多是二维信息,处理信息量很大,对计算机的计算速度、存储容量等要求较高。如一幅 256×256 低分辨率黑白图像,要求约64kb的数据量;对高分辨率彩色 512×512 图像,则要求768kb数据量;如果要处理30帧/秒的电视图像序列,则每秒要求500kb~22.5Mb数据量。因此,对计算机的计算速度、存储容量等要求较高。

(2) 数字图像处理占用的频带较宽。与语言信息相比,占用的频带要大几个数量级。例如,电视图像的带宽约5.6MHz,而语音带宽仅为4kHz左右。所以在成像、传输、存储、处理、显示等各个环节的实现上,技术难度较大,成本亦高,这就对频带压缩技术提出了更高的要求。

(3) 数字图像中各个像素是不独立的,其相关性大。在图像画面上,经常有很多像素有相同或接近的灰度。就电视画面而言,同一行中相邻两个像素或相邻两行间的像素,其相关系数可达0.9以上,而相邻两帧之间的相关性比帧内相关性一般说还要大些。因此,图像处理中信息压缩的潜力很大。

(4) 由于图像是三维景物的二维投影,一幅图像本身不具备复现三维景物的全部几何信息的能力,很显然三维景物背后部分信息在二维图像画面上是反映不出来的。因此,要分析和理解三维景物必须作合适的假定或附加新的测量,例如,双目图像或多视点图像。在理解三维景物时需要知识导引,这也是人工智能中正在致力解决的知识工程问题。

(5) 数字图像处理后的图像一般是给人观察和评价的,因此受人的因素影响较大。由于人的视觉系统很复杂,受环境条件、视觉性能、人的情绪爱好以及知识状况影响很大,作为图像质量的评价还有待进一步深入的研究。另一方面,计算机视觉是模仿人的视觉,人的感知机理必然影响计算机视觉的研究。例如,什么是感知的初始基元,基元是如何组成的,局部与全局感知的关系,优先敏感的结构、属性和时间特征等,这些都是心理学和神经心理学正在着力研究的课题。

1.1.3 数字图像处理的优点

(1) 再现性好。数字图像处理与模拟图像处理的根本不同在于,它不会因图像的存储、传输或复制等一系列变换操作而导致图像质量的退化。只要图像在数字化时准确地表现了原稿,则数字图像处理过程始终能保持图像的再现。

(2) 处理精度高。按目前的技术,几乎可将一幅模拟图像数字化为任意大小的二维数组,这主要取决于图像数字化设备的能力。现代扫描仪可以把每个像素的灰度等级量化为16位甚至更高,这意味着图像的数字精度可以达到满足任一应用需求。对计算机而言,不论数组大小,也不论每个像素的位数多少,其处理程序几乎是一样的。换言之,从原理上讲不论图像的精度有多高,处理总是能实现的,只要在处理时改变程序中的数组参数就可以了。回想一下图像的模拟处理,为了要把处理精度提高一个数量级,就要大幅度地改进处理装置,这在经济上是极不合算的。

(3) 适用面宽。图像可以来自多种信息源,它们可以是可见光图像,也可以是不可见的波谱图像(例如,X射线图像、射线图像、超声波图像或红外图像等)。从图像反映的客观实体尺度看,可以小到电子显微镜图像,大到航空照片、遥感图像甚至天文望远镜图像。这些来自不同信息源的图像只要被变换为数字编码形式后,均是用二维数组表示的灰度图像(彩色图像也是由灰度图像组合成的,例如,RGB图像由红、绿、蓝3个灰度图像组合而成)组合而成,因而均可用计算机来处理,即只要针对不同的图像信息源,采取相应的图像信息采集措施,图像的数字处理方法适用于任何一种图像。

(4) 灵活性高。图像处理大体上可分为图像的像质改善、图像分析和图像重建三大部分,每一部分均包含丰富的内容。由于图像的光学处理从原理上讲只能进行线性运算,这极大地限制了光学图像处理能实现的目标。而数字图像处理不仅能完成线性运算,而且能实现非线性处理,即凡是可以用数学公式或逻辑关系来表达的一切运算均可用数字图像处理实现。

1.1.4 数字图像处理的发展动向

随着相关的理论和计算机技术的不断发展,数字图像处理得到了大力发展,但也面临着许多新的问题,促使数字图像处理出现了新的发展动向,主要反映在以下几个方面。

(1) 进一步加强理论研究,逐步形成图像处理科学自身的理论体系,同时加强边缘学科的研究工作,促进图像处理技术的发展。例如,人的视觉特性、心理学特性等的研究,如果有所突破,将对图像处理技术的发展起到极大的促进作用。

(2) 加强图像处理技术领域的标准化。图像的信息量大、数据量大,因而图像信息的建库、检索和交流是一个重要的问题。就现有的情况看,软件、硬件种类繁多,交流和使用极为不便,成为资源共享的严重障碍。

(3) 在进一步提高精度的同时着重解决处理速度问题。例如,在航天遥感、气象云图处理方面,巨大的数据量和处理速度仍然是主要矛盾之一。加强软件研究、开发新的处理方法,特别要注意移植和借鉴其他学科的技术和研究成果,创造新的处理方法。

1.2 数字图像的形成

把物面函数 $f(x, y)$ 及图像函数 $g(x, y)$ 都作为空间的连续函数(如照片、X光照片等)。事实上,不论使用任何摄像手段,物体及图像平面上的辐射能量本身在空间上一般总是连续变化的。在图像平面上的辐射能量 $g(x, y)$ 由传感器来感测和记录下来。图像的感测、记录及显示可以采用两种不同的系统。一种是摄像技术使用的光化学系统,它用摄影胶片同时起感测和记录的作用,胶片以其固有的反应特征把感测到的辐射能量与银粒子的光学密度联系起来;另一种是电子光学系统,如电视摄像管及光学-机械扫描系统,它对图像的感测和记录是分开的两个步骤。检测器感测到的辐射能量强弱变化首先转变为连续变化的电信号,这种视频信号可以记录在视频带上,也可以显示在电视屏幕上,或者在胶片或相纸上扫描成像。以上这些方式所产生的图像都是由光学密度或亮度的连续变化所构成的模拟图像或叫连续图像或视频图像。

要用数字方法即数字计算机对图像进行处理,就必须把连续图像进行数字化,使之成为数字图像。数字图像就是用一定范围内的数值表示或记录图像上辐射能量 $g(x, y)$ 大小而产生的一组离散数据。把连续的图像函数数字化包含着两个方面:一是按照等间距的点阵或网络对连续变化的图像辐射值进行抽样;二是把抽样点上取得的辐射值进行量化。

所谓将图像转化为数字图像或图像数字化,就是把图像分割成如图 1.3 所示的称为像素的小区域,每个像素的亮度或灰度值用一个整数来表示。

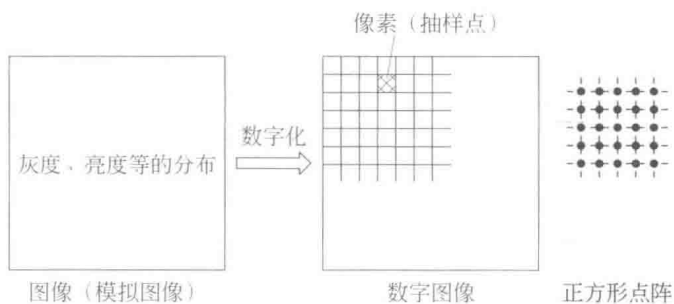


图 1.3 图像数字化

把图像分割成像素的方法可以是多种多样的,即每个像素所占小区域可以是正方形的、六角形的或三角形的。与之相对应的像素所构成的点阵则分别为正方形网格点阵、正三角形网格与正六角形点阵。上述各像素分割方案中,正方形网格点阵是实际常用的像素分割方案。这种方案虽然存在着任一像素与其相邻像素之间不等距,对一个正方形点阵,若任一像素沿水平与垂直方向上与相邻像素间距为 1,则该像素沿斜线方向上的间距为 $\sqrt{2}$ 的缺点,但由于其像素网格点阵规范,易于在图像输入输出设备上实现,从而被绝大多数图像采集、处理系统所采用。三角形网格点阵,虽有任一像素与其相邻像素等距的优点,但由于其网格点阵不及正方形网格点阵规范,在图像输入输出设备上较难实现,从而未被广泛采用。

1.2.1 抽样

由一个连续函数按照一定的方案抽取离散点的数据,称为抽样。所选取的点称为样点。显然,一幅连续图像包含着无限多的点,而数字图像只能是由数目有限的数字组成。因此,抽样的目的就是图像函数中选取均匀而规则分布的数目有限的像点的数据。一般是在XY直角坐标中采取 $M \times N$ 的点阵,至少在同一方向上样点是等距离的。至于样点的数目和间距的大小,则主要取决于成像、数字化及记录系统的性能。一个样点(或称为像点)的几何意义是双重的。相对于坐标系统以及在运算过程中,其空间位置 (x, y) 代表一个没有大小的点。但是作为构成图像的一个最小单元来看,它是有面积的,一般代表一个在 (x, y) 点周围的矩形或正方形,其长度和宽度与在 x, y 方向上间距相同,因而又常称为像元。

像点的函数值,或称为像元值、亮度值、灰度值等,对遥感图像来说,相当于 (x, y) 点周围某个小范围内的平均辐射值。这个小范围一般相当于传感器或数字化仪的瞬时视场,不一定等同于像元所代表的面积和范围。

数字化或抽样,不可避免地会造成原来图像信息的一些损失,主要是由于在抽样间隔内的平均不仅会产生相邻物体波谱信息的失真,而且会造成高频信息的损失,即会使物体中尺度比较小的特征(如边缘、线条等)变模糊。同时,在抽样过程中也可能会引入新的噪声。一般来说,抽样的间隔越小,信息的损失越少。关于抽样的原理和准则在下面还要进一步讨论。

1.2.2 图像抽样方法

前面讲到图像的形成是作为连续函数对待的。然而,实际上用数字记录和处理的图像都是离散化的图像,是由连续图像通过抽样而产生的。

对一个连续函数进行离散化,或模拟信号进行模数转换,如模拟图像转变为数字图像,必须进行抽样。在前面从直观的角度介绍了图像抽样的概念,要进一步深入地考虑抽样质量和效果的问题,就需要应用傅氏变换进行分析。分析抽样方法的主要目的是为了确定对一个连续函数或图像抽取多少个样点,或者说以多大的间隔抽样才不致损失信息。换句话说,要确定在怎样的抽样条件下,才能由抽取出来的离散数值恢复连续图像。

图像的抽样一般都是按行和列采用相等间隔进行。若以 Δx 和 Δy 分别代表在 x 和 y 方向上的抽样间隔或周期,则 $x = j\Delta x (j = 1, 2, \dots, M)$, $y = k\Delta y (k = 1, 2, \dots, N)$ 。抽样形成的数字图像即是由 $g(j\Delta x, k\Delta y)$ 形成的矩阵。在理想的抽样系统中,均一的抽样网格可以用一系列 δ 函数来表示,即

$$S(x, y) = \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} g(x, y) \delta(x - j\Delta x, y - k\Delta y) \quad (1-1)$$

抽样的效果可以由傅氏变换来考察。 $S(x, y)$ 的傅氏变换为

$$\delta(u, v) = \frac{1}{\Delta x \Delta y} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta\left(u - \frac{m}{\Delta x}, v - \frac{n}{\Delta y}\right) \quad (1-2)$$

根据卷积定理,抽样后的图像 g_s 傅氏变换为

$$G_s = \frac{1}{\Delta x \Delta y} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} G\left(u - \frac{m}{\Delta x}, v - \frac{n}{\Delta y}\right) \quad (1-3)$$