

基于 QIM 的数字图像盲水印算法

徐端全 朱光喜

(华中科技大学 电子与信息工程系, 湖北 武汉 430074)

摘要: 提出了一种 DCT 域量化索引调制水印算法. 水印嵌入在经过像素置换的相邻图像块 DCT 系数的差值上, 根据二值水印的信息位对该差值进行正/负调制, 从而实现水印的嵌入. 为了平衡不可见性和鲁棒性的要求, 根据人类视觉系统的掩蔽特性及图像局部特征对不同嵌入点的嵌入强度进行自适应调整, 在确保视觉质量的前提下, 得到良好的水印性能. 实验结果显示该算法对各种常见图像处理具有良好的鲁棒性.

关键词: 数字水印; 量化索引调制; 离散余弦变换; 人类视觉系统; 盲检测

中图分类号: TP309 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-4512(2008)07-0010-04

QIM-based digital image watermarking scheme

Xu Duanquan Zhu Guangxi

(Department of Electronics and Information Engineering, Huazhong University
of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Quantization index modulation is a well-known method used for blind watermarking algorithm. A new QIM watermarking scheme in discrete cosine transform (DCT) domain is proposed. Watermark was embedded into the difference of DCT coefficients from neighboring blocks, which exchange pixels to each other before embedding. A bit of the watermarking could be embedded by modulating the difference to positive or negative. To keep the balance between invisibility and robustness, strength factor will be adjusted adaptively for each embedding position based on the masking feature of HVS. Using this adaptive adjusting, the watermarking performance is improved while keeping well perceptual effect. The experimental results show that this watermarking scheme is robust to various image processing.

Key words: digital watermarking; quantization index modulation (QIM); discrete cosine transform (DCT); human vision system (HVS); blind detection

数字水印技术是一种对多媒体数据进行管理的有效方法^[1].

对于一个图像, 包含某个参数 $p(k)$, 该参数可能是变换域系数, 也可能是某参数均值或某种能量信息等, $p(k)$ 值域包含两个不相交的子集 A 和 B , $p(k) \in \{A, B\}$, 嵌入水印时, 按下述方式对参数值进行修改:

若 $w(k)=1$, 为使 $p'(k) \in A$, 则必须有

$$p'(k) = p(k) \pm \omega; \quad (1)$$

若 $w(k)=0$, 为使 $p'(k) \in B$, 则必须有

$$p'(k) = p(k) \pm \psi, \quad (2)$$

式中: $p(k)$ 表示水印待嵌入的载体参数; $p'(k)$ 表示被水印调制后的参数; $w(k)$ 表示原始水印信息位; $w'(k)$ 表示提取出来的水印信息位.

式(1)和(2)根据水印信息位修改 $p(k)$ 的值, 使其值进入某个事后可区分的区间.

水印提取时: 若 $p'(k) \in A$, 则 $w'(k)=1$; 若 $p'(k) \in B$, 则 $w'(k)=0$.

本文提出一个新的 DCT 域 QIM 水印算法, 将经过像素置换处理的相邻图像块 DCT 系数的

收稿日期: 2007-05-30.

作者简介: 徐端全(1969-), 男, 博士研究生, E-mail: xudq@mail.hust.edu.cn.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60502023); 湖北省自然科学基金资助项目(CGZ0223).

差值作为特征参数 p , 通过对 p 的调制, 实现二值水印的嵌入。

1 基于 QIM 的水印算法

目前有大量 QIM 盲水印算法被提出^[2], 其中有空域的^[3,4], 也有变换域的^[5]。如文献[2]所述, QIM 水印系统的关键是找到合适的特征参数及量化器。

文献[5]是 DCT 域 QIM 水印方案, 先对图像进行 8×8 不重叠的分块, 对这些块做 DCT 变换, 根据二值水印的各信息位对其直流分量进行量化, 使量化后的系数处于两种特定的区间。

1.1 图像块像素置换及水印嵌入方法

自然图像具有空间冗余性, 相邻图像块的灰度和纹理比较相似, 因而 DCT 系数之间存在相关性, 对应系数差值以“0”为基准小幅度波动。

图 1 为 baboon 图中上下相邻图像块 DCT 直流系数及差值的分布。图 1(a) 显示, 原始图像块的 DCT 直流系数在 200~1 500 范围里较均匀地分布。图 1(b) 中则显示出相邻图像块 DCT 直流系数差值以“0”为基准上下波动, 且大部分集中在比较小的幅度范围, 其中绝对值小于 60 的差值占 50% 以上。这里给出的是直流系数分布, 实验显示低频交流系数也有类似的特点。

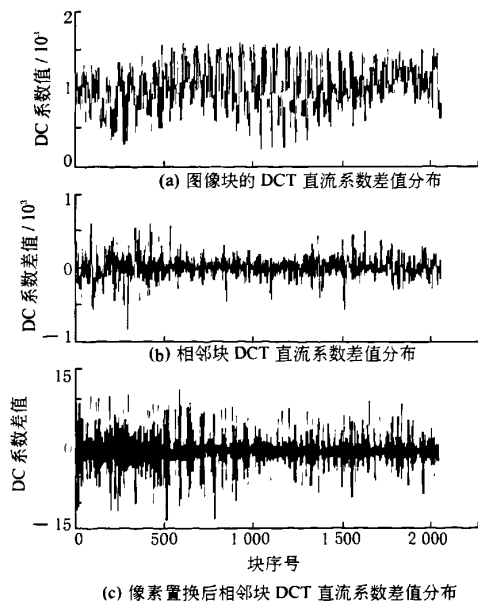


图 1 baboon 图中的 8×8 图像直流系数差值分布

相邻图像块 DCT 系数差值具有图 1(b) 所示的分布特点, 初步具备实施正/负调制的条件, 但如果直接在这个差值上进行正/负调制嵌入水印

不能实现理想的水印性能。为了满足不可见的要求, 水印的嵌入强度不能太大, 但嵌入强度太小又不足以将幅度大的差值调制到预定的区间, 因而差值太大的嵌入点不能正确地检测水印信息。

为了进一步压缩系数差值的动态范围, 便于对该值进行二值的正/负调制, 本文设计一种预处理方法, 在 DCT 变换前对相邻图像块做像素置换。令相邻块为块 A 和块 B (如图 2(a) 和 (b) 所示); 先将块 A 和块 B 进行隔行交换, 图 2(c) 给出得到的块 A', 同样也得到块 B'; 再将块 A' 和块 B' 进行隔列交换, 图 2(d) 给出得到的块 A'', 同样可得到块 B''。

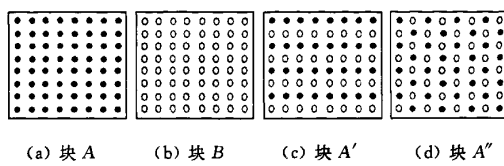


图 2 图像块像素的置换

经过像素置换后, A'' 和 B'' 包含了相似的像素信息, DCT 对应系数间差值非常小, 如图 1(c) 所示。系数差值这种分布非常便于 QIM 的水印嵌入。以直流系数为例, 采用加性水印嵌入时, 若 $w(k)=0$, 则有:

$$\begin{cases} \text{DCT}_- A''(0,0) = \text{DCT}_- A''(0,0) - \Delta; \\ \text{DCT}_- B''(0,0) = \text{DCT}_- B''(0,0) + \Delta. \end{cases} \quad (3)$$

若 $w(k)=1$, 则有:

$$\begin{cases} \text{DCT}_- A''(0,0) = \text{DCT}_- A''(0,0) + \Delta; \\ \text{DCT}_- B''(0,0) = \text{DCT}_- B''(0,0) - \Delta. \end{cases} \quad (4)$$

在水印提取时, 有

$$\begin{cases} w'(k) = 1 & (\text{diff}(k) \geq 0); \\ w'(k) = 0 & (\text{diff}(k) < 0), \end{cases} \quad (5)$$

式中: $\text{DCT}_- A''(0,0)$ 表示块 A'' 的 DCT 直流系数; $\text{DCT}_- B''(0,0)$ 表示块 B'' 的 DCT 直流系数; Δ 表示嵌入强度, $\Delta > 0$ 。

1.2 水印嵌入强度的自适应控制

对于图 1(c) 的分布, $\Delta > 5$, 即可确保检测时可靠地提取到水印信息, 不同图像中这个分布会有差异, 但都具有动态范围小的特点。

在实际应用中, 嵌入强度一般不会这么小, 否则不能有效抵抗有意、无意的水印攻击。如 JPEG 图像编码就是一种正常的图像处理过程, 但对水印往往具有较大的破坏性。JPEG 编码的量化过程对 DCT 系数带来一定的改变, 这种改变对低强度的水印破坏很大。

人类视觉系统 HVS(human vision system) 对不同图像的误差感知门限不同^[6], 具有照度掩

蔽特性(luminance masking)、对比度掩蔽(contrast masking)和纹理掩蔽特性(texture masking). 讨论的水印算法中,因为在 DCT 变换前对相邻图像块的像素进行了置换,嵌入完成后进行逆置换,因而不会出现块效应,但嵌入强度太大时,会出现噪声点. 这种噪声点在平滑区更易察觉,纹理复杂区对这种噪声具有良好的掩蔽效果. 所以嵌入时,平滑区选择较小的嵌入强度,纹理区选择较大的嵌入强度.

令相邻图像块 $A(k)$ 和 $B(k)$ 合成的块为 $C(k)$, $C(k)$ 对应着第 k 个嵌入点,其像素灰度值的方差为 $S(k)$,图像中需要嵌入水印信息的所有块组 C 的方差的均值 $u = \sum_k S(k)/N$, N 是系统处理的块组 C 的个数,也就是水印的位数,则式(3)和式(4)中的嵌入强度 $\Delta(k)$ 定义为

$$\Delta(k) = (S(k)/u)\beta + \lambda. \tag{6}$$

根据图像纹理特点或水印鲁棒性要求对 β 和 λ 两个参数做相应调整. 图像中极少数块组 C 的方差远远超出平均值,使得 Δ 太大,需要做适当的幅度限制.

1.3 水印嵌入与提取

算法采用的水印可以是二值扩频序列,也可以是二值图像,按如下步骤实现水印的嵌入:**a.** 对水印信息进行随机置乱,提高抗攻击性能;**b.** 将图像划分为不重叠大小相同的块;**c.** 按上述方法对相邻两块(如上下相邻或左右相邻等)做像素置换,对置换后两图像块 A'' 和 B'' 做 DCT 变换;**d.** 根据对应水印位的值按式(3)和(4)对 DCT 直流系数或低频交流系数做正/负调制;**e.** 对调制后 DCT 系数做 IDCT 变换,按上述方法做逆置换;重复步骤 **c**~**e**,完成所有水印位嵌入.

检测水印时,根据像素置换后的相邻块 DCT 系数的正/负提取对应水印位,在得到全部水印信息后对提取水印做逆随机置乱,得到估计水印 W' . 若是二值扩频序列,则对 W' 与原始水印 W 进行相似性计算,据门限判断水印存在与否;若是二值图像水印,则直接显示,观察是否与 W 一致.

2 实验结果

2.1 扩频序列水印实验

将载体图像视为具有高斯噪声特性的通信信道,将水印视为在该信道中传输的微弱信号,而原始图像信息及各种图像处理则可看着信道的干扰,基于这个原理采用扩频通信的技术在图像中嵌入水印^[7],这是一种经典的数字水印思想.

实验中将 m 序列作为水印,首先测试各种质量因子的 JPEG 编码攻击下水印的鲁棒性,实验中采用 lena, sailboat 和 baboon 3 个 512×512 的标准测试图像,水印嵌入在相邻块直流系数差值上,文献[8]中对在图像 DCT 直流系数上嵌入水印的优点进行了研究. 图像水印嵌入强度计算公式(6)中的 $\beta=40, \lambda=20$,属于中等嵌入强度,此时图像质量良好,非刻意观察不易发觉水印图像与原始图像之间的区别. 原始图像与水印图像的比较见图 3.



图 3 水印嵌入前后的 lena 图

在 lena, sailboat 和 baloon 3 个标准测试图像中嵌入水印,并分别对水印图像进行不同质量因子的 JPEG 编码,再进行水印检测,最后计算提取水印序列和原始水印序列的相关性. JPEG 编码攻击实验结果如图 4 所示,可以看出本文算法对于纹理复杂的图像有更好的鲁棒性.

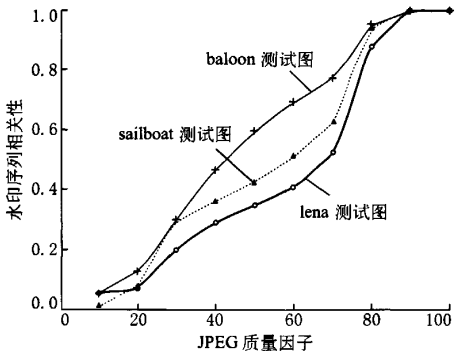


图 4 各种质量因子 JPEG 编码时图像水印的检测结果

表 1 给出各种攻击下的水印检测结果. 其中

表 1 lena 水印图像在各种攻击下的检测结果

水印相关性		水印相关性	
3×3 中值滤波	0.841 9	50% 剪切	0.575 3
椒盐噪声	0.825 3	对比度调整	0.789 3
高斯白噪声	0.894 6	45° 旋转	0.827 6
60% 缩放	0.926 2	亮度调整	1.000 0

椒盐噪声的密度为 0.05;高斯白噪声的均值为 0,方差为 0.02;图像缩放时,先缩小到 60 %后再放大到原尺寸;剪切时裁剪掉图像的右半部分;对比度调整时将所有灰度值映射到上半部分;45° 图像

旋转时剪切图像,再反方向旋转 45° 并剪切图像;亮度调整时将亮度降低到原始值的 20%。

2.2 二值图像水印实验

本文水印方案信息容量大,可以将二值图像作为水印。实验中水印为 32×64 二值图像,载体图像仍采用 512×512 分辨率的 lena 标准测试图,嵌入强度计算公式(6)中参数取值与上述扩频序列实验一致,即 $\beta=40, \lambda=20$,各种水印攻击强度也与上述实验一致,以便进行相互验证。

图 5 给出了各种攻击情况下提取的水印图像。图 5 中,(a)为质量因子为 90 的 JPEG 编码;(b)质量因子为 50 的 JPEG 编码;(c)为 3×3 中值滤波;(d)为添加椒盐噪声;(e)为添加高斯白噪声;(f)为 60% 缩放;(g)为 50% 剪切;(h)为对比度调整。

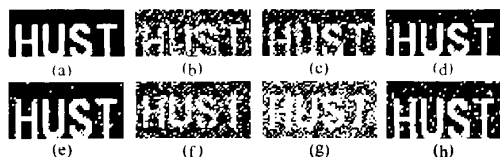


图 5 各种攻击下二值图像水印检测结果

实验表明本文算法具有良好的鲁棒性和较大的水印容量,在保持良好鲁棒性前提下仍然保持良好的视觉效果,并且没有其他基于图像块的 DCT 域水印算法常见的块效应。在相同信噪比前提下,采用本文算法得到的水印图像主观质量远高于文献[5]算法的水印图像;在鲁棒性方面,本文算法在椒盐噪声、高斯噪声、亮度/对比度调整等攻击下的性能比文献[5]更健壮。但在 JPEG 编码、中值滤波等低通性质的图像处理中,文献[5]算法更健壮,这是像素置乱在改善图像质量的同

时带来的负面影响。

参 考 文 献

- [1] Cox I J, Miller M L. The first 50 years of electronic watermarking[J]. Journal of Applied Signal Processing, 2002, 2: 126-132.
- [2] Chen B, Wornell G W. Quantization index modulation: a class of provably good methods for digital watermarking and information embedding [J]. IEEE Trans Information Theory, 2001, 47(4): 1 423-1 443.
- [3] Seo Yongseok, Kim Wongyum, Suh Youngho, et al. QIM watermarking for image with two adaptive quantization step-sizes[J]// Advanced Communication Technology, The 9th International Conference, 2007, 1: 797-800.
- [4] 孙 锐,孙 洪,姚天任. 一种空域的数字图像盲水印方案[J]. 华中科技大学学报:自然科学版, 2002, 30(2): 81-83.
- [5] Zhao Yanling, Zheng Xiaoshi, Li Na, et al. A digital image watermark algorithm based on DC coefficients quantization[C]// Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation. [s. l]: IEEE, 2006, 2: 9 734-9 738.
- [6] Watson B. DCT quantization matrices visually optimized for individual images[C]// Human Vision, Visual Processing and Digital Display IV. Washington: SPIE, 1993, 1913: 202-216.
- [7] Cox I J, Killian J, Leighton F T, et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia [J]. IEEE Trans Image Processing, 1997, 6: 1 673-1 687.
- [8] Huang Jiwu, Shi Y Q, Shi Yi. Embedding image watermarks in DC components[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2000, 10(6): 974-979.