

数字图像

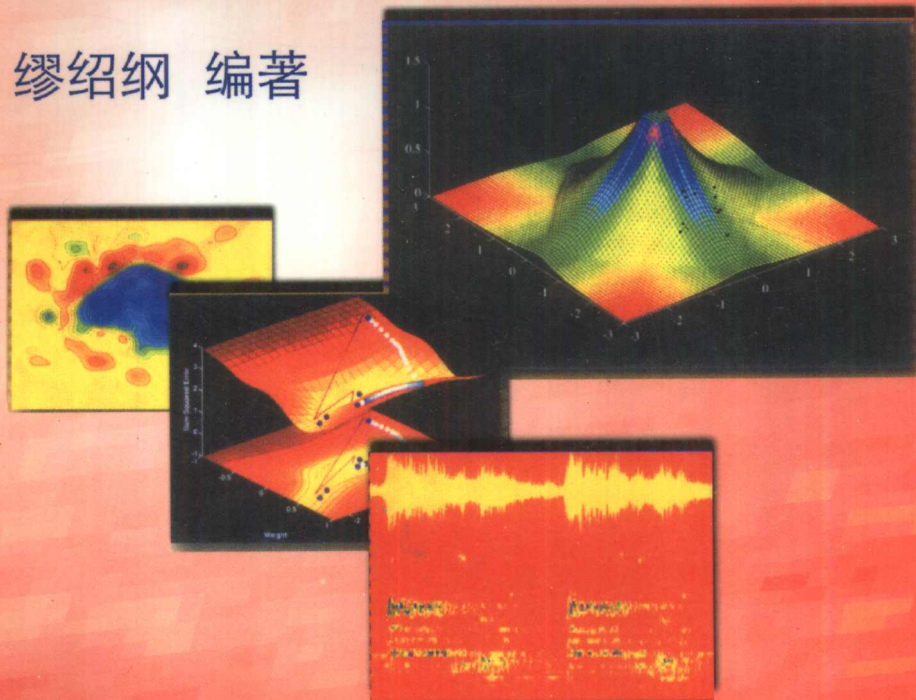
处理



— 活用

Matlab

缪绍纲 编著



范例光碟

73



西南交通大学出版社



全华科技图书股份有限公司

39/6

数字图像处理

——活用 Matlab

缪绍纲 编著

西南交通大学出版社
全华科技图书股份有限公司

著作权合同登记号：
图引字 21-2001-031 号

图书在版编目 (C I P) 数据

数字图像处理——活用 Matlab/缪绍纲编著. —成都：西南交通大学出版社，2001.7
ISBN 7-81057-551-1

I. 数... II. 缪... III. 数字图像处理-软件工具, Matlab IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 048999 号

本书中文简体字版由台湾全华科技图书股份有限公司独家授权出版。

数 字 图 像 处 理

——活用 Matlab

缪绍纲 编著

*

出版人 宋绍南

责任编辑 唐 晴

封面设计 毕雪屏

西南交通大学出版社出版发行

(成都市二环路北一段 111 号 邮政编码：610031 发行科电话：7600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: cbs@center2.swjtu.edu.cn

西南冶金地质印刷厂印刷

*

开本：787mm×1092mm 1/16 印张：21.625

字数：450 千字 印数：1—3000 册

2001 年 7 月第 1 版 2001 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 7-81057-551-1/TP·257

定价：31.00 元

本书无四川省版权防盗标识，不得销售；版权所有，违者必究，举报有奖，
举报电话：(028) 6636481、6241146、7600560。

编辑部序

——数字图像处理 活用 Matlab

本书是台湾全华科技图书股份有限公司新近推出的《数位影像处理——活用 Matlab》一书的引进版。

本书最大的特色是运用 Matlab 语言的优点来处理数字图像，全书分为两部分，第一部分是原理与技术，包括数学基础、取样与量化、变换法、图像增强、图像恢复、图像压缩、图像分割、表示与描述以及图像模式识别；第二部分为 Matlab 实习，对应各章内容，配有多个实验。本书适合计算机专业的研究生和大学本科、专科学生或对数字图像处理有兴趣的人士阅读。

由于在计算机领域中，许多专业用语的表述方法在大陆和台湾有所不同，为了使大陆读者能更直观、更方便地阅读，我们特请西南交通大学计算机与通信工程学院的尹中科博士后（1997年成都电子科技大学博士毕业，1999年从西南交通大学博士后流动站出站，长期从事图像传输与处理的研究和教学工作。）对本书中的专业用语进行了适当修改，使之符合大陆用语习惯。在此，特向尹中科博士后表示感谢！

西南交通大学出版社
编辑部
2001年7月

序

——数字图像处理 活用 Matlab

随着数字化与多媒体时代的来临，数字图像处理已逐渐成为必备的基础知识。世界各大专院校的电子、电机、通讯、医学及许多相关科、系、所，都有此相关课程的开设。

对此课程，目前市面上已有一些写得非常好的教科书，包括笔者的大师史 R. C. Gonzalez 所写的经典著作，套句俗话，该著作堪称数字图像处理的“圣经”。笔者认为该书无论在章节内容的安排上还是解说的清晰度上都是上乘之作。既然已有这么好的书，为何笔者还要写本书呢？

本书最大的特色是把 Matlab 的实验融入数字图像处理的教材中。Matlab 已逐渐取代 C 及 Fortran 等程序语言成为许多工程教科书的标准程序工具语言，因为它有如下的优点：(1) 语法简单、易学、好写；(2) 有强大的运算及绘图能力；(3) 有强大且多样化的各种工具箱（函数库）可供使用，包括与本书密切相关的图像工具箱；(4) 仍保有其他高级语言解决各种不同应用问题的弹性。目前市面上不论中英文的数字处理教科书都缺乏此特色。此外，有些教科书虽然写得不错，但因出版年代较久远没有改版更新，因此某些较重要的新技术（例如小波 (wavelet)）没有提及，显得教材不够完备。

全书共分十章，包括简介、数学基础、取样与量化、变换法、图像增强、图像恢复、图像压缩、图像分割、表示与描述以及图像模式识别。除第一章外，其余各章的内容都有与其配合的 Matlab 程序实验，每章都有 2 到 5 个实验的设计，总共有 30 个实验。每个实验均包括原理、程序范例、讨论以及动手做共四大部分，其中程序范例包括目的、程序及说明与结果展示三部分。每个程序都附有详细的解说，好懂易读。所有程序以及相关的图像文件都在本书所附的光盘中。

本书以笔者所写的通讯科技教育改进计划教材（编号：85-通讯-教材-46）为基础，经充实内容与仔细编辑后定稿出版。本书的内容也是笔者在中原大学（台湾省）电子系开授数字图像处理课程的主要教材，适用于正规教育的大学部三、四年级及硕、博士班一年级及非正规教育的推广班，对实际从事相关工作的工程师或研究人员也可以当做参考教材。若 Matlab 实验不教授，则本书约要 50 个小时的授课时数，含实验则约 80 个小时，授课者可依自己需求开出一学期 3 学分（不含实验）或 4 学分（含实验）的课程，当然经过适当筛选亦可成为短期课程的教材。

本书的完成得到许多人的协助，包括负责打字排片的蓝仁宏与陈永昌，负责图像摄取的颜恒麟，负责 Matlab 程序撰写的颜恒麟、林家阳、蓝仁宏、陈至明、黄嘉洲、庄瑞诚、朱峰毅、陈光泰、姚景升与曹登强。他们全部都是笔者目前或以前的研究生或大学部的专题生，

也都修过笔者所开设的数字图像处理课程。笔者在此对他们致上最大的谢意，因为没有他们的热心参与，本书必然无法顺利完成。此外，全华图书出版社对本书出版的技术支援亦功不可没。

在此要感谢引领笔者进入数字图像处理领域的启蒙老师——Dr. Julius T. Tou (台湾“中研院”窦祖烈院士)，让笔者有机会接触到如此引人入胜的课题。还要感谢贤慧的内人以及一对活泼可爱但有时又很顽皮的儿女，他们让我在家里得到喜乐，使笔者无后顾之忧，因而可以专心从事教学、研究、服务与写作。

数字图像处理所涵盖的范围非常广，笔者才疏学浅，对某些子领域并不十分熟悉，再加上篇幅的限制，因此某些题材只能割舍和略提。期盼各位专家能给笔者批评与指教，让笔者体会进步的喜悦。未来或许有机会再出第二版，届时一定广为采纳大家的建议。

缪格纲 谨识

于台湾中原大学电子系

miaou@wavelet.el.cycu.edu.tw



目录

PART 1: 原理与技术

第一章 简介

1.1 背景	4
1.2 图像的表达	5
1.3 数字图像处理	6
1.4 数字图像处理系统	8
1.5 本书结构	11
1.6 主要参考文献	12

第二章 数学基础

2.1 信号	16
2.2 线性与线性时不变系统	19
2.3 卷积	21
2.4 矩阵运算	22
2.5 纯量值对向量参数的最优化	28
2.6 随机信号	29
习 题	33

第三章 采样与量化

3.1 取样	38
3.2 量化	44
3.3 向量量化	51
习 题	54

第四章 变换法

4.1 正交变换	56
----------------	----

4.2 傅立叶变换	58
4.3 离散余弦变换	64
4.4 离散正弦变换	68
4.5 Walsh-Hadamard 变换	69
4.6 Haar 变换	76
4.7 斜变换	77
4.8 KL 变换	78
4.9 哈特莱变换	80
4.10 SVD 变换	80
4.11 小波变换	82
习 题	93

第五章 图像增强

5.1 点处理增强	98
5.2 空间滤波	107
5.3 频域的图像增强法	110
5.4 彩色图像增强	112
习 题	115

第六章 图像恢复

6.1 图像降质系统	118
6.2 代数恢复方法	120
6.3 反滤波法	122
6.4 最小平方滤波器	123
6.5 限制性最小平方恢复	125
6.6 盲目图像恢复技术	129
习 题	136

第七章 图像压缩

7.1 数据编码与数据压缩	138
7.2 图像压缩模型	141
7.3 信息论基础	141
7.4 无失真压缩	148
7.5 有损压缩	154
7.6 图像压缩标准 JPEG	155

7.7 动态图像压缩	163
7.8 以小波变换压缩的实例	168
习 题	173

第八章 图像分割

8.1 导论	176
8.2 图像分割处理	177
8.3 分割图像的储存	185
8.4 图像分割预处理——LUM 滤波器	187
习 题	192

第九章 表示与描述

9.1 表示方法	194
9.2 边界描述子	199
9.3 区域描述子	201
9.4 形态学	210
习 题	214

第十章 图像模式识别

10.1 分类	218
10.2 统计决策图像模式识别	220
10.3 特征选取	221
10.4 聚类	223
10.5 利用人工神经网络做图像模式识别	228
习 题	235

PART 2: Matlab 实习

第一章 Matlab 实验常用函数简介

第二章 实验——数学基础

L2.1 二维卷积	241
-----------------	-----

L2.2 矩阵的直接乘积	242
L2.3 马尔可夫链的转移概率	244

第三章 实验——量化

L3.1 纯量化器的设计	246
L3.2 量化造成的假轮廓	248
L3.3 向量量化器码本的产生	250
L3.4 向量量化的编解码	254

第四章 实验——变换法

L4.1 SVD 变换	259
L4.2 图像变换的能量集中能力	261
L4.3 小波变换	263

第五章 实验——图像增强

L5.1 直方图均衡化法	268
L5.2 平滑滤波器	270
L5.3 同态滤波器	272

第六章 实验——图像恢复

L6.1 最小平方滤波器	275
L6.2 迭代盲目去卷积法	277

第七章 实验——图像压缩

L7.1 游程长度编码	283
L7.2 应用小波变换与向量量化做图像压缩	285

第八章 实验——图像分割

L8.1 像素聚类区域成长法	289
L8.2 四叉树区域分割与合并法	293
L8.3 Sobel 边缘检测	294
L8.4 拉氏边界检测法	297

L8.5 LUM 滤波器	299
--------------------	-----

第九章 实验——表示与描述

L9.1 不变矩	302
L9.2 细化	305
L9.3 膨胀和腐蚀	308
L9.4 断开与闭合	309

第十章 实验——图像模式识别

L10.1 利用不变矩判定图形类别	312
L10.2 模糊聚类	315
L10.3 利用人工神经网络做图像模式识别	317
L10.4 以反向传播网络做模糊分类	323

附录 光盘内容简介及使用说明	328
----------------------	-----

参考文献	332
------------	-----



ART
原理與技術

第一章

简介

1.1	背景	4
1.2	图像表示	5
1.3	数字图像处理	6
1.4	数字图像处理系统	8
1.5	本书结构	11
1.6	主要参考文献	12



百闻不如一见



1.1 背景

我们常说百闻不如一见，这是因为人的视觉、感观对图像非常强烈，往往用笔墨还不足以形容。例如，陈述一个小女孩有多可爱，与其用尽所有形容词，不如出示一张她的照片。

显然图像是传达信息非常直接又有效的方式，但是倘若上述照片没有拍好（例如光线不足及拍摄时手部颤抖等问题），则其信息传达的效果可能还不如用言语形容。虽然有些照片可以重拍，但也有很多情况是很难或甚至无法再重拍的。例如负责太空探测的太空船所传回的珍贵照片，由于经济及时效上的考虑，通常不会有第二次重拍的机会。在我们日常生活当中也有许多珍贵的历史性镜头是不能有重拍机会的。

对于效果不佳的图片，特别是记录珍贵历史性时刻者，如果能以经济又有效的方式加以处理，使其达到原本能传递的信息量，是不是很好呢？这就是图像处理 (image processing) 所要探讨的课题，换言之就是如何有效 (effective) 又有效率 (efficient) 地来处理图像，使其能传达我们所需要的信息。

那数字图像处理 (digital image processing) 又是什么呢？简言之就是将所撷取到的图像数字化 (digitize)，以利电脑的处理。比起像摄影师暗房技巧那一类的所谓光学图像处理以及像调整电视机旋钮改变电压使对比度或亮度改变的类似图像处理，数字图像处理有更大的弹性 (flexibility) 以及效率。数字图像处理除可改善图像信息使人理解外，它还能使机器像人一样具有视觉感官的能力。不论是过去许多已成功的数字图像处理应用还是更多正在开发中的应用，都属这两类。

虽然图像处理技术最早期的应用之一可回溯到 20 世纪初，用来改善伦敦和纽约间经海底电缆发送的图像的品质，但一直到 20 世纪 50 年代，随着大型数字计算机和太空科学研究计划的出现，大家才注意到图像处理的潜力。1964 年在美国航太总署的喷射推进实验室开始用计算机技术改善从太空探测器获得的图像，当时用计算机处理由巡航者七号 (Ranger 7) 传回的月球图片，以校正电视摄影机所存在的几何失真或响应失真。其后有一连串的星际探测计划，一直到现在都在持续不断地送回更多图像。

从 1964 年迄今，图像处理领域一直快速地发展着。除了在太空计划中的应用，目前数字图像处理技术还用于解决其他问题。主要的应用领域如下：

● 生物医学领域

首先用于细胞分类、染色体分类和放射图像的处理。1972 年 X 光电脑断层扫描 (computer tomography, CT) 获得实际应用，在医学工程上为一大突破；1977 年白血球自动分析仪问世；1980 年研究出心脏活动立体图像的技术。医学图像的种类包括 X 光图像、同位素图像、核磁共振图像、超声波图像、红外线图像以及显微图像等。对这些图像作对比度增强或伪彩色等的处理可帮助医师诊断如肺病、肿瘤及心血管等疾病。

● 遥测数据分析

遥测常以颜色为依据，由飞机、卫星及太空船上的多光谱 (multi-spectral) 扫描器摄得图

像, 范围从可见光至红外光 (有时含紫外光) 分成几个频带, 每个频带所摄得的颜色都不同, 可用于土地使用、作物收成、作物病害侦测、森林及水资源调查、环境污染侦测、地质与地形分析、矿藏探勘及气象预测等。由于数据量庞大, 因此寻求处理及分析这些图像的自动方法, 特别是图像对比度增强、分割及图像识别的技术显得极为重要。

● 科学研究

例如考古学可用图像处理方法恢复模糊或其他降质状况的珍贵文物图像。这些文物在拍成照片后已遗失或损坏, 因此这些照片成为唯一可用的记录。又如在物理学上可增强在高能态电浆及电子显微镜等场合所拍下的实验图像, 以增加对实验结果的了解。

● 一般工商业应用

这一方面已有许多实例, 例如用无损图像处理方式检查零件内部的瑕疵及焊接品质、金属材料的成分与结构分析、纺织品品质检测、印刷电路板及焊点不良检查、零件安装检查等。又如邮政编码自动读取系统、运动员运动图像分析、机器人自走、道路状况判断、组装零件识别、光学字的读取与辨认、条形码读取、指纹、瞳孔、颜面等图像的身份识别、试装及发型设计等。

● 通讯与电脑资料存储

包括传真机、可视电话及电视会议等都采用图像数据压缩的技术, 使通讯更快速。此外, 采用同样技术可大大降低图像数据存储量以降低存储负担。

整个图像处理的领域仍在蓬勃发展, 其原因有: ① 电脑功能对价格比越来越高; ② 图像撷取与显示设备更加普遍与便利; ③ 图像处理的观念普及, 容易创造新的应用。预期数字图像处理在我们未来生活中将扮演愈来愈重要的角色。

1.2 图像并表示

图像最广义的观点是指视觉信息。举凡照片、图画、电视画面以及由透镜、光栅及全息图 (hologram) 所构成的光学成像等均属之。

令 $F(x, y, t, \lambda)$ 代表上述图像源在空间坐标 (x, y) , 时间 t 且波长为 λ 情况下的空间能量分布, 此分布通常可视为一个具正实数且有上界的光强度函数, 亦即

$$0 < F(x, y, t, \lambda) \leq A \quad (1.2-1)$$

其中 A 为最大的图像强度。此外不论就实际图像的考虑或数学上讨论的方便, x, y 与 t 应该也都是有界的, 例如

$$\begin{aligned} 0 &\leq x \leq L_x \\ 0 &\leq y \leq L_y \\ 0 &\leq t \leq T \end{aligned} \quad (1.2-2)$$

我们对上述光强度函数的反应常用瞬间强度来表示

$$f(x, y, t) = \int_0^{\infty} F(x, y, t, \lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (1.2-3)$$

其中 $V(\lambda)$ 为相对亮度效率函数, 换言之是人类视觉的频谱响应。同理, 人对色彩的反应也可用类似 (1.2-3) 式的方式来表示。对一个任意的红—绿—蓝坐标系统, 其三基色的瞬间值为

$$f_R(x, y, t) = \int_0^{\infty} F(x, y, t, \lambda) R(\lambda) d\lambda \quad (1.2-4a)$$

$$f_G(x, y, t) = \int_0^{\infty} F(x, y, t, \lambda) G(\lambda) d\lambda \quad (1.2-4b)$$

$$f_B(x, y, t) = \int_0^{\infty} F(x, y, t, \lambda) B(\lambda) d\lambda \quad (1.2-4c)$$

其中 $R(\lambda), G(\lambda), B(\lambda)$ 分别为对红、绿、蓝三基色的频谱响应。如果是更多个感应的图像, 则第 i 个频谱的图像为

$$f_i(x, y, t) = \int_0^{\infty} F(x, y, t, \lambda) S_i(\lambda) d\lambda \quad (1.2-5)$$

其中 $S_i(\lambda)$ 是第 i 个感应器的频谱响应。

如果图像内容不随时间变化, 或相当于 $t = t_0$ (一个定值) 时所得图像, 则 (1.2-1) 式到 (1.2-5) 式中的时间因子可去掉, 此时所得图像称为静止图像 (例如一张照片), 反之称为活动图像 (例如电视的连续画面)。

因此一个单色 (monochrome) 静止图像可用一个二维的光强度函数 $f(x, y)$ 来表示, 其中 x 与 y 表示空间坐标, 而在任意点 (x, y) 的 f 值与在该点图像的亮度 (或灰度) 成正比。一个数字图像是图像 $f(x, y)$ 在空间坐标和亮度上都数字化后的图像。可将数字图像视为一个矩阵, 矩阵行与列的值决定一个点, 而对应的矩阵元素值就是该点的灰度。这种矩阵的元素称为像素 (picture element 或 pixel), 所对应的灰度可称为像素值。因此像素可以说是数字图像的最基本单位。

1.3 数字图像处理

数字图像处理就是利用电脑对数字图像做运算, 以达到 1.1 节所述的许多应用。显然要有效解决众多的图像处理应用问题, 有时必须研究出专门为其量身打造的图像处理方法, 不过大致上可将这些问题及其图像处理方式归纳成以下几类, 这也是本书主要探讨的范围。

● 图像增强

图像增强 (enhancement) 是用来强调图像的某些特征, 以便于作进一步分析或显示。例如对比度的增强是用来使对比度低的图像更容易显现其特征, 而低对比度的可能原因包括光线不足、图像感应器的动态范围不够以及在图像摄取时光圈设定错误等。图像增强的过程本身并没有增加原资料所含的信息, 它只是把图像某些部分的特性更加强罢了。图像增强的算