

重点大学计算机教材

HZ BOOKS

数字图像处理

陈传波 金先级 编著
华中科技大学



机械工业出版社
China Machine Press

重点大学计算机教材

数字图像处理

陈传波 金先级 编著

华中科技大学



机械工业出版社
China Machine Press

本书着重阐述了数字图像处理的基本概念和实用技术,使读者能够使用这些技术解决数字图像处理过程中所遇到的各种问题。本书从数字图像处理技术的整体知识框架出发,讲述了其基本内容、背景以及相关的基础理论,包括图像数字化过程、图像信号的分析、基本的数学工具、经典的算法。以此为基础,引申讲解了图像处理中的深入知识,包括彩色与多频谱图像处理技术、图像分析和识别基础,为读者进一步学习和研究数字图像处理技术提供了导引。最后,简单介绍了图像处理工具MATLAB,以便读者对图像处理有一个感性的认识。

本书结构安排合理,叙述清晰、简练,适合作为高年级本科生和低年级研究生学习数字图像处理课程的教材,同时也可以作为从事数字图像处理研究和开发的技术人员的参考书。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理/陈传波等编著. -北京:机械工业出版社, 2004. 7

(重点大学计算机教材)

ISBN 7-111-14307-8

I. 数 … II. 陈 … III. 数字图像处理 - 高等学校 - 教材 IV. TN919.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第028653号

机械工业出版社(北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑:迟振春

山东高唐印刷有限责任公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004年7月第1版第1次印刷

787mm × 1092mm 1/16 · 16印张

印数:0 001 - 5 000册

定价:25.00元

凡购本书,如有倒页、脱页、缺页,由本社发行部调换

本社购书热线:(010) 68326294

前 言

21世纪是科学技术高速发展的时代,数字图像处理技术几乎在各个行业里都得到了广泛的应用。随着因特网的广泛应用和全球数字化的不断逼近,信息传输量的不断膨胀对图像处理的速度和压缩技术提出了越来越高的要求。随着科学技术的不断发展以及人们在日常生活中对图像信息的不断需求,使得这个交叉学科成为当代科学研究和应用开发中的一道亮丽的风景线。而数字图像信息及其处理技术正在发挥着越来越重要的作用。由于数字图像处理技术的不断发展以及图像处理必须具备的条件日益得到满足,数字图像处理已经在计算机科学、信息科学、生物科学、空间科学、气象学、工程科学、统计学、物理科学、医学等领域里得到广泛的重视和应用,并正在向传统的学科甚至社会科学等领域不断地渗透。

由于图像信息量的庞大,对相应的硬件和处理算法有着非常高的要求,所以早期图像处理技术的研究和应用受到了很大的限制。在20世纪60年代,很多图像处理算法只能在大型计算机上完成,70年代也只能在小型机上完成,到了80年代才能在台式机上运行。由于早期计算机网络的延伸范围极为有限,所以图像信息传输受到了极大的限制。目前信息高速公路的建设和全球化信息传输环境已经发展到了一个实用的水平,加上个人计算机已经成为普通家庭上网和信息处理的工具,因而以前所关心的硬件环境问题和应用的广泛性问题现在已经不再是图像处理专家关心的问题。制约图像处理发展的瓶颈问题现在已经变成加速图像处理技术应用和普及的手段。视频游戏、娱乐业和数字电视等与人们生活密切相关的需求的发展趋势表明数字图像处理的应用呈爆炸式地增长,它将使得数字图像处理的发展和前景非常光明。无论是在理论上还是在应用上,数字图像处理技术都存在着巨大的发展潜力。

作者从事数字图像处理技术的研究和教学已有18年的历史,从长期的教学和科研过程中发现,学生一方面对数字图像处理有着浓厚的兴趣,希望能很快掌握图像处理的精髓,但是另一方面,他们对与图像处理相关的数学感到害怕。另外不同专业的学生的知识结构和基础有着较大的差异,对图像处理的学习难度感觉不一。其实,数字图像处理和其他学科类似,既有久经考验的理论基础,又有不断发展的前沿技术。要想完整地掌握数字图像处理技术,没有坚实的理论基础是不行的。从本课程的特点来看,本科生最好是在学好数字图像处理的基础知识的基础上,对数字图像处理的后继内容有一定的了解,以便于更进一步的自学。若继续攻读研究生,则可以选择或自学“图像分析和理解”、“模式识别”等相应的后续课程。

我们在总结过去教学和科研工作经验的基础上,并参考了国内外最新版本的教材和论文,针对本科生和研究生的教学过程编写了这本书。本书力求体现如下特征:一是从数字图像处理技术的整体知识框架出发,让读者对数字图像处理技术的基本内容、背景以及相关的基础理论有深入的了解。其中包括图像数字化过程、图像信号的分析、基本的数学工具、经典的算法。二是以基本概念为基础,引申出图像处理中更深入的知识,包括彩色与多频谱图像处理技术、图像分析和识别基础,并简单介绍了一个图像处理工具,让读者在学习基本理论的基础上,进

一步了解图像处理更深入的知识，给出一个图像处理工具的目的是让读者能够直观地理解图像处理的实际过程。书中每章结尾都给出了相关知识的要点，对读者学习该章内容提供了相关概念的纲要。另外，每章结尾还附有习题，可以帮助读者巩固所学知识。

本书的主要内容包括：第1章简要介绍了图像处理的主要内容和分类、图像的表象、基本物理假设以及图像处理的硬软件设备等，概述了图像处理的基本内容；第2章的目的是让读者了解图像与视觉的关系，理解视觉过程的特征。读者可以自学本章，也可以由教师简单讲授；第3章包括图像信号的数学表示、图像的运算、线性系统、图像的卷积计算、图像的统计特性。本章内容主要是让读者了解图像的表示和计算方法以及后续章节中用得较多的数学工具；第4章到第7章是图像处理的基本理论基础，也是本书的基础理论重点，包括图像变换、图像增强与复原、图像压缩与编码、图像重建等内容。对于不同的内容，力求处理方法的多样性，侧重于算法的经典性，强调以数学分析作为工具的概念上的理解，让读者对基础原理有透彻的理解，从感性上升到理性的深入领悟；第8章和第9章是经典理论基础的后继知识，包括彩色与多频谱图像处理与图像分析和识别基础，为读者进一步学习和研究提供导引；最后一章介绍了一个比较流行的图像处理工具，让读者对图像处理有一个感性的认识。综上所述，本书章节结构由基本概念、经典理论、后继知识以及实际工具组成。此外，在各个章节中涉及到更加广泛的理论和应用内容，其目的是让读者对数字图像处理有一个全面的了解，为进一步深入研究打下坚实的基础。

本书在编写过程中得到了本课题组的老师、博士生和硕士生的大力支持，在此表示衷心的感谢！

由于作者水平有限，难免有不妥和错误之处，恳请读者批评指正。

作 者

2003年12月

目 录

前言	
第1章 绪论	1
1.1 图像处理概述	1
1.1.1 图像处理的分类	1
1.1.2 数字图像处理的主要内容	1
1.1.3 图像处理的应用	2
1.2 图像的表象	3
1.2.1 图像信息	3
1.2.2 光照模型	4
1.2.3 亮度函数	5
1.2.4 图像的表征	5
1.2.5 数字图像	6
1.3 基本的物理假设	7
1.3.1 景物表面存在假设	7
1.3.2 分层次假设	7
1.3.3 相似性假设	7
1.3.4 空间的连续性假设	8
1.3.5 不连续中的连续性假设	8
1.4 图像处理系统的硬件设备	8
1.4.1 图像处理系统的输入设备	9
1.4.2 图像处理系统的输出设备	10
1.4.3 图像数据的存储设备	10
1.4.4 图像处理主机系统的构成	11
1.5 图像处理软件	11
1.5.1 图像数据格式	11
1.5.2 数字图像处理工具软件MATLAB	12
1.5.3 图像的获取	12
1.5.4 应用软件的编制	12
本章要点	13
习题	13
第2章 图像与视觉系统	15
2.1 视觉系统	15
2.1.1 视觉系统的基本构造	15
2.1.2 视觉模型	18
2.2 光度学及色度学原理	20
2.2.1 色彩的基本属性	20
2.2.2 三基色混色及色度表示原理	21
2.2.3 表示色彩的几种规范	22
2.3 亮度和颜色感觉的视觉特性	24
2.3.1 刺激强度与感觉的关系	24
2.3.2 亮度适应和颜色适应	25
2.3.3 亮度对比和颜色对比	25
2.3.4 颜色感觉与刺激面积的关系	25
2.3.5 主观颜色	26
2.3.6 暖色与冷色	26
2.4 视觉的空间性质	26
2.4.1 视力	27
2.4.2 视觉的空间频率特性	27
2.5 视觉的时间特性	28
2.5.1 整合时间	28
2.5.2 闪烁	29
2.5.3 视野与视觉的关系	29
2.5.4 运动感觉	29
2.6 主观轮廓和空间错觉	30
2.6.1 主观轮廓	30
2.6.2 空间错觉	30
本章要点	31
习题	32
第3章 图像信号分析基础	33
3.1 图像信号的数学表示	33
3.1.1 信号的采样	33
3.1.2 信号的量化	34
3.1.3 图像信号的采样	35
3.1.4 图像信号的量化	35

3.1.5 灰度直方图	37	4.5.1 二维离散傅里叶变换的定义	72
3.2 图像的运算	38	4.5.2 二维离散傅里叶变换的性质	73
3.2.1 点运算	38	4.5.3 图像的傅里叶变换实例	73
3.2.2 代数运算	39	4.6 正交变换的一般表示形式	74
3.2.3 几何运算	40	4.6.1 通用变换公式	74
3.3 线性系统	42	4.6.2 变换核的可分离性和对称性	75
3.3.1 线性系统的性质	42	4.6.3 正交变换的矩阵表示	75
3.3.2 线性移不变系统	43	4.6.4 几个重要概念	75
3.3.3 二维线性移不变系统的频率响应	44	4.7 其他离散正交变换	77
3.4 图像的卷积计算	45	4.7.1 沃尔什变换	77
3.4.1 卷积积分	45	4.7.2 哈达玛变换	79
3.4.2 二维卷积	46	4.7.3 离散余弦变换	83
3.4.3 离散二维卷积的矩阵运算	47	4.7.4 哈尔变换	84
3.4.4 卷积与滤波	49	4.7.5 K-L变换	85
3.5 图像的统计特性	51	4.8 小波变换	87
3.5.1 图像的振幅分布特性	51	4.8.1 基本概念	87
3.5.2 差值信号的振幅分布特性	51	4.8.2 连续小波变换(CWT)	87
3.5.3 图像的自相关函数	51	4.8.3 小波变换的滤波器实现	88
3.5.4 图像的振幅谱	52	4.8.4 理想带通滤波器簇	89
3.5.5 功率有限的图像空域功率谱与 自相关函数	52	4.8.5 子带编码	90
3.5.6 图像信息的信息量	53	4.8.6 尺度向量	90
本章要点	54	4.8.7 基本小波与小波变换	91
习题	55	4.8.8 二维离散小波变换	92
第4章 图像变换	57	本章要点	94
4.1 积分变换	57	习题	95
4.2 连续傅里叶变换	57	第5章 图像增强与复原	97
4.2.1 傅里叶积分的复数形式	58	5.1 图像增强原理	97
4.2.2 傅里叶积分变换	59	5.1.1 灰度级映射变换增强原理	97
4.2.3 傅里叶变换的性质	61	5.1.2 图像的频域增强原理	98
4.3 离散傅里叶变换	64	5.2 图像增强的直方图方法	99
4.3.1 离散傅里叶变换的定义	64	5.2.1 直方图的映射变换	99
4.3.2 离散傅里叶变换的性质	65	5.2.2 直方图均衡化	100
4.4 快速傅里叶变换	67	5.2.3 直方图规定化	103
4.4.1 傅里叶变换的周期性分析	68	5.3 图像平滑化	107
4.4.2 FFT的计算机算法	70	5.3.1 邻域平均法	107
4.5 二维离散傅里叶变换	72	5.3.2 低通滤波法	108
		5.3.3 多图像平均法	111

5.4 图像的锐化	112	6.9 图像压缩编码的新进展	149
5.4.1 微分锐化法	112	6.9.1 小波变换压缩编码	149
5.4.2 高通滤波法	115	6.9.2 分形编码	152
5.5 同态图像增强方法	117	6.9.3 人工神经网络压缩编码	153
5.6 图像复原	119	本章要点	158
5.6.1 图像退化的数学模型	119	习题	159
5.6.2 图像复原中的主要问题	120	第7章 图像重建	161
5.6.3 逆滤波方法	121	7.1 投影-频域重建	161
5.6.4 功率谱均衡复原	122	7.1.1 投影函数的表示	161
5.6.5 点扩散函数的确定	123	7.1.2 投影定理	162
5.6.6 线性代数复原	124	7.1.3 从傅里叶变换重建	163
本章要点	126	7.2 反向投影重建方法	164
习题	127	7.2.1 反向投影操作原理	164
第6章 图像压缩与编码	129	7.2.2 反向投影重建公式的推导	164
6.1 图像信息的冗余	129	7.2.3 反投影方法的数字实现	166
6.2 数字图像的质量评价	130	7.2.4 三维图像重建	167
6.3 无损压缩及其编码方法	130	7.3 代数重建技术	167
6.3.1 香农信息保持编码定理	130	7.3.1 图像的描述	168
6.3.2 哈夫曼编码	131	7.3.2 Kaczmarz迭代算法	168
6.3.3 算术编码	132	7.3.3 加权系数的确定	171
6.3.4 双字长编码	134	7.4 双目立体视觉	172
6.4 有损压缩编码	134	7.4.1 立体视觉	172
6.4.1 率失真理论	134	7.4.2 双目立体视觉原理	172
6.4.2 其他失真度量	135	7.4.3 对应点的匹配	175
6.5 预测编码	136	7.4.4 匹配算法	175
6.5.1 DPCM工作原理	136	本章要点	176
6.5.2 线性预测编码	137	习题	177
6.5.3 自适应预测编码	139	第8章 彩色与多频谱图像处理	179
6.5.4 自适应量化器	141	8.1 彩色图像处理	179
6.6 变换编码	142	8.1.1 彩色坐标变换	179
6.6.1 离散余弦变换	142	8.1.2 彩色图像复原	181
6.6.2 DCT的自适应量化	143	8.1.3 图像增强	182
6.6.3 图像子块的分类	143	8.1.4 伪彩色	182
6.6.4 DCT编码与解码	144	8.1.5 假彩色增强	185
6.6.5 变换编码的特性	146	8.1.6 基于颜色特征的图像检索	186
6.7 运动图像的帧间压缩编码	147	8.2 多光谱图像处理	187
6.8 图像压缩的标准化	148	8.2.1 多光谱图像处理简介	187

8.2.2 几何矫正	188	9.3.7 纹理特征	219
8.2.3 比值处理	189	9.4 分类	219
8.2.4 遥感图像的分类	189	9.4.1 特征提取的原则	219
8.2.5 气象卫星图像	190	9.4.2 分类器	220
8.3 影像融合	190	9.4.3 特征选取	221
8.3.1 影像融合概述	190	9.4.4 统计分类的Bayes决策方法	223
8.3.2 小波融合方法	191	9.4.5 分类器的类型	225
8.4 遥感超谱图像处理	192	9.5 模式识别的结构方法	225
8.4.1 超谱图像概述	192	9.5.1 系统构成的基本原理	226
8.4.2 超谱图像分类	193	9.5.2 系统构成	226
8.4.3 超谱图像的压缩	193	9.5.3 描述模式的语言和文法	227
本章要点	194	9.5.4 句法分析	230
习题	195	本章要点	232
第9章 图像分析与识别基础	197	习题	233
9.1 视觉再认模式	197	第10章 图像处理的MATLAB工具	235
9.1.1 模板匹配模式	197	10.1 图像的输入与输出	235
9.1.2 特征分析模式	199	10.1.1 图像的输入	235
9.1.3 结构描述模式	201	10.1.2 图像的输出	235
9.1.4 傅里叶模式	202	10.1.3 图像的显示	236
9.2 图像分割	202	10.2 颜色操作	236
9.2.1 阈值分割法	202	10.2.1 变换彩色空间	236
9.2.2 边缘检测法	205	10.2.2 调整色彩板	237
9.2.3 区域增长法	207	10.3 图像的变换	238
9.2.4 二值图像分割法	208	10.3.1 快速傅里叶变换	238
9.2.5 图像的分割信息结构	210	10.3.2 离散余弦变换	239
9.2.6 图像分割质量的评价	212	10.4 图像运算与操作	240
9.3 图像的特征	215	10.4.1 图像直方图	240
9.3.1 幅值特征	215	10.4.2 图像统计	241
9.3.2 灰度直方图特征	215	10.5 卷积与滤波	242
9.3.3 变换系数特征	217	10.5.1 卷积	242
9.3.4 边缘特征	218	10.5.2 二维滤波	242
9.3.5 矩特征	218	参考文献	245
9.3.6 线条和角点特征	219		

第1章 绪 论

人类通过眼、鼻、舌、耳接受信息，感知世界，并进而认识世界和改造世界。粗略地说，图像是二维或三维景物呈现在视网膜（retina）上的影像（包括静态的和动态的）。人类采用计算机技术接受并加工这种视觉信息（vision information）的理论、方法、技术和应用，是当今计算机应用领域里的重要分支之一，从学术上讲，我们将这个计算机应用分支称为计算机图像处理和识别（image processing and recognition）。

研究表明，人类交往用以传递信息的主要媒介是语音（voice）和图像。在人类接受的信息中，据统计：听觉占20%，视觉占60%（有人估计达75%），其他（含味觉、触觉、嗅觉等）占20%。由此可见，作为传递信息的一种媒介——图像的地位是非常重要的。图像处理已发展了40多年，其卓有成效的应用引起了人们的极大兴趣，关于图像处理的研究和应用范围也在日益扩大。

1.1 图像处理概述

1.1.1 图像处理的分类

图像处理可分为模拟图像处理和数字图像处理。

1. 模拟图像处理（analogue image processing）

模拟图像处理包括光学透镜处理（如利用zoom镜头和鱼眼镜头的处理）、摄影（如暗房的摄影后期处理）、广播级电视制作（如画面变换、重叠、变形）等，这些都属于实时处理。其处理速度快且能够并行作业。从理论上讲，模拟图像处理的速度可达光速。缺点是精度低，灵活性差，基本上无判断功能和非线性处理功能。

2. 数字图像处理（digital image processing）

数字图像处理一般是指用计算机进行的图像处理。这种处理大多用软件实现，只有少部分实时处理采用专用硬件（图像处理芯片）进行。因此，有时也叫计算机数字图像处理。数字图像处理具有精度高、处理内容丰富、可进行复杂的非线性处理等优点，所以具有非常灵活的变通能力。缺点是处理速度较慢，一般多用来处理静止图像。但随着计算机技术的不断发展，处理速度慢的缺点已在逐渐克服。

由于有些数字图像较难让人们直观地理解，因此，数字图像处理系统经常要用到模数转换和模拟技术，一般在计算机图像处理系统的输入端和输出端使用这两种技术。

1.1.2 数字图像处理的主要内容

广义地讲，图像处理包括模拟图像处理和数字图像处理。由于模拟图像处理不是本书讨论

的内容,所以着重讨论数字图像处理。本书中,除非特别指明模拟图像,否则“图像”所指的是数字图像。数字图像处理大体上包括如下五个方面的内容:

1. 图像信息的获取

在图像处理技术中,图像信息获取的主要任务是采用某种物理方法把目标景物(object scenery)捕获下来以便进一步处理。传统技术采用光学照相机对景物拍照,景物的影像使涂有溴化银的感光胶片感光,经显影和定影之后,一幅景物的影像就以与景物的明、暗程度相反的效果保存在底片上。现代技术引入了数字化。在数字图像的处理中,图像信息的获取是将一幅图像转换为数字信号。图像数字化的过程主要包括摄取图像、光电转换、数字化等几个步骤。例如,把普通照片经扫描仪扫描,产生数字图像文件,实现数字图像的获取。随着技术的进步,图像数字化过程可以采用数字照相机或摄像机“一步”实现。

2. 图像信息的存储

图像信息存储的特点是信息量很大。例如,一张5英寸宽7英寸长的黑白照片的图像经每英寸1200线、每线600点的扫描仪扫描后,如果不进行压缩,扫描仪的输出图像文件就需要25 200 000 (25.2M)字节的存储空间。彩色照片的存储量就更大了。

存储图像信息的常用方法有永久存储和暂时存储。永久存储通常采用磁记录或光记录方式;暂时存储通常采用半导体存储芯片。

3. 图像信息的传输

图像信息的传输有两重含义:内部传输和外部传输。内部传输是指图像信息在处理系统中各个部件之间的传输,通常采用并行方式和DMA方式传送。外部传输是指图像信息的远距离传输,一般为网络传输。图像远距离传输对网络带宽有很高的要求。图像的远程传输方式可以有有线传输(同轴电缆、光缆等),也可以是无线传输(无线电波、微波等)。

4. 图像信息的处理

数字图像处理的目的在于利用计算机强大的计算功能,充分利用图像信息的有用资源为人类造福。计算机图像处理又叫做数字图像处理,一般包括:图像的几何处理、图像增强、图像复原、图像编码、图像识别、图像理解等内容。数字图像处理是将一幅图像变为另一幅经过修改的图像的过程。

5. 图像的输出与显示

图像处理的最终目的是为人或机器提供便于解释和识别的图像。而计算机输出的某些数字图像是很难为人理解的,因而,图像的输出、显示也是数字图像处理的重要内容之一。

1.1.3 图像处理的应用

近十几年来,随着VLSI技术和计算机体系结构及算法的迅猛发展,图像处理系统的性能大大提高,价格日益下降,大中小系统纷纷问世,从而使图像处理技术得以广泛用于众多的科学与工程领域,如:遥感、工业检测、医学、气象、侦察、通信、智能机器人等。具体体现在:

- 物理、化学: 结晶分析、谱分析。
- 生物、医学: 细胞分析、染色体分类、血球分类、X光片分析、CT。
- 环境保护: 水质及大气污染调查。

- 地质：资源勘探、地图绘制。
 - 农林：植被分布调查。
 - 海洋：鱼群探察、海洋资源分析。
 - 水利：河流分布、水利及水害调查。
 - 气象：云图分析。
 - 通信：传真、电视、电话等。
 - 工业、交通：工业探伤、铁路选线、机器人。
 - 法律：指纹识别等。
 - 商业：广告等。
 - 娱乐：游戏、动画、电影等。
 - 军事：交战仿真系统、自动寻的飞弹等。
 - 安全：指纹、视网膜、声纹、签名、面部识别等。
- 等等。

图像处理正显著地改变着人们的生产手段和生活方式。太空、海洋正一天天地成为人类活动的新场所，传统的生产、管理、教育等格局正逐渐向信息化、多样化转变，借助于图像处理技术，人们可以欣赏月球背面的景色，观看地球的遥远伙伴（如木星等）的美丽光环和卫星；可以考察人体内部在任意方向的剖面图；可以无伤害地检测工件和集成芯片内部的缺陷；可以进行视觉导航、自动识别目标、自动驾驶；可以组织无人工厂等等。在所有这些应用中，都离不开图像处理与识别技术。

1.2 图像的表象

所谓表象（representation）是指一种能把某种实体或某几类信息表达清楚的形式化系统，以及说明该系统如何行使其职能的若干规则。使用某一种表象描述一个给定的实体所得到的结果称为该实体在这种表象下的一个描述。例如阿拉伯数制、罗马数制、二进制数制等都是数字表象的形式化系统。在工程领域中采用的是阿拉伯数制十进制系统，而在数字系统中采用的是二进制系统。可见对某一类信息究竟采用哪一种表象对于该类信息处理的难易有着十分深远的影响。

图像信息的表象也是一样。由于图像信息的复杂性以及图像信息处理的多样性，我们在创建关于表示图像信息的形式化系统时就不得不从多方面加以考虑，制定出不同应用场合的表象体系。

1.2.1 图像信息

图像信息大致可以分为三类：符号（symbol）信息、景物信息和情绪（feeling）信息。

符号信息一般是用文字、符号、图形等表示的具体或抽象的事物；景物信息是一种能给人以主观感觉但并不取决于人的主观意识的客观场景（objective scene）信息。一般来讲，它含有丰富的内容，所含的信息量也较多；情绪信息是一类依赖于受信者的图像信息。它不仅给人

以直观的感觉,而且能以其特殊的艺术内容刺激人的感官,使受信者触景生情,引起感情上的波动和情绪上的共鸣。因此,情绪信息含有更多的信息量。任何一张照片,特别是新闻照片,都可以依照上述三个层次加以分析和研究。

图像的符号信息是一幅图像的基础信息或基本信息,特别是在利用计算机对图像进行处理时显得更为重要。图像的更深层的景物信息和情绪信息都是在符号信息的基础上,经过人的大脑进一步加工之后才获得的。计算机科学工作者梦寐以求的是有一天计算机能够像人的大脑一样,也能从某一幅图像中逐步获得全部信息。然而,目前的技术水平还只能部分实现景物信息的获取,至于情绪信息的获取正是当前计算机科学家研究的热点之一。而景物信息和情绪信息的获取都依赖于图像的符号信息,只有将一幅图像所表达的符号信息不遗漏地、准确地获得之后,才能言及其他。

1.2.2 光照模型

在现实世界中,大量景物(或景物的视觉图像)多是光线在物体表面的反射所形成的。所以,图像的生成可以用图1-1所示的光照模型(illumination model)描述。图中, n 是表面法线; $\angle nos$ 是入射角, $\angle non_0$ 是反射角, $\angle son_0$ 是相位角。人眼对于各像点的视觉信息与景物上对应点的许多因素有关,如照明、物体表面的反射特性;观察者的方向和光源方向;成像中介质的吸收和漫射特性。此外,传感器的几何学和光学特性对景物的成像也有影响。

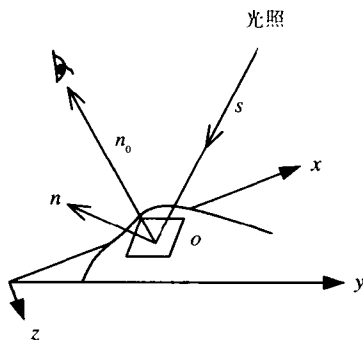


图1-1 图像的光照模型

归纳起来,决定图像的主要因素有四个,它们是:1)景物中各部分的几何关系;2)可见表面的反射情况;3)场景的照明情况;4)观察点。这四个因素决定了图像的光强度值。在一幅图像中所有这些因素是混杂在一起的,而且它们之间也是相互影响的。同样一个景物,只要上述四个因素之一发生变化,就会产生截然不同的图像。

为了处理图像,首要的任务就是分清楚哪些变化是由哪些因素引起的,进而建立对这幅图像的表象,用表象所规定的规则把上述四种因素分开。

必须指出的是,基于这种光照模型而得到的图像的表象只是多种表象之一,可能还有其他的图像表象,而表象之间是可以进行转换的,就像数的十进制与二进制表象之间可以转换一样。

1.2.3 亮度函数

为了创建图像的表象,用适当的数学模型去表征图像的特性是十分重要的。常用的数学表征法有两种:

- 1) 确定性的表征法:用确定的数学形式表征图像中每个像素点的性质。
- 2) 统计性的表征法:用统计平均参数反映图像的特性。

当用确定性的表征法描述图像时,常常着重考察它的“点”的性质。这时,一幅图像可以被看成是空间各个坐标点上彩色强度的集合。这些“点”称为图像元素或像素点,简称像元(pixel)。它的最普遍的数学表达式为:

$$I = f(x, y, z, \lambda, t) \quad (1-1)$$

这就是图像的亮度函数(brightness function)。其中: x 、 y 、 z 是空间坐标, λ 是波长, t 是时间, I 是像素点的强度。上式表示活动的、彩色的、三维的视频图像。对于静止图像,则与时间 t 无关;对于单色图像,则波长 λ 为一常数;对于平面图像,则与坐标 z 无关。因此,对于平面上静止的单色图像来说,其数学表达式可简化为:

$$I = f(x, y) \quad (1-2)$$

式中, $f(x, y)$ 称为二维亮度函数。把整个阵列称为图像(image)。由于光是能量的一种表示形式,所以,当 $f(x, y)$ 代表光辐射(ray radiation)谱强度时,它将取非负的实数值,而且有最大光强上限,即:

$$0 < f(x, y) < \text{最大光强上限} \quad (1-3)$$

人们所感受的图像一般都是由物体的反射光组成的。因此, $f(x, y)$ 可以看成由两个分量组成:一个分量是景物上的入射光亮,称为照射分量;另一个是景物中物体的反射光亮,称为反射分量。如果用 $i(x, y)$ 表示照射分量,用 $r(x, y)$ 表示反射分量,则有:

$$I = f(x, y) = i(x, y) \cdot r(x, y) \quad (1-4)$$

式中, $0 < i(x, y) < \text{最大光强上限}$, $0 < r(x, y) < 1$ 。其中 $r(x, y) = 0$ 表示全吸收, $r(x, y) = 1$ 表示全反射。 $r(x, y)$ 取决于景物中物体的物理性质。而 $i(x, y)$ 由光源的性质确定,其单位用照度表示,即流明/平方米(lm/m²)或勒克司(lx)。

在统计性的表征法中,对图像的描述是以统计学为基础的,把图像信息视为随机信号。随机信号一般用以下数学方式描述:振幅或相位分布函数;概率密度函数;相关矩;中心矩;功率谱等。我们将在后续章节中讨论这个问题。

1.2.4 图像的表征

从信息处理的角度看,人们要为由物体表面反射率变化所形成的图像定义一个表象,狭义而言,也就是图像的表征。图像的表征可以认为是图像信息的载体。图像的表征要适合于检测图像几何组织的变化,而这些变化在一定的光强之下是由物体表面的反射率变化或由表面对观察者的朝向变化以及表面离开观察者的距离变化所引起的。这些因素对于物体表面的宏观特性

与微观特性而言都是一样的。

所以,大体上说,一幅图像的表征包括朝向、亮度、几何尺寸、位置、各部分之间的关系以及表面质地等特征值。至关重要的一点是,这些表征都是被观察景物表面真正的物理变化。这种图像是对观察景物的客观的、本质的反映,我们把这种图像叫做原始图像。

数字图像处理所涉及到的是一些最普通类型的图像,其突出特点是都具有特殊的统计特性,并具有专门的应用。通常,图像可分为:TV型自然风景;空间摄影照片和资源探测图片;显微照片;文本图像;线画图样;专用图像(如X射线照片;红外图像;超声波图像等)和其他类型的图像。

1.2.5 数字图像

数字图像就是经过采样和量化后的图像。由于原始图像是可以用亮度函数 $f(x, y)$ 表示的二维函数,所以,数字图像就是被采样和量化后的二维函数。通常是用矩形网格采样并对图像像素点的亮度幅值进行均匀量化实现的,所以数字图像表现为一个二维矩阵。一幅图像由许许多多的像素点构成,每个像素点包含着反映图像在该点的明暗和颜色变化等信息,这种图像叫做位图图像(bitmap)。

描述数字图像的基本参数有三个,即:图像分辨率、图像深度和图像数据容量。

1. 图像分辨率

图像分辨率(resolution)实际上是指对原始图像的采样分辨率,也就是指图像水平或垂直方向单位长度上所包含的采样点数。单位是“像素点/单位长度”,例如:像素点/毫米(pixel/mm)、像素点/英寸(pixel/inch或PPI)。

为了方便,在描述显示器的图像分辨率时,往往简单地以显示屏的有效范围内水平方向(扫描线)上的像素点总数和垂直方向上的扫描线总数的乘积来界定。例如,640×480的VGA显示器的分辨率在水平方向为640个像素点,垂直方向为480个像素点。

2. 图像深度

在位图图像中,各像素点的亮度或色彩信息用二进制数位来表示,这一数据位的位数称为像素深度,也叫图像深度(image deepness)。

例如,深度为1位的图像,当取值为0时表示黑(暗)色,取值为1时表示白(亮)色,也就是一幅黑白(二值)图像。如果一个像素点用4位二进制数位表示,若是彩色图像,每个4位的像素点就可以表示16种颜色中的任何一种颜色;如果不是彩色图像,每个4位的像素点就可以表示16个不同黑白程度的灰度级别之一。常用的图像深度是8位,这时,每个像素点可表示256种颜色(256级灰度),16位可表示65 536种颜色,24位可表示16 777 216种颜色。图像深度愈深,能够表现的颜色的数量愈多,图像的色彩也就愈真实。

3. 图像数据量

图像数据量是一幅图像的总像素点数目与每个像素点所需字节数的乘积。表1-1给出了几种不同图像分辨率、图像深度与图像数据量的关系。

表1-1 图像分辨率、图像深度与图像数据量的关系

数据量 分辨率 \ 图像深度	8位 (256色或256级灰度)	16位 (65 536色)	24位真彩色 (16 777 216色)
640 × 480	300K	600K	900K
800 × 600	469K	938K	1.4M
1024 × 768	768K	1.5M	2.3M
1280 × 1024	1.3M	2.6M	3.8M

1.3 基本的物理假设

一般来说,一个知识体系是建立在一系列假设的前提之上的,数字图像处理也是如此,包括景物表面存在假设、分层次假设、相似性假设、空间的连续性假设以及不连续中的连续性假设等。

1.3.1 景物表面存在假设

这里讨论的图像(image)是可见的物理图像,因为我们所论及的图像是光强度的空间分布,它们是能被肉眼看得到的。如果把光强度的空间分布用数学形式加以描述,那就是数学图像。当采用离散函数描述时,就是能被计算机处理的数字图像了。光学图像也好,数字图像也好,它们的性质都与景物的表面有关。

景物表面存在的假设是指:可见世界的表面是由一些变化平滑的表面组成的,而这种表面的反射率函数的空间结构可能是非常复杂的。

现在,这个假设已经成了数字图像处理最基本的客观依据。

1.3.2 分层次假设

这个假设与表面反射率函数的空间结构的组织形式有关。这个假设可表述为:一个表面的反射率函数的空间组织往往是由一些不同的成像过程产生的,每个过程是在不同的尺度上起作用的。

所以,要想找到表面在朝向和深度上的变化,一个利用图像强度变化信息的表象,就是必须能够抓住图像中与各种不同大小的表征相适应的特征值的变化。也就是说,这种表象所定义的基本单元(基元)(element)必须能够在一些不同的尺度上进行操作。正因为如此,在图像处理中才有图像增强的操作,为的是突出不同景物的层次感,从而将不同层次所表征的不同物体加以明显区分。

1.3.3 相似性假设

这里所说的相似性是指由局部光强度的反差、物体的尺度、朝向、颜色等景物表面的物理性质的相似性所引起的表面反射率的相似性。所以,相似性假设(comparability suppose)可表

述为：对于某一给定表面，以某一给定尺度产生反射率变化的过程所得到的特征，就其大小、局部反差、颜色、空间组织而言，它们相互之间的相似性比同一表面上由不同过程所产生的其他特征之间的相似性总是要大得多。

例如某一种花型的织物表面，每一个单独的花样与相邻的花样极为相似，但是这个花样与整个织物的花型结构没有什么相似之处。这个假设是符合实际的，这就为图像的数据压缩找到了依据。

1.3.4 空间的连续性假设

由于物质的内聚性，各种物体都有自己的边界，这些边界在该物体的图像中的表征就是平滑的轮廓线。这些轮廓线是连续的。

空间的连续性假设可表述为：由光线反射率的变化过程在任一物体表面上所产生的“标记”往往是有空间组织的，它们构成一条直线或曲线，或者是由若干条直线段或/和曲线段构成的更为复杂的模式。这个假设符合人类视觉对空间的连续性十分敏感的特性，所以，数字图像处理技术特别注重图像中关于空间连续性的表征。

1.3.5 不连续中的连续性假设

虽然任何物体的边界都是连续的，但是物体的边界不可避免地会在深度上和表面朝向上具有不连续的性质，然而这两种不连续性都是连续边界本身的差异，所以，可以假设：深度或表面朝向不连续的“标记”（边界线）几乎处处平滑。

这个假设告诉我们只要某轮廓线不产生突变，就可以认为该轮廓线是一条边界线。这个假设还可以使主观轮廓线成为一种有效机制的物理约束。如图1-2所示。

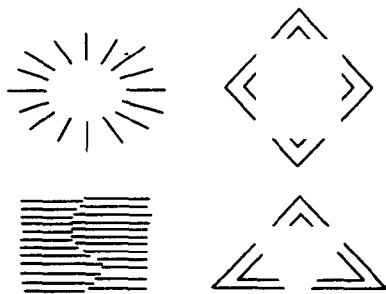


图1-2 主观轮廓视觉效果

1.4 图像处理系统的硬件设备

图像处理技术的发展很快，图像数据量也越来越大，对计算机的要求也越来越高。计算机图像处理系统是各种各样的，尽管各种系统大小不一，其处理能力也各有所长，但其基本硬件结构则都是由如图1-3所示的几个部分组成，即由主机、输入设备、输出设备和存储器组成。其