

MATLAB仿真应用精品丛书

MATLAB R2016a

数字图像处理34例

张德丰 编著



 中国工信出版集团

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

非
外
保

MATLAB 仿真应用精品丛书

MATLAB R2016a 数字 图像处理 34 例

张德丰 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书以 MATLAB R2016a 为平台,通过专业技术与大量典型实例相结合,深入浅出地介绍了 MATLAB R2016a 处理数字图像的方法。全书共 34 个案例,包括数字图像处理的数学基础及相关运算、图像编码、图像复原技术、几何变换、图像频域变换、小波变换、图像增强、图像分割与边缘检测、图像特征描述等内容。

本书可作为计算机应用、通信工程和电子工程专业高年级本科生、研究生的学习参考用书,也可供工程技术人员参考使用。

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

MATLAB R2016a 数字图像处理 34 例 / 张德丰编著. —北京:电子工业出版社,2018.12
(MATLAB 仿真应用精品丛书)

ISBN 978-7-121-33542-6

I. ①M… II. ①张… III. ①Matlab 软件—应用—图象处理 IV. ①TN911.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 013639 号

策划编辑:陈韦凯

责任编辑:裴 杰

印 刷:三河市君旺印务有限公司

装 订:三河市君旺印务有限公司

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:26.75 字数:685 千字

版 次:2018 年 12 月第 1 版

印 次:2018 年 12 月第 1 次印刷

印 数:2 000 册 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, 88258888。

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

本书咨询联系方式:(010) 88254441; chenwk@phei.com.cn。

前 言

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。早期的图像处理的目的是改善图像的质量，它以人为对象，以改善人的视觉效果为目的。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。

数字图像处理在通信领域有特殊的用途及应用前景。传真通信、可视电话、会议电视、多媒体通信，以及宽带综合业务数字网（B-ISDN）和高清晰度电视（HDTV）都采用了数字图像处理技术。图像处理技术的应用与推广，使得为机器人配备视觉的科学预想转为现实。计算机视觉或机器视觉迅速发展。计算机视觉实际上就是图像处理加图像识别，要求采用十分复杂的处理技术，需要设计高速的专用硬件。

数字图像处理技术在国内外发展十分迅速，应用也非常广泛，但是就其学科建设来说还不成熟，还没有广泛适用的研究模型和齐全的质量评价体系指标，多数方法的适用性都随分析处理对象而异。数字图像处理的研究方向是建立完整的理论体系。数字图像处理（Digital Image Processing）是通过计算机对图像进行去除噪声、增强、复原、分割、提取特征等处理的方法和技术。数字图像处理的产生和迅速发展主要受三个因素的影响：一是计算机的发展；二是数学的发展（特别是离散数学理论的创立和完善）；三是广泛的农牧业、林业、环境、军事、工业和医学等方面的应用需求的增长。

随着计算机科学技术的不断发展以及人们在日常生活中对图像信息的不断需求，数字图像处理技术在近年来得到了迅速的发展，成为当代科学研究和应用开发中一道亮丽的风景线。数字图像处理在国民经济的许多领域已经得到了广泛的应用。农林部门通过遥感图像了解植物生长情况，进行估产，监视病虫害的发展及治理；水利部门通过遥感图像分析，获取水害灾情的变化；气象部门用以分析气象云图，提高预报的准确程度；国防及测绘部门使用航测或卫星获得地域地貌及地面设施等资料；机械部门可以使用图像处理技术，自动进行金相图分析识别；医疗部门采用各种数字图像技术对各种疾病进行自动诊断。

MATLAB 是当今流行的科学计算软件。信息技术、计算机技术发展到今天，科学计算在各个领域得到了广泛的应用。在许多方面，诸如控制论、时间序列分析、系统仿真、图像信号处理等产生了大量的矩阵及其相应的计算问题。自己去编写大量的繁复的计算程序，不仅会消耗大量的时间和精力，减缓工作进程，而且往往质量不高。美国 MathWorks 软件公司推出的 MATLAB 软件就是为了给人们提供一个方便的数值计算平台而设计的。

MATLAB 对许多专业的领域都开发了功能强大的模块集和工具箱。通常，它们都是由特定领域的专家开发的，用户可以直接使用工具箱学习、应用和评估不同的方法而不需要自己编写代码。目前，MATLAB 已经把工具箱延伸到了科学研究和工程应用的诸多领域，诸如数据采集、数据库接口、概率统计、样条拟合、优化算法、偏微分方程求解、神经网络

络、小波分析、信号处理、图像处理、系统辨识、控制系统设计、LMI 控制、鲁棒控制、模型预测、模糊逻辑、金融分析、地图工具、非线性控制设计、实时快速原型及半物理仿真、嵌入式系统开发、定点仿真、DSP 与通信、电力系统仿真等，都在工具箱 (Toolbox) 家族中有了自己的一席之地。

本书系统地介绍了数字图像处理所涉及的数学基础、基本算法、各种典型方法和实用的处理技术，并根据编者近年来从事相关科研、教学的实践经验，列举了大量实例，以供读者参考。

本书以 MATLAB 系统的分析和设计为对象，以 MATLAB 为工具，既介绍了数字图像处理的特点与分析方法，又介绍了如何利用 MATLAB 解决各种图像处理问题，做到了理论与实践相结合。结合目前市场的需求，本书在编写上具有如下特点。

(1) 以 MATLAB 为导线，内容紧扣数字图像处理算法。因此，本书既可以独立使用，也可以作为数字图像处理课程的辅助教材。

(2) 理论与实践相结合。本书以数字图像处理技术引入，利用 MATLAB 解决实际的图像处理问题，做到理论与实践相结合，提高读者的动手能力。

(3) 深入浅出，内容丰富。本书从数字图像处理算法内容着手，逐渐深入数字图像处理各种问题，每个算法都有对应的典型实例相结合。

(4) 内容全，覆盖面积广。本书内容非常全面，覆盖了大部分的数字图像处理技术，是一本不错的数字图像处理的参考用书。

本书主要由张德丰编写，此外参加编写的还有赵书兰、刘志为、栾颖、王宇华、吴茂、方清城、李晓东、何正风、丁伟雄、李娅、辛焕平、杨文茵、顾艳春、邓奋发。

本书可以作为计算机应用、通信工程和电子工程专业高年级本科生、研究生、工程硕士、教师及工程技术人员学习数字图像处理和基本图形学技术的参考书，也可作为本科生和研究生的研究型课程用书。

由于时间仓促，加之编者水平有限，错误和疏漏之处在所难免。在此，诚恳地期望得到各领域的专家和广大读者的批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 基于小波变换的图像测试分析方法	1
1.1 概述	1
1.2 实例说明	2
1.3 输出结果与分析	2
1.3.1 Haar 小波变换测试结果	4
1.3.2 db9 小波变换测试结果	5
1.4 源程序	8
1.4.1 nstdhaardemo.m	8
1.4.2 thresholdtestdemo.m	10
1.4.3 modetest.m	13
1.4.4 nstdhaardec2.m	15
1.4.5 nstdhaarrec2.m	16
1.4.6 mydwt2.m	17
1.4.7 myidwt2.m	17
第 2 章 数字图像运算的算法分析与实现	18
2.1 颜色空间分析	18
2.1.1 颜色分析	18
2.1.2 颜色转换函数	19
2.2 点运算	20
2.2.1 线性点运算分析	20
2.2.2 非线性点运算分析	21
2.2.3 点运算与直方图	22
2.2.4 直方图修正分析	23
2.3 图像的代数运算	26
2.3.1 图像的加法运算	26
2.3.2 图像的减法运算	28
2.3.3 图像的乘法运算	29
2.3.4 图像的除法运算	30
2.3.5 图像的线性运算	31



2.3.6	图像的非线性运算	31
第 3 章	遥感图像与医学图像的处理技术	33
3.1	在遥感图像处理中的应用	33
3.1.1	遥感	33
3.1.2	利用 MATLAB 对遥感图像进行直方图匹配	34
3.1.3	对遥感图像进行滤波增强	37
3.1.4	对遥感图像进行融合	38
3.2	在医学图像处理中的应用	40
3.2.1	概述	40
3.2.2	医学图像的灰度变换	41
3.2.3	基于高频强调滤波和直方图均衡化的医学图像增强	45
第 4 章	图像变换算法的 MATLAB 实现	49
4.1	离散余弦变换	49
4.1.1	一维离散余弦变换	49
4.1.2	二维离散余弦变换	50
4.1.3	快速离散余弦变换	50
4.1.4	离散余弦变换的实现	51
4.2	K-L 变换分析	53
4.2.1	K-L 变换的基本定义	53
4.2.2	K-L 变换的基本性质	55
4.3	沃尔什—哈达玛变换	55
4.3.1	Walsh 函数	56
4.3.2	沃尔什—哈达玛变换定义	57
4.3.3	沃尔什—哈达玛变换的实现	58
第 5 章	数字图像数字水印算法分析与实现	60
5.1	数字水印特点	60
5.2	数字水印应用领域	61
5.3	数字水印的基本理论	63
5.4	数字水印算法	64
5.4.1	空间域算法	64
5.4.2	变换域算法	64
5.4.3	压缩域算法	65
5.4.4	NEC 算法	65
5.4.5	生理模型算法	66
5.5	数字水印研究现状	66

5.6	一种基本小波变换的数字水印方法	67
第 6 章	Radon 与 Hough 变换算法分析与实现	71
6.1	Radon 变换分析	71
6.1.1	Radon 变换原理	71
6.1.2	Radon 在图像上的变换分析	72
6.1.3	Radon 变换检测直线分析	73
6.1.4	Radon 的逆变换分析	75
6.2	Hough 变换	77
6.2.1	Hough 变换原理	77
6.2.2	Hough 变换实现	79
6.2.3	Hough 变换扩展	80
第 7 章	图像变换编码算法分析与实现	81
7.1	离散余弦变换编码	81
7.2	离散余弦变换编码的 MATLAB 实现	82
7.3	主成分变换编码	83
7.4	主成分变换编码的 MATLAB 实现	83
7.5	哈达玛变换编码	86
7.6	哈达玛变换编码的 MATLAB 实现	86
第 8 章	基于小波变换的图像处理方法	88
8.1	二维图像变换及快速算法	88
8.2	小波图像压缩	94
8.2.1	图像小波分析算法	95
8.2.2	小波图像压缩例子演示	97
8.3	小波图像消噪	100
8.3.1	阈值函数选取	100
8.3.2	阈值选取	101
8.3.3	小波图像消噪实现步骤	101
8.3.4	小波图像消噪例子演示	102
8.4	小波分析用于图像增强	105
8.5	小波分析用于图像融合	109
8.5.1	小波图像融合基本原理	109
8.5.2	小波图像融合例子演示	110
8.6	小波图像的边缘检测	112
8.6.1	小波分解边缘检测	112
8.6.2	小波包分解边缘检测	117



第 9 章 图像分割算法分析与实现	119
9.1 图像分割基本论述	119
9.1.1 图像分割定义	119
9.1.2 边缘检测	120
9.2 阈值分割分析	121
9.2.1 双峰法 MATLAB 实现	121
9.2.2 迭代法 MATLAB 实现	123
9.2.3 大津法 MATLAB 实现	124
第 10 章 图像表示与描述的 MATLAB 实现	128
10.1 区域描述	128
10.1.1 不变矩	128
10.1.2 纹理	131
10.2 图像表示的 MATLAB 实现	135
10.2.1 conndef 函数	135
10.2.2 imclearborder 函数	136
10.2.3 极大值极小值变换 MATLAB 实现	137
10.2.4 图像极大值极小值区域 MATLAB 实现	138
10.3 距离变换 MATLAB 实现	139
10.4 查表操作 MATLAB 实现	141
第 11 章 图像类型转换算法分析与实现	144
11.1 图像类型的转换	144
11.2 彩色模型的转换	146
11.3 MATLAB 中颜色模型转换	148
11.3.1 RGB 空间与 HSV 空间转换	148
11.3.2 RGB 空间与 YCbCr 空间转换	149
11.3.3 RGB 空间与 NTSC 空间转换	151
第 12 章 形态学运算算法分析与实现	154
12.1 形态学基本运算	154
12.2 形态学的基本概念	154
12.2.1 集合论基础	154
12.2.2 包含、击中、击不中	155
12.2.3 平移、对称集	155
12.2.4 腐蚀	156
12.2.5 膨胀	156
12.3 形态学基本运算 MATLAB 实现	157

12.3.1	结构元素矩阵	157
12.3.2	膨胀运算	159
12.3.3	腐蚀运算	160
12.3.4	膨胀与腐蚀的对偶关系	161
12.3.5	开运算和闭运算	161
12.3.6	击中与击不中	163
12.3.7	二值图像形态学处理函数	164
第 13 章	帧编码及矢量量化编码算法分析与实现	167
13.1	帧编码	167
13.1.1	帧间编码	167
13.1.2	运动估计与运动补偿编码	168
13.1.3	帧内编码	168
13.2	矢量量化编码	169
13.2.1	矢量量化原理分析	169
13.2.2	矢量量化编码过程	170
13.2.3	矢量量化编码的 MATLAB 实现	170
第 14 章	图像处理操作的算法分析与实现	176
14.1	空间变换分析	176
14.1.1	投影变换分析	176
14.1.2	仿射变换分析	176
14.1.3	变换函数介绍	177
14.2	块操作	179
14.2.1	边缘操作	179
14.2.2	显示块操作	180
14.3	区域操作	182
14.3.1	特殊区域指定法	182
14.3.2	区域滤波	187
14.3.3	填充区域	188
第 15 章	频域滤波算法分析与实现	189
15.1	低通滤波器	189
15.1.1	理想低通滤波器	190
15.1.2	Butterworth 低通滤波器	193
15.2	高通滤波器	195
15.2.1	理想高通滤波器	195
15.2.2	Butterworth 高通滤波器	195



15.3	带通和带阻滤波器	197
15.3.1	带通滤波器	198
15.3.2	带阻滤波器	198
15.4	同态滤波器	198
第 16 章	图像复原算法分析与实现	202
16.1	无约束复原法	202
16.2	有约束复原法	203
16.3	频域滤波器复原法	205
16.3.1	Lucy_Richardson 滤波器复原法	205
16.3.2	逆滤波器复原法	207
16.3.3	最小二乘滤波法复原	210
第 17 章	分水岭法与边缘跟踪算法分析与实现	212
17.1	分水岭法	212
17.1.1	分水岭法的基本原理	212
17.1.2	分水岭法 MATLAB 实现	213
17.2	边界跟踪技术	215
17.2.1	边界跟踪	216
17.2.2	边界跟踪的 MATLAB 实现	217
第 18 章	图像退化算法分析与实现	220
18.1	图像的退化模型	221
18.1.1	退化模型分析	221
18.1.2	连续退化模型分析	222
18.1.3	离散退化模型分析	222
18.1.4	循环矩阵对角化分析	225
18.1.5	点扩散函数的重要性	227
18.2	图像的模糊与噪声	227
18.3	退化函数估计	229
18.3.1	图像观察估计法分析	229
18.3.2	模型模糊法分析	230
18.3.3	试验估计法分析	231
第 19 章	平滑及锐化滤波器算法分析与实现	233
19.1	平滑滤波器	234
19.1.1	邻域平均法	234
19.1.2	掩模消噪法	237



19.1.3	中值滤波器	238
19.1.4	多图像平均法	241
19.2	锐化滤波器	241
19.2.1	梯度算法法	242
19.2.2	拉普拉斯算子	244
第 20 章	预测编码算法分析与实现	246
20.1	无损预测编码	246
20.2	无损预测编码的 MATLAB 实现	248
20.3	有损预测编码	249
20.4	无损预测编码的 MATLAB 实现	250
第 21 章	图像小波分解算法分析与实现	253
21.1	多分辨分析及小波包分析	253
21.1.1	多分辨分析	253
21.1.2	小波分析	254
21.2	图像的小波分解	256
21.2.1	单尺度二维离散小波分解	256
21.2.2	多尺度二维离散小波分解	257
21.2.3	提取二维小波分解的高频系数	258
21.2.4	提取二维小波分解的低频系数	258
21.3	二维小波包分解	260
21.3.1	二维小波包分解概念	260
21.3.2	提取小波包节点系数	261
第 22 章	JPEG 压缩编码算法分析与实现	263
22.1	JPEG 压缩算法	263
22.2	JPEG 压缩编码算法的步骤	264
第 23 章	图像检测算法分析与实现	271
23.1	边缘检测算子	271
23.1.1	微分边缘检测算子	271
23.1.2	微分边缘检测算子的 MATLAB 实现	272
23.1.3	Log 边缘检测算子	274
23.1.4	Log 边缘检测算子的 MATLAB 实现	276
23.1.5	Canny 边缘检测算子	277
23.1.6	Canny 边缘检测算子的 MATLAB 实现	278
23.2	直线检测	279



23.2.1	直线检测的原理	279
23.2.2	直线检测的 MATLAB 实现	280
第 24 章 图像增强及修正算法分析与实现		284
24.1	对比度的增强分析	284
24.1.1	线性变换增强的分析	284
24.1.2	非线性变换增强的分析	285
24.2	直方修正分析	287
24.2.1	直方图灰度变换	287
24.2.2	直方图均衡化	289
24.3	图像间的相互运算	291
24.3.1	图像的平均运算	291
24.3.2	图像逻辑运算	293
第 25 章 图像变换算法分析与实现		295
25.1	图像插值法	295
25.2	图像的旋转运算	297
25.3	图像的缩放运算	298
25.4	图像的裁剪运算	300
25.5	图像镜像变换	300
25.6	图像复合变换	303
第 26 章 离散傅里叶变换算法分析与实现		305
26.1	离散傅里叶变换	305
26.1.1	一维离散傅里叶变换	305
26.1.2	二维离散傅里叶变换	306
26.1.3	离散傅里叶变换的性质	307
26.2	快速傅里叶变换	311
26.2.1	一维快速傅里叶变换	311
26.2.2	二维快速傅里叶变换	316
26.2.3	二维快速傅里叶变换实现	317
第 27 章 彩色处理算法分析与实现		321
27.1	伪彩色处理分析	321
27.1.1	灰度级-彩色变换法	321
27.1.2	密度分层法	324
27.1.3	频域伪彩色处理	325
27.1.4	彩色图像的伪彩色处理	327

27.2 真彩色处理分析	327
第 28 章 图像复原及校正算法分析与实现	329
28.1 从噪声中复原图像	329
28.1.1 噪声模型分析	329
28.1.2 空域滤波复原	331
28.2 图像的几何校正	333
28.2.1 几何畸变的描述	333
28.2.2 灰度插值	333
28.2.3 几何失真图像配准复原	334
第 29 章 图像压缩编码算法分析与实现	337
29.1 图像编码评价	337
29.1.1 客观评价准则	337
29.1.2 主观评价准则	338
29.1.3 压缩比准则	338
29.2 信息理论的基础	339
29.2.1 离散信源的熵表示分析	339
29.2.2 离散信源编码定理分析	341
29.3 统计编码	342
29.3.1 霍夫曼编码	342
29.3.2 算术编码	347
29.3.3 游程编码	350
29.3.4 香农编码	351
第 30 章 区域分割及四叉树分解算法分析与实现	353
30.1 区域分割技术	353
30.1.1 区域生长法	353
30.1.2 区域分裂法	356
30.1.3 区域合并法	357
30.1.4 区域分裂合并法	357
30.2 四叉树分解	360
30.2.1 四叉树分解基本概念	361
30.2.2 四叉树分解的 MATLAB 实现	361
第 31 章 形态学应用的 MATLAB 实现	365
31.1 边缘提取的 MATLAB 实现	365
31.2 连通区域的标记的 MATLAB 实现	366



31.3	对象选择与移除的 MATLAB 实现	367
31.3.1	对象选择	367
31.3.2	对象的移除	368
31.4	图像的欧拉数	369
31.5	图像面积提取的 MATLAB 实现	370
31.6	区域填充的 MATLAB 实现	372
第 32 章	基于小波变换的图像处理分析与实现	374
32.1	小波分析的基础知识	374
32.2	连续小波变换	375
32.2.1	一维连续小波变换	375
32.2.2	高维连续小波变换	377
32.2.3	小波变换性质	378
32.2.4	连续小波变换的 MATLAB 实现	379
32.3	离散小波变换的 MATLAB 实现	380
第 33 章	基于小波图像压缩技术的算法研究	386
33.1	图像的小波分解算法	386
33.2	小波变换系数分析	388
33.3	实验结果与分析	388
第 34 章	变换编码的 MATLAB 实现	398
34.1	变换选择	399
34.1.1	基于 FFT 的图像压缩技术	400
34.1.2	基于 DCT 的图像压缩技术	401
34.1.3	基于哈达玛变换的图像压缩技术	403
34.2	子图像尺寸选择	404
34.3	比特分配	404
34.3.1	区域编码	404
34.3.2	阈值编码	405
34.4	DCT 编码的 MATLAB 示例	407
	参考文献	413

第 1 章 基于小波变换的图像测试 分析方法

1.1 概述

根据 Haar 函数定义,可得出当 $N=2$ 时,哈尔 (Haar) 正规化变换矩阵为 $\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$,

因为 Haar 矩阵是正交矩阵,具有分离变换性质,对二维的像素矩阵,可由连续 2 次运用一维的 Haar 小波变换来实现,叫做标准分解,如果交替地对每一行和第一列像素值进行变换,则称为非标准分解。

利用矩阵形式的优点,将 $1 \times N$ 的像素矩阵分解成若干个 1×2 的矩阵与上述 $N=2$ 的 Haar 正规化变换矩阵做一维 Haar 小波变换,减少计算量,实现 Harr 小波分解。由于正规化的 Haar 变换矩阵为对称变换矩阵,其逆变换矩阵和正变换相同,因此,只要把原来每次变换后得到的矩阵数值再一次变换,就可以实现重构。

Haar 小波在时域上是不连续的,因此分析性能并不很好,但它计算简单。以下示例中将采用非标准分解方法,在变换矩阵中,第一列变换得到图像像素均值,为图像像素低频分量,第二列得到图像像素差值,为高频分量,原像素值第 i 对像素分解的低频和高频分量值分别存在矩阵的 i 和 $N/2+i$ 处。重构时取回这两个数据,再与逆变换矩阵相乘存回原处,则实现重构。

小波变换对图像压缩可以分为以下几个主要步骤。

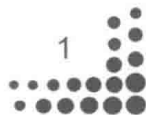
(1) 利用离散小波变换将图像分解为低频分量、高频的水平边缘分量、垂直边缘分量和对角边缘分量。

(2) 对低频和高频的图像根据人类的视觉生理和心理特点做不同的量化和编码处理,进行压缩。

(3) 利用小波逆变换还原出原来的图像。

其中量化工作有很多方式,这里采用阈值的设置,对采用不同小波变换后得到的低频和高频图像设置不同的阈值后得到的分解图像的含有“0”数目及重构产生的不同图像文件大小做分析,即为本次阈值测试的目的。程序用 MATLAB 中小波函数分解图像,设置阈值后再重构保存图像,比较不同的阈值设置的测试结果。

此外,由于并不要求对分解图像做进一步的量化及编码处理后压缩存放,而是重构后存放,所以并不能对不同小波的压缩率的好坏做出结论。只能根据测试结果及小波定义做一些概括性的分析。由于 MATLAB 中保存 TIF 格式的图像文件,与其他程序保存的 TIF 文





件存在偏差，这里为保证对比的一致性，对真彩色图像先用 MATLAB 对图像文件读入后保存，再做测试，保证原始图像与重构图像存放条件的一致性。对索引图像，因为其读入图像矩阵数值并不是图像颜色值，对其做测试后重构的图像，失真程度严重，不具有实际意义，最终还是转换为真彩色图像进行比较。

1.2 实例说明

(1) 本实例对原始图像进行 3 级非标准小波分解与重构，编写的主要处理程序如下。

① 多级非标准 Haar 小波分解子程序 `nstdhaardec2.m`。

② 多级非标准 Haar 小波重构子程序 `nstdhaarrec2.m`。

③ 多级非标准小波分解子程序 `mydwt2.m`，既可以用于 Haar 小波，也可用于 db9 小波，只需要修改对应的参数即可。

④ 多级非标准小波重构子程序 `myidwt2.m`，既可能用于 Haar 小波，也可以用于 db9 小波。

(2) 此外，源程序中还给出了 Haar 小波 3 级非标准规格化分解和重构过程子程序 `nstdhaardemo.m`。

(3) 在本示例程序中，需要对输入图像进行处理，输出不同格式的图像，下面对示例中使用的图像格式处理做一定的说明。

如果输入是彩色真彩图片，则载入的图像数值矩阵 X 为三维矩阵，有 R、G、B 三个分量的二维数值，在进行小波分解与重构时，须分别对每一维的数据都做分解与重构，然后再转换为 `uint8` 数据类型，并显示其彩色图像。如果输入的是黑白图片，即输入的数据矩阵 X 为二维矩阵，则只对其做分解与重构即可。

(4) 使用小波变换在不同阈值下压缩图像的测试程序为 `thresholdtestdemo.m`。

(5) 对不同小波在不同分解模式下进行 3 级分解与重图像的的子程序是 `modetest.m`。

1.3 输出结果与分析

在本例中，应用 Haar 小波对原始图像“`cameraman.tif`”进行三级非标准规格化分解和重构，其图像分解过程如图 1-1 (a) 所示，而图像重构过程如图 1-1 (b) 所示。

此外，本例中还应用小波变换子程序 `thresholdtestdemo.m` 在不同阈值下对图像进行压缩测试，图 1-2 和图 1-3 分别说明了应用 Haar 小波、db9 小波分别在阈值为 0、5、10、20 情况下的 1 级分解测试结果，同时也给出了在阈值为 0、20、40、80 情况下 3 级分解测试结果。

