

一种压缩域低灰度平滑块数字水印方案

周海涛¹, 周詮², 马伟², 马祥¹, 齐春¹

(1. 西安交通大学电子与信息工程学院, 710049, 西安; 2. 空间微波技术国家重点实验室, 710071, 西安)

摘要: 针对数字水印信息嵌入位置问题, 提出一种在低灰度平滑块中嵌入水印信息的方案. 该方案首先对图像做 8×8 离散余弦变换(DCT), 得到量化取整后的 DCT 块, 然后分别按照每个 DCT 块 DC 系数的大小, 以及 AC 系数的方差大小对 DCT 块进行排序, 由两个排序序列确定出一定数量的低灰度平滑块, 通过修改这些平滑块低频系数的相位来嵌入水印信息, 根据这些平滑块的低频系数均值的正负来提取水印信息, 实验结果表明, 该方案不仅具有较好的不可感知性, 而且对于滤波、压缩、噪声具有较强的鲁棒性, 对裁减、缩放和直方图均衡等也具有一定的抗攻击性.

关键词: 数字水印; 低灰度平滑块; 离散余弦变换

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2008)04-0404-05

Digital Watermarking Scheme with Low Luminance Smooth Blocks in Discrete Cosine Transform Domains

ZHOU Haitao¹, ZHOU Quan², MA Wei², MA Xiang¹, QI Chun¹

(1. School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;
2. National Key Lab of Space Microwave Technology, Xi'an 710071, China)

Abstract: Focusing on the problem of the embedding position for digital watermarking, a new digital watermarking scheme is presented in which watermarks can be embedded in low luminance smooth blocks. The low luminance smooth blocks are selected by sorting the 8×8 discrete cosine transform (DCT) blocks according to the values of DC coefficients and the variance of AC coefficients, respectively. The watermark is embedded by shifting the phases of a subset with low-frequency coefficients and the watermark extraction can be performed according to the signs of these low-frequency coefficients' averages. Experimental results show that the watermarked images look visually identical to the original ones and that the watermarks are robust to low-pass filtering and JPEG compression, and have certain resistance to some operations such as image cropping, scaling and histogram equalizing.

Keywords: digital watermarking; low luminance smooth blocks; discrete cosine transform

数字水印技术在数字产品版权保护、内容认证、播出监测等方面具有良好的应用价值, 得到人们越来越多的重视和研究. 按照水印的嵌入域, 可将数字水印算法分为基于空域和变换域两类^[1-3], 在变换域的分块 DCT 域算法中, 目前普遍认为, 水印信息应主要嵌在纹理块, 避免在平滑块和边缘块嵌入^[4], 主要原因是在平滑块和边缘块嵌入水印容易引起视觉

上的失真, 而且通常将水印嵌入在块的中低频系数上^[4-7], 如文献[4]提出的水印算法, 选择每个 8×8 的 DCT 块中 4、5、6、7、8、9、10 等中低频系数嵌入水印信息, 这样能在嵌入强度和视觉感知上取得一个好的平衡. 针对在平滑块和边缘块不适宜嵌入水印信息的传统观点, 本文利用人眼视觉对低灰度平滑块的不敏感性, 提出一种新的水印嵌入方案, 在低灰

度平滑块中嵌入水印信息,并且嵌入位置是紧挨直流系数后的最低频系数上,实验表明该方案具有较好的不可感知性和较强鲁棒性。

1 原理

根据 HVS 特性^[2],人眼对平滑块和边缘块非常敏感,应避免在平滑块嵌入水印,但不是所有平滑块的某种改变都会引起视觉上的失真,对于低灰度平滑块来说,某种程度上的改变引起视觉感知上的失真非常小,因为人眼视觉特性对低灰度区域的亮度变化没有对中间区域的亮度变化那么敏感。

1.1 低灰度平滑块的选取

选取平滑块的数量 N 要适当. 如果 N 偏大,影响图像的不可感知性, N 过小,则影响图像的鲁棒性. 由于一般图像平滑块的数目约占图像块总数目的 5%~30%,因此对 256×256 像素的图像, N 的取值在 200 较为合适. 选取平滑块的一般步骤为:

(1)对图像或视频的第 1 帧作 8×8 DCT 变换,得到量化取整后的 DCT 系数;

(2)按照每个 DCT 块 DC 系数的大小对所有的 DCT 块进行从小到大排序,得到序列 $S_1 = \{d_1, d_2, \dots, d_i\} (d_1 < d_2 < \dots < d_i)$,其中 d_i 为序列 S_1 中第 i 个 DC 系数,记下每个 DCT 块在序列中对应的序号;

(3)对所有 DCT 块按照其 AC 系数的方差大小,从小到大进行排序,得到另一个序列 $S_2 = \{v_1, v_2, \dots, v_n\} (v_1 < v_2 < \dots < v_n)$,记下每个 DCT 块在这个序列对应的序号;

(4)将每个 DCT 块对应的 2 个排序序列的 2 个序号进行相加,然后根据相加之和的大小对所有的 DCT 块再进行排序,然后选择 N 个值最小的序号,这 N 个序号对应的 N 个 DCT 块都是 AC 系数方差和 DC 系数都比较小的块,即低灰度平滑块。

本文选取 3 幅具有代表性的图作为例子, lake 代表一般性纹理的图像, plane 含有大量的平滑块, baboon 主要是纹理块,平滑块很少. 根据上述准则要求选取 $N=200$,选取的平滑块如图 1 所示。

1.2 水印的嵌入

(1)采用取值在 $\{1, -1\}$ 区间的随机序列作为水印序列

$$w = r(k, l) \quad (1)$$

式中: w 为水印序列; k 是用于 $\{1, -1\}$ 随机序列发生器的密钥; l 为水印序列长度,且

$$l = W_f h_f / 64 \quad (2)$$



(a)lake 图

(b)plane 图

(c)baboon 图



(d)lake 图的
平滑块

(e)plane 图的
平滑块

(f)baboon 图的
平滑块

图 1 原始图像以及对应选取的低灰度平滑块

其中: W_f 是数字图像或视频帧的宽度; h_f 是数字图像或视频帧的高度. 在实验中, k 取随机生成器的初始值,该随机生成器服从标准正态分布。

(2)对整幅图按 8×8 分块,然后分别对每块作 DCT 变换,并通过 JPEG 量化表量化,最后根据文中上节所述平滑块的选取方法,选定 N 个低灰度的平滑块。

(3)设整幅图的第 i 块为平滑块,把水印嵌入位置为 $(0,1)$ 、 $(1,0)$ 、 $(1,1)$ 的地方,也就是对应量化后的 DCT 系数形成的 zig-zag 序列的第 2、3、5 个系数,用 $F(i,2)$ 、 $F(i,3)$ 、 $F(i,5)$ 来表示,对于低灰度平滑块来说,一般这几个位置的系数很小,其绝对值一般都不大于 3,只改变某位置的相位对平滑块的特性影响不大,也不会影响该块在整幅图中的效果。

(4)嵌入水印信息. 考虑某一平滑块,位于整幅图的第 i 块,所对应的水印信息为

当 $w(i)=1$ 时

如果 $F(i,j) \leq 0$,则改变其相位,令 $F(i,j)=1$

如果 $F(i,j) > 0$,就保持不变,其中 $j=2, 3, 5$

当 $w(i)=-1$ 时

如果 $F(i,j) \geq 0$,则改变其相位,令 $F(i,j)=-1$

如果 $F(i,j) < 0$,就保持不变,其中 $j=2, 3, 5$ 。

在检测水印的时候,因为 AC 系数的改变,导致排序时会丢失一些块,但这些块的数量是极小的,而且由于算法只是改变了 AC 系数的部分值,不会影响所有的排序,同时没有改变 DC 系数的值,不会影响相关性检测的整体结果,仍然能够保证正确地检测出水印。

把水印嵌在低灰度平滑区域是为了避免人眼的感知失真,同时为了增强算法的鲁棒性,必须合理选择嵌入水印的平滑块数. 本文用来测试的图像是 256×256 像素,所含的平滑块数是 1 024,选择嵌入的块数应占总块数的 20% 左右,即 200 块,如果选择更大的图,如 512×512 像素,此时选择嵌入的块数应是 800 左右.

1.3 水印的提取

(1) 对嵌入水印的图像进行 8×8 分块 DCT 变换,然后量化,选取低灰度平滑块的数量为 N .

(2) 找到相应的平滑块 $F'(i, j)$, i 表示第 i 个分块, j 表示第 j 块中对应 zig-zag 序列的序号. 提取水印信息的方式如下

$$A_{\text{avery}} = [F'(i, 2) + F'(i, 3) + F'(i, 5)]/3 \quad (3)$$

式中: A_{avery} 表示这 3 个低频系数的均值. 检验出来的水印序列为

$$w'(i) = \text{sgn} A_{\text{avery}} \quad (4)$$

对于非低灰度平滑块,没有水印信息,则 $w'(i) = 0$.

(3) 根据以上步骤可以得到一个 $\{-1, 0, 1\}$ 的序列 $w'(i)$, 把检测出来的水印序列 $w'(i)$ 送到相关检测器以判断与原始水印 w 的相似程度. 令

$$C_N = \sum_{i=1}^l w(i)w'(i) / \sum_{i=1}^l w'(i)^2 \quad (5)$$

式中: l 为水印长度; N 是水印的有效长度. 当 $C_N > T$ 就认为该图像含有水印信息.

2 实验结果与分析

本文所提的数字水印方案适用于静态图像和视频. 按本文方案在图像中嵌入水印,结果见图 2.



(a)原始 lake 图 (b)原始 plane 图 (c)原始 baboon 图



(d)嵌有水印的 lake 图 (e)嵌有水印的 plane 图 (f)嵌有水印的 baboon 图

图 2 原始图和嵌入水印的图比较

取 1 000 组伪随机序列 X_i ($i = 1, 2, 3, \dots, 1\,000$), 其中 X_{400} 作为嵌入的数字水印, 对嵌有水印的 lake 图做相关检测实验, 输出结果见图 3. 在以下所有实验中, 选取的门限 $T = 0.3$, 这是一个比较适中的实验值, 如果要进一步降低误判率, 可以考虑适当提高门限. 由图 3 可见, 该方案误判率很低.

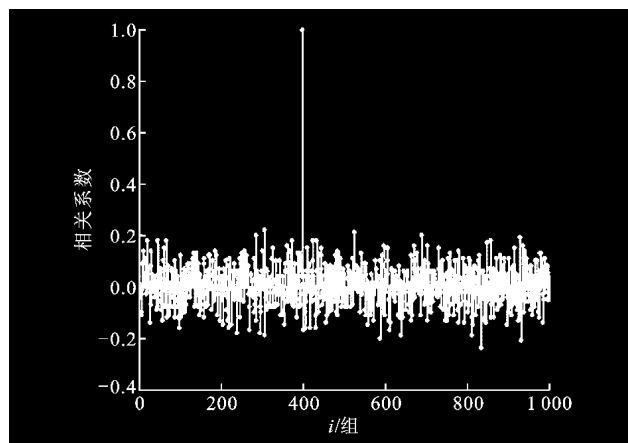


图 3 对 lake 图的相关检测器的输出结果

图 4 给出了使用本文方案嵌入水印的图像, 经中值滤波后的相关输出实验结果. 由图 4 可以看到, 随着滤波器模板的增大, 相关输出逐渐降低, 当模板数小于 7 的时候, 能够保证正确的输出以及极低的误判概率.

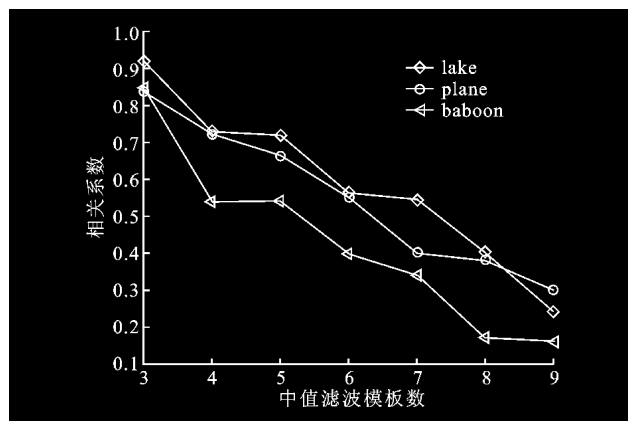


图 4 经过不同模板中值滤波后的结果

图 5 给出了使用本文方案嵌入水印的图像在 JPEG 压缩攻击下的输出响应实验结果. 由图 5 可见, 随着图像质量因子下降, 相关输出响应略为下降, 当图像质量因子大于 20 的时候, 能够保证正确的输出, 当图像质量因子降低, 图像失真就会很明显, 如果要正确检测水印, 此时可以适当提高检测门限. 图 6 给出了使用本文方案嵌入水印的图像在一定强度高斯噪声攻击下的相关输出实验结果. 由图 6 可见, 本文方案具有很强的抵抗噪声能力.

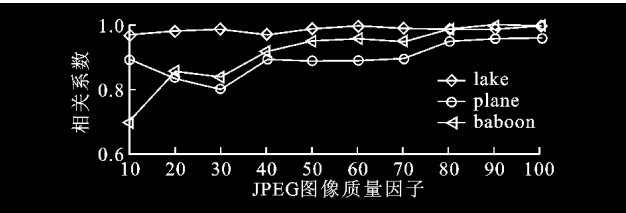


图 5 不同程度 JPEG 图像质量的相关输出

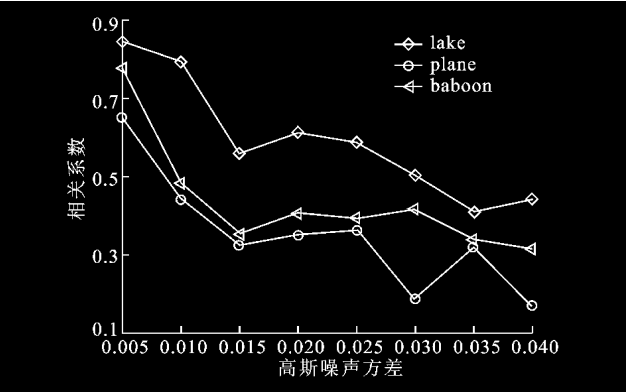


图 6 不同方差的高斯噪声攻击的结果

图 7 给出了使用本文方案嵌入水印的图像进行抗裁减攻击的实验结果. 裁减率是指所裁减面积与原图面积的比值. 将裁去的部分用灰度为 255 的白色区域代替, 然后对图像做水印提取, 并进行相关检测, 显然输出的结果与裁减的位置以及裁减的大小有紧密的关系. 由图 7 可见, 当裁减率小于 0.6 的时候能够保证正确检测出水印. 当裁减率增大的时候, 误判的概率增大. 在这种情况下, 可以适当提高门限来保证水印信息的正确判断. 图 8 表示了使用本文方案嵌入水印的图像抵抗缩放攻击的实验, 由图 8 可见, 该算法对于缩放攻击具有一定的鲁棒性, 当缩放的比率大于 0.3 的时候能够检测出水印信息.

针对本文所提方案的其他一些抗攻击特性, 做了和文献[1]方案的对比实验, 结果见表 1. 文献[1]

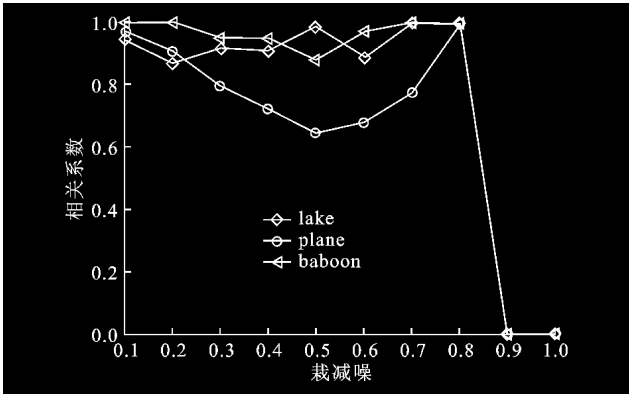


图 7 不同程度裁减攻击的相关输出

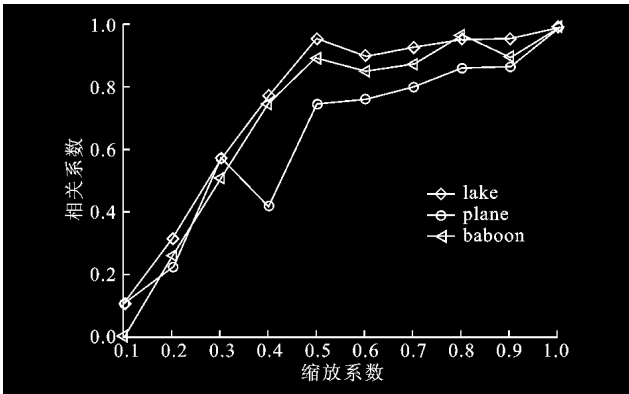


图 8 不同程度缩放攻击的相关输出

算法检测时需要原图, 本文算法属于盲检测, 不需要原图. 由表 1 可以看到, 本文算法的峰值信噪比 (R_{PSN}) 和相似度 (S_i) 在一定程度上都比文献[1]的要高.

3 结 论

本文提出一种新的数字水印方案, 可以在低灰度平滑块中嵌入水印信息, 水印提取的时候不需要原图, 算法简单, 适用于数字图像和视频. 实验结果表明, 本文方案具有较好的不可感知性和较强的鲁

表 1 本文算法和文献[1]算法在图像遭受部分攻击时的峰值信噪比和相似度性能对比 ($T=0.3$)

攻击类型	R_{PSN}/dB						S_i					
	lake 图		plan 图		baboon 图		lake 图		plan 图		baboon 图	
	本文	文献[1]	本文	文献[1]	本文	文献[1]	本文	文献[1]	本文	文献[1]	本文	文献[1]
未受攻击	26.61	25.63	27.15	23.91	24.24	25.67	0.99	1.00	0.91	1.00	1.00	1.00
伽马增强	14.11	16.82	14.11	18.79	13.02	11.83	0.96	0.22	0.96	0.15	0.91	0.10
直方图均衡	21.80	15.86	13.65	18.66	14.96	15.86	0.90	0.07	0.64	0.10	0.82	0.03
椒盐噪声	20.53	20.24	20.89	19.90	19.85	20.37	0.83	0.46	0.66	0.40	0.71	0.23
高斯噪声	19.22	19.14	19.40	18.75	18.21	18.46	0.72	0.37	0.58	0.31	0.630	0.24
仿射变换	17.28	17.75	17.19	17.66	16.67	17.33	0.51	0.03	0.48	0.03	0.53	0.01
随机抽取	19.95	21.15	20.09	21.31	18.33	19.80	0.82	0.16	0.83	0.17	0.81	0.07

棒性,特别是对于滤波、JPEG 压缩和噪声攻击具有天然的鲁棒性,同时也能抵抗一些其他攻击,如裁减和缩放等.本文方案的不足之处是一幅图像可供嵌入水印信息的低灰度平滑块数量有限,导致可嵌入的信息长度有限.如何提高嵌入水印信息的长度而又不影响图像的不可感知性,是本文今后改进的一个方向.

参考文献:

- [1] COX I, KILIAN J, LEIGHTON F T, et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia [J]. IEEE Trans Image Processing, 1997, 12(6): 1673-1687.
- [2] BUSH C, FUNK W, WOLTHUSEN S. Digital watermarking: From concepts to real-time video applications [J]. IEEE Computer Graphics Application, 1999, 12(19): 25-33.
- [3] HARTUNG F, KUTTER M. Multimedia watermarking techniques[J]. Proc IEEE, 1999, 7(87): 1079-1106.
- [4] HOLLIMAN M, MEMON N. Adaptive public watermarking of DCT-based compressed images[C]//Proceeding of SPIE: The International Society for Optical Engineering. Washington, USA: SPIE, 1997: 284-295.
- [5] LIU Lianshan, LI Renhou, GAO Qi. A robust video watermarking scheme based on DCT [C]//Proceeding of the International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Piscataway, USA: IEEE, 2005: 5176-5180.
- [6] ALTURKI F, MERSEREAU R. An oblivious robust digital watermark technique for still images using DCT phase modulation [C]//Proceeding of the International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing. Piscataway, USA: IEEE, 2000: 1975-1978.
- [7] CHEN Chuanbo, WU Xueli. An angle QIM watermarking algorithm based on watson perceptual model [C]//Proceeding of the International Conference on Image and Graphics. Piscataway, USA: IEEE, 2007: 324-328.

(编辑 刘杨)

西安交通大学与 AREVA T&D 国际科研合作启动仪式举行

2月27日上午,在电气工程学院会议室举行了西安交通大学与法国 AREVA T&D 国际科研合作启动及客座教授聘任仪式. AREVA T&D 全球技术总监 Andrew Klimek 教授、项目负责人薄志谦教授、电气学院副院长方万良教授、项目负责人张保全教授及学院百余名师生参加仪式.

方副院长为 Andrew Klimek 教授颁发我校电气学院客座教授聘书并发言祝辞. Andrew Klimek 教授作了题为“Electrical Engineers Skill for the Future”的报告,描述未来电力系统的技术发展和对电气工程师的素质需求,对在校学生的能力培养提出了很多有益的建议. 报告后,与会师生进行了热烈的学术交流.

法国 AREVA 公司是全球 500 强企业,致力于为核电和输配电用户提供全方位安全、可靠的技术服务. AREVA T&D 为全球三大输配电公司之一,有遍布 86 个国家的产品生产,服务和研发基地. 此次与我校合作的项目名为“广域信息条件下中国 800 kV 直流和 1 000 kV 交流的区域互连大型电力系统的运行控制和保护策略”,该项目为期 3 年,涉及线路最佳重合闸、输电断面安全性保护和暂态不稳定性预测与紧急控制等领域. 在本次访问的会谈中,双方就下年度增加合作项目、拓宽合作领域达成了一致,共同推进国际电力技术的发展.

(交大新闻网)