

# 彩色数字水印嵌入技术

牛夏牧, 陆哲明, 孙圣和

(哈尔滨工业大学自动化测试与控制系, 哈尔滨 150001)

**摘 要:** 本文提出一种将彩色数字水印嵌入到灰度级图像中的方法. 利用静态图像的压缩编码技术, 将彩色数字水印编码为一系列二值 ID 数字, 以实现水印的嵌入. 由于水印的嵌入过程是基于原始图像的离散余弦变换 (DCT) 系数之间的关系, 所以水印的提取不需要原始图像. 实验结果表明本文提出的数字水印技术, 经某些图像处理操作和有损压缩后仍是鲁棒的.

**关键词:** 版权保护; 数字水印; 离散余弦变换

**中图分类号:** TP309

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0372-2112 (2000) 09-0010-03

## The Embedding Technique with Color Digital Watermark

NIU Xia-mu, LU Zhe-ming, SUN Sheng-he

(Dept. of Automatic Test and Control, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

**Abstract:** A method of embedding a color digital watermark into a gray-level image is proposed. By still image compression coding technique, the color digital watermark is encoded into a series of binary ID numbers for watermarking. The algorithm can extract the watermark without the original image because the embedding process is based on the relationship between the discrete cosine transform (DCT) coefficients of the original image. Experimental results show that the proposed technique is robust against some image processing operations and joint photographic experts group (JPEG) lossy compression.

**Key words:** copyright protection; digital watermarking; discrete cosine transform

### 1 引言

近年来, 随着网络技术的飞速发展, 数字产品的知识产权保护问题的解决就显得尤为迫切. 数字水印技术 (Digital Watermarking) 在数字产品的知识产权保护方面起到了越来越重要的作用. 目前, 绝大部分的数字水印技术是基于二维 ID 序列和二维二值数字水印技术的研究<sup>[1,2]</sup>. 这种水印所包含的知识产权的保护信息量少、保密性差, 特别是在大量的静态及动态数字图像的发布过程中, 此问题尤为突出. 本文提出一种将彩色数字水印嵌入到原始图像中的技术. 由于彩色数字水印所包含的版权保护信息量非常大, 甚至可以将知识产权拥有者的商标信息嵌入到其数字产品中, 因此, 本文提出的技术, 可以最大限度地保护知识产权拥有者的合法利益. 为了实现彩色数字水印的嵌入技术, 本文利用静态图像的压缩编码技术, 将彩色数字水印编码为一系列二值 ID 数字序列, 直接作为水印嵌入过程中的掩码信息. 为了保证在有损压缩过程中 (如 JPEG), 嵌入的水印能有效地生存, 本文在 DCT 变换域内实现水印的嵌入. 为了提取的方便, 水印的嵌入过程是基于原始图像的 DCT 系数之间的关系, 所以水印的提取不需要原始图像.

### 2 彩色水印的 ID 序列编码

本文采用 24 位彩色数字图像 (64 × 64) 作为数字水印. 为

了方便彩色数字水印的嵌入, 必须将其编码为一系列二值 ID 数字, 然后再将该一维 ID 序列嵌入到原始图像中. 利用 JPEG 编码原理<sup>[3]</sup>, 可以将彩色数字图像编码为 JPEG 位流 (JPEG bit-stream) 的形式. 首先, 将彩色数字图像分为 8 × 8 的块, 对每个块进行 DCT 变换. 其次, 对每块的 DCT 系数进行量化. 量化后的 DCT 系数进行无损的熵编码 (通常为 Huffman 编码), 就可以把彩色数字图像编码成 JPEG 位流的形式. 值得注意的是, 在量化过程中, 其量化表的选取, 取决于所要求的有损压缩的压缩比的大小. 量化表的量化数值越大, 压缩比就越大, 但对于图像的质量影响也就越大. 在保持 24 位彩色数字图像 (64 × 64) 的质量品质系数为 70 % 左右的情况下, 将其压缩成长度为 2048 × 8 的 JPEG 位流, 以此作为一维数字水印.

### 3 彩色水印的嵌入与提取过程

设原始图像是尺寸为 512 × 512 的灰度级图像, 水印是尺寸为 64 × 64 的 24 位彩色图像.

#### 3.1 彩色数字水印的嵌入过程

彩色水印的嵌入过程, 如图 1 所示.

##### 3.1.1 彩色水印的 JPEG 位流编码

按第 2 节介绍的 JPEG 编码方法, 把 24 位彩色水印编码为 2048 × 8 的位流. 由于, 该位流是二值 ID 数字序列, 可作为

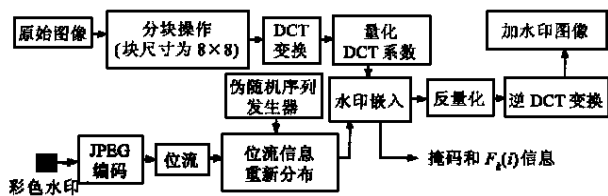


图1 彩色水印嵌入过程

水印嵌入的掩码信息。

### 3.1.2 二值ID数字序列的伪随机排序

为了使水印在图像的剪切处理过程中保持鲁棒,本文采用一维伪随机排序方法,重新分布水印位流序列的位信息<sup>[4,5]</sup>。

### 3.1.3 原始图像DCT系数的修改方法

设  $X(m, n)$  ( $1 \leq m \leq 512, 1 \leq n \leq 512$ ) 是灰度级为 256、尺寸为  $512 \times 512$  的原始图像,  $W(m, n)$  ( $1 \leq m \leq 64, 1 \leq n \leq 64$ ) 是尺寸为  $64 \times 64$  的 24 位彩色水印,  $W_{bit}(m)$  ( $1 \leq m \leq 2048 \times 8$ ) 是该彩色水印的 JPEG 位流。

将原始图像分为  $8 \times 8$  的块,并将其进行 DCT 变换。显然,原始图像分块的个数为 4096,水印的 JPEG 位流长度为  $2048 \times 8$  (或为  $4096 \times 4$ )。

为了增强嵌入水印的鲁棒性,水印的嵌入应在量化的中频 DCT 系数上进行<sup>[6]</sup>。由于,水印的位流长度是  $4096 \times 4$ ,故每个块可以有 4 个中频 DCT 系数被修改。

设量化后的 DCT 系数块中系数为  $QBX_k(i, j)$ , ( $0 \leq i \leq 7, 0 \leq j \leq 7, 1 \leq k \leq 4096$ ), 该块中 4 个中频 DCT 系数为  $QBMX_k(i)$  ( $0 \leq i \leq 3, 1 \leq k \leq 4096$ )。取一个二值逻辑  $Lg_k(i)$  (其中:  $0 \leq i \leq 3, 1 \leq k \leq 4096$ ), 如果  $QBMX_k(i) \times F_k(i) \geq QBX_k(0, 0)$ , 则  $Lg_k(i)$  返回“1”, 否则返回“0”, 其中  $F_k(i)$  ( $0 \leq i \leq 3, 1 \leq k \leq 4096$ ) 为由用户选择的待定系数,  $QBX_k(0, 0)$  为块中的 DCT 直流分量。

嵌入水印的规则是通过修改每块的中频 DCT 系数  $QBMX_k(i)$  与该块的直流分量  $QBX_k(0, 0)$  之间关系来实现的。例如,若把水印位流中某一位信息  $W_{bit}$  嵌入到第  $k$  块的中频 DCT 系数中,如果  $W_{bit}(m) \oplus Lg_k(i)$  等于“1”,就可以通过修改对应的 DCT 系数  $QBMX_k(i)$  的值,以改变  $QBMX_k(i)$  和  $QBX_k(0, 0)$  之间的关系,使得  $W_{bit}(m) \oplus Lg_k(i)$  等于“0”。DCT 系数的值的改变范围以及待定系数 ( $F_k, k = 1, \dots, 4096$ ) 的选取,要以水印的不可见性和鲁棒性为依据<sup>[2]</sup>。由于,水印位流的嵌入过程是基于改变原始图像 DCT 系数之间的关系,而这种关系在 JPEG 有损压缩过程中是基本保持不变的,因此,本文提出的水印嵌入算法,对于有损压缩的攻击是鲁棒的。

## 3.2 彩色数字水印的提取过程

彩色水印的提取过程如图 2 所示,在提取的过程中不需要原始图像。

首先,将加水印图像分成  $8 \times 8$  的小块,并分别进行 DCT 变换和量化。然后,通过取二值逻辑  $Lg_k(i)$ ,来判断每块的中频 DCT 系数与该块的直流分量之间的关系,如果  $Lg_k(i)$  ( $0 \leq i \leq 3, 1 \leq k \leq 4096$ ) 返回“1”,在对应位置的水印位流的位信息应为“1”,否则为“0”。按此算法,可以提取所有的水印位流的

位信息。再根据嵌入算法中的伪随机序列顺序,取得原始水印的位流序列。最后,经 JPEG 解码运算,获得提取的彩色水印。

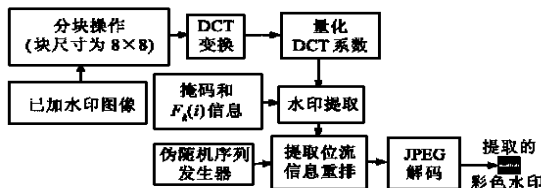


图2 彩色水印提取过程

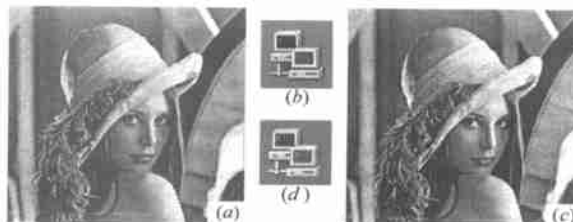


图3 (a) 原始 Lena 图像; (b) 水印; (c) 加水印后的 Lena 图像 (PSNR = 32.76dB); (d) 提取的水印 (NC = 1)

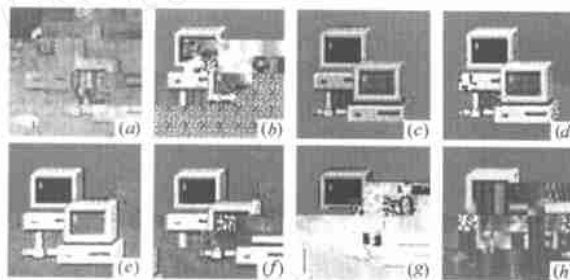


图4 (a) 和 (b) 是加水印 Lena 图像分别经亮度和对比度增强 40% 的处理后提出的水印 (NC = 0.80 和 0.78); (c) ~ (h) 是加水印 Lena 图像分别经 JPEG 有损压缩处理后提出的水印 (压缩比: 1.44 ~ 10.32, NC = 0.999 ~ 0.653)

## 4 实验结果

仿真实验采用的原始图像为  $512 \times 512$  的灰度级 Lena 图像,水印采用 24 位彩色 Computer 图像 ( $64 \times 64$ )。由于采用的水印在感知上是可视的,所以提取的水印信息很容易辨别。本文采用归一化互相关系数 (Normalized Cross-Correlation, NC)<sup>[7]</sup>,以定量分析提取水印与原水印的相似性。采用峰值信噪比 (Peak Signal to Noise Ratios, PSNR) 来评价原始图像和加水印后图像之间的差别<sup>[7]</sup>。

图 3 示出了原始 Lena 图像,加水印的 Lena 图像,水印和提取的水印。图 4 示出了加水印的 Lena 图像经过几种图像处理提取的水印,表 1 给出了加水印的 Lena 图像经 JPEG 有损压缩后提取的水印的 NC 值。

表1 加水印Lena图像经JPEG有损压缩处理后提出的水印的NC值

提出的可视水印	c	d	e	f	g	h
JPEG品质因子	100 %	90 %	80 %	70 %	60 %	50 %
压缩比	1.44	3.58	5.37	6.97	8.89	10.32
NC	0.999	0.998	0.960	0.908	0.852	0.653

## 5 结论

本文提出一种将彩色数字水印嵌入到原始图像中的方法. 利用静态图像的压缩编码技术, 将彩色数字水印编码为一系列二值 ID 数字, 该二值 ID 数字序列, 可以直接作为掩码信息, 实现水印的嵌入. 由于, 在 DCT 变换域内实现水印的嵌入, 同时, 水印的嵌入过程是基于原始图像的 DCT 系数之间的关系, 不仅保证了在有损压缩过程中 (如 JPEG), 嵌入的水印能有效地生存, 而且, 水印的提取不需要原始图像. 仿真试验表明本文提出的算法, 对一些图像处理操作和有损压缩攻击是鲁棒的.

## 参考文献:

- [ 1 ] Raymond B. Wolfgang, Christine I. Podilchuk, Edward J. Delp. Perceptual watermarks for digital images and video [J]. Proceedings of the IEEE, July 1999, 87(7): 1108 - 1126.
- [ 2 ] C. I. Podilchuk, W. Zeng. Image-adaptive watermarking using visual models [J]. IEEE J. Select. Areas Commun., May 1998, 16(4): 525 - 539.
- [ 3 ] W. B. Pennebaker, J. L. Mitchell. JPEG: Still Image Data Compression Standard [M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1993.
- [ 4 ] Chuan-Fu Wu, Wen-Shyong Hsieh. Digital watermarking using zerotree of DCT [A]. Proceeding of Fourth International Conference on Electronic Measurement & Instruments [C], Aug. 1999, 2: 820 - 824.
- [ 5 ] Ingemar J. Cox, Joe Kilian, F. Thomson Leighton, Talal Sharnoon. Secure spread spectrum watermarking for multimedia [J]. IEEE Trans. on IP, Dec. 1997, 6(12): 1673 - 1687.
- [ 6 ] NIU Xia-mu, LU Zhe-ming, SUN Sheng-he. Digital watermarking of still images with gray-level digital watermarks. IEEE Trans. on Consumer Electronics, Feb. 2000, 46(1): 137 - 145.
- [ 7 ] M. Kutter, F. A. P. Petitcolas. A fair benchmark for image watermarking systems [J]. in Proceedings of SPIE, Jan. 1999, 3657.

## 作者简介:



**牛夏牧** 哈尔滨工业大学自动化测试与控制系副教授, 博士研究生. 曾荣获国家科技进步二等奖 1 项, 省部级科技进步奖若干项. 出版著作 2 部. 在国内外科技刊物和会议上发表论文 30 余篇, 其中 10 余篇被国际四大检索源 (SCI, EI 和 ISTP) 收录. 主要研究方向包括自动化测试与微波测量技术、数字水印技术以及计算机软硬件设计等.



**陆哲明** 哈尔滨工业大学自动化测试与控制系博士研究生. 在国内外科技刊物和会议上发表论文 10 余篇, 其中 3 篇被 SCI 收录. 主要研究方向包括语音编码和数字图像处理技术.



**孙圣和** 哈尔滨工业大学自动化测试与控制系教授, 博士生导师. 国务院学科评议组成员, 国家科技奖评审组成员. 曾荣获国家科技进步二等奖 1 项, 省部级科技进步一等奖 4 项. 出版著作 6 部. 在国内外科技刊物和会议上发表论文 150 余篇, 其中 72 篇被国际四大检索源 (SCI, EI) 收录. 主要研究方向包括计算机自动化测试与控制技术、数字信号处理技术等.

(上接第 38 页)

- [ 11 ] S. D. Blostein, T. S. Huang. Detecting small, moving objects in image sequences using sequential hypothesis testing [J]. IEEE Trans., 1991, ASSP-39: 1611 - 1629.
- [ 12 ] R. C. Nelson. Qualitative detection of motion by moving observer [C]. Proceed. of IEEE Computer Society Confer. on CVPR, 1991: 173 - 178.
- [ 13 ] James M. Coggins. A statistical approach to multiscale medial vision [A]. Proceed. of SPIE, 1768, San Diego July 1992.
- [ 14 ] James M. Coggins. Statistical investigations of multiscale image structure [A]. Proceed. of 2nd Inter. Confer. on Visualization in Biomedical Computing, Chapel Hill, NC, October 1992.
- [ 15 ] D. E. Fritsch, J. M. Coggins, S. M. Pizer. A multiscale medial description of grayscale image structure [A]. Proceed. of SPIE Confer. on Intelligent Robots and Computer Vision X: Algorithms and Techniques, Boston, November 1991.