

文章编号: 1005-0523(2007)04-0084-04

一种基于小波域的盲数字水印算法

汤文亮, 费伦科

(华东交通大学 信息工程学院, 江西南昌 330013)

摘要:提出了一种基于小波系数分段的数字水印算法, 该算法对常见的图像处理具有一定强度的鲁棒性, 并且该算法实现了完全盲检测, 水印提取时不需要原始的载体图像, 也不需要水印的任何信息, 并且提取水印的正确性高.

关键词:数字水印; 小波变换; 盲检测

中图分类号: TP391

文献标识码: A

1 引言

随着计算机通信技术的迅速发展, 多媒体存储和传输技术的进步使存储和传输数字化信息成为可能, 然而, 这也使盗版者能以低廉的成本复制及传播未经授权的数字产品内容, 出于对利益的考虑, 数字产品的版权所有者迫切需要解决知识产权(Intellectual Property Rights)的保护问题. 1995年人们提出了信息伪装技术, 其中, 数字水印是数字产权保护技术的主要技术. 数字水印的研究是在20世纪90年代受到重视并蓬勃发展起来, 其目的为了标明载体本身的一些信息, 如多媒体信息的创作者、版权信息、使用权限等一系列需要标明的信息, 利用数字水印, 还可以跟踪多媒体产品的非法传播和扩散, 打击盗版^[1,2].

目前数字水印算法主要是基于空域和变换域的, 其中基于变换域的技术可以嵌入大量比特的数据而不会导致不可察觉的缺陷, 成为数字水印技术的主要研究技术, 它通过改变频域的一些系数的值, 采用类似扩频图像的技术来隐藏数字水印信息. 主要有离散余弦变换(DCT)、小波变换(WT)、付氏变换(FT或FFT)以及哈达马变换(Hadamard Transform)等等^[3,4]. 其中小波变换因其优良的多分辨率分析

特性, 使得它广泛应用于图像处理. 特别是2000年新一代静止图像压缩编码标准JPEG2000(相对于JPEG, 它放弃了JPEG所采用的DCT, 而采用DWT)公布并开始实行, 并且考虑了版权保护问题, 使基于小波变换的水印算法越来越引人注目. 因此, 小波域数字水印的研究非常有意义.

本文提出了一种基于小波系数分段的数字水印算法, 该算法嵌入的水印为一副有意义的二值图像, 其根据水印的信息来修正相应的小波系数, 嵌入的水印具有良好的不可见性, 对常见的图像处理如JPEG压缩、剪切、噪声等具有较好的效果, 并且该算法根据小波系数分段的值的统计特征来提取水印信息, 实现了完全盲检测, 水印提取时不需要原始的载体图像, 也不需要水印的任何信息.

2 算法实现

2.1 小波变换

小波变换的理论是近年来兴起的新的数学分支, 基本思想就是把图像进行多分辨率分解, 分解成不同空间、不同频率的子图像, 然后再对子图像的系数进行处理. 根据S. Mallat的塔式分解算法, 图像经过小波分解后被分割成4个频带: 水平方向、垂直方

收稿日期: 2007-03-13

基金项目: 江西省自然科学基金资助(511011)

作者简介: 汤文亮(1969-), 男, 江西进贤人, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为图像处理, 计算机网络与信息安全.

向、对角线方向以及低频部分, 其中低频部分可以继续分解. 图像经过小波变换后, 产生 LH_i, HL_i, HH_i ($i=1, 2, 3$) 三个高频带系列和一个 LL_3 低频带, 图像的能量主要集中于低频部分, 而水平、垂直和对角线部分的能量则较少; 水平、垂直和对角线部分表征了原图像在水平、垂直和对角线部分的边缘信息, 具有明显的方向特性^[5]. 以 lena 图像小波变换为例, 小波变换构成了对它的多尺度时频分解, 变换图像如图 1 所示:



图 1 lena 图像及其三层小波变换图

2.2 水印嵌入

算法嵌入的水印为一幅有意义的二值图像, 具体的嵌入步骤为:

1) 对载体图像进行三层小波变换, 得到小波系数 X_c^i (c : 表示层次, i 表示方向; $c, i=1, 2, 3$) 三个高频带系列和一个低频带 X_3^0 ;

2) 修改低频系数, 容易导致图像的透明性不好, 在高频部分嵌入水印, 容易导致水印的鲁棒性不好, 所以选择在中频系数 X_c^i ($c=2, 3; i=1, 2, 3$) 中嵌入水印. 根据水印图像的大小对 X_c^i 进行划分, 使每一个区域的大小和水印图像大小相等, 选择其中的 Q 个区域 $p_j(x, y)$ ($j=1 \dots Q$) 来嵌入水印 (当 Q 选择越大, 水印嵌入的鲁棒性更强, 同时要求水印图像相对减小, Q 越小, 嵌入的信息量可以相应的增大, 但水印的鲁棒性将减弱);

3) 对选择的 Q 个区域的系数进行二值分段预处理, 分段方法如下:

$$f_j(x, y) = \begin{cases} 1 \dots 10k \leq p_j(x, y) \leq 10k+9 \\ (k=2m) \\ -1 \dots 10k \leq p_j(x, y) \leq 10k+9 \\ (k=2m+1) \end{cases} (k \in Z) \quad (1)$$

同时对水印信息也按下面公式进行预处理:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 \dots w(x, y) = 1 \\ \dots \dots \dots \\ -1 \dots \dots \dots \end{cases} \quad (2)$$

4) 按照下面的公式修正小波系数:

$$p_j(x, y) = \begin{cases} p_j(x, y) \dots \dots \dots \\ \dots \dots \dots f(x, y) g(x, y) = 1 \\ p_j(x, y) + (15 - |p_j(x, y) \bmod 10|) \\ \dots \dots \dots f(x, y) g(x, y) = -1 \end{cases} \quad (3)$$

水印嵌入后可以发现, $w(x, y)$ 对应的 Q 个位置的小波系数 $p_j(x, y)$ 的 $f(x, y)$ 值将与 $w(x, y)$ 的值保持一致, 并且经过修正的小波系数都将处在每段的中间位置, 这样可以保证他们的二值分段值具有一定的稳定性.

5) 最后对修正后的小波系数 p' 进行逆小波变换, 得到嵌入水印的图像^[6, 7].

2.3 水印提取与检测

1) 对嵌入了水印的图像进行小波变换, 得到含有水印信息的小波系数, 并找出嵌入水印的 Q 个区域的小波系数 $p_j(x, y)$;

2) 按公式(1)对 $p_j(x, y)$ ($j=1 \dots Q$) 进行二值分段处理得 $f_j(x, y)$, 并计算二值分段后他们的和: $s(x, y) = \sum_{j=1}^Q f_j(x, y)$;

3) 按下面的方法提取水印:

$$w(x, y) = \begin{cases} 1 \dots \dots s(x, y) > 0 \\ 0 \dots \dots s(x, y) \leq 0 \end{cases} \quad (4)$$

可以看到水印是根据 Q 个位置的小波系数的分段值之和的正负性来提取的, 当 Q 个小波系数中的少数几位被破坏, 并不会影响水印的提取的正确性, 有利于提高水印的鲁棒性. 为检测提取的水印的有效性, 由上面计算得到 $s(x, y)$ 表示每一个 w 对应得 Q 个位置的小波系数的分段值的差值, 计算所有

的 s 的和 $T = \sum_{x=1}^{width} \sum_{y=1}^{height} s(x, y)$ ($width, height$ 分别表示水印图像的宽度和高度), 同时确定阈值 τ :

当 $T > \tau$, 提取的水印有效;

当 $T \leq \tau$, 提取的水印无效.

关于阈值 τ 的确定, 笔者对 1 000 幅图像进行了检测, 在没有添加水印的图像中, 他们每一个位置对应的 Q 个位置的分段值 1 和 -1 的数量相当, 所以 Q 个位置的分段值之和非常接近于 0, 所有的差值之和 T 一般都小于 $n * Q$ 的四分之一 (n 为水印比特数); 对于添加了水印的图像, 他们的差值和 T 一般都大于 $n * Q$ 的二分之一, 添加了水印的和没有添加水印的图像计算出来的 T 差值非常大, 所以我的阈值 τ 的确定为: $\tau = n \times Q \times 1/3$. 经过对 1 000 幅图像添加水印进行检测, 其中的 Q 值取 8, 结果有 3 幅图像没有检测到水印. 同时对 1 000 幅图像没有添

加水印进行检测,结果有一副图像检测到了水印,检测的正确性超过 99.5%,虚警概率和漏警概率均小于 0.5%.同时从检测的方法可以发现,水印检测的过程中不需要原始的载体图像参与,同时也不需要水印的任何信息,所以该检测方法实现了完全盲检测,并且水印检测的正确性很高^[8].

3 测试结果

本文选择载体图像为 512×512 的 lena 灰度图像,水印图像为 64×64 印有“华东交大”的二值图像,水印添加和提取的结果如图 2 所示:



图 2



图 3 图像经过剪切后提取的水印

非常好的透明性,提取的水印图像也非常清晰.现随机对水印图像进行剪切处理,剪切后的图像与提取的水印如图 3 所示:

从上面的检测结果可以发现,当对图像进行剪切后提取的水印有相应的失真,但提取的水印信息仍然非常清晰,嵌入的水印对剪切具有相当好的鲁棒性.再对水印图像添加强度为 0.02 的椒盐噪声时提起的水印图像如图 4(a)所示,用 photoshop 对水印图像进行模糊和锐化处理提取的水印图像如图 4 (b)(c)所示:

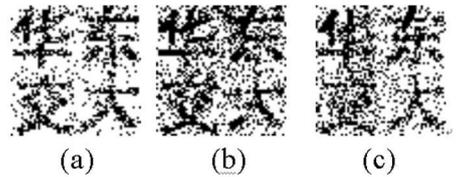


图 4 水印图像添加椒盐噪声和经过模糊、锐化处理提取的水印图像

水印图像添加椒盐噪声提取的水印图像比较清晰,经过模糊和锐化处理,提取的水印图像出现了一定的失真,但仍可以识别水印信息,所以算法对椒盐噪声、模糊等常见图像处理也具有一定的鲁棒性.再用 photoshop 对水印图像进行不同比例的 JPEG 压缩,品质因子 Q 分别取从 12 到 6 时提取的水印图像如图 5 所示:

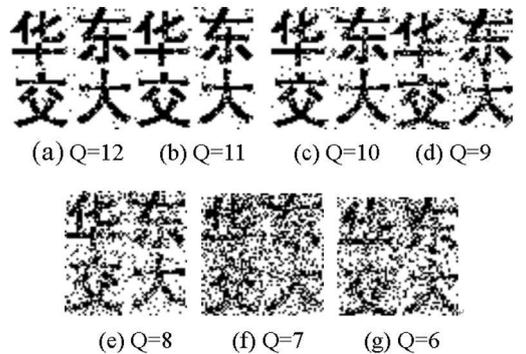


图 5 JPEG 压缩时提取的水印

经过高品质的 JPEG 压缩时,提取的水印图像非常清晰,经过低品质的压缩时,水印发生了比较大的失真,但仍可以识别水印信息,所以该算法对 JPEG 有比较好的鲁棒性.综合上面的测试结果可以发现该算法嵌入的水印对常见的图像处理具有较强的鲁棒性.

4 结束语

基于小波变换的数字水印算法具有可选择性

高,安全性强,良好的空间一尺度定位等特性,本文提出了一种基于小波系数分段的数字水印算法,实现了完全盲检测,水印提取时不需要原始的载体图像以及水印的任何信息,并且提取水印的正确性高.该算法的缺点是:没有能够更多地考虑人眼的视觉特性和采用小波系数进行分段时对分段长度的精细确定,算法对嵌入的水印容量也有一定的限制等问题还需要进一步研究.

参考文献:

- [1] Chin-Chen Chang, Kuo-Feng Hwang, Min-Shiang Hwang. A Feature-oriented Copyright Owner Proving. *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, 2002; 12(3): 317-330.
- [2] 夏煜,等.基于图像的信息隐藏检测算法和实现技术研究综述. *计算机研究与发展*, 2004, 41(4): 728-737.
- [3] M. Barni, F. Bartolini and A. Piva. Improved wavelet-based

watermarking through pixel-wise masking. *IEEE Trans. Image Process*, 2001; 10(5): 783-791.

- [4] Saeid Belkasim, XianYu Hong. Content Based Image Retrieval Using Discrete Wavelet Transform. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 2004; 18(1): 19-32.
- [5] 张晓峰,等.基于小波变换的图像水印嵌入方法. *计算机工程与应用*, 2004. 11: 64-65.
- [6] 杨定礼,等.基于异或运算和图像融合的盲数字水印嵌入和检测方法[J]. *电子器件*, 2005, 28(2): 275-279.
- [7] 邵海梅,等.基于小波变换的扩频水印算法[J]. *武汉大学学报*, 2003, 28(5): 626-629.
- [8] THAI DUY HIEN, YEN-WEI CHEN, ZENSHAO NAKAO. ROBUST DIGITAL WATERMARKING BASED ON PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS. *International Journal of Computational Intelligence and Applications*, 2004, 4(2): 183-192.

A Blind Watermarking Algorithm Based on Wavelet Transform

TANG Wen-liang, FEI Lun-ke

(School of Information Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang, 330013, China)

Abstract: This paper has proposed a digital watermarking algorithm based on wavelet coefficient subparagraph, which has high robustness to common image processing operation. The algorithm gives a method of completely blind detection, in which the watermark recovery does not require the original image and watermark information, and the accuracy of watermark detection is very high.

Key words: digital watermarking; wavelet transform; blind detection