

一种新颖的图像水印嵌入方法^{*}

胡玉平 余胜生 周敬利 石磊

(华中科技大学计算机学院 武汉430074)

An Novel Method of Emdedding for Image Watermark

HU Yu-Ping YU Sheng-Sheng ZHOU Jing-Li Shi Lei

(Huazhong University of Scince and Technology, Hubei Wuhan, 430074)

Abstract An novel embedding method for image watermark based on wavelet transform is proposed. With this method, the value of each pels is modified directly, so that a bit of watermark information is embedded in every pel. Before emeded, the original image is decomposed by wavelet transform, and then, a correlation mask for every image pels is confirmed by the characteristic and tree structure relation of the wavelet coefficients. At last, the modified value of every pels is controlled by its corresponding mask for watermark information embedded. The experimental results show that the embedded digital watermarks with this proposed method are invisible and robust enough against the commonly used image processing techniques.

Keywords Wavelet transform, Watermark, Robustness

1 引言

在数字时代,人类相当比例的作品和成果都以数字方式保存和传输,这一方面促进了人类信息的共享,推动了社会的进步,但另一方面也为侵权带来了种种便利。因此,数字产品的安全传播问题成为了一个重要而紧迫的研究课题,在这种情况下,人们提出了数字水印技术的概念。数字水印本质上是一个隐藏在数字化图像、视频和音频等多媒体中的信息,水印和内容本身集成在一起,在不需要额外的存储空间和新的存储格式的情况下,可以为原始数字媒体提供必要的证明信息和版权保护^[1]。

水印的基本要求是不可见性和鲁棒性^[1-3]。针对数字图像,不可见性是指嵌入水印的图像与原图像比较无明显差异,或者不易发觉其差异。鲁棒性是指水印应具有抵御有意或无意破坏的能力。如果想要去除水印,必须对图像作较大的改动,甚至破坏图像的可视质量,使其失去应用价值。对数字水印系统而言,为了达到较好的不可见性和鲁棒性,关键在于水印的嵌入策略及其检测方法。

现在大多数图像水印研究集中在不可视水印研究上^[2],不可视水印算法从实现通常上可以分为两类:空域方法和变换域方法^[4]。空域方法通过直接改变图像某些像素的灰度值来加入水印,而变换域方法先对图像作某种变换,例如 DCT、DWT,然后通过改变某些变换系数来加入水印。大多数的空域水印具有简捷快速,嵌入区域灵活、隐藏的信息量大等优点,但常常缺乏对信号处理的鲁棒性,而变换域水印算法具有较强的抗信号处理和恶意攻击的能力,但算法一般较复杂。

针对图像空域水印和频域水印各自的特点,本文提出了一种新颖的基于小波变换的能同时具有空域水印和频域水印优点的水印嵌入方法。此方法对图像每一位像素的值均直接

进行修改以嵌入一位水印,嵌入前先对原始图像进行小波分解,根据小波系数特点以及树结构关系,给每一个图像像素确定一个相关掩蔽参数,再利用此参数控制其相应的像素的相对修改值来嵌入水印信息。由于掩蔽参数能较好地反映其对应像素周围的边缘及纹理信息相对大小,这样,嵌入水印时对图像的可视性影响很小,人眼不易察觉。此方法与一般的空域水印方法相比,嵌入的水印长度很长(等于图像像素个数),水印信息量又较大,可以较好地保证水印的鲁棒性;与频域水印方法相比,此方法直接对每一个图像像素直接进行修改,且水印检测时并不需要对图像进行小波分解,算法相对简单实用。

2 图像的小波变换系数分析

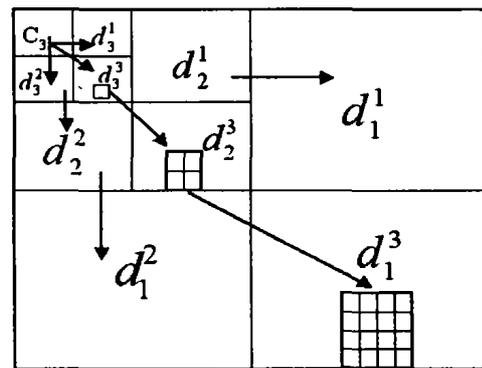


图1 小波分解系数树结构示意图

关于小波变换,可参见文[5]。对 $N \times N$ 二维图像 $C_0(n, m)$ 做三层小波变换后,其系数可以是图1所示的一个树结构^[6]。其中 C_3 为图像的低频部分,其尺寸为 $\frac{1}{8}N \times \frac{1}{8}N$ 集中了图像主要能量, d_l^i ($\lambda=1, 2, 3$ 表示分解层数; $i=1, 2, 3$ 分别为

^{*} 本课题得到国防科工委预研项目(15-8-4)资助。胡玉平 讲师,博士研究生,研究方向为计算机视觉与图像处理。余胜生 教授,博士生导师,研究方向为多媒体数据存取与交换。周敬利 教授,博士生导师,研究方向为多媒体数据处理与通信。石磊 博士研究生,研究方向为图像处理与网络安全。

水平、垂直与对角高频分量)是图像的细节(纹理、边缘等)信息,其尺寸为 $\frac{1}{2^l}N \times \frac{1}{2^l}N$ 。

我们把具体的树结构定义如下:

$$\begin{aligned} \text{tree}(C_3(x,y)) &= \sum_{l=1}^3 \text{tree}(d_3^l(x,y)) \\ \text{tree}(d_3^l(x,y)) &= \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \text{tree}(d_2^l(2x-2+i, 2y-2+j)) \\ &\quad (l=1,2,3) \\ \text{tree}(d_2^l(x,y)) &= \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \text{tree}(d_1^l(2x-2+i, 2y-2+j)) \\ &\quad (l=1,2,3) \end{aligned}$$

这样,每一个低频系数 $C_3(x,y)$ 和其对应的高频系数均结成一棵小波系数树,从小波分解的特点和实验可以分析出: $C_3(x,y)$ 反映了64个像素 $C_0(8(x-1)+i, 8(y-1)+j)$ ($i=1\sim 8; j=1\sim 8$)的低频信息, $d_3^l(x,y)$ ($l=1,2,3$)反映了这64个像素的部分高频变化信息, $d_2^l(x,y)$ ($l=1,2,3$)反映了其中16个像素 $C_0(4(x-1)+i, 4(y-1)+j)$ ($i=1\sim 4; j=1\sim 4$)的部分高频变化信息, $d_1^l(x,y)$ ($l=1,2,3$)反映了其中4个像素 $C_0(2(x-1)+i, 2(y-1)+j)$ ($i=1,2; j=1,2$)的部分高频变化信息。反过来,对每一像素 $C_0(m,n)$ 我们可以找到与之相关的反映其周围像素变化的1个低频系数 $C_3(\text{floor}((m-1)/8)+1, \text{floor}((n-1)/8)+1)$ 和9个高频系数: $d_1^l(\text{floor}((m-1)/2)+1, \text{floor}((n-1)/2)+1)$ ($l=1,2,3$), $d_2^l(\text{floor}((m-1)/4)+1, \text{floor}((n-1)/4)+1)$ ($l=1,2,3$), $d_3^l(\text{floor}((m-1)/8)+1, \text{floor}((n-1)/8)+1)$ ($l=1,2,3$),这里 floor 表示取整函数。

3 基于小波变换的空域水印

根据每一个像素对应的高低频系数,给它确定一个相关掩蔽参数,此参数能较好地反映像素周围图像局部区域像素值的变化(纹理)信息大小,再利用此参数控制其相应的像素的相对修改值来嵌入水印信息。使纹理越强的地方嵌入越大的水印信息,越弱的地方嵌入越小的水印信息,从而保证在每一个像素中都嵌入一位水印时,水印仍保持不可见性。

3.1 水印嵌入

对原始图像 $C_0(m,n)$ 进行三层离散小波变换,按如下的公式计算每个像素 $C_0(m,n)$ 的掩蔽值 $M(m,n)$:

$$\begin{aligned} M(m,n) &= CC_3(\text{floor}((m-1)/2)+1, \text{floor}((n-1)/2) \\ &\quad +1) + \sum_{l=1}^3 [dd_1^l(\text{floor}((m-1)/2)+1, \text{floor} \\ &\quad ((n-1)/2)+1) + dd_2^l(\text{floor}((m-1)/4)+ \\ &\quad 1, \text{floor}((n-1)/4)+1) + dd_3^l(\text{floor}((m-1) \\ &\quad 1)/8)+1, \text{floor}((n-1)/8)+1)] \end{aligned} \quad (1)$$

在式(1)中 $CC_3(x,y)$ 为低频小波系数 $C_3(x,y)$ 对应的规范系数,计算公式如(2); $dd_1^l(x,y)$ 为高频小波系数 $d_1^l(x,y)$ 对应的规范系数,计算公式如(3)。

$$CC_3(x,y) = C_3(x,y)^2 / \sum_{i=1}^{N/8} \sum_{j=1}^{N/8} C_3(i,j)^2 \quad (2)$$

$$dd_1^l(x,y) = d_1^l(x,y)^2 / \sum_{i=1}^{N/2^l} \sum_{j=1}^{N/2^l} d_1^l(i,j)^2 \quad (3)$$

利用式(1)得到的 $M(m,n)$ 按式(4)修改原始图像的每个像素值以嵌入水印。

$$C_0(m,n) = C_0(m,n)[1+aM(m,n)W(m,n)] \quad (4)$$

式(4)中 $C_0(m,n)$ 、 $C_0'(m,n)$ 分别为嵌入水印前后的像素值, $W=\{W(m,n)|W(m,n)=\pm 1\}$ 为与 $C_0(m,n)$ 等尺度的二

值伪随机序列水印, a 为控制水印强度系数。由于 $M(m,n)$ 反映了像素周围图像局部区域像素值的变化(纹理、边缘)信息大小从而使式(4)能保证在图像局部纹理越大的地方加入越大的水印信息。

3.2 水印检测

对一幅待测图像 $C_0'(m,n)$,按式(5)计算其与待测水印 $W(m,n)$ 的相关性:

$$\rho = \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N C_0'(m,n)W(m,n) \quad (5)$$

如果检测时能得到原始图像 $C_0(m,n)$,则相关系数可以定义为:

$$\rho = \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N [C_0'(m,n) - C_0(m,n)]W(m,n) \quad (6)$$

根据实验,给相关系数确定某一检测阈值 T ,如果检测时 $\rho > T$ 则可以说明待测图像中含有水印 W ,否则没有水印。

4 实验验证及结果

为了验证本文中所提出的水印方法的有效性,我们在 Matlab6.1 平台上对一些灰度标准图像作了仿真实验。这里给出对标准'Lena'(256×256)图像进行处理的实验过程和结果。实验中我们选择了 Daubechies 正交小波对图像进行 3 级小波分解和重建,所用的水印为二值伪随机序列 $W(W(m,n)=\pm 1, 1 \leq m,n \leq 256)$ 。

4.1 水印不可见性验证

对图2(a)所示原始图像 Lena 进行三层小波分解后,按式(1)计算每个像素的掩蔽值 $M(m,n)$,再按式(4)修改其像素得到嵌入水印的图像。在式(4)中, a 为一个可调节水印嵌入强度的参数, a 越小,水印隐蔽效果越好,但水印的鲁棒性会变差。图1(b)为调节 a 使嵌入水印图像峰值信噪比(PSNR)为34.4db的嵌入水印图像,从图中可看出,此时水印的隐蔽效果较好,人眼感觉不到嵌入水印的图像与原始图像的差异。



(a) 原始图像 (b) 嵌入水印后的图像

图2 水印不可见性验证结果

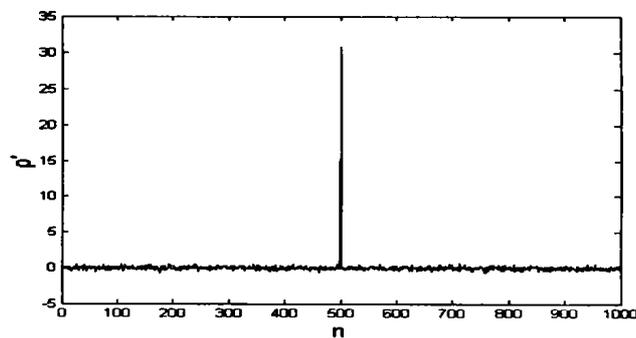


图3 水印可检测性验证结果

4.2 水印可检测性验证

对嵌入水印的图像进行小波三层分解,选用1000组独立的二值伪随机序列作为待测水印 $W_n (1 \leq n \leq 1000)$,且 $n=500$ 时为嵌入的真实水印,利用式(6)求取每条待测水印与待测图像的相关系数 $\rho(n)$ 。为了便于比较,对 $\rho(n)$ 按式(7)量化为检测响应输出 $\rho'(n)$,并选择检测阈值为 $T=6$ 。

$$\rho'(n) = \rho(n) / \sqrt{\sum_{n=1}^{1000} \rho^2(n)} \quad (7)$$

图2为表示了水印检测器对这1000条待测水印的响应输出,其中检测器对正确水印序列的输出 $\rho'(500) = 30.61$,大于 T ,并且远远高于对不正确水印序列的最大输出(其值为

0.63),这说明该算法具有很低的虚警概率和漏警概率。

4.3 水印鲁棒性验证

对图2(b)分别进行加噪、JPEG 压缩、平滑滤波、剪切等各种处理,并用4.2节中所用方法进行检测,发现检测器输出均能较好地表明真实水印的存在。

图4分别为对图2(b)加上方差为30的高斯白噪声,保持品质因子为15的 JPEG 压缩、 5×5 空域中值滤波,对边缘进行剪切留下中间50%像素的检测响应输出。表1列出了其对应的正确水印的检测响应和不正确水印的检测输出的最大输出。实验结果表明:检测器输出能很好地表明真实水印的存在。

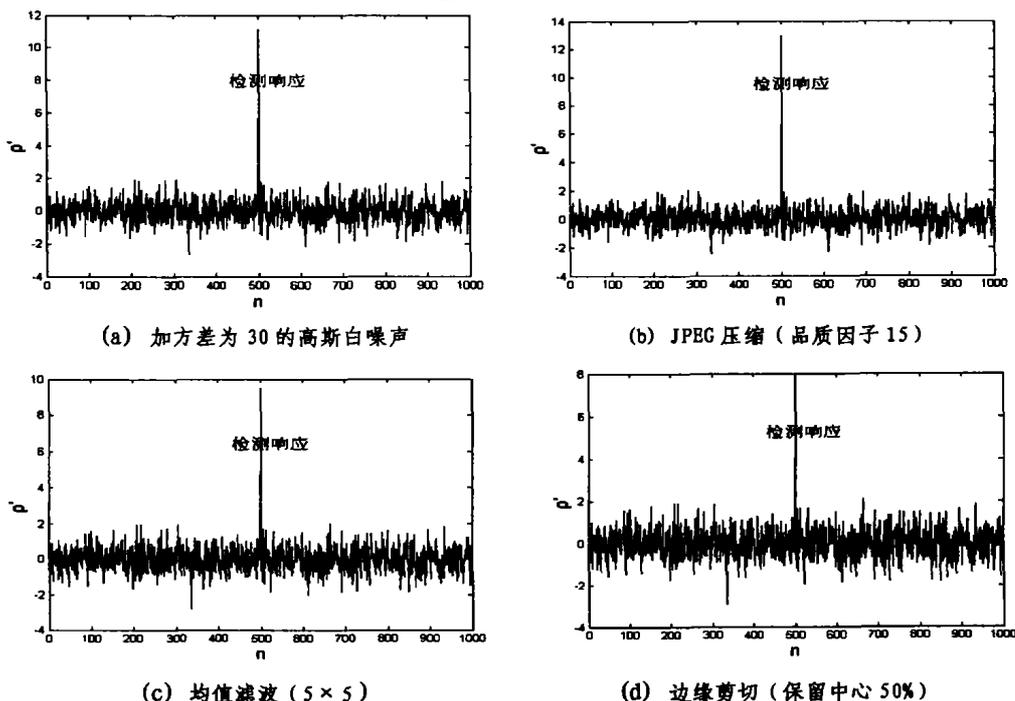


图4 对嵌入水印图像作各种处理后的检测响应

表1 对嵌入水印图像作各种处理后的可检测性比较

对嵌入水印图像的处理操作	未作处理	加高斯白噪声(方差为30)	JPEG 压缩(品质因子15)	均值滤波(5×5)	边缘剪切(保留中心50%)
正确水印序列检测响应值	30.61	11.11	12.97	9.50	7.99
非正确水印序列检测响应最大值	0.63	1.94	2.04	1.98	2.10

结论 本文根据小波系数特点以及树结构关系,给原始图像每一个像素确定一个相关掩蔽参数,再利用此参数控制其对应的像素的相对修改值,使纹理越强的地方嵌入越大的水印信息,越弱的地方嵌入越小的水印信息,从而可同时保证在图像空域中嵌入水印时水印的不可见性和鲁棒性。同时,采用此方法,水印检测时并不需要对图像进行小波分解,算法简单实用,为鲁棒性水印的研究开辟了一种新的思路。

参考文献

1 Rong pang, Yuxing gao. A new wavelet watermarking technique.

In: proc. of the 4[#] world congress on intelligent control and automation, June, 2002. 2065~2069
 2 Gao J-G, Folwer J E, Younan N H. An image-adaptive watermark based on a redundant wavelet transform. IEE trans image processing, 2001, 2: 277~280
 3 Cox I J, Kilian J, Leighton F T, et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(12): 1673~1680
 4 Wolfgang R B, Podilchuk C I, Delp E J. Perceptual watermarks for digital image and video, Pro. IEE., 87(7): 1108~1126
 5 Daubechies I. Ten Lectures on Wavelets, CBMS-NSF conference series in applied mathematics, SIAMED
 6 Shapiro J M. Embed image coding using zeorotrees of wavelets coefficients. IEE trans. On signal Processing, 1993, 41(12): 3445~3462
 7 Shao Ya-fei, Wu Guo-wei, Lin xing-gang. A wavelet based adaptive watermarking. Info-tech and Info-net, Proceedings, 2001, 3: 384~389
 8 Niu X M, Lu Z M, Sun S H. Digital watermarking of still images with Gray-level digital watermarks. IEEE Transaction On Consumer Electronics, 2000, 46(1): 137~145