

信号与信息处理  
技术丛书

# 数字图像处理

## Digital Image Processing

游福成 编著



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

信号与信息处理技术丛书

# 数字图像处理

游福成 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书结合数字图像处理技术目前的发展动态,全面介绍了数字图像处理的基本概念、数字图像处理的各种关键技术及典型的实例分析,最后介绍了一些完整的工程案例应用系统的分析、设计和应用,是一部较全面的数字图像处理方面的专著。

本书可作为计算机科学与技术、电子科学与技术、通信工程等相关专业教材,也可作为图像处理、模式识别、机器视觉等专业的技术参考书。

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/游福成编著. —北京:电子工业出版社,2011.6  
(信号与信息处理技术丛书)

ISBN 978-7-121-13530-9

I. ①数… II. ①游… III. ①数字图像处理 IV. ①TN911.73

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第084951号

策划编辑:董亚峰

责任编辑:谭丽莎

印 刷:北京东光印刷厂

装 订:三河市皇庄路通装订厂

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:15.75 字数:393千字

印 次:2011年6月第1次印刷

定 价:32.00元

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](mailto:zlts@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线:(010)88258888。

# 前 言

数字图像处理 (Digital Image Processing) 是用计算机对数字化的图像进行各种处理的一门技术和方法, 其应用已经渗透到科学研究、工农业生产等各行各业及人类生活的方方面面。随着计算机软件、硬件技术的高速发展及应用领域的不断扩大, 数字图像处理已经发展成为一门融合了多门学科和多种技术的具有强大生命力的学科。随着社会经济的快速发展, 各种数字图像处理的应用需求不断涌现, 将进一步推动数字图像处理的理论和技术更加迅速地向广度和深度方向发展。本书结合数字图像处理技术目前的发展动态, 全面介绍了数字图像处理的基本概念、数字图像处理的各种关键技术及典型的实例分析, 最后介绍了一些完整的工程案例应用系统的分析、设计和应用, 是一部较全面的关于数字图像处理方面的专著。

目前已出版的数字图像处理的书籍大多以介绍基本的概念及处理算法为主。对于实际工程应用中的图像问题, 它们大多采用自己封装的设备无关位图类 (DIB 类) 来对不同文件格式的图像数据进行读写, 编程比较复杂, 代码烦琐。本书最鲜明的特色是直接采用了 VC++2008 编程环境下的 CImage 类进行图像处理, 并与应用实例相结合, 舍去了传统的自己封装的设备无关位图类, 指针的使用大大减少, 从而使得数字图像处理的编程更加简捷, 程序更易于调试。本书既能够满足专业教学的需求, 又能够满足自学读者的需求。

本书的主要内容可以分为三大部分, 介绍如下。

第 1 章和第 2 章为第一部分, 对数字图像处理进行了概述, 并介绍了图像数字化、数字图像的主要类型和格式, 以及实用的数字图像处理编程基础。

第 3 章至第 9 章为第二部分, 介绍了常用的数字图像处理方法, 包括图像增强、图像变换、图像压缩编码、图像分割及图像的特征提取等。数字图像处理着重强调图像与图像之间进行的变换, 其主要目标是对数字图像进行各种加工以改善图像的视觉效果, 并为后续的高层次的图像分析与理解或目标自动识别打基础, 或对图像进行压缩编码以减少存储的空间或传输的空间。

第 3 章介绍的图像增强是数字图像处理中的一项关键技术, 其目的是进一步增强图像中的有用信息, 削弱干扰和噪声, 提高图像的清晰度, 突出图像中感兴趣的目标。

第 4 章介绍的图像的几何变换是一种基本变换, 是对图像进行进一步处理的基础。通过几何变换, 可以使图像产生大小、形状和位置等变化, 可以改变像素点所在的几何位置及图像中各物体之间的空间位置关系。

第 5 章介绍的图像的频域变换是指把图像信号从空间域变换到频率域, 以便从另外一个角度分析图像信号的特性。图像的频域变换首先将图像从空间域变换到频率域, 然后进行各种各样的处理, 再将所得到的结果进行反变换, 即从频率域变换到空间域, 从而达到图像处理的目的。这样做不仅可以减少计算量, 而且能对图像进行更有效的处理。它具体包括傅里叶变换、沃尔什变换、离散余弦变换、离散小波变换等处理技术。

第 6 章介绍的图像压缩编码以信息论为基础, 解决的主要问题就是如何最大限度地减少表示数字图像时所需要的海量数据。对待处理图像进行压缩编码, 可以减少描述图像的数据量, 以便节省图像传输、处理的时间, 减少其所占用的存储器容量。压缩可以在不造成图像失真的前提下进行, 也可以在允许的失真条件下进行。



第7章介绍的图像分割与边缘检测是一种把图像分成各具特性的子区域并提取出感兴趣目标的技术。图像分割技术中最常用的就是边缘检测。边缘检测是数字图像处理中最基础的内容之一，占有很重要的地位。由于图像中的目标和背景变化无穷，尽管目前人们已研究出不少边缘提取、区域分割的方法，但还没有一种普遍适用于各种图像的有效方法，所以对图像分割的研究还在不断深入之中，是目前图像处理中研究的热点之一。

第8章介绍的数学形态学，其基本思想是用具有一定形态的结构元素去量度和提取图像中的对应形状，以达到对图像进行分析和识别的目的。数学形态学的基本思想及方法适用于与数字图像处理有关的各个方面，已经构成一种新的图像处理方法和理论，成为计算机数字图像处理的一个重要研究领域，并且已经应用在多门学科的数字图像分析和处理的过程中。

第9章介绍的图像的特征提取与分析是指对经过图像分割后得到的若干个子图像进行理解。图像特征是区分一幅图像中的目标区域或边缘轮廓的基本属性，主要是基于人眼的低层视觉特征。经过图像分割技术得到若干子图像后，常常从中提取一些稳定的、易提取的特征来进行特征分析和相似性内容的描述或者对物体进行识别和分类。图像特征既可以是人的视觉可以直接识别的自然特征，如物体形状、颜色等，也可以是对图像进行数学运算后得到的数字特征，如物体周长、面积、重心、连通性、不变矩等。

第10章为第三部分，介绍了一些实际应用中的数字图像处理工程实例，也是本书的主要特色之一。本章内容主要包括机械零件的分类及参数测量、光学字符识别、印刷品质量检测、纹理缺陷检测、基于内容的图像检索。本章完整地介绍了这些工程案例应用系统的分析、设计和应用。

本书是在北京市信号与信息处理重点建设学科的数字图像处理研究室多年的研究工作的基础上编写而成的（采用或引用了研究室的一些科研成果），本书得到了北京市属高等学校人才强教计划资助项目及信号与信息处理北京市重点建设学科的资助。

参加本书编写工作的还有郑良斌老师（第5章），张聪、叶茂毅、刘英杰、陈玉洁等硕士生（参与了部分章节的撰写），刘英杰及陈玉洁对本书涉及的代码进行了调试，在此一并致谢。

由于编著者水平所限，书中难免存在错漏之处，敬请读者批评指正。

编 著 者

# 目 录

第 1 章 概论	1	3.1.2 频域图像增强	42
1.1 数字图像的基本概念	2	3.1.3 图像增强的效果评价	42
1.2 数字图像处理的内容和特点	2	3.2 灰度变换	43
1.2.1 数字图像处理的研究内容	2	3.2.1 直接灰度变换	43
1.2.2 数字图像处理的基本特点	3	3.2.2 直方图灰度变换	46
1.3 数字图像处理与相关学科的关系	4	3.2.3 图像的算术/逻辑运算	53
1.4 数字图像处理系统	5	3.3 空域图像增强	55
1.5 数字图像处理的应用领域	6	3.3.1 平滑滤波	56
思考题	7	3.3.2 锐化滤波	65
第 2 章 数字图像处理基础	8	3.4 频域滤波增强	67
2.1 图像数字化	9	3.4.1 低通滤波	68
2.1.1 采样	9	3.4.2 高通滤波器	71
2.1.2 量化	11	3.4.3 带通滤波器和带阻滤波器	73
2.1.3 图像数字化的应用	12	思考题	74
2.2 数字图像类型	13	第 4 章 图像的几何变换	76
2.2.1 数字图像的种类	13	4.1 图像的平移变换	77
2.2.2 数字图像的属性	15	4.2 图像的比例缩放	81
2.3 图像文件格式	16	4.3 图像的镜像变换	86
2.3.1 BMP 文件格式	17	4.4 图像的旋转变换	90
2.3.2 GIF 文件格式	19	4.5 图像的复合变换	93
2.3.3 JPEG 文件格式	22	4.5.1 复合的平移变换	93
2.3.4 PNG 文件格式	23	4.5.2 复合的比例缩放变换	94
2.3.5 TIFF 文件格式	24	4.5.3 复合的旋转变换	94
2.3.6 其他图像文件格式	25	4.5.4 不同类型的复合变换	94
2.4 数字图像处理技术概述	26	4.6 投影变换	95
2.5 实用数字图像处理编程基础	27	4.6.1 正投影	95
2.5.1 CImage 类	27	4.6.2 斜投影	95
2.5.2 OpenCV 图像处理基础	34	4.7 透视变换	96
思考题	39	4.8 极坐标变换	97
第 3 章 图像增强	41	思考题	98
3.1 图像增强分类	42	第 5 章 图像的频域变换	99
3.1.1 空域图像增强	42	5.1 离散傅里叶变换	100
		5.1.1 一维离散傅里叶变换	100





5.1.2	二维离散傅里叶变换	101	6.2.3	香农-范诺 (Shannon-Fano) 编码	138
5.1.3	离散傅里叶变换的性质	101	6.2.4	行程编码	139
5.1.4	二维离散傅里叶变换的 频谱分布	104	6.2.5	算术编码	139
5.2	快速傅里叶变换	104	6.2.6	LZW 编码	141
5.2.1	DFT 的运算量	105	6.2.7	预测编码	141
5.2.2	FFT 算法原理	105	6.2.8	变换编码	143
5.2.3	FFT 的运算量	108	6.3	JPEG 编码简介	144
5.2.4	FFT 的图像处理实例	109	6.3.1	JPEG 编码	144
5.3	离散余弦变换	115	6.3.2	离散余弦变换 (DCT)	145
5.3.1	一维离散余弦变换	115	6.3.3	JPEG 2000 简介	146
5.3.2	二维离散余弦变换	116	6.4	MPEG 编码简介	148
5.3.3	快速离散余弦变换	117	6.4.1	MPEG-1	148
5.3.4	二维离散余弦变换的 频谱分布	118	6.4.2	MPEG-2	150
5.4	离散沃尔什变换	118	6.4.3	MPEG-4	151
5.4.1	一维离散沃尔什变换	118	6.4.4	MPEG-7	152
5.4.2	二维离散沃尔什变换	119	6.4.5	MPEG-21	155
5.4.3	二维沃尔什变换的 频谱分布	120	思考题		156
5.5	离散哈达玛变换	121	<b>第 7 章 图像分割与边缘检测</b>		<b>157</b>
5.5.1	一维离散哈达玛变换	121	7.1	阈值分割	158
5.5.2	哈达玛矩阵	122	7.1.1	基于全局像素灰度值的 阈值分割	159
5.5.3	二维离散哈达玛变换	122	7.1.2	基于图像子区域的 阈值分割	160
5.6	小波变换	124	7.1.3	基于像素坐标点的 阈值分割	160
5.6.1	连续小波变换	124	7.2	基于连通区域的分割	161
5.6.2	一维离散小波变换	126	7.2.1	区域生长分割法	161
5.6.3	二维离散小波变换	128	7.2.2	区域分离与合并分割法	162
思考题		129	7.3	边缘检测与算子	163
<b>第 6 章 图像压缩编码</b>		<b>130</b>	7.3.1	一阶导数算子	165
6.1	图像压缩编码概述	131	7.3.2	二阶导数算子	173
6.1.1	图像压缩的必要性	131	7.3.3	凯西 (Kirsch) 边缘 检测算子	175
6.1.2	图像信息的冗余及分类	131	7.4	轮廓提取与跟踪	176
6.1.3	图像编码的分类	132	7.4.1	轮廓提取	176
6.1.4	图像编码的评判	133	7.4.2	轮廓跟踪	177
6.2	常用的图像压缩编码	135	7.5	图像分割实例	178
6.2.1	变长编码	135	思考题		179
6.2.2	哈夫曼 (Huffman) 编码	136			



<b>第 8 章 数学形态学</b> .....	180
8.1 数学形态学概述.....	181
8.1.1 形态学概述.....	181
8.1.2 集合论.....	181
8.1.3 目标与结构元素.....	182
8.2 二值形态学.....	182
8.2.1 腐蚀与膨胀.....	182
8.2.2 开运算与闭运算.....	183
8.2.3 击中与击中不中.....	184
8.3 灰度形态学.....	184
8.3.1 灰度腐蚀.....	184
8.3.2 灰度膨胀.....	185
8.3.3 灰度开运算与灰度闭运算.....	186
8.4 形态学的应用.....	186
8.4.1 二值形态学图像的 平滑处理.....	186
8.4.2 图像细化.....	186
8.4.3 图像粗化.....	187
思考题.....	187
<b>第 9 章 图像的特征提取与分析</b> .....	189
9.1 图像的几何特征.....	190
9.2 图像的形状特征.....	191
9.2.1 基于边界轮廓的描述方法.....	192
9.2.2 基于区域的描述方法.....	195
9.3 图像的纹理特征.....	198
9.3.1 统计法纹理分析.....	199
9.3.2 结构法纹理分析.....	202
9.3.3 频谱法纹理分析.....	202
9.3.4 模型法纹理分析.....	202
9.4 图像的其他特征.....	202
9.4.1 颜色特征.....	202
9.4.2 空间关系特征.....	205
9.5 图像匹配.....	205
9.5.1 模板匹配.....	205
9.5.2 特征匹配.....	206
9.5.3 解释匹配.....	207
思考题.....	207
<b>第 10 章 图像处理工程实例</b> .....	209
10.1 机械零件的分类及参数测量.....	211
10.1.1 概述.....	211
10.1.2 基于机器视觉的机械 零件测量系统.....	211
10.1.3 亚像素精度的测量结果.....	213
10.2 光学字符识别 (OCR).....	215
10.2.1 概述.....	215
10.2.2 光学字符识别系统.....	215
10.2.3 光学字符的识别结果.....	218
10.3 印刷品质量检测.....	219
10.3.1 概述.....	219
10.3.2 印刷品质量检测系统.....	219
10.3.3 印刷品质量检测结果.....	222
10.4 纹理缺陷检测.....	223
10.4.1 概述.....	224
10.4.2 纹理缺陷检测系统.....	224
10.4.3 纹理缺陷检测结果.....	229
10.5 基于内容的图像检索.....	229
10.5.1 概述.....	230
10.5.2 基于内容的图像检索系统.....	230
10.5.3 基于形状的多特征融合的 图像检索.....	232
10.5.4 基于空间关系和形状的 多特征融合的图像检索.....	235
10.5.5 基于颜色和形状区域的 多特征融合的图像检索.....	238
思考题.....	241
<b>参考文献</b> .....	242



# 第1章

## 概 论

在介绍数字图像处理之前，首先要了解什么是图像。图像的概念与人感知现实世界的方式有关。我们知道，人与现实世界之间是一种感知与被感知的关系。人可以通过视觉系统、听觉系统、味觉系统及触觉系统来感知现实世界，而图像就是人用视觉系统感知现实世界的产物。

对于“图像”一词，目前还没有统一的定义，不同的学者和研究人员从不同的角度给出了各自的定义和解释。一般认为，图像是客观世界物体在人的大脑中的反映，是人感知现实世界的一种方式。图像的形成过程大致为：来自物体的光信号（也称光能）进入人的眼球并到达视网膜，视网膜上的感光细胞将光信号转化为生物信号传输到大脑，经过大脑的处理和合成作用，最终形成了物体的像。

数字图像处理（Digital Image Processing）是指用计算机对图像信息进行各种运算与处理（如去除噪声、增强、复原等）的一门技术和方法。

早期的图像处理是为了满足人的视觉需求，它以人为服务对象，通过改善图像的质量来改进图像的视觉效果。从信息处理的过程看，它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、图像复原、图像变换、图像编码、图像压缩、图像分割、图像特征提取等。

随着计算机技术和人工智能、思维科学研究的迅速发展，数字图像处理正向着更高、更深层次的方向发展。例如，人类的视觉被限制在电磁波谱的可视波段，而成像机器几乎覆盖了全部电磁波谱，数字图像处理也可以在人类不常涉及的图像源所产生的图像上进行处理。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的功能，这被称为图像理解或计算机视觉。



## 1.1 数字图像的基本概念

一幅图像可以定义为一个二维函数  $f(x,y)$ ，其中  $x$  和  $y$  是空间坐标，而  $f$  在任意一对坐标  $(x,y)$  处的幅度称为该点处图像的亮度或灰度。日常所见的图像有许多是连续的，即  $f(x,y)$  的值可以是任意实数。为了能用计算机对图像进行加工，需要把连续的图像在坐标空间  $XY$  和性质空间  $F$  中都离散化。当  $x$ 、 $y$  和  $f$  的幅值都是有限的离散值时，称该图像为数字图像。离散化后的数字图像是客观事物的可视数字化表达。

一幅 2-D 图像可以用一个 2-D 数组  $f(x,y)$  来表示。另外，数字图像可以用矩阵或矢量来表示。一幅 2-D 图像可以写成一个 2-D 的  $M \times N$  矩阵，其中  $M$  和  $N$  分别表示图像的总行数和总列数，即有

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

一幅 2-D 图像也可以用矢量来表示，可写成

$$F = (f_1 \quad f_2 \quad \cdots \quad f_N) \quad (1-2)$$

式中

$$f_i = (f_{1i} \quad f_{2i} \quad \cdots \quad f_{Mi})^T \quad i=1,2,\dots,N \quad (1-3)$$

2-D 图像可以采用多种方式来显示，其基本思路是将 2-D 图像看做 2-D 空间位置上的一种幅度分布。图像不同，采取的显示方式也可以不同。例如，对于二值图像，其在每个空间位置的取值只有两个，则可以用 0 和 1 来区别。

## 1.2 数字图像处理的内容和特点

### 1.2.1 数字图像处理的研究内容

数字图像处理主要研究的内容有以下几个方面。

(1) 图像数字化：将非数字形式的模拟图像信号通过数字化设备转换成数字图像，包括采样过程和量化过程。

(2) 图像变换：利用正交变换的性质和特点，将图像转换到变换域中进行处理，这样不仅可以减少计算量，而且能对图像进行更有效的处理。该技术包括傅里叶变换、沃尔什变换、离散余弦变换、离散小波变换等处理技术。

(3) 图像增强：用于增强图像中的有用信息，削弱干扰和噪声，提高图像的清晰度，突出图像中感兴趣的对象，即所需研究的目标。例如，强化图像高频分量，则可以使图像中的目标轮廓清晰。

(4) 图像复原：对退化和降质了的图像进行处理，使处理后的图像尽可能接近原始图像。

(5) 图像压缩编码：对待处理图像进行压缩编码以减少描述图像的数据量，以便节省图像传输、处理时间和减少所占用的存储器容量。压缩可以在不造成图像失真的前提下进行，也可以在允许的失真条件下进行。

(6) 图像分割：是指将图像中有意义的特征部分提取出来，以便把图像分成若干区域，从中提取出感兴趣的目标。这是进一步进行图像识别、分析和理解的基础。由于图像中的目标和背景变化无穷，尽管目前人们已研究出不少边缘提取、区域分割的方法，但还没有一种普遍适用于各种图像的有效方法，所以对图像分割的研究还在不断深入之中，是目前图像处理中研究的热点之一。

(7) 图像特征提取：指将一幅图像分割成若干个区域后，提取图像内的物体或区域特征，以用于图像的分析 and 理解。图像特征既可以是人的视觉可以直接识别的自然特征，如物体形状、颜色等，也可以是对图像进行数学运算以后得到的数字特征，如物体周长、面积、重心、连通性、不变矩等。

(8) 图像识别分类：指根据从图像中提取的各目标物的特征或特征集，与已知的标准目标物固有的特征进行匹配，计算两者之间的相似度，以做出对各目标物类属的判别。近年来新发展起来的粗糙集模式分类方法和人工神经网络模式分类方法在图像识别中已越来越受到重视。

### 1.2.2 数字图像处理的基本特点

数字图像处理主要使用计算机来对表示图像的点阵数据进行处理，因此数字图像处理具有如下特点。

(1) 数字图像处理的信息量大。数字图像的数据是以点阵的方式表示的二维信息，如一幅  $256 \times 256$  低分辨率黑白图像，其数据量达到 64kbit；而对于高分辨率彩色  $512 \times 512$  图像，其数据量则高达 768kbit；如果要处理 30 帧/秒的视频图像序列，则数据量高达每秒 500kbit~22.5Mbit。如此庞大的数据量给存储、传输和处理工作带来了巨大的困难。尤其要注意的是，对于一些具有实时要求的图像处理系统而言，必须要采取一些特殊的图像处理措施来减少图像处理的数据量和提高图像处理的速度，否则将会影响其实时性。

(2) 数字图像中信息压缩的潜力大。在图像画面上，经常会出现很多像素有相同或接近的灰度的情况，即各个像素的相关性大。就视频画面而言，对于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还要大些。因此，数字图像中信息压缩的潜力很大。

(3) 处理结果评价受到人为因素的影响较大。数字图像处理后的图像一般用来给人观察和评价。同一幅图像，不同的人给出的评价结果可能相差很大。由于人的视觉系统很复杂，受环境条件、视觉性能、人的情绪爱好及知识状况影响很大，所以用做图像质量的评价还有待进一步深入研究。另外，由于计算机视觉模仿的是人的视觉机理，所以人的感知机理反过来又影响着计算机视觉的研究。

(4) 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不破坏图像数据的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图像原稿，则数字图像处理过程始终能保持图像的再现。

(5) 处理精度高。目前的技术几乎可以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化精度可以满足任一应用需求。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。

(6) 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(如 X 射线图像、 $\gamma$  射线图像、超声波图像、雷达图像或红外图像等)。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变换为数字编码形式, 均是用二维数组表示的灰度图像组合而成的; 对于彩色图像而言, 可以由 R、G、B 三种灰度图像组合而成, 因此它们均可用计算机来处理。也就是说, 只要针对不同的图像信息源, 采取相应的图像信息采集设备, 则图像的数字处理方法适用于任何一种图像。

(7) 灵活性高。图像处理大体上可分为图像的预处理、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。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来实现。

(8) 涉及的学科领域广泛。数字图像处理涉及计算机科学、通信科学、数学、物理学、光学、颜色科学、微电子技术和电视技术等。当把图像处理应用到某个具体的场合时, 还会涉及相关的专业知识。

### 1.3 数字图像处理与相关学科的关系

与数字图像处理相关的学科包括数字信号处理、计算机图形学、模式识别、多媒体信息检索等。下面根据研究对象和内容的相关性来简述数字图像处理与相关学科的关系。

数字信号处理与数字图像处理是紧密相关的学科, 只要做简单的拓展, 数字信号处理的理论和方法就可以用于数字图像处理。数字信号处理的研究对象为一维数字信号, 而数字图像处理的研究对象为二维数字信号; 数字信号处理的研究内容包括数字滤波器、数字正交变换、数字编码等, 而数字图像处理的研究内容主要包括图像滤波器、图像变换、图像编码、图像分析等。

计算机图形学的研究对象为矢量图形, 它主要通过数学公式生成仿真图形或图像, 研究图形的生成、透视等, 而数字图像处理的研究对象为点阵数据表示的图像。在数字图像处理中, 原始图像经过图像分割、边缘检测处理后, 得到的是简化了的几何图形。这些几何图形是后续图像分析、特征提取与目标识别、图像理解的基础。

模式识别也称机器识别、计算机识别, 其目的在于让机器自动识别事物, 如识别文字、车牌号码、图像中的物体等。数字图像处理与模式识别是相互关联的, 在图像分析阶段, 往往要用到模式识别的方法对目标进行识别; 而在模式识别的初始阶段, 往往需要使用图像处理技术对物体的图像进行各种预处理。

多媒体信息处理主要包括图像检索和视频检索。基于内容的图像检索属于图像分析和信息处理的研究领域，是指直接采用图像内容进行图像信息的查询，目的是在给定查询图像的前提下，依据其内容信息或指定的查询标准，在图像数据库中进行内容上一致或相似性匹配，最终提供符合查询条件的相应图像。

视频检索就是要从大量的视频数据中找到所需的视频片断。根据给出的例子或特征描述，使系统能够自动找到所需的视频片断点，即可实现基于内容的视频检索。通常，一段视频可以划分为几个场景，每个场景包含一个或多个镜头，每个镜头又由一系列连续的图像帧组成。因此，原始视频可以按照由粗到细的顺序划分为几个层次结构：场景、镜头和图像帧。图像帧是视频本身就具有的结构，而镜头和场景是人为分离出来的结构。镜头一般由摄像机一次拍摄时从开始到结束的所有帧构成。而场景是由一连串语义相关的镜头组成的，表示的是一个语义概念，如发生在相同的时间和地点的事件，出现相同的人物等。通过视频分割技术提取出镜头和场景后，可以用关键帧或关键帧序列来表示它们，这样当检索需要的视频资料时，就可以通过关键帧的跳跃式浏览来快速定位查询的内容了，这有助于我们快速理解一段原始视频的内容，以判断它是否是所需要的资料。视频检索的关键技术主要有关键帧提取、帧内图像特征提取、图像特征的相似性度量、视频片断匹配和评价指标等。

## 1.4 数字图像处理系统

数字图像处理系统包括硬件系统和软件系统。它具体包括采集、显示、存储、通信、主机和图像处理软件部分，如图 1-1 所示。

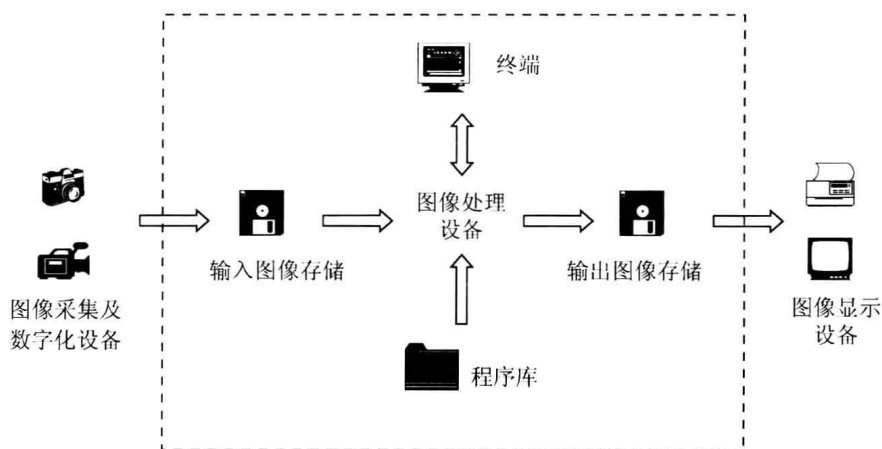


图 1-1 数字图像处理系统的构成

数字图像处理的基本步骤如下。

- (1) 数字图像信息的获取：采用图像扫描仪等将图像数字化。
- (2) 数字图像信息的存储：将获取的数字图像、处理过程中的图像信息及处理结果存储在计算机等数字系统中。
- (3) 数字图像信息的处理：即数字图像处理，是指用数字计算机或数字系统对数字图像





进行的各种处理,如图像分割、边缘检测、特征提取、压缩编码等。

(4) 数字图像信息的传输:要解决的主要问题是传输信道和数据量的矛盾问题,即一方面要改善传输信道,提高传输速率,另一方面要对传输的图像信息进行压缩编码,以减少描述图像信息的数据量。

(5) 数字图像信息的输出和显示:用可视的方法和技术对经过处理的数字图像进行输出和显示。

## 1.5 数字图像处理的应用领域

图像是人类获取和交换信息的主要来源,因此,图像处理的应用领域必然涉及人类生活和工作的方方面面。随着人类活动范围的不断扩大,图像处理的应用领域也将随之不断扩大。

(1) 数字图像处理技术在航天和航空技术方面的应用,如对某些星球照片的处理、飞机遥感和卫星遥感技术等。一般这些图像会在空中先处理成数字信号并存入磁带中,在卫星经过地面站上空时,再高速传送下来,然后由处理中心分析判读。这些图像无论是在成像、存储、传输过程中,还是在判读分析中,都必须采用很多数字图像处理方法。现在世界各国都在利用人造卫星所获取的图像进行资源调查,如森林调查、海洋泥沙和渔业调查、水资源调查等;进行灾害检测,如病虫害检测、水火检测、环境污染检测等;进行资源勘察,如石油勘查、矿产量探测、大型工程地理位置勘探分析等;进行农业规划,如土壤营养、水份和农作物生长、产量的估算等;进行城市规划,如地质结构、水源及环境分析等。

(2) 数字图像处理在生物医学工程方面的应用十分广泛而且很有成效,如 CT 技术,另外还有一类是对医用显微图像的处理分析,如红细胞、白细胞分类,染色体分析,癌细胞识别等。此外,在 X 光肺部图像分析、超声波图像处理、心电图分析、立体定向放射治疗等医学诊断方面都广泛地应用了图像处理技术。

(3) 通信工程方面的应用。当前通信的主要发展方向是声音、文字、图像和数据结合的多媒体通信,具体而言,是指将电话、电视和计算机以三网合一的方式在数字通信网上进行传输。其中以图像通信最为复杂和困难,因为图像的数据量十分巨大,如传送彩色电视信号的速率达 100Mbit/s 以上。要将这样高速率的数据实时传送出去,必须采用编码技术来压缩信息的比特量。从一定意义上讲,编码压缩是这些技术成败的关键。除了已应用较广泛的熵编码、DPCM 编码、变换编码外,目前国内外正在大力开发研究新的编码方法,如分行编码、自适应网络编码、小波变换图像压缩编码等。

(4) 工业和工程方面的应用。在工业和工程领域中,数字图像处理技术有着广泛的应用,如在自动装配线中检测零件的质量并对零件进行分类,印制电路板的瑕疵检查,弹性力学照片的应力分析,流体力学图片的阻力和升力分析,邮政信件的自动分拣,在一些有毒、放射性环境内识别工件及物体的形状和排列状态,在先进的设计和制造技术中采用工业视觉等。其中值得一提的是研制具备视觉、听觉和触觉功能的智能机器人,这种技术将会给工农业生产带来新的发展,目前该技术已在工业生产中的喷漆、焊接、装配中得到有效的利用。

(5) 军事、公安方面的应用。在军事方面,图像处理和识别主要用于导弹的精确制导,





各种侦察照片的判读, 以及用在具有图像传输、存储和显示功能的军事自动化指挥系统, 飞机、坦克和军舰模拟训练系统等; 在公安方面, 它主要用于公安业务图片的判读分析, 指纹识别, 人脸鉴别, 不完整图片的复原, 以及交通监控、事故分析等。目前已投入运行的高速公路不停车自动收费系统中的车辆和车牌的自动识别都是数字图像处理技术成功应用的例子。

(6) 文化、艺术方面的应用。目前这类应用有电视画面的数字编辑, 动画的制作, 电子图像游戏的设计, 纺织工艺品的设计, 服装的设计与制作, 发型设计, 文物资料照片的复制和修复, 运动员动作分析和评分等。现在已逐渐形成一门新的艺术——计算机美术。

(7) 天气观测与预报。通过卫星云图的实时分析、对比, 利用数字图像处理技术可对未来的天气变化做出预报。

(8) 数字图书馆。数字图书馆是一个以数字方式存在的混合媒体材料的有组织和管理馆藏。和实际图书馆一样, 数字图书馆并不局限于文本材料, 而是包含了从图形图像到视频剪辑, 再到地理空间项目的各种混合媒体, 以及只以数字形式存在而没有实体版本的资料。因此, 数字图书馆面临的一个关键性的挑战就是自动索引多媒体的能力, 这就需要使用数字图像处理技术。

(9) 智能监控。其步骤包括: 先对摄像头采集到的图像序列进行背景分割以得到前景; 对得到的前景进行目标检测以得到要监控的对象, 同时对检测到的对象进行目标识别以得到对象的类别; 再对检测到的对象进行跟踪以得到对象的轨迹, 并对得到的轨迹进行分析; 然后根据预先制定的由目标类别、目标行为、时间和地点构成的异常报警规则集, 对得到的轨迹分析结果和对象类别进行判断, 从而决定是否报警及以何种方式报警。

数字图像处理理论和技术经过 50 多年的发展, 已经发展成为一门具有强大生命力的学科, 其应用已经渗透到了科学研究、工农业生产、人类生活的方方面面。随着社会经济的快速发展, 各种数字图像处理的应用需求不断涌现, 这将进一步推进数字图像处理理论和技术的发展广度和深度。



## 思考题

1. 简述数字图像的基本概念。
2. 为什么要进行数字图像处理?
3. 数字图像处理的研究内容有哪些?
4. 简述数字图像处理的主要特点。
5. 简述数字图像处理与相关学科的关系。
6. 简述数字图像处理系统的主要构成及处理过程。
7. 数字图像处理的应用主要有哪些方面?



# 第 2 章

## 数字图像处理基础

数字图像是连续世界的客观描述，是模拟图像经过采样、量化后的数字结果。数字图像处理的内容相当丰富，涉及的相关知识和应用领域也非常广泛。2.1 节主要介绍如何将模拟图像数字化；由于在数字图像处理过程中通常要对图像进行存储，所以 2.2 节主要介绍数字图像的种类和属性；2.3 节主要介绍图像文件格式；2.4 节主要介绍数字图像处理技术；2.5 节主要介绍实用数字图像处理编程基础。

## 2.1 图像数字化

从广义的角度看, 图像客观地反映了自然界的景物。而计算机是无法存储和处理这些空间分布和亮度取值都连续的模拟图像的, 因此必须在模拟图像进入计算机之前, 将模拟图像转换成数字图像, 这一过程包括两个方面: 采样和量化。采样是对连续图像空间分布的离散化, 得到的各个离散点称为样本点; 而离散各个样本点的亮度幅值则称为量化。

在数字化的过程中, 如何选取采样频率及量化级数才能够最好地表示图像的亮度信息呢? 下面将逐一讨论这两个问题。

## 2.1.1 采样

将模拟信号变为数字信号的过程称为 A/D 变换。A/D 变换的第一个过程为采样, 就是从连续图像的空间分布中提取若干个离散点——样本点, 得到一组点的集合。由于图像是二维分布的信息, 所以对图像的采样是在  $x$  轴和  $y$  轴上同时进行的。以时间间隔  $T_s$  对扫描得到的模拟图像信号进行采样, 其过程就是把一幅连续图像在空间上分割成  $M \times N$  个网格, 每个网格对应一个样本点 (也称像素), 所得图像的点的集合如图 2-1 所示, 采样频率  $f_s = \frac{1}{T_s}$ 。

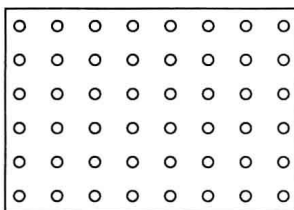


图 2-1 采样所得图像的点的集合

下面介绍图像采样过程的数学表示。设  $f(x,y)$  表示一幅连续空间分布的二维图像, 按照网格均匀采样的方式 (即图像空间分布的  $x$  轴和  $y$  轴方向的采样间隔  $\Delta x$  和  $\Delta y$  相等), 则采样函数  $s(x,y)$  的数学表达式如式 (2-1) 所示, 采样函数如图 2-2 所示。

$$s(x,y) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(x - m\Delta x, y - n\Delta y) \quad (2-1)$$

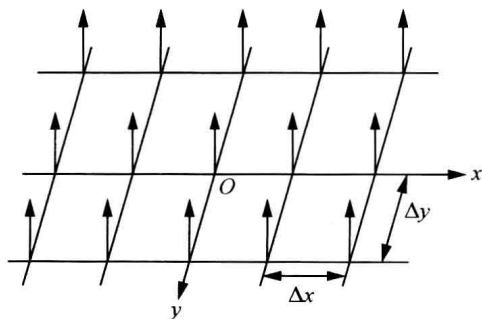


图 2-2 采样函数