

兼顾视觉质量和载体图像无损重建的可见水印

李茜 王朔中 金秋明 张新鹏

(上海大学通信与信息工程学院, 上海 200072)

摘要 针对几种现有的水印方法含水印图像视觉效果不佳的问题,提出了以下两种方案:一种是将水印与图像最高位面做异或运算来实现水印嵌入,此方案当水印位置和大小不受限制时,效果与以往的几种方法相近,但实现更加简单;另一种方法是在水印覆盖区进行像素比特移位,使水印覆盖处的高位像素下移,将水印置于最高位,以获得半透明的水印效果。对于任意的水印嵌入位置和水印大小,应用该方法得到的含水印图像不会出现亮度的跳变,且视觉效果自然。两种方法均可在不知道水印信息的情况下实现原始图像的无损恢复。

关键词 可见水印 无损重建 异或 像素比特移位

中图分类号:TP309 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)10-1947-04

Lossless Visible Watermark with Smooth Visual Appearance

LI Qian, WANG Shuo-zhong, JIN Qiu-ming, ZHANG Xin-peng

(School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072)

Abstract To avoid poor appearance of lossless visible watermarks due to gray level flipping existence in some previous work, we propose two embedding methods capable of completely reconstructing the host image with satisfactory visual quality. The first calculates exclusive-OR between the image's MSB plane and the binary watermark. The other method uses a bit-shift strategy to push down high bits of the mark-covered pixels, and replaces the MSB with the mark data, making the watermark semi-transparent and other image areas completely transparent. The watermark can be embedded into any position of the carrier image with any size. Both methods can losslessly reconstruct the host image without knowing the watermark information.

Keywords visible watermark, lossless reconstruction, exclusive-OR, bit-shift of pixel

1 引言

数字水印是将版权信息隐藏在数字多媒体载体,如图像、音频、视频中,以达到保护知识产权的目的的技术,其中以图像为载体的水印应用最广。数字水印可分为可见水印和隐形水印两类。其中可见水印常用于公开标示版权归属,以防止非法使用,还可在免费提供的图像样本或其他需要明确防止非法使用的场合得到应用。

无论对于某些特定领域,如医学和军事,还是对于普通的商业应用,在接收端根据含水印图像来直

接无损恢复原始图像都具有重要的实际意义。对于隐形水印,已经提出了许多不需要原始图像和水印信息的无损水印嵌入方法^[1-3]。与隐形水印相比,可见水印所引入的失真要大得多,因此可无损恢复原始图像的可见水印技术近年来也引起了研究者的重视。Fridrich等人提出直接将关键位面上的1bit像素替换为认证信息,来嵌入数据^[4];之后他们又提出了一种RS算法^[5],即先将图像分成规则组 R ,不规则组 S 和无用像素 U 3部分,然后通过不断将 R 转换为 S 或通过反向转换来嵌入二值序列。Tian通过修改像素对的灰度值来实现信息嵌入^[6]。近期Yip等人结合像素映射和像素移动来实现可见水

印的嵌入^[7],这些改进的方法虽能避免 0~255 的灰度跳变,但在平坦区,水印覆盖处的灰度变化由于受到像素值奇偶性影响,形成类似噪声的分布,因而降低了水印的可见性。Hu 等人提出在伪随机序列的控制下,将水印交叉嵌入到图像中的两个相邻位面的方法^[8],但在明显的起伏区仍会出现亮度跳变。

本文提出两种可无损恢复载体图像的可见水印方案,即通过数据压缩将水印信息保存在含水印图像的低位面中,接收方无需任何有关水印的信息就能无损恢复原始图像。其中第 1 种方法是先将水印与图像的位面做异或运算,然后通过选择适当的嵌入位置和水印大小就能得到良好的视觉效果。如果对嵌入位置不加限制,则水印的某些部分会因载体图像最高位 (most significant bit, MSB) 值的不同而发生翻转,从而导致亮度跳变,其视觉效果与文献^[7]、^[8]的结果相似,但实现方法却简单得多;第 2 种方法是通过有选择地向下移动像素的各比特来尽可能保持反映图像重要视觉特性的高位信息,从而保证了水印覆盖区的良好视觉效果,使嵌入水印后图像的视觉质量优于以上所述各种方法。

2 用异或运算嵌入可见水印

本文以灰度图像为载体,通过对位面的运算来嵌入可见水印。一种简单的方法是将二值水印图标与图像的最高位面作异或运算来实现水印的嵌入。为了在接收端实现原始图像的无损盲恢复,可将图像最低的 4 个位面的数据进行无损压缩,以腾出空间用于保存水印图像,并采用 Huffman 差分编码来提高编码效率。

此方法水印的嵌入简单易行。设原始灰度图像为 I , 图像的 8 个位面从高到低分别为 $B_8 \sim B_1$, B_k 中的元素 $b_k(i, j) \in [0, 1]$, 其中 i, j 为图像中像素的坐标。载体图像可表示为

$$I = \sum_{k=1}^8 2^{k-1} B_k \quad (1)$$

在实际应用时,可先由用户选择水印嵌入的区域,然后用最近邻内插法将二值水印缩小或放大到指定尺寸。由于这种水印通常仅覆盖载体图像的局部,因此嵌入时需要补 0 加以扩展,使它与载体的尺寸相同,并形成水印模板 W , 含水印的图像 I_w 即为

$$I_w = 2^7 E_8 \oplus \sum_{k=1}^7 2^{k-1} B_k + \sum_{k=1}^4 2^{k-1} E_k \quad (2)$$

其中

$$E_8 = B_8 \oplus W \quad (3)$$

是含水印的最高位面, \oplus 表示数组元素之间的异或运算。新的最低的 4 个位面 E_k 中包含了 Huffman 码表、二值水印 W 和压缩后的原最低的 4 个位面的数据。在去除水印恢复原始图像时,先由 E_k 重新获得最低的位面 $B_k (k = 1, 2, 3, 4)$ 和 W , 然后通过下列逆运算来重建载体图像 $I_R = I$:

$$I_R = 2^7 (E_8 \oplus W) + 2^{k-1} \sum_{k=1}^7 B_k = 2^{k-1} \sum_{k=1}^8 B_k \quad (4)$$

此种水印的嵌入和无损恢复均通过异或运算实现,计算十分简单,实用性强。但当水印覆盖区图像的 MSB 存在 0~1 翻转时,则会产生类似文献^[7]、^[8]的亮度跳变,因此实际使用时,可在图像中选择适当位置,将水印嵌入到 MSB 的全 0 或全 1 的区域,以避免这种情况。

图 1 为用本方法嵌入水印的效果,其中图 1(a) 为载体图像的 MSB 平面,图 1(b) 和图 1(c) 中的水印分别位于 MSB 的均匀区和非均匀区,由该两图可见,前者视觉效果良好,后者出现了水印灰度的跳变。根据式(4)将水印去除后,即可重建无失真的原始图像。



图 1 载体图像的 MSB 与二值水印图像异或的效果

Fig. 1 Visible watermark obtained by exclusive-OR between MSB of the host and the binary watermark image

作为对比,图 2 给出了用文献^[7]和文献^[8]的方法得到的水印嵌入结果。图 2(a)~图 2(c)取自文献^[7],图 2(a)相当于将水印覆盖区的像素值取反,该图上不仅水印亮度不匀,而且图像灰度接近 128 处,水印可见性差。图 2(b)运用模运算得到,并由一个常数 C 控制水印强度。若 C 大,则水印可见性好,但溢出较多;若 C 小,则溢出少,但水印可见性较差。该图取 $C = 30$,水印较淡,但在帽子边缘处仍出现少许溢出。图 2(c)是运用改进的选择映射来嵌入水印,虽可克服亮度跳变,但水印区亮度的增减受到像

素值奇偶性影响,致使水印不均匀,且可见性差。图 2(d)和图 2(e)取自文献[8],其是将水印交错嵌入到图像相邻的两个位面,图 2(d)为将水印交叉嵌入到

最高层和次高层,图 2(e)为嵌入到次高层和第 3 层的结果。这里水印仍存在亮度跳变,有明显的视觉不连续感。这几种情况的视觉效果都比图 1(b)差。



图 2 文献[7]、[8]的可见水印效果

Fig. 2 Visible watermarks using the methods described in [7] and [8]

3 兼顾视觉质量和载体图像无损恢复的可见水印

上一节中的方法要求将水印置于 MSB 平面的均匀区域才能得到满意的视觉效果,因而水印的位置和大小受到限制。为此本文提出“移位”的水印嵌入方案,即先将位于水印覆盖处的像素位下移,然后用水印数据直接代替 MSB。这样水印就可灵活地嵌入图像的任何区域,从而解决了含水印图像灰度跳变的问题。

可见水印的嵌入过程由数据压缩、部分像素位下移、保存提取水印和恢复载体图像所需的信息 3 部分组成。其中数据压缩与第 2 节方法一样,也是用 Huffman 差分编码对载体图像低的 4 个位面进行无损压缩。

将水印图像嵌入到图像的最高位平面。二值水印模板 W 由以下两部分组成:(1)水印覆盖区 $w(i, j) = 1$; (2)二值水印中的透明区和扩展区, $w(i, j) = 0$ 。然后即可按下式进行水印嵌入,以获得含水印图像

在水印覆盖区则分布在最低的 3 个位面。

式(5)的运算将水印覆盖区最高的 4 个位面向下移动一位,使 MSB 等于 1 或 0,并在最低的 3 个位面存放嵌入数据。透明区最高的 4 个位面不变,在最低的 4 个位面存放嵌入数据。由于水印的嵌入不改变无水印覆盖部分,是完全透明的,而水印部分则统一变亮或变暗,因此可得到半透明的效果。表 1 中列出了含水印图像中的水印覆盖区和透明区各位面的数据分布情况。

表 1 含水印图像水印覆盖区和透明区各位面数据分布

Tab. 1 Distribution of data bits in a watermarked image

位面	灰度值权重	水印覆盖区	透明区
8	2^7	A	B_8
7	2^6	B_8	B_7
6	2^5	B_7	B_6
5	2^4	B_6	B_5
4	2^3	B_5	E_4
3	2^2	E_3	E_3
2	2^1	E_2	E_2
1	2^0	E_1	E_1

在嵌入端应首先嵌满图像中最低的 3 个位面,再根据水印分布情况有选择地在第 4 位面嵌入。这是为了保证接收端可解码获得水印图像,生成水印模板后,再判断含水印图像中哪里应提取第 4 位面的信息。

水印提取和载体图像的无损恢复是水印嵌入的逆过程,即首先提取低 3 个位面的数据来重建水印模板 W ,再根据水印有选择地提取第 4 位面的信息。解压后,即可恢复载体图像的低位平面 B_k , ($k = 1, 2, 3, 4$)。最后根据水印模板,将下移的高

$$I_w = W \cdot [2^7 A + 2^{k-1} \sum_{k=4}^7 B_k + 2^{k-1} \sum_{k=1}^3 E_k] + \hat{W} \cdot [2^{k-1} \sum_{k=5}^8 B_k + 2^{k-1} \sum_{k=1}^4 E_k] \quad (5)$$

式(5)右面的第 1 项对应于水印覆盖区,第 2 项为透明区。其中 \cdot 表示两个 2 维数组的对应元素相乘, \hat{W} 表示将模板 W 取反。 A 为全 1 或全 0 的 2 维数组。其元素值全为 1 时,水印覆盖区的灰度值均大于 127,为浅色水印;元素值全 0 时水印覆盖区的灰度值均小于 128,为深色水印。 E_k 为保存在低位面的数据,其在透明区分布在最低的 4 个位面;而

位数据复原,同时加入 4 个低的位面信息,以恢复原始图像

$$\begin{aligned} I_R = & W \cdot \left[2^k \sum_{k=4}^7 B'_k + 2^{k-1} \sum_{k=1}^4 B_k \right] + \\ & \hat{W} \cdot \left[2^{k-1} \sum_{k=5}^8 B'_k + 2^{k-1} \sum_{k=1}^4 B_k \right] = I \quad (6) \end{aligned}$$

其中, B_k 表示含水印图像 I_w 中的位平面。为了增强水印的安全性,在嵌入过程中可引入密钥,通过生成伪随机序列来控制数据嵌入的位置。这样第 3 方即使知晓算法,如果没有密钥,也无法正确提取信息序列,也就无法重建原始图像。

图 3 给出了本节方法嵌入水印的结果,图 3(a) 是深色水印,图 3(b) 是浅色水印,图 3(c) 是局部放大显示。由图 3 可见,无论将水印嵌入到图像的平坦区,还是纹理区,深色和浅色水印均呈现良好的视觉效果。图像被水印覆盖的区域呈半透明,而水印部分则整体变暗或变亮,但仍可粗略辨认图像内容,与以往的方法相比,可保持较高的水印可见度。



图 3 水印覆盖区像素比特下移的嵌入效果

Fig. 3 Visible watermarks based on bit adjustment of the mark-covered pixels

一幅图像中同时嵌入深色水印和浅色水印时,原始图像仍可被无损重建。图 4 显示的是带阴影的可见水印,并在水印的深色和浅色部分都有良好的可见性。其水印的嵌入效果明显优于以上提到的各种方法。



(a) 立体的深色水印 (b) 立体的浅色水印 (c) 水印区放大图

图 4 带阴影的立体可见水印

Fig. 4 Shadowed visible watermarks

4 结 论

针对现有的几种可无损恢复载体图像的可见水印视觉效果不佳的问题,本文提出了两种无损重建水印的新方法,其中第 1 种方法较为简单,只要选择 MSB 平面的均匀区域,将二值水印与 MSB 做异或运算就能获得较好的视觉效果,但是水印嵌入的位置和大小会受到限制。而利用像素比特移位的方法则完全突破了这一限制,可将任意大小的可见水印嵌入到载体图像的任意位置,且嵌入的水印既不出现亮度跳变,而且可见度也较高,被水印覆盖的区域呈半透明状,图像的内容仍可辨认,无论是深色水印还是浅色水印均能获得满意的视觉效果。

进一步的研究可考虑对无损数据压缩方法进行改进,以达到减少位面改动的目的,如果能保持 B_4 不变,则可大大改善含水印图像的质量。

参考文献 (References)

- Alattar A M. Reversible watermark using the difference expansion of a generalized integer transform [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(8): 1147 ~ 1156.
- Tian J. High capacity reversible data embedding and content authentication [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing [C], Hong Kong, 2003, 3: 517 ~ 520.
- Zhang Xin peng, Wang Shuo zhong. Lossless information hiding based on pixel-value exchange [J]. Journal of Optoelectronics · laser, 2005, 16(8): 956 ~ 960. [张新鹏,王朔中.基于像素交换的无损信息隐藏[J].光电子·激光,2005,16(8): 956 ~ 960.]
- Fridrich J, Goljan M, Du R. Invertible authentication [A]. In: Proceedings of SPIE Security and Watermarking of Multimedia Contents III [C], San Jose, CA, USA, 2003, 4314: 197 ~ 208.
- Fridrich J, Goljan M, Du R. Distortion-free data embedding for images [A]. In: Proceedings 4th Information Hiding Workshop [C], Pittsburgh, PA, USA, 2001: 27 ~ 41.
- Tian J. Wavelet-based reversible watermarking for authentication [A]. In: Proceeding of SPIE Security and Watermarking of Multimedia Contents III [C], San Jose, CA, USA, 2003, 4675: 679 ~ 690.
- Yip S K, Au O C, Ho C W, et al. Lossless visible watermarking [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia and Expo [C], Toronto, ON, Canada, 2006: 853 ~ 856.
- Hu Y, Jeon B. Reversible visible watermarking and lossless recovery of original images [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2006, 16(11): 1423 ~ 1429.