

# 一种稳健性好的图象盲水印算法

李 黎 潘志庚

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室, 杭州 310027)

**摘 要** 为了可靠地对白色像素较多的灰度图象进行保护,提出了一种稳健性好的数字图象盲水印算法,该算法尤其对白色像素较多的灰度图象稳健性较强.该算法是基于原始图象的傅立叶变换,将调制后的水印信息依次加入到某些固定位置的幅值谱上.该算法具有以下特点:(1)对不同的图象,嵌入水印的强度不同,对白色像素较多的图象嵌入水印的强度较大,这样可以使透明性和鲁棒性达到较好的统一;(2)选择频域幅值谱,使嵌入水印信息的相互位置之间保持一定距离,以便减少不同幅值之间的干扰;(3)对同一幅图象而言,嵌入水印和提取水印的参数不同,而且检测的区域大于嵌入的区域,这样就可以排除由于图象空频变换而造成的能量损失;(4)在提取水印时,通过对检测图象加入随机序列来补充由存储造成的丢失信息.实验表明,该算法不仅具有较强的鲁棒性,对裁剪、噪声、压缩、涂改、平移抵抗性较强,并且复杂度较低,实用性较强.

**关键词** 数据安全与计算机安全(520·1060) 信息隐藏 盲水印系统 傅立叶变换 攻击分析  
**中图法分类号:** TP309.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2003)05-0567-05

## A Valid Blind Watermarking Algorithm on Image

Li Li, PAN Zhi-geng

(State Key Lab of CAD&CG, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

**Abstract** The paper proposes a valid blind image-watermarking algorithm. Especially, the algorithm is also effective for some kind of images that have a lot of white pixels. These special images usually can produce a lot of overflows after being embedded the watermark. Furthermore, the magnitudes of these special images are bigger than usual images in some positions after being transformed. So, these images are hard to get the balance between robustness and transparentness. The method is based on Fourier (FFT) transform. The algorithm embeds the watermarking signal modulated on some fix positions that keep some distance from each other. Furthermore, the paper adds some decimals to the image-signed and choose some interrelated regions to extract the watermarking info during detecting, which reducing some data damage caused by saving the image-signed. Experimental results and attack analysis are given. For different images, the algorithm embeds different parameters during embedding watermarks in order to identify watermarks clearly. For the same image, the parameter of extracting is smaller than the one of extracting and the area of extracting is bigger than the one of embedding. The experiments show that it is transparent, robust, accurate and cost-efficient. Especially, the algorithm is strong to withstand the attacks of cutting, noising, compression, erasing and translation.

**Keywords** Steganography, Blind digital watermarking system, Fourier transform, Attack analysis

## 0 引 言

多媒体信息的数字化为多媒体信息的存取提供

了极大的便利,也极大地提高了信息表达的效率和准确性.同时随着网络的日益普及,网络发布形式逐渐成为多媒体信息交流的一种重要形式,伴随而来的是如何保证多媒体数据的安全问题,即版权保护

基金项目:浙江省自然科学基金优秀人才基金(RC40008)和教育部优秀青年教师教学科研奖励计划项目

收稿日期:2002-06-04; 改回日期:2002-11-26

问题。数字水印技术,作为信息隐藏技术的一种重要应用,为实现有效的信息版权保护提供了一种崭新的手段,已成为多媒体信息安全研究领域的一个热点而,逐渐得到重视<sup>[1-14]</sup>。

数字水印分为盲水印和非盲水印,非盲水印系统在检测或提取水印信息时,需要原始图象。它适用于在法庭上证明所有权,或者在诸如DVD市场中作为防盗版手段,目前提出的许多方案均属于这类<sup>[3-5]</sup>。

盲水印系统在检测或提取水印过程中,既不需要原始图象 $I$ ,也不需要嵌入的水印 $M$ ,因此盲水印系统有着更加广泛的应用。

图象盲水印算法分为如下两类:一类是采用伪随机序列来构成水印,文献[1]在空域中,结合人眼视觉模型(HVS),将水印信号的比特流转化成类似噪声的信号加入图象中,但鲁棒性较差。文献[6]和文献[7]采用把一个扩展的 $m$ 序列嵌入每行像素的最底有效位值(LSB)的方法,其优点是可以嵌入较大的信息隐藏量,但由于最低有效位的数据可能在常见的图象处理中被丢掉,因而采用此方法实现的水印较脆弱,而且水印也很容易被擦除或绕过;Bender等提出了Patchwork方法及纹理块映射编码方法<sup>[9]</sup>,即用统计和视觉的方法来嵌入水印,但其抗失真性能不会太好,而且仅适用于具有大量任意纹理区域的图象;有的算法是在频域中加入水印信息,其虽抗几何变换等攻击能力强,但只能根据信号检测原理来判断水印信息是否存在,而不能将水印信息完整提取出来<sup>[10-12]</sup>;有些算法<sup>[14]</sup>采用预处理来减少因嵌入水印而产生的溢出问题,如:将值在 $[0, \delta]$ 和 $[\Delta, 255]$ 之间的点分别改变为 $\delta$ 和 $\Delta$ ,其中 $\delta$ 可取 $[0, 10]$ 之间的整数, $\Delta$ 可取 $[245, 255]$ 之间的整数,并称 $[\delta, \Delta]$ 为预处理范围,虽然这对一般图象会有效,但由于对白色像素较多的特殊图象却会造成图象质量的较大下降,所以不能用作为常规的预处理。

目前大多数水印算法均采用伪随机序列来构成水印,由于这种水印不能表示任何意义,因此其应用受到很多限制。在许多应用场合,要求嵌入图象的信息是可读的或可视的,如有意义的文字串(所有者姓名、地址、标志等)或者一个二维图象(商标,印鉴等)。显然,这种有意义的水印所包含的信息量、可感知性、可辨识性及保密性,是无意义的伪随机噪声所不能比拟的。

另一类则是采用有意义的图象或文字串来构成水印的盲水印算法,有的盲水印算法是通过空域

像素值的分类进行量化取整来完成的,其透明性很差<sup>[2]</sup>;Delaigle等提出的算法<sup>[9]</sup>在一幅 $512 \times 512 \times 8$ 的图象中隐藏了165位的信息,其稳健性也不是很好;而有些基于频域的盲水印算法<sup>[13]</sup>则对一般的图象有较好的鲁棒性,而对某些特殊的图象就不能将水印提取出来,比如对白色像素较多的图象,尤其像工程图图象等加入水印后会产生大量溢出误差的图象;而且,对白色像素较多的图象而言,它的幅值谱比一般图象幅值谱的中低频范围要广。

本文提出的数字水印算法是基于傅立叶频域变换的盲水印算法,其有以下几个特点:(1)字符水印经编码后变成由 $\{0, 1\}$ 元素组成水印序列,水印序列中元素应分别被嵌入幅值谱矩阵的不同位置,因为元素值不同,其相应位置的幅值谱也不同,所以每个元素嵌入的位置之间应保持一定距离,以便减少幅值谱相互之间的干扰;(2)依据图象中白色像素的百分比将图象分为两类,这两类图象嵌入水印的强度不同,其中对白色像素较多的图象嵌入水印的强度较大,这样可以使透明性和鲁棒性达到较好的统一;(3)对同一类图象嵌入水印序列和提取水印序列的参数不同,而且检测每个元素的位置区域大于嵌入的位置区域,以尽可能排除由于图象空频变换而造成的能量变化的影响;(4)在提取水印时,对检测图象可通过加入随机序列来补充由溢出和存储造成的信息丢失,该随机序列是以0.8为均值(0.8为实验多幅特殊图象得到的溢出平均值)。本算法不仅对一般图象有较强的强壮性,尤其对上述特殊图象也有着较强的强壮性,由于水印是加在图象的傅立叶变换域中,且变换后的幅值谱具有平移不变性,因此本算法对图象的压缩和平移有较强的抵抗性,除此之外,对裁剪、锐化、涂改、倒置也有很强的鲁棒性。

## 1 水印嵌入算法

(1)先将水印(字符串)进行编码转成只含0或1的数据流,即对每一个字符,都唯一对应一个由6个0或1组成的向量;然后将出现概率大的字符编码成含1比较少的向量,比如字符“a”对应(100000);最后将所有字符的编码依次合成一个序列作为水印信息 $w(i), i=1, \dots, 84$ 。但水印字符不能超过14位。

(2)对原始图象进行分类,若图象中的白色像素(像素值为255)的百分比超过35%,则称为A

类,其他称为B类.将A类嵌入水印的强度 $\theta$ 取为14000,B类嵌入水印的强度 $\theta$ 取为1400.实验证明,嵌入水印后,A类中像素值取为[245,255]范围的百分比接近于嵌入水印之前的白色像素的百分比,这样,既在透明性上得到了保证,也保证了不同图象鲁棒性和透明性的统一.

(3) 先将原始图象 $I$ 缩放成 $256 \times 256$ 大小,再进行傅立叶变换;然后对其变换后的幅值谱矩阵进行移频变换;最终将直流成分的幅值谱移到矩阵的中心位置,即将幅值谱矩阵上、下、左、右、对称分成4部分,再将对角的两块进行位置对换.这里将变换后的幅值谱矩阵记为 $A$ ,相位谱矩阵记为 $Z$ . $A$ 、 $Z$ 大小均为 $256 \times 256$ .

(4) 将水印序列 $w(i), i=1, \dots, 84$ 中元素的值依次赋值给 $A$ 中的某些对称位置的中频元素,见公式(1),再以图象位置 $c$ 为嵌入水印的位置中心来选取对称位置嵌入水印,则幅值谱矩阵 $A$ 的如下位置的值为

$$\begin{cases} \bar{A}((i+c), (c+b)) = A((i+c), (c+b)) + \theta \\ \bar{A}((c-a), (c-b)) = A((c-a), (c-b)) + \theta \\ \bar{A}((i+c), (c-b)) = A((i+c), (c-b)) + \theta \\ \bar{A}((c-a), (c+b)) = A((c-a), (c+b)) + \theta \end{cases} \quad (1)$$

其中 $c=129; i=c+1, \dots, c+84; a=i-c; b$ 取为 $(\sqrt{c^2-a^2}+i)$ 的最近的整数.当 $w(i)$ 值为1时,嵌入水印的强度取为 $\theta$ ;当 $w(i)$ 值为0时,则嵌入水印的强度取为0.

(5) 嵌入水印信息后的幅值谱矩阵为 $\bar{A}$ ,若将 $\bar{A}$ 和相位谱矩阵 $Z$ 相结合,即先进行移频变换,再进行傅立叶反变换,则得到嵌入水印后的图象 $\bar{I}$ .因为存储图象会将像素值的小数部分舍掉,所以在提取水印时,应再加上小数作为数据补偿,这样处理可以减少由存储而造成的小数丢失,最后将 $\bar{I}$ 进行存储.

## 2 水印提取算法

(1) 先对待检测图象 $\bar{I}$ 的像素矩阵进行信息补偿,即将像素值为255的元素加入到以0.8为均值的随机序列中,以补偿因溢出而丢失的数据(0.8为平均溢出值),然后进行傅立叶变换,并将其幅值谱矩阵通过移频变换来得到矩阵 $\bar{A}$ .

(2) 对待检测图象 $\bar{A}$ 进行分类,若像素值范围取为[245,255]的像素个数占总数的百分比超过35%,则称它为A类,否则称为B类.对A类图象,

检测水印的强度取为8000,而对B类图象则 $\theta$ 取为1000.

在加入水印信息后的每一个位置附近,选择 $\bar{A}$ 中两个点进行检测,而被选的两个点的幅值谱则取其最大值,若该值大于 $\theta$ ,则对应的水印序列元素为1,否则为0;然后即可依次恢复出水印序列(由0或1组成),见式(2).

$$\begin{cases} \max\{\bar{A}((i+c), (c+b)), \bar{A}((i+c), (c+b-1))\} - \theta = s_1 \\ \max\{\bar{A}((c-a), (c-b)), \bar{A}((c-a), (c-b-1))\} - \theta = s_2 \\ \max\{\bar{A}((i+c), (c-b)), \bar{A}((i+c), (c-b-1))\} - \theta = s_3 \\ \max\{\bar{A}((c-a), (c+b)), \bar{A}((c-a), (c+b-1))\} - \theta = s_4 \end{cases} \quad (2)$$

若 $(s_1 + s_2 + s_3 + s_4)/4 \geq 0$ ,则 $w(i) = 1$ ;否则 $w(i) = 0$ .

(3) 根据编码结果,将提取出的水印序列恢复成水印字符串.

## 3 实验结果

本文算法实验选取的原始图象为灰度图象,水印为“cadcglab2002”.图1(a)是Lena原图,尺寸为 $256 \times 256$ ,其中白色像素有0个,占像素总数的0%,嵌入水印后的Lena图和原图的PSNR是42.2187dB.图2(a)是插座灰度图象,尺寸是 $400 \times 319$ ,它的白色像素有102681个,占像素总数的80.47%,嵌入水印后的插座灰度图的像素值在[245,255]范围的个数为102711,占像素总数的百分比为80.49%.其和原图的PSNR是39.1368dB.图1(b)和图2(b)分别是图1(a)和图2(a)嵌入水印后的图象.表1是图1(b)分别用本文算法和文献[13]算法进行比较的结果,文献[13]算法对图2(a)这类容易产生溢出误差的图象,在未攻击之前就不能将水印信息完整地提取出来,因为文献[13]算法没有对图象溢出误差进行处理.表2是本算法对图2(b)进行测试的结果.误检率为BER(BER等于提取水印与原始水印相同字符的个数和原始水印的总个数之比).图1(c)和图2(c)是图1(a)和图2(a)分别进行傅立叶变换后的幅度谱图.表1和表2中,\*表示由于嵌入水印后的图象和原始图象的尺寸不同而不能做PSNR(单位为dB)的比较.

本文算法不仅对一般图象在进行裁剪、涂改、倒置、放大、平移、JPEG(90%)、锐化和噪声等攻击方面有较强的鲁棒性,而且对白色像素占比例比较大的图象在这些方面也有较强的鲁棒性.



图 1 嵌入水印后的 Lena 图象及幅值谱图

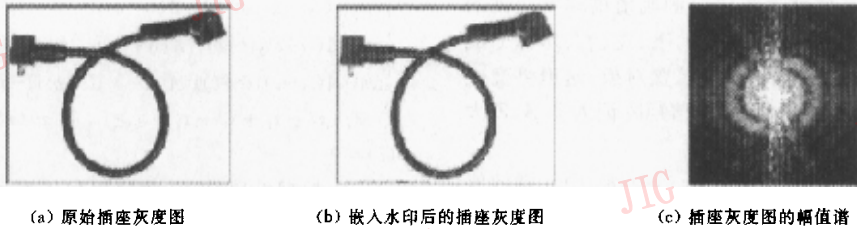


图 2 嵌入水印后的插座图象及幅值谱图

表 1 对嵌入水印后的 Lena 图象的攻击实验结果

攻击操作	处理参数	本算法的误检率 (BER)	文献[13]的误检率 (BER)	PSNR(dB)
叠加噪声	随机置换噪声(0.02)	0.0833	0.3333	22.4343
	高斯噪声(0.0008)	0.5	0.8333	20.0313
图象增强	边缘锐化	0	0.1667	31.9689
	锐化	0	0.1667	28.0666
	JPEG(90%)	0.0833	0.25	29.6706
平移图象	平移 1	0	0.1667	12.4725
	平移 2	0.25	0.4167	9.0892
裁减	裁剪 1	0	0.1667	20.1933
	裁剪 2	0	0.1667	17.6735
旋转	倒置	0	0	11.0010
不规则涂改	涂改 1	0	0.1667	15.3916
	涂改 2	0	0.1667	12.7794
缩放	放大到 512×512	0	0	*
	放大到 500×400	0	0	*
	缩小到 200×256	0.2	0.2	*

表 2 对嵌入水印后插座灰度图象的攻击实验结果

攻击操作	处理参数	本算法的误检率 (BER)	PSNR (dB)
叠加噪声	随机置换噪声 (0.002)	0.0833	28.5179
	边缘锐化	0.0833	28.0836
图象增强	锐化	0.0833	27.7856
	JPEG(90%)	0	29.6706
平移图象	平移 1	0.3333	23.5673
	平移 2	0.4167	22.7452
裁减	裁剪 1	0	25.7534
	裁剪 2	0.0833	24.3803
旋转	倒置	0	10.9287
不规则涂改	涂改 1	0.25	22.9801
	涂改 2	0	26.0234
缩放	放大到 500×399	0.3333	*
	放大到 500×319	0.25	*
	缩小到 360×319	0.5	*

### 4 结 论

本文提出的盲水印算法对裁减、锐化、倒置、涂改、平移和噪声抵抗性较强,复杂度较低,不仅可以高效快速地编程实现,实用性较强,还可以作为插件在某些范围内使用。

对数字水印的透明性问题与鲁棒性问题,目前还在研究中,能够抗各种攻击的水印系统在实际中的应用是很难实现的,所以一方面要研究相关的理论,比如数学基础理论、图象编码、信号学等,以便力图找到一个鲁棒性强的水印算法;另一方面,可以考虑进行针对某种用途的水印系统的开发,只要它的

某些方面的鲁棒性强即可。

### 参 考 文 献

- 1 尹康康,石教英,潘志庚. 一种鲁棒性好的图象水印算法[J]. 软件学报,2001,12(5):668~676.
- 2 易开祥. 数字图象加密与数字水印技术研究[D]. 杭州:浙江大学,2001.
- 3 Nicchiotti G, Ottaviano. E Non-invertible statistical wavelet watermarking [A]. In: Proc. 9th Europ. Signal Processing Conf. (EUSIPCO'98) [C], Rhodes, Greece, USA, 1998: 2289~2292.
- 4 Nikolaidis N, Pitas I. Robust image watermarking in the spatial domain[J]. Signal Processing, 1998, 66(3): 385~403.
- 5 Tzovaras D, Karagiannis N, Strintzis M G. Robust image watermarking in the subband or discrete cosine transform domain [A]. In: Proc. of the 9th European Signal Processing Conf. (EU-SIPCO'98) [C], Rhodes, Greece, USA, 1998: 2285~2288.
- 6 Wolfgang R B, Delp E J. A watermark for digital images[A]. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing [C], Lausanne, Switzerland, 1996: 219~222.
- 7 Fleet D J. Embedding invisible information in color images[A]. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing[C], Santa Barbara, CA, USA, 1997, 1: 532~535.
- 8 Bender W, Gruhl D, Morimoto N *et al.* Techniques for data hiding[J]. IBM System Journal, 1996, 35 (3&4), 313~337.
- 9 Delaigle J F, De Vleeschouwer C, Macq B. Watermarking algorithm based on a human visual model[J]. Signal Processing, 1998,66(3): 319~335.
- 10 Ruanaidh J J K O, Pun T. Rotation, translation and scale invariant digital image watermarking[A]. In: Proceedings of the IEEE, International Conference on Image Processing[C], Santa Barbara, California, USA, 1997: 26~29.
- 11 Ruanaidh J J K O, Pun T. Rotation, translation and scale invariant spectrum digital image watermarking [J]. Signal Processing, Special Issue on Copyright Protection and Control, 1998, 66(3): 536~539.
- 12 Lin Ching-Yung, Wu Min, Jeffrey *et al.* Rotation, scale and translation resilient public watermarking for images[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(5):767~782.
- 13 Licks V. On digital image watermarking robust to geometric transformations [D]. The University of New Mexico, USA, July 2000.
- 14 华先胜,石青云. 多类水印的同时嵌入[J]. 北京大学学报(自然科学版),2001,37(3):305~313.



李 黎 1973年生,博士生. 研究方向为图象水印和网络水印.



潘志庚 1965年生,博士生导师,研究员. 研究方向为虚拟现实、多媒体计算、分布式图形、汉字信息处理、电子商务、数字水印.