

数字图象处理

孙即祥 编著



河北教育出版社

数字图象处理

孙即祥 编著

941



00010525

河北教育出版社



11102

冀新登字006号

数字图象处理

孙即祥 编著

河北教育出版社出版（石家庄市城乡街44号）
河北新华印刷一厂印刷 河北省新华书店发行

850×1168毫米 1/32 12.5印张 301,000字 1993年6月第1版
1993年6月第1次印刷 印数：1—2,000 定价：6.85元

ISBN 7-5434-1484-8/TN·1

前 言

数字图象处理是一门信息处理科学，是现代科技之一。它在经济、科研、生物医学、军事以及其它许多领域中获得了广泛的应用。

本书是在国防科技大学信息处理、识别及显示专业的本科生和研究生授课讲义基础上整理而成的。由于这门学科发展非常迅速，它所涉及的理论、方法十分丰富，在一本书中包罗万象是不可能的。本书力图系统归纳数字图象处理的基本理论、技术和重要成果，因此在取材上，选择或富有启发性、或应用性强、或具方向性的内容；在论述上，明确基本概念，突出处理思想。书中所列习题有些可能超出本书内容，其目的是引导深入思考、探询有关问题，可独立或查阅资料解决。

本书第一章、第三章是本学科的相关知识，第二章是必备的数学知识，第四章论述图象表示方式，第五章是图象数字化，第六章给出了重要的正交变换方法，第七章、第八章探讨改善图象质量技术，第九章研究图象分割方法，第十章是图象描述，第十一章讨论图象数据压缩理论及方法。

本书适于本科生、研究生教学使用及科技人员工作中参考。

在本书编写过程中得到了系领导的鼓励和教研室同志们的支持，在这里一并表示感谢。

由于学识水平及时间有限，书中定有不妥和错误，敬请批评指正。

编者

1991年春

目 录

第一章 导论	(1)
§ 1 概述	(1)
§ 2 数字图象处理研究的内容	(2)
§ 3 数字图象处理系统	(3)
第二章 数学知识	(6)
§ 1 点源与 δ 函数	(6)
§ 2 线性系统	(9)
§ 3 矩阵微分	(11)
§ 4 矩阵的广义逆	(13)
§ 5 付氏变换	(17)
§ 6 周期函数、周期、频率	(26)
第三章 视觉知识	(28)
§ 1 人眼的生理构造	(28)
§ 2 辐射度学与光度学基本知识	(31)
2.1 辐射度学量	(31)
2.2 电磁波和可见光	(32)
2.3 相对视敏函数	(33)
2.4 光度学量	(33)
§ 3 视觉特性	(35)
3.1 视觉适应性	(35)
3.2 视觉范围	(36)
3.3 分辨力	(36)
3.4 对比灵敏度	(36)

3.5	同时对比效应	(37)
3.6	亮度感觉	(38)
3.7	视觉惰性	(39)
3.8	马赫带效应	(40)
3.9	视觉模型	(42)
第四章	图象的数学描述	(44)
§1	图象的函数表示	(44)
§2	反射形成的图象模型的数学结构	(45)
§3	图象的统计表示形式——随机场	(46)
3.1	随机场的概念	(46)
3.2	随机场的概率分布、统计参量及计算公式	(48)
§4	均匀随机场	(51)
第五章	图象的数字化	(54)
§1	数字图象的表示形式	(54)
§2	取样定理	(56)
2.1	取样定理	(56)
2.2	原函数的重建	(62)
2.3	混叠	(64)
2.4	取样的实际问题	(66)
§3	量化	(66)
3.1	量化	(66)
3.2	最佳量化	(68)
§4	根据图象局部区域特征进行非均匀取样和非 一致量化	(72)
§5	数字图象的概率分布和统计参量	(73)
第六章	图象正交变换	(77)
§1	离散付氏变换 (DFT)	(77)
1.1	离散付氏变换的定义	(77)

1.2	离散付氏变换性质	(80)
§ 2	线性变换的一般表示式	(87)
2.1	标量表示式	(87)
2.2	矢量表示式	(88)
2.3	矩阵表示式	(88)
2.4	矢量外积表示式	(91)
§ 3	可逆变换	(92)
§ 4	线性变换的实质	(93)
4.1	基底	(93)
4.2	基平面	(94)
§ 5	线性变换的统计特性	(96)
5.1	变换图象的一、二阶矩	(96)
5.2	变换图象的概率密度模型	(98)
§ 6	沃尔什——哈达玛变换	(99)
6.1	列率	(99)
6.2	沃尔什函数	(99)
6.3	沃尔什级数	(104)
6.4	沃尔什变换	(104)
6.5	哈达玛变换	(105)
§ 7	离散余弦变换(DCT)	(108)
§ 8	离散K-L变换	(112)
§ 9	奇异值分解(SVD)和变换	(114)
第七章	图象增强	(119)
§ 1	概述	(119)
§ 2	对比度增强	(121)
2.1	线性变换	(122)
2.2	非线性变换	(123)
2.3	其它变换	(124)

§ 3	修正直方图增强	(125)
3.1	直方图	(125)
3.2	直方图均化	(126)
3.3	直方图规定化	(129)
§ 4	平滑	(131)
4.1	噪声	(131)
4.2	邻域平均法	(132)
4.3	多图平均法	(130)
4.4	中值滤波法	(137)
4.5	频域中低通滤波	(138)
§ 5	锐化	(143)
5.1	模糊机理及基本解决方法	(143)
5.2	梯度模算子	(145)
5.3	拉氏算子	(148)
5.4	Wallis算子	(151)
5.5	高通滤波器	(152)
§ 6	同态滤波	(156)
§ 7	几何校正	(158)
7.1	像素坐标校正	(159)
7.2	像素灰度估算	(161)
§ 8	伪彩色和假彩色	(162)
8.1	伪彩色技术	(162)
8.2	假彩色技术	(164)
§ 9	图象间的四则运算	(165)
第八章	图象恢复	(169)
§ 1	概述	(169)
§ 2	图象质量的客观评价	(170)
§ 3	降质模型的一般表示式	(173)

3.1	连续的线性降质模型表示式	(173)
3.2	离散的线性系统模型表示式	(175)
§ 4	分块循环矩阵的对角化及其意义	(177)
§ 5	降质系统的模型及参数的确定	(181)
5.1	具体研究降质过程确定 $h(x, y)$	(181)
5.2	由降质图象确定 $h(x, y)$	(183)
5.3	噪声的确定	(187)
§ 6	频域中的恢复方法	(189)
6.1	逆滤波	(189)
6.2	等功率谱滤波	(191)
6.3	维纳滤波	(194)
§ 7	最小二乘估计	(197)
§ 8	约束最小二乘估计	(198)
8.1	化矩阵方程约束为范数方程约束	(198)
8.2	矩阵方程约束	(201)
§ 9	利用分块循环矩阵性质改变恢复域	(202)
§ 10	线性均方估计	(205)
§ 11	非线性统计估计	(209)
11.1	条件均方估计	(209)
11.2	最大后验估计	(210)
11.3	最大似然估计	(211)
11.4	最大后验估计的具体实施	(211)
11.5	最大似然估计的实施	(214)
§ 12	最大熵恢复	(214)
§ 13	图象恢复的代数方法	(217)
13.1	广义逆法	(217)
13.2	奇异值分解广义逆法	(218)
13.3	投影叠代法	(220)

§ 14	运动模糊的差分恢复	(221)
第九章	图象分割	(227)
§ 1	概述	(227)
§ 2	根据灰度进行分割	(228)
2.1	灰度门限法	(228)
2.2	灰度门限的确定	(229)
§ 3	分裂-合并算法	(235)
§ 4	边界检测的基本方法	(238)
4.1	微分算子法	(239)
4.2	曲面拟合法	(243)
4.3	统计判决法	(244)
4.4	拉普拉斯高斯算子	(246)
§ 5	根据边界强度合并区域	(248)
§ 6	似然比检测边界	(250)
§ 7	匹配检测技术	(252)
7.1	用互相关测度匹配	(252)
7.2	匹配滤波器	(255)
7.3	线检测	(258)
§ 8	跟踪技术	(260)
8.1	曲线的全向跟踪	(260)
8.2	跟踪中的搜索技术	(261)
8.3	区域跟踪	(263)
§ 9	松弛标记法	(264)
§ 10	模型化与统计检验法	(266)
§ 11	利用特征空间进行图象分割	(271)
第十章	图象描述和分析	(276)
§ 1	像点间的几何性质	(276)
1.1	邻接与连通	(277)

1.2	距离	(278)
§ 2	图象的幅度及统计特征	(279)
2.1	幅度特征	(279)
2.2	直方图特性	(279)
2.3	变换系数特征	(281)
§ 3	曲线描述	(283)
3.1	曲线拟合法	(283)
3.2	叠代端点拟合法	(284)
3.3	Hough 变换及其应用	(285)
3.4	Freeman 链码	(288)
§ 4	闭合曲线的付氏描述	(289)
§ 5	矩描述	(294)
§ 6	区域的拓扑特性	(297)
§ 7	区域的几何特性	(298)
7.1	区域的几何特性	(298)
7.2	曲线长度和区域周长	(300)
7.3	区域的面积	(300)
§ 8	区域的中轴变换	(301)
§ 9	区域的扩展、收缩与细化	(303)
9.1	扩展和收缩	(303)
9.2	细化	(305)
§ 10	区域的曲线表示	(305)
10.1	区域的投影	(305)
10.2	区域边界的形心距表示	(306)
§ 11	区域的主轴	(306)
§ 12	纹理特征	(309)
12.1	灰度共现矩阵法	(310)
12.2	灰度差分统计法	(313)

12.3	等灰度行程长度法	(314)
12.4	纹理基元结构分析法	(314)
§ 13	关系描述	(317)
13.1	描述层次	(317)
13.2	关系矩阵	(320)
13.3	标记图	(322)
13.4	句法	(325)
第十一章	图象数据压缩	(341)
§ 1	概述	(341)
§ 2	信息论基本知识	(342)
2.1	信息量 熵	(342)
2.2	条件熵	(344)
2.3	互信息量	(346)
2.4	编码	(347)
2.5	信源	(349)
2.6	率失真函数	(352)
§ 3	等值线编码压缩	(353)
§ 4	行程编码压缩	(357)
4.1	一维行程编码	(357)
4.2	二维行程编码	(357)
§ 5	预测误差编码	(358)
5.1	基本原理	(358)
5.2	预测器	(360)
5.3	量化器	(365)
§ 6	正交变换编码压缩	(369)
6.1	基本原理	(369)
6.2	正交交换	(370)
6.3	子图象的大小	(373)

6.4 系数的选取·····	(373)
6.5 量化·····	(374)
§ 7 自适应编码压缩·····	(376)
§ 8 混合编码压缩·····	(376)
8.1 帧内混合编码压缩·····	(376)
8.2 帧间混合编码压缩·····	(377)
§ 9 编码技术·····	(377)
9.1 基本概念·····	(377)
9.2 霍夫曼 (Huffman) 码·····	(377)
§ 10 矢量量化·····	(379)

第一章 导 论

§ 1 概 述

在社会生活和科研生产活动中，人类每时每处都要接触图象。人们通常所说的图象其范围是非常广泛的。各类图片 (picture)，如普通照片、X光片是图象；各类光学影像，如电影、电视是图象；一页书、一张报也是图象；人们对某事物在心目中的有形想象及外部描述，如绘画、绘图等同样是图象。一般地讲，凡是能为人类视觉系统所感知的信息形式或人们心目中的有形想象统称为图象 (image)。

图象信息是人类认识世界的重要知识来源，国外学者曾作过统计，人类所得的外界信息有70%以上是来自眼睛摄取的图象。在许多场合里，没有任何其它形式比图象所传送的信息更丰富和真切。

数字图象处理是指使用数字计算机加工处理图象。这项技术的系统研究始于50年代，1964年美国喷射推进实验室(J.P.L.)使用数字计算机对太空船送回的大批月球照片处理后得到了清晰逼真的图象是这门技术发展的重要里程碑。此后数字图象处理技术在空间研究一直得到广泛的应用。同时，这门技术在其它许多重要领域中也得到了运用，并取得了显著成果。70年代初，由于大量的研究和应用，数字图象处理已具有自己的技术特色并形成了较完善的学科体系，从而成为一门独立的新学科。

近20年来，数字图象处理技术发展更为深入、广泛和迅速，

这主要是各个领域对图象处理提出越来越高的要求以及相关学科的发展。现在人们已充分认识到数字图象处理是认识世界、改造世界的重要手段。

目前，数字图象处理已应用于许多领域。

在遥感方面，人们运用数字图象处理技术及其它某些技术处理分析卫星或飞机摄取的遥感图象，有效地进行资源及矿藏的勘探、国土规化及使用、农作物产量的估计、气象预报及军事目标监视等。

生物学中的图象主要有X射线图象、超声图象及显微图象。X射线图象通常对比度较低而超声图象较粗糙，运用图象处理技术可提高图象的清晰度和分辨率，便于医生诊断。运用图象处理技术可对显微图象中的细胞、染色体等自动分类。1972年X射线层析摄影技术（CT）研究成功及临床应用是最有影响的科技成果之一。

在工业中，图象处理技术已有效地应用于加工、装配与拆卸、质量检验等方面的过程控制中。

在军事、公安方面，数字图象处理技术已成功地应用于飞行器的导航，很多武器系统也应用该方面的技术进行制导和寻的以提高命中率。人像、指纹及其它痕迹的处理与识别可以使用该项技术自动地或辅助地实现。

数字图象处理技术还应用于科研、邮电、体育、考古等许多方面。目前数字图象处理研究与应用最活跃的一个领域是计算机视觉。人们试图使机器具有人的视觉系统功能，可以准确地分析和理解图象。

§ 2 数字图象处理研究的内容

数字图象处理学科所涉及的知识非常广泛，具体的方法种类

繁多，应用也极为普遍，但从学科研究内容上可以分为以下几个方面。

1. 图象数字化

其目的是将模拟形式的图象通过数字化设备变为数字计算机可用的离散的图象数据。

2. 图象变换

为了便于后续的工作，改变图象的表示域和表示数据。

3. 图象增强

以便于人或机器分析、理解图象内容为主要目的的改善图象质量的方法。

4. 图象恢复

对失真的图象进行处理，使处理后的图象尽量接近原始的未失真的图象。

5. 图象分割

根据选定的特征将图象划分成几个有意义的部分，从而使原图象在内容表达上更为简单明了。

6. 图象描述与分析

对已分割的或正在分割的图象中各部分的属性及各部分之间关系的表述。

7. 图象数据压缩

减少图象数据量，以利于传输和存储。

数字图象处理还有其它方面的研究内容，如图象重构、图象序列处理及分析等，这些内容本书不予讨论。

§3 数字图象处理系统

数字图象处理系统是执行处理图象、分析理解图象信息任务的计算机系统。尽管图象处理技术应用广泛，图象处理系统种类

很多，但它们的基本组成是相近的。它们主要含有：图象输入设备、执行处理分析与控制的计算机及图象处理机、输出设备、存储系统中的图象数据库、图象处理程序库与模型库。系统的结构原理框图如图 1.3.1 所示。

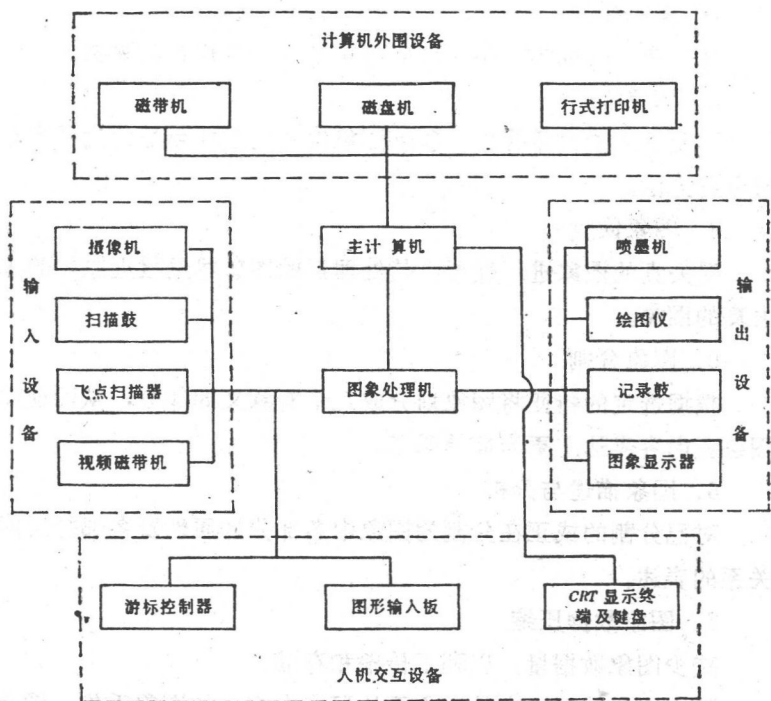


图 1.3.1 数字图象处理系统

图象输入设备是对模拟形式的图象数字化产生计算机可用的离散图象数据的设备。可以根据需要选用鼓式扫描器、平台式微密度计、飞点扫描器、电视摄像机等，它们在输入速度、空间分辨率等方面各具特色。鼓式扫描器的定位精度能达 2~5 微米，样点间隔可达 12.5 微米，量化等级一般达 256，是一种高精度的