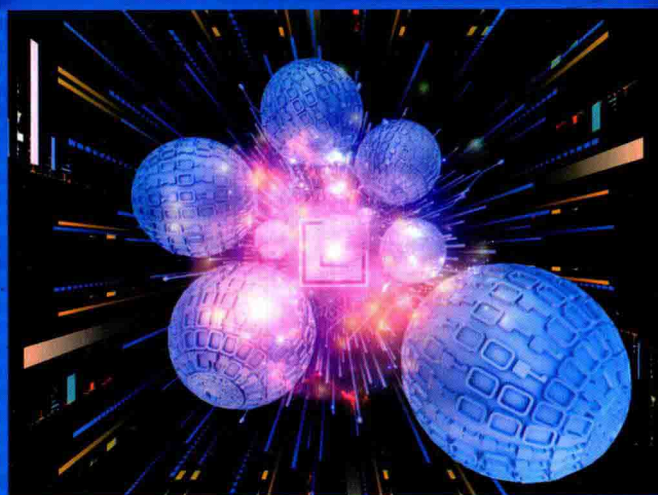


“十三五”普通高等教育规划教材

数字图像处理

基础及工程应用

宋丽梅 王红一 主 编
李金义 杨燕罡 副主编



含电子教案

<http://www.cmpedu.com>



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



“十三五”普通高等教育规划教材

数字图像处理基础及工程应用

	宋丽梅	王红一	主 编
	李金义	杨燕罡	副主编
林文伟	茹 愿	李欣遥	参 编
郭素青	王佳炎	高艳艳	



机械工业出版社

本书共分 12 章,第 1 章为绪论。第 2 章为数字图像的获取,主要针对图像采集装置进行介绍,包括相机、镜头、光源等硬件设施。第 3 章为数字图像预处理,包括图像变换、图像增强及数字形态学在预处理中的应用。第 4 章为图像分割技术,对 Hough 变换、区域分割等不同的边缘检测和图像分割算法的应用及特点进行总结。第 5 章为图像特征提取与选择,包括颜色特征和几何特征的提取方法、基于主成分分析和 Fisher 变化的特征选择方法。第 6 章为图像匹配,利用基于灰度和特征的匹配算法寻找与模板对应的图像区域。第 7 章是图像智能识别,对聚类识别、神经网络识别、支持向量机、模糊识别理论和实现方法进行了详细的讲解。第 8 至 12 章为数字图像案例,案例内容包括车牌识别、多气泡上升轨迹跟踪、人脸识别和图像三维识别、灯脚质量检测等。

本书第 3 至 7 章为数字图像处理的基本处理方法,对本书中涉及的数字图像处理算法进行了清晰明了的描述,并详细描述了其实现过程,配有相应的程序代码,使读者(学生)容易理解所讲内容的原理、理论知识。第 8 至 12 章主要是数字图像处理技术在实际工程问题中的应用,对问题的研究背景、设计方案、解决方法、实现过程及代码实现进行了细致的阐述。在案例的程序设计方面,采用 MATLAB 或 OpenCV(C++) 语言实现,加强学生程序编写、算法实现的能力,从而提升其在数字图像处理方面的软件开发能力。

本书总结了图像领域先进理论和算法,对工程应用系统的综合分析很有借鉴意义。可作为通信与信息工程、电子科学与技术、计算机科学与技术、控制科学与工程等相关专业教材及参考用书,也可供从事图像处理、分析和识别等相关领域的科技工作者和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理基础及工程应用/宋丽梅,王红一主编. —北京:机械工业出版社,2018. 1

“十三五”普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-111-58296-0

I. ①数… II. ①宋… ②王… III. ①数字图像处理-高等学校-教材 IV. ①TN911. 73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 253826 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:尚晨 责任校对:张艳霞

责任印制:孙炜

保定市中华美凯印刷有限公司印刷

2018 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·17.5 印张·421 千字

0001-3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-58296-0

定价:49.90 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:(010)88379833

读者购书热线:(010)88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

前 言

进入 21 世纪,随着计算机技术和人工智能和思维科学研究的迅速发展,图像处理正向着高速、高分辨率、立体化、多媒体化、智能化和标准化的方向发展。在图像通信、办公自动化系统、地理信息系统、医疗设备、卫星照片传输及分析和工业自动化领域具有非常广泛的应用,并且出现了众多的图像处理理论和算法(小波分析、分形理论、形态学理论、遗传算法、神经网络等)。数字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,从事数字图像处理领域的人才也受到企业、研究所、高校等单位的重视。

数字图像处理涉及信号处理、模式识别、人工智能和光电子学等领域,是一门交叉学科,具有很强的专业性。由于数字图像是一门快速发展的学科,因此最近几年来的研究成果在一些优秀教材中体现的不是特别充分,尤其对工程应用的关注度不够。因此,建设理论与工程应用相结合的数字图像处理教材,对解决工程研究问题的重要性不言而喻。本书体现了作者多年来在数字图像处理领域的科研和教学成果,是一本面向控制工程专业本科及研究生的教材,教材包含经典和最新的数字图像处理案例,能够为教学提供丰富可靠的工程应用经验,有利于加强工程实际应用的理论和知识的学习。

本书第 3 至 7 章中涉及的图像处理方法都配有详细分析过程及程序实现代码。第 8 至 12 章以工程应用案例分析为中心,对工程实践中的实际问题进行理论分析、特征归纳、给出解决方案,并配备相应的程序源代码及执行效果展示。克服了以往教材中应用案例解决方案不完善,解决问题思路不清晰,脱离工程实际等缺陷。从工程实用角度出发,针对图像复杂工程领域中的实际问题,分析其研究背景,剖析解决方案,细化解决问题的过程,每个关键步骤均配有程序代码及运行效果展示,深化学习者对图像处理算法的理解,有助于增强读者对图像处理方法应用的掌握。

本书由天津工业大学宋丽梅教授和王红一任主编,天津工业大学李金义和天津职业技术师范大学杨燕罡任副主编,天津工业大学林文伟、茹愿、李欣遥、郭素青、王佳炎、高艳艳等参与了编写工作。其中,第 1 章由宋丽梅和王红一编写,第 2 章由李金义、杨燕罡和王佳炎编写,第 3 章由李金义和郭素青编写,第 4 章由宋丽梅和李欣遥编写,第 5 章由王红一和茹愿编写,第 6 章由王红一、李金义和郭素青编写,第 7 章由王红一、李金义和林文伟编写,第 8 章由王红一、李金义和林文伟编写,第 9 章由王红一和李金义编写,第 10 章由宋丽梅和王红一编写,第 11 章由王红一、茹愿和高艳艳编写,第 12 章由杨燕罡、李欣遥和王佳炎编写。

本书编著得到了全国工程教指委优秀教材建设立项支持。

由于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 数字图像处理概述	1
1.1 数字图像的基本概念	1
1.1.1 图像	1
1.1.2 数字图像及其存储方式	1
1.1.3 数字图像的分类	3
1.1.4 数字图像处理系统	4
1.2 数字图像处理发展史及发展趋势	5
1.3 数字图像处理的特点	5
1.4 数字图像处理的工程应用	6
1.5 数字图像处理的主要内容	7
【课后习题】	8
第2章 图像采集	9
2.1 照明	9
2.1.1 光源类型	9
2.1.2 照明方式	12
2.1.3 选择合适的照明光源及照明方式	13
2.2 镜头	17
2.2.1 镜头的基本常识	17
2.2.2 镜头的类型	21
2.2.3 选择合适的镜头	23
2.3 相机	23
2.4 相机接口技术	26
【课后习题】	30
第3章 图像预处理技术	31
3.1 图像的灰度变换	31
3.1.1 线性变化	31
3.1.2 分段线性变换	33
3.1.3 灰度对数变换	34
3.1.4 直方图均衡化	34
3.2 图像的几何变换	36
3.2.1 平移	37

3.2.2	旋转	37
3.2.3	比例放缩	40
3.2.4	镜像	41
3.2.5	插值	43
3.3	图像增强	44
3.3.1	均值滤波	44
3.3.2	中值滤波	46
3.3.3	对比度增强	48
3.3.4	小波去噪	49
3.4	形态学处理	50
3.4.1	腐蚀	50
3.4.2	膨胀	52
3.4.3	开运算	54
3.4.4	闭运算	55
3.4.5	细化	56
3.4.6	填充	57
	【课后习题】	59
第4章 图像分割技术		60
4.1	边缘检测	61
4.1.1	Roberts 边缘算子	62
4.1.2	Sobel 边缘算子	63
4.1.3	Prewitt 边缘算子	64
4.1.4	Laplacian 边缘算子	65
4.1.5	LoG 边缘算子	67
4.1.6	Canny 边缘算子	68
4.1.7	边缘检测算子的 MATLAB 实现	70
4.2	Hough 变换	72
4.2.1	Hough 变换概述	72
4.2.2	基于 Hough 变换的直线检测	73
4.2.3	基于 Hough 变换的曲线检测	76
4.3	阈值分割	79
4.3.1	阈值分割的基本原理	79
4.3.2	阈值分割方法的分类	80
4.3.3	极小值点阈值法	80
4.3.4	最小均方误差法	81
4.3.5	迭代选择阈值法	82
4.3.6	双峰法	84
4.3.7	最大类间方差法	85
4.4	基于区域的图像分割	87

4.4.1	区域生长算法	87
4.4.2	区域分裂合并算法	90
	【课后习题】	92
第5章 图像特征提取与选择		93
5.1	颜色特征	93
5.1.1	颜色直方图	93
5.1.2	颜色集	96
5.1.3	颜色矩	97
5.1.4	颜色聚合向量	98
5.1.5	颜色相关图	102
5.2	基于灰度共生矩阵的纹理特征构建	104
5.2.1	灰度共生矩阵的定义	104
5.2.2	基于灰度共生矩阵的纹理特征	105
5.2.3	基于灰度-梯度共生矩阵的纹理特征构建	108
5.3	几何特征	114
5.3.1	位置	114
5.3.2	方向	115
5.3.3	周长	116
5.3.4	面积	116
5.4	基于主成分分析的特征选择	119
5.5	基于 Fisher 线性判据的特征选择	128
	【课后习题】	137
第6章 图像匹配		138
6.1	模板匹配的概念	138
6.2	基于灰度相关的模板匹配	139
6.2.1	MAD 算法	139
6.2.2	SAD 算法	140
6.2.3	SSD 算法	142
6.2.4	NCC 算法	142
6.2.5	SSDA 算法	142
6.2.6	SATD 算法	144
6.3	基于灰度值的亚像素精度匹配	146
6.4	使用空间金字塔进行匹配	149
6.4.1	空间金字塔的表示方法	149
6.4.2	空间金字塔匹配的基本原理	150
6.4.3	空间金字塔匹配算法实现	151
6.5	带旋转与缩放的模板匹配	153
6.5.1	高斯尺度空间的极值检测	154
6.5.2	特征点位置的确定	154

6.5.3	特征点方向的确定	156
6.5.4	特征点描述子生成	156
6.5.5	SIFT 特征向量的匹配	157
	【课后习题】	162
第7章 图像智能识别方法		163
7.1	聚类识别	163
7.1.1	聚类算法主要思想	163
7.1.2	K - Means 聚类算法理论基础	164
7.1.3	聚类算法的 MATLAB 实现	166
7.2	神经网络识别	167
7.2.1	人工神经网络的主要思想	167
7.2.2	BP 神经网络算法的理论基础	168
7.2.3	神经网络学习算法的 MATLAB 实现	169
7.3	支持向量机识别	171
7.3.1	支持向量机的分类思想	171
7.3.2	SVM 的基本理论	173
7.3.3	SVM 算法的 MATLAB 实现	174
7.4	模糊识别	176
7.4.1	模糊图像识别的设计思想	176
7.4.2	贴适度与模糊度	176
7.4.3	最大隶属原则与择近原则	177
7.4.4	模糊算法的 MATLAB 实现	178
	【课后习题】	179
第8章 工程应用：车牌识别		181
8.1	牌照定位	181
8.2	牌照区域的分割	186
8.3	字符分割与归一化	189
8.4	字符细化	191
8.5	字符的识别	192
第9章 工程应用：多气泡上升轨迹跟踪		195
9.1	气泡图像的预处理	195
9.2	气泡运动轨迹跟踪方法	198
9.2.1	基于互相关匹配的目标跟踪	198
9.2.2	基于 Mean - Shift 算法的目标跟踪	201
第10章 工程应用：人脸识别		206
10.1	ORL 人脸数据库简介	206
10.2	基于 PCA 的人脸图像的特征提取	207
10.3	人脸图像识别方法	208
10.3.1	k - 近邻算法	208

10.3.2	BP 神经网络法	208
10.3.3	基于 BP 神经网络法和 k-近邻法的综合决策分类	208
10.3.4	实验的结果	209
10.4	简单实例	212
第 11 章	工程应用：基于 SURF 特征点匹配的图像三维识别	226
11.1	图像三维识别系统的方案设计	227
11.2	图像三维识别过程	229
11.2.1	三维图像预处理	229
11.2.2	基于 SURF 算法的特征点匹配	230
11.2.3	最优匹配点的提取	239
11.2.4	图像三维坐标的计算	244
11.2.5	图像三维识别	245
11.3	基于 SURF 特征点匹配的图像三维识别的 OpenCV 完整代码	248
第 12 章	工程应用：基于 OpenCV 的灯脚质量检测	253
12.1	灯脚质量检测的方案设计	253
12.2	灯脚质量检测过程	255
12.2.1	相机标定	255
12.2.2	灯脚图像检测	257
12.2.3	灯脚检测界面及结果分析	262
附录	颜色集	266
参考文献		269

第1章 数字图像处理概述

人类是通过感觉器官从客观世界获取信息的，即通过耳、目、口、鼻、手的听、看、味、嗅和接触的方式获取信息，在这些信息中，视觉信息占70%。视觉信息的特点是信息量大，灵敏度高，传播速度快，作用距离远。人类视觉受到心理和生理作用影响，加上大脑的思维和联想，具有很强的判断能力，不仅可以辨别景物，还能辨别人的情绪。图像是人们从客观世界获取信息的重要来源，图像信息处理是人类视觉延续的重要手段。随着图像处理技术的发展，许多技术已日益趋于成熟，应用也越来越广泛。它已渗透到许多领域，如遥感、生物医学、通信、航空航天、军事、安防等。

1.1 数字图像的基本概念

1.1.1 图像

图像 (Image) 是通过各种观测系统，以不同的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，进而产生视知觉的实体。图像的种类有很多，根据人眼的视觉特性可分为可见图像和不可见图像。可见图像包括生成图像（通常称图形或图片）和光图像两类。生成图像侧重于根据给定的物体描述模型、光照及想象中的摄像机的成像几何，生成一幅图或像的过程。光图像侧重于用透镜、光栅、全息技术产生的图像。我们所说的图像通常指后者。不可见图像包括不可见光成像和不可见量形成的图，如： γ 射线、X射线、紫外线、红外线、微波等。利用图像处理技术能够把不可见射线所成图像加以处理转换成可见图像。

1.1.2 数字图像及其存储方式

数字图像 (Digital Image) 指的是能用计算机处理的图像，其空间坐标和明暗程度都是离散的、不连续的。图像中每个基本单元叫作图像的元素，简称像素 (Pixel)。数字图像由数组或矩阵表示，其光照位置和强度都是离散的。数字图像是由模拟图像数字化得到的、以像素为基本元素的、可以用数字计算机或数字电路存储和处理的图像。

1. 存储方式

数字化图像数据有两种存储方式：位图存储 (Bitmap) 和矢量存储 (Vector)。

位图：位图又叫作光栅图，以点阵形式存储。当图像是单色（只有黑白二色）时，每个像素存储占1 bit（即用1位二进制数表示）；16色的图像每个像素点占4 bit（即用4位二进制表示）；256色图像每个像素点占8 bit（即用8位二进制数表示）。则一幅 800×600 像素的黑白图像的容量为： $800 \times 600 / 8 = 60000$ (B)；一幅256色的 800×600 的图像的容量为： $800 \times 600 \times 8 / 8 = 480000$ (B)。因此使用的位元素越多所能表现的色彩也越多。但随着

分辨率以及颜色数的提高，图像所占用的磁盘空间也就越大；另外由于在放大图像的过程中，其图像势必要变得模糊而失真，放大后的图像像素点实际上变成了像素“方格”。数码相机和扫描仪获取的图像都属于位图。

位图的优点是能够制作出色彩和色调变化丰富的图像，可以逼真地表现自然界的景象，易于在不同软件之间交换文件；其缺点则是它无法制作真正的 3D 图像，并且图像缩放和旋转时会产生失真的现象，同时文件较大，对内存和硬盘空间容量的需求也较高。

矢量图像：矢量图像是用数学方法来描述图像，存储的是图像信息的轮廓部分，而不是图像的每一个像素点。例如，一个圆形图案只要存储圆心的坐标位置和半径长度，或圆的边线和半径长度，或圆的边线和内部的颜色即可。

该存储方式的缺点是经常耗费大量的时间做一些复杂的分析演算工作，图像的显示速度较慢；但图像缩放不会失真；图像的存储空间也要小得多。所以，矢量图比较适合存储各种图表和工程设计图。

2. 常用图像格式

图像处理的程序必须考虑图像文件的格式，否则无法正确地打开和保存图像文件。每一种图像处理软件几乎都有各自的方式处理图像，用不同的格式存储图像。为了利用已有的图像文件，或者在不同的软件中使用图像，就要注意图像格式的不同，必要时还得进行图像格式的转换。下面介绍的图像文件格式是基于位图的，而对于矢量图像文件格式不在此详述。

(1) BMP 格式

BMP (Bitmap - File) 格式又称位图文件。由三部分组成：位图文件头、位图信息和位图列阵。位图文件头有 54 个字节，它给出文件的类型、大小和位图的起始位置等。位图信息给出图像的长、宽和每个像素的位数 (1, 4, 8, 24)、压缩方法、目标设备的水平和垂直分辨率。

BMP 图形文件是 Windows 采用的图形文件格式，在 Windows 环境下运行的所有图像处理软件都支持 BMP 图像文件格式。Windows 系统内部各图像绘制操作都是以 BMP 为基础的。

(2) TIFF 格式

TIFF 格式是桌面出版系统中使用最多的图像格式之一，它不仅在排版软件中普遍使用，也可以用来直接输出。

TIFF (Tagged Image File Format) 由 Aldus Developer's Desk 和 Microsoft Windows Marketing Group 公司联合开发。使用者可以与 Aldus 公司协商取得并使用有关图像性质的专门“标记” (Tag)，在读取和保存文件时，首先处理这个标记。

TIFF 文件一般可分为文件头、参数指针表、参数数据表和图像数据四个部分。其中文件头长度为 8 位，包括字节顺序、标记号和指向第一个参数指针表的偏移。参数指针表由一系列每个长为 12 位的参数块构成，它们描写图像的压缩种类、长度、彩色数、扫描分辨率等许多参数。参数数据表中存储的是实际参数数据，比较常见的是 16 色或 256 色调色板；最后一部分是图像数据，它们按照参数表中所描述的形式按行排列。

TIFF 格式主要的优点是适用于广泛的应用程序，它与计算机的结构、操作系统和图形硬件无关。因此，大多数扫描仪不能输出 TIFF 格式的图像文件。

(3) JPEG 格式

严格地说，JPEG 不是一种图像格式，而是一种压缩图像数据的方法。但是，由于它的

用途广泛而被人们认为是图像格式的一种。

JPEG (Joint Photographic Experts Group) 是由联合图片专家组提出的, 它定义了图片、图像的共用压缩和编码方法, 这是目前为止最好的压缩技术。JPEG 主要用于硬件实现, 但也用于 PC、Macintosh 和工作站上的软件。

JPEG 主要是存储颜色变化的信息, 特别是亮度的变化。JPEG 格式压缩的是图像相邻行和列间的多余信息, 只要压缩掉的颜色信息不至于引起人眼视觉上的明显变化 (视觉可接受), 则它就是一种很好的图像存储格式。

通过 JPEG 压缩方法处理图像而节省的空间是大量的。例如, 一个 727×525 像素的真彩色图像, 其原始的每个像素 24 位格式占用 1145 KB, GIF 格式是 240 KB, 非常高质量的 JPEG 格式为 155 KB, 而标准的 JPEG 格式则仅为 58 KB, 当在显示器上观看时, 58 KB 的 JPEG 图像同 GIF 图像格式的质量相同, 155 KB 的 JPEG 图像比起 256 色的 GIF 图像则要好得多。当压缩比取得不太大时, 由 JPEG 解压缩程序重建后的真彩色图像与使用一个像素存储的原始图片相比, 几乎看不出什么区别, 能预览显示。

JPEG 去除的是图像行与行、列与列间的相关性, 必然要丢弃一些数据, 所以被称为有损压缩。选用 JPEG 方法压缩图像时需在文件大小和颜色损失上做出权衡。在大多数情况下, 如果采用较小的压缩比, 则压缩后图像的颜色变化很难区别。

多次存储需采用同一压缩比对同一幅图像压缩后再解压缩, 则得到的图像与原图像是不同的。因此, 对同一幅图像应采用一个压缩比保存, 如果在用 JPEG 方法压缩后存储, 打开后保存为另外的格式, 并在下一次又用 JPEG 方法压缩, 这是不可取的。因此, 图像一旦用 JPEG 方法压缩保存后, 建议不要再存储为其他格式。如果确实要保存为其他格式, 则应该记住该图像文件以后不再用 JPEG 格式保存。

(4) PNG 格式

PNG (Portable Network Graphics) 是便携式网络图形, 是网络流行的最新图像文件格式。PNG 能够支持较高级别的无损压缩图像文件, 同时提供 24 位和 48 位真彩色图像支持以及其他诸多技术性支持。由于 PNG 非常新, 所以并不是所有的程序都可以用它来存储图像文件。

此外, 图像格式还有 GIF、PCX、TGA、EXIF 等。在对图像格式选择时, 应视具体情况来决定, 一般来说, Windows 下的位图文件 BMP 格式是目前使用的最广泛的文件格式之一。在应用程序设计中, 应着重考虑图像的质量、图像的灵活性、图像的存储效率以及应用程序是否支持这种图像格式等几种格式。

1.1.3 数字图像的分类

根据每个像素所代表信息的不同, 可将图像分为二值图像、灰度图像、RGB 图像和索引图像。

1. 二值图像

每个像素只有黑、白两种颜色的图像成为二值图像。在二值图像中, 像素只有 0 和 1 两种取值, 一般用 0 来表示黑色, 用 1 来表示白色。

2. 灰度图像

在二值图像中进一步加入许多介于黑色和白色之间的颜色深度, 就构成了灰度图像。这

类图像通常显示为从最暗黑色到最亮的白色的灰度，每种灰度称为一个灰度级，通常用 L 表示。在灰度图像中，像素可以取 $0 \sim L-1$ 之间的整数值，根据保存灰度数值所使用的数据类型不同，可能有 256 种取值或者 2^k 种取值，当 $k=1$ 时即退化为二值图像。

3. RGB 图像

RGB 色彩模式是工业界的一种颜色标准，是通过对红 (R)、绿 (G)、蓝 (B) 三个颜色通道的变化以及它们相互之间的叠加来得到各式各样的颜色，RGB 即是代表红、绿、蓝三个通道的颜色，这个标准几乎包括了人类视力所能感知的所有颜色，是目前运用最广的颜色系统之一。

在计算机中，RGB 的所谓“多少”就是指亮度，并使用整数来表示。通常情况下，RGB 各有 256 级亮度，用数字表示为从 0、1、2 直到 255。注意虽然数字最高是 255，但 0 也是数值之一，因此共 256 级。按照计算，256 级的 RGB 色彩总共能组合出约 1678 万种色彩，即 $256 \times 256 \times 256 = 16777216$ 。通常也被简称为 1600 万色或千万色。也称为 24 位色 (2 的 24 次方)。

RGB 是从颜色发光的原理来设计定的，通俗点说它的颜色混合方式就好像有红、绿、蓝三盏灯，当它们的光相互叠合的时候，色彩相混，而亮度却等于两者亮度之总和，越混合亮度越高，即加法混合。红、绿、蓝三盏灯的叠加情况，中心三色最亮的叠加区为白色，加法混合的特点：越叠加越明亮。红、绿、蓝三个颜色通道每种色各分为 256 阶亮度，在 0 时“灯”最弱，是关掉的，而在 255 时“灯”最亮。当三色灰度数值相同时，产生不同灰度值的灰色调，即三色灰度都为 0 时，是最暗的黑色调；三色灰度都为 255 时，是最亮的白色调。

4. 索引图像

索引图像的文件结构比较复杂，除了存储图像的二维矩阵外，还包括一个称之为颜色索引矩阵 MAP 的二维数组。MAP 的大小由存储图像的矩阵元素值域决定，如矩阵元素值域为 $[0, 255]$ ，则 MAP 矩阵的大小为 256×3 ，用 $MAP = [RGB]$ 表示。MAP 中每一行的三个元素分别指定该行对应颜色的红、绿、蓝单色值，MAP 中每一行对应图像矩阵像素的一个灰度值，如某一像素的灰度值为 64，则该像素就与 MAP 中的第 64 行建立了映射关系，该像素在屏幕上的实际颜色由第 64 行的 $[RGB]$ 组合决定。也就是说，图像在屏幕上显示时，每一像素的颜色由存储在矩阵中该像素的灰度值作为索引通过检索颜色索引矩阵 MAP 得到。索引图像的数据类型一般为 8 位无符号整型 (int8)，相应索引矩阵 MAP 的大小为 256×3 ，因此一般索引图像只能同时显示 256 种颜色，但通过改变索引矩阵，颜色的类型可以调整。索引图像的数据类型也可采用双精度浮点型 (double)。索引图像一般用于存储色彩要求比较简单的图像，如 Windows 中色彩构成比较简单的壁纸多采用索引图像存储，如果图像的色彩比较复杂，就要用到 RGB 真彩色图像。

1.1.4 数字图像处理系统

数字图像处理 (Digital Image Processing) 是指应用计算机来合成、变换已有的数字图像，从而产生一种新的效果，并把加工处理后的图像重新输出，这个过程称为数字图像处理，也称之为计算机图像处理 (Computer Image Processing)。数字图像处理系统的组成架构如图 1-1 所示。数字图像处理模块是该系统的核心模块，它的研究水平直接决定该系统的质量。

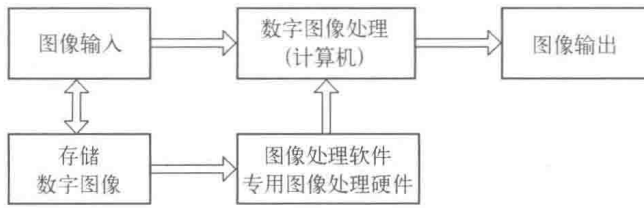


图 1-1 数字图像处理系统组成

1.2 数字图像处理发展史及发展趋势

数字图像处理技术起源于 20 世纪 20 年代，但真正发展是在 80 年代以后，随着计算机技术和人工智能和思维科学研究的迅速发展，图像处理正向着高速、高分辨率、立体化、多媒体化、智能化和标准化的方向发展。在图像通信、办公自动化系统、地理信息系统、医疗设备、卫星照片传输及分析和工业自动化领域具有非常广泛的应用，并且出现了众多的图像处理理论和算法（小波分析、分形理论、形态学理论、遗传算法、神经网络等）。

进入 21 世纪，随着计算机技术的迅猛发展和相关理论的不完善，数字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，如航空航天、生物医学工程、工业检测、机器人视觉、公安司法、军事制导等。

20 世纪末到 21 世纪初在图像处理技术领域出现了一些新热点。

- 1) 图像安全：图像数字水印、图像信息隐蔽。
- 2) 图像自动识别：人体生物特征提取与验证。
- 3) 图像理解：图像匹配与融合。
- 4) 图像数据库：基于内容的图像和视频检索。
- 5) “传统的”图像分割和图像压缩编码等领域仍有研究的价值。
- 6) 在硬件技术方面，要在进一步提高精度的同时着重解决处理速度问题。
- 7) 智能图像信息处理新理论与新技术的研究。
- 8) 图像处理领域的标准化的研究。

另外，作为边缘学科，图像处理技术更应该注意借鉴其他学科的理论、技术和方法，完善图像处理的理论和技术体系。

1.3 数字图像处理的特点

1. 数字图像处理具有数字信号处理技术共有的特点

(1) 处理精度高

对于一幅图像进行数字化时不管是用 4 bit、8 bit 还是其他位数表示，只需改变计算机中程序的参数，处理方法不变。所以从原理上讲不管对多高精度的数字图像进行处理都是可能的。而在模拟图像处理中，要想使精度提高一个数量级，就必须对装置进行大幅度改进。

(2) 重现性好

不管是什么数字图像，均用数组或数组集合表示。在传送和复制图像时，只在计算机内部进行处理，这样数据就不会丢失或遭破坏，保持了完好的再现性。而在模拟图像处理过程中，就会因为各种干扰因素而无法保持图像的再现性。

(3) 灵活性高

改变处理图像的计算机程序，可对图像进行各种各样的处理，如上下滚动、漫游、拼接、合成、变换、放大、缩小和各种逻辑运算等，所以灵活性很高。

2. 数字图像处理的视觉效果

处理后的图像质量的优劣受人的主观因素的影响，其评价体系难以统一。机器视觉更不如人类视觉。

3. 数字图像处理技术适用面宽

原始模拟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、超声波图像或红外图像。

4. 数字图像处理技术综合性强

交叉学科，涵盖了数学、物理、光学、计算机技术、电子技术、摄影技术、电视技术、通信技术等，与模式识别、计算机视觉、计算机图形学等专业相互交叉。

5. 数字图像处理不足之处

- 1) 数字图像处理的信息大多是二维或二维以上的多维信息，数据量巨大。
- 2) 数字图像信号占用的频带较宽。
- 3) 处理费时。

1.4 数字图像处理的工程应用

数字图像处理在生物医学、遥感、工业、军事、通信、公安等领域有着广泛的应用。

生物医学：利用电磁波谱成像分析系统诊断病情，如显微镜图像分析、DNA 成像分析等；CT、MRI、B 超、血管造影、红外乳透、显微病理、电子显微镜、远程医疗图像、皮肤图像、X 射线、 γ 刀与 χ 刀脑外科等都离不开图像，如通过三维测量可视化软件系统可对各类医学断层图像进行分析处理，提供诊断依据。

遥感：农、林等资源的调查，农作物长势监测，自然灾害监测、预报，地势、地貌测绘以及地质构造解释、找矿，环境污染检测等。

工业生产：无损探伤、石油勘探、生产过程自动化（识别零件、装配质量检查）、工业机器人等。

军事：航空及卫星侦察照片的测绘、判读，雷达、声纳图像处理，导弹制导，军事仿真等。

通信：图像传真，数字电视、网络可视聊天、可视电话、网页动画等。

公安：人脸、指纹、掌纹、虹膜等生物特征识别，印签、伪钞识别，安检，手迹、印记鉴别分析等。

气象预报：获取气象云图进行测绘、判读等。

1.5 数字图像处理的主要内容

数字图像处理的主要内容包括图像变换、图像增强、图像分割、图像特征提取、图像匹配和图像识别等。

(1) 图像变换

图像变换是简化图像的处理过程和提高图像处理效果的基本技术。图像变换 (Image Transformation) 包括空间变换和频域变换。空间变换可以看成图像中物体 (或像素) 空间位置改变, 如对图像进行缩放、旋转、平移、镜像翻转等。经采样得到数字图像为了保证空间和幅度分辨率, 图像阵列很大, 如果直接在空间域中进行处理, 需要较高的计算量和存储空间。因此, 往往采用各种图像变换的方法, 如傅里叶变换、沃尔什变换、离散余弦变换等间接处理技术, 将空间域的处理转换为变换域处理, 不仅可减少计算量, 而且可以更有效地进行运算。目前新兴研究的小波变换在时域和频域中都具有良好的局部化特性, 而得到广泛应用。

(2) 图像增强

图像增强 (Image Enhancement) 目的是改善图像质量, 突出图像中感兴趣的区域或特征, 使图像更加符合人类的视觉效果, 从而提高图像判读和识别效果。图像增强方法分为两类: 一类是空间域处理法; 另一类是频域处理法。空间域是直接对图像的像素进行处理, 基本上是以灰度映射变换为基础的。频域处理法是在图像的变换域内, 对变换后的系数进行运算, 然后再反变换到原来的空间域, 得到增强的图像。

(3) 图像分割

图像分割 (Image Segmentation) 是根据灰度、颜色、纹理和形状等特征把图像划分为有意义的若干区域或部分。图像分割是进一步进行图像识别、分析和理解的基础。常用的分割方法有阈值法、区域生长法、边缘检测法、聚类方法、基于图论的方法等。图像分割是图像分析的关键步骤, 也是图像处理技术中最古老的和最困难的问题之一。近年来, 许多研究人员致力于图像分割方法的研究, 但是到目前为止还没有一种普遍适用于各种图像的有效方法和判断分割是否成功的客观标准。因此, 对图像分割的研究还在不断深入之中, 它是目前图像处理中研究的热点之一。所以分割技术的未来发展趋势是除了研究新理论和新方法还要实现多特征融合、多分割算法融合。

(4) 图像特征提取

图像特征既包括图像承载的自然目标及背景的材质的反射和吸热特性, 各组成部分表面的光滑与粗糙程度, 各组成部分的形状、结构和纹理等特征在图像上的表象, 也包括人们为了便于对图像进行分析而定义的属性和统计特征。图像特征提取是图像目标识别的基础。

(5) 图像匹配

图像匹配是通过对比像内容、特征、结构、关系、纹理及灰度等的对应关系, 相似性和一致性的分析, 寻求相似影像目标的方法。图像匹配主要可分为以灰度为基础的匹配和以特征为基础的匹配。灰度匹配是基于像素的, 特征匹配则是基于区域的, 特征匹配在考虑像素灰度的同时还应考虑诸如空间整体特征、空间关系等因素。

(6) 图像识别

图像识别是指利用计算机对图像进行处理、分析和理解，以识别各种不同模式的目标和对象的技术。图像识别问题的数学本质属于模式空间到类别空间的映射问题。图像识别是以图像的主要特征为基础的。图像经过某些预处理（增强、复原、压缩）后，进行图像分割和特征提取，从而进行分类。目前主要有三种识别方法：统计模式识别、结构模式识别和模糊模式识别。

【课后习题】

1. 什么是数字图像？
2. 数字图像处理系统主要有哪几部分组成？
3. 数字图像处理包括哪些内容？
4. 数字图像处理的主要特点有哪些？
5. 例举一个与图像处理技术相关的工程应用案例，分析数字图像处理技术在工程案例中所起的作用。