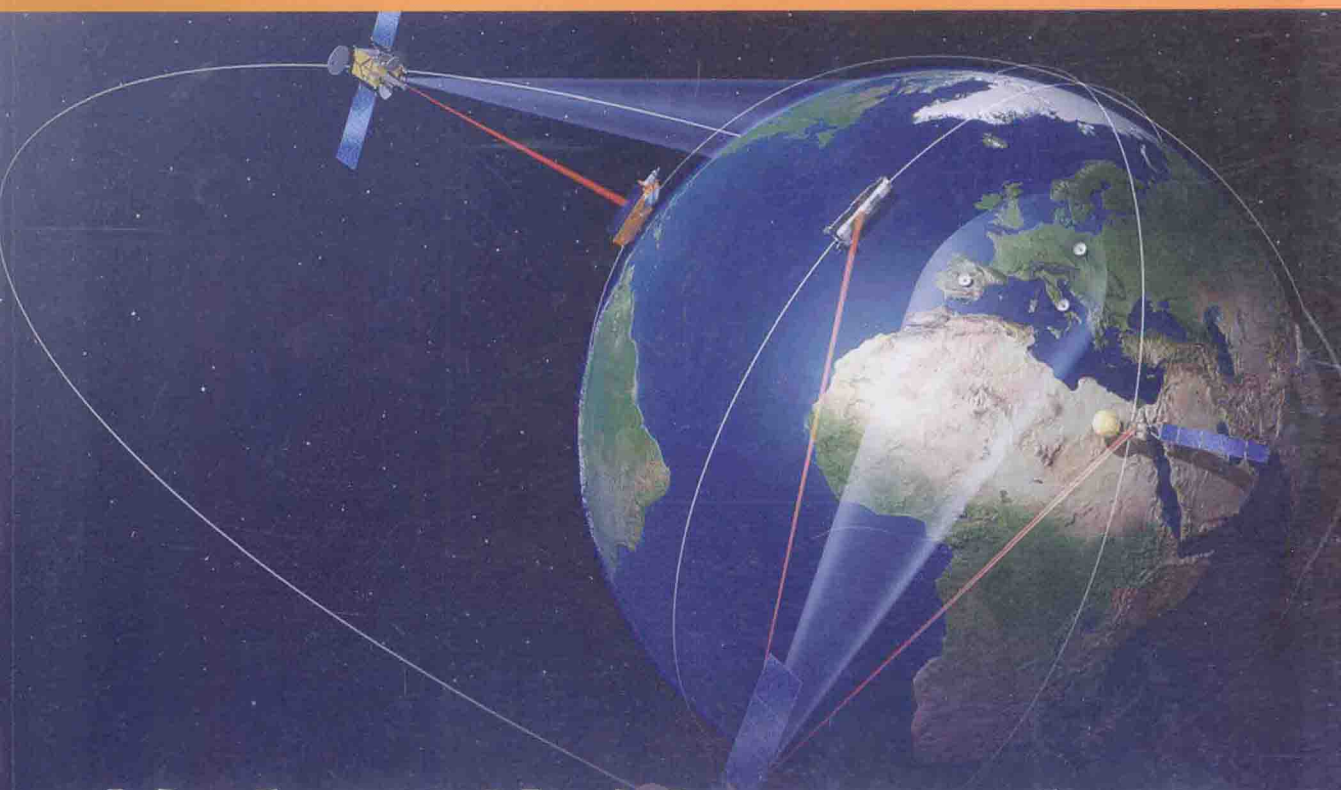




数字图像处理及应用

谢凤英 主 编

赵丹培 李 露 罗晓燕 副主编

姜志国 主 审

(1) 立足基础，注重新理论、新方法。

本书既是很好的教材，又是工程技术人员难得的参考手册。

(2) 分析透彻、条理清晰。

针对具体算法，配以应用实例，分析算法特点。

(3) 案例系统、应用经典。

集作者多年研究的典型工程案例，综合运用各种图像处理技术。

数字图像处理及应用

谢凤英 主 编

赵丹培 李 露 罗晓燕 副主编

姜志国 主 审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书系统而全面地介绍了与数字图像处理相关的基础理论和应用技术,立足基础理论,突出经典算法,并注重总结当前的最新发展,同时重视工程应用。

全书共 14 章,其中第 1~8 章为理论篇,第 9~14 章为应用篇。第 1 章为图像处理的基础知识,包括图像的获取、表达、存储及图像质量评价等。第 2~8 章为图像的基础理论,内容包括图像变换、图像增强、图像复原、图像压缩编码、图像分割、图像的形态学处理,以及图像描述等。第 9~13 章是图像的应用技术,包括图像匹配、图像融合、目标检测、目标跟踪、图像识别等。第 14 章为工程应用系统案例分析,总结了作者实际课题研究中的典型工程案例,这些工程案例将本书的各章内容贯穿起来,是前面各种图像处理技术的综合运用,意在使读者对图像处理技术有一个更高层次的理解和提升。

本书理论翔实,内容全面,前后贯穿。书中的基础理论部分适合做本科生教材,而对图像领域内先进理论和算法的总结又适合做研究生教材,最后对工程应用系统的综合分析还可以供科学研究及工程开发人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理及应用 / 谢凤英主编. —北京:电子工业出版社, 2014.6

ISBN 978-7-121-23113-1

I. ①数… II. ①谢… III. ①数字图象处理 IV. ①TN911.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 087055 号

策划编辑:许存权

责任编辑:康霞

印刷:北京京科印刷有限公司

装订:三河市皇庄路通装订厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开本:787×1092 1/16 印张:32.25 字数:826 千字

印次:2014 年 6 月第 1 次印刷

定价:69.00 元



凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

近几十年来,在数字信号处理技术和计算机技术发展的推动下,数字图像处理技术得到了飞速发展,已成为其他科学技术领域中不可缺少的一项重要工具。数字图像处理的应用领域越来越广泛,从空间探索到微观研究,从军事领域到工农业生产,从科学教育到娱乐游戏,越来越多的领域用到了数字图像处理技术。

作为一门实用而综合性交叉学科,图像处理技术研究的内容主要包括图像变换、图像压缩编码、图像增强与复原、图像分割、图像描述、图像匹配、图像融合、图像目标的检测跟踪、图像识别、图像的形态学处理,等等。本书以传统的图像处理方法为基础,突出经典理论,注重总结当前流行的新理论和新方法,系统介绍这些重要的数字图像处理技术,同时结合实际应用,对经典案例进行系统分析。本书力求基础理论、最新发展及工程应用紧密结合与统一。全书内容涵盖范围广,由经典到先进,深浅适中,读者通过本书的学习,既可以掌握基础理论,又能够熟悉领域内的发展动态,并通过案例分析加强理论内容的理解。

本书由几位多年从事数字图像处理教学和科研工作的教师编写,书中的内容及结构安排经过了课题组的多次讨论和审定,实例分析及工程应用案例来源于作者所在实验室的科研实践和课题研究。全书经过精心组织,有利于教师讲授和学生学习,同时也有利于相关领域科学研究及工程开发人员的参考。

本书由北京航空航天大学图像处理中心的谢凤英、赵丹培、李露和罗晓燕老师共同编写,其中,谢凤英主要负责第3、6、7、8、13、14章,1.1、1.3、1.4节,2.1~2.4、2.7节,9.1~9.3节;赵丹培主要负责第4、11、12章,2.5、2.6、2.8节,9.4.1~9.4.5节的初稿,13.2.2~13.2.5节;李露主要负责第5章,9.4.6节;罗晓燕主要负责第10章,1.2和1.5节,9.4.1~9.4.5节的终稿。全书由北京航空航天大学图像处理中心姜志国教授主审,最后由谢凤英统稿和校对。特别感谢在百忙之中为本书主审并提出许多宝贵意见的姜志国教授。感谢北京航空航天大学图像处理中心的卢亚楠博士、史俊博士、李阳、吴叶芬、张杰和陆明同学在本书的编写中给予的大力支持。同时,在编写本书的过程中参考了国内外出版的大量论文和书籍,在此对本书中所引用论文和书籍的作者深表感谢。

本书相关的共享资源可登录华信教育资源网(www.hxedu.com.cn)免费下载。

由于编者水平有限,书中定有一些不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

CONTENTS

目录

理论篇	(1)	2.1.2 灰度级插值	(28)
第1章 数字图像处理的基础知识	(1)	2.1.3 几何校正	(30)
1.1 数字图像处理概述	(1)	2.2 傅里叶变换	(31)
1.1.1 图像和数字图像	(1)	2.2.1 一维傅里叶变换	(32)
1.1.2 数字图像处理的主要研究 内容	(3)	2.2.2 二维离散傅里叶变换	(33)
1.1.3 数字图像处理的发展及应用	(4)	2.2.3 二维离散傅里叶变换的 性质	(34)
1.2 图像的获取技术	(7)	2.2.4 快速傅里叶变换 (FFT)	(38)
1.2.1 图像的获取手段	(7)	2.3 离散余弦变换	(42)
1.2.2 图像的显示与输出	(9)	2.3.1 离散余弦变换的定义	(42)
1.3 图像数字化	(9)	2.3.2 快速离散余弦变换	(43)
1.3.1 采样	(10)	2.4 Gabor 变换	(44)
1.3.2 量化	(10)	2.4.1 短时傅里叶变换	(45)
1.4 图像数据的表示与存储	(11)	2.4.2 连续 Gabor 变换	(47)
1.4.1 彩色空间	(11)	2.4.3 离散 Gabor 变换	(48)
1.4.2 图像类型	(14)	2.4.4 高斯窗 Gabor 函数	(48)
1.4.3 数字图像的表示	(15)	2.5 离散 K-L 变换	(51)
1.4.4 图像数据的存储	(15)	2.5.1 离散 K-L 变换介绍	(52)
1.5 图像质量评价	(19)	2.5.2 离散 K-L 变换的性质	(53)
1.5.1 人类视觉系统	(19)	2.5.3 主成分分析 (PCA)	(54)
1.5.2 图像质量主观评价	(21)	2.6 Radon 变换	(56)
1.5.3 图像质量客观评价	(22)	2.6.1 Radon 变换介绍	(56)
1.5.4 算法性能评价	(24)	2.6.2 Radon 变换的性质	(57)
小结	(25)	2.7 小波变换	(58)
习题	(25)	2.7.1 多分辨率分析的背景知识	(58)
第2章 图像的数学变换	(26)	2.7.2 多分辨率展开	(61)
2.1 几何变换	(26)	2.7.3 一维小波变换	(66)
2.1.1 空间变换	(26)	2.7.4 快速小波变换	(69)

2.7.5 二维离散小波变换·····	(73)	3.5 彩色增强·····	(127)
2.8 数学变换在图像处理中的应用·····	(76)	3.5.1 伪彩色增强·····	(127)
2.8.1 傅里叶变换在图像去噪中的 应用·····	(76)	3.5.2 真彩色增强·····	(130)
2.8.2 离散余弦变换在图像压缩中 的应用·····	(77)	小结·····	(131)
2.8.3 Gabor 变换在纹理分析中的 应用·····	(78)	习题·····	(131)
2.8.4 小波变换在图像压缩中的 应用·····	(79)	第4章 图像复原·····	(133)
2.8.5 小波变换在图像去噪中的 应用·····	(80)	4.1 图像的退化模型·····	(134)
2.8.6 小波变换在边缘检测中的 应用·····	(81)	4.1.1 图像的退化与复原过程·····	(134)
2.8.7 小波变换在图像融合中的 应用·····	(83)	4.1.2 连续函数的退化模型·····	(135)
2.8.8 小波变换在图像增晰中的 应用·····	(84)	4.1.3 离散函数的退化模型·····	(136)
小结·····	(85)	4.1.4 图像复原的基本步骤·····	(138)
习题·····	(85)	4.2 常用的图像退化模型·····	(139)
第3章 图像增强·····	(87)	4.3 退化模型的参数估计·····	(141)
3.1 灰度级修正·····	(88)	4.3.1 运动模糊的退化原理·····	(141)
3.1.1 灰度的线性变换·····	(88)	4.3.2 运动模糊退化模型的参数 估计·····	(145)
3.1.2 灰度的非线性变换·····	(90)	4.3.3 散焦模糊的退化原理·····	(154)
3.1.3 直方图修正·····	(91)	4.3.4 散焦模糊退化模型的参数 估计·····	(155)
3.2 图像平滑·····	(97)	4.4 图像复原的典型方法·····	(156)
3.2.1 邻域平均法·····	(97)	4.4.1 逆滤波法·····	(157)
3.2.2 中值滤波·····	(100)	4.4.2 维纳滤波·····	(159)
3.2.3 帧间平滑·····	(102)	4.4.3 等功率谱滤波·····	(161)
3.2.4 频域低通滤波法·····	(103)	4.4.4 几何均值滤波器·····	(162)
3.3 图像锐化·····	(107)	4.4.5 无约束最小二乘复原方法·····	(162)
3.3.1 微分法·····	(107)	4.4.6 有约束最小二乘复原方法·····	(163)
3.3.2 频域高通滤波法·····	(112)	4.4.7 投影复原法·····	(166)
3.4 图像增晰·····	(114)	4.4.8 Richardson-Lucy 算法·····	(167)
3.4.1 同态滤波·····	(114)	4.4.9 振铃效应的去除·····	(168)
3.4.2 基于 Retinex 的增强·····	(116)	4.5 图像复原的质量评价·····	(169)
3.4.3 基于 LIP 的增强·····	(118)	4.5.1 有参考的图像质量评价·····	(169)
3.4.4 基于照度区域划分的增强·····	(123)	4.5.2 无参考的图像质量评价·····	(171)
		小结·····	(172)
		习题·····	(173)
		第5章 图像压缩编码·····	(174)
		5.1 图像压缩编码概述·····	(174)
		5.1.1 图像压缩编码的必要性和 可行性·····	(174)

5.1.2	图像压缩编码的发展·····	(175)	6.3.1	区域生长法·····	(223)
5.1.3	图像压缩编码的分类·····	(176)	6.3.2	分裂合并法·····	(226)
5.2	图像压缩编码的基本理论·····	(177)	6.4	聚类分割·····	(228)
5.2.1	信息的度量·····	(177)	6.4.1	K-均值聚类·····	(228)
5.2.2	香农编码定理·····	(178)	6.4.2	模糊C均值聚类·····	(231)
5.2.3	图像压缩编码的一般流程·····	(180)	6.4.3	Mean-shift 聚类分割·····	(232)
5.3	经典图像压缩编码方法·····	(181)	6.5	基于参数活动轮廓模型的分割·····	(236)
5.3.1	霍夫曼编码·····	(181)	6.5.1	传统 Snake 模型·····	(237)
5.3.2	算术编码·····	(183)	6.5.2	GVF Snake 模型·····	(240)
5.3.3	游程编码·····	(184)	6.6	基于几何形变模型的分割·····	(243)
5.3.4	预测编码·····	(184)	6.6.1	曲线演化理论·····	(243)
5.3.5	变换编码·····	(187)	6.6.2	水平集方法及其数值实现·····	(244)
5.4	现代图像压缩编码方法·····	(189)	6.6.3	几何活动轮廓模型·····	(248)
5.4.1	分形编码·····	(190)	6.6.4	测地活动轮廓模型·····	(250)
5.4.2	模型基编码·····	(191)	6.6.5	Chan-Vese 模型·····	(252)
5.4.3	小波变换编码·····	(193)	6.7	基于图论的分割·····	(255)
5.4.4	神经网络编码·····	(194)	6.8	图像分割的性能评价·····	(259)
5.5	图像压缩编码的性能评价·····	(195)	小结·····	(262)	
5.6	图像压缩技术标准·····	(198)	习题·····	(263)	
5.6.1	静止图像压缩标准简介·····	(198)	第7章 图像的形态学处理·····	(265)	
5.6.2	运动图像压缩标准简介·····	(201)	7.1	数学形态学概述·····	(265)
小结·····	(203)	7.1.1	数学形态学·····	(265)	
习题·····	(203)	7.1.2	数学形态学的基本思想·····	(266)	
第6章 图像分割·····	(204)	7.2	二值形态学·····	(266)	
6.1	非连续性分割·····	(205)	7.2.1	几个基本符号和定义·····	(267)
6.1.1	点检测·····	(205)	7.2.2	二值腐蚀和膨胀·····	(268)
6.1.2	线检测·····	(206)	7.2.3	二值开运算和闭运算·····	(270)
6.1.3	边缘检测·····	(207)	7.2.4	击中、击中不中变换及其 应用·····	(272)
6.1.4	基于梯度的局部处理·····	(210)	7.2.5	骨架抽取·····	(275)
6.1.5	基于 Hough 变换的全局 处理·····	(212)	7.3	灰度形态学·····	(277)
6.1.6	基于图论的全局处理·····	(214)	7.3.1	灰度形态学的相关概念·····	(277)
6.2	阈值分割·····	(216)	7.3.2	灰度腐蚀和膨胀·····	(279)
6.2.1	阈值分割的原理·····	(216)	7.3.3	灰度开运算和闭运算·····	(281)
6.2.2	最小误差阈值分割·····	(217)	7.3.4	灰度形态学梯度·····	(283)
6.2.3	最大类间方差阈值分割·····	(218)	7.3.5	Top-Hat 变换·····	(284)
6.2.4	最大熵阈值分割·····	(220)	7.4	水域分割·····	(285)
6.3	基于区域的分割·····	(223)	小结·····	(288)	

习题	(288)	9.4.1 SIFT 特征描述子	(338)
第 8 章 图像的描述	(290)	9.4.2 SURF 特征描述子	(344)
8.1 几何描述	(290)	9.4.3 基于 SIFT/SURF 特征的 匹配	(349)
8.2 边界描述	(292)	9.4.4 D-nets 特征描述子	(352)
8.2.1 链码	(292)	9.4.5 基于 D-nets 特征的匹配	(352)
8.2.2 傅里叶描述子	(294)	9.4.6 基于最大稳定极值区域的 匹配	(354)
8.3 形状描述	(295)	小结	(359)
8.3.1 区域描述	(295)	习题	(359)
8.3.2 图像矩	(297)	第 10 章 图像融合	(360)
8.4 直方图描述	(300)	10.1 图像融合的情况介绍	(360)
8.4.1 直方图特征	(300)	10.1.1 图像融合的要求	(360)
8.4.2 梯度方向直方图	(302)	10.1.2 图像融合的困难与挑战	(360)
8.4.3 韦伯局部描述子	(304)	10.1.3 图像融合的系统模型	(361)
8.5 颜色描述	(308)	10.1.4 多源图像融合的应用	(362)
8.6 纹理描述	(310)	10.2 像素级图像融合方法	(363)
8.6.1 自相关函数	(310)	10.2.1 基于空间域的像素级图像 融合方法	(364)
8.6.2 灰度差分统计	(311)	10.2.2 基于变换域的像素级图像 融合方法	(365)
8.6.3 等灰度游程长度	(312)	10.3 特征级图像融合方法	(367)
8.6.4 灰度共生矩阵	(313)	10.3.1 基于边缘特征的图像融合 方法	(367)
8.6.5 傅里叶功率谱纹理分析	(315)	10.3.2 基于梯度特征的图像融合 方法	(367)
8.6.6 局部二元模式 (LBP 特征)	(317)	10.4 决策级图像融合方法	(367)
8.6.7 Gabor 小波纹理描述	(319)	10.4.1 基于表决策的决策级融合 方法	(368)
小结	(323)	10.4.2 基于贝叶斯推理的决策级 融合方法	(368)
习题	(323)	10.4.3 基于证据理论的决策级 融合方法	(369)
应用篇	(325)	10.5 多源图像融合的实例与分析	(369)
第 9 章 图像匹配	(325)	10.5.1 区域融合方法概述	(369)
9.1 图像匹配概述	(325)	10.5.2 区域分割和标签	(371)
9.2 基于灰度信息的图像匹配	(326)	10.5.3 区域融合	(372)
9.2.1 绝对平衡搜索匹配	(327)	10.6 多源图像融合的性能评价	(374)
9.2.2 归一化互相关匹配	(327)		
9.2.3 最大互信息匹配	(328)		
9.3 基于特征的图像匹配	(329)		
9.3.1 基于点特征的匹配	(329)		
9.3.2 基于线特征的匹配	(332)		
9.3.3 基于不变矩的匹配	(335)		
9.3.4 基于相位相关的匹配	(336)		
9.4 基于局部不变描述子的图像匹配	(337)		

小结	(376)	12.2.3 卡尔曼滤波	(414)
习题	(377)	12.2.4 粒子滤波	(417)
第 11 章 图像目标检测	(378)	12.3 基于数据驱动的跟踪方法	(421)
11.1 基本问题概述	(378)	12.3.1 波门跟踪方法	(421)
11.2 运动目标检测	(380)	12.3.2 基于模板匹配的跟踪方法	(422)
11.2.1 运动图像序列的背景建模	(381)	12.3.3 基于活动轮廓的跟踪方法	(422)
11.2.2 静止背景下的运动目标检测	(382)	12.3.4 基于核的跟踪方法	(423)
11.2.3 动态背景下的运动目标检测	(385)	12.3.5 基于子空间学习的跟踪方法	(426)
11.3 有形目标检测	(388)	12.3.6 基于机器学习的跟踪方法	(428)
11.3.1 基于图像分割的目标检测方法	(389)	12.4 多目标跟踪	(430)
11.3.2 基于模板匹配的目标检测方法	(390)	12.4.1 多目标跟踪的基本原理	(431)
11.3.3 基于机器学习的目标检测方法	(392)	12.4.2 最近邻法 (NN)	(432)
11.4 弱小目标检测	(392)	12.4.3 概率数据关联滤波器 (PDAF)	(433)
11.4.1 弱小目标检测的基本原理	(393)	12.4.4 联合概率数据关联滤波器 (JPDAF)	(434)
11.4.2 弱小目标检测中的背景抑制	(395)	12.4.5 多假设跟踪	(436)
11.4.3 基于单帧的弱小目标检测算法	(397)	小结	(438)
11.4.4 基于多帧的弱小目标检测算法	(399)	习题	(438)
11.5 目标检测的性能评价	(402)	第 13 章 图像识别	(439)
11.5.1 目标检测中的通用性能评价指标	(402)	13.1 图像识别系统	(439)
11.5.2 ROC 曲线评估模型	(405)	13.2 特征提取与特征数据处理	(440)
小结	(406)	13.2.1 原始特征的形成	(441)
习题	(407)	13.2.2 线性特征提取	(441)
第 12 章 目标跟踪	(408)	13.2.3 非线性特征提取	(443)
12.1 目标跟踪问题概述	(408)	13.2.4 特征袋模型	(447)
12.2 基于模型驱动的跟踪方法	(411)	13.2.5 稀疏编码	(449)
12.2.1 目标的运动模型	(411)	13.2.6 特征选择	(450)
12.2.2 贝叶斯估计理论	(413)	13.3 统计分类器	(453)
		13.3.1 线性分类器	(454)
		13.3.2 最近邻分类器	(455)
		13.3.3 Bayes 分类器	(455)
		13.4 人工神经网络	(456)
		13.4.1 基本原理	(456)

13.4.2	BP 神经网络	(457)	14.2.2	皮肤镜图像的分割	(477)
13.4.3	模糊神经网络	(459)	14.2.3	皮损目标的特征提取	(478)
13.4.4	组合神经网络	(463)	14.2.4	皮损目标的分类识别	(479)
13.5	支持向量机分类	(465)	14.3	铁路扣件损伤检测系统	(479)
13.5.1	最优分类面	(465)	14.3.1	轨面定位	(480)
13.5.2	支持向量机	(466)	14.3.2	轨枕定位	(481)
13.5.3	核函数的选择	(467)	14.3.3	扣件目标检测	(481)
13.6	分类器增强算法——AdaBoost	(468)	14.3.4	扣件区域增强	(481)
小结		(469)	14.3.5	扣件目标特征提取	(483)
习题		(469)	14.3.6	扣件目标损伤状态识别	(483)
第 14 章	工程应用系统案例分析	(471)	14.4	交通监控车牌识别系统	(484)
14.1	免疫细胞图像分析系统	(471)	14.4.1	预处理增强	(485)
14.1.1	图像的自动分割	(472)	14.4.2	车牌检测	(486)
14.1.2	目标定位	(472)	14.4.3	虚警去除	(487)
14.1.3	细胞提取	(474)	14.4.4	字符分割	(489)
14.1.4	细胞测量	(474)	14.4.5	字符识别	(489)
14.2	皮肤镜图像分析系统	(475)	小结		(491)
14.2.1	皮肤镜图像的预处理	(476)	参考文献		(492)

理 论 篇

第 1 章

数字图像处理的基础知识

图像是信息的重要载体，是人类获取信息、表达信息和传递信息的重要手段。人类获取外界信息有视觉、听觉、触觉、嗅觉和味觉等多种方法，其中 80%左右来自视觉所接收的图像信息。自然图像是连续的，或者说，在采用数字化表示和数字计算机存储处理之前，图像是连续的，这时的图像称为模拟图像（Analog Image）。数字图像（Digital Image）是由模拟图像数字化或离散化得到的。随着人类社会的进步和计算机科学技术的发展，人们对信息处理和信息交流的要求越来越高，对数字图像处理技术的广泛研究和应用也成为必然趋势。

本章将介绍数字图像处理的主要研究内容、发展和应用，在此基础上介绍图像的获取技术、数字图像的表示和存储及图像质量的评价等基础内容。

1.1 数字图像处理概述

1.1.1 图像和数字图像

图像是当光辐射能量照在客观存在的物体上，经其反射或透射得到反射光能量或透射光能量，或由发光物体本身发出的光能量。人类用眼睛感受外界的光能量，经过视神经、传导神经后在大脑中重现出景物的视觉信息，这是最原始的图像。同理，由人类设计制造的成像装置感受外界的光能量形成的结果也是图像，例如，相机拍摄的底片和照片、电影摄影机拍摄的电影片段、电视摄像机拍摄的电视节目片段等都属于图像的范畴。广义地讲，凡是记录在纸介质上的、拍摄在底片和照片上的、显示在电视、投影仪和计算机屏幕上的所有具有视觉效果的画面都可以称为图像。根据图像记录方式的不同，图像可分为模拟图像和数字图像两类。模拟图像是通过某种物理量（光、电等）的强弱变化来记录图像上各点的亮度信息的，例如，模拟电视图像，而数字图像则完全是用数字（即计算机存储的数据）来记录图像亮度信息的。

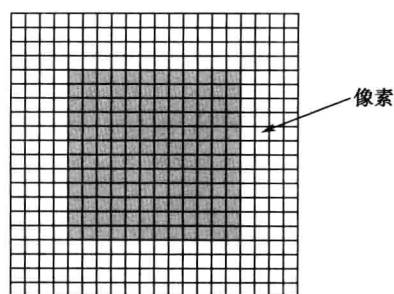


图 1-1 放大后的矩形图像

在计算机中,组成数字图像的基本单位是像素(Pixel),也就是说,数字图像是像素的集合。如图 1-1 所示,图中每个格点代表一个像素,该图是一个白色背景下包含灰色矩形的图像。数字图像处理(Digital Image Processing)又称为计算机图像处理,就是指用数字计算机及其他相关的数字技术,对数字图像施加某种或某些运算和处理,从而达到某种预期的处理目的。



1. 数字图像处理的基本特点

模拟图像经采样和量化两个过程以后变成能够被计算机存储和处理的数字图像,它具有以下几个基本特点:

1) 处理信息量大

数字图像处理的信息大多是二维信息,处理信息量很大。如一幅 256×256 的黑白图像,要求约 64Kb 的数据量;对 512×512 的彩色图像,则要求 768Kb 的数据量;如果要处理 30 帧/秒的电视图像序列,则每秒要求 500Kb~22.5Mb 数据量。因此,对计算机的计算速度、存储容量等要求较高。

2) 占用频带较宽

与语言信息相比,图像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。所以在成像、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。

3) 各像素相关性大

数字图像中各个像素是不独立的,在图像画面上,经常有很多像素有相同或接近的灰度。就电视画面而言,同一行中相邻两个像素或相邻两行间的像素,其相关系数可达 0.9 以上,一般来说相邻两帧之间的相关性比帧内相关性还要大些。因此,图像处理中信息压缩的潜力很大。

4) 受人的因素影响较大

数字图像处理后的图像一般是给人观察和评价的,因此,受人的因素影响较大。一方面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研究。另一方面,计算机视觉是模仿人的视觉,人的感知机理必然影响计算机视觉的研究。



2. 数字图像处理的优点

在计算机处理出现以前,图像处理都是采用光学照相处理和光学透镜滤波处理等模拟方法来进行的。随着计算机技术和图像处理技术的发展,用计算机或数字电路进行数字图像处理已经越来越显示出它的优越性。主要表现在:

1) 再现性好

数字图像处理与模拟图像处理的根本不同在于,它不会因图像的存储、传输或复制等一系列变换操作而导致图像质量的退化。只要图像在数字化时准确地表现了原稿,则数字图像处理过程始终能保持图像的再现。



2) 处理精度高

按目前的技术,几乎可将一幅模拟图像数字化为任意大小的二维数组,这主要取决于图像数字化设备的能力。现代扫描仪可以把每个像素的灰度等级量化为16位甚至更高,这意味着图像的数字化精度可以满足任一应用需求。对计算机而言,不论数组大小,也不论每个像素的位数多少,其处理程序几乎是一样的。换言之,从原理上讲不论图像的精度有多高,处理总是能实现的。

3) 适用面宽

图像来自多种信息源,它们可以是可见光图像,也可以是不可见的波谱图像(例如,X射线图像、超声波图像或红外图像等)。从图像反映的客观实体尺度看,可以小到电子显微镜图像,大到航空照片、遥感图像甚至天文望远镜图像,这些来自不同信息源的图像均可用计算机来处理。即只要针对不同的图像信息源,采取相应的图像信息采集措施,图像的数字处理方法适用于任何一种图像。

4) 灵活性高

图像处理大体上可分为图像的像质改善、图像分析和图像重建三大部分,每一部分均包含丰富的内容。由于图像的光学处理从原理上讲只能进行线性运算,这极大地限制了光学图像处理能实现的目标。而数字图像处理不仅能完成线性运算,而且能实现非线性处理,即凡是可以数学公式或逻辑关系来表达的一切运算均可用数字图像处理实现。

1.1.2 数字图像处理的主要研究内容

根据图像处理的主要流程和目标,大致可以将图像处理的主要研究内容分为图像获取、图像变换、图像编码、图像增强和复原、图像分割、图像描述、图像匹配、图像融合、图像识别、运动目标检测和跟踪等几个方面。

1) 图像获取

图像获取是图像处理过程中的首要基础工作,是获得或生成图像的过程。根据具体的获取方式分为两类,既可以是从客观现实目标场景中通过成像设备获得,也可以是计算机合成图像。其中,获得数字图像的成像设备应具有两种装置,一种是能感应记录电磁能量光谱的成像传感器,另一种是能将光谱能量电信号从模拟转化为数字形式的模/数转换器。目前,在图像处理领域,能被计算机处理的数字图像必须在空间和灰度上都具有离散性才行,体现在图像获取过程中就是图像的空间采样和灰度离散化技术。

2) 图像变换

图像变换包括几何变换、傅里叶变换、离散余弦变换、K-L变换及小波变换等。除几何变换外,其他变换都是将空间域的处理转换为变换域处理,不仅可减少计算量,而且可获得更有效的处理,如傅里叶变换可用于频域数字滤波处理、离散余弦变换可用于图像数据压缩、而K-L变换则可用来对图像数据进行降维处理等。

3) 图像编码压缩

图像编码压缩技术可减少描述图像的数据量(即位元),以便节省图像传输和处理的时间,以及减少所占用的存储器容量。压缩可以在不失真的前提下获得,也可以在允许失真的条件下进行。编码是压缩技术中最重要的方法,它在图像处理技术中是发展最早且比较成熟的技术。



4) 图像增强和复原

图像增强和复原属于图像预处理环节，其目的是提高图像的质量，如去除噪声，提高图像的清晰度等。图像增强不考虑图像降质的原因，突出图像中感兴趣的部分，如强化图像高频分量可使图像中物体轮廓清晰，强化低频分量可减少图像中的噪声影响。图像复原要求对图像降质的原因有一定的了解，一般讲应根据降质过程建立“降质模型”，再采用某种滤波方法，恢复或重建原来的图像。

5) 图像分割

图像分割是数字图像处理中的关键技术之一，它是将图像中有意义的特征部分提取出来，其有意义的特征有图像的边缘、区域等。图像分割是进一步进行图像识别、分析和理解的基础。虽然目前已研究出不少边缘提取、区域分割的方法，但还没有一种普遍适用于各种图像的有效方法。因此，对图像分割的研究还在不断深入之中，仍然是目前图像处理中研究的热点之一。

6) 图像描述

图像描述是图像识别和理解的必要前提。为了有效识别感兴趣的目标，必须对各区域、边界的属性和相互关系用更加简洁明确的数值和符号表示，从而在保留原图像区域重要信息的同时，减少描述区域的数据量。图像的描述方法一般包括边界、形状、颜色和纹理等几方面。

7) 图像匹配

图像匹配是图像处理中的应用技术之一，其实质是比较两幅或多幅图像，寻找它们之间在某一图像特性上的相似性，图像匹配的应用领域非常广泛，如全景视图、图像拼接、目标检测等。

8) 图像融合

图像融合是信息融合的一个重要分支，其主要思想是通过一定的算法规则，将两个或多个在同一时间或不同时间获得的某一场景或目标的图像进行综合处理，最大限度地利用多源图像间的互补信息，减少冗余信息，生成一个对场景或目标表示更准确、有效的新图像。目前，图像融合不仅应用于场景感知、目标检测、目标识别等军事领域，也广泛应用于智能交通、安全监视、医学成像等民用领域。

9) 图像识别

图像识别是图像经过某些预处理（增强、复原、压缩）后，进行图像分割和特征提取，从而进行判别分类。对图像目标的分类识别常采用经典的统计模式分类方法，以及后来发展起来的人工神经网络和支持向量机等分类方法。

10) 运动目标检测和跟踪

目标检测是搜索图像中感兴趣的目标，获得目标的客观信息，而目标跟踪则是根据当前运动信息估计和预测出运动目标的运动趋势，以便为其后的识别理解等高层次图像处理提供信息。运动目标的检测和跟踪属于动态图像序列的处理范畴，也是目前图像处理研究的热点内容之一。

对于一个图像处理系统，由于处理的目的不同，所用到的图像步骤可能是以上内容中的一种，也可能是几种，我们会在后续章节中对这些内容进行介绍。

1.1.3 数字图像处理的发展及应用

► 1. 数字图像处理的发展

数字图像的最早应用是在报纸业。早在 20 世纪 20 年代早期，Bartlane 电缆图像传输系统



通过海底电缆穿过大西洋在纽约和伦敦之间传输图像，它将传输时间从 1 周多减少至 3h。在该系统中，专用的打印设备将图像编码并传输，然后在接收端重建图像。为了提高这些图像的视觉质量，人们把问题聚焦在打印过程和亮度级分布上。早期的 Bartlane 系统的编码图像具有 5 个灰度级，到 1929 年提高至 15 个灰度级。尽管上面这个例子中提到了数字图像，但是由于这一时期计算机还没有出现，因而它们并不能算作我们所说的数字图像处理的结果。因此，数字图像处理的历史是和数字计算机密不可分的。事实上，数字图像占据大量的存储空间，而且数字图像处理过程中需要大量的计算，因此，数字图像的发展依赖于计算机的发展，依赖于显示、存储、传输等技术的支持。

用计算机成功处理数字图像最早可以追溯到 20 世纪 60 年代初期，1964 年美国喷气推进实验室 (Jet propulsion Laboratory, JPL) 对航天探测器徘徊者 7 号发回的几千张月球照片使用了图像处理技术，如用几何校正、灰度变换、去除噪声等方法进行处理，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更为复杂的图像处理，获得了月球的地形图、彩色图及全景镶嵌图，取得了非凡的成果，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。

与此同时，20 世纪 60 年代后期至 70 年代早期，数字图像处理开始用于医学图像、对地遥感和天文学等方面。1972 年英国 EMI 公司工程师 Hounsfield 发明了用于头颅诊断的 X 射线计算机断层摄影装置，也就是我们通常所说的 CT (Computer Tomography)。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，说明它对人类做出了划时代的贡献。

从 60 年代后期到现在，图像处理技术蓬勃发展并得到了广泛应用。在工业、医药和生物科学等领域，用对比度增强和伪彩色增强技术来提高视觉效果。地理学工作者对卫星或航拍图像进行增强来研究污染模式。图像增强和复原技术还可以用来处理不可复现的或者复现成本过于昂贵的质量下降的图像。在考古学领域，珍贵的人造物品会因年代久远而被损坏或丢失，用图像处理技术可以对这些物品成像并恢复模糊的图像。在物理学及其相关领域，图像处理技术可以用来增强高能离子显微镜或电子显微镜等实验结果图像。其他如天文、生物、核医学、执法、防卫和工业等领域，都有类似的图像处理的成功应用。

从 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对外部世界的理解，这被称为图像理解或计算机视觉。这类研究集中在图像信息的提取方面。这些信息可以是傅里叶变换系数、多维距离测量等。通常，这些信息与人类视觉的某些特征具有相同之处，可以用来解释图像的内容。图像处理技术应用在图像理解方面的典型例子包括自动字符识别、用于产品集成和检测的工业机器视觉、指纹的自动处理、X 射线和血液样本的筛查、用于天气预报和环境评估的航空或卫星图像处理等。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。

现今，计算机性能不断地提高，通信技术不断地发展，而造价进一步下降，这极大地促



进了图像处理系统的普及和应用, 21 世纪的图像处理技术正在向更高质量方向发展, 主要体现在以下几点:

(1) 高分辨率。随着图像传感器分辨率和计算机运算速度的不断提高, 图像存储器内存、计算机内存及外设存储容量不断增大, 数字图像由低分辨率向高分辨率不断发展。

(2) 高速度。在运动目标的检测和跟踪、工业部件的在线监测和分类中需要能够实时处理图像, 并行计算机的出现、存储容量的增大及运算速度的提高, 使得这种需要成为现实。

(3) 立体化。三维立体图像可以提供更丰富的信息。三维图像获取及处理技术主要通过全息摄影实现, 或通过断层扫描与图像重建实现。随着图像技术和计算机技术的发展, 三维图像不再只是科幻电影中的某个镜头, 而已经在军事和医学上得到广泛应用, 并已逐步进入人们的日常生活。

(4) 多模化。对于同一目标、景物或场景, 采用不同的图像传感器或在不同条件下获取图像, 然后对这些图像进行综合处理和应用。例如, 医院为了有效检查某种疑难病症, 可以将病灶位置的 CT、MR、超声的图像进行综合对比和分析。

(5) 智能化。计算智能方法以其自学习、自组织、自适应的特征和简单、通用、鲁棒性强、易并行处理等特点, 使得其在图像处理中有着广泛的应用前景和不可替代的地位。智能图像处理技术是图像处理智能化发展的必然趋势, 它们能够更好地满足人类的信息处理需求。

► 2. 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, 随着数字技术和数字计算机技术的飞速发展, 数字图像处理技术已经发展成为一门独立的有强大生命力的学科, 其应用领域十分广泛。

1) 航天和航空技术方面

数字图像处理技术在航天和航空技术方面的应用, 除了对月球、火星照片的处理之外, 另一方面的应用是在航空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。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图像处理的系统来判读分析, 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 70 年代初到 90 年代末, 美国太空总署 (NASA) 发射了 7 颗资源遥感卫星 LANDSAT 系列, 其图像分辨率最高可达 15m。1999 年美国洛克希马丁公司发射了世界上第一颗提供高分辨率卫星影像的商业遥感卫星 IKONOS, 可提供 1m 分辨率的全色光图像。2001 年由美国 Digital Globe 公司发射的 QuickBird 卫星, 全色光分辨率达到 0.6m, 单景影像比其他的商业高分辨率卫星高出 2~10 倍, 具有最高的地理定位精度和海量性上存储。法国则从 1986 年开始陆续发射 SPOT 卫星, 目前可提供 10m 分辨率的全色图像和 20m 分辨率的多光谱图像。我国从 1985 年以来陆续研制发射了国土资源普查卫星, 卫星图像数据因此得到了广泛应用。

遥感图像数据在空中先处理 (数字化, 编码) 成数字信号存入磁带中, 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。据统计, 有近 30 个领域、行业都能用到遥感技术, 如陆地水资源调查、土地资源调查、植被资源调查、地质调查、城市遥感调查、海洋资源调查、测绘、考古调查、环境监测和规划管理等。利用计算机对遥感图像目标进行自动识别, 成为当前遥感信息处理的主要发展方向。



2) 生物医学工程方面

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技术之外,还有一类是对医用显微图像的处理分析,如红细胞、白细胞分类,染色体分析,痰涂片结核杆菌检测,皮肤病理图像分析,癌细胞识别等。此外,在X光肺部图像增晰、超声波图像处理、MR核磁影像分析、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。用数字图像处理和系统以后,由计算机处理和识别软件代替人眼,不仅大大减少了目视判读工作量,检验结果也实现定量化,精度大幅提高。

3) 通信工程方面

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100Mb/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。

4) 工业和工程方面

在工业和工程领域中图像处理技术有着广泛的应用,如产品和大型部件的无损探伤,自动装配线中工件质量检测 and 分类,印刷电路板疵病检查,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,支票、签名、文件的识别及辨伪,在一些有毒、放射性环境内识别工件及物体的形状和排列状态,在先进的设计和制造技术中采用工业视觉,等等。

5) 军事公安方面

在军事方面图像处理和识别主要用于飞行导航,导弹打靶的景物图像制导和寻的,雷达地形侦察,各种侦察照片的判读,具有图像传输、存储和显示的军事自动化指挥系统,飞机、坦克和军舰模拟训练系统等;公安方面的业务包括图片的判读分析,指纹识别,人脸识别,不完整图片的复原,以及交通监控、车牌识别、事故分析等。

6) 其他领域的应用

其他如电视画面的数字编辑、电视电影动画制作、电子图像游戏、电子商务中的身份认证和产品防伪、文物资料照片的复制和修复、运动员动作分析,等等。

总之,图像处理技术应用领域相当广泛,已在国家安全、经济发展、日常生活中充当越来越重要的角色,对国计民生的作用不可低估。

1.2 图像的获取技术

1.2.1 图像的获取手段

图像的获取可分为成像设备捕获与计算机合成两种方式。在现如今的应用中,最主要的图像是用成像设备产生的电磁能量谱图像,以可见光谱波段的图像为典型。在不同的应用场景,人们往往希望得到不同的光谱段信息,而不同范围的光谱记录依赖于不同特性的成像传感器,下面以常见的几种传感器为例对图像获取手段进行简要介绍。