

一种基于小波包变换的盲数字水印算法

郭建星^{1,2} 肖亚峰³ 张海堂⁴ 马淑宇²

(1 信息工程大学测绘学院, 郑州市陇海中路 66 号, 450052)

(2 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

(3 95215 部队, 广东汕头市, 515823)

(4 西南电子电子技术研究所, 成都市一环路 118 号, 610041)

摘要:提出了一种基于小波包变换的盲数字水印算法, 该算法首先对图像进行小波包分解, 并根据视觉感知特性将作为水印的二值图像嵌入到分解后的高频分量中, 再进行小波包重构得到嵌入水印的图像。实验结果表明, 该算法添加水印后的图像对于压缩、噪声、中值滤波、几何裁剪等处理具有很强的稳健性。

关键词:数字水印; 图像处理; 小波包变换; 稳健性

中图分类号: TP751

随着信息技术的飞速发展, 特别是网络技术的进步和迅速普及, 数字产品的使用与传播越来越广泛。与此同时, 对图像、音频、视频等数字产品内容的保护便成为当前知识产权保护中迫切需要解决的问题。20 世纪 90 年代出现的数字水印技术便是一种对数字产品内容、版权进行保护的有效途径。简单来说, 数字水印就是利用信息处理技术把版权信息或者认证信息可见或者不可见地嵌入到数字产品中去, 需要在接收端通过特定的方法进行恢复, 为产品的合法拥有者或使用用户提供有效地分析信息失真和被盗版、被篡改的有力证据的一种数字信息安全机制^[1,2]。

为了实现数字产品的版权保护, 数字水印应具备不可感知性、稳健性和安全性。许多不同类型的图像水印算法已被提出, 特别是不依赖原图像进行水印检出的盲水印算法成为当前该领域的研究热点^[3,4]。本文结合图像的视觉感知分析, 提出了一种基于图像小波包变换的稳健的数字水印算法, 实验证明该算法具有较好的稳健性。

1 基于小波包变换的数字水印嵌入与检出

小波包分析能为信号提供更加精细的分析方

法, 比传统的正交小波变换应用价值更广^[5]。

1.1 基于视觉感知的小波系数选择

为了在图像中嵌入水印且使水印最大限度不可察觉, 根据文献[6]中对小波变换系数量化的可见性问题研究可知, 人的视觉对不同方向、不同层次的高频子带中的噪声和对高亮度区域的噪声不太敏感, 对图像纹理区域的噪声特别不敏感。因此对图像进行小波包分解后, 在得到的高频分量中进行水印信息的融合处理, 使得水印信息具有更高的不可见性和抗攻击的稳健性。

设给定原始图像为:

$$I = \{g(i, j), 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N\}$$

图像的能量计算公式为:

$$E(I) = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |g(i, j)| \quad (1)$$

根据小波变换域的视觉掩盖特性, 高频分量小波系数的选择采取如下策略。

对图像小波包分解后的子带图像 $I_{l,\theta}$ (原始图像进行 l 层小波包分解后的 θ 方向的子带分量) 进行搜索, 仿照式(1) 计算子带能量, 如果某子带系数对应的高频分量满足

$$|E(I_{l,\theta})| > T \quad (2)$$

则认为该系数为重要系数, 选择这些重要的系数位置嵌入水印(阈值 T 根据视觉效果和抗攻击效

果确定, 需要同时满足水印的视觉不可见性和对一般图像处理算法攻击的可检测性)。其主要原因是考虑到这些重要系数在很大程度上直接影响图像的视觉效果, 而人眼对在其中添加的水印噪声却并不敏感, 因此既可以提高水印信息的不可见性, 同时又具有更好的稳健性及抗攻击性。

1.2 水印的嵌入

本文算法中水印嵌入的基本流程如图 1。

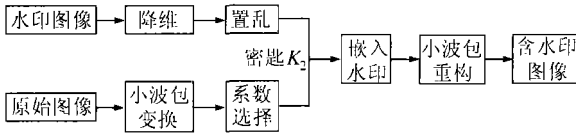


图 1 水印嵌入流程

Fig. 1 Flowchart of Watermark Added

1) 首先将二值的水印图像进行降维, 并根据密钥 K_1 进行随机置乱。即对二维水印图像进行扫描, 得到一维图像数据, 并采用密钥 K_1 对一维数据进行重组, 得到伪随机序列 W 。

2) 对宿主图像(待添加水印图像)进行小波包变换, 得到高频系数组成的矩阵 A 。根据策略选择小波系数, 为了选择更加合适的阈值 T , 需要同时满足水印的视觉不可见性和对一般图像处理算法攻击的可检测性, 并顾及检测效率和更好的检测结果, 本文在此未进行详细量化, 而是采用多次对比实验来确定阈值 T , 既保证有足够系数位置来嵌入水印序列 W , 同时也不至于降低嵌入效率。

3) 嵌入水印。修改所选择的小波系数:

$$C'_x(i, j) = C_x(i, j) + \lambda W_k \quad (3)$$

其中, $C_x(i, j)$ 为选择的小波系数; $C'_x(i, j)$ 为添加水印信息后对应的小波系数; W_k 为水印伪随机序列 W 中第 k 个值; λ 为选定的调制因子, 用于限制水印信息的调制深度, 保证水印信息的不可见性和稳健性。在小波系数选择和修改过程中, 记录选择和修改位置以及与调制因子的复合关系为密钥 K_2 , 用于水印信息的恢复:

$$K_2 = \{\lambda, \lambda\}$$

(i, j) 为选择嵌入水印信息的小波系数位置。

4) 小波包重构, 生成含水印图像。将修改过的高频子带与未修改的高频、低频子带进行小波包逆变换, 得到嵌入数字水印的图像。

1.3 水印的检测

对应于水印信息的嵌入, 水印的检测与提取是以已知密钥序列(水印信息)和嵌入密钥(水印信息嵌入位置及嵌入算法)为前提的。本文数字

水印嵌入算法对应的水印检测流程如图 2 所示。

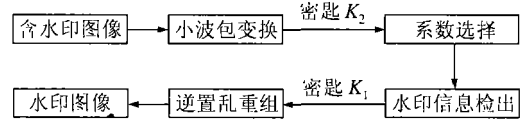


图 2 水印检测流程

Fig. 2 Flowchart of Watermark Detected

1) 首先对含水印的图像进行对应小波包变换, 得到高频系数组成的矩阵 A' 。

2) 重要小波系数检出与数字水印信息检测。根据水印嵌入过程中生成的密钥 K_2 , 从含水印图像的高频系数矩阵 A' 中确定重要系数集 $C_y(i, j)$, 作为待检测水印系数集。同时根据 K_2 中调制因子与系数修改的复合关系进行水印信息的检测, 得到水印信息序列 W' 。

3) 水印信息的恢复。根据添加水印过程中的密钥 K_1 , 对检测到的 W' 进行逆置乱重组, 得到水印信息 W , 并重建得到检测出的水印图像。

4) 水印信息的评价。除了进行主观视觉效果评价外, 本文采用相关系数和峰值信噪比来进行水印检测效果的分析。其中相关系数 ρ 是描述两个函数 X 、 Y 之间相互近似程度的一个量值:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (4)$$

峰值信噪比 P 评价含水印图像的扭曲程度:

$$P = 10 \lg \frac{255^2}{M} \quad (5)$$

其中, M 为图像的均方差。

2 实验结果与分析

为了验证本文算法的有效性, 笔者选取一幅 512×512 的 Lena 图像为例进行分析, 水印为 64×64 的手形二值图像, 采用二进制小波包分解, 调制因子 $\lambda = 0.0062$ 。实验表明, 该数值可以较好地保证水印的不可见性和稳健性。实验结果见图 3, 其中图 3(a) 为 Lena 原图, 图 3(b) 为图 3(a) 的二进制小波包分解结果, 图 3(c) 为嵌入水印的 Lena 图像, 图 3(d) 为所嵌入的二值水印图像。不难看出, 水印嵌入前后的图像在视觉效果上并没有差别, 可以满足视觉效果的不可见性。嵌入水印后图像的峰值信噪比为 0.1376。

为了验证算法对 JPEG 压缩的稳健性, 实验中采用 JPEG 技术对嵌入水印的图像进行了不同

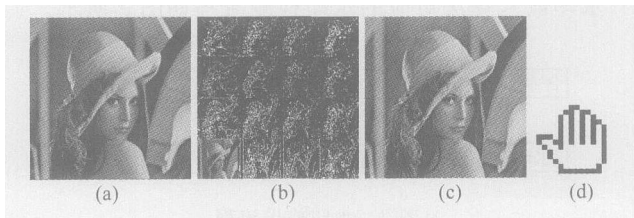


图3 原始图像及实验结果

Fig. 3 Original Image and Watermarking Result

压缩率的压缩,对不同压缩图像中提取水印的实验结果如图4及表1所示。可见,随着压缩比的增加,图像质量逐渐下降,所提取的水印图像效果也随之下降。但从相关系数和峰值信噪比可以看出,该算法对于JPEG压缩具有较高的稳健性,在一般情况下仍然可以比较有效地检测到水印的存在。

为了进一步检验本文算法的实用性,笔者还对嵌入水印后的图像在叠加噪声、中值滤波、裁剪等情况下水印的检出效果进行了实验,实验结果见图5。可以看出,对于常规的图像退化处理,利用本文算法仍然可以较好地检测到所嵌入的水

表1 含水印图像经JPEG压缩后的实验结果

Tab. 1 Result of the Compressed Image

with Watermark			
JPEG 压缩质量因子 / %	ρ	P / dB	检测结果
100	0.998 2	0.136 9	图4(a)
85	0.920 8	0.135 2	图4(b)
70	0.843 1	0.133 9	图4(c)
60	0.731 2	0.132 6	图4(d)

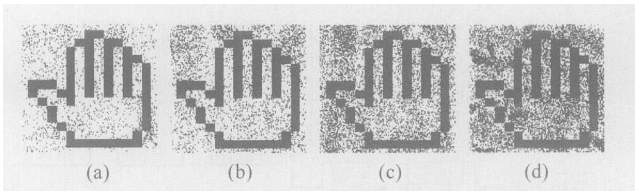


图4 JPEG压缩后检测出的水印图像

Fig. 4 Watermark Detected from Compress Image

印。当然,从上面实验结果的分析也可以看出,由于高频信息对于压缩、高通滤波等处理的敏感性,对于超过50%压缩比的压缩和多次滤波来说,高频嵌入水印也具有一定的局限性,但这并不能否定该算法的通用性和抗常规攻击的稳健性。因此,基于小波包变换的高频子带系数选择水印算法仍然是一种比较有效的盲数字水印算法。

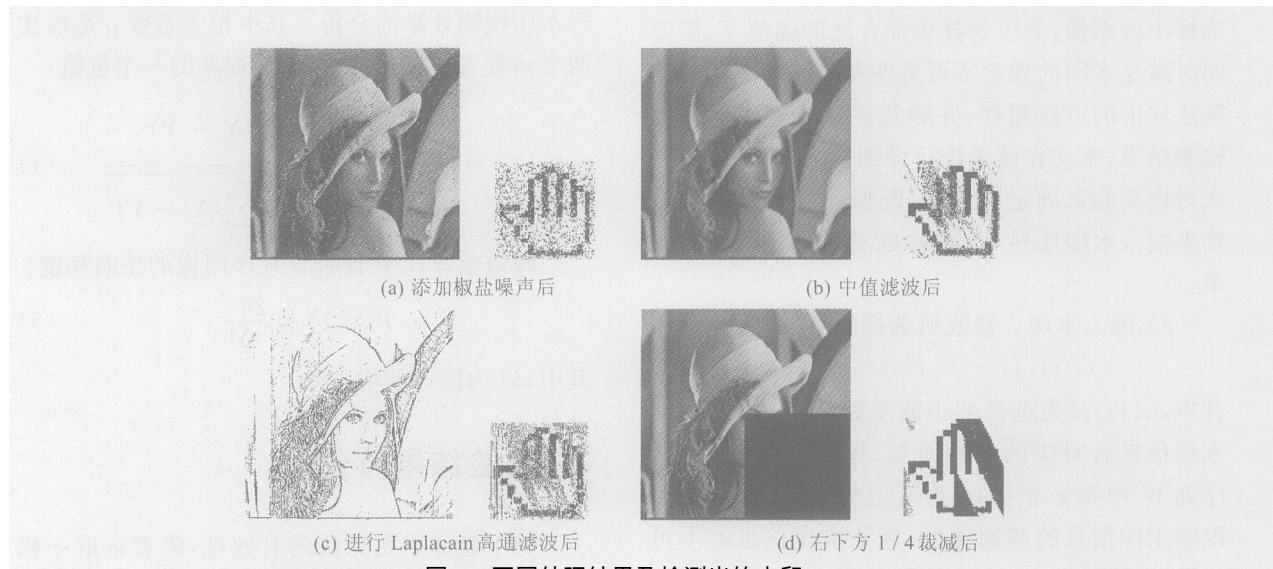


图5 不同处理结果及检测出的水印

Fig. 5 Different Results and Detected Watermark

3 结语

本文在对图像进行小波包分析的基础上,提出了一种考虑视觉感知效果的数字水印算法。实验表明,该算法充分利用了小波包变换的多分辨率分解特性,将水印嵌入到人眼不敏感的高频分量,从而实现了水印嵌入的不可见性和抗攻击的稳健性。特别是将水印信息置乱并加入到小波系

数树的高频子带中,增强了算法抗干扰的能力;基于视觉感知的系数选择,增强了水印的不可见性和算法的稳健性;同时,在检测水印过程中可以不依靠原载体图像,从而实现了水印信息的盲检测,增强了该算法的实用性。

参 考 文 献

- [1] Wolfgang R B, Podilchuk C I, Delp E J. Perceptual Watermarks for Digital Images and Video[J]. Pro-

- ceedings of the IEEE, 1999, 87(7): 1108-1126
- [2] 刘振华, 尹萍. 信息隐蔽技术及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002
- [3] 李道远, 常敏, 袁春风. 基于小波变换的数字水印综述[J]. 计算机工程与应用, 2003(23): 65-67
- [4] 陈少霞. 数字水印研究综述及其发展方向[J]. 湛江海洋大学学报, 2003, 23(6): 74-80
- [5] 陈武凡. 小波分析及其在图像处理中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002
- [6] Lewis A S, Knowles G. Image Compression Using the 2-D Wavelet[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 1992, 1(2): 244-250
- [7] 刘挺, 尤韦彦. 一种基于离散小波变换的 HVS 彩色图像数字水印技术[J]. 计算机工程, 2003, 29(4): 115-117
- [8] Niu Xiamu, Lu Zheming, Sun Shenghe. Digital Watermarking of Still Images with Gray-level Digital Watermarks[J]. IEEE Trans. on Consumer Electronics, 2000, 46(1): 137-145
- [9] 潘蓉, 高有行. 基于小波变换的图像水印嵌入方法[J]. 中国图象图形学报, 2002, 7A(7): 667-671

第一作者简介: 郭建星, 讲师, 博士生, 主要研究方向为摄影测量与遥感、数字图像处理。

E-mail: guojx_hb38@163.com

A Blind Digital Watermarking Algorithm Based on Wavelet-packet Transform

GUO Jianxing^{1, 2} XIAO Yafeng³ ZHANG Haitang⁴ MA Shuyu²

(1 Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, 66 Middle Longhai Road, Zhengzhou 450052, China)

(2 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(3 95215 Troops, Shantou 515823, China)

(4 South West Electronics Telecommunications Institute, 118 Yihuan Road, Chengdu 610041, China)

Abstract: In this paper, a blind watermarking algorithm for digital image based on wavelet-packet transform is introduced. This algorithm manipulates the original image by wavelet-packet transform, then adds watermark onto the important wavelet coefficients located in the high frequency subband based on human visual system. The experiment results show that the watermarking is robust and practicability to the common image processing techniques.

Key words: digital watermarking; image processing; wavelet-packet transform; robustness

About the first author: GUO Jianxing, lecturer, Ph D candidate, majors in digital image processing.

E-mail: guojx_hb38@163.com

下期主要内容预告

- | | |
|-------------------------|--------|
| ◀ 中国区域 SST 卫星重力场模型精度分析 | 罗佳, 等 |
| ◀ 基于地壳分层的震后变形分析 | 李志才, 等 |
| ◀ 多波束声纳测深瞬间到达角和旅行时的精确确定 | 阳凡林, 等 |
| ◀ 顾及空间自相关的统计数据分级质量评价 | 郭庆胜, 等 |
| ◀ 一种纹理特征融合分类算法 | 赵银娣, 等 |