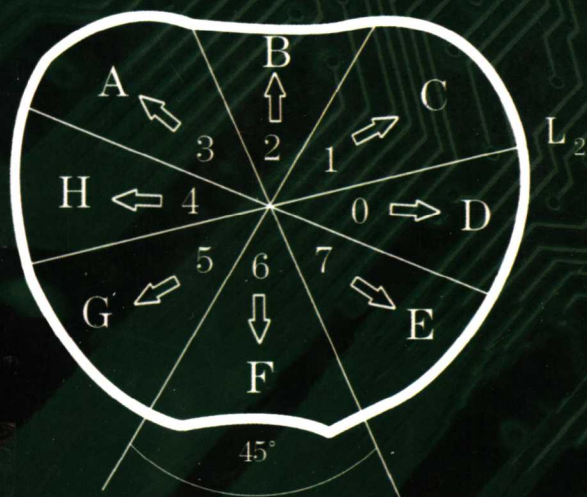


# 数字图像处理及应用

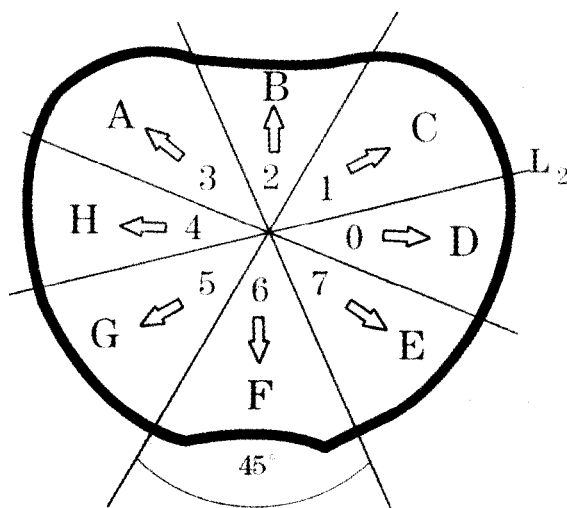
刘禾 编著



中国电力出版社  
www.infopower.com.cn

# 数字图像处理及应用

刘禾 编著



中国电力出版社

[www.infopower.com.cn](http://www.infopower.com.cn)

## 内容提要

本书系统地介绍了数字图像处理的基本原理、基本方法、相关技术和一些典型的应用。全书共分 11 章,第 1~4 章是图像处理的基础知识,分别介绍了数字图像处理的研究对象、研究内容、系统组成、人类视觉与色度学、图像数字化知识、图像的表达方式以及数字图像的种类和图像文件格式等相关知识。第 5~10 章是图像处理的重点内容,分别介绍了图像变换、图像增强与平滑、图像特征、图像编码、图像恢复等相关理论、方法和技术。第 11 章介绍了一些数字图像处理的典型应用实例。

本书可作为计算机、自动化、电子信息工程、测控技术与仪器、通信工程和电力工程等专业的教材,同时也适合于专门从事数字图像处理的科研人员参考使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理及应用/刘禾编著. —北京:中国电力出版社, 2005.12

ISBN 7-5083-3878-2

I. 数... II. 刘... 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(2005)第 134867 号

**书 名:** 数字图像处理及应用

**出版发行:** 中国电力出版社

地 址: 北京市三里河路 6 号

邮政编码: 100044

电 话: (010) 68358031 (总机)

传 真: (010) 68316497, 88383619

本书如有印装质量问题, 我社负责退换

服务电话: (010) 88515918 (总机)

传 真: (010) 88518169

E-mail: infopower@cepp.com.cn

**印 刷:** 汇鑫印务有限公司

**开本尺寸:** 185×233

**印 张:** 19.25

**字 数:** 443 千字

**书 号:** ISBN 7-5083-3878-2

**版 次:** 2006 年 1 月北京第 1 版

**印 次:** 2006 年 1 月第 1 次印刷

**印 数:** 0001—3000 册

**定 价:** 28.00 元

版权所有, 翻印必究

# 前 言

数字图像处理是随着计算机和微电子技术迅猛发展的一门新兴学科,并在军事、工业、医学、农业、交通、公安、金融、测绘、气象、地质等领域已得到了普遍的应用,而且随着数字图像处理的理论、方法和技术的不断发展,其应用范围必将进一步扩大。因此,为了更好地适应信息化、数字化社会对我们的要求,作者结合十几年的教学和科研实践经验编写了此书。

本书系统介绍了数字图像处理的基本原理、基本方法、相关技术和一些典型应用。全书共 11 章。先后介绍了数字图像处理的研究对象、研究内容、系统组成、人类视觉与色度学、图像数字化知识、图像数学表达、数字图像的种类和图像文件格式、图像变换、图像增强与平滑、图像特征、图像编码、图像恢复等内容。同时还介绍了作者所做过的一些数字图像处理应用实例。此外本书附录还介绍了 Matlab 图像处理工具箱,简要概述了数字图像处理中常用的函数介绍。

本书具有如下特点:

(1) 知识全面、系统、新颖。从图像形成到数字图像处理系统,再到数字图像处理的基本理论、方法和技术,都予以一一介绍,知识全面、系统。同时本书还增加了对新理论、新方法和新技术的介绍。

(2) 实用性强。对于一些实际应用必须考虑的问题,如电视信号、视频信号采样以及图像采样的标准等知识,本书特别加以详细的介绍。

(3) 内容简洁。简明扼要地介绍了图像处理的基本理论,对一些公式不作繁琐推导;一些概念尽量用语言、图形和图像进行直观地说明。

(4) 理论与实践相结合。本书给出了 Matlab 图像处理的简单程序,使读者对所学的理论知识只需通过简单的 Matlab 程序即可进行图像处理实践,大大提高了学习的兴趣。

(5) 启迪应用灵感。通过详细介绍数字图像处理的典型应用来启迪读者的应用灵感,进而起到抛砖引玉的作用。

本书是为高等院校计算机、自动化、电子信息工程、测控技术与仪器、通信工程和电力工程等专业高年级学生和研究生而编写的教科书,也可作为从事数字图像处理的科研人员的参考书。因而本书读者应该已具备了线性代数、概率论与随机过程、电子技术、信号与系统、数字信号处理、微机原理、计算机语言等方面的知识。

本书在编写和出版过程中,得到了华北电力大学有关领导和同事的关怀和支持,特别是白焰和韩璞两位教授给予了巨大帮助,同时王燕晋、崔双博、杨大锚和朱伟波等研究生

参与了部分章节的文字输入和绘图工作，在此一并表示衷心的感谢！

数字图像处理涉及的知识面很广，鉴于作者的学识水平，书中难免有谬误之处，敬请读者指正。

刘 禾

2005年9月

# 目 录

前 言	
第 1 章 导论	1
1.1 数字图像处理的主要内容	1
1.2 数字图像处理系统	5
1.3 数字图像处理的应用	6
第 2 章 人类视觉与色度学	10
2.1 人眼构造	10
2.2 光学的基本知识	11
2.3 人眼的视觉特性	14
2.4 色度学基础	19
第 3 章 图像数字化	27
3.1 电视信号基础	27
3.2 常见的成像设备	33
3.3 图像数字化	38
3.4 数字图像处理系统的硬件结构	45
3.5 图像的种类与属性	47
3.6 图像文件格式	49
第 4 章 图像的数学表示	62
4.1 图像的一般数学描述	62
4.2 图像的几何模型	64
第 5 章 图像变换	71
5.1 傅里叶变换	71
5.2 离散图像变换的一般表达式	79
5.3 离散余弦变换	80
5.4 沃尔什—哈达玛变换	82
5.5 离散卡胡南—洛夫变换	84
第 6 章 图像增强与平滑	87
6.1 直方图	87
6.2 灰度变换	92
6.3 图像平滑	96
6.4 图像锐化	105

6.5	图像彩色增强 .....	112
<b>第 7 章</b>	<b>图像分割 .....</b>	<b>115</b>
7.1	边缘检测 .....	116
7.2	图像阈值分割 .....	126
7.3	区域增长法 .....	131
7.4	图像匹配 .....	134
7.5	彩色图像分割 .....	138
<b>第 8 章</b>	<b>图像特征 .....</b>	<b>140</b>
8.1	图像链码描述 .....	140
8.2	图像幅值特征 .....	142
8.3	图像的几何特征 .....	147
8.4	形状特征 .....	152
8.5	纹理特征 .....	162
8.6	其他特征 .....	169
<b>第 9 章</b>	<b>图像编码 .....</b>	<b>173</b>
9.1	图像编码概述 .....	173
9.2	熵编码 .....	181
9.3	预测编码 .....	192
9.4	变换编码 .....	198
9.5	子带编码 .....	206
9.6	小波变换编码 .....	211
9.7	静止图像编码标准 JPEG .....	226
<b>第 10 章</b>	<b>图像恢复 .....</b>	<b>242</b>
10.1	系统退化模型 .....	242
10.2	无约束恢复 .....	247
10.3	有约束恢复 .....	251
10.4	交互式恢复 .....	255
10.5	几何失真恢复 .....	257
10.6	非线性滤波恢复 .....	261
<b>第 11 章</b>	<b>数字图像处理应用 .....</b>	<b>268</b>
11.1	锅炉火焰图像检测 .....	268
11.2	燃烧稳定性判别 .....	274
11.3	二维温度场测量 .....	277
11.4	苹果坏损自动检测与分类 .....	283
<b>附录 A</b>	<b>Matlab 的图像处理工具箱 .....</b>	<b>294</b>
	<b>参考文献 .....</b>	<b>298</b>

# 第 1 章 导 论

## 1.1 数字图像处理的主要内容

### 1.1.1 图像与数字图像处理

在介绍数字图像处理前,我们必须对图像的含义有所了解,特别是要了解图像与图形的区别。目前对“图像”一词还很难给出一个明确的定义。许多文献也从不同的角度给予了一些定义和解释,但一般认为,图像(Image)是客观物体的一种表示,是现实世界的反映。照片、绘画和电视画面等是图像最直观的例子。此外,一幅图像同时含了所表示的物体的某种信息。例如,一幅人物照片是该人物某次在镜头前得到的一个表示,照片就是以人可以看见的方式来显示某种信息。从图像是客观物体的一种表示的广义来理解,图像还包括人眼不能感知的各种物体的“表示”。随着科学技术的发展,一些技术已经可将人眼原来不能感知的物体通过相应的图像技术手段以人眼可感知的方式表示出来,如红外夜视仪、核磁共振成像设备和医学超声成像设备等就是这类图像技术。

对于图形(Graphics),一般认为它是一种抽象的“像”,是虚拟世界的实现。如  $x$  与  $y$  具有  $y = \sin x$  的函数关系,为了形象直观地表示它们之间的关系,人们常在由  $y$  和  $x$  轴组成的二维平面空间画出它们的对应关系,这就是人们所说的曲线,这种由函数画出的曲线就是一种图形。

从人类接收的信息类型来看,信息可分为视觉信息、听觉信息、味觉信息、嗅觉信息和触觉信息。图像被认为是一种以某种技术手段被再现于二维画面上的视觉信息。从这个观点来看,描述函数的曲线图形对于人眼来说也是一种图像。

因此图像对于人类视觉来说,可以有以下几种形式,如图 1-1 所示。

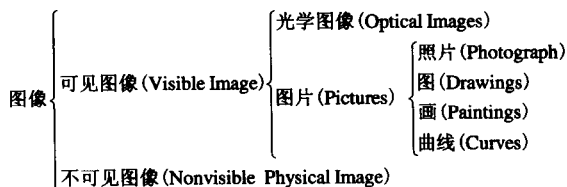


图 1-1 图像的分类

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。根据所采用的处理技术与方法



的不同，图像处理可分为模拟图像处理（Analog Image Processing）和数字图像处理（Digital Image Processing）。

模拟图像处理主要采用光学技术和模拟电子技术对图像进行处理。如调整摄像机的光圈以改变图像亮度和色调、电视信号放大等都属于模拟图像的处理范畴。模拟图像处理的优点是速度快。缺点是处理的灵活性差。

数字图像处理就是用数字计算机或其他有关数字技术对图像进行处理，并以此来实现某种应用目的。

数字图像处理的前提是：将图像进行数字化处理，这是由于目前数字图像处理都采用计算机进行处理，而计算机是数字的，只能处理数字，所以图像在用计算机处理前必须转化为数字形式，这种用数字形式表示的图像称为数字图像。

图 1-2 表明如何用一个数字阵列来表示一个物理图像。物理图像被划分为一个个称做图像元素（Element）的小区域，图像元素简称为像素（Pixel）。最常见的划分方案是图 1-2 中所示的方形采样网格，图像被分割成由相邻像素组成的许多水平线，每个像素位置上的数值代表物理图像上对应点的亮度。

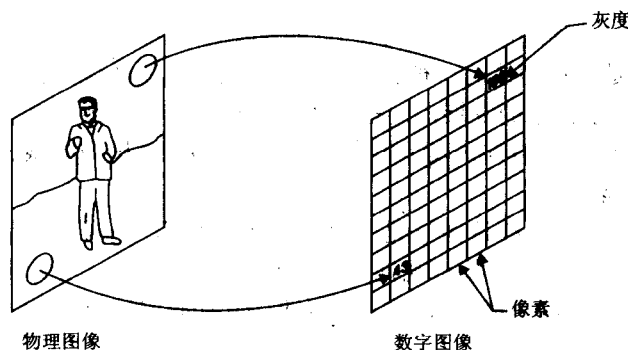


图 1-2 物理图像及对应的数字图像

图像转化的过程称为数字化，它是将一幅图像从原来的形式转换为数字形式的处理过程。当黑白图像数字化时，在每个像素位置上，图像的亮度均被采样和量化，从而得到一个与该图像点亮暗程度相对应的整数值。对所有的像素都进行上述转化后，一幅连续的物理图像就变成了一幅  $M$  行、 $N$  列的数字图像（ $M \times N$  个像素），可用一个  $M \times N$  的整数矩阵  $F$  来表示：

$$F = \begin{bmatrix} f(1,1) & f(1,2) & \cdots & f(1,N) \\ f(2,1) & f(2,2) & \cdots & f(2,N) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M,1) & f(M,2) & \cdots & f(M,N) \end{bmatrix} \quad (1-1)$$

图像像素具有两个属性：位置和灰度。位置是由扫描线内采样点的坐标决定的，它们称为

行和列。表示该像素位置上亮暗程度的整数称为灰度,至此代表图像的整数矩阵  $F$  就可作为计算机处理的对象了。

目前常用  $M \times N$  的形式来描述一幅数字图像的采样分辨率情况,其中  $M$  表示每行(横向)的像素数,  $N$  为每列(纵向)的像素数,它与采样后按采样次序存储的整数矩阵  $F$  的关系是转置关系,这是在数字图像处理中需要注意的一个问题。

对于彩色图像,多数采用 RGB(红、绿、蓝)模型来表示图像的色彩,则彩色图像经过数字化后,可用 3 个矩阵  $F_R$ 、 $F_G$  和  $F_B$  来表示一幅数字彩色图像,其中矩阵  $F_R$  中的元素  $f_r(i, j)$  表示数字彩色图像  $i$  行、 $j$  列处的  $R$  分值大小,其他矩阵元素的理解依次类推。在实际应用中也常采用一个三维整数数组  $F(N, M, 3)$  来表示数字彩色图像,如果图像是按照 RGB 格式存储的,则  $F(i, j, 1)$ 、 $F(i, j, 2)$  和  $F(i, j, 3)$  分别表示在图像  $(i, j)$  处的  $R$ 、 $G$  和  $B$  值。

### 1.1.2 数字图像处理的特点

数字图像处理主要依靠计算机对代表图像的整数矩阵进行处理,因此数字图像处理具有如下特点。

(1) 处理精度高,处理内容丰富,灵活性好,再现性好,适用面广。利用计算机进行图像处理,其实质是对矩阵进行各种运算。由于计算机技术的飞速发展,现在的计算机计算精度都很高,即使采用数字信号处理器(DSP)对图像进行处理,由于现在已有 32 位和 64 位的 DSP,故对于一般的图像处理来说,其处理精度是绰绰有余的。另外,通过编写不同的软件程序可以实现对图像的不同处理,如图像增强、图像滤波、图像恢复和图像压缩等,其处理内容十分丰富。通过调用不同的处理软件程序可以实现对图像的不同处理,因此具有相当的灵活性。此外对同一图像用相同的方法处理多次,也可得到完全相同的效果,具有良好的再现性。在图像处理程序中,可以任意设定或变动各种参数,从而有效地控制处理过程以达到预期的处理效果,这一特点在改善图像质量的处理中表现更为突出。由于图像处理是通过程序进行的,因此,设计不同的图像处理程序可以实现各种不同的处理目的,其适用性非常广泛。

(2) 图像数据量庞大,处理量大。图像中包含有丰富的信息,通过图像处理用户可获取图像中所包含的有用信息,但数字图像的数据量非常庞大。这是因为一幅数字图像是由图像矩阵中的像素组成的,通常每个像素都用红(R)、绿(G)、蓝(B)3种颜色表示,每种颜色用 8 位表示灰度级。则一幅不经压缩的  $1024 \times 1024$  像素的真彩色图像,数据量将达到 3MB(即  $1024 \times 1024 \times 8 \times 3 = 24\text{MB}$ )。如此庞大的数据量自然给存储、传输和处理工作都带来了巨大的困难。如果精度及分辨率再提高,所需的处理时间更将大幅度增加。因此对于一些具有实时要求的图像处理系统必须采取相应的图像处理措施,否则会影响其实时性。

(3) 知识和技术综合性强。数字图像处理涉及的领域相当广泛,如计算机科学、通信科学、数学、物理学及微电子技术和电视技术等,当然数字图像处理的具体应用还会涉及到相关领域的专业知识,本书只是介绍具有广泛适用性和普遍性的图像处理基本知识和方法。

### 1.1.3 数字图像处理、计算机视觉和计算机图形学

数字图像处理，又称计算机图像处理（Computer Image Processing）是研究由物体到图像并进行处理的一类理论与技术。研究内容主要涉及到图像数字化、图像增强、图像恢复、图像编码和图像特征描述等各个方面，数字图像处理通常就是把一幅图像变换成另外一幅图像。

计算机视觉（Computer Vision），又称机器视觉（Machine Vision），研究用机器代替人的视觉，主要着重研究图像的三维重建、运动图像分析和图像识别、分析与理解。也有学者将计算机视觉归为对图像的 3 个处理层次，如图 1-3 所示，它们分别是图像低层处理：主要研究图像的数字化处理、图像的各类预处理（如图像恢复、图像增强等）和图像分割，研究内容与数字图像处理基本相同，研究重点主要放在对静止图像的二维处理上。图像中层处理：主要研究静、动态图像特征的提取与表达，此外还重点研究三维图像重建。图像高层处理：研究内容注重对图像的识别、分析和理解。从这个意义来看，以介绍图像数字化、图像增强、图像恢复、图像编码和图像特征描述等内容为主的数字图像处理与计算机视觉有相同之处。当然二者也有不同之处：如计算机视觉一般较少或不涉及到图像编码（压缩），而数字图像处理一般较少涉及对图像三维重建（立体视觉）、运动图像分析、图像识别、分析和理解等方面；数字图像处理重点强调的是对图像的处理，虽然有的数字图像处理书籍介绍了图像分析的内容，但作者认为图像分析内容不是数字图像处理的重点，该内容归到计算机视觉中更为恰当。

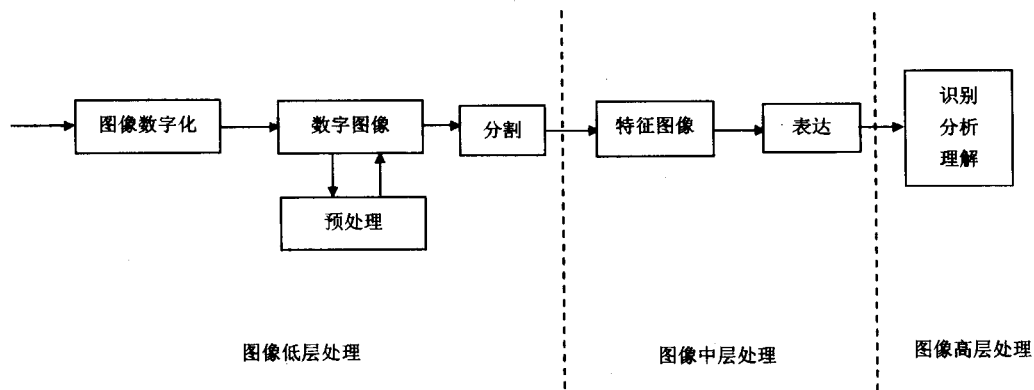


图 1-3 计算机视觉图像处理的 3 个层次

计算机图形学（Computer Graphics）研究用计算机将概念或数学描述的物体进行显示（表示）或处理，是一种由抽象到图像的过程。计算机图形学在可视化（Visualization）和虚拟现实（Virtual Reality）中发挥着非常重要的作用。计算机图形学和计算机视觉在其发展的早期没有什么联系，但是近年来其联系越来越紧密：计算机视觉使用了计算机图形学的曲线和曲面表示方法以及其他的一些技术，如计算机视觉中的三维图像重建后的图像显示方法就利用了计算机图形学的理论和方法；同时计算机图形学也使用了计算机视觉方法以便在计算机中建立逼真的图像模型。可视化和虚拟现实把这两个领域紧密地联系在一起。

### 1.1.4 数字图像处理的内容

数字图像处理的研究内容概括起来可包括以下 5 个方面。

(1) 图像的摄取与数字化：研究如何进行图像获取并转换成适合计算机或数字图像设备处理的数字信号。

(2) 图像增强：增强图像中的有用信息，削弱干扰和噪声，以便对图像进一步的处理和分析。

(3) 图像恢复：将退化或模糊了的图像复原。

(4) 图像编码：为便于图像存储和传输，在满足一定的保真度要求下，简化图像的表达，从而大大压缩表示图像的数据。

(5) 图像特征描述：提取图像特征并予以描述，为图像识别、分析和理解奠定基础。

应该强调的是，对于这 5 个方面，不管数字图像处理应用的目的如何，其图像处理都具有一定的共性。而图像分析则由于应用目的不同，分析方法也不尽相同，且需要较多相应领域的专门知识，所以很难给出一种具有共性的分析方法。

## 1.2 数字图像处理系统

数字图像处理系统分为通用数字图像处理系统和专用图像处理系统。像超声波成像诊断仪、X 线数字减影血管仪、磁共振成像设备等，均属于专用图像处理系统。而一般计算机加图像采集卡的系统则属于通用数字图像处理系统。专用图像处理系统一般指最终用户使用的系统，对用户来讲，这种系统无需二次开发，可以直接使用。而通用数字图像处理系统一般需要二次开发才能实现具体的应用目的。

通用数字图像处理系统的一般结构如图 1-4 所示，首先由图像感应器获取图像信息，如果图像感应器具有数字图像输出功能，则通过与计算机的相应接口将数字图像送入计算机中；如果图像感应器无数字信号输出功能，则需将其输出的模拟图像信号进行 A/D 转换，转换成数字图像，然后再将数字图像送入计算机的内存中；最后由计算机通过软件完成对数字图像的各种处理，处理后的图像还可以通过图像输出设备（如图像显示器、打印机等）对图像进行显示和输出。

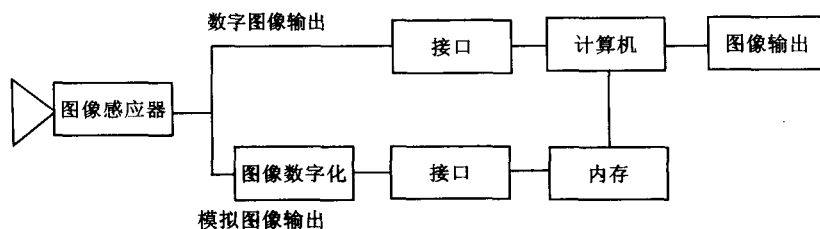


图 1-4 数字图像处理系统一般结构

## 1.3 数字图像处理的应用

### 1.3.1 数字图像处理的发展与应用

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1920年的技术水平来看,如果不进行压缩,传输一幅图像大约需要一星期的时间,而经过压缩后只用了3小时。1964年美国喷气推进实验室处理了太空船“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的概念开始得到应用。其后,数字图像处理技术发展迅速,并成为工程学、计算机科学、信息科学、统计学、物理学、化学、生物学、医学甚至社会科学等领域各学科之间学习和研究的对象。如今数字图像处理已给人类带来了巨大的经济和社会效益,其应用领域也愈来愈广,已应用到军事、通信、医学、工业、农业、地质、气象、公安和体育等各个方面。

- 军事:目标侦察、精确制导、电子地图、目标跟踪等。
- 通信:数字电视、电视电话、图像传输等。
- 医学:B型超声、X-CT、放射性同位素扫描、核磁共振成像等。
- 工业:无损探伤、产品质量检测、工业机器人、生产过程控制等。
- 农业:农作物产量估计、植被分布情况调查、农产品自动分级等。
- 地质:资源勘测、地理信息系统(Geographic Information System, GIS)、地图绘制等。
- 气象:卫星云图分析等。
- 公安:指纹识别、人像组合和识别、电子警察、安全监控等。
- 体育:运动人体动作分析、骨龄检测等。

数字图像处理的应用十分广泛,上面罗列的只是其中的一小部分,还有许多应用并未一一列出。当前数字图像处理面临的主要任务是,研究新的理论、方法和技术,构造新的处理系统,开拓更广泛的应用领域。可以肯定的是,在不久的将来数字图像处理不仅在理论上会有更深入的发展,而且其应用也必将在科学研究、社会生产和人类生活中的各个方面充当愈来愈重要的角色。

### 1.3.2 数字图像处理在电力工业中的应用

为了提高电力生产和传输过程的安全性和经济性,数字图像处理正逐渐应用到电力工业的各个环节之中。其主要应用如下。

#### 1. 锅炉应用

(1) 火焰检测。为了保证锅炉的安全运行,锅炉必须安装火焰检测器。但由于多种原因,传统的火焰检测方法可靠性不高,且无法提供火焰燃烧的图像信息。基于数字图像处理的火焰图像检测系统采用了火焰图像传感器,从而可将火焰图像采集到计算机中进行处理。由于图像检测的视角大,同时采用了有效的火焰检测算法,从而使火焰检测的可靠性有了显著提高。该系统不仅具有“有火/无火”检测功能,同时还具有燃烧稳定性判别和燃烧状况监测功能。火

焰图像检测系统使火焰检测技术实现了一个质的飞跃，并已在一些电厂中得到了应用，为锅炉安全运行提供了可靠的保障。随着计算机和数字信号处理器（DSP）技术的不断发展，火焰图像检测系统最终必将成为火焰检测的主流设备。

(2) 燃烧诊断。燃烧火焰温度场分布是反映锅炉燃烧状况的一个重要参量。将数字图像处理和热辐射原理相结合测量炉膛内火焰动态温度场以及相应参数，对锅炉燃烧的监控与诊断有重要意义。目前有两种技术路线可进行温度场测量。一种是建立在对单个燃烧器火焰图像检测基础上的温度场测量，温度场分布反映了燃烧器组织燃烧是否合理，在此基础上进行火焰是否偏移等燃烧器在线诊断。另一种是全炉膛火焰图像监测系统，在炉膛上方通过特殊潜望镜获得炉内火焰图像，经 CCD 摄像机变成视频信号，再通过采集送到计算机中，经过计算可获得二维温度场。通过温度场分析，可以进行火焰中心是否偏斜、火焰是否刷墙、是否结焦以及是否局部熄火等一些燃烧诊断。除了建立在温度场之上的燃烧诊断外，还有基于图像灰度复杂性测度的炉膛燃烧状况诊断和神经网络燃烧诊断，但如何充分利用图像信息并与其他技术相结合，开发出更好、更加综合全面的燃烧诊断技术还需要进一步研究。

(3) 氮氧化物估计。燃煤会产生气态污染物——氮氧化物（ $\text{NO}_x$ ）。在我国随着电力工业的发展， $\text{NO}_x$  的排放量逐年增加，积极开展治理  $\text{NO}_x$  排放的研究工作已刻不容缓。由于  $\text{NO}_x$  的生成是一个复杂的过程，因而预测和控制  $\text{NO}_x$  的排放是一个困难的课题，现在很多电厂对锅炉运行中  $\text{NO}_x$  的排放还没有有效的监测系统。影响煤粉燃烧过程中生成  $\text{NO}_x$  的主要因素有：温度场分布、煤粉着火时间、过量空气系数、燃煤性质、空气预热温度等。温度场分布和煤粉着火时间可通过对火焰图像处理而获得，过量空气系数、空气预热温度可在线测量获得，燃煤性质可经煤质分析得到，因此将数字图像处理和其他测量技术相结合，通过研究  $\text{NO}_x$  的生成情况，预测  $\text{NO}_x$  的排量，从而找到一条降低  $\text{NO}_x$  的途径，其意义不言而喻。

(4) 燃烧控制。燃烧控制系统的主要任务之一是维持主汽压的稳定。影响汽压稳定的主要因素有以燃料量为代表的燃烧率扰动（内扰）和以汽轮机耗汽量为代表的外界负荷扰动（外扰）。由于从入炉燃料到主汽压的控制通道本身有很大的滞后特性，再加上入炉燃料测量有一定困难，所以这些就影响了燃烧控制系统抗扰动能力，也影响了单元机组的动态性能。因此迫切需要寻找一个能够快速反映燃烧工况变化的物理量以组成新的燃烧控制系统。利用 CCD 摄像系统获取火焰图像，由计算机完成图像采集与处理后可获得能快速、直观地反映炉内燃烧状况的炉膛辐射能信号，以此为基础组成以膛辐射能为副参数的新型燃烧控制系统，研究证明：该控制系统的动态性能显著优于传统系统，抗扰能力强。通过火焰图像获得炉膛三维温度场，并以此为控制目标，建立多态燃烧模式控制是一个研究方向，这对优化燃烧、提高锅炉经济效益有着重要意义。

(5) 试验研究。流化床技术得到了广泛应用，但是对流化床中气—固运动规律还未完全掌握，以至于流化床的放大设计问题一直没能很好解决。数字图像处理为研究气—固运动规律提供了一种重要的技术手段。经过图像分析，目前已找到一些条件下的气—固运动规律。此外，数字图像处理还用于锅炉空气动力场试验中，为掌握大型煤粉锅炉燃烧器的性能，提高试验效率，改善试验工作环境提供了先进的技术支持。

## 2. 燃料管理应用

(1) 存煤量测量。煤场存煤量的计量对电厂经济指标有着直接影响。传统的人工丈量方法耗时费力, 计量不准确。采用主动光源的数字图像处理系统较好地解决了这一问题。它是由激光光源、计算机图像处理系统、机械转动系统和光学调整系统所组成的。由计算机拟合出煤堆表面形状, 从而快速、准确地测算出煤场存煤量。它实现了露天煤场存煤量的自动计量, 为火电厂燃煤管理自动化提供了技术基础。

(2) 煤位检测。电厂原煤仓煤位测量一直是一个亟待解决的问题, 基于数字图像处理的原煤仓煤位测量方法较好地解决了这一问题。其技术关键是重构三维物体的表面。采用辅助光源是获取三维信息的一种技术方法, 同时采用激光辅助光源解决了图像锐化和平滑处理的矛盾, 该方法通过对图像的处理可得到煤层的边界图像, 然后运用相关算法即可得出原煤仓煤位。由于其没有机械部件, 故可靠性高, 是一种全新的煤位测量技术。

## 3. 故障诊断应用

红外热像反映了被测物体的温度分布特性, 因此可利用这个特性来实现设备的故障检测与诊断。红外热像技术非接触、高灵敏度、快速、准确、安全地测定物体表面相对温度场分布, 在不停运和不解体设备的情况下实现对物体的快速成像, 并且由计算机(或 DSP)做相应分析和处理, 处理结果多以图像方式显示, 具有直观、形象等特点, 因此在国内电力行业中得到了广泛的应用。电力工业中的各种设备往往由于故障而导致设备温度有异常变化, 通过分析设备运行时的红外热像就可找出这种异常, 然后就可以对设备潜伏故障和事故隐患属性以及具体位置和严重程度做出判定了。如输热管道漏热、动力机械轴系过热、锅炉水冷壁堵塞、电力设备接头、触头和连接部件过热、电器绝缘性能不好产生过热、电器漏磁或磁饱和等产生放热、油浸高压电器设备由于缺油而产生温度梯度、高压输电线局部断丝和断股等问题, 只要设备故障是以温度形式在外部表现出来, 都可采用红外热像技术进行故障检测和诊断。

## 4. 远程监控应用

随着自动化技术的迅猛发展, 变电站和水电站的无人值班(或少人值班)技术正在逐步推广。除了对电站遥控、遥测、遥调、遥信外, 现在又增加了巡视技术, 即通过数字远程图像监控系统在远方监视电站设备的运行情况和安全情况。

数字远程图像监控系统具有监控功能强、占用信道资源少、图像质量好、抗干扰能力强等优点, 现场图像可通过各类通道(电话线、微波、扩频、光缆等)进行远程传送, 其核心技术是利用数字图像压缩技术实现视、音频通信, 现在的压缩标准很多, 具体采用何种压缩标准应视信道资源情况和对图像的应用要求而定。

计算机作为系统中的核心设备, 除了能完成图像采集、压缩或解压等功能外, 还能对一些冒烟、起火、非法侵入等引起图像变化的情况进行监测。当监测图像变化时即启动报警和录像装置, 并将图像传到远方调度中心。报警条件由软件设定, 因而自动报警功能的可靠性较高。

数字远程图像监控系统还具有设备过热检测功能, 它是与红外测温技术相结合的结果。数字远程图像监控系统对电力系统安全生产, 特别是对无人值班变电站和水电站的安全运行, 有着非常重要的意义, 也有着显著的经济效益。

### 5. 电力建设应用

卫星遥感图像处理是数字图像处理的一个重要方面,利用卫星遥感图像在水电调查、规划和工程勘测等应用方面都收到了很好的效果。在水电建设前期,需要对水淹损失、库区环境影响、土地资源、工程地质构造等进行调查和分析,这些均可通过卫星遥感图像获得。在三峡电站工程的论证中,卫星遥感图像资料发挥了重要作用。

同时卫星遥感图像和航空影像的处理也是地理信息系统(GIS)技术的重要组成部分,在GIS中均采用图像表达和显示某些信息。GIS已用于输电线路设计、施工和运行维护管理,特别是在三峡电站工程建设中发挥了重要作用。另外GIS在电网规划、改建工程和用电管理方面也有应用。

### 6. 管理应用

长期以来,一些地方电度表的数据登录工作由人工完成,由于各种原因,抄录的数据不准,从而造成用户与电力单位之间的矛盾。准确、全面而又简便地采集各种电量数据,全面实现电费管理的电子化是当务之急。采用数字图像处理技术是解决这一问题的途径之一。

方法之一是通过摄像机采集电表的电量字符图像,再将图像信息输入到计算机内,通过图像识别技术(OCR技术)将读入的字符图像信息转化为计算机内码。这大大减轻了输入的工作强度,提高了数据录入速度,同时还可保存每只电度表的图像,减少了过程中的人工干预,方便了用户对电费的查询,并可以电表的实际图像来增加电费数据的可信度,提高了电费管理的效率和透明度。

此外,在对电力工程图纸管理中也采用了数字图像处理技术。

数字图像处理的诸多应用给电力工业带来了许多新意,解决了一些以前没能很好解决的问题,在实际应用中表现出了强劲的生命力。可以相信,随着计算机及其相关技术的进步,数字图像处理在电力工业中发挥的作用将愈来愈重要,应用的范围也将愈来愈广泛。



# 第2章 人类视觉与色度学

## 2.1 人眼构造

人眼是一个由3层薄膜包围着的球体器官，构造如图2-1所示。最外层是蛋白质膜，其中位于前方大约 $\frac{1}{6}$ 部分的有弹性的透明组织为

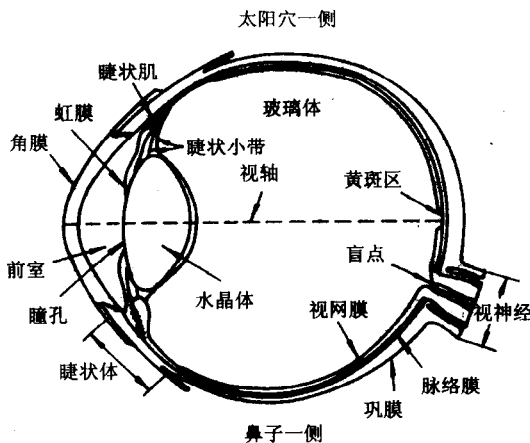


图2-1 人眼的构造

角膜，光线从这里进入眼内，其余 $\frac{5}{6}$ 部分的白色不透明组织为巩膜，它的作用是巩固及保护整个眼球。

在图2-1所示的人眼中，中间一层由虹膜和脉络膜组成。虹膜中间有一圆孔，称为瞳孔，它的大小可以由连接虹膜的环状肌肉组织（睫状肌）来调节，以控制进入眼睛内部的光通量大小。虹膜的颜色随种族不同而不同，有黑、蓝和褐色之分。

人眼的最内层为视网膜，它的表面分布有大量光敏细胞。光敏细胞按照形状分为锥状细胞和杆状细胞，锥状细胞约有600万~

700万个，集中分布在黄斑区内，每个锥状细胞都连接一个神经末梢。杆状细胞有7600万~15000万个，广泛分布在整个视网膜表面上，若干个杆状细胞连接在一根神经上。

锥状细胞既可分辨光的强弱，也可以辨别彩色，由于白天的视觉过程主要靠锥状细胞来完成，故锥状视觉又称白昼视觉。杆状细胞不能感知色彩，但它对低照明度的景物往往比较敏感。由于夜晚的视觉过程主要由杆状细胞来完成，因此杆状视觉又称为夜视觉。所以人眼夜晚所观察到的景物只有黑白、浓淡之分，较难分清颜色的差别。

在人眼中，除了有上述3层薄膜以外，在瞳孔后面还有一个扁球形的透明体，称为水晶体，由叫做睫状小带的肌肉支撑着。水晶体的作用如同可变焦距的一个透镜，它的曲率由睫状肌根据锥状细胞感受到的景物的焦距情况相应改变张力而进行调节，从而使景物始终能聚焦于黄斑区。

角膜和水晶体包围的空间称为前室，前室内是对可见光透明的水状液体，它能吸收一部分紫外线。水晶体以后为后室，后室内充满胶质透明体，这种透明体称为玻璃体，它起着保护眼睛的滤光作用。

人眼在观察景物时，光线通过角膜、前室、水晶体、后室后成像在视网膜的黄斑区周围。视网膜上的光敏细胞感受到强弱不同的光刺激，产生强度不同的电脉冲，并经神经纤维传到视