

数字图象 处理技术与应用

● 崔 屹 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

URL: <http://www.phei.co.cn>

数字图象处理技术与应用

崔 屹 编著

電子工業出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

目 录 简介

本书介绍数字图象处理的基本理论,方法及本学科的新进展。内容包括数字图象变形技术、图象的傅立叶分析技术、图象分割、边缘提取、形状描述、形态学分析、图象压缩编码、彩色图象处理等。书中介绍的绝大多数算法都给出了相应的 C 程序实例。

本书可作为高等院校计算机工程、信息工程、生物医学工程、智能机器人学、工业自动化、材料科学、模式识别以及相关学科的教师、研究生、高年级本科生的教材或参考书,亦可供有关工程技术人员参考。

书 名: 数字图象处理技术与应用

著 者: 崔屹

责任编辑: 张淑芳

印 刷 者: 北京市顺义县天竺颖华印刷厂印刷

装 订 者: 三河市赵华装订厂装订

出版发行: 电子工业出版社出版、发行

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036 发行部电话 (010) 68214070

URL: <http://www.phei.co.cn>

经 销: 各地新华书店经销

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 23 字数: 500 千字

版 次: 1997 年 3 月第 1 版 1997 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 3000 册

书 号: ISBN 7-5053-3907-9
TP · 1683

定 价: 30.00 元

著作权合同登记号: 图字: 01-1995-411

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换

版权所有·翻印必究

前 言

数字图象处理是一门内容十分丰富,并且发展迅速的新学科,该学科研究利用计算机完成图象信息各种处理的基本理论和方法。在医疗诊断、工业自动检测与控制、智能机器人、交通、通讯、天文、地质、生物、化学、文教、科研等众多的领域中得到了广泛应用,取得了巨大的经济与社会效益。

近年来,由于多媒体技术的迅速发展和普及,作为多媒体技术主要内容的数字图象处理技术受到了前所未有的广泛重视,有了许多新的进展和新的应用。鉴于这种情况,作者参考了近年来国内外相关领域的最新成果,编写了《数字图象处理技术与应用》一书,旨在介绍计算机图象处理方面的新理论和方法。

全书共分为九章。第一章介绍数字图象的一些基本概念。第二章介绍的数字图象变形技术,是一项比较新的内容,对于医学图象处理(如外科整形)、脸谱识别;电影、电视特技以及广告创意等领域都具有非常重要的应用价值。第三章介绍图象的傅立叶分析技术。该技术是一项非常有效的理论分析手段,本章介绍了多种 FFT 算法,并给出了相应的 C 程序。第四章到第六章介绍了边缘检测,区域分割及形状描述的理论与方法,是内容上衔接比较紧密的三章,其中介绍了一些比较“经典”的方法,如 Hough 变换、松驰算法等,同时也介绍了基于启发式搜索的边缘检测方法等一些较新的内容。第七章介绍的形态学图象处理技术。它是一种建立在集论基础上的图象分析方法,目前已经成为图象分析理论的一个新分支。这一章介绍了腐蚀、膨胀、开闭及形状分解等一些基本的形态学运算及其在图象分析中的应用。第八章介绍图象编码压缩技术。做为多媒体核心技术之一的图象编码压缩技术,在数字图象传输、存储等应用领域具有非常重要的应用价值。本章介绍了游程编码、LZW 编码、变换编码等编码方法,其中大部分都是 CCITT 所推荐的标准压缩编码方法。第九章介绍彩色图象处理技术。包括各种彩色模型之间的相互转换;彩色图象的显示算法等,如 RGB 与 HLS 及 HSI 模型之间的相互转换,中位切分,统计算法,抖动算法等,这些方法都是与基于微型机的图象处理系统密切相关的较新内容。

本书内容编排上,力求避免过多空泛理论的讨论,着重介绍各种理论及方法的实现与应用,做到叙述简明扼要,理论与实际应用协调统一,书中大多数算法都给出了相应的 C 程序实例。

本书可做为相关专业高年级本科生、研究生的教材或参考书,也可供有关工程技术人员使用。

本书稿承蒙北京邮电大学图象教研室张家谋教授,中国科学院自动化所图象技术部林鹏研究员的审阅、指导和帮助,在此表示衷心感谢。

由于水平有限,缺点差错难免,敬请读者批评指正。

一九九六年七月。

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 数字图象处理技术及其应用	(1)
1.2 数字图象的采集与表达	(6)
1.3 数字图象处理系统	(9)
1.4 本书的内容及安排	(10)
第二章 数字图象变形技术	(11)
2.1 概述	(11)
2.2 空间变换	(11)
2.3 图象重采样	(18)
2.4 抗混叠技术	(36)
2.5 数字图象变形	(38)
2.6 图象间的渐变	(45)
第三章 图象的傅立叶分析技术	(47)
3.1 概述	(47)
3.2 一维离散傅立叶变换	(48)
3.3 快速傅立叶变换算法	(51)
3.4 二维离散傅立叶变换	(71)
3.5 二维 FFT 算法	(75)
3.6 二维 FFT 结果的显示	(88)
3.7 利用 FFT 实现二维滤波	(90)
3.8 矢量基快速傅立叶变换	(91)
第四章 边缘检测技术	(93)
4.1 概述	(93)
4.2 边缘检测	(93)
4.3 用阈值提取边缘	(100)
4.4 霍夫(Hough)变换	(100)
4.5 边缘跟踪算法	(107)
第五章 图象分割算法	(121)
5.1 概述	(121)
5.2 用阈值法分割图象	(122)
5.3 分裂、合并和区域生长算法	(126)
5.4 用松弛算法分析图象	(142)
5.5 连通成分标记	(144)
5.6 纹理描述	(148)
第六章 形状描述	(163)

6.1	概述	(163)
6.2	链码	(163)
6.3	多边形近似	(168)
6.4	傅立叶描述子	(172)
6.5	四叉树	(175)
6.6	金字塔	(181)
6.7	形状特征	(186)
6.8	矩描述子	(190)
6.9	细化算法	(195)
第七章	形态学图象处理	(201)
7.1	概述	(201)
7.2	腐蚀与膨胀	(201)
7.3	开闭运算	(204)
7.4	灰度形态学	(208)
7.5	骨架	(212)
7.6	形状分解	(219)
第八章	数字图象压缩编码技术	(225)
8.1	概述	(225)
8.2	霍夫曼编码	(225)
8.3	游程编码	(233)
8.4	LZW 压缩	(237)
8.5	预测编码	(251)
8.6	变换编码	(259)
8.7	量化	(284)
8.8	FCT 系数的量化	(299)
第九章	彩色图象处理技术	(317)
9.1	概述	(317)
9.2	彩色模型与色度学	(317)
9.3	彩色图象显示与调色板	(337)
9.4	24 位彩色到 8 位彩色的转换	(339)
9.5	抖动算法	(352)
9.6	伪彩色与假彩色图象处理	(353)
9.7	讨论	(356)
参考文献		(357)

第一章 绪 论

1.1 数字图象处理技术及其应用

数字图象处理亦称计算机图象处理,指将图象信号转换成数字格式并利用计算机对其进行处理的过程。这项技术最早出现于 50 年代,当时的数字计算机已经发展到一定水平,人们开始利用计算机来处理图形和图象信息。数字图象处理作为一门学科则可追溯到 60 年代初期。1964 年,美国喷气推进实验室(Jet Propulsion Laboratory)利用计算机对太空船发回的月球图象信息进行处理,收到明显的效果,不久,一门称为数字图象处理(digital image processing)的新学科便诞生了。这门学科诞生后,很快便对通讯、电视传输、医学、印染工业、工业检测及科学研究等领域产生了重大影响。

由于数字图象处理在通常意义上是指用计算机对视频信号作数字处理,故计算机图象处理与数字图象处理可以看做是具有相同含义的术语。

近几年来,随着多媒体技术的迅速发展和普及,数字图象处理技术受到了前所未有的广泛重视,出现了许多新的应用领域和新的方法。最为显著的是数字图象技术已经从工业领域、实验室走入了商业领域、艺术领域及办公室,甚至走入了人们的日常生活。我们知道,人类获取外部世界 80%的信息来源于视觉,不难预见,图象处理技术必将得到更进一步的发展和更广泛的应用。图 1.1 至图 1.8 给出了图象处理技术的一些应用实例。

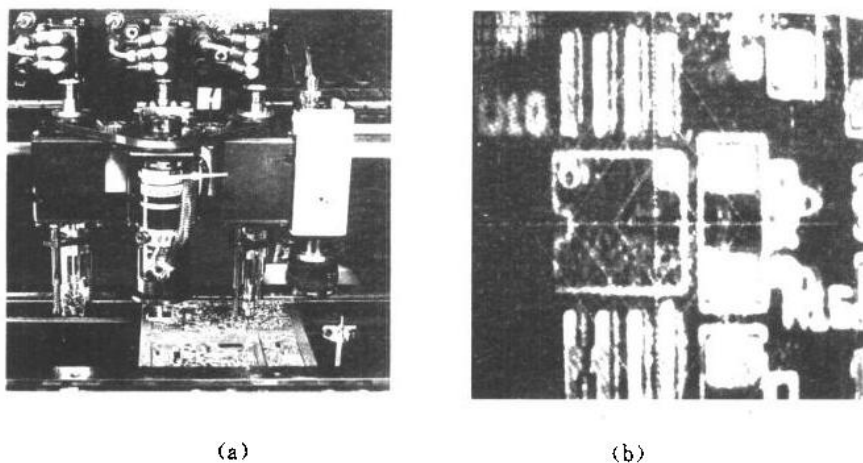


图 1.1 图象处理技术实例

- (a) 采用视觉定位技术的印刷电路板(PCB)器件安装系统。系统以 CCD 摄象机和图象处理技术为基础,器件安装精度为 $\pm 0.1\text{mm}$,重复精度达 $\pm 0.03\text{mm}$ 。
- (b) CCD 摄象机具有示教功能,可以方便地校正位置,PCB 的 CAD 数据可以通过软件界面输入系统。

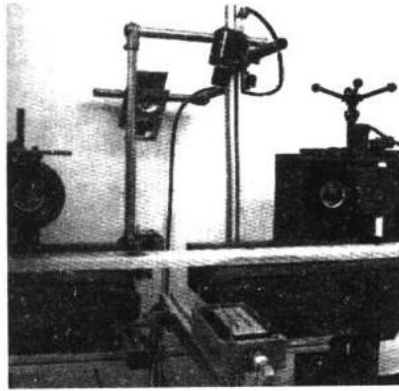


图 1.2 木材加工生产线上的视觉质量检测系统,可以根据木材的质量自动将其分类。
与后序加工过程相结合,可以达到最优质量控制。

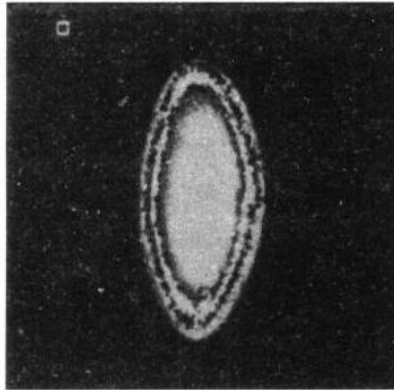


图 1.3 激光衍射红细胞变形能力检测系统。利用 CCD 获取的红细胞变形图象,可检测微循环障碍、地中海贫血症等病症。图中所示为红细胞激光衍射变形图象。

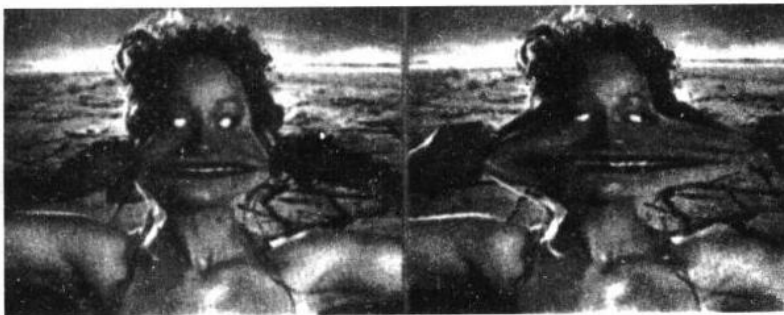


图 1.4 数字图象处理在电影电视特技中的应用

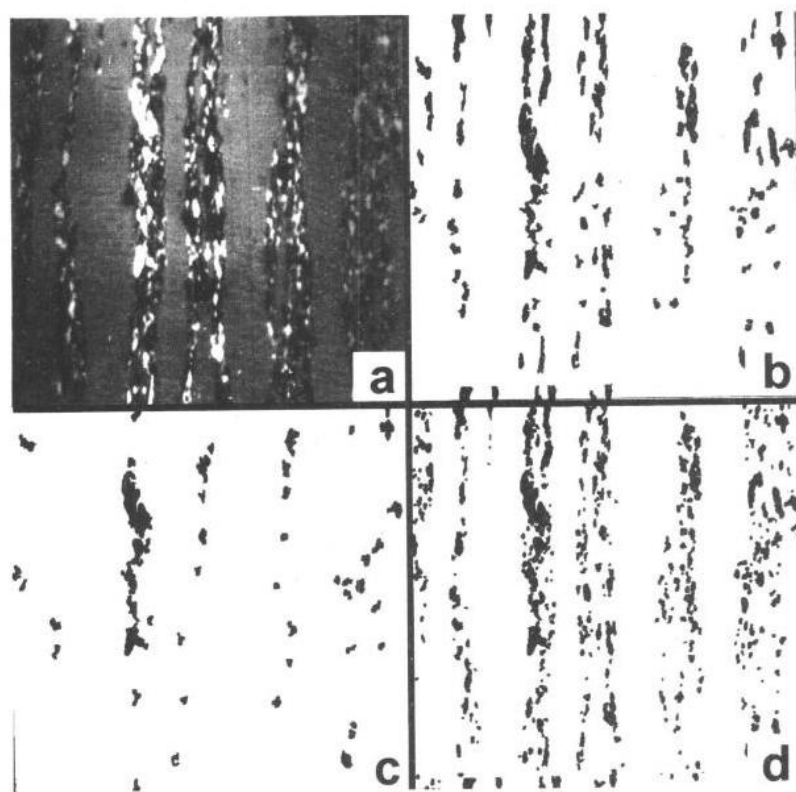


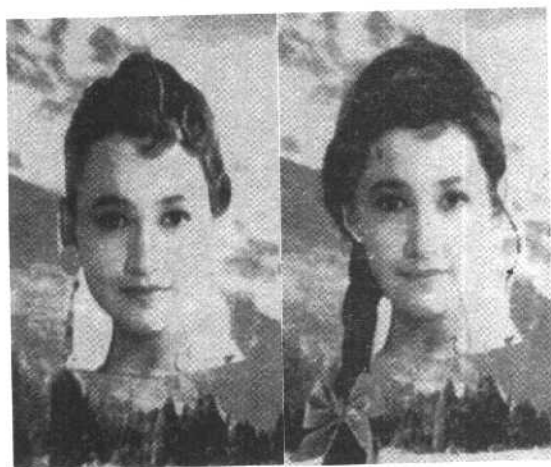
图 1.5 铁谱图象分析系统

注:利用图象分析系统采集和分析机器润滑油中金属磨损微粒显微图象的形态学特征,可对机器设备的磨损状态作出诊断

(a) 原始铁谱图象。(b) 面积大于 $6.63\mu\text{m}^2$, 形状因子大于 0.1 的颗粒分布(总数 97, 总面积 $1116.16\mu\text{m}^2$)。
(c) 面积大于 $6.63\mu\text{m}^2$, 形状因子大于 0.4 的颗粒分布(总数 47, 总面积 $520.26\mu\text{m}^2$)。(d) 面积大于 $0.66\mu\text{m}^2$, 形状因子大于 0.1 的颗粒分布(总数 352, 总面积 $1489.23\mu\text{m}^2$)。



图 1.6 用图象处理方法产生的具有一定艺术效果的画象



(a)

(b)



(c)

图 1.7 配发、试衣、背景叠加

(a) 原图象

(b) 配发后效果

(c) 配发 试衣 背景叠加后效果

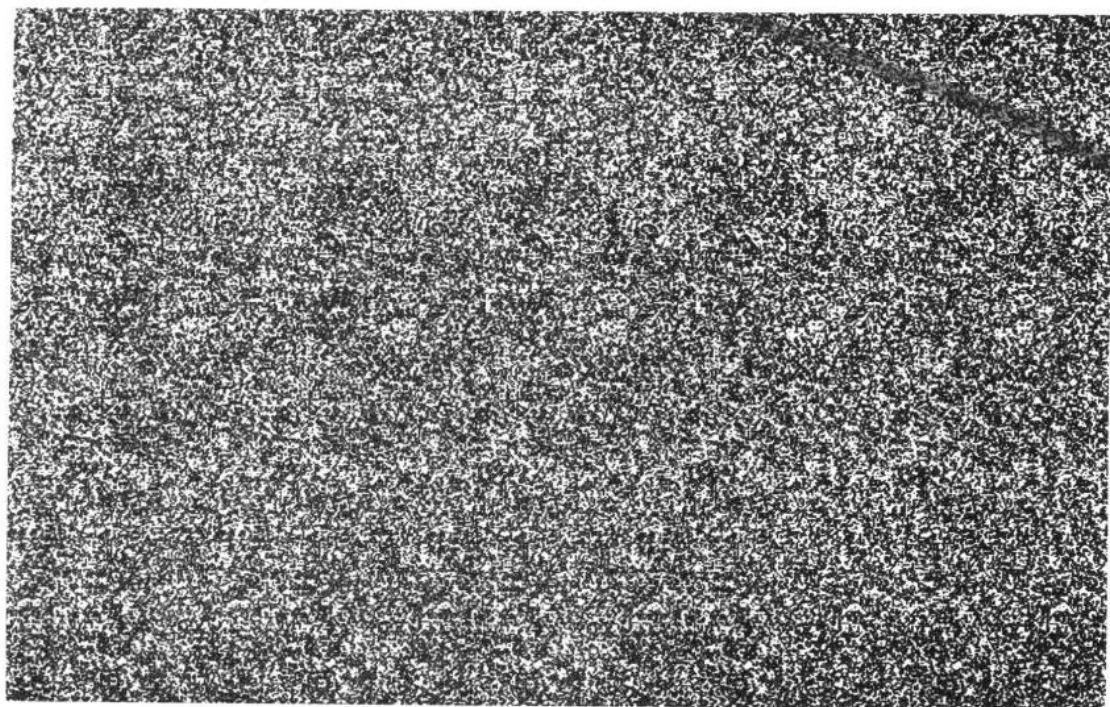


图 1.8 计算机图象处理系统利用人眼立体视觉模型制做的三维立体画。读者通过调节视点的纵深位置,可以看到图象空间中的“数字图象处理”六个字。

1.2 数字图象的采集与表达

图象信号的采集(或数字化)与用适当的方法来表示(或储存)图象是数字图象处理中非常关键的步骤。

自然界在人眼中呈现的图象一般都是连续的模拟图象,可以用下面连续二维函数的矢量形式表示:

$$f(x, y) = \{f_{red}(x, y), f_{green}(x, y), f_{blue}(x, y)\} \quad (1.1)$$

其中 f_{red} 、 f_{green} 、 f_{blue} 分别表示红、绿、蓝(RGB)三种成分(表示彩色图象还可以用其它彩色模型,见第九章)。它们都是空间的连续函数,即在连续空间的每一个点都有一个精确的值与之相对应。每一种成分有时又称通道。如果各通道分量为可见光谱以外的信号,如红外线、X射线、微波等形成的图象信号,则构成的图象称为多光谱图象(multispectral image)。显然,彩色图象仅仅是多光谱图象在可见光谱区的特例。根据实际应用,图象信号的通道数可以有多个,例如卫星遥感图象通常便含有多个通道,用于研究地球表面的海洋、河流、矿物分布、森林植被等状况。如果图象中不含彩色(对应于彩色饱和度为零的情况,此时 R、G、B 三个分量相等,参见第九章),则称黑白图象。这时, $f(x, y)$ 表示图象空间某一个点的灰度值。

连续的图象一般为光强度(或亮度)对空间坐标的函数。在用计算机对其处理之前,必须用图象传感器将光信号转换成表示亮度的电信号,再通过模数转换器(A/D)量化成离散信号以便于数字计算机进行各种处理。这一部分工作称为图象采集,完成图象采集的系统称为数字图象采集系统,它是计算机图象处理中的一个重要组成部分。

数字图象采集系统主要包括三个基本单元：用于检测射线强度的图象传感器；对整个景物检测数据进行扫描采集的扫描驱动硬件；将连续信号进行量化，以适应于计算机处理的模数转换器。图 1.9 给出了图象采集系统的框图。



图 1.9 图象采集系统

连续的二维景物光谱图象通过成象子系统转换成函数 $g(x, y)$ 。这一过程可表示为：

$$g(x, y) = f(x, y) * h(x, y) \quad (1.2)$$

其中 $h(x, y)$ 为成象系统的脉冲响应。成象系统的种类很多，如飞点扫描仪、CID (charge-injection device) 摄象机、CCD (charge-coupled device) 摄象机等，其中 CCD 摄象机是目前工业上使用最广泛的一种成象系统，它主要由镜头、CCD 芯片及驱动电路组成。图 1.10 所示为一种工业 CCD 摄象机，其分辨率为 542×492 象素。由成象子系统输出的连续图象 $g(x, y)$ 进入采样子系统产生采样图象 $g_s(x, y)$ ：

$$g_s(x, y) = g(x, y) s(x, y) \quad (1.3)$$

其中：

$$s(x, y) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(x - m, y - n) \quad (1.4)$$

称二维梳状函数，如图 1.11 所示。 $\delta(x, y)$ 为二维单位脉冲函数。梳状函数构成了采样栅格，这时的采样图象 $g_s(x, y)$ 仅在 (x, y) 的整数坐标处有值，但 $g_s(x, y)$ 并不是离散的数字图象，而是定义在离散空间上的离散—连续图象，因为 $g_s(x, y)$ 的值域仍是连续的。数字计算机是无法处理这样的图象的。因而必须对每一个采样点的值作量化处理。

量化为一个点处理过程，图 1.12 给出了常用的两种量化函数。关于采样和量化过程，我们将在第二章和第八章作更详细的讨论。

$g_s(x, y)$ 通过量化器得到最终的数字图象 $g_d(x, y)$ 。这一过程实际上是由模数转换器 A/D 完成的。采样与量化构成的过程称数字化 (digitization)。

注意：采样实际上是一个空间量化过程，而量化则是对图值的离散化过程。

数字图象是连续图象 $f(x, y)$ 的一种近似表示。通常可以用一个与采样点数相同的 $M \times N$ 矩阵表示：

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0, 0) & f(0, 1) & \cdots & f(0, M-1) \\ f(1, 0) & f(1, 1) & \cdots & f(1, M-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(N-1, 0) & f(N-1, 1) & \cdots & f(N-1, M-1) \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

每一个采样点都称为一个象素 (pixel)。在实际应用中，通常取 $M=N=512$ ，8 位/象素 (每通道)。为了软硬件实现方便，图象的大小和位数一般都选 2 的幂次方。



图 1.10 CCD 摄像机

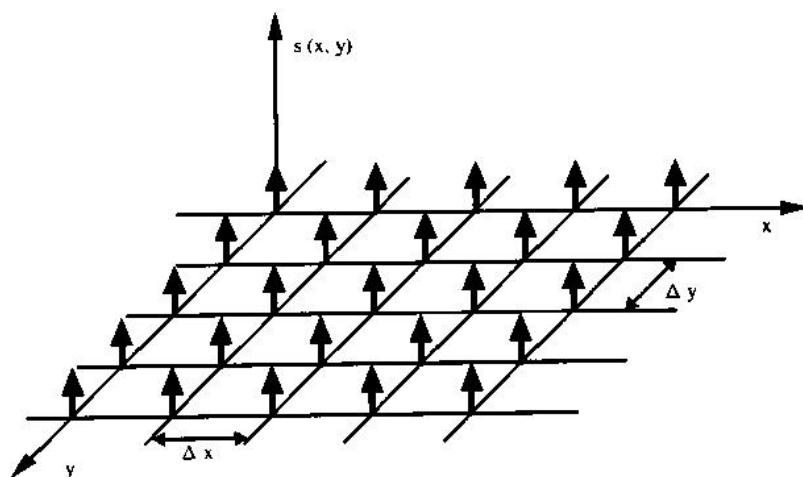


图 1.11 梳状函数(采样栅格)

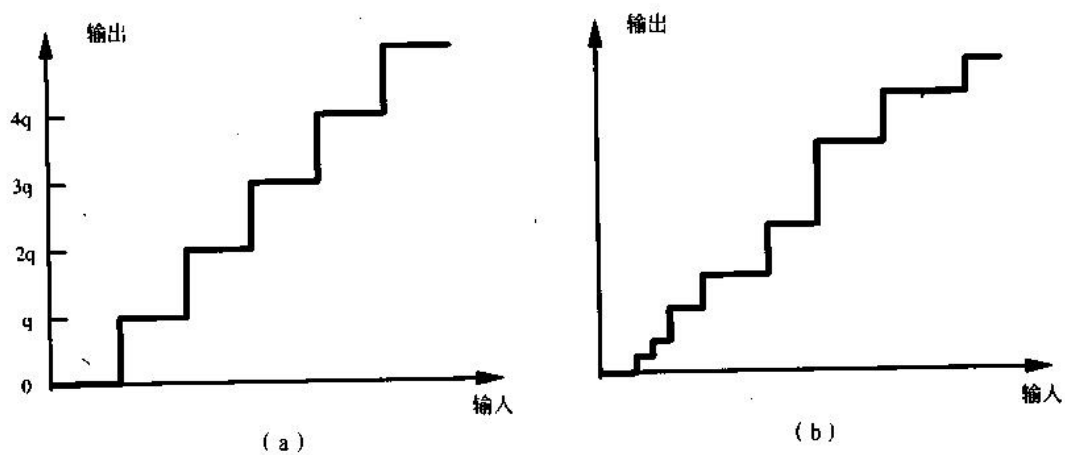


图 1.12 量化函数

(a) 均匀量化 (b) 非均匀量化

1.3 数字图象处理系统

数字图象处理系统主要由图象采集系统、数字计算机及输出设备组成。如图 1.13 所示。

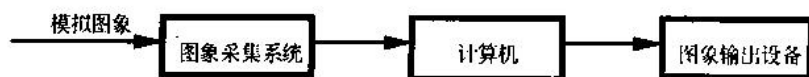


图 1.13 图象处理系统框图

当然根据实际应用的不同,图象处理系统的组成可能会有一些变化。例如,随着科技的进步,将来的多媒体计算机有可能包括图象处理系统的全部构成部分。另外应当说明图 1.13 仅仅是图象处理的硬件设备构成,图中并没有画出软件系统,在图象处理系统中软件系统同样是非常重要的。本书的主要内容,实际上就是围绕图象处理软件系统开发所需要的理论和算法展开的。

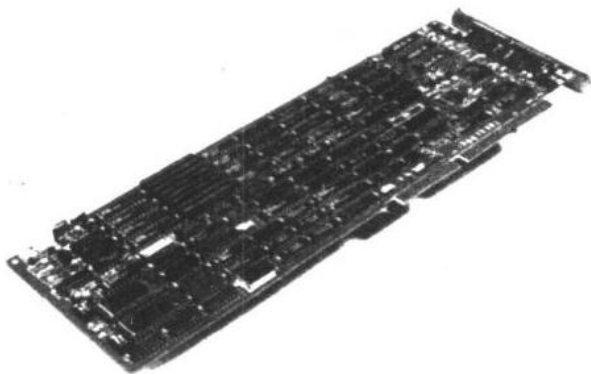


图 1.14 CA-C540 真彩色图象采集卡



图 1.15 用 300dpi 喷墨打印机输出的抖动图象
(a)误差扩散抖动 (b)45°汇聚点的序抖动

下面对图 1.13 作一些简单说明。前面一节我们从纯理论角度概要介绍了图象采集系统,实际上目前以微型计算机为基础的图象处理系统中,图象采集的功能通常是由摄像机与插在主机扩展槽中的图象采集卡完成的。图象采集卡的种类很多,从处理图象的色彩角度可分为黑白系统、伪彩色系统及真彩色系统。从图象采集的速度角度又可分为动态采集卡与静态采集卡。大部分图象采集卡除了具有将模拟图象数字化的功能外,还具有图象数据储存和显示功能(参见第九章图象显示系统的相关内容)。图 1.14 所示为中国科学院自动化所研制的 CA-C540 真彩色图象采集卡,该卡具有 4 个 $512 \times 512 \times 8$ 的帧存体(VRAM),可实时采集图象 25 帧/秒。具有硬件放大及漫游等功能。

图象输出设备主要指图象监视器、视频拷贝和激光、喷墨打印机等。目前,由于计算机监视器分辨率的提高,许多图象处理系统已不需要专用的图象监视器,而直接使用计算机 VGA 监视器显示图象。打印机虽然不能输出灰值图象,但利用抖动技术同样可以产生出具有良好视觉效果

1.4 本书的内容及安排

本书共分为九章,着重介绍计算机图象处理方面的一些新理论和方法。书中介绍的算法大部分都给出了相应的 C 程序。

本书的第二章将介绍数字图象变形技术,将这部分内容放在书中较前面的位置是因为这一章中含有一些基础性的知识,如空间映射、重采样及抗混叠等,对于理解后面介绍的数字图象处理的内容会起到一定铺垫作用。另外,数字图象变形技术是一项比较新的内容,对于医学图象处理(如外科整形)、脸谱识别、电影电视特技以及广告创意等领域都具有非常重要的应用价值。将其放在前面也是为了引起读者对这项技术的重视。

本书第三章介绍图象的傅立叶分析技术。傅立叶分析技术是一项非常有效的理论分析手段,它在频率域内分析图象特性。在实际应用中具体实施时,往往要借助专用硬件来提高其运算速度。在医学领域的计算机层析(CT)技术中,傅立叶分析对图象的三维重建起到很大作用。

第四至第六章是内容上衔接比较紧密的三章。边缘检测与区域分割是同一问题的两个侧面,其目的都是为了提取图象中的分析目标。形状描述一章主要介绍目标几何形状的表达方法。目标形状的描述方法在图象识别中具有重要的作用。我们可以从目标的轮廓和区域两方面来抽取形状的描述方法,因而形状描述一般是在边缘检测或区域分割之后或过程中完成的。

第七章介绍的形态学图象处理是一种建立在集论基础上的图象分析方法。数学形态学是在分析矿物多孔形态时派生出一门学科,后来其方法在图象分析中取得了引人注目的作用,目前数学形态学已经形成了一种新的图象分析方法。在这一章中我们介绍了腐蚀、膨胀、开、闭等一些基本的形态运算及其在形状分析中的应用。

数字图象的数据量非常大,这对于图象的传输和存储都造成了巨大的困难,但是图象中往往存在一些对于图象分析或观察不重要(或不需要)的成分,称冗余度。第八章中介绍了一些利用图象的冗余度来压缩图象数据量的方法。

在第九章中,我们介绍了彩色图象处理的一些基本方法,包括各种彩色模型及其之间的相互转换,伪彩色及假彩色图象处理,彩色图象的显示等。

本书的各章之间存在一些联系,但在更大程度上具有相对独立性,这样做或许对读者阅读本书会带来一些方便。

第二章 数字图象变形技术

2.1 概 述

数字图象变形技术(digital image warping)是近年来图象处理领域中形成的一个新的分支,它主要研究数字图象的几何变换,即图象中点与点之间的空间映射关系问题。该项技术最早起源于对遥感图象的几何校正问题的研究,后来被引入到医学成像及计算机视觉领域。近年来,随着多媒体技术的普及,数字图象变形技术有了很大发展,人们在这一领域中已经提出了很多高效算法,并开发出了相应的软硬件系统。利用数字图象变形技术产生的特技效果,在电影、电视和媒体广告中有很多非常成功的应用。图 2.1 和图 2.2 给出了数字图象变形技术的几个例子。



(a) (b)

图 2.1 蒙娜丽莎的变形处理

(a)永恒的微笑 (b)永恒的愤怒

在讨论数字图象变形技术之前,首先要了解一些与这项技术有关的基础理论和方法,为此,我们要对空间映射(spatial transformation)、重采样(resampling)和抗混叠(antialiasing)技术的一些理论和方法作一些介绍。事实上,它们是数字图象变形技术的基础。在本章的第五节,我们要介绍一个能够实现专业特技效果的变形算法,并提供该算法的 C 源程序。

对图象序列使用变形技术,使其平滑地从一幅图象过渡到另一幅图象,这样的过程称渐变(morphing),渐变实际上是变形技术的扩展,本章后面对其简单作一些介绍。

2.2 空间变换

空间变换(spatial transformation)是指一种建立一幅图象与其变形后的图象中所有各点之