

一种用于版权通知和保护的多功能彩色图像水印算法

陆哲明, 吴昊天, 刘忠仁, 孙圣和

(哈尔滨工业大学自动化测试与控制系, 黑龙江哈尔滨 150001)

摘 要: 本文提出一种用于版权通知和保护的多功能彩色图像水印算法. 其基本思想是在彩色图像的不同区域分别嵌入可见水印和不可见水印. 根据归一化块方差特性在空域中自适应地嵌入可见水印, 以实现版权通知功能. 利用抖动调制技术在离散余弦变换域(DCT)中嵌入可盲抽取的不可见水印, 以实现版权保护功能. 实验结果表明, 嵌入的可见水印很难去除, 不可见水印对彩色图像的质量影响很小, 并对常规处理具有较好的鲁棒性.

关键词: 版权保护; 版权通知; 可见水印; 不可见水印; 抖动调制

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 05-0778-04

A Multipurpose Color Image Watermarking Algorithm for Copyright Notification and Protection

LU Zhe-ming, WU Hao-tian, LIU Zhong-ren, SUN Sheng-he

(Department of Automatic Test and Control, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China)

Abstract: A multipurpose color image watermarking algorithm for copyright notification and protection is proposed. The basic idea is to embed the visible and invisible watermarks into different blocks of the color image, respectively. Based on the characteristics of normalized block variances, the visible watermark is adaptively embedded in spatial domain to achieve the goal of copyright notification. By utilizing the dithered modulation technique, the invisible watermark that can be blindly extracted is embedded in the DCT domain to obtain the aim of copyright protection. Simulation results show that the visible watermark is hard to remove by common operations, the impact of the invisible watermark on the color image quality is slight, and the invisible watermark is robust to common signal processing operations.

Key words: copyright protection; copyright notification; visible watermark; invisible watermark; dithered modulation

1 引言

数字水印技术^[1]作为多媒体作品的版权保护和内容认证的有力工具, 已得到了越来越多的关注和发展. 目前的图像水印技术大多考虑在灰度图像中嵌入水印, 这主要是因为灰度图像较彩色图像便于处理, 且灰度图像仅含有亮度信息, 不含色度信息, 在其中嵌入水印不会产生新的颜色分量. 但在现实生活中, 彩色图像比较常见, 它比灰度图像信息量大, 在其中嵌入水印进行版权保护显得更加重要.

众所周知, 在原始图像中嵌入可见水印能起到版权通知的作用^[2~6]. 设想如下一种应用场合: 媒体制作者通过网络为其作品作广告宣传, 而用户需要使用信用卡购买该作品. 在这种情况下, 媒体制作者可在其作品中嵌入可见水印再放到网页上作宣传, 用户可直接下载含可见水印的作品, 但若用户对

原始作品感兴趣, 则需通过信用卡进行购买, 且网络交易成功时可见水印自动被去除. 但是, 这样会带来如下问题: (1) 一旦授权用户得到不含可见水印的作品, 他可能将其转售他人而侵犯版权; (2) 非法用户可能采用特定算法去除作品中的可见水印, 然后进行非法销售; (3) 非法用户可能修改含水印作品中的可见水印, 然后以低价出售; (4) 盗版者可能将制作者所采用的可见水印嵌入到其它图像中促销, 盗用版权. 为了同时解决这些问题, 本文提出一种多功能图像水印技术, 即在图像中同时嵌入一个可见水印和一个不可见水印, 其中可见水印用于版权通知, 不可见水印用于版权保护.

2 算法

本文提出的多功能彩色图像水印算法如图 1 所示. 在嵌入过程中, 首先将 RGB 格式的原始彩色图像转换为 YUV 格

式,取出其中的 Y 分量(即图像的灰度值)得到原始彩色图像对应的灰度图像;分别在空域和 DCT 域内将一个可见水印和一个不可见水印嵌入到灰度图像中,得到含水印的灰度图像;将含水印的灰度图像的灰度值作为亮度信息,即为 Y 分量,结合原始彩色图像的色度信息,即 U 分量和 V 分量,转换到 RGB 色彩空间即得到含水印彩色图像。在不可见水印的提取过程中,首先将彩色图像转换为灰度图像,根据不可见水印嵌入时产生的密钥提取水印信息,然后将提取出的信息与原始水印信息作归一化互相关,即可判断出可疑彩色图像中是否含有不可见水印。水印的提取过程不需要原始彩色图像参与,为盲提取过程。下面分别对各步骤作详细说明。

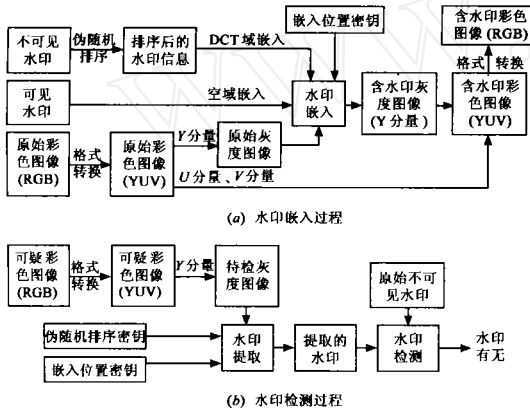


图 1 算法的原理框图

2.1 色彩空间转换

RGB 彩色系统是最常见的颜色系统,如计算机屏幕显示通常采用 RGB 彩色系统。为了得到一幅彩色图像所对应的灰度图像,可将彩色图像由 RGB 色彩系统转换到 YUV 色彩系统。RGB 色彩系统与 YUV 色彩系统之间的对应关系如式(1)和(2)所示:

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.148 & -0.289 & 0.437 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1.140 \\ 1 & -0.395 & -0.581 \\ 1 & 2.032 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} \quad (2)$$

根据式(1)和式(2),人们可由原始彩色图像的 RGB 分量得到其 YUV 分量,其中 Y 分量即为图像的亮度信息, U 、 V 分量为图像的色度信息。由 Y 分量可直接构成原始彩色图像对应的灰度图像。相反地,可由图像的 YUV 分量得到其 RGB 分量。

2.2 可见水印嵌入

为简单起见,取可见水印为灰度图像(若为彩色图像,则取其灰度图像即可),其尺寸与原始彩色图像相同。首先,将待嵌入水印的灰度图像和可见水印进行分块(每个子块大小为 8×8)。计算原始灰度图像中各子块的方差,取其中的最大值 v_{max} 和最小值 v_{min} ,记子块 (k, l) 的方差为 v_{kl} 。按下式计算归一化方差:

$$kl = \frac{v_{kl} - v_{min}}{v_{max} - v_{min}} \quad (3)$$

然后,按下式在空域中嵌入可见水印:

$$X_{ij} = kl \cdot X_{ij} + (1 - kl) \cdot \frac{X_{ij}}{255} \cdot V_{ij} \quad (4)$$

其中 X_{ij} 、 X_{ij} 和 V_{ij} 分别为含可见水印的灰度图像、原始灰度图像和可见水印的子块 (k, l) 中位置 (i, j) 处的像素值, kl 为原始灰度图像的子块 (k, l) 的归一化方差。由式(4)可以看出:当 $V_{ij} = 255$ 或 $kl = 1$ 时, $X_{ij} = X_{ij}$,即原始灰度图像中的 X_{ij} 没有被改变;当 $kl \neq 1$ 时, $X_{ij} \neq X_{ij}$ 。由此可见,可见水印对原始灰度图像中的低细节子块的改动较大,而可见水印中像素值均为 255 的子块所对应的原始灰度图像中的子块没有改变,原始灰度图像中的高细节子块几乎没有改变。

2.3 不可见水印嵌入

本文采用二值图像作为不可见水印。此外,本文还要求可见水印图像中至少有四分之一子块的所有像素值均为 255。由可见水印的嵌入方法可知,待嵌入水印的灰度图像中至少有四分之一的子块没有被改变。这样一来,至少可以在四分之一子块中嵌入不可见水印,若考虑到一些高细节子块 ($kl = 1$),可嵌入不可见水印的子块数会更多。不可见水印的嵌入方法很多,其中有一类方法采用量化索引调制技术^[7-10]。本文的不可见水印嵌入过程在 DCT 域内进行,并借鉴文献[8]中的抖动调制技术,其具体步骤如下:

首先,将不可见水印图像进行伪随机排序,产生伪随机排序后的不可见水印。伪随机排序的目的在于增加安全性,并增强抵抗剪切攻击的鲁棒性;

其次,在可嵌入不可见水印的子块(其数目大于子块总数的四分之一)中随机选取四分之一子块用于嵌入不可见水印。这样一来,算法将产生随机选择密钥以进一步增加安全性;

然后,对随机选择的每个子块进行 DCT 变换,取中高频部分的四个 DCT 系数,采用抖动调制技术嵌入四个水印信息位。对选中的每个 DCT 系数 C_{ij} ,以量化步长 L ,按式(5)和式(6)计算其整数商 Q_{ij} 和余数 R_{ij} :

$$Q_{ij} = \text{Int}[C_{ij}/L] \quad (5)$$

$$R_{ij} = C_{ij} - Q_{ij} \times L \quad (6)$$

根据不可见水印的比特位 w ,按如下方式调整系数 C_{ij} :

$$C_{ij} = \begin{cases} Q_{ij} \times L + L/2, & (Q_{ij} \bmod 2) = \bar{w} \\ Q_{ij} \times L + 3L/2, & (Q_{ij} \bmod 2) = w \text{ 且 } |R_{ij}| > L/2 \\ Q_{ij} \times L - L/2, & (Q_{ij} \bmod 2) = w \text{ 且 } |R_{ij}| < L/2 \end{cases} \quad (7)$$

$$C_{ij} = \begin{cases} Q_{ij} \times L - L/2, & (Q_{ij} \bmod 2) = w \\ Q_{ij} \times L - 3L/2, & (Q_{ij} \bmod 2) = \bar{w} \text{ 且 } |R_{ij}| > L/2 \\ Q_{ij} \times L + L/2, & (Q_{ij} \bmod 2) = \bar{w} \text{ 且 } |R_{ij}| < L/2 \end{cases} \quad (8)$$

其中, mod 为取余运算, \bar{w} 表示对 w 取反(如 $w = 1$ 时 $\bar{w} = 0$), C_{ij} 为系数 C_{ij} 经调整后的值。

最后,对嵌入不可见水印的所有子块进行 DCT 逆变换,得到含不可见水印的灰度图像。由以上水印嵌入过程可以看出,可见水印和不可见水印分别被嵌入到原始灰度图像的不

原子块中,可见水印的像素值均为 255 的子块位置和原始灰度图像的高细节子块位置确定了可嵌入不可见水印的子块位置.因此,与嵌入过程相对应,可见水印的去除和不可见水印的提取是相互独立的.

2.4 含水印图像的获得

以上三步得到了含有可见水印和不可见水印的灰度图像,为进一步得到含水印彩色图像,需将含水印灰度图像转换为彩色图像.利用先前得到的原始彩色图像的色彩度信息,即 U 分量和 V 分量,并以含水印灰度图像的灰度值作为 Y 分量,通过式(2)的转换得到含水印彩色图像.在实验中发现,仅简单地应用式(2)得到的彩色图像可能有失真,这是由于 Y 分量的值已经在嵌入水印后改变,故代入式(2)后得到的 RGB 各分量的值可能会超出 0 到 255 的范围.为了尽量减少对彩色图像质量的影响,本文将转换得到的 RGB 各分量中低于 0 的值置为零,而将高于 255 的值置为 255.显然,这种简单的处理必然会影响到像素所在子块的 DCT 系数,但它对不可见水印的影响很小.由于嵌入的不可见水印仅改变 DCT 系数的中高频部分,对图像的灰度值影响较小,故经 DCT 逆变换以及色彩转换后的像素值很少超出范围.相对来说,嵌入可见水印对像素值的影响较大,但可见水印对像素值调整是不太敏感的,且嵌入可见水印的子块中不含有不可见水印,因此可见水印对像素值的影响与不可见水印无关.同时,在满足保真度要求的情况下,调节抖动调制的量化步长,可增强不可见水印抵抗像素值调整的能力.

2.5 不可见水印的提取算法

不可见水印的提取算法如下:通过式(1)将待检测彩色图像转换为灰度图像,通过子块的位置密钥找到嵌入不可见水印的子块,对每个子块进行 DCT 变换,根据中高频部分的 4 个 DCT 系数来提取不可见水印信息,具体方法如下式所述:

$$W = \begin{cases} (\text{Int}[C_{ij}/24]) \bmod 2, & C_{ij} < 0 \\ 1 - (\text{Int}[C_{ij}/24]) \bmod 2, & C_{ij} \geq 0 \end{cases} \quad (9)$$

其中 w 为提取出的位信息, C_{ij} 为待检测图像块的中高频 DCT 系数.通过伪随机排序密钥对所提取的位信息进行重新排序,并与原始的不可见水印作归一化互相关,若其大于检测阈值(本文设为 0.7)即可判定待检测图像中含有不可见水印.

3 实验结果

实验采用 512×512 的 24 位真彩色 Lena 图像, 512×512 的 256 灰度图像和 64×64 的二值图像,如图 2 所示.其中,后两幅图像分别作为可见水印和不可见水印.取抖动调制中的



图 2 原始图像

量化步长 L 为 24.将后两幅图像嵌入到原始彩色 Lena 图像所对应的灰度图像中,得到含水印的灰度图像,并将含水印灰度图像转换为含水印彩色图像,如图 3 所示.



图 3 含水印图像

为了检验不可见水印的鲁棒性,本文利用 Photoshop 软件对含水印图像作了各种常见攻击,其对应的提取结果如图 4 所示.从未受攻击的含水印彩色图像中提取的不可见水印的 $NC = 1.0$,见图 4(a);对含水印彩色图像进行 JPEG 压缩,当 $Q = 91\%$ 时, $NC = 1.0$,见图 4(b);当 $Q = 92.5\%$ 时, $NC = 0.9985$,见图 4(c);将含水印彩色图像的对比度增强 10% , $NC = 0.9990$,见图 4(d);对含水印彩色图像进行高通滤波,取滤波半径为 3 时, $NC = 1.0$,见图 4(e);取滤波半径为 2 时, $NC = 0.9937$,见图 4(f);对含水印彩色图像进行模糊处理,取半径为 2,阈值为 10, $NC = 0.9492$,见图 4(g);将含水印彩色图像的亮度增强 60% , $NC = 0.9961$,见图 4(h);对含水印彩色图像进行中值滤波,取滤波半径为 1 时, $NC = 0.7964$,见图 4(i);将含水印彩色图像的左下角四分之一剪切后, $NC = 0.8076$,见图 4(j).

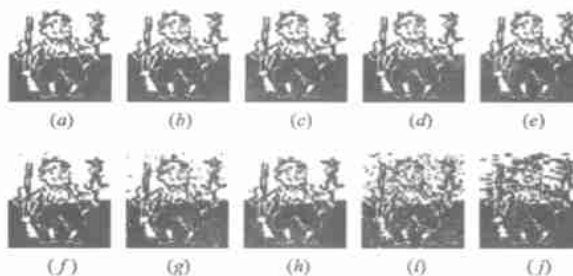


图 4 不可见水印的提取结果

4 结论

本文提出一种多功能彩色图像水印算法,具有以下特点:

- (1) 在彩色图像中嵌入水印,且彩色图像的质量保持较好;
- (2) 嵌入两种水印,可同时实现版权通知和保护的功能;
- (3) 用于版权保护的不可见水印对常规处理具有较强的鲁棒性.将来的工作将集中在可见水印的可缩放嵌入和增强不可见水印抗旋转处理的鲁棒性等方面.

参考文献:

- [1] 孙圣和,陆哲明.数字水印处理技术[J].电子学报,2000,28(8):85-90.

- [2] Hu Y J , Kwong S. Wavelet domain adaptive visible watermarking [J]. Electron Lett , 2001 , 37 (20) : 1219 - 1220 .
- [3] Chen P.M. A visible watermarking mechanism using a statistic approach [A]. Proc of IEEE , WCCC-ICSP [C]. Beijing : IEEE , 2000 . 910 - 913 .
- [4] Mhanty S P , Ramakrishnan K R , Kankanhalli M S. A DCT domain visible watermarking technique for images [A]. Proc of IEEE , ICME [C]. New York : IEEE , 2000 . 1029 - 1032 .
- [5] Kankanhalli M S , Rajmohan Ramakrishnan K R. Adaptive visible watermarking of images [A]. Proc of IEEE , Multimedia Computing and Systems [C]. Florence : IEEE , 1999 . 1 . 568 - 573 .
- [6] Meng J H , Chang S F. Embedding visible video watermarks in the compressed domain [A]. Proceedings of IEEE , ICIP [C]. Chicago : IEEE , 1998 . 474 - 477 .
- [7] 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) : 1423 - 1443 .
- [8] Chen B , Wornell G W. Digital watermarking and information embedding using dither modulation [A]. Proceedings of IEEE , Multimedia Signal Processing [C]. Redondo Beach , California : IEEE , 1998 . 273 - 278 .
- [9] Lu Z M , Sun S H. Digital image watermarking technique based on vector quantisation [J]. Electron Lett , 2000 , 36 (4) : 303 - 305 .
- [10] 孙圣和 , 陆哲明. 矢量量化技术及应用 [M]. 北京 : 科学出版社 , 2002 . 409 - 439 .

作者简介 :



陆哲明 男, 1974 年 6 月生于浙江省东阳市, 1997 年和 2001 年分别获得哈尔滨工业大学硕士和博士学位, 现为哈尔滨工业大学自动化测试与控制系教授, 博士生导师, IEEE 和 SPIE 会员, 获部级一等奖一项, 二等奖一项, 2003 年获全国优秀博士学位论文奖, 出版著作 3 部、论文 80 余篇, SCI 收录 24 篇, 目前主要致力于图像处理

和信息安全研究.



吴昊天 男, 1981 年 5 月生于江苏省沭阳县, 2002 年毕业于哈尔滨工业大学, 获学士学位, 现为哈尔滨工业大学自动化测试与控制系硕士研究生, 感兴趣的研究方向为数字图像处理和数字水印技术.

刘忠仁 男, 1973 年生于河南省, 哈尔滨工业大学自动化测试与控制系博士研究生, 1996 年北京工业大学获得学士学位, 1999 年装甲兵工程学院获硕士学位, 研究方向: 模糊神经网络, 非线性图象滤波, 计算机测控.

孙圣和 男, 1937 年生于朝鲜咸北道, 现任哈尔滨工业大学自动化测试与控制系教授, 博士生导师, 电子学会会士, 目前的研究领域包括电子测试, VXI 总线设备, PXI 总线, 信号处理和信息安全.