

基于奇偶校验的块误差分散半调水印算法

谢琨¹, 郑海红¹, 曾平^{1,2}, 郭涛¹

(1. 西安电子科技大学 计算机学院, 陕西 西安 710071; 2. 西安石油大学 计算机学院, 陕西 西安 710065)

摘 要: 提出了一种顽健的半调水印算法。算法通过比较像素块的均值和一个图像自相关阈值的大小确定像素块的奇偶性,利用噪声平衡块误差分散方法调整像素块的奇偶性实现水印嵌入。通过像素块的奇偶性和投票策略来实现水印的盲提取。实验结果表明,与同类算法相比,提出算法能够获得较高且灵活的水印率,并能从被攻击的嵌水印图像直接提取水印,无需将其先转化成半调图,同时能够很好地抵抗各种常见攻击以及不同型号设备的打印—扫描攻击。

关键词: 半调图像; 水印; 奇偶校验; 块误差分散

中图分类号: TN 911.7

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2014)12-0153-09

Halftone image watermarking with block-directed parity-matched error diffusion

XIE Kun¹, ZHENG Hai-hong¹, ZENG Ping^{1,2}, GUO Tao¹

(1. School of Computer and Science, Xidian University, Xi'an 710071, China;

2. College of Computer Science, Xi'an Shiyu University, Xi'an 710065, China)

Abstract: A robust halftone image watermarking method was proposed. The method was developed in parity domain based on pixel block. Especially, the parity sum of a pixel block was defined by comparing the average of the pixel block with an image-dependent threshold. By altering the pixel block's parity based on noise-balanced block error diffusion, watermark was spread into the host image. Watermark was retrieved by employing each pixel block's parity and majority voting strategy, not referring to the original image. Compared with the state-of-the-art method in parity domain, the results indicate that the proposed method has high watermark rate and watermark rate flexibility. Moreover, it is capable of extracting watermark directly from the attacked watermarked image without quantizing it into a halftone image. And it can achieve high robustness against common attacks and print-and-scan attack of different types of printers and scanners.

Key words: halftone image; watermarking; parity-match; block error diffusion

1 引言

数字图像半调是将灰度图像量化为一个二值图像用于在二值设备上显示和输出的技术,它被广泛用于书籍、报纸、杂志及其他打印输出中。目前,最常用的半调算法可以被归为有序抖动^[1]、误差分散^[2]、点分散^[3]、最小二乘^[4]4类,其中误差分散半调算法因其良好的视觉质量和适中的运算复杂度尤其引人注目。

数字水印技术将水印(如所有者信息、公司标

志等)嵌入宿主图像来达到版权保护或内容认证的目的^[5-7]。由于半调图像的特殊性,大多数现有水印算法并不适用于它。于是,近年来,人们开始研究半调水印技术,用于将水印嵌入电子票据、货币、护照、ID卡以及其他可能打印输出的文档,防止它们被非法复制和伪造^[8-10]。根据解码方式的不同,将半调水印技术分为2大类:一类半调水印解码时需要先扫描嵌水印图像,然后再用水印提取算法从扫描图像中提取水印,从而达到版权保护或内容认证的目的;另一类半调水印则是将水印嵌入2个或

收稿日期: 2014-06-09; 修回日期: 2014-10-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61100156); 国家“十二五”预研基金资助项目(513160702)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (61100156); The National 12th Five-Year Plan of China (513160702)

更多的半调图像中, 当它们中的 2 幅图像重叠, 通过人眼可直接识别隐藏的水印信息^[11], 此类水印属于视觉加密技术的一种。本文主要研究第一类半调水印。

第一类半调水印面临的挑战是如何产生一个顽健的方案, 能够容忍失真, 尤其是由于打印—扫描引起的失真, 同时还能保持高的水印嵌入容量和良好的图像质量。PMEDF^[10]是此类算法中的佼佼者, 它在对图像进行半调的过程中, 利用图像局部区域的奇偶性实现水印嵌入, 能够获得较好的图像质量和顽健性。然而, 它在解码前必须先将扫描的嵌水印图像转换成一幅二值图像。在转化二值图时, 量化阈值被人为地从 128 调低到 100 以克服激光打印机的点增益带来的影响。事实上, 在解码前选择一个合适的阈值是非常困难的, 不适当的阈值往往会直接导致水印提取的失败。此外, 由于 PMEDF 对打印和扫描之后的预处理很敏感, 多数时候水印不能被一次提取成功, 因此, 算法的顽健性仍有待提高。

为此, 提出了一种基于块误差分散的水印算法, 它利用了像素块的性质, 像素块的奇偶性由图像内容决定, 同时噪声平衡块误差分散策略被用来指导水印的嵌入。块误差分散^[12]方法能够聚集半调点以抵抗由打印机的非理想性(如点增益)带来的失真。而且, 一幅图像的局部区域性质往往比一个像素点要稳定得多, 因此顽健性得以改善。

2 基于奇偶域的顽健半调水印技术

WED^[13]算法率先提出了将水印嵌入图像的奇偶域, 它定义了一个像素在一定邻域内的局部奇偶性, 并通过对半调过程中添加噪声使图像的全局奇偶性与嵌入的水印位一致, 从而实现在原始灰度图中嵌入一位水印。显然, 算法有极低的水印嵌入容量。

MWED^[14]算法扩展了 WED, 它在半调图像的每一行嵌入一位水印信息, 在实现上百位水印信息嵌入的同时保留了和 WED 一样的视觉质量和顽健性。尽管如此, 水印容量还是不能令人满意。

PMEDF 将宿主图像分割成互不重叠的块, 通过调整块里每个像素的奇偶性, 使其与嵌入的水印位一致来实现水印信息的嵌入。与 MWED 算法相比, PMEDF 不仅提高了水印嵌入容量, 而且通过在误差分散反馈网络中给量化误差也叠加了一个噪声, 平衡了先前为调整像素奇偶性引入的噪声, 因而嵌入

水印后的半调图像仍具有很好的图像质量。

分析发现, 利用像素的统计特性在图像的奇偶域上嵌水印是一个不错的思路。它在对抗剪切、篡改以及由于打印—扫描引入的失真上往往比把水印直接嵌在像素上更为顽健。

3 基于奇偶校验的块误差分散水印算法

为了克服解码时选择合适阈值的困难, 提高水印算法抵抗不同攻击的顽健性, 提出了一种新的利用像素块性质及块误差分散的半调水印算法。

3.1 块误差分散

块误差分散是对传统误差分散的扩展, 块误差分散允许用户在误差分散反馈网络上使用块量化器和块滤波器来控制点的大小和形状。这里, 对它进行了概述。

假设块误差分散的输入是一个大小为 $M \times N$ 的像素块, 输入的像素块可以被看成是一个向量 $\mathbf{x}(\mathbf{m})$, $\mathbf{m} = (m_1, m_2)$ 代表像素位置, 变量 $\mathbf{b}(\mathbf{m})$ 表示相应的二值输出, $\mathbf{u}(\mathbf{m})$ 表示修改的灰度输出, $\mathbf{e}(\mathbf{m})$ 是修改的灰度输出 $\mathbf{u}(\mathbf{m})$ 和二值输出 $\mathbf{b}(\mathbf{m})$ 的差值。误差分散反馈网络上的滤波器 $\tilde{\mathbf{h}}(\cdot)$ 是一个系数矩阵, 它由著名的标量误差滤波器原型得出, S 是滤波器的支持区域。本文选择了 Floyd 误差分散核, $\mathbf{b}(\mathbf{m})$ 、 $\mathbf{u}(\mathbf{m})$ 和 $\mathbf{e}(\mathbf{m})$ 之间的联系用下面的公式定义

$$\mathbf{u}(\mathbf{m}) = \mathbf{x}(\mathbf{m}) + \mathbf{x}'(\mathbf{m})$$

$$\mathbf{x}'(\mathbf{m}) = \sum_{\mathbf{k} \in S} \tilde{\mathbf{h}}(\mathbf{k}) \mathbf{e}(\mathbf{m} - \mathbf{k}) \quad (1)$$

$$\mathbf{e}(\mathbf{m}) = \mathbf{u}(\mathbf{m}) - \mathbf{b}(\mathbf{m})$$

$$\mathbf{b}(\mathbf{m}) = \mathbf{Q}(\mathbf{u}(\mathbf{m})) \quad (2)$$

其中, \mathbf{m} 和 \mathbf{k} 是二维索引向量。一个像素块内的每个像素的量化输出值均在集合 $O = \{0, 255\}$ 中选取, 这里 0 代表黑色, 255 代表白色。每个像素块通过一个标量量化器进行量化, 如式(3)所示。其中 u_i 表示在一个 $M \times N$ 大小像素块中第 i 个像素值, i 取值从 1 到 MN 。

$$\mathbf{Q}(\mathbf{u}) = \begin{pmatrix} Q(u_1) \\ Q(u_2) \\ \vdots \\ Q(u_{MN}) \end{pmatrix}, \quad Q(u_i) = \begin{cases} 255, & u_i \geq 128 \\ 0, & u_i < 128 \end{cases} \quad (3)$$

3.2 像素块的奇偶性

文献[15]揭示了图像像素块的均值比单个像素

值更为稳定, 因此用下面的方法定义了像素块的奇偶性。给定一个像素块 $\mathbf{b}(\mathbf{m})$, 该像素块的均值是一个标量, 表示为 $A^b(\mathbf{m})$ 。将 $\mathbf{b}(\mathbf{m})$ 的邻域定义为一个从像素块右下角开始的包含若干个其他像素块的矩形。假如这个区域的起点被设置在 \mathbf{m} 位置, 则定义 2 个邻域 G 和 H , G 和 H 的唯一区别在于 $\mathbf{m} \notin G$ 但 $\mathbf{m} \in H$ 。由于误差分散是一个因果过程, 所以对于当前像素块而言, 其邻域 G 中的像素块都已经用半调方法处理过了, G 中所有像素块的均值被标识为 $\bar{A}^b(\mathbf{m})$ 。邻域选取的大小会影响实验结果, 通过实验得出邻域 H 的最优大小为 5×5 。

一个像素块的局部预奇偶性标记为 P^{pre} , 像素块的奇偶性标记为 P 。 P^{pre} 和 P 的定义如下

$$P^{\text{pre}}(\mathbf{m}) = \left[\sum_{\mathbf{k} \in G} q(A^b(\mathbf{k}) - \bar{A}^b(\mathbf{m})) \right] \bmod 2$$

$$P(\mathbf{m}) = \left[\sum_{\mathbf{k} \in H} q(A^b(\mathbf{k}) - \bar{A}^b(\mathbf{m})) \right] \bmod 2 \quad (4)$$

$$\text{其中, } q(x) = \begin{cases} 1, x > 0 \\ 0, x \leq 0 \end{cases}.$$

3.3 水印嵌入和提取

假设原始灰度图像的大小为 $P_1 \times P_2$, 利用伪随机密钥置乱后的水印图像为 w 。变量 w_w 表示水印图像中所有白色像素的位置集合, w_b 表示所有黑色像素的位置集合。如果将灰度宿主图像分割成 $D_1 \times D_2$ 大小的互不重叠的块 (称作水印嵌入窗口, 满足 $D_1 \bmod M = 0$ 且 $D_2 \bmod N = 0$), 那么水印 w 的大小应为 $\frac{P_1}{D_1} \times \frac{P_2}{D_2}$ 。

初始化像素块的二值输出 $\mathbf{b}(\mathbf{m})$ 为 0, 计算输入像素块 $\mathbf{x}(\mathbf{m})$ 的均值标记为 $A^x(\mathbf{m})$, 变量 $\mathbf{x}'(\mathbf{m})$ 是反馈的误差。计算邻域 G 内所有像素块的均值, 标记为 $\bar{A}^b(\mathbf{m})$ 。当式(5)和式(6)被满足时, 用式(7)和式(8)分别替代式(1)和式(2)。

$$A^x(\mathbf{m}) + \mathbf{x}'(\mathbf{m}) > \bar{A}^b(\mathbf{m}) \quad (5)$$

$$\left\{ \left[\left(\left[\frac{m_1}{D_1} \right], \left[\frac{m_2}{D_2} \right] \right) \in w_b \right] \text{AND} [P^{\text{pre}}(\mathbf{m}) = 0] \right\}$$

$$\text{OR} \left\{ \left[\left(\left[\frac{m_1}{D_1} \right], \left[\frac{m_2}{D_2} \right] \right) \in w_w \right] \text{AND} [P^{\text{pre}}(\mathbf{m}) = 1] \right\} \quad (6)$$

$$\mathbf{u}(\mathbf{m}) = \mathbf{x}(\mathbf{m}) + \mathbf{x}'(\mathbf{m}) - N_A \quad (7)$$

$$\mathbf{e}(\mathbf{m}) = \mathbf{u}(\mathbf{m}) - \mathbf{b}(\mathbf{m}) + N_A \quad (8)$$

这里 AND 和 OR 是逻辑运算符, N_A 是添加的噪声, 被用来改变当前像素块的输出, 使像素块的奇偶性与嵌入的水印位一致。

同理, 当式(9)和式(10)被满足时, 用式(11)和式(12)分别替代式(1)和式(2)。

$$A^x(\mathbf{m}) + \mathbf{x}'(\mathbf{m}) \leq \bar{A}^b(\mathbf{m}) \quad (9)$$

$$\left\{ \left[\left(\left[\frac{m_1}{D_1} \right], \left[\frac{m_2}{D_2} \right] \right) \in w_b \right] \text{AND} [P^{\text{pre}}(\mathbf{m}) = 1] \right\}$$

$$\text{OR} \left\{ \left[\left(\left[\frac{m_1}{D_1} \right], \left[\frac{m_2}{D_2} \right] \right) \in w_w \right] \text{AND} [P^{\text{pre}}(\mathbf{m}) = 0] \right\} \quad (10)$$

$$\mathbf{u}(\mathbf{m}) = \mathbf{x}(\mathbf{m}) + \mathbf{x}'(\mathbf{m}) + N_A \quad (11)$$

$$\mathbf{e}(\mathbf{m}) = \mathbf{u}(\mathbf{m}) - \mathbf{b}(\mathbf{m}) - N_A \quad (12)$$

其他的情况下, 当前像素块用普通的块误差分散法进行半调处理。这样, 基于噪声平衡块误差分散和像素块的奇偶性, 水印被嵌入宿主图像。

水印提取过程不需要原始水印和宿主图像参与, 整个提取过程可分为 3 个步骤。

1) 根据式(4)计算嵌水印图像所有像素块的奇偶性 $P(\mathbf{m})$ 。

2) 计算一个水印嵌入窗口内所有像素块的奇偶性之和, 然后利用多数投票策略提取嵌入的一位水印。具体过程如式(13)所示。

$$w'_{i,j} = \begin{cases} 1, \left[\left(\sum_{\left[\frac{m_1}{D_1} \right] = i, \left[\frac{m_2}{D_2} \right] = j} P \left(\left[\frac{m_1}{M} \right], \left[\frac{m_2}{N} \right] \right) \right] / \left(\frac{D_1 D_2}{MN} \right) \geq 0.5 \\ 0, \text{其他} \end{cases} \quad (13)$$

3) 用伪随机密钥对 w' 进行逆置乱, 获得水印。

3.4 参数设置

在提出的算法中, 可根据需要对 4 个参数进行设置。

- 1) 像素块的大小 $M \times N$;
- 2) 邻域 G 和 H 的范围 (以像素块为单位);
- 3) 水印嵌入窗口大小 $D_1 \times D_2$;
- 4) 添加的噪声 N_A 。

如图 1 所示, 白色小方块代表当前要处理的像素块, 阴影块表示当前块的邻域 G 。虚线标出的矩形表示水印嵌入窗口。

假如将像素块的大小设置成 1×1 且邻域 G 的

图像相关阈值 $\bar{A}^b(m)$ 被直接用常量 128 代替, 那么由本文算法可直接推导出 PMEDF 算法。

本文算法在将像素块设置为 1×1 大小时能够获得和 PMEDF 一样的水印嵌入容量且水印嵌入容量灵活可变。但是在其他方面本文算法优于 PMEDF。首先, 本文算法不需要在提取水印时先将扫描的嵌水印图像转化成二值图像; 另外, 当像素块大小超过 1×1 时, 嵌入同样的水印, 本文算法比 PMEDF 算法的顽健性更强。

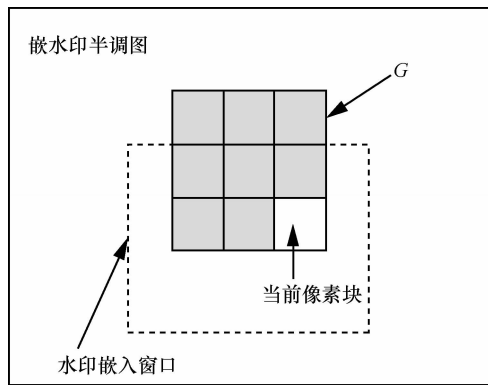


图 1 当前像素块、邻域 G 以及水印嵌入窗口的联系

4 实验结果与分析

为了定量地评估提出的水印算法的性能, 正确解码率(CDR, correct decoding rate)^[16]被用来检测原始水印和解码水印之间的相似度。CDR 定义如下

$$CDR = \frac{\sum_{\substack{1 \leq i \leq Q_1 \\ 1 \leq j \leq Q_2}} w_{i,j} \Theta w'_{i,j}}{Q_1 \times Q_2} \times 100\% \quad (14)$$

其中, $w_{i,j}$ 和 $w'_{i,j}$ 分别表示原始水印和解码水印, Θ 代表同或操作 (XNOR, not exclusive OR operation), $Q_1 \times Q_2$ 为水印的大小。显然, CDR 越高则解码的正确性越高。

用基于人眼视觉系统的峰值信噪比 (HPSNR, HVS-based peak signal-to-noise ratio)^[17]来评价图像质量, HPSNR 如式(15)所定义。

$$HPSNR = 10 \lg \left(\frac{P_1 \times P_2 \times 255^2}{\sum_{i=1}^{P_1} \sum_{j=1}^{P_2} \left[\sum_{m,n \in R} F_{m,n} (x_{i+m,j+n} - b_{i+m,j+n}) \right]^2} \right) \quad (15)$$

其中, $P_1 \times P_2$ 指图像的大小, $x_{i,j}$ 和 $b_{i,j}$ 分别表示原始灰度图像和相应的半调图像的灰度值。变量 $F_{m,n}$

代表一个大小为 7×7 , 方差 $\sigma = 1.3$ 的二维高斯滤波器。

水印率反映了水印嵌入容量, 定义如下

$$\text{水印率} = \frac{\text{水印信息的总位数}}{\text{宿主图像的总像素数}} \quad (16)$$

本文实验采用 4 幅大小为 512×512 的灰度图像 (Baboon、Lena、Peppers、Airplane) 作为测试图, 选取大小为 64×64 的二值图像作为水印信息。图 2 比较了在 8 种不同噪声强度 (5,10,15,20,25,30,35,40) 下, PMEDF 算法与本文算法的图像质量和 CDR。实验数据为 4 幅测试图测试结果的平均值, 实验采用的参数如表 1 所示。从实验结果可以看出, 随着添加噪声 N_A 的增强, 图像质量下降, 但是 CDR 明显提高。在同样的噪声强度下, 本文算法的 HPSNR 高于 PMEDF 算法, 而 CDR 比 PMEDF 算法略低。然而, 当 $N_A \geq 30$ 时, 2 种算法的 CDR 非常接近, 但此时本文算法的 HPSNR 明显优于 PMEDF。基于图像质量和正确解码率的折中, 在后面的实验中统一将 N_A 设置为 30。

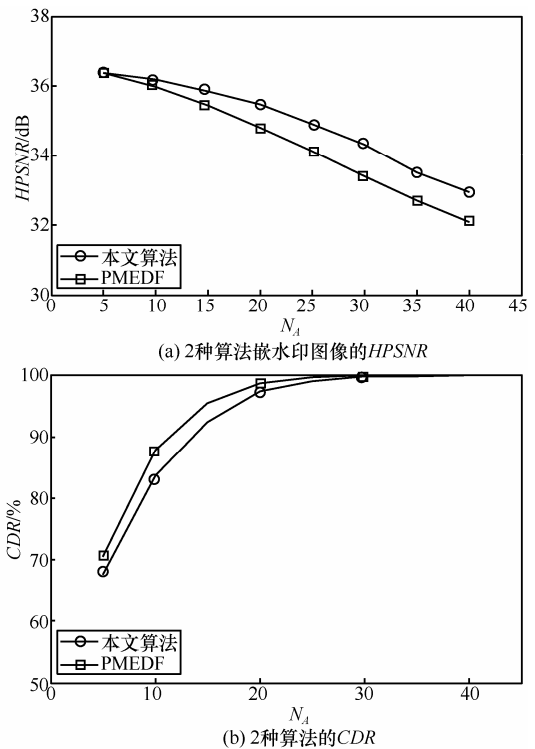


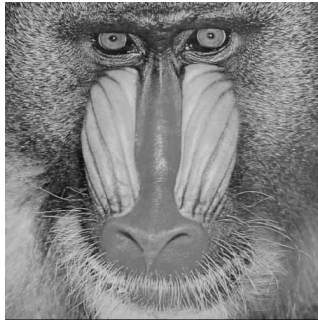
图 2 像素块大小为 1×1 时, 在 8 种不同的 N_A 下本文算法与 PMEDF 的比较

将像素块大小调整为 2×2 进行实验。图 3(a)显示了原始灰度 Baboon 图, 图 3(b)为相应的 Floyd 块

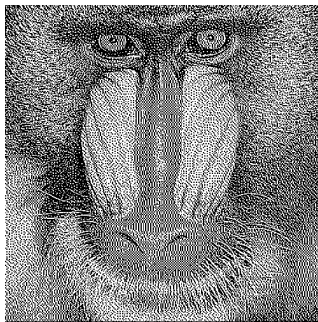
误差分散半调图, $HPSNR=23.86$ dB, 图 3(c)为使用本文算法得到的嵌水印图像, $HPSNR=22.57$ dB。可以看出, 即使添加了强度为 30 dB 的噪声, 2 幅半调图 $HPSNR$ 的差值仍小于 1.5 dB。

表 1 图 2 所示实验中使用的参数

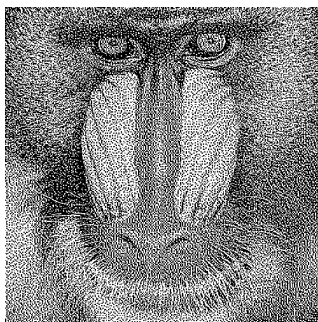
参数	$M \times N$	G	$D_1 \times D_2$	PDR
PMEDF	—	—	8×8	11×11
BPMED	1×1	5×5 Rectangle	8×8	—



(a) 原始灰度 Baboon 图



(b) 相应的 Floyd 块误差分散半调图, $HPSNR=23.86$ dB



(c) 本文算法得到的嵌水印半调图, $HPSNR=22.57$ dB

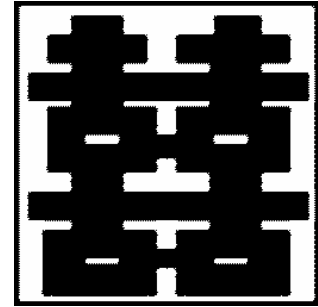
图 3 像素块大小为 2×2 时的图像质量比较

图 4(a)和图 4(b)展示了大小为 64×64 和 256×256 的原始水印, 图 4(c)和图 4(d)是分别嵌入水印图 4 (a)和图 4(b)的嵌水印半调图。图 4(e)和图 4(f)分别是图 4(c)和图 4(d)提取的水印, 图 4(e)的 CDR 为 92.41%, 图 4(f)的 CDR 为 69.31%。由图 4 可以

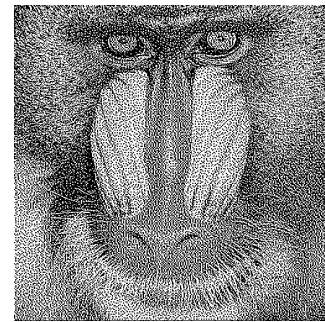
看出, 即使将水印率提高 16 倍, 但嵌水印图像质量并没有发生明显变化, 而且依然能提取可识别的水印图像。 CDR 下降明显, 这是因为要提高水印率, 水印嵌入窗口就要变小, 这样每个窗口参与投票的元素数量也会减少, 因此 CDR 下降。



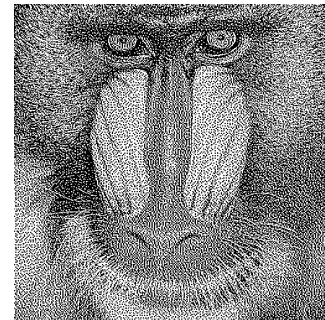
(a) 64×64 的水印图像



(b) 256×256 的水印图像



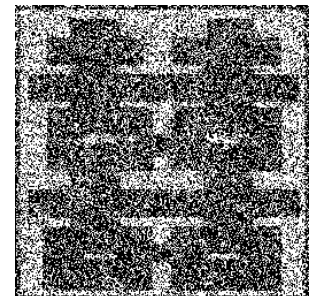
(c) 嵌入图 4 (a)得到的图像, $HPSNR=22.57$ dB



(d) 嵌入图 4(b)得到的图像, $HPSNR = 22.56$ dB



(e) 从图 4(c)中提取的水印, $CDR = 92.41\%$



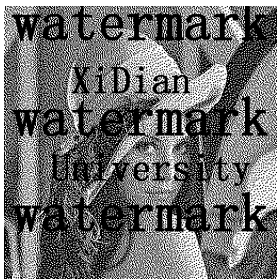
(f) 从图 4(d)中提取的水印, $CDR = 69.31\%$

图 4 水印率实验

为了检测算法顽健性，对嵌水印图像进行了篡改、加噪、剪切、JPEG 压缩、亮度改变、缩放、旋转等攻击实验。实验中重新选择了 512×512 的灰度 Lena 图作为宿主图像，同时采用了一个新的 64×64 水印，如图 5(b)所示，以证明算法的通用性。将图 5(b)嵌入 Lena 图，生成的嵌水印图像如图 5(a)所示， $HPSNR=21.76$ dB。对嵌水印图像进行篡改攻击，结果如图 5(c)所示。图 5(d)展示了从篡改图像中提取的水印。图 6~图 12 列出了在其他不同攻击下的测试结果。实验结果表明提出算法有很强的顽健性，能够抵抗各种攻击。



(a)嵌入水印图 5(b)的 Lena 图, $HPSNR=21.76$ dB (b)64×64 的水印图像

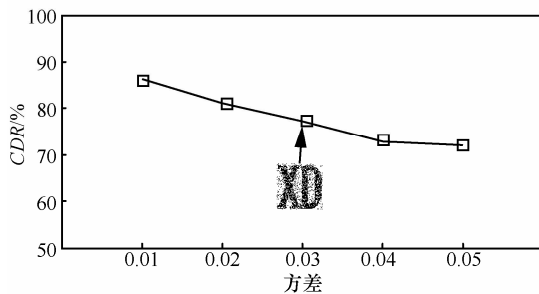


(c)对图 5(a)进行篡改攻击后的图像 (d)提取的水印, $CDR=78.76\%$

图 5 篡改攻击实验



(a) 方差为 0.03 的高斯噪声下的嵌水印图像

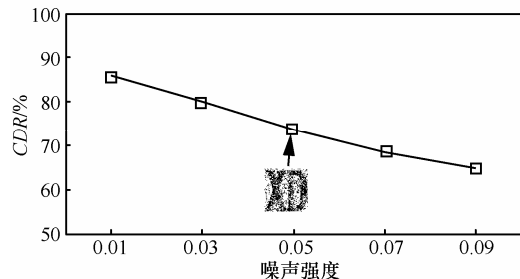


(b) 不同强度高斯噪声攻击下的 CDR 和提取的水印

图 6 高斯噪声攻击实验

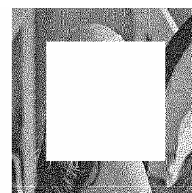


(a) 强度为 0.05 的椒盐噪声下的嵌水印图像

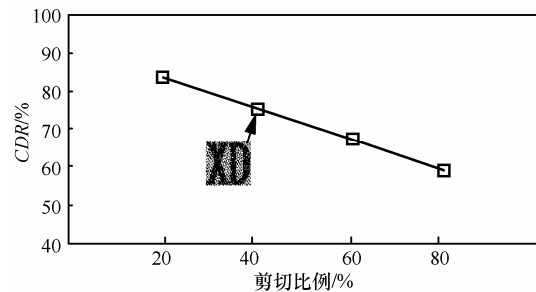


(b) 不同强度椒盐噪声攻击下的 CDR 和提取的水印

图 7 椒盐噪声攻击实验



(a) 剪切了 40% 的嵌水印图像

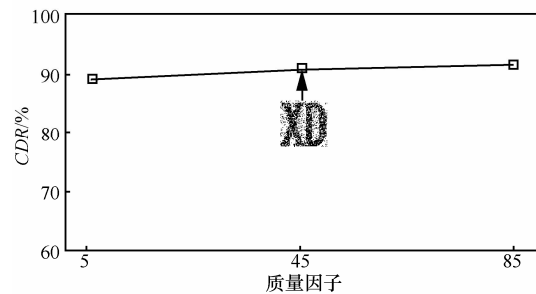


(b) 不同剪切比例下的 CDR 和提取的水印

图 8 剪切攻击实验



(a) 以质量因子 45 压缩的嵌水印图像



(b) 不同质量因子压缩下的 CDR 和提取的水印

图 9 JPEG 压缩攻击实验

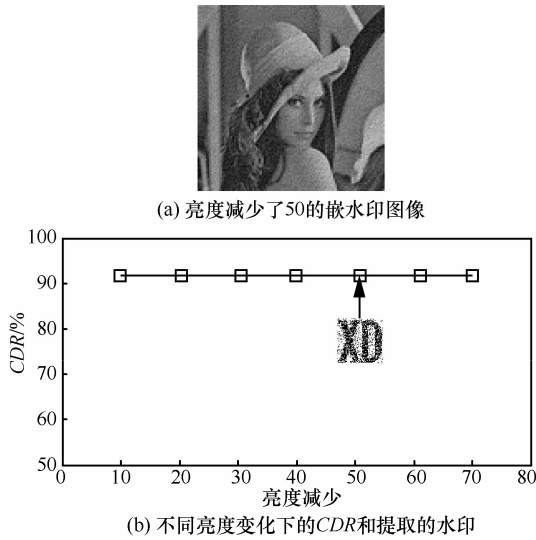


图 10 亮度调整攻击实验

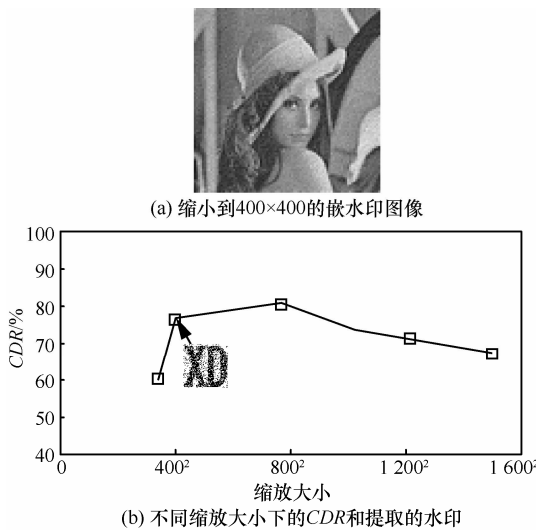


图 11 缩放攻击实验

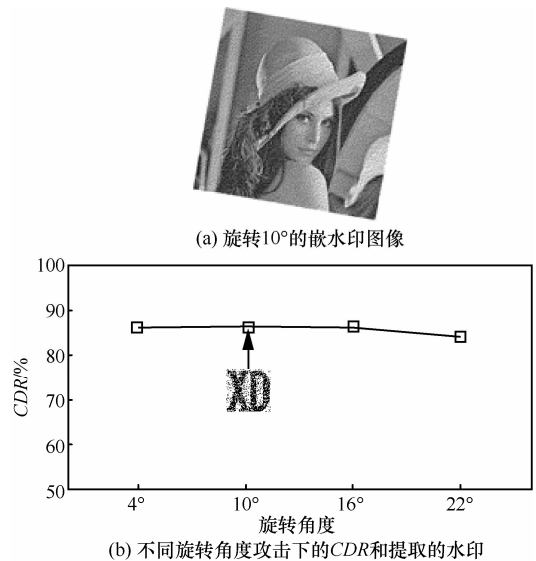


图 12 旋转攻击实验

接着，进行了打印—扫描攻击实验，将嵌水印图像先用打印机打印出来，然后再扫描得到数字图像。由于经过打印—扫描的图像往往比原图像大，所以在解码水印之前，需要先将扫描图像用 Adobe Photoshop 7.0 进行剪切并调整成 512×512 大小。整个解码前的预处理过程如图 13 所示。

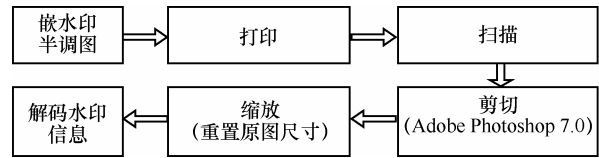


图 13 水印解码前的预处理过程

这里水印解码的预处理和 PMEDF 算法的预处理有 3 点不同：1)它不需要在嵌水印半调图的 4 个角上放置作为同步信息的黑色像素；2)图像的缩放直接通过插值完成，无需将打印—扫描后的嵌水印图像分割成 512×512 个方块，尤其是当打印—扫描后的图像不是 512 的整数倍时，这种分块方法很难操作；3)不需要在提取水印前将被攻击图像再转换成二值图像。

在抗打印—扫描攻击实验中，先使用 HP Color LaserJet CP2025 打印图 5(a)，再用 EPSON Perfection 1200U 得到扫描图像，分辨率均设置为 300 dpi。图 14(a)为经过打印—扫描后预处理得到的图像，图 14(b)是从图 14(a)中解码出的水印，CDR=78.26%。实验结果表明提出算法能够有效抵抗打印—扫描攻击。

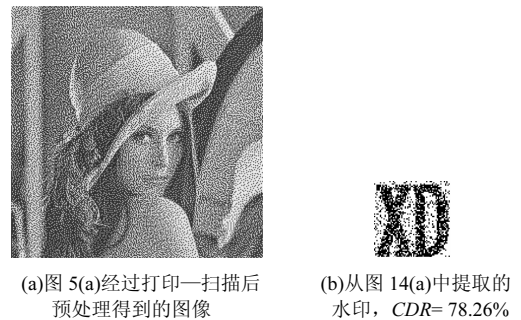


图 14 HP Color LaserJet CP2025 和 EPSON Perfection 1200U 的打印—扫描攻击实验

为测试算法对抗不同型号打印机和扫描仪攻击的顽健性，又使用分辨率设为 300 dpi 的 CanonImage RUNNER5000 和 Microtek MRS-3200A3 对图 5(a)进行打印—扫描。图 15(a)为经打印—扫描后预处理得到的图像，图 15(b)是从图 15(a)中提取出的水印，CDR = 77.19%。实验结果表明提出算法能够抵抗不同型号打印机和扫描仪的攻击。



(a)图 5(a)经过打印—扫描后
预处理得到的图像



(b)从图 15(a)中提取的
水印, CDR=77.19%

图 15 CanonImage RUNNER5000 和 Microtek MRS-3200A3
的打印—扫描攻击实验

表 2 列出了本文算法与 PMEDF 算法对抗上述攻击的结果。从表中可以看出,本文算法能够直接从被攻击的嵌水印图像中提取水印,但是 PMEDF 算法在多数攻击下不能直接提取水印,必须将图像先转化为二值图。将图像转换为二值图的方法很多,使用不同的方法得到的 CDR 也不同,在表 2 中,为 PMEDF 算法选择了最好的结果。从表 2 数据可以看出,本文算法表现出了更强的顽健性。

表 2 算法顽健性比较(“—”表示提取的水印图像不可识别)

攻击	PMEDF		本文算法直接 提取水印 CDR/%
	直接提取水印 CDR/%	先转换成二值图 再提取水印 CDR/%	
高斯噪声 0.01	—	100	86.08
高斯噪声 0.02	—	97.53	81.57
高斯噪声 0.03	—	83.25	77.86
高斯噪声 0.04	—	63.11	73.63
高斯噪声 0.05	—	53.37	69.95
椒盐噪声 0.01	67.38	67.38	86.72
椒盐噪声 0.03	—	—	80.08
椒盐噪声 0.05	—	—	74.12
椒盐噪声 0.07	—	—	70.46
椒盐噪声 0.09	—	—	65.58
剪切 20%	89.06	89.06	83.45
剪切 40%	78.27	78.27	75.32
剪切 60%	67.14	67.14	67.41
剪切 80%	56.98	56.98	58.91
JPEG 质量因子 85	—	100	91.41
JPEG 质量因子 65	—	100	91.13
JPEG 质量因子 45	—	100	90.80
JPEG 质量因子 25	—	100	89.94
JPEG 质量因子 5	56.20	100	89.23
亮度 -10	—	100	92.53
亮度 -30	—	100	92.53
亮度 -50	—	100	92.53
亮度 -70	—	100	92.53
缩放大小 1 500×1 500	—	—	67.19
缩放大小 1 024×1 024	—	50.37	73.46
缩放大小 768×768	—	51.64	80.88
缩放大小 400×400	—	—	76.64
缩放大小 340×340	—	—	59.94
旋转 4°	—	51.47	86.08
旋转 10°	—	50.27	86.35
旋转 16°	—	—	86.01
旋转 22°	—	—	84.01
篡改	80.74	80.74	78.76
打印—扫描攻击(HPColor LaserJet CP2025,EPSONPerfection1200U)	—	52.17	78.26
打印—扫描攻击(CanonImageRUNNER5000,Microtek MRS-3200A3)	—	—	77.19

5 结束语

本文提出了基于奇偶校验的块误差分散半调水印算法, 能够直接从被攻击的嵌水印图像提取水印信息无需将其先转化为二值图, 这一特点使水印解码更为简单和实用。另外, 由于充分考虑了图像局部特征, 利用了像素块的性质进行水印嵌入, 使算法更为通用, 并且有更强的顽健性, 能够抵抗各种攻击引起的失真。

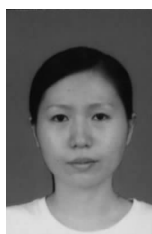
参考文献:

- [1] ULICHNEY R. Digital halftoning[M]. Cambridge, MA: MIT Press, 1987.
- [2] FLOYD R W, STEINBERG L. An adaptive algorithm for spatial gray scale[A]. Proc SID Int Symp Digest of Technical Papers[C]. USA, 1975.36-37.
- [3] KNUTH D E. Digital halftones by dot diffusion[J]. ACM Transactions on Graphics, 1987, 6(4):245-273.
- [4] ANALOU M, ALLEBACH J P. Model based halftoning using direct binary search[A]. Human Vision, Visual Processing, and Digital Display III[C]. San Jose, USA, 1992. 96-108.
- [5] SU P C, CHANG Y C, WU C Y. Geometrically resilient digital image watermarking by using interest point extraction and extended pilot signals[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security. 2013, 8(12):1897-1908.
- [6] HAMGHALAM M, MIRZAKUCHAKI S, AKHAE M A. Robust image watermarking using dihedral angle based on maximum-likelihood detector[J]. Image Processing, IET, 2013,7(5):451-463.
- [7] NASIR I, KHELIFI F, JIANG J, *et al.* Robust image watermarking VIA geometrically invariant feature points and image normalization[J]. Image Processing, IET, 2012,6(4):354-363.
- [8] MAYER J, SIMSKE S J. Modulation in the HVS domain for hardcopy watermarking of color documents[A]. The 8th International Conference on Signal Image Technology and Internet Based Systems (SITIS)[C]. Sorrento, Italy, 2012.188-194.
- [9] TAN L N, SUN X M, SUN G. Print-scan resilient text image watermarking based on stroke direction modulation for Chinese document authentication[J]. Radio Engineering, 2012, 21(1): 170-181.
- [10] GUO J M, PEI S C, LEE H. Watermarking in halftone images with parity-matched error diffusion[J]. Signal Processing, 2011, 91(1): 126-135.
- [11] ZHOU Z, ARCE G R, CRESCENZO G D. Halftone visual cryptography[J]. IEEE Transaction on Image Processing, 2006, 15(8): 2441- 2453.
- [12] DAMERA-VENKATA N, YEN J, MONGA V, *et al.* Hardcopy image barcodes via block-error diffusion[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(12): 1977-1989.
- [13] FU M S, AU O C. A robust public watermark for halftone images[A]. International Symposium on Circuits and Systems[C]. USA, 2002.

639-642.

- [14] FU M S, AU O C. A multi-bit robust watermark for halftone images[A]. International Conference on Multimedia and Expo[C]. USA, 2003.213-216.
- [15] KUBLBECK C, ERNST A. Face detection and tracking in video sequences using the modified census transformation[J]. Image and Vision Computing,2006, 24(6):564-572.
- [16] GUO J M, SU C C, LIU Y F. Texture orientation modulation for halftoning watermarking[A]. International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)[C]. Japan, 2012.1813- 1816.
- [17] GUO J M, SU C C, LIU Y F, *et al.* Oriented modulation for watermarking in direct binary search halftone images[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012, 21(9):4117-4127.

作者简介:



谢琨 (1980-), 女, 湖南邵阳人, 西安电子科技大学博士生、讲师, 主要研究方向为数字水印、多媒体信号处理等。



郑海红 (1979-), 女, 河北保定人, 博士, 西安电子科技大学副教授、硕士生导师, 主要研究方向为信息隐藏、视频图像分析等。



曾平 (1956-), 男, 重庆人, 西安电子科技大学教授、博士生导师, 主要研究方向为颜色科学、图形图像输入输出技术等。



郭涛 (1978-), 男, 河南孟津人, 西安电子科技大学博士生、高级工程师, 主要研究方向为图像处理与图像理解等。