

自适应盲水印图像小波变换算法及实现*

Adaptive Blind Watermarking Image Algorithm Based DWT and Its Realization

王智文, 蔡启先, 刘美珍

WANG Zhi-wen, CAI Qi-xian, LIU Mei-zhen

(广西工学院计算机工程系, 广西柳州 545006)

(Department of Computer and Engineering, Guangxi University of Technology, Liuzhou, Guangxi, 545006, China)

摘要:针对传统基于人类视觉系统特性的空间域与变换域结合算法中嵌入信息量小和检测准确率低的缺点,利用图像的局部纹理特性生成扩频码,并在水印嵌入过程中引入加密方法,通过计算相邻特征平均值为自适应调整待量化小波系数的量化间隔,提出并实现一种基于小波变换的数字图像自适应盲水印新算法,并用新算法进行仿真实验.仿真实验结果表明新算法通过阈值检测准确率高,对常见的图像处理有较好的鲁棒性,并且简便易行,计算量小.新算法在应用中有较大的灵活性,可嵌入信息容量大,运算速度快,可操作性强.

关键词:盲水印 自适应量化 鲁棒性 离散小波变换

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-7378(2007)04-0242-04

Abstract: A novel self adaptive digital image blind watermarking algorithm, aimed at the disadvantages of traditional method which combine spatial and DWT domain based on the characteristics of human visual system is put forward and realized. Patulous code is built by using local veins characteristic of image and encrypting means is introduced in the course of embedding watermark and it can adaptively adjust the quantized interval by calculating the border upon characters' mean value of the wavelet coefficients which is selected to embed watermark. Result of emulator experiment indicates that veracity of threshold value is higher than that of traditional method and is of better robustness. The new algorithm shows the following traits: easier actuality, less and faster calculation, better flexibility, great capacity of embedding information, and stronger operation capability.

Key words: blind watermarking, self adaptive quantization, robustness, discrete wavelet transform

数字水印技术作为多媒体信息安全领域的一个重要研究课题近年来取得了很大进展.空域算法、变换域算法、压缩域算法以及基于统计学、生理模型等多种数字水印算法陆续被提出.小波变换与人类视觉系统(HVS)的某些特性接近,目前基于小波变换的水印技术已成为研究的热点.迄今为止,国内外学者已提出相当多的基于小波变换的数字水印技术,

这些技术一般能较好地抵抗压缩和噪声攻击,都是建立在傅立叶变换基础之上的第一代小波变换,其特点是滤波器的输出是浮点数,小波图像低频系数总是被明显地排除在外,且图像的重构质量与变换时延拓边界的方式有关^[1].目前结合空间域和变换域算法的数字水印技术尚有待解决的问题有^[2~5]:(i)无法很好协调水印嵌入容量、透明性和鲁棒性之间关系,(ii)不易实现盲水印,(iii)保密性较差.

本文提出一种结合图像空间域和小波域特性的自适应盲水印算法.该算法有如下优点:①利用图像的局部纹理特性生成扩频码,增加了水印系统的鲁棒性,打破了传统的利用移位寄存器生成扩频序列

收稿日期:2007-08-01

作者简介:王智文(1969-),男,副教授,主要从事计算机网络安全和时态数据库研究.

* 广西自然科学基金项目(桂科自 0481008),广西工学院自然科学基金项目(院科自 0704102)资助.

的方法;②水印嵌入过程中引入加密方法,增强了水印系统的保密性;③自适应调整小波系数的量化间隔,增加了图像的逼真度;④实现盲水印检测;⑤提高水印的嵌入容量。

1 数字图像盲水印的嵌入

1.1 数字图像水印的置乱加密

首先需要将二值水印图像进行置乱加密,以达到消除二值水印图像的像素空间相关性,提高整个数字水印系统的安全性能,确保数字图像某一部分受到破坏后仍能全部或部分地恢复水印,为此,本文引入 Arnold 变换,将二值水印图像 W 置乱加密为安全水印矩阵 $W1$ 。

1.2 原始图像的小波分解

对大小为 $M \times M$ 的图像进行 L 级小波分解之后,形成一个金字塔结构的子带序列,按照空间分辨率由低到高的顺序,从顶层到底层的子带依次记为 $LL_L, HL_L, LH_L, HH_L, HL_{L-1}, LH_{L-1}, HH_{L-1}, \dots, HL_1, LH_1, HH_1$, 坐标为 (u, v) , 其中 L 取决于水印序列的长度 N , 满足 $M \times M / 2^{2L} \geq N$ 。实验采用如图 1 所示的三级 DWT 对原始图像进行分解。

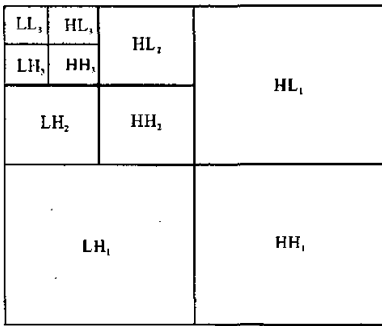


图 1 三级 DWT

1.3 选择嵌入区域

图像的大部分能量都集中在小波分解后的 LL 子带,而另 3 个子带主要是不同方向上的高频信息。为了保证水印的鲁棒性,我们只选择 LL 子带进行水印的嵌入。将 LL 子带通过逐行扫描变成一维向量 V , 找出其中前 N 个最大的系数值,并把它们的坐标按照从小到大的顺序,依次存放在 $1 \times N$ 的索引矩阵 I 中。

1.4 嵌入运算

量化间距根据嵌入水印后的水印图像和原始图像的峰值信噪比来进行调节,保证在不可见性的前提下,使水印具有该算法下最好的鲁棒性,并可将最后生成的量化间距 D 作为水印提取的密钥。水印

的提取不需要原始图像,只需要获得水印产生密钥和提取密钥,根据水印图像就能够提取水印,并判断图像中是否含有版权信息。如果 $LL_L(u, v)$ 是一个特征点,则对该特征点的零树结构中除根节点以外的所有节点(各个方向上的高频系数)依次进行标量量化及水印嵌入。排除根节点(低分辨率逼近)的原因是为了兼顾水印的不可见性和鲁棒性要求。使用密钥在除特征点之外的小波系数中随机选取了 3000 个系数,用来嵌入认证水印来增加算法的敏感性和安全性。量化过程如下:设 $X_{l,f}(u, v)$ 为特征点及密钥对应的小波系数,其中,脚标 $l \in \{1, 2, \dots, L\}$ 表示分解层数,分别表示水平、垂直、对角方向的细节子图, (u, v) 表示 $\{l, f\}$ 子图中的一点。量化间隔为 $X_{l,f}(u, v)$ 对应的可见度阈值 $JND_{l,f}, X_{l,f}(u, v)$ 的量化值为

$$k_{l,f}(u, v) = \text{round}\left(\frac{X_{l,f}(u, v)}{g \times JND_{l,f}}\right), \quad (1)$$

其中 g 为加权因子,根据实验选取。传统的基于量化的方法中多采用由实验得到的固定的量化间隔,固定的量化间隔必然造成图像逼真度的降低。因此通过将待修改小波系数的相邻特征值乘以一个加权系数的方法可以使被修改的小波系数自适应的调整量化间隔,增加水印图像的逼真度。

显然, $k_{l,f}(u, v) \in Z$, 由于 $X_{l,f}(u, v) \geq JND_{l,f}(u, v)$ 可知 $|k_{l,f}(u, v)| \geq 1$ 。定义量化水印序列为

$$w_{l,f}^i(u, v) = \text{mod}(k_{l,f}(u, v), 2), \quad (2)$$

$\text{mod}(\cdot, 2)$ 表示模 2 运算。量化过程将特征点对应的小波系数向数轴的左侧或右侧移动

$$\hat{X}_{l,f}(u, v) = k_{l,f}(u, v) \cdot JND_{l,f}. \quad (3)$$

显然量化误差 $e = \hat{X} - X$ 在 JND 范围之内,即

$$|e| = |k_{l,f}(u, v) \cdot JND_{l,f} - X_{l,f}(u, v)| < JND_{l,f}. \quad (4)$$

这说明经过量化过程调制的水印图像在视觉上与原始图像是没有区别的。

2 数字图像盲水印的提取

若用户想验证待测图像内容的真伪及检测图像的篡改程度,定义水印的相似函数

$$\text{sim}(w, \tilde{w}) = \frac{\sum_{u=0}^M \sum_{v=0}^M w(u, v) \tilde{w}(u, v)}{\sqrt{\sum_{u=0}^M \sum_{v=0}^M w(u, v) w(u, v)} \cdot \sqrt{\sum_{u=0}^M \sum_{v=0}^M \tilde{w}(u, v) \tilde{w}(u, v)}}$$

(5)

为参考水印与提取水印的评估指标。

水印的提取及验证流程如图 2 所示。

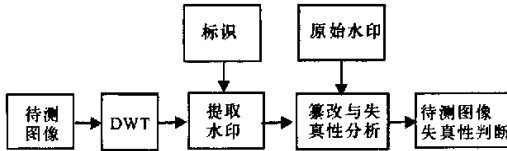


图 2 水印的提取及验证流程

具体算法如下：

首先利用嵌入过程中相同的小波基将水印图像进行分解，找到与原始特征点位置相应的系数和密钥对应的系数。

其次在检测端利用量化运算可以不参考原嵌入水印图像就提取出量化水印，实现水印的盲提取

$$\tilde{w}_{i,f}^q(u,v) = \text{mod}(\text{round}(\frac{\tilde{X}_{i,f}(u,v)}{JND_{i,f}}), 2), (6)$$

其中 $\tilde{X}_{i,f}(u,v)$ 为相应的待测图像的系数。提取水印与原始水印的差别可用来判断水印图像的内容是否真实，并指出被改动的位置。原始水印与提取水印的二值差别图定义为

$$m_{i,f}(u,v) = w_{i,f}^q(u,v) \oplus \tilde{w}_{i,f}^q(u,v), (7)$$

其中 \oplus 表示异或运算符，量化水印 w^q 和恢复后得到的水印 \tilde{w}^q 不相等时，对应的小波系数的位置标示了失真发生的空间位置，实验表明，由剪切、替换等篡改操作造成的水印差别大多比较集中，而由于有损压缩等一般性操作是对整幅图像进行处理，因此产生的水印差别在空间分布上呈均匀分布。这样，就可以直观地找出恶意篡改的区域。

3 仿真实验

实验采用大小为 512×512 的灰度图像 Lena 作为载体图像，采用 haar 小波作为小波基，取 $\alpha = 0.45, g = 0.06$ 。嵌入水印后的图像的峰值信噪比 $PSNR = 35.0557$ ，嵌入水印后的图像和原始图像比较仍然具有良好的不可见性(见图 3)。

当嵌入图像在网络上传输时很容易受到随机噪声和椒盐噪声等叠加噪声的污染，从添加随机噪声后的效果图 4(a)可以看出提取的水印图像与原水印图像相似度高，说明算法对于随机噪声攻击有很好的鲁棒性。由图 4(b)和(c)可以看出提取的水印图像与原水印图像相似度高，说明算法对于椒盐噪声攻击有很好的鲁棒性。由图 5(a)和(b)可以看出算法对常见的滤波攻击同样有很好的鲁棒性。



图 3 原始图像、水印图像和嵌入信息后图像



图 4 噪声攻击的效果

(a) 添加随机噪声后提取水印图像；(b) 添加噪音密度为 0.02 椒盐噪声后的效果；(c) 添加噪音密度为 0.05 椒盐噪声后的效果。



图 5 中值滤波攻击的效果

(a) 遭 3×3 滤波攻击后的效果；(b) 遭 5×5 滤波攻击后的效果。

由图 6(a)、(b)、(c)可见，只有当图像旋转很小的角度(0.2 度左右)才具有较好的鲁棒性，对于旋转角度较大(0.5 度以上)的鲁棒性较差。图 7 结果显示，本算法对剪切攻击具有很好的鲁棒性。图 8 结果说明算法具有很好的抗压缩能力，有较强的实际应用能力。



图6 旋转后的效果

(a)嵌入水印图像遭到旋转5度攻击之后的效果;(b)嵌入水印图像遭到旋转2度攻击之后的效果;(c)嵌入水印图像遭到旋转0.2度攻击之后的效果。



图7 剪切后的效果

(a)嵌入水印图像剪切左上角1/4之后的效果;(b)嵌入水印图像剪切右下角1/4之后的效果;(c)嵌入水印图像剪切中间1/4之后的效果;(d)嵌入水印图像剪切上面1/2之后的效果。

4 结束语

针对传统的基于人类视觉系统特性的空间域与变换域结合算法的缺陷,嵌入信息量小和检测准确

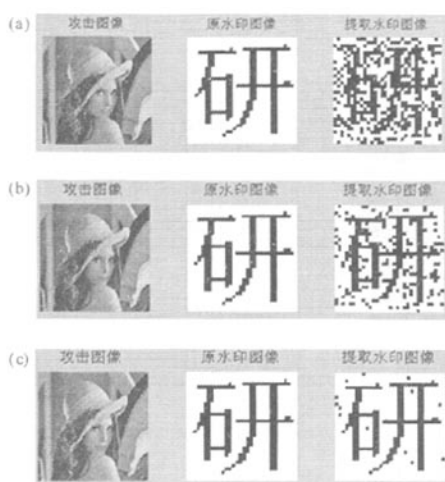


图8 JPEG压缩攻击后的效果

(a)品质因子为30%的嵌入水印图像遭到JPEG压缩;(b)品质因子为50%的嵌入水印图像遭到JPEG压缩攻击之后的效果;(c)品质因子为80%的嵌入水印图像遭到JPEG压缩攻击之后的效果。

率低的缺点,提出了一种基于小波变换的数字图像自适应盲水印新算法,避免了通过阈值检测准确率低的缺点,对常见的图像处理有较好的鲁棒性,并且简便易行,计算量小,在应用中有较大的灵活性,该算法还具有可嵌入信息容量大,运算速度快,可操作性强等特点。

参考文献:

- [1] TSAI M, YUANG K, CHEN Y. Joint wavelet and spatial transformation for digital watermarking [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2000, 46(1): 241-245.
- [2] 王沛, 姚恒, 李莉. 结合图像空间域和小波域特性的自适应盲水印算法[J]. 光学精密工程, 2006, 14(6): 1057-1062.
- [3] KIM B S, KWON K K, KWON S G, et al. A robust wavelet based digital watermarking using statistical characteristic of image and human visual system [J]. Proc of ITC-CSCC, 2002, 2(1): 1019-1022.
- [4] LIN CHING YUNG, WU MIN, BLOOM J A, et al. Rotation, scale and translation resilient watermarking for images [J]. In IEEE Trans On Image Processing, 2001, 10(5): 767-782.
- [5] LIU HONGMEI, LIU JIUFEN, HUANG JIWU, et al. A robust DWT based blind data hiding algorithm [J]. Circuits and Systems, 2002, 3(2): 672-675.

(责任编辑:尹 闯)