

一种灰度水印的自适应鲁棒算法*

侯 祥 勇

(重庆师范大学 物理学与信息技术学院,重庆 400047)

摘 要 :以灰度图像作为水印嵌入 ,比一般的以随机序列串嵌入的水印算法更具有直观性。对灰度图像进行位平面编码 ,截取高几位的值作为水印数据嵌入图像 ,从而达到压缩水印数据的目的。同时提出 ,在小波域嵌入水印时只修改对应位水印数据为 1 的小波系数 ,以减少对原始图像的视觉破坏。并将水印嵌入重要系数中 ,平衡水印的鲁棒性和不可见性。仿真实验验证了算法能够抵抗多种攻击。

关键词 :小波变换 ;位平面编码 ;灰度水印

中图分类号 :TP391

文献标识码 :A

文章编号 :1672-6693(2006)02-0050-04

An Self-adaptive Robust Algorithm on Gray-level Watermark

HOU Xiang-yong

(College of Physics and Information Technology ,Chongqing Normal University ,Chongqing 400047 ,China)

Abstract :The author of this paper proposed a watermark algorithm by using gray-level image to substitute watermark ,that would be more audio-visual compared with the general watermark algorithm embedded with random serials. Encode gray-level image with bit-plane coding , and intercept the higher bit values as watermark data to embed into original image. So the watermark data can be compressed. And proposed that when embed watermark in wavelet domain , that merely modify the wavelet coefficient whose corresponding bit data of watermark is 1 , it can reduce the vision breaking on original image and by embed watermark into significant coefficient. Moreover it balanced the robustness and invisibility of water mark. And the emulational experiment verified that it can resist many generic attacks.

Key words :wavelet transform ; bit-plane encoding ; gray-level watermark

数字媒体(数字图像、数字视频以及数字音频)在各行各业的应用日益广泛,而 Internet 的迅猛发展与应用则使各种数字媒体的交流达到了前所未有的深度和广度,随之而来的版权保护成为迫切需要解决的问题。数字水印正是解决数字产品版权保护问题的有效办法,它通过在原始数据中嵌入秘密信息——水印来证实该数据的所有权。主要应用于非法拷贝的检测、所有权认证、原版真伪验证等。对数字图像而言,数字水印分为可见水印和不可见水印。对于不可见水印,其不可见性和鲁棒性是数字水印系统的两个重要特性,这二者同时也是互相矛盾的因素^[1]。数字水印算法的实现可以分为两大类:空域方法和变换域方法。其中,空域方法是空域将水印与原图相结合,达到水印嵌入和隐藏的目的;变换

域方法主要包括 DFT、DCT、DWT 等,基于 DCT 域和小波域的方法是国际上比较常用的方法。小波变换图像视频编码(如零树小波编码 EZW)被新的视频压缩标准 JPEG2000 和 MPEG-4 等采用,因此在小波变换域内研究数字水印的嵌入和提取算法很有必要,同时由于 DWT 有良好的时-频分析特性,所以小波域水印也得到较为广泛的应用。

通过小波变换,原始图像被分解为 4 个一级子带图像:水平和垂直方向的低频子带图像 LL_1 ,水平方向的低频和垂直方向的高频子带图像 LH_1 ,水平方向的高频和垂直方向的低频子带图像 HL_1 ,水平和垂直方向的高频子带图像 HH_1 。若对一级子带图

* 收稿日期 2005-05-17 修回日期 2006-01-12

作者简介:侯祥勇(1971-),男,重庆人,实验师,研究方向为网络安全。

像 LL_1 再进行小波分解,又可以得到更低分辨率的 4 个二级子带图像: LL_2 、 HL_2 、 LH_2 和 HH_2 。如此反复,可对数字图像进行多级小波分解,见图 1。

子带图像 LL 集中了原始图像的绝大部分信息,称为原始图像的逼近子图,它刻画了原始图像的轮廓特征。子带图像 LH 、 HL 和 HH 保持了原始图像的垂直边缘细节、水平边缘细节和对角边缘细节,统称为原始图像的细节子图,它们刻画了原始图像的边缘细节特征。



图 1 图像 3 级小波分解图

利用小波域嵌入水印的方法已有许多,一般修改细节子图系数不易引起视觉变化,因此以前大多数的算法都将水印数据嵌入到细节子图里^[2]。但是,由于逼近子图里的系数值较大,集中了大部分能量,可容纳的噪声容量比细节子图大得多,因此更为稳健的方法是将水印信息嵌入到逼近子图当中^[3,4]。本文也采用该方法,但应当确保嵌入的水印能量必须小于图像可容纳噪声容量,否则会破坏图像的视觉效果,而选择灰度图像作为水印,由于包含的信息量比一般的随机序列更丰富,因此更直观、更易识别。

2 自适应水印算法

2.1 灰度水印的编码

图像位平面在图像编码及图像压缩中经常遇到^[5]。数字图像有多种表示方法,就灰度图像而言,一幅数字图像的每一个像素是以多比特来表示的,每一个像素通常为 8 位(即 8 个位平面,每位取 0, 1)。可以将灰度图像每一个像素值 w 的大小表示为 $w = \sum_{i=0}^7 a_i 2^i$,其中 i 代表该像素的第几位, a_i 表示第 i 位的取值, $a_i \in \{0, 1\}$ 。位平面的分布特性是随着位平面从高位到低位(从平面 7 到平面 0)逐渐变复杂,细节不断增加,最低位平面几乎是 0, 1 均匀分布的随机数。低位所代表的信号能量很少,改变低位对图像的质量没有太大的影响。用灰度图像作为

水印数据,可以利用位平面编码方法,将水印的灰度值由十进制数据转换成二进制数据来表示,这样便于水印数据嵌入到原始图像中^[6]。同时,去掉位平面编码的低位值,可达到压缩水印数据的目的,而且对灰度水印图像并不会产生视觉上的明显失真,这就大大降低了嵌入到原始图像的噪声能量,对原始图像的视觉影响也会减少。

2.2 自适应鲁棒算法

为保证水印的鲁棒性,应将水印首先嵌入到图像小波分解系数值较大的部分。将嵌入能量控制在适当范围内,同时也能保证水印的不可见性。对原始图像小波分解后的系数值进行由大至小的排序,系数值较大的则先嵌入水印数据,并将排序后的原始图像系数及位置序列作为密钥。考虑到人类视觉系统,嵌入水印的算法应具有自适应性,能够根据小波系数值的大小来改变嵌入的能量大小,使其对图像的影响不被视觉察觉。一般算法在嵌入水印时,无论水印值为 0 或 1,均要修改图像小波系数的值,这就使系数值的改变较大,容易造成图像的失真。灰度水印图像与原始图像间的失真量常用峰值信噪比 PSNR 值来度量

$$PSNR = 10 \times \lg \frac{M \times N \times 225^2}{\sum_{m,n} (I_{m,n} - I'_{m,n})^2} \quad (1)$$

当水印算法采用加法规则时,有 $I' = I + \Delta I$,代入(1)式得

$$PSNR = 10 \times \lg \frac{255^2 \times M \times N}{\sum_{i=0}^k \Delta I^2} \quad (2)$$

本算法中,当水印值为 1 时,修改图像的小波系数,表示嵌入 1;当水印值为 0 时,不修改图像的小波系数,表示嵌入 0。若水印数据中 0, 1 达到均匀分布,则嵌入图像的噪声只有一般水印算法的一半;同时,由于被改变的系数个数小于通常的方法,因此其峰值信噪比值也比(2)式大。

2.2.1 嵌入水印算法 水印的嵌入按照图 2 的流程进行。

1) 对灰度水印进行位平面编码,保留高 4 位 bit 值 $u(i, j) \in \{0, 1\}, i = 1, 2, 3, \dots, j = 1, 2, 3, 4$ 。还可以对得到的编码序列作进一步的置乱处理,如按照某个随机序列重排次序,并将该次序作为密钥 K 的一部分。然后再将重排次序的编码序列作为水印嵌入,从而进一步提高密钥的安全性。

2) 对原始图像进行 4 层小波变换,得到系数矩阵 $K(i, j)$;再对系数按值由大到小排序,将排序后的

原系数坐标位置作为密钥 K 。

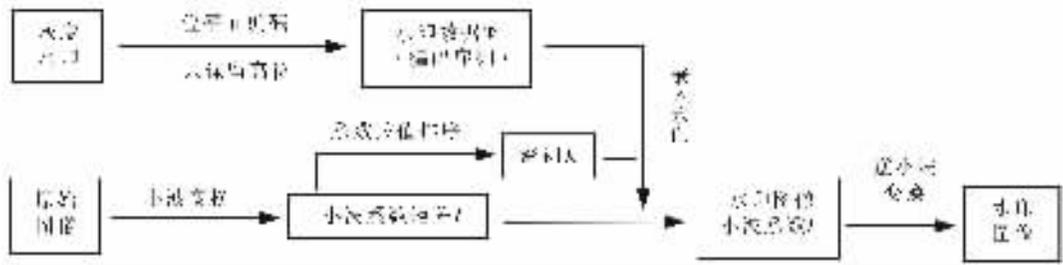


图2 水印嵌入流程图

3) 结合密钥 K 按如下自适应公式嵌入水印数据 $u(i, j)$, 其中 α 的取值可以通过实验获得

$$\begin{cases} I' = I + u(i, j) \cdot \alpha \cdot 2^{j-1} & u(i, j) = 1 \\ I' = I & u(i, j) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

得到水印图像的小波系数矩阵 I' 。在修改小波系数值时,并不是按通常的方法对当前小波系数值的大小进行调整,因为系数已经按其值进行了排序,因此能嵌入水印的部分都是值较大的系数,已经具有较好的鲁棒性。(3)式中按处于不同位平面的水印值进行自适应嵌入,这样可以更加提高高位平面水印数据的鲁棒性,从而利于水印图像的恢复。

4) 对系数矩阵 I' 进行逆小波变换,得到嵌入水印之后的图像。

2.2.2 提取水印算法 提取水印工作按照如下流程进行。

1) 对水印图像进行4层小波变换,得到系数矩阵 $I'(i, j)$;

2) 利用密钥 K (嵌入水印的位置以及系数原值),按下面的公式提取水印 $w'(i, j)$

$$\begin{cases} w'(i, j) = 1 & I' > I \\ w'(i, j) = 0 & \text{others} \end{cases};$$

3) 对 w' 计算相关系数,并与阈值进行比较。

$$NC = \frac{\sum \sum u(i, j) \cdot w'(i, j)}{\sqrt{\sum \sum w'^2(i, j)} \sqrt{\sum \sum w^2(i, j)}};$$

4) 将 $w'(i)$ 的低4位填充1,恢复出灰度水印的图像。

3 仿真实验

在进行嵌入水印之前先对水印灰度图像进行位平面预处理。以如图3a的灰度图像作为水印,其数据量为 $64 \times 64 \times 8\text{bit}$ 。对其进行位平面编码并只保留高4位,即去掉一半的数据量,剩余 $64 \times 64 \times 4\text{bit}$ 。恢复该水印图像时,对提取出来的所有数据低4位用1填充得到图3b;用0填充则得到图3c。

从视觉上看不出图3b(PSNR = 29.369)、图3c(PSNR = 28.154)与图3a有明显的差别。因此在嵌入水印数据时,完全可以只嵌入位平面编码的高4位,这就极大地减少了数据量,也便于水印的嵌入与提取。



图3 位平面编码的改进编码效果图

在仿真实验中,用如图4a所示 512×512 的标准 Lena 图像作为原始图像,用 Haar 小波(具有正交、对称等特性)对图像进行分解,按照提出的嵌入水印算法,公式(1)中 α 取 0.015,得到如图4的实验效果。其中已嵌入水印的 Lena 水印图像的 PSNR = 37.64,提取出的水印 PSNR = 28.97。



图4 水印嵌入及提取实验效果图

用 JPEG 压缩攻击 Lena 水印图像, $Q = 100\% - 30\%$,得到的测试数据如表1。

表1 JPEG 压缩测试结果

JPEG 压缩 Q 值/%	PSNR		NC	
	其他方法 ^[7]	本文	其他方法 ^[7]	本文
30	2.73	10.36	0.33	0.43
40	2.81	11.34	0.39	0.52
50	3.32	12.03	0.43	0.57
60	4.15	13.13	0.49	0.64
70	4.45	14.55	0.53	0.73
80	5.50	16.83	0.62	0.84

90	8.36	23.42	0.78	0.98
100	22.78	28.93	1.00	1.00

从表中可看出,本文的方法对 JPEG 的压缩攻击大大好于一般的水印算法,鲁棒性很强。在此攻击下,提取出来的水印如图 5。

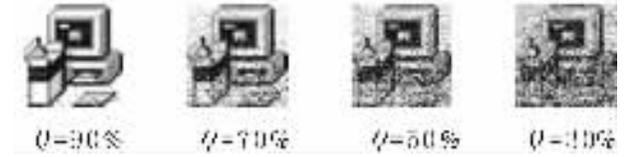


图 5 提取的水印图

从图 5 中可看出,当 $Q = 30\%$ 时,提取出的水印仍然可以被辨识出来,而此时 JPEG 图像失真已经较为严重,已不再具备相当的使用价值。通常的水印攻击还包括中值滤波,放缩,加高斯噪声,剪切等,检测结果如表 2。

表 2 多种攻击测试结果

攻击类型	PSNR		NC	
	其他方法 ^[7]	本文	其他方法 ^[7]	本文
放大 2 倍	3.02	8.39	0.37	0.67
高斯噪声(SNR = 25)	3.42	10.14	0.40	0.72
中值滤波(3 * 3)	2.36	6.88	0.33	0.59
剪切(左上角 1/4)	—	11.03	—	0.78
左旋 15°	—	8.13	—	0.64

4 小结

本文提出了一种新的小波域数字水印算法。首先利用简单有效的位平面编码来压缩灰度水印,减少了嵌入水印的数据量;再将原始图像小波系数值由大到小排序,系数值较大的位置优先嵌入水印数

据。根据自适应公式,系数值较大的位置嵌入的水印能量可以比系数值较小的位置嵌入的能量多。同时,在嵌入时先将位平面编码中所有的最高位嵌入到值较大的小波系数中。因此可以保证水印的鲁棒性,并且嵌入能量被控制在允许范围之内,又可以使嵌入水印具有良好的不可见性。通过实验证实,该算法能抵抗一般的水印攻击。

参考文献:

- [1] 刘彤,裘正定. 小波域自适应图像水印算法研究[J]. 计算机学报 2002 25(11) :1195-1199.
- [2] ZHU W W. , XIONG Z X , ZHANG Y Q. Multiresolution Watermarking for Image and Video[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Technology , 1999 9(4) :545-

549.

- [3] 黄达人,刘九芬,黄继武. 小波变换域图像水印嵌入对策和算法[J]. 软件学报,2002 ,13(7) :1290-1297.
- [4] 刘九芬. 小波理论及其在图像压缩和数字水印中的应用[D]. 杭州:浙江大学,2001.
- [5] 卢宗庆,梅蕤蕤,黄敬雄. 基于位平面的数字水印算法[J]. 计算机工程与应用 2003(6) :79-81.
- [6] 张军,王能超. 数字图像的自适应公开水印技术[J]. 计算机学报 2002 25(12) :1372-1376.
- [7] NIU X M , LU Z M , SUN S H. Digital Watermarking of Still Image with Gray-scale Digital Watermarks[J]. IEEE Trans Consumer Electronics 2000 46(1) :137-145.

(责任编辑 欧红叶)