

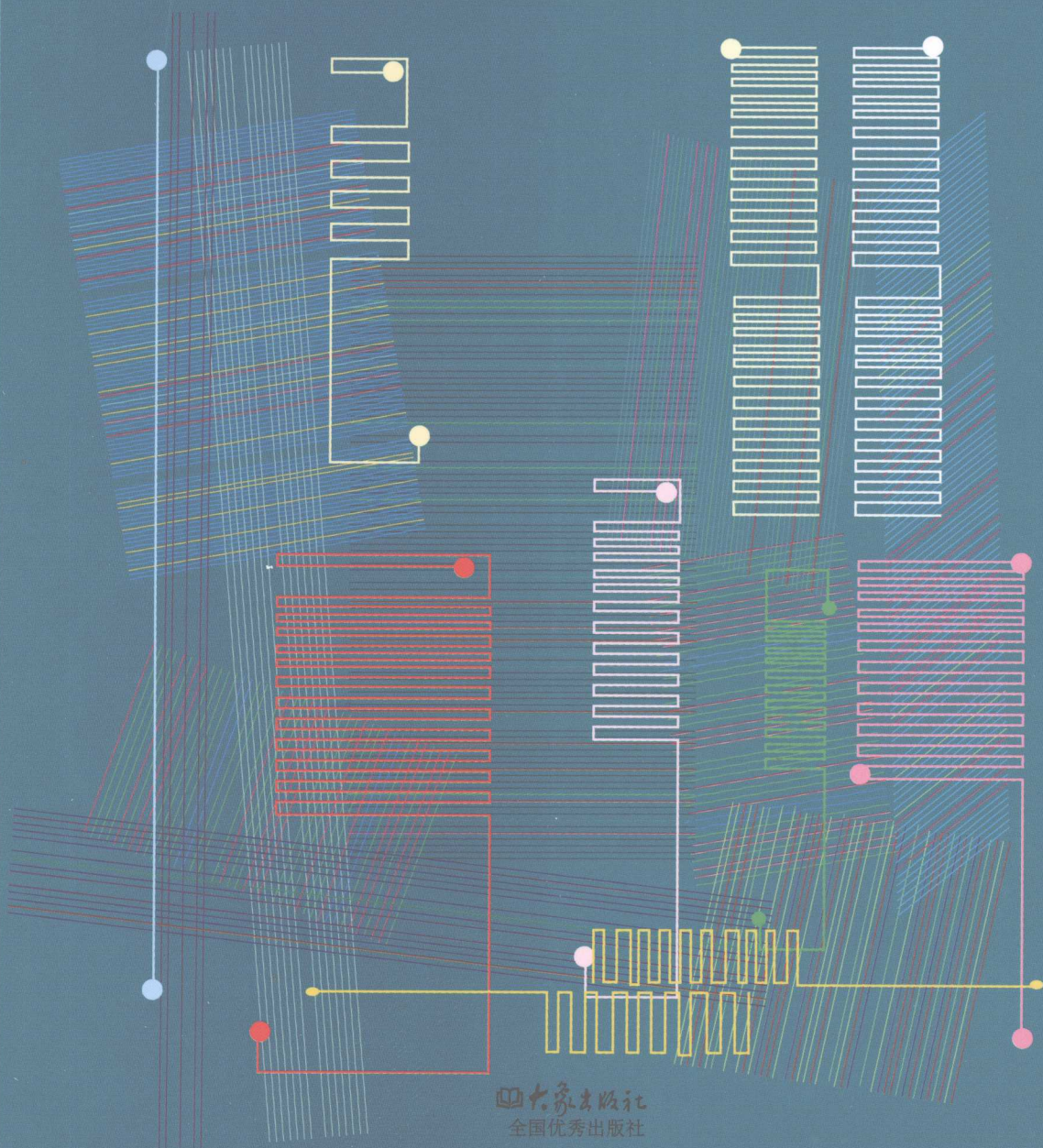
数字图像处理、

分析及应用

郭长安

编著

Digital image processing
analysis and application



人民邮电出版社
全国优秀出版社

数字图像处理、分析及应用

邬长安 编著

 大家出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理、分析及应用/邬长安编著. —郑州:大象出版社,2008.9

ISBN 978 - 7 - 5347 - 5316 - 9

I. 数… II. 邬… III. 数字图像处理 IV. TN911.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 145719 号

责任编辑 王茂森

特约编辑 韩家显

责任校对 钟 骄

封面设计 王晶晶

出 版 大象出版社 (郑州市经七路 25 号 邮政编码 450002)

网 址 www.daxiang.cn

发 行 全国新华书店

制 版 郑州普瑞印刷制版服务有限公司

印 刷 河南省瑞光印务股份有限公司

版 次 2008 年 9 月第 1 版 2008 年 9 月第 1 次印刷

开 本 787 × 1092 1/16

印 张 18.75

字 数 426 千字

印 数 1—1 000 册

定 价 32.00 元

若发现印、装质量问题,影响阅读,请与承印厂联系调换。

印厂地址 郑州市二环支路 35 号

邮政编码 450012

电话 (0371)63955319

前 言

图像是人类认识客观世界、获取和交换信息的主要媒体。数字图像处理是计算机信息处理的重要内容。随着大规模集成电路技术、计算机技术的迅猛发展,制约图像处理技术发展的瓶颈问题逐步得到解决,数字图像处理技术得到了人们的广泛关注,并取得了长足的进展,已成为当前研究的热点领域之一。近年来,信息高速公路、视频信息、遥感图像、数字电视、电子商务、网络应用等业务需求的不断增长,使得数字图像处理的应用领域越来越广泛,也越来越显示出其巨大的发展潜力和广阔的应用前景。目前,数字图像处理技术已在国防、遥感、通信、气象、交通、公安、计算机科学、空间科学、生物科学、医学等众多领域得到广泛应用,并产生了巨大的经济效益和社会效益。

数字图像处理是集光学、数学、电子学、计算机科学、生理学和心理学等学科为一体的一门综合性边缘学科。本书在编写中,力求做到理论性、系统性、实用性和实时性相结合。在内容安排上,既选取了有代表性的经典内容,又注意吸收最新研究成果,具有一定的深度和广度。在叙述上,力求概念准确,理论严密,论证简明扼要,理论联系实际。希望读者通过本书的学习,能全面地了解和掌握数字图像处理领域的基本概况、理论、方法、技术和应用。全书分为10章。第1章介绍数字图像处理的基本概念;第2章讨论正交变换及其在图像处理中的应用,特别注重各种变换的基本原理、方法、性质及应用;第3章讨论各种图像增强方法;第4章论述图像退化的数学模型及图像恢复算法;第5章介绍图像压缩与编码;第6章讨论图像分割的各种方法和技术;第7章讨论图像的特征抽取、区域描述、边界描述、纹理描述等图像描述与分析的技术及方法;第8章讨论彩色图像处理方法;第9章系统阐述小波变换的基本原理、方法和技术及其在图像处理中的应用;第10章论述分形理论的基本概念、原理和方法,及其在图像压缩编码中的应用。

考虑到数字图像处理的特点,本书在编写过程中力图体现相关理论的系统性、相关内容的结构性。在论述正交变换、小波变换、分形理论及其在图像处理中的应用等内容时,均从相关内容的基本概念、基本原理出发,循序渐进,逐步展开,力求读者完整地、系统地把握其精神实质,并能将其灵活运用至数字图像处理及其他研究领域。本书总体上可分为4部分。第1部分是数字图像处理的理论基础,由绪论和图像变换2章组成。第2部分是数字图像处理的理论、技术和方法,包括图像增强、图像恢复、图像压缩与编码、彩色图像处理

4章。第3部分是图像分析,包括图像分割、图像描述与分析2章。第4部分结合数字图像处理的最新研究成果,系统阐述了小波变换、分形理论在数字图像处理中的典型应用,包括小波变换、分形理论及其在数字图像处理中的应用2章。

多年来,作者一直从事数字图像处理、模式识别等课程的教学和相关领域的研究工作,2002年至2003年在北京大学做访问学者期间,得到了北京大学姜明教授、裘宗燕教授的悉心指导、关心和帮助,并完成了本书的框架和初稿。在本书编写过程中,参考和引用了许多国内外相关的文献和资料,也融入了作者的研究工作和教学经验。对姜明教授、裘宗燕教授以及本书中参考、引用文献和资料的作者深表感谢。

本书适用于信息处理、通信工程、自动控制、计算机等相关专业的学生、研究生阅读和使用,亦可作为相关专业技术人员的参考资料。

由于作者水平有限,书中难免有不足和不妥之处,恳请读者批评指正。

作者

2008年6月

目 录

| | |
|-----------------------|------|
| 第1章 绪论 | (1) |
| 1.1 引言 | (1) |
| 1.1.1 图像的概念 | (1) |
| 1.1.2 图像处理技术的发展 | (2) |
| 1.2 图像处理技术的分类、特点和应用 | (3) |
| 1.2.1 图像处理技术的分类 | (3) |
| 1.2.2 数字图像处理的特点 | (4) |
| 1.2.3 数字图像处理的应用 | (4) |
| 1.3 数字图像处理概述 | (6) |
| 1.3.1 数字图像处理系统 | (6) |
| 1.3.2 数字图像处理的空域和频域方法 | (7) |
| 1.3.3 数字图像处理的主要内容 | (7) |
| 1.3.4 数字图像处理中的若干术语 | (9) |
| 1.3.5 与数字图像处理相关的学科领域 | (10) |
| 第2章 正交变换及其在图像处理中的应用 | (11) |
| 2.1 引言 | (11) |
| 2.2 酉矩阵和正交矩阵的变换 | (11) |
| 2.2.1 一维变换 | (11) |
| 2.2.2 二维变换 | (13) |
| 2.2.3 酉变换的若干性质 | (16) |
| 2.3 Fourier 变换 | (18) |
| 2.3.1 一维连续 Fourier 变换 | (18) |
| 2.3.2 二维连续 Fourier 变换 | (20) |
| 2.3.3 一维离散 Fourier 变换 | (21) |
| 2.3.4 二维离散 Fourier 变换 | (29) |
| 2.4 余弦变换 | (36) |
| 2.4.1 离散余弦变换 | (37) |
| 2.4.2 DCT 的正交性 | (37) |
| 2.4.3 DCT 的计算 | (38) |

| | |
|----------------------------|-------------|
| 2.4.4 离散正弦变换 | (39) |
| 2.5 Walsh 变换 | (39) |
| 2.5.1 Walsh 函数 | (40) |
| 2.5.2 Walsh 函数的性质 | (47) |
| 2.5.3 离散 Walsh 变换 | (48) |
| 2.5.4 离散 Walsh-Hadamard 变换 | (51) |
| 2.5.5 快速 Walsh 算法 | (52) |
| 2.6 图像处理中其他几种常用正交变换 | (55) |
| 2.6.1 Haar 变换 | (55) |
| 2.6.2 斜变换 | (58) |
| 2.6.3 Hotelling 变换 | (59) |
| 第3章 图像增强 | (62) |
| 3.1 概述 | (62) |
| 3.2 图像的空域增强方法 | (63) |
| 3.2.1 点处理 | (63) |
| 3.2.2 空域滤波增强 | (74) |
| 3.3 图像的频域增强方法 | (85) |
| 3.3.1 频域增强的一般方法 | (85) |
| 3.3.2 图像频域平滑 | (86) |
| 3.3.3 图像频域锐化 | (88) |
| 3.3.4 同态滤波增强 | (89) |
| 3.4 彩色图像增强 | (90) |
| 3.4.1 伪彩色增强 | (90) |
| 3.4.2 假彩色增强 | (92) |
| 第4章 图像恢复 | (94) |
| 4.1 图像退化模型 | (94) |
| 4.1.1 图像退化与图像恢复的概念 | (94) |
| 4.1.2 图像退化的数学模型 | (94) |
| 4.1.3 循环矩阵和分块循环矩阵的对角化 | (98) |
| 4.2 代数图像恢复方法 | (103) |
| 4.2.1 无约束最小二乘方恢复 | (103) |
| 4.2.2 有约束最小二乘方恢复 | (104) |
| 4.3 频域图像恢复方法 | (109) |
| 4.3.1 逆滤波法 | (109) |
| 4.3.2 代数恢复方法中若干频域恢复方法 | (109) |
| 4.4 运动模糊图像的恢复 | (111) |
| 4.5 图像的几何校正 | (114) |

| | | |
|--------------------|-----------------|--------------|
| 4.5.1 | 图像空间坐标变换 | (115) |
| 4.5.2 | 像素灰度值的内插方法 | (117) |
| 第5章 图像压缩与编码 | | (119) |
| 5.1 | 概述 | (119) |
| 5.1.1 | 图像压缩与编码的意义 | (119) |
| 5.1.2 | 图像数据的相关性和冗余度 | (119) |
| 5.1.3 | 图像保真度准则 | (121) |
| 5.1.4 | 关于编码器的若干基本知识 | (121) |
| 5.1.5 | 图像编码的分类及方法 | (123) |
| 5.2 | 统计编码 | (124) |
| 5.2.1 | Huffman 编码 | (124) |
| 5.2.2 | Fano-Shannon 编码 | (124) |
| 5.2.3 | B 码 | (125) |
| 5.2.4 | 移位码 S_n 编码 | (126) |
| 5.2.5 | 算术编码 | (126) |
| 5.2.6 | 图像编码的几个概念 | (129) |
| 5.3 | 空间域编码 | (130) |
| 5.3.1 | 线性预测编码 | (130) |
| 5.3.2 | 行程编码 | (135) |
| 5.3.3 | 活动图像编码 | (135) |
| 5.3.4 | 自适应线性预测编码 | (136) |
| 5.4 | 变换编码 | (138) |
| 5.4.1 | 变换编码原理 | (138) |
| 5.4.2 | K-L 变换图像压缩 | (140) |
| 5.4.3 | 其他常用变换编码 | (144) |
| 5.5 | 量化及其量化编码 | (146) |
| 5.5.1 | 标量量化 | (147) |
| 5.5.2 | 矢量量化 | (148) |
| 第6章 图像分割 | | (151) |
| 6.1 | 概述 | (151) |
| 6.1.1 | 图像分割的概念 | (151) |
| 6.1.2 | 图像分割算法分类 | (152) |
| 6.2 | 阈值分割 | (152) |
| 6.2.1 | 阈值分割方法 | (152) |
| 6.2.2 | 直方图阈值分割 | (154) |
| 6.2.3 | 类间方差阈值分割 | (156) |
| 6.2.4 | 最大熵阈值分割 | (157) |

| | |
|----------------------------------|--------------|
| 6.2.5 共生矩阵阈值分割 | (160) |
| 6.3 边缘检测 | (163) |
| 6.3.1 孤立点的检测 | (163) |
| 6.3.2 直线的检测 | (164) |
| 6.3.3 边缘检测的基本思想 | (164) |
| 6.3.4 边缘检测算子 | (165) |
| 6.3.5 Marr 边缘检测 | (171) |
| 6.3.6 最佳曲面拟合边缘检测 | (172) |
| 6.4 边缘跟踪 | (174) |
| 6.4.1 轮廓跟踪 | (174) |
| 6.4.2 光栅跟踪 | (175) |
| 6.4.3 全向跟踪 | (177) |
| 6.5 图搜索方法边缘检测 | (177) |
| 6.5.1 图的概念 | (177) |
| 6.5.2 图像的有权图定义及其边缘检测 | (178) |
| 6.6 Hough 变换 | (179) |
| 6.6.1 Hough 变换的基本原理 | (179) |
| 6.6.2 Hough 变换的极坐标形式 | (181) |
| 6.6.3 Hough 变换用于圆、椭圆、抛物线等规则曲线的检测 | (182) |
| 6.6.4 广义 Hough 变换 | (183) |
| 6.7 区域分割法 | (185) |
| 6.7.1 模板匹配 | (185) |
| 6.7.2 像素凝聚的区域生长法 | (185) |
| 6.7.3 分裂—合并区域法 | (186) |
| 第 7 章 图像描述与分析 | (189) |
| 7.1 概述 | (189) |
| 7.2 图像的几何特征 | (189) |
| 7.2.1 简单的几何特征 | (189) |
| 7.2.2 图像的拓扑特征 | (193) |
| 7.3 区域描述 | (199) |
| 7.3.1 简单区域描述 | (199) |
| 7.3.2 矩描述子 | (201) |
| 7.3.3 图像的区域几何特征 | (204) |
| 7.4 边界描述 | (207) |
| 7.4.1 链码 | (207) |
| 7.4.2 曲线拟合 | (210) |
| 7.4.3 Fourier 描述子 | (212) |
| 7.4.4 边界矩描述法 | (214) |

| | |
|---|--------------|
| 7.4.5 自回归模型边界描述 | (215) |
| 7.5 直方图特征与统计特征 | (217) |
| 7.5.1 直方图特征 | (217) |
| 7.5.2 统计特征 | (217) |
| 7.6 纹理描述与分析 | (219) |
| 7.6.1 概述 | (219) |
| 7.6.2 纹理分析的直方图方法 | (220) |
| 7.6.3 纹理分析的自相关函数方法 | (221) |
| 7.6.4 灰度共生矩阵法 | (222) |
| 7.6.5 灰度行程长纹理分析法 | (226) |
| 7.6.6 Fourier 功率谱纹理分析 | (227) |
| 第8章 彩色图像处理 | (229) |
| 8.1 概述 | (229) |
| 8.2 彩色的感知 | (230) |
| 8.3 彩色模型及其彩色坐标变换 | (231) |
| 8.3.1 RGB 基色系 | (231) |
| 8.3.2 XYZ 计色系 | (231) |
| 8.3.3 均匀色度坐标系 UCS 系统 | (232) |
| 8.3.4 工业彩色模型 | (233) |
| 8.3.5 视觉彩色模型 HSI 彩色系统及其与 $R_N G_N B_N$ 系统间的转换 | (234) |
| 第9章 小波变换及其在图像处理中的应用 | (237) |
| 9.1 概述 | (237) |
| 9.1.1 小波变换的特点 | (237) |
| 9.1.2 小波变换的发展 | (237) |
| 9.2 小波分析的引入 | (238) |
| 9.2.1 波与小波 | (238) |
| 9.2.2 变换 | (239) |
| 9.3 连续小波变换 | (240) |
| 9.3.1 一维连续小波变换 | (242) |
| 9.3.2 二维连续小波变换 | (242) |
| 9.3.3 小波变换与滤波器组 | (243) |
| 9.4 小波级数展开 | (245) |
| 9.4.1 正交小波与小波系数 | (245) |
| 9.4.2 二进小波 | (245) |
| 9.4.3 紧支二进小波 | (246) |
| 9.4.4 连续小波变换性质 | (247) |
| 9.5 一维离散小波变换 | (247) |

| | |
|-------------------------|--------------|
| 9.5.1 离散二进小波变换 | (247) |
| 9.5.2 离散小波变换之小波框架 | (249) |
| 9.6 多分辨率分析 | (249) |
| 9.6.1 多分辨率分析的基本概念 | (250) |
| 9.6.2 正交小波变换与多分辨率分析 | (251) |
| 9.7 正交小波变换的快速算法 | (252) |
| 9.7.1 Mallat 算法 | (252) |
| 9.7.2 多分辨率分解 | (254) |
| 9.7.3 信号重建 | (255) |
| 9.8 离散小波变换的设计 | (255) |
| 9.8.1 尺度向量 | (255) |
| 9.8.2 小波向量 | (257) |
| 9.8.3 小波变换的计算 | (257) |
| 9.8.4 几个常用的小波变换 | (258) |
| 9.9 二维离散小波变换 | (259) |
| 9.10 小波变换在图像处理中的应用 | (261) |
| 9.10.1 二维图像信号的小波分解 | (262) |
| 9.10.2 二维图像信号的小波重建 | (264) |
| 第 10 章 分形与图像压缩编码 | (265) |
| 10.1 概述 | (265) |
| 10.1.1 分形与分维 | (265) |
| 10.1.2 分形的几何特征 | (265) |
| 10.2 分形的理论基础 | (267) |
| 10.2.1 度量空间 | (267) |
| 10.2.2 紧集和 Hausdroff 空间 | (268) |
| 10.2.3 分形的维数 | (268) |
| 10.2.4 压缩映射理论 | (269) |
| 10.2.5 仿射变换 | (271) |
| 10.3 迭代函数系统 IFS | (273) |
| 10.3.1 引言 | (273) |
| 10.3.2 迭代函数系统 IFS | (274) |
| 10.3.3 拼贴定理 | (275) |
| 10.3.4 IFS 的实现 | (276) |
| 10.3.5 绘制 IFS 吸引子的两种算法 | (277) |
| 10.4 灰度图像的分形编码 | (279) |
| 10.4.1 分块迭代函数系统 PIFS | (279) |
| 10.4.2 灰度图像的仿射变换 | (280) |
| 10.4.3 灰度图像的压缩映射 | (281) |

| | |
|-----------------------|----------------|
| 10.4.4 灰度图像的拼贴定理..... | (283) |
| 10.4.5 分形图像压缩..... | (283) |
| 参考文献..... | (287) |

第1章 绪论

1.1 引言

1.1.1 图像的概念

视觉是人类最重要的感知手段，图像是视觉的基础。据统计，人们获取信息听觉约占20%，视觉占60%~70%，触觉、嗅觉、味觉等占10~20%。因此，图像处理是计算机信息处理的重要内容。图像可以是可视的和不可视的，也可以是抽象的和实际的。

大家都能想象到一幅图像是什么，但要给出图像的精确定义就不容易了。在韦氏(Webster)字典中，图像(Image)的定义如下：

- 定义1 (1) 图像是物件或事物的一种表示、写真或临摹。
 (2) 图像是物件或事物的一个生动的或图形化的描述。
 (3) 图像是用于表示其他事物的东西。

在一般意义下，一幅图像是另一种事物的表示。例如：一幅温家宝总理的照片，是这位总理某次出现在镜头前得到的一个表示。

一幅图像包含了有关其所表示物体的描述信息。可以包括人眼看见的方式显示这一信息，也可以包括人眼不能感知的形式表示信息。

图像是其所表示物体的信息的一个浓缩或概括。一般来说，一幅图像包含的信息远比原物体要少。因此，一幅图像是该物体的一个不完全、不精确的，但在某种意义上是恰当表示。

实际上，图像与光学密切相关，即与光的照射、反射密切相关。因此，从理论(本质)上来说，一幅图像可以被看作为空间各个坐标点上光的强度的集合。光的强度与光的波长有关。

定义2 一幅图像可表示为：

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

式中 (x, y, z) ——空间坐标点；
 λ ——该点上光的波长；
 t ——时间；
 I ——该点上图像强度。

定义2定义了一幅活动的、彩色的、立体的图像。当我们研究的是静止图像(still image)时，与时间 t 无关。当我们研究的是单色图像时，往往 λ 可省略。对于平面

图像则与 z 无关。对于静止的、平面的、单色(灰度)的图像,其定义可转化为 $I = f(x, y)$ 。

对于静止的、平面的彩色图像,其一般数学表示式为:

$$I = f(x, y, \lambda)$$

由于强度 I 可以直接表示色彩,人们常常将 λ 省略,故常用 $I = f(x, y)$ 表示静止的、平面的彩色图像。由定义 2 知,一幅图像可用亮度(强度)函数表示,而光是能量的一种形式,故有:

$$0 \leq f(x, y) < \infty$$

强度 $I = f(x, y)$ 可以看成由入射分量(照射分量) $i(x, y)$ 和反射分量 $r(x, y)$ 组成。因此有:

$$I = f(x, y) = i(x, y) \cdot r(x, y)$$

其中: $0 \leq i(x, y) < \infty$, $0 \leq r(x, y) \leq 1$ 。

$r(x, y) = 0$ 表示全吸收, $r(x, y) = 1$ 表示全反射。 $i(x, y)$ 由光源的性质决定,而 $r(x, y)$ 取决于景物中的物体。

1.1.2 图像处理技术的发展

数字图像处理(Digital Image Processing)又称为计算机图像处理,是指将图像信号转换成数字信号并利用计算机对其进行处理的过程。图像处理技术始于 20 世纪 20 年代。1920 年从英国伦敦到美国纽约采用压缩和编码技术通过海底电缆传输了一幅照片,传输花了 3h。按当时的技术水平,若不采用压缩编码技术传输一幅图像大约需要 7d 时间。以此为标志,开始了图像处理的新纪元。大约在 1923 年,在报纸铜版印刷照片中采用离散化方法进行图像处理。但是,由于当时的技术水平、速度、容量的限制,图像处理技术发展缓慢。

数字图像处理技术真正的发展出现于 20 世纪 50 年代。当时的计算机技术已经发展到一定水平,人们开始利用计算机来处理图像和图形信息。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。早期的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、图像复原、编码与压缩等。首次获得实际成功应用的是美国喷气推进实验室(JPL)。他们对航天探测器“徘徊者”7 号在 1964 年发回的几千张月球照片使用了图像处理技术(如几何校正、灰度变换、去除噪声等)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了更为复杂的图像处理,得到了月球的地形图、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。数字图像处理取得的另一个巨大成就是在医学上获得的成果。1972 年英国 EMI 公司工程师 Housfield 发明了用于头颅诊断的 X 射线计算机断层扫描摄影装置,也就是我们通常所说的 CT(Computer Tomograph)。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,说明它对人类作出了划时代的贡献。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。

进入20世纪80年代以后,数字图像处理研究方兴未艾,形成热门研究领域。其主要原因是:

- (1) 包括主机(计算机)、外部设备(数字化仪、扫描仪、显示设备)、外围设备等硬件设备的价格不断下降。
- (2) 存储容量迅速扩大。
- (3) 计算机技术迅速发展,如速度、并行技术、软件理论与技术(算法)等。
- (4) 应用前景广阔。

1.2 图像处理技术的分类、特点和应用

1.2.1 图像处理技术的分类

(1) 按图像形成,图像处理技术可分为模拟图像处理、数字图像处理两类。

模拟图像处理:用模拟信号表示图像及其处理。

模拟图像处理的特点是处理速度快,可实时处理和并行处理。但处理精度差,灵活性差,不便于非线性处理。

数字图像处理:用数字信号表示图像及其处理。数字图像处理也称为计算机图像处理。

数字图像处理的特点是处理精度高、灵活性强(改变算法就可改变处理内容),但处理速度较慢(与模拟图像处理比较)。

如存储 $512 \times 512 \times 8\text{bit}$ 的图像、 $1024 \times 1024 \times 10\text{bit}$ 的图像、 $2048 \times 2048 \times 12\text{bit}$ 的图像,分别需要256kB、4MB、64MB的存储空间。若图像的精度和分辨率再增加,则所需的存储空间和处理速度将显著增加。对于数字图像若达到实时处理,需要有100Mips的处理能力。

(2) 按表示形式,数字图像可分为连续数字图像和离散数字图像两类。

1.2.2 数字图像处理的特点

1. 图像信息量大

如果处理一幅灰度级为 256、分辨率为 1024×1024 的图像, 需 $1024 \times 1024 \times 8\text{bit} = 1\text{MB}$ 的存储空间。如果要实时处理 30 帧/秒的电视图像序列, 则每秒要求传输 $500\text{kbit} \sim 22.5\text{Mbit}$ 数据量, 需有 100Mips 的处理能力。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。如电视图像的带宽约 5.6MHz , 而语音带宽仅为 4kHz 左右。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。因此, 数字图像处理对计算机的计算速度、存储容量等要求较高。对传输、容量、速度(处理)的要求也是数字图像处理的突出特点。

2. 图像信息的相关性

数字图像中各个像素的信息是不独立的, 其相关性大。在一幅图像中, 经常有很多像素有相同或相近的灰度。就电视画面而言, 同一行(同一列)中相邻两个像素或相邻两行间的像素的相关系数可达 0.9 以上, 而相邻两帧之间的相关性比帧内的相关性一般还要大些。因此, 图像处理中信息压缩的潜力很大。

3. 图像信息表征的复杂性

由于二维图像是三维景物的二维投影, 一幅二维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。数字图像处理后的图像一般是给人信息、观察和评价的, 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, 人的感知机制必然影响着计算机视觉的研究。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, 这些都是心理学正在着力研究的领域。

4. 图像处理技术综合性强

数字图像处理技术涉及的领域十分广泛, 它涉及到数学、物理学(光学、电学)、生物学、心理学、通信技术、计算机技术等众多领域。

1.2.3 数字图像处理的应用

图像是人类获取和交换信息的主要来源, 图像处理的应用领域必然涉及到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越来越大。

1. 遥感航空航天方面的应用

数字图像处理技术在航天和航空技术方面的应用, 除了上面介绍的 JPL 对月球、火星照片的处理之外, 另一方面的应用是在飞机遥感和卫星遥感技术中。许多国家每天派

出很多侦察飞机对地球上感兴趣的地区进行大量的空中摄影,并对由此得来的照片进行处理分析。以前需要雇用几千人,而现在改用配备有高级计算机的图像处理系统来判读分析,既节省人力,又加快了速度,还可以从照片中提取人工所不能发现的大量有用情报。从20世纪60年代末以来,美国及一些国际组织发射了资源遥感卫星(如LANDSAT系列)和天空实验室(如SKYLAB),由于成像条件受飞行器位置、姿态、环境条件等影响,获得的图像的质量总不是很高。可见,以高昂的代价进行简单直观的判读来获取图像是不合算的,而必须采用数字图像处理技术。如LANDSAT系列陆地卫星,采用多波段扫描器(MSS),在900km高空对地球每一个地区以18天为一周期进行扫描成像,其图像分辨率大致相当于地面上几米、十几米或100m左右(如1983年发射的资源遥感卫星LANDSAT-4,分辨率为30m)。这些图像在空中先处理(数字化、编码)成数字信号存入磁带、磁盘中,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资源遥感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、沙漠调查与趋势分析等)、灾害检测(如病虫害检测、水灾检测、火灾检测、环境污染检测等)、资源勘察(如石油勘察、矿产量探测、大型工程地理位置勘探分析等)、农业规划(如土壤营养与水分调查、农作物生长与产量估算等)、城市规划(如地质结构、水源及环境分析、地理信息系统GIS等)。我国也陆续开展了以上诸方面的一些实际应用与研究,并获得了良好的效果。在气象预报和对太空其他星球研究方面,数字图像处理技术也发挥了相当大的作用。

2. 生物医学工程方面的应用

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。除了上面介绍的CT、B超技术之外,还有一类是对医用显微图像的处理分析,如红白细胞分析、分类与记数,染色体分析与识别,癌细胞识别等。此外,在X光图像增晰、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。具体地讲,是将电话、电视和计算机以三网合一的方式在数字通信网上传输。其中,以图像通信最为复杂和困难,因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。在一定意义上讲,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图像处理技术有着广泛的应用,如自动装配线中检测零件的质量并对零件进行分类、印制电路板疵病检查、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、在一些有毒或放射性环境内识别工件及物体