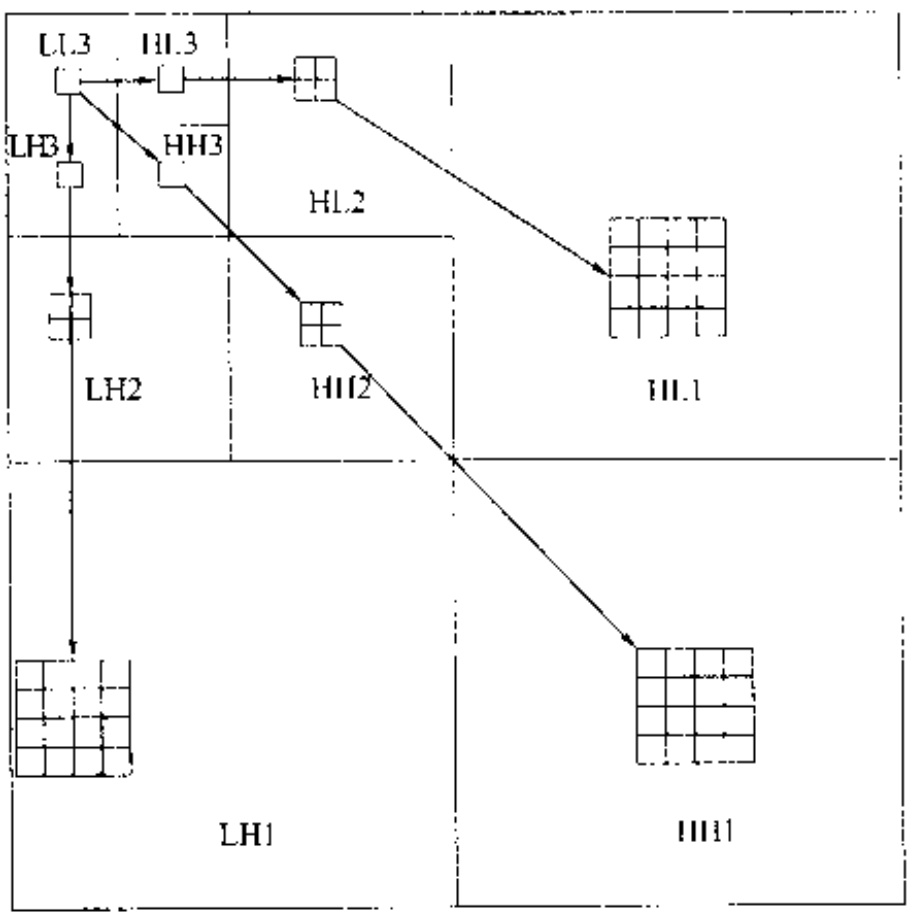


图 12-7　基于小波变换的原始图像的多分辨分解

水印嵌入算法描述如下：

(1) 选取上述3个子带组中的任一组进行水印嵌入，设定阈值 T，并且有 $T = \alpha C_{\max}$，其中 $C_{\max}$是选定的子带组中小波系数的最大值，且 $0.01 < \alpha < 0.1$。

(2) 在阈值 T 下，找到次要系数并构建零树。令 $Z_1, Z_2, \cdots, Z_N$ 代表零树，其中 N 是零树的个数。

(3) 将需要嵌入的水印信息编码为二值的比特序列 $W(k)$，　$k = 1,2,\cdots,N$。

(4) 对于 $k = 1,2,\cdots,N$，如果 $W(k) = 0$，使用 $-m$ 代替零树 k 中的所有元素；如果 $W(k) = 1$，则使用 m 代替零树 k 中的所有元素。上面用到的 m 是水印的嵌入强度，可在实验中根据嵌入水印后图像的失真程度进行选择。

(5) 保存 $Z_1, Z_2, \cdots, Z_N$ 的零树根(zerotree root)的位置，进行逆小波变换，获得嵌入水印的图像。

在水印检测时，首先对待检测图像进行和水印嵌入时同样的小波分解，根据水印嵌入时所保存的零树根的位置进行如下步骤：

对于 $k = 1,2,\cdots,N$，有

(1) 参照 Z_k的零树根位置，获得 Z_k 的父系数及其4个子系数的值，计算它们的均值 M_k。

(2) 根据下式获得水印值 $W'(k)$

$$W'(k) = \begin{cases} 0 & \text{当 } M_k < 0 \\ 1, & \text{其他} \end{cases} \tag{12.3.1}$$

3. 在重要系数中嵌入水印的方法

上面描述了在次要系数中嵌入水印的方法，该方法嵌入水印的区域主要是图像中变化比较平坦的部分，由于人类视觉系统对这些部分的改变十分敏感，因此，水印嵌入强度 m 越大，生成图像的可见失真就越明显。为改变这一情形，Inoue 提出了另一种水印嵌入方法：修改第 3 层 3 个细节尺度中的重要系数。为避免这种修改所产生的图像质量下降，选择阈值 $T > \alpha C_{\max}$。这种情形下，水印嵌入的位置主要是图像近似尺度中的细节部分，即边缘或纹理复杂区域。具体水印嵌入算法如下：

(1) 给定两个阈值 T_1 和 T_2，并且有 $T_2 > T_1 > \alpha C_{\max}$。其中 $C_{\max}$ 和 α 的定义同在次要系数中嵌入水印的方法。选择 LH3，HL3，HH3 中的任一个子带，然后选取满足 $T_1 < |C_k| < T_2$ 的重要系数 $C_k(k = 1,2,\cdots,N)$。

(2) 将需要嵌入的水印信息编码为二值的比特序列 $W(k)$，$k = 1,2,\cdots,N$。

(3) 对于 $k = 1,2,\cdots,N$，按以下方式修改 C_k，即

$$C_k = \begin{cases} T_2, & \text{当 } W(k) = 1 \text{ 且 } C_k > 0 \\ T_1, & \text{当 } W(k) = 0 \text{ 且 } C_k > 0 \\ -T_2, & \text{当 } W(k) = 1 \text{ 且 } C_k < 0 \\ -T_1, & \text{当 } W(k) = 0 \text{ 且 } C_k < 0 \end{cases} \tag{12.3.2}$$

(4) 保存水印嵌入的位置、子带的名称和两个阈值。

水印检测步骤为：

对于 $k = 1,2,\cdots,N$，有：

(1) 对待测图像进行和嵌入时相同的小波分解，根据水印嵌入子带的名称和水印的嵌入位置，得到相应的小波系数 C_k'。

(2) 根据下式获得水印值 $W'(k)$，即

$$W'(k) = \begin{cases} 0 & \text{当} |C'_k| < (T_1 + T_2)/2 \\ 1 & \text{其他} \end{cases} \tag{12.3.3}$$

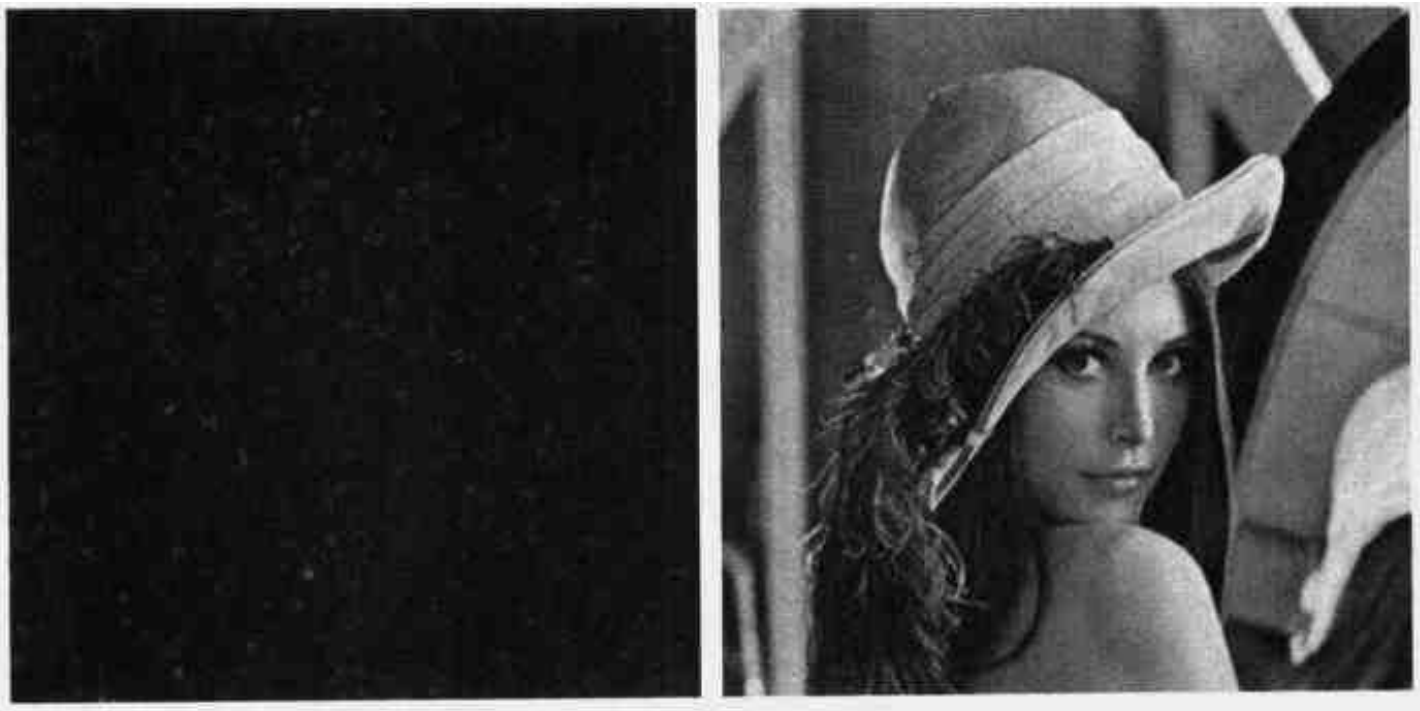
图 12-8　原始图像

4. 仿真实验结果

为方便起见，将在次要系数中嵌入水印的算法称为算法 A，在重要系数中嵌入水印的算法称为算法 B。测试图像是如图 12-8 所示的 Lena 256 级灰度原始图像，图像大小是 256 × 256，小波变换使用 Daubechies-16 滤波器。

图 12-9(a) 给出了 $\alpha = 0.05$, $m = 6$ 时使用算法 A 对 Lena 嵌入水印得到的图像。图 12-9(b) 给出了含水印图像和原始图像的灰度值差别。

图 12-10(a) 给出 $\alpha = 0.1$, $T_1 = 40$, $T_2 = 90$ 时,使用算法 B 对 Lena 嵌入水印获得的图像,图 12-10(b) 给出了含水印图像和原始图像的灰度值差别。



(a) (b)

图 12-9 使用算法 A 的实验结果

(a) (b)

图 12-10 使用算法 B 的实验结果

由图 12-9 和图 12-10 可以看出算法 A 和 B 得到的含水印图像在视觉上和原始图像没有差别。由于算法 B 的水印是嵌入在重要系数中,因此 α 的值可取得大一些。α 的取值决定了水印的强度,但 α 值过大会引起视觉上的感知。

此外,测试水印对 JPEG 压缩的稳健性:对含水印图像进行 JPEG 压缩,解压后进行的水印检测,在压缩率大约为 10 : 1 时,水印仍能够被准确提取。

12.3.2　一种针对彩色图像的水印算法

前面已经介绍了 Inoue 提出的两种小波水印算法，从中可以看到，算法在水印提取时不需要原始图像的参与，但是需要保留原始图像分解后嵌入水印的零树根的位置，因而，还不是完全意义上的盲水印检测算法。此外，它的水印是二进制的比特序列。

下面，介绍由 Lumini 等[19] 提出的一种小波域数字水印算法。该算法嵌入的水印序列是服从 $N(0,1)$ 分布的伪随机实数序列，它将水印嵌入到彩色图像中，嵌入水印的能量自适应于图像本身，在水印检测时不使用原始图像，而采用相关检测方法，是一种比较典型的小波域盲水印算法。

1. 水印的嵌入

水印嵌入算法过程如图 12-11 所示。

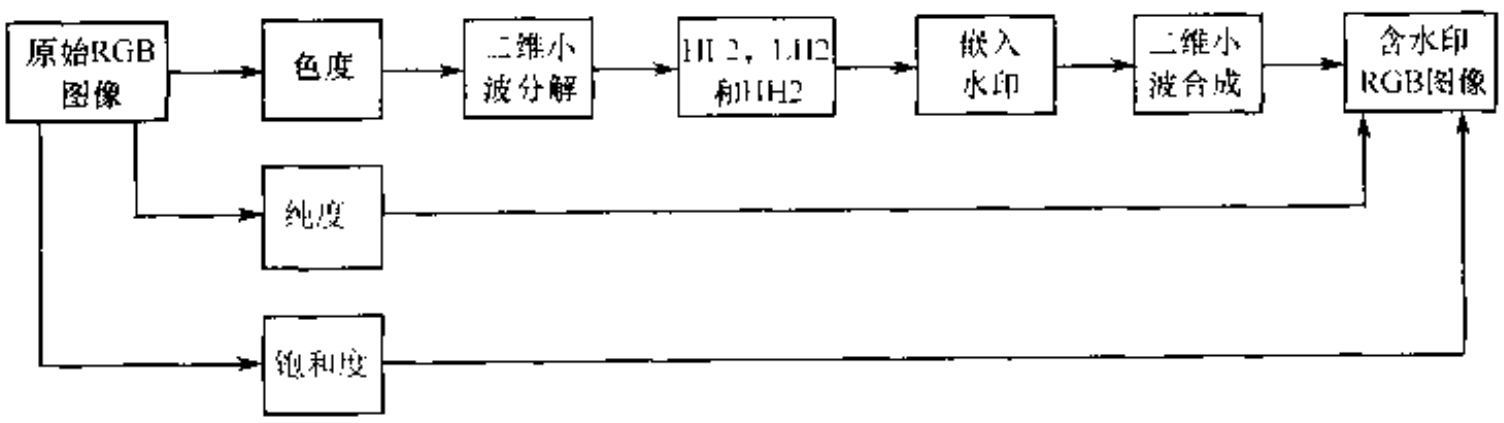


图 12-11　水印嵌入算法过程

其中水印是具有 $N(0,1)$ 分布的伪随机实数序列 W，长度为 M，这里 M 要和待嵌入水印的小波系数的个数相等。其嵌入的具体步骤如下：

(1) 对彩色图像：首先将其从 RGB 空间转换至 HSV 空间，并将其分解为色度(hue)、饱和度(saturation)、纯度(value)3 种成分。保留色度和饱和度不变，对其中的纯度成分进行二层二维小波分解，选取其中的 HL2，LH2 和 HH2 的所有系数进行水印的嵌入。

(2) 水印的嵌入按下式进行

$$f'_i = f_i + \alpha \cdot f_i | w_i + \beta w_i \tag{12.3.4}$$

其中 $f_i, w_i (i = 1,2,\cdots,M)$ 分别是待嵌入水印的小波系数和水印，α 和 β 是控制水印嵌入强度的比例因子，f' 是嵌入水印后的小波系数。α 和 β 的选择将在后面进行具体介绍。

(3) 对嵌入水印后的小波系数进行二维二层小波重构，得到嵌入水印的纯度成分；结合色度和饱和度成分，将其从 HSV 空间转换至 RGB 空间，构成嵌入水印的彩色图像。

2. 水印的检测

水印检测时需要原始水印 W，但不需要原始图像。对待检测的彩色图像和嵌入时的

步骤(1)相同,首先获得 HSV 空间纯度成分二层二维小波分解的 HL2,HH2 和 LH2 的所有系数 f^*,按下式计算 f^* 和 W 的相关值

$$C = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M} f_i^* w_i \tag{12.3.5}$$

将 C 和阈值 T 进行比较以判断是否含有水印,如果 $C > T$,则表明待测图像中含有水印;否则,不含有水印。

3. 参数 α,β 和阈值 T 的确定

水印嵌入时参数 α 和 β 的确定需要综合考虑两个方面的因素:水印的嵌入强度和水印对图像带来的失真。增加水印嵌入强度可以提高水印对信号处理和恶意攻击的稳健性,但同时也会给图像带来较大的失真。为在水印稳健性和图像保真度之间进行权衡,定义嵌入水印后信号的信噪比(SNR)的下限为 P,根据实验获得 α 的取值,β 的取值范围可由下式确定(详细推导过程可参阅本章文献[19])

$$\beta \in \left[0,\ -\alpha\mu_{|f|} + \sqrt{\alpha^2\mu_{|f|}^{\ 2} - \mu_{f^2}\left(\alpha^2 - \frac{1}{P}\right)}\right] \tag{12.3.6}$$

其中,$\mu_{|f|} = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M}|f_i|$, $\mu_{f^2} = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M} f_i^2$, f 表示待嵌入水印的小波系数。

阈值 T 的选择和虚警概率及漏报概率有关。如前所述,T 较小时,可减小漏报概率,但增加了虚警概率;T 较大时,虚警概率减小,但检测对应的水印时,缺乏对信号处理和恶意攻击的稳健性。在实验中一般选择 $T = \frac{(\alpha\mu_{|f|} + \beta)}{2}$。

4. 仿真实验结果

实验中采用了如图 12-12 所示的彩色 Lena 图像,用 Haar 小波对图像的纯度成分进行分解,由于分解后 HL2,HH2 和 LH2 的系数个数为 12 288,因此水印序列取 $M = 12\ 288$,水印嵌入时参数值如下:$\alpha = 0.15$, $\beta = 0.013$,随机生成 1 000 个长度为 M 的水印序列,选择其中第 200 个水印序列嵌入至图像中。图 12-13 是嵌入水印后的彩色 Lena 图像,可以看到水印的嵌入没有引起图像视觉质量的下降。

在水印检测时,分别计算 1 000 个水印序列和嵌入水印的小波系数的相关值可参见图 12-14。图中横轴是水印序号,纵轴是相应的小波系数相关值。从图中可以看到,仅对已嵌入的水印(第 200 个)具有很高的响应值,其余值均很小。此时的阈值 $T = 0.01$,第 200 个水印处的相关值大于阈值,说明水印获得正确检测。

图 12-12　彩色 Lena 图像

图 12-13　嵌入水印后的彩色 Lena 图像

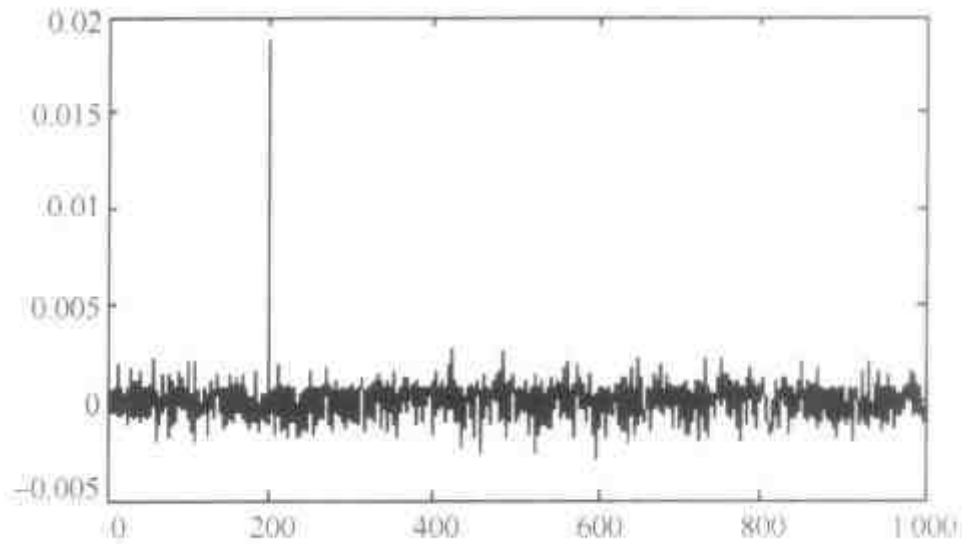


图 12-14　1 000 个不同水印相关性检测结果

本章参考文献

1　Fabien A P Petitcolas, Ross J Anderson, Markus G Kuhn. Information hiding-a survey. Proceeding of the IEEE, 1999, 87(7): 1062 ~ 1077

2　Boland F M, O'Ruanaidh J J K, Dautzenberg C. Watermarking digital images for copyright protection. In IEEE Conference Proceedings On Image Processing And Its Applications, 1995, 410: 325 ~ 330

3　Corvi M, Nicchiotti G. Wavelet-based image watermarking for copyright protection. In Scandinavian Conference On Image Analysis SCIA'97, 1997, Lappeenranta Finland, 157 ~ 163

4　Wang J, Kuo C C J. Image protection via watermarking on perceptually significant wavelet coefficients. In proceedings of the IEEE multimedia signal processing workshop, Redondo beach, California, 1998, 278

~ 284

5 陈青,苏祥芳,王延平.采用小波变换的鲁棒隐形水印算法.通信学报,2001.22(7): 61 ~ 65

6 周亚训,叶庆卫,徐铁峰.基于小波和余弦变换组合的图像水印方案,电子学报,2001. 29(12): 1693 ~ 1695

7 Pereira S, Voloshynovskiy S, Pun T. Optimized wavelet domain watermark embedding strategy using linear programming. In Harold H. Szu and Martin Vetterli eds., Wavelet Applications VII (part of SPIE AeroSense 2000), Orlando Florida USA, 2000, 4056: 490 ~ 498

8 王卫卫,杨波,宋国乡.基于图像小波变换低频系数的数字水印算法.信号处理,2001,17(6):554 ~ 557

9 Xiang-Gen Xia, Charles G. Boncelet, Gonzalo R Arce. Wavelet transform based watermark for digital images. Optics Express, 1998, 3(12): 497 ~ 511

10 Kim J R, Moon Y S. A robust wavelet based digital watermark using level-adaptive thresholding. In proceedings of the 6th IEEE International Conference on Image Proceeding ICIP'99, Kobe Japan. 1999. 202 ~ 205

11 Tsekeridou S, Pitas I. Embedding self-similar watermarks in the wavelet domain. 2000 IEEE Int. Conf. on Acoustics, Systems and Signal Processing (ICASSP'00), Istanbul, Turkey. 2000, IV: 1967 ~ 1970

12 Kundur D. Improved digital watermarking through diversity and attack characterization. Proc. Workshop on Multimedia Security at ACM Multimedia'99, Orlando, Florida, 1999, 53 ~ 58

13 Davoine F. Comparison of two wavelet based image watermarking schemes. In proceedings of the IEEE international conference on image processing, Vancouver, Canada, 2000, III: 682 ~ 685

14 周四清,余英林.基于多分辨率和 HVS 的盲图像水印隐藏方法.计算机工程与应用,2001,13:71 ~ 72

15 Jayawardena A, Murison B, Lenders P. Embedding multiresolution binary images into multiresolution watermark channels In wavelet domain. In Proceedings of the IEEE ICASSP'2000, Istanbul, Turkey. 2000, IV: 1983 ~ 1986

16 Inoue H, Miyazaki A, Yamamoto A, Katsura T. A digital watermark based on the wavelet transform and its robustness on image compression. In Proceedings of the IEEE ICIP'98, Chicago, 1998, II: 391 ~ 395

17 Inoue H, Miyazaki A. Yamanoto An integrated approach to embedded image coding and watermarking. In Proceedings of IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1996, 6: 243 ~ 250

18 Po-Chyi Su, Houng-Jyh Wang, Jay Kuo C C. Digital Watermarking on EBCOT compressed images. SPIE's 44th Annual Meeting Applications of Digital Image Processing XXII (SD41), Denver, Colorado, 1999, 3808: 313 ~ 324

19 Lumini A, Maio D. Blind watermarking system for digital images in the wavelet domain. In Proceedings 12th International Symposiom Electronic Imaging Security and Watermarking of Multimedia Contents II (EI00), San Jose (CA), 2000, 524 ~ 535

[General Information]
书名=小波分析及其应用
作者=
页数=238
SS号=0
出版日期=
Vss号=63270587

封面页
书名页
版权页
前言页
目录页
第１章　绪论
　　１．１　小波分析及其发展
　　１．２　预备知识
　　１．２．１　记号与代数结构
　　１．２．２　Ｌｅｂｅｓｇｕｅ积分定理
　　１．２．３　Ｂａｎａｃｈ空间与Ｈｉｌｂｅｒｔ空间
　　１．２．４　算子、同构算子与伴随算子
　　１．２．５　Ｆｏｕｒｉｅｒ变换与短时Ｆｏｕｒｉｅｒ变换
　　１．２．６　离散Ｆｏｕｒｉｅｒ变换
第２章　小波变换
　　２．１　连续小波变换
　　２．２　二进小波变换
　　２．２．１　一维信号的二进小波变换
　　２．２．２　图像（二维信号）的二进小波变换
　　２．２．３　一类实用的小波函数与快速小波变换
　　２．３　离散小波变换
　　本章参考文献
第３章　多分辨分析
　　３．１　多分辨分析
　　３．２　Ｍａｌｌａｔ分解与重构算法
　　３．２．１　正交小波分解与重构
　　３．２．２　双正交小波分解与重构
　　３．２．３　二维小波分解与重构算法
　　本章参考文献
第４章　小波基的构造
　　４．１　紧支撑正交小波的构造
　　４．１．１　正交两尺度符号的识别
　　４．１．２　紧支撑正交小波基的构造
　　４．１．３　正则性
　　４．２　紧支撑双正交小波的构造
　　４．２．１　基本思想
　　４．２．２　双正交小波的构造
　　４．２．３　正则性
　　４．２．４　举例
　　４．３　小波子空间中的抽样定理
　　４．３．１　问题的提出
　　４．３．２　一些基本引理
　　４．３．３　抽样序列
　　４．３．４　举例
　　本章参考文献
第５章　小波包
　　５．１　正交小波包
　　５．１．１　小波包的定义
　　５．１．２　小波包的性质
　　５．１．３　小波包分解与重构
　　５．２　最优基的选取
　　５．３　双正交小波包

5．3．1　双正交小波包的定义
5．3．2　双正交小波包的性质
5．3．3　双正交小波包分解与重构
本章参考文献
第6章　基于小波变换的图像压缩
6．1　小波变换编码基础
6．1．1　小波变换编码的优越性
6．1．2　小波变换编码的基本框架
6．1．3　图像小波变换系数的统计特性
6．1．4　小波变换编码中滤波器的选择
6．1．5　图像小波变换的边界处理
6．1．6　关于多分辨子图相似性的描述
6．2　零树编码算法
6．3　基于塔式网格矢量量化的小波变换编码
6．3．1　网格
6．3．2　编码与解码方案
6．4　基于ＬＢＧ算法的小波变换编码
6．4．1　基于贪婪树生长算法的初始码书设计
6．4．2　最优非线性内插矢量量化
6．4．3　基于小波变换与ＬＢＧ算法的图像矢量量化算法
6．5　基于第二代小波变换的无失真压缩
本章参考文献
第7章　基于小波变换的信号奇异性检测
7．1　小波变换与信号的奇异性检测
7．2　基于小波变换的基音周期检测与图像边缘提取
7．2．1　小波变换用于检测语音基音周期
7．2．2　图像的多尺度边缘提取
7．3　信号的多尺度边缘重建及其应用
7．3．1　一维信号的多尺度边缘重构
7．3．2　二维信号的多尺度边缘重构
7．3．3　基于多尺度边缘重建的信号去噪
本章参考文献
第8章　分形信号的小波分析与应用
8．1　自相似过程及其分形特性
8．1．1　齐次过程及其分形特性
8．1．2　1／f过程及其统计特性
8．2　1／f过程的小波分析与应用
8．2．1　1／f过程的小波变换系数的统计特性
8．2．2　1／f过程的小波生成方法
8．2．3　1／f信号的波形估计
8．2．4　1／f信号的检测
8．3　确定性的自相似过程的小波分析与应用
8．3．1　齐次过程的小波表示与生成
8．3．2　通信中的分形调制
8．4　分形信号的多尺度Ｗｉｅｎｅｒ滤波
8．4．1　问题的描述和信号的多尺度表示
8．4．2　多尺度Ｗｉｅｎｅｒ滤波器组
本章参考文献
第9章　小波神经网络
9．1　神经网络模型
9．2　小波神经网络
9．2．1　（1＋1／2）层的神经网络

９．２．２　小波分解用于全局逼近
９．３　用于函数学习的小波神经网络
９．３．１　正交小波
９．３．２　小波神经网络
９．３．３　小波神经网络的特性
９．３．４　小波神经网络与ＲＢＦ及小波框架神经网络的关系
９．３．５　小结
本章参考文献
第１０章　基于小波变换的图像配准与镶嵌
１０．１　遥感图像配准的基本原理
１０．１．１　点特征的提取
１０．１．２　图像匹配
１０．１．３　一致性检测
１０．１．４　图像变换及图像重采样
１０．２　基于小波变换的图像匹配
１０．２．１　小波变换和最小二乘相结合的匹配方法
１０．２．２　基于“ａ　ｔｒｏｕｓ”算法的图像匹配
１０．２．３　基于相似距离的图像匹配
１０．２．４　基于低频成分的图像匹配
１０．３　基于小波变换的图像镶嵌
１０．３．１　引言
１０．３．２　图像多分辨镶嵌技术
１０．３．３　实验结果
本章参考文献
第１１章　基于小波变换的遥感影像融合
１１．１　多源遥感影像融合基础
１１．１．１　多源遥感影像融合的概念
１１．１．２　遥感影像融合效果的评价
１１．２　基于小波变换的遥感影像融合
１１．２．１　传统的小波变换融合方法
１１．２．２　基于特征的小波变换融合方法
１１．３　基于小波变换与高通滤波的遥感影像融合算法
１１．３．１　高通滤波
１１．３．２　小波变换与高通滤波相结合的遥感影像融合算法
１１．４　基于主分量分析变换与小波变换的融合算法
１１．４．１　主分量分析（ＰＣＡ）变换融合法
１１．４．２　ＰＣＡ变换与小波变换相结合的融合算法
１１．５　基于ＩＨＳ变换与小波变换的融合算法
１１．５．１　基于ＩＨＳ变换的遥感影像融合
１１．５．２　ＩＨＳ变换与小波变换相结合的融合算法
本章参考文献
第１２章　基于小波变换的数字水印技术
１２．１　信息隐藏和数字水印技术
１２．１．１　信息隐藏技术
１２．１．２　数字水印技术
１２．２　基于小波变换的数字水印技术
１２．２．１　基于低频子带方法
１２．２．２　细节分量方法
１２．２．３　基于图像的编码方法
１２．３　几种基于小波变换的图像水印算法
１２．３．１　Ｉｎｏｕｅ算法
１２．３．２　一种针对彩色图像的水印算法

本章参考文献

附录页