

零水印的概念与应用

温 泉,孙锁锋,王树勋

(吉林大学通信工程学院,吉林长春 130025)

摘 要: 已有的数字水印方法为了嵌入水印信息都对原图像数据采用各种方法或多或少地进行了修改,这样做使其鲁棒性和安全性受到限制.零水印是不对原图像数据进行修改的一种新的数字水印技术.本文利用了高阶累积量提取图像的特征来构造零水印,实验证明这种方法构造的零水印具有很好的性能.

关键词: 数字水印;零水印;三阶累积量;四阶累积量;DCT变换

中图分类号: TN919.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2003) 02-0214-03

Concept and Application of Zero-Watermark

WEN Quan, SUN Tai-feng, WANG Shu-xun

(Dept. of Information Jilin University, Changchun, Jilin 130025, China)

Abstract: In the existing method of digital watermark, for embedding watermark information, authors modify more or less original image data through various methods to limit its robustness and security. Zero-watermark is a new digital watermarking technology without modifying the data of original image. In this paper, we construct zero-watermark using high-order cumulants. The result of experiment shows that this zero-watermark constructed by this method has good performance.

Key words: digital watermark; zero-watermark; third-order cumulants; fourth-order cumulants; discrete cosine transform

1 引言

随着互联网络的发展,数字多媒体产品越来越盛行,但是由于数字产品易于复制和修改的原因,使得盗版问题非常严重,如何保护作者、所有者以及合法用户的权利,成为世界各国的学者和工程技术人员关注的热点问题.近十年内发展的数字水印技术就是在这个背景下产生的.这种技术被誉为数字多媒体保护的最后一道防御线,被广泛认为是解决知识产权问题的关键技术之一.

目前已经提出了许多数字水印方法,这些方法一般可以分为两类:频域水印法^[1~5]和空域水印法^[6,7].这些嵌入数字水印的方法都对图像的空域信息或其频域信息做了一定的修改来嵌入水印信息,为了不让人眼发觉人为修改的痕迹,很多方法采用了基于HVS^[8](人类视觉系统)的视觉掩膜.如文献[9]介绍的方法就提出了一种采用HVS视觉掩膜的自适应水印方法.用加视觉掩膜的方法在一定程度上解决了水印可感知性和鲁棒性之间的矛盾.但是加视觉掩膜使得水印的嵌入过程复杂化,消耗计算时间太长,不利于实际应用,而且如果黑客了解加视觉掩膜的方法,不能排除有能力的黑客用聪明的方法编写专业的软件来检测图像中人眼难以发觉的细小的改动,从而发现水印的存在并设法移除.这就使得数字水印的安全性受到了限制.

基于上面提出的问题,我们思考:可不可以不修改原图像来构造水印?答案是肯定的.如:可以利用图像的重要特征来构造水印信息,而不是修改图像的这些特征.我们把这种不修改原图任何数据的水印称为“零水印”.这里所定义的零水印方法是一种新的数字水印方法,零水印技术很好地解决了不可见数字水印的可感知性和鲁棒性之间的矛盾.

利用图像特征来构造零水印的方法有多种.本文提出了

三种构造零水印的方法:(1)DCT域中构造;(2)利用三阶累积量构造;(3)利用四阶累积量构造.第一种方法在本文作者发表的文献[10]中提出.本文主要研究第二种和第三种方法,并将这三种方法进行了比较.

2 高阶累积量

累积量是随机变量的第二特征函数的泰勒级数展开式的系数,高阶指的是三阶及三阶以上的累积量.高阶累积量作为分析随机信号的数学工具,具有相关函数和功率谱等传统的二阶统计分析工具无可替代的地位,它能为人们提供随机信号中更多的信息.高阶累积量的一个重要性质是:高斯过程的三阶及三阶以上的累积量为零.这使得它成为提取噪声中信号的有效数学手段.

在实际中求的是高阶累积量的估计值,下面给出三阶累积量和四阶累积量的估计方法:

假定 $\{x(n)\}$ 为平稳随机信号, $n=0,1,\dots,N-1$,并且针对图像信号而言 $x(n)$ 是实数值,其三阶累积量估计为:

$$C_{3x}(1, 2) = \frac{1}{N} \sum_{n=N_1}^{N_2} x(n)x(n+1)x(n+2) \quad (1)$$

四阶累积量估计为:

$$C_{4x}(1, 2, 3) = \frac{1}{N} \sum_{n=N_1}^{N_2} x(n)x(n+1)x(n+2)x(n+3) \quad (2)$$

其中, N_1, N_2 的选取要求使 $x(n)$ 的 N 个观察值都在累加的范围.为了减少计算量,取其切片进行研究,即利用 $C_{3x}(1, 0)$ 和 $C_{4x}(1, 0, 0)$.

3 零水印的构造和检测算法

3.1 构造零水印算法

图像是二维信号,为了计算方便将二维的图像信号转化为一维的信号来求其高阶累积量.同时,为了减少计算时间,本文只取图像正中的部分计算其高阶累积量来构造零水印,因为根据人眼的习惯,看一幅图时首先都集中在图像的正中部分,所以图像的正中部分应该是图像特征集中的地方.当然也可以选取图像中纹理复杂、边缘多的图像块来构造零水印.设 $\{x(n)\}, n=0,1, \dots, N-1$ 为图像中最具代表性的 N 个像素的灰度值.利用公式(1)或(2)来计算这 N 个像素数据点的三阶累积量或四阶累积量,并取其切片,计算后得到 $2N+1$ 个值,在这 $2N+1$ 个值中选取 M 个绝对值最大的数构成一维序列 D ,这时生成一个同样有 M 个数的根据种子可再现的随机序列 S ,其取值范围在 $[1, M]$,随机数发生器的种子可以作为密钥.

$$D = \{d(i), 1 \leq i \leq M\} \quad (3)$$

$$S = \{s(i), 1 \leq i \leq M\} \quad (4)$$

其中, $s(i) \in [1, M]$.

用 S 序列中的随机数做 D 的索引产生新的序列 D .

$$D = \{d(i), 1 \leq i \leq M\} = \{d(s(i)), 1 \leq i \leq M\} \quad (5)$$

如果 D 中的第 i 个数为正,则相应的水印 w 中的第 i 个数为 1,否则为 -1,这样就产生了的二值零水印序列 w .

$$W = \{w(i), 1 \leq i \leq M\} \quad (6)$$

其中 $w(i) \in \{-1, 1\}$.

产生以后的零水印需在 IPR 信息数据库注册,它负责维护一个水印数据库来验证数字产品的所有权.零水印一旦注册后,就可以认为原图像已在水印技术的保护下.

这里也可以对图像进行 DCT 变换,然后取其中 M 个绝对值最大的 DCT 系数按照上面的方法来构造零水印,提取水印的时候也要先对图像进行 DCT 变换.但是,在 DCT 域中做的水印不能抵抗旋转攻击,这在后面的仿真实验中可以看到.

3.2 检测零水印算法

受水印保护后的原图像 I 在网络传输的过程中会受到无意或恶意的处理,则最后待检测图像 I 是原图像经过一定扭曲和损伤后的图像,如果怀疑这是受零水印保护的原图,可以用零水印算法来提取水印信息并在 IPR 水印数据库中注册过的水印进行验证.提取时同样利用嵌入过程中采用的那些像素值,这些像素值在原像素值上有所变化,设为 $\{x(n)\}, n=0,1, \dots, N-1$,利用公式(1)或(2)计算其三阶或四阶累积量并取其切片得到 $2N+1$ 个值,找到嵌入过程所利用的 M 个绝对值最大的数所在的坐标位置,将处于这些位置的数按顺序从 1 到 M 排成一维的向量 E ,再输入密钥得到式(4)的随机数序列 S ,根据 S 得到一维向量 E .

$$E = \{e(i), 1 \leq i \leq M\} \quad (7)$$

$$E = \{e(i), 1 \leq i \leq M\} = \{e(s(i)), 1 \leq i \leq M\} \quad (8)$$

根据 E ,如果第 i 个数为正,则对应的提取出的水印的第 i 个数为 1,否则为 -1,

$$W = \{w(i), 1 \leq i \leq M\} \quad (9)$$

其中, $w(i) \in \{-1, 1\}$.水印相关检测公式如下:

$$= \text{sim}(W, W) = W \cdot W / \sqrt{W \cdot W} \quad (10)$$

其中, w 为原水印, w 为提取出来的水印.

用上式检测提取出来的水印和原水印的客观相似性,考虑到使虚警概率和误判概率都达到最小,给定阈值为 5,检测值大于 5 就认为有水印的存在^[1].

4 仿真实验

采用的仿真软件是 Matlab,实验中用到的参数,如没特别说明都是 Matlab 里用的参数.

实验用图为 256×256 大小的 lenna 图,水印序列长度设为 1000,实验中产生 1000 个 1 和 -1 的二值随机序列,令第 500 个为原水印,然后把提取的水印和这 1000 个序列做相似度检测依此来检测该方法的鲁棒性.检测器输出的横坐标代表的是 1000 个取值 $\{1, -1\}$ 的随机序列,第 500 个为原水印,纵坐标是相关检测值,如果在横坐标 500 处有明显高于其它检测值的峰值,则可以判断有水印的存在.

图 1 是对 lenna 原图分别做旋转、比例缩放、剪切的几何失真实验,其中图 (a) 是对图像旋转 5 度并进行剪切以保持原图像的尺寸,图 (b) 的缩放比例是 8 倍.在这三种实验情况下,文献[1]介绍的方法都已经失效,而且在图像旋转的情况下,采用 DCT 变换的零水印方法也失效了.



图 1 图像的几何失真实验

(a) 旋转后图; (b) 比例缩放图; (c) 剪切后图

(a) ~ (c) 的 PSNR 值分别为: 13.554, 18.165, 8.5809

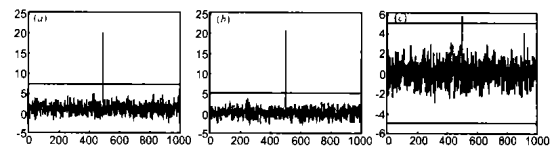


图 2 采用三阶累积量抗几何失真的实验结果

(a) ~ (c) 的相关检测值分别为: 15.558, 20.555, 5.6921

图 2 是在利用三阶累积量的条件下,分别对这三种几何失真实验做水印检测的结果.

图 3 是在利用四阶累积量的条件下,分别对这三种几何失真实验做水印检测的结果.

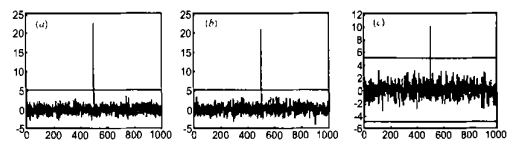


图 3 采用四阶累积量抗几何失真的实验结果

(a) ~ (c) 的相关检测值分别为: 22.515, 20.934, 10.056

表 1 列出了在滤波,直方图均衡,抖动,对比度增强的处理下分别采用三阶累积量和四阶累积量以及 DCT 变换的比较实验结果.其中采用的维纳滤波窗口大小为 $[10 \times 10]$,文献[1]中的方法在这种情况下已经失效.

表 1 实验结果比较

	直方图 均衡	滤波	抖动	对比度 增强
三阶累 积量	31.56	30.801	9.1074	20.681
四阶累 积量	31.496	31.623	16.128	8.2219
DCT域	31.623	31.623	31.623	26.816

表 2 水印抗高斯噪声
污染性能测试表

噪声 方差	0.01	0.02	0.03	0.04
三阶累 积量	30.99	28.208	22.136	21.124
四阶累 积量	31.18	28.777	26.31	22.389
DCT域	31.623	31.623	31.56	31.117

表 2 列出了图像在不同能量高斯噪声污染后分别采用三阶累积量和四阶累积量以及 DCT 变换的检测结果比较。

表 3 列出了图像在不同能量乘性噪声污染后分别采用三阶累积量和四阶累积量以及 DCT 变换的检测结果比较。

表 3 水印抗乘性噪声
污染性能测试表

噪声 方差	0.1	0.2	0.3	0.4
三阶累 积量	29.915	26.184	23.591	21.314
四阶累 积量	21.251	17.329	14.42	11.89
DCT域	31.623	31.433	30.864	30.168

表 4 水印抗 JPEG 压
缩性能测试表

压缩 参数	30	15	7	4
三阶累 积量	31.623	31.623	31.433	29.852
四阶累 积量	31.623	31.623	31.496	30.105
DCT域	31.623	31.623	31.623	31.496

表 4 列出了图像在不同压缩参数下压缩后分别采用三阶累积量和四阶累积量以及 DCT 变换的检测结果比较。

从以上实验结果可以看出:(1)DCT 域零水印算法和基于高阶累积量的零水印算法都具有很好的鲁棒性。在压缩参数为 4 的压缩实验、加高斯噪声方差为 0.1 的噪声污染实验、以及滤波器窗口为 10×10 的滤波实验中,采用两种零水印算法都得到了不错的检测效果。在同样的实验条件下,Cox 的水印算法^[1]已经失效。(2)除了不能抵抗图像旋转处理的不足外,DCT 域零水印算法在其它实验中都得到不错的检测效果。该算法的特点是简单、计算量小、易于硬件实现等。基于高阶累积量的零水印算法弥补了 DCT 域零水印算法的不足,基于高阶累积量的零水印不仅可以抵抗图像的旋转处理实验,而且在其它实验中也表现出很好的性能。可见,虽然基于高阶累积量的零水印算法计算量较大,但它仍具有潜在的商业价值。

5 总结和讨论

本文将三阶累积量和四阶累积量应用于零水印的数字水印技术中,其实验结果说明采用高阶累积量的算法具有很好的鲁棒性,对于在 DCT 变换域中做的水印能抵抗的图像处理操作,该算法都能抵抗,而且,该算法能抵抗旋转等几何攻击,这是在 DCT 变换域中做的水印不具有的性能。下面我们从理论上解释一下该算法具有如此好的鲁棒性的原因。

对于平稳随机过程 $x(t)$ 其三、四阶累积量可以定义为:

$$C_{kx}(1, 2, \dots, k-1) = E[x(t)x(t+1)\dots x(t+k-1)] - E[g(t)g(t+1)\dots g(t+k-1)] \quad (11)$$

其中, $[g(t)]$ 是与 $[x(t)]$ 具有相同二阶统计特性的高斯过程,这说明了信号的三、四阶累积量表示了信号偏离高斯的程度,不同的信号其偏离高斯的程度是不一样的,所以可以把这

种偏态看作信号的一种本质特征,对图像信号而言也是如此,图像信号的这种本质特征受一般的图像处理操作如:旋转,压缩等的影响较小,那么利用图像的偏态特征构造的零水印同样也受这些常见的图像处理影响不大。这就是采用三、四阶累积量构造零水印算法具有很好鲁棒性的原因之所在。

对于本文提出的算法,可以采用两个不同的随机数发生器种子密码来产生两个不同的水印,一个做私有水印,对应的密码作为作者拥有的私钥,一个做公有水印,对应的密码做公钥,每个人都可以用公钥来检测图像是否被水印技术保护了,这样就大大提高了在网络上发现盗版图片的机会。本文提出的算法具有一定的适用范围,因为采用高阶累积量的算法缺点是计算时间较长了些,而且由于注册所需的水印数据库的容量有限,所以本文提出的算法只适用于保护一定数量的有保护价值的重要资料图片。

参考文献:

- [1] IJ Cox, Joe Kilian, F Thomson. Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(12): 1673 - 1687.
- [2] 黄继武, Yun Q SHI, 程卫东. DCT 域图像水印: 嵌入对策和算法 [J]. 电子学报, 2000, 28(4): 57 - 60.
- [3] 牛夏牧, 陆哲明, 孙圣和. 基于多分辨率分解的数字水印技术 [J]. 电子学报, 2000, 28(8): 10 - 12.
- [4] 刘瑞祯, 谭铁牛. 基于奇异值分解的数字图像水印方法 [J]. 电子学报, 2001, 29(2): 168 - 171.
- [5] Mauro Barni, Franco Bartolini, Alessandro Piva. Improved Wavelet-Based Watermarking Through Pixel-Wise Masking [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(5): 783 - 791.
- [6] R G Van Schyndel, A Z Tirkel, C F Osborne. A digital watermark [A]. in Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing [C]. USA: IEEE, 1994.
- [7] Srdjan Stankovic, Igor Djurovic, Iannis Pitas. Watermarking in the space/spatial-frequency domain using two-dimensional radon-wigner distribution [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(4): 650 - 658.
- [8] Watson A B. DCT quantization matrices visually optimized for individual images [A]. In: Proc. of SPIE: Human Vision, Visual Processing and Digital Display IV [C]. Washington: SPIE, 1993.
- [9] PIDLCHUK CI, ZENG W. Image-adaptive watermarking using visual models [J]. IEEE Trans Selected Areas in Communications, 1998, 16(4): 525 - 539.
- [10] 温泉, 孙锁锋, 王树勋. 基于零水印的数字水印技术研究 [A]. 全国第三届信息隐藏学术研讨会论文集 (CIHW '2001) [C]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001.

作者简介:



温 泉 男, 1977 年生于四川威远, 2002 年毕业于吉林大学通信工程学院, 获得工学硕士学位, 现于吉林大学通信工程学院攻读博士学位, 研究兴趣方向为信息安全以及数字水印、DSP 在数字信号处理中的运用等领域。