



21世纪全国本科院校电气信息类**创新型**应用人才培养规划教材

# 数字图像处理算法及应用

李文书 赵悦 著



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

# 数字图像处理算法及应用

李文书 赵悦 著

2012年度杭州市科协育才工程资助项目  
2012年度浙江省科协育才工程资助项目  
国家和省基金及钱江人才(B类)资助项目  
(60702069, Y1080851, Y12H200015, 2012R10054)



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 内 容 简 介

本书主要以智能图像处理技术的算法实现为核心,系统介绍了图像预处理、图像分析与图像识别/理解的基本原理、方法和技术,还包括图像处理技术的现状和最新研究进展。

本书首先论述了数字图像处理的基础知识与数学模型;其次对图像处理的预处理方法进行了归纳总结;再次详述了编者在图像分析中的工作;最后阐述了编者在图像识别领域中的最新成果。每章末附有小结,为读者学习和深入掌握该章的主要内容提供了便利。

本书可作为高等院校智能信息处理、通信工程、电子科学与技术、信息工程、自动化、计算机科学与技术、地球物理、生物工程、生物医学工程、医学、遥感等领域相关专业的教材,同时也可供上述相关专业的教师和科技工作者参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理算法及应用/李文书,赵悦著. —北京:北京大学出版社, 2012. 12

(21世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-21607-1

I. ①数… II. ①李… ②赵… III. ①数字图像处理—高等学校—教材 IV. ①TN911.73

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第281797号

书 名: 数字图像处理算法及应用

著作责任者: 李文书 赵悦 著

策划编辑: 郑双

责任编辑: 郑双

标准书号: ISBN 978-7-301-21607-1/TP·1259

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 新浪官方微博:@北京大学出版社

电子信箱: [pup\\_6@163.com](mailto:pup_6@163.com)

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 山东省高唐印刷有限责任公司

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 25.5印张 603千字

2012年12月第1版 2012年12月第1次印刷

定 价: 48.00元

---

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

举报电话: 010-62752024 电子信箱: [fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)

# 前 言

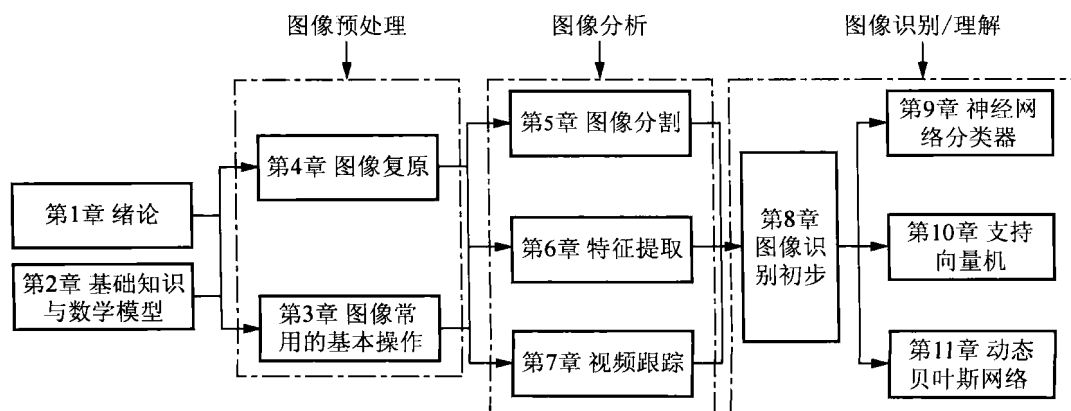
图像是人类相互交流和认识客观世界的主要媒体之一。已有数据表明，人类感知的各种信息中大约 3/4 来自于视觉。伴随计算机技术的发展以及相关领域的迫切需求，图像处理技术已经广泛应用于科学研究、工业生产、文化娱乐、医疗卫生、教育、管理和航空航天等领域，其已成为现代信息社会的重要支柱之一。

图像处理是一门融数学、物理、生理学、心理学、电子学和计算机科学于一体的交叉学科。其研究范围与模式识别、计算机图形学相互整合，研究进展与人工智能、神经网络、遗传算法、模糊逻辑等理论与技术密切相关。随着数字图像处理技术研究的深入发展，图像预处理、图像分析和图像识别/理解研究的渐趋成熟，总结该领域中已有的思想方法、实现技术和研究成果，出版一部内容充实、思想新颖，既能反映这一研究领域的前沿动态，又有助于一般科技人员了解这一研究领域概貌的参考书，无疑对促进智能化图像处理技术的研究进程有着重要的学术价值和社会效益。

本书是在作者的国家自然科学基金(中医舌诊中舌形、舌态信息提取及其辩证推演方法的研究, 60702069)、省自然科学基金(基于认知模型的人脸表情识别研究, Y1080851), 以及在上海交通大学生物医学工程博士后工作站从事博士后研究工作期间参与的 863 重点项目(部分 K 空间数据成像技术, 2006AA020805)的资助下, 系统开展中医舌诊客观化、人脸表情识别关键技术和 MRI 成像技术研究成果的总结。

本书的写作思路是围绕“一个主线”和“两个要点”展开的。“一个主线”即按照图像预处理、图像分析、图像识别的顺序, 简述作者最新的研究成果; 对“两个要点”来说, 其一较全面地阐述了图像处理的基本原理、方法和相关技术; 其二力求反映作者在图像处理领域近十多年的研究成果。因此, 本书既包括了图像处理技术相关算法的基本内容, 同时又具有一定的深度和广度。希望通过本书的学习, 使读者既能掌握图像处理的概貌, 又能把握图像处理的国际动态和发展趋势。

为了使读者对相关知识有一个更清晰的脉络, 并有选择性地参阅本书, 我们给出了各章之间的依赖关系(见下图)。





其中,第1章主要简述了数字图像处理的概念、研究内容及与其他学科之间的关系和应用场合;第2章概括了图像信息处理技术要用到的基础数学知识、图像质量评价、图像数学描述、图像数字化,为后续内容的展开打下基础;第3章介绍了常用的基本操作,方便初学者在阅读后续章节遇到问题时参考使用;第4章研究了变尺度参数的IRM去噪算法以及基本逆尺度空间和Contourelet变换的MRI重建,其中简述了图像退化模型和常用的图像复原方法;第5章研究了人眼区域分割与定位和基于改进Level Set的中医舌体分割;第6章研究特征提取,其属于图像分析的范畴,是数字图像处理的高级阶段,同时也是图像识别的开始,研究了基于IKDA的并行特征融合人脸表情识别方法;第7章在详述了视频跟踪的应用、技术现状、基础核心技术的基础上,研究了基于改进Random Forest的行人检测方法和基于改进均值漂移的行人跟踪算法;第8章研究了基于半监督LDA的中医五色识别和基于胃炎患者舌象特征的识别方法;第9章在简述了常用神经网络的基础上,提出了基于Gabor小波和ANN的人脸识别方法;第10章在分析了SVM的理论基础上,提出了基于半监督模糊拉普拉斯SVM的人脸表情识别和基于Adaboost-GPC过程分类的人脸表情识别;由于动态贝叶斯网络在描述非线性、时序性、演化性以及不确定性方面具有显著特点,第11章提出了基于误差减少和EM的动态贝叶斯网络学习算法以及基于半监督主动学习DBNs的信用风险行为演化模型。

本书由李文书主著,赵悦(中央民族大学)、许参、赵超、王根岭、肖培如、姚金良博士(杭州电子科技大学)、陈巧红、苏先创和凌坚(浙江传媒大学)对本书第10和11章的相关内容提出了许多建设性的意见。在写作过程中作者得到了许多的帮助和支持,特别是在审稿时周昌乐教授(厦门大学)、周其年教授等对书稿提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢!感谢国家自然科学基金委员会、浙江省自然科学基金委员会、浙江省科技厅人事处、浙江省科学技术协会和杭州市科学技术协会、浙江理工大学各级领导为研究工作所提供的研究经费和便利条件。

另外,也要非常感谢我历届的研究生胡申宁(浙江大学)、姚建富、魏秀金、何芳芳、王松、徐振兴(浙江大学)、吴雅萱和周涛,本书的最终形成与他们的辛勤劳动是分不开的。本书得到“2012年度杭州市科协育才工程资助项目”、“2012年度浙江省科协育才工程资助项目”和“国家和省基金及钱江人才(B类)资助项目(60702069, Y1080851, Y12H290045, 2012R10054)”的支持。同时,在本书的创作过程中,得到了北京大学出版社的关心和大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在不妥之处,敬请读者指正。欢迎读者与作者联系。本书的部分程序代码可通过作者邮箱获得, E-mail:wshlee@163.com。

李文书

2012年7月于浙江理工大学畅园

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1	<b>第 3 章 图像常用的基本操作</b> .....	46
1.1 概述 .....	1	3.1 图像的点运算 .....	46
1.2 什么是数字图像处理 .....	1	3.1.1 灰度直方图 .....	46
1.3 数字图像处理研究内容 .....	4	3.1.2 灰度的线性及对数变换 .....	47
1.4 图像处理和其他相关学科的关系 .....	6	3.1.3 直方图均衡化 .....	51
1.5 图像处理的应用 .....	7	3.1.4 直方图规范化 .....	54
1.5.1 在航天和航空技术方面的 应用 .....	7	3.2 图像的几何变换 .....	56
1.5.2 在生物医学工程方面的 应用 .....	9	3.2.1 简单的几何变换 .....	56
1.5.3 在工业和工程方面的应用 .....	10	3.2.2 插值算法 .....	62
1.5.4 在军事公安方面的应用 .....	12	3.2.3 图像配准 .....	66
1.5.5 在文化艺术方面的应用 .....	12	3.3 空间域图像增强 .....	68
1.5.6 在通信工程方面的应用 .....	13	3.3.1 空间域滤波 .....	69
1.6 小结 .....	13	3.3.2 图像平滑 .....	70
习题 .....	13	3.3.3 中值滤波 .....	71
<b>第 2 章 基础知识与数学模型</b> .....	14	3.3.4 图像锐化 .....	73
2.1 图像信息基础知识 .....	14	3.4 频率域图像增强 .....	76
2.1.1 $\delta$ 函数 .....	14	3.4.1 傅里叶变换基础知识 .....	76
2.1.2 线性系统 .....	14	3.4.2 快速傅里叶变换 .....	80
2.2 图像质量评价 .....	16	3.4.3 低通滤波器 .....	86
2.2.1 主观质量评价方法 .....	17	3.4.4 高通滤波器 .....	90
2.2.2 客观质量评价方法 .....	17	3.5 形态学图像处理 .....	95
2.3 图像的数学描述 .....	21	3.5.1 二值图像中的基本形态学 运算 .....	95
2.3.1 图像的函数表示 .....	21	3.5.2 灰度图像中的基本形态学 运算 .....	99
2.3.2 图像的统计表示 .....	23	3.6 小结 .....	106
2.3.3 图像处理的统计模型 .....	27	习题 .....	107
2.4 图像数字化 .....	29	<b>第 4 章 图像复原</b> .....	110
2.4.1 图像采样 .....	30	4.1 图像退化模型 .....	110
2.4.2 图像量化 .....	35	4.1.1 连续函数退化模型 .....	111
2.5 像素间的基本关系 .....	41	4.1.2 离散的退化模型 .....	112
2.5.1 邻域 .....	41	4.1.3 循环矩阵对角化 .....	114
2.5.2 连通性 .....	41	4.1.4 退化函数估计 .....	115
2.5.3 距离 .....	42	4.2 常用图像复原法 .....	118
2.6 小结 .....	43	4.2.1 逆滤波 .....	118
习题 .....	44	4.2.2 维纳滤波 .....	120



4.2.3	几何失真校正 .....	123	习题 .....	176
4.2.4	从噪声中复原 .....	127		
4.3	一种变尺度参数的 IRM 去噪 算法 .....	131	<b>第 6 章 特征提取</b> .....	179
4.3.1	IRM 模型及其尺度参数 .....	132	6.1 概述 .....	179
4.3.2	变尺度参数的 IRM 模型 .....	133	6.2 图像特征提取方法 .....	181
4.3.3	实验结果与分析 .....	135	6.2.1 直方图 .....	181
4.4	基于逆尺度空间和 Contourlet 阈值的 MRI 重建方法 .....	138	6.2.2 灰度共生矩阵 .....	182
4.4.1	压缩感知理论框架 .....	139	6.2.3 颜色特征 .....	184
4.4.2	Contourlet 变换的基本 性质 .....	143	6.2.4 形状上下文特征 .....	185
4.4.3	基于逆尺度空间和 Contourlet 变换的 MRI 重建 .....	145	6.2.5 SIFT 特征 .....	186
4.4.4	实验结果与分析 .....	146	6.2.6 HOG 特征 .....	188
4.5	小结 .....	148	6.2.7 LBP-TOP 特征提取 .....	191
习题	.....	148	6.2.8 Gabor 变换 .....	195
<b>第 5 章 图像分割</b>	.....	150	6.3 特征降维 .....	200
5.1	概述 .....	150	6.3.1 奇异值分解 .....	200
5.2	相关算法理论基础 .....	151	6.3.2 主成分分析 .....	201
5.2.1	颜色空间 .....	151	6.3.3 核主成分分析 .....	202
5.2.2	可变模型理论 .....	156	6.3.4 线性鉴别方法 .....	203
5.2.3	水平集理论 .....	157	6.4 基于 IKDA 的并行特征融合人脸表情 识别 .....	204
5.2.4	Harris 角点检测算法 .....	158	6.4.1 特征融合策略 .....	205
5.3	人眼区域分割与定位 .....	159	6.4.2 改进的核 LDA .....	207
5.3.1	基于 Adaboost 人脸检测 .....	160	6.4.3 实验结果与分析 .....	209
5.3.2	人眼定位 .....	163	6.5 小结 .....	214
5.3.3	基于椭圆拟合的眼睛轮廓 提取 .....	165	习题 .....	214
5.4	基于改进 Level Set 的中医舌体 分割 .....	168	<b>第 7 章 视频跟踪</b> .....	215
5.4.1	去除舌区域淤点并初始化舌体 轮廓线 .....	169	7.1 概述 .....	215
5.4.2	增强舌体与皮肤之间的 弱边界 .....	171	7.2 视频跟踪的应用 .....	216
5.4.3	GAC 主动轮廓模型的水平集 表示 .....	171	7.2.1 视频监控 .....	216
5.4.4	改进的水平集方法 .....	172	7.2.2 视觉导航 .....	216
5.4.5	实验与讨论 .....	173	7.2.3 三维重构 .....	217
5.5	小结 .....	176	7.2.4 其他 .....	218
			7.3 视频跟踪的技术现状 .....	218
			7.3.1 视频跟踪方法的分类 .....	218
			7.3.2 视频跟踪算法 .....	220
			7.3.3 视频跟踪中的技术难点 .....	221
			7.4 视频跟踪的基础核心技术 .....	221
			7.4.1 目标表示方法及目标特征 .....	221
			7.4.2 目标的检测方法 .....	224
			7.4.3 目标的跟踪方法 .....	227
			7.4.4 目标跟踪算法的性能评估 .....	229



7.5 基于改进 Random Forest 的行人检测方法 .....	230	<b>第9章 神经网络分类器 .....</b>	<b>276</b>
7.5.1 随机森林分类器设计 .....	230	9.1 神经网络的基本原理 .....	276
7.5.2 决策树构建 .....	232	9.1.1 人工神经元 .....	276
7.5.3 实验结果与分析 .....	236	9.1.2 神经网络模型 .....	279
7.6 基于改进均值漂移的行人跟踪算法 .....	238	9.1.3 神经网络的学习过程 .....	280
7.6.1 基于均值漂移算法的目标跟踪 .....	239	9.1.4 神经网络在模式识别问题上的优势 .....	280
7.6.2 基于改进的 Mean-Shift 算法的行人跟踪 .....	244	9.2 BP 神经网络 .....	282
7.6.3 实验结果及分析 .....	246	9.2.1 BP 神经网络的基本概念 .....	282
7.7 小结 .....	250	9.2.2 BP 神经网络的分类器设计 .....	288
习题 .....	250	9.3 径向基函数神经网络 .....	291
<b>第8章 图像识别初步 .....</b>	<b>251</b>	9.3.1 RBF 神经网络的基本概念 .....	291
8.1 模式与模式识别 .....	251	9.3.2 RBF 神经网络训练 .....	294
8.2 图像识别 .....	251	9.4 自组织竞争神经网络 .....	296
8.2.1 识别问题的一般描述 .....	252	9.4.1 自组织竞争神经网络学习规则 .....	296
8.2.2 过度拟合 .....	253	9.4.2 自组织神经网络的拓扑结构 .....	297
8.2.3 图像识别系统结构 .....	254	9.4.3 自组织竞争网络训练 .....	297
8.2.4 训练/学习方法分类 .....	256	9.5 概率神经网络 .....	298
8.3 图像识别方法分类 .....	257	9.5.1 概率神经网络的基本概念 .....	298
8.3.1 统计模式识别 .....	257	9.5.2 概率神经网络分类器设计 .....	299
8.3.2 句法模式识别 .....	257	9.6 对向传播神经网络 .....	299
8.4 基于半监督 LDA 的中医五色识别 .....	259	9.6.1 对向神经网络的基本概念 .....	299
8.4.1 问题的提出 .....	259	9.6.2 参数表达及计算方法 .....	300
8.4.2 主题模型 .....	260	9.7 Hopfield 网络 .....	301
8.4.3 颜色特征提取 .....	262	9.7.1 Hopfield 神经网络 .....	301
8.4.4 基于 sLDA 的五色识别 .....	263	9.7.2 离散 Hopfield 网络拓扑结构 .....	302
8.5 基于胃炎患者舌象特征的识别研究 .....	267	9.7.3 离散 Hopfield 网络结构的工作方式 .....	302
8.5.1 当前特征提取的热点方法 .....	267	9.7.4 离散 Hopfield 网络训练和分类识别方法 .....	303
8.5.2 基于 Gabor 小波的局部特征提取 .....	269	9.8 基于 Gabor 小波和 ANN 的人脸识别 .....	304
8.5.3 酉空间里的 LDA .....	270	9.8.1 人脸识别常用方法 .....	305
8.5.4 特征融合框架 .....	271	9.8.2 Gabor 特征提取算法与实现 .....	306
8.5.5 实验结果与讨论 .....	272		
8.6 小结 .....	274		
习题 .....	275		







9.8.3	多通道快速 Gabor 特征提取 .....	308	11.2	隐马尔可夫模型 .....	351
9.8.4	特征降维及归一化处理 .....	310	11.2.1	隐马尔可夫模型的基本概念 .....	351
9.8.5	改进 BP 算法 .....	310	11.2.2	隐马尔可夫模型的基本问题 .....	353
9.8.6	实验结果与分析 .....	311	11.2.3	隐马尔可夫模型基本问题的解法 .....	353
9.9	小结 .....	313	11.3	动态贝叶斯网络 .....	357
	习题 .....	313	11.3.1	基本概念 .....	358
<b>第 10 章</b>	<b>支持向量机</b> .....	<b>314</b>	11.3.2	学习 .....	359
10.1	SVM 的分类思想 .....	314	11.3.3	推理 .....	362
10.1.1	分类模型的选择 .....	314	11.4	主动学习理论 .....	362
10.1.2	模型参数的选择 .....	315	11.4.1	主动学习与被动学习 .....	362
10.2	SVM 的理论基础 .....	315	11.4.2	选择策略 .....	364
10.2.1	线性可分情况下的 SVM .....	315	11.5	基于误差减少和 EM 的动态贝叶斯网络学习算法 .....	368
10.2.2	非线性可分情况下的 C-SVM .....	319	11.5.1	算法原理 .....	369
10.2.3	需要核函数映射情况下的 SVM .....	321	11.5.2	实验结果和分析 .....	370
10.3	基于半监督模糊拉普拉斯 SVM 的人脸表情识别 .....	324	11.6	基于半监督主动学习 DBNs 的信用风险行为演化模型 .....	371
10.3.1	模糊拉普拉斯 SVM .....	324	11.6.1	算法流程 .....	372
10.3.2	多类模糊拉普拉斯 SVM .....	327	11.6.2	实验结果和分析 .....	373
10.3.3	实验结果与分析 .....	327	11.7	小结 .....	374
10.4	基于 AdaBoost-GPC 过程分类的人脸表情识别 .....	330		习题 .....	375
10.4.1	高斯过程分类器 .....	330	<b>附录 A</b>	<b>数字图像处理技术词汇表</b> .....	<b>376</b>
10.4.2	AdaBoost-Gaussian 过程分类器 .....	333	<b>附录 B</b>	<b>数序基础</b> .....	<b>382</b>
10.4.3	实验结果与分析 .....	334	B1	线性代数 .....	382
10.5	小结 .....	336	B1.1	向量和矩阵 .....	382
	习题 .....	337	B1.2	特征值和特征向量 .....	384
<b>第 11 章</b>	<b>动态贝叶斯网络</b> .....	<b>338</b>	B1.3	矩阵的奇异值分解 .....	385
11.1	贝叶斯网络理论 .....	338	B1.4	方程组 .....	386
11.1.1	结构学习 .....	340	B1.5	最小二乘法求解 .....	387
11.1.2	参数学习 .....	343	B1.6	线性变换 .....	388
11.1.3	推理 .....	346	B1.7	主分量分析 .....	389
11.1.4	几种常用贝叶斯网络分类器 .....	348	B2	集合论 .....	391
			B2.1	定义 .....	391
			B2.2	性质 .....	392
			<b>参考文献</b>	<b>参考文献</b> .....	<b>393</b>

# 第 1 章

## 绪 论

### 1.1 概 述

图像(Image)是人类传递信息的主要媒体之一,由于图像具有直观、生动、信息量大等特点,它成为人类获取信息、感知世界,进而改造世界的一种重要手段。有资料显示,通过视觉获取的信息占人类接受信息总和的 75%以上,图像信息的重要性由此可见一斑。

虽然图像在人类生活中早已司空见惯,图像一词也频繁地出现在人们的日常交流中,但究竟何谓图像并没有一个严格的定义。在韦伯(Webster)英文词典中,图像的定义为图像是人或事物的一种模拟或表示。其他描述和定义的还有“在一般意义下,一幅图像是另一个东西的一个表示”,“图像是以某一技术手段被再现于二维平面上的视觉信息”。但从数学的观点来看,可以认为图像是对真实事物的一种近似或逼近。图像有各种形式,包括二值图像、灰度图像、彩色图像、高精度(广角)彩色图像、多光谱段图像,等等。

一般来说,凡是能被人类视觉系统所感知的有形信息,或人们心目中的有形想象都被统称为图像。因此,图像处理(Image Processing)有时要考虑人的心理因素。所谓图像处理,就是通过某些数学运算对图像信息进行加工和处理,以满足人的视觉心理和实际应用需求。

图像处理可以应用光学图像处理方法,也可以应用数字图像处理方法。光学图像处理方法已有很长的历史,在激光全息技术出现后得到进一步发展。尽管光学处理理论日臻完善,且处理速度快、信息容量大、分辨率高,但处理精度不高,稳定性差,设备笨重,操作不便,不如数字图像处理方法处理灵活,且受实际工艺和设备材料的限制等。这些因素限制了光学处理的发展速度。而数字图像处理方法的优缺点恰好与光学图像处理方法相反。它最突出的优点是灵活方便,改变软件程序即可改变处理方法,达到所求的处理效果;最大的缺点是处理速度慢,尤其是大信息量的图像运算。本书主要研究数字图像处理。

### 1.2 什么是数字图像处理

数字图像处理(Digital Image Processing, DIP)又称计算机图像处理,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。数字图像处理最早出现于 20 世纪 50



年代, 当时的电子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像信息。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。

早期图像处理的目的是改善图像的质量, 其以人为对象, 以改善人的视觉效果为目的。在图像处理中, 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、复原、编码、压缩等。

首次获得实际成功应用的是美国喷气推进实验室(The Jet Propulsion Laboratory, JPL)。在航天探测器徘徊者 7 号于 1964 年发回的几千张月球照片中, 图 1.1 所显示的是由徘徊者 7 号在撞击月球表面前 17 分钟时摄取的第一张月球图像。所得到的月球图像经过图像处理技术, 如几何校正、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, 产生了非凡的成果, 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。另外, 可喜的是我国在探月方面也取得长足的进展, 图 1.2 是中国完成的目前清晰度最高的全月球三维数字地形图。这幅全月球三维数字地形图是 2007 年嫦娥一号卫星上带的 CCD 立体相机获取的影像数据, 也是目前国际上覆盖全月球、平面与高程的分辨率最高、数据精度最高的月球三维地形数据。极大地促进了月表形貌的特征、规律与成因的研究, 推动了月球构造与区划的科学厘定, 深化了对月球地质及其演化历史的认识, 并为后续月球探测工程的科学目标设计、有效载荷配置、关键技术要求和工程保障条件等奠定重要基础。

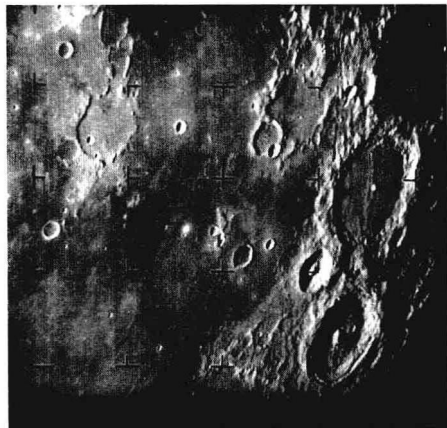


图 1.1 NASA 月球表面图像

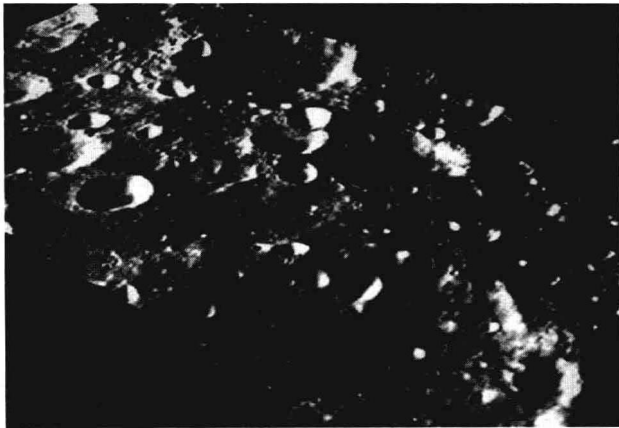


图 1.2 中国探月 3D 效果图

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。其中, X 射线作为一种可以携带人体内部信息的物质波于 1895 年由伦琴首次发现, 并对其夫人的手拍下了人类历史上第一幅 X 光片(见图 1.3)。然而 X 光摄影具有诸如影像重叠、辐射剂量大、密度分辨率低、不便于存储等缺点。尤其是在纵深方向上的影像叠加现象, 为病灶位置的确定增加了难度。1972 年英国 EMI 公司工程师高弗雷·豪斯费尔德(Godfrey Newbold Hounsfield)爵士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公司又成功研制出用于全身的CT装置,获得了人体各个部位鲜明清晰的断层图像。1979年,这项无损诊断技术获得了诺贝尔奖,说明其对人类做出了划时代的贡献。图1.4为出血性脑梗死(NECT)的病人CT成像。



图 1.3 第一幅 X 光片

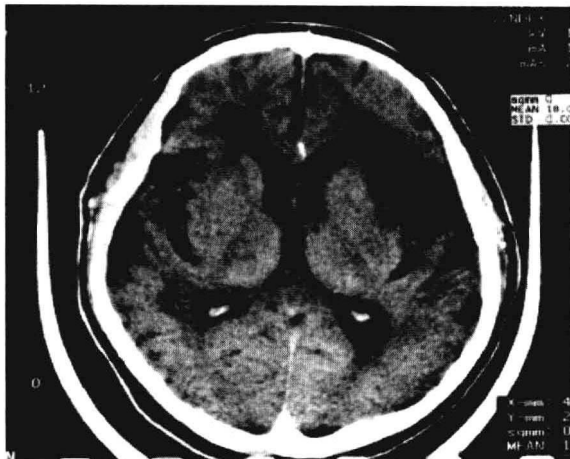


图 1.4 NECT CT 成像

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利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,特别是发达国家在这项研究中投入了更多的人力、物力,并取得了不少重要的研究成果。

#### 注意:

(1) 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够实现的目标。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,即凡是可以用数学公式或逻辑关系表达的一切运算均可用数字图像处理实现。

(2) 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只要被变换为数字编码形式后,均是用二维数组表示的灰度图像(彩色图像也是由灰度图像组合成的,例如,RGB图像由红、绿、蓝三个灰度图像组合而成)组合而成,因而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。

(3) 由于图像是三维景物的二维投影,一幅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做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。

(4) 数字图像中各个像素间不是独立的,其相关性较大。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,而相邻两帧之间的相关性比帧内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。



### 1.3 数字图像处理研究内容

数字图像处理学科所涉及的知识面非常广泛，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主要方面。

#### (1) 图像数字化

一幅图像在用计算机进行处理前必须先被转化为数字形式，即用一个数字阵列来表示一个物理图像。这样，一个物理图像被划分为许多小区域，最常用的划分方案是方形采样网格。一个网格称之为一个像素(Pixel)，赋予每个像素位置的数值反映了物理图像上对应点的亮度。图像的这种转化过程称为数字化，即在每个像素位置，图像的亮度被采样和量化，从而得到图像对应点上表示其明暗程度的一个整数值。因此，每个像素具有两个属性：位置和灰度。对所有的像素都完成上述转化(数字化)后，图像就被表示成一个整数矩阵。于是，此数字矩阵就可以作为计算机处理的对象了。

#### (2) 图像变换

由于图像的数字阵列很大，直接在空间域中进行处理，涉及计算量会很大。因此，往往采用各种图像变换的方法，如傅里叶(Fourier)变换、沃尔什变换、离散余弦变换等间接处理技术，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。例如，傅里叶变换可在频域中进行数字滤波处理；而小波变换在时域和频域中都具有良好的局部化特性，其在图像处理中也有着广泛而有效的应用。

#### (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(即比特数)，以便节省图像传输、处理时间和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，也可以在允许的失真条件下进行。编码是压缩技术中最重要的方法，其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

图像增强和复原的目的是为了提高图像的质量，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，突出图像中所感兴趣的部分。例如，强化图像高频分量，可使图像中物体轮廓清晰，细节明显；强化低频分量可减少图像中噪声影响。

图像复原要求对图像降质的原因有一定的了解，一般应根据降质过程建立合理的“降质模型”，再采用某种滤波方法，恢复或重建原来的图像。例如，掌握了聚焦不良成像系统的物理特性，便可建立复原模型，而且对获取图像的特定光学系统的直接测量也是可能的。退化模型和特定数据共同描述了图像的退化。因此，复原技术是基于模型和数据的图像恢复，其目的是消除退化的影响，从而产生一个等价于理想成像系统所获得的图像。

#### (5) 图像重建

图像重建与上述的图像增强、图像复原等不同。图像增强、图像复原的输入是图像，处理后输出的结果也是图像，而图像重建是指从数据到图像的处理，即输入的是某种数据，而经过处理后得到的结果是图像，CT就是图像重建处理的典型应用实例。其从身体

横剖面的一组投影数据建立图像。目前主要有两类重建图像的方法：傅里叶逆变换和级数展开重建技术。

另外，图像重建与计算机图形学相结合，把多个二维图像合成三维图像，并加以光照模型和各种渲染技术，生成各种具有强烈真实感的高质量图像。

#### (6) 图像融合

图像融合利用了多源信息进行决策和行动的理论和工具，将多源信道所采集到的关于同一目标的不同成像机理、不同工作波长范围、不同工作环境与要求的图像数据经过图像处理最大限度地提取各自信道中的有利信息，消除多传感器信息之间可能存在的冗余和矛盾，最后综合成高质量的图像，以供观察或进一步处理。

#### (7) 图像分割

图像分割是数字图像处理中的关键技术之一。图像分割是将图像中有意义的特征部分提取出来，其有意义的特征包括图像中的边缘、区域等，这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。

其中，图像自动分割是图像处理中较困难的问题之一。人类视觉系统的优越性，使得人类能够将所观察的复杂场景中的对象分开，并识别出每个物体。但对计算机来说，这却是一个难题。目前，大部分图像的自动分割还需要人工提供必需的信息来帮助，只有一部分领域(如印刷字符自动识别 OCR、指纹识别等)开始使用。由于解决和分割有关的基本问题是特定领域中图像分析实用化的关键一步，因此，将各种方法融合在一起并使用知识来提高处理的可靠性和有效性是图像分割的研究热点。

#### (8) 图像描述

图像描述是图像识别和理解的必要前提。最简单的二值图像可采用其几何特性描述物体的特性，一般图像的描述方法采用二维形状描述，有边界描述和区域描述两类方法。对于特殊的纹理图像可采用二维纹理特征描述。随着图像处理研究的深入发展，已经开始进行三维物体描述的研究，并提出了体积描述、表面描述、广义圆柱体描述等方法。

#### (9) 图像分类

图像分类(识别/理解)属于模式识别的范畴，其主要内容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，从而进行判决分类。图像分类常采用经典的模式识别方法，有统计模式分类和句法(结构)模式分类。

为了研究的方便，把前六项研究定义为图像预处理。即通过对图像进行加工来改善图像的外观，为图像处理其他部分打基础；而把图像分割和图像描述定义为图像分析<sup>①</sup>。即对图像中感兴趣的对象进行检测与分析，以获得一系列与目标对象相关的图像特征(对象描述)；图像识别是图像分析的延伸，它根据图像分析中得到的相关描述(特征)对目标对象进行归类，输出用户感兴趣的的目标对象类别标号信息。如果说图像分析主要是以观察者为中心研究客观世界，那么图像识别在一定程度上就是以客观世界为中心，借助知识、经

<sup>①</sup> 如果说图像预处理是一个从图像到图像的过程，则图像分析就是一个从图像到数据的过程。这里的数据可以是目标特征的测量结果，或是基于测量的符号表示，它们描述了目标的特点和性质。



验等来把握整个客观世界(包括没有直接观察到的事物)。

总而言之,从图像预处理到图像分析再到图像识别的过程,是一个将所含信息抽象化,尝试降低信息熵,提炼有效数据的过程。也就是说,图像预处理是比较低层的操作,它主要在图像像素级上进行处理,处理的数据量非常大。图像分析则进入了中层,分割和特征提取把原来以像素描述的图像转变成比较简洁的非图像形式的描述。图像识别主要是高层操作,基本上是对从描述抽象出来的符号进行运算,其处理过程和方法与人类的思维推理有许多类似之处,如图 1.5 所示。

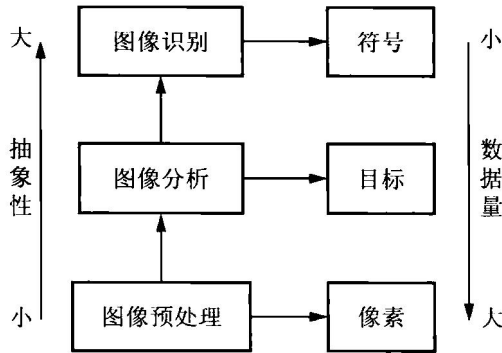


图 1.5 数字图像预处理、分析与识别的关系

从信息论的角度而言,图像应当是物体所含信息的一个概括,而数字图像预处理侧重于将这些概括的信息进行变换,如升高或降低熵值,数字图像分析则是将这些信息抽取出来以供其他过程调用。当然,在不太严格时,图像处理也可兼指图像处理与分析。

## 1.4 图像处理和其他相关学科的关系

图像处理是一门系统地研究各种图像理论、技术和应用的交叉学科。从研究方法来看,它可以与数学、物理学、生理学、认知心理学、电子学、计算机科学等许多学科相互借鉴。从研究范围来看,它与计算机图形学(Computer Graphics)、模式识别(Pattern Recognition)、计算机视觉(Computer Vision)等多个专业互相交叉。

另外,图像处理的研究进展与人工智能、神经网络、遗传算法、模糊逻辑等理论和技术都有密切的联系,它的发展应用与医学、遥感、通信、文档处理和工业自动化等许多领域也是密不可分的。

图像处理与计算机图形学、模式识别、计算机视觉等的关系如图 1.6 所示。计算机图形学研究的是用计算机技术生成图形的理论、方法和技术,即由非图像形式的数据描述来生成逼真的图像。它可以生成现实世界中已经存在的物体的图形,也可以生成虚构物体的图形,其与图像分析的对象和输出结果正好对调。模式识别与图像分析则比较相似,只是前者试图把图像分解成可用符号较抽象地描述的类别。计算机视觉主要强调利用计算机实现人的视觉功能,要用到图像处理三个层次的许多技术,但目前的研究内容主要与图像理解相结合。

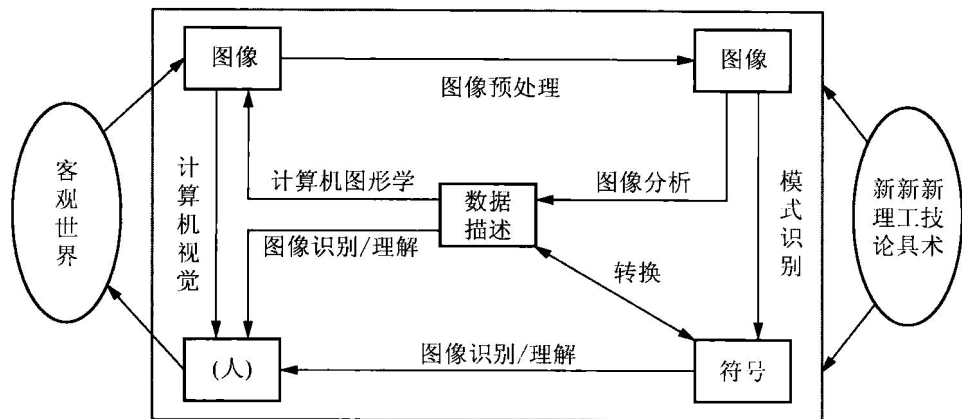


图 1.6 图像处理与相关学科的联系和区别

## 1.5 图像处理的应用

在许多应用领域，图像处理技术都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。

### 1.5.1 在航天和航空技术方面的应用

数字图像处理技术在航天和航空技术方面的应用，除了 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<sup>①</sup>。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，图像质量总不是很高。

因此，以如此昂贵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。例如，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十几米或 100m 左右（如 1983 年发射的 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

<sup>①</sup> QuickBird 卫星于 2001 年 10 月由美国 DigitalGlobe 公司发射，是目前世界上最先提供亚米级分辨率的商业卫星，卫星影像分辨率为 0.61m。在卫星图像方面，美国五角大楼每年都会给予其三大主要合作伙伴 DigitalGlobe、IKONOS 和 ORBIMA 数十亿美元的资助，而这些公司的卫星数据将在第一时间交给五角大楼作为军事应用，而且针对某些敏感区域在规定的时限内不允许商业化。当然，这些公司还是会将限制之外的影像出售，如 Keyhole（后来的 Google EARTH）就是 DigitalGlobe 的一个买主。





判读分析中，都必须采用很多数字图像处理方法。

众所周知，可见光处理的一个主要应用领域是遥感，遥感通常包括可见光和红外波谱的一些波段。表 1.1 显示了 NASA 的 LANDSAT 卫星中的主要波段。其中波段用波长来表示， $1\mu\text{m}$  等于  $10^{-6}\text{m}$ 。

表 1.1 NASA 的 LANDSAT 卫星中的主要波段

波段号	名称	波长/ $\mu\text{m}$	特征和用途
1	可见蓝光	0.45~0.52	对水体有一定的透视能力，能够反射浅水水下特征，区分土壤和植被、编制森林类型图，区分人造地物类型，分析土地利用
2	可见绿光	0.52~0.60	探测健康植被绿色反射率、区分植被类型和评估作物长势，区分人造地物类型，对水体有一定的透射能力，主要观测植被在绿波段中的反射峰值，这一波段位于叶绿素的两个吸收带之间，利用这一波段增强鉴别植被的能力
3	可见红光	0.63~0.69	测量植物绿色素吸收率，并以此进行植物分类，可区分人造地物类型；位于叶绿素的吸收区，能增强植被覆盖与无植被覆盖之间的反差，亦能增强同类植被的反差
4	近红外光	0.76~0.90	测量生物量和作物长势，区分植被类型，绘制水体边界、探测水中生物的含量和土壤湿度；用来增强土壤—农作物与陆地—水域之间的反差
5	中红外光	1.55~1.75	探测植物含水量和土壤湿度，区别雪和云，适合庄稼缺水现象的探测和作物长势分析
6	热红外光	10.4~12.5	用于热强度、测定分析，探测地表物质自身热辐射，用于热分布制图、岩石识别和地质探矿
7	中红外光	2.08~2.35	探测高温辐射源，如监测森林火灾、火山活动等，区分人造地物类型，岩系判别

目前世界各国都在利用陆地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、水资源调查等)、灾害检测(如病虫害检测、水火检测、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、水分和农作物生长、产量的估算等)、城市规划(如地质结构、水源及环境分析等)。我国也陆续开展了以上诸方面的一些实际应用，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。如图 1.7 所示就是 LANDSAT 对我国一处盐场拍摄得到的图像，其可以用于指导我国对盐场环境的检测和生产；图 1.8 所示是中国 NOAA-18 气象卫星于 2012 年 8 月 7 日 02:24 (北京时间)拍摄到的热带气旋“海葵”的云图。其为我国掌握台风的走向，防灾减灾起到重要的作用。