

文章编号:1007-2780(2018)06-0511-09

基于视觉特性和纹理特征的图像水印算法研究

申 静

(陕西理工大学 数学与计算机科学学院, 陕西 汉中 723000)

摘要:利用人眼对比敏感度视觉特性和图像的纹理特征,提出了一种彩色图像的水印算法。算法首先依据图像的纹理特征,将图像进行分割;再将水印嵌入到图像纹理复杂的部分,并利用人眼对比敏感阈值控制水印的嵌入量,从而实现水印的嵌入;最后利用逆过程实现水印的提取。同时对 3 幅不同复杂纹理的图像进行仿真实验,并对 3 幅含水印图进行 5 种方式的攻击测试,且与近些年国内外报道的 8 种水印算法进行对比分析。结果表明,在中间剪切 1/4 区域、质量因子为 20% 的压缩和旋转 90°较强的攻击下,提取水印的 NC 值和含水印图的 SSIM 值均仍能达到 0.8 以上,且比 8 种水印算法具有更好的鲁棒性。综合结果表明,在水印嵌入过程中,提出的算法能够有效解决水印容量与视觉透明性、鲁棒性之间的平衡,是一种行之有效的图像水印算法。

关键词:图像水印;视觉特性;纹理特征;峰值信噪比

中图分类号:TP391; O432.3 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20183306.0511

Image watermarking algorithm based on the visual characteristics and the texture features

SHEN Jing

(School of Mathematics and Computer Science, Shaanxi University of Technology,
Hanzhong 723000, China)

Abstract: Using the contrast sensitivity characteristics of human visual system (HVS) and the texture features of image, a watermarking algorithm for color images is proposed. In the algorithm, the image is firstly divided according to the texture features of image, then the watermark is embedded into the complex texture part of image, and the embedding amount of watermark is controlled by the contrast sensitivity threshold of HVS, which finish embedding the watermark. Finally, the watermark is extracted by the inverse process. Further, three images with different complex texture are carried out simulation, and three watermarked images are tested by 5 types of attacks. And this watermarking algorithm is compared with 8 ones reported in recent years. The results show that under the stronger attack, namely the intermediate 1/4 area of image is sheared, the compression quality factor is 20% and

收稿日期:2018-01-31;修订日期:2018-03-23.

基金项目:国家自然科学基金项目(61301237);陕西省科技新星计划项目(2015KJXX-42);陕西省教育厅专项科研项目(15JK1139)

Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 61301237); Scientific and Technological New-star Plan of Shaanxi Province, China (No. 2015KJXX-42); Specialized Research Foundation of Shaanxi Province Education Department, China(No. 15JK1139)

* 通信联系人, E-mail: shenjingt@163.com

the image is rotated by 90° , the NC values of extracted watermarks and the SSIM values of image embedded watermark can still reach over 0.8, and it has better robustness than the reported 8 watermarking algorithms. The comprehensive results show that the proposed algorithm can effectively solve the balance between watermark capacity and visual transparency, robustness, which is an effective image watermarking algorithm.

Key words: image watermark; visual characteristics; texture features; peak signal to noise ratio

1 引言

近些年来,图像技术发展突飞猛进,其应用于人们生活中的每个角落,但是,同时也对图像信息安全和版权保护等增加了挑战,人们可以无节制地任意复制、删改、传输和使用图像,以致需要一种更有效、更方便的信息防伪技术^[1-3]。

水印是一种将文本、图像和标志等信息隐藏于原始图像中,通过对提取信息的核对来检测,而又不影响原图像使用价值的一种有效防伪技术。与传统的防伪技术相比,水印具有更优异的性能,近些年得到了大量的研究^[4-5]。目前,在水印技术方面,提出了大量的算法,但其还远远不能满足社会的需求,其水印算法还有较多的问题需要解决、改进和优化^[6-8]。其中,最为关键的是如何解决水印容量与鲁棒性、透明性之间的平衡问题,即在水印中,若水印容量较大,水印效果可以实现较高的鲁棒性,但透明性必然下降;而当减少水印容量时,虽然透明性效果提高了,但不容易检测出水印信息,且鲁棒性下降。则需要平衡三者的关系,实现水印在不影响视觉透明性的条件下,最大限度地嵌入水印,达到最大限度的提高水印的鲁棒性^[9-11]。目前,解决该问题的主要方法是结合人眼视觉特性提出一个阈值来控制水印的嵌入量^[11-12],但通过实验和相关报道发现,对于不同的图像,其水印效果仍有较大的不同,即图像本身的特征也对水印嵌入量有一定的影响^[8, 13],则在结合视觉特性解决以上三者之间的平衡问题时还需要考虑图像本身的特征因素。基于此,本文结合人眼对比敏感度视觉特性和图像的纹理特征,提出了一种彩色图像的水印算法;并对 3 幅不同复杂纹理的图像进行仿真实验和攻击测试,结果表明,在没有攻击下,含水印图的峰值信噪比(Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR)和结构相似度(Structural Similarity Index, SSIM)分别超过 42dB 和 0.99,提取水印的相似度归一化系数(Normalized Coefficient, NC)值均在 0.99 以上;在

较强的攻击(中间剪切 1/4 区域、旋转 90 度和质量因子为 20% 的压缩)下,提取的水印的 NC 值仍能达到 0.8 以上;且与近些年国内外报道的 8 种水印算法进行了对比,结果表明,本文提出的水印算法在多种攻击下均可以达最优或者次优。综合仿真和对比结果表明,在水印嵌入过程中,文中的算法能够有效解决水印容量与视觉透明性、抗攻击性之间的平衡,其是一种行之有效的图像水印算法。

2 视觉模型及其在图像水印中的应用

2.1 视觉模型

目前,在水印技术中,利用视觉特性及其阈值能够有效控制水印嵌入容量的大小,从而增加水印的鲁棒性和透明性^[11-12]。为此,本文主要利用人眼对比敏感度视觉特性来实现和控制水印的嵌入和提取。

对比敏感度视觉特性是目前了解的人眼 4 个重要的空间特性之一,为了将其应用于实际,国内外对其进行了大量的理论和实验研究,提炼出了较多的模型,目前普遍采用对比敏感度函数(Contrast Sensitivity Function, CSF)来描述其数学形式。CSF 一般表述为人眼对目标的对比敏感度值与目标角频率(f_θ)之间的函数关系,其中,对比敏感度值,目前普遍采用人眼对目标的对比觉察阈值的倒数来定量描述^[14-15]。为了得到更好的水印效果,结合 CSF 模型的性能、CSF 在水印中的效用和水印算法的复杂性等因素,对比分析已有模型,文中提出的算法选用由 Barten 等人^[15]提出的人眼对亮度感知的 CSF(CSF_L),以及由 Nadenau 等人^[16]提出的人眼对色度感知的对立色 CSF(红绿对立色 CSF_{rg} 和蓝黄对立色 CSF_{by}),其模型如式(1)、(3)和(4)。

(1) 亮度感知的 CSF

$$CSF_L(f_\theta) = a \cdot f_\theta \cdot \exp(-b \cdot f_\theta) [1 + c \cdot \exp(b \cdot f_\theta)]^{0.5}, \quad (1)$$

式中: f_θ 为目标光栅感知时的角频率, 单位为 cpd (cycle per degree); a 、 b 和 c 为参数, 其值由式(2)决定。

$$a = \frac{540 \cdot (1 + 0.7/L)^{-0.2}}{1 + \frac{12}{w \cdot (1 + f_\theta/3)^2}},$$

$$b = 0.3 \cdot (1 + 100/L)^{0.15}, c = 0.06, \quad (2)$$

式中: L 表示目标光栅的平均亮度; w 表示感知目标光栅时刺激瞳孔的大小^[15]。

(2) 对立色感知的 CSF

$$CSF_{rg}(f_\theta) = a \cdot \exp^{b(f_\theta)^c}$$

$$a = 1, b = -0.152, c = 0.893, \quad (3)$$

$$CSF_{by}(f_\theta) = a \cdot \exp^{b(f_\theta)^c}$$

$$a = 1, b = -0.2041, c = 0.9, \quad (4)$$

式中: CSF_{rg} 和 CSF_{by} 分别描述为人眼感知红绿和蓝黄对立色光栅时的彩色对比敏感度阈值^[16]。

2.2 视觉模型在图像水印中的应用

视觉模型在图像水印中的应用, 主要是将 CSF 用在图像数据中, 通过 CSF 得到图像每一个像素点的可觉察阈值, 通过阈值来控制图像可嵌入水印量的大小。要将 CSF 用在图像数据中, 关键是要将 CSF 中的自变量角频率 f_θ 与图像的空间频率 f 之间建立关系。通过实验发现, 两种频率之间存在以下联系。

(1) 在视觉特性研究中, 角频率定义为: 人眼观察光栅时, 单位视角内人眼感知到的条纹的周期数目^[14]。以 N 表示人眼视角 θ 内观察到的条纹的周期数目, 则 f_θ 的计算如式(5)。

$$f_\theta = \frac{N}{\theta}. \quad (5)$$

(2) 提出的水印算法在频域中实现嵌入水印, 则选择离散余弦变换(DCT)。实验发现: 图像在

DCT 变换后, 其频域图上的任何一点 (f_x, f_y) 反变换的空域图是周期性明暗条纹组成的一个光栅, 其条纹的周期数目为 $(f_x^2 + f_y^2)^{1/2}$, 光栅的大小与原图大小一致。由此, 可以等效为把图像看成是由若干个光栅合并而成。由于人眼是一个优异的频谱滤波器, 人眼感知图像的结果, 其实质上是人眼对不同频率的信息的感知。基于此, 当人眼觉察频谱图上的每一点时, 本质上可等效为人眼感知该点所对应的光栅。

基于以上两频率的说明, 二者的关系为: 人眼感知图像即等效为感知周期数目为 $(f_x^2 + f_y^2)^{1/2}$ 的一系列光栅, 其视角 θ 为原图像区域所对应的空间视角; 结合 CSF 中角频率 f_θ 定义, 式(5)应用在图像水印中时可用式(6)描述。则式(6)较好地两频率建立联系。

$$f_\theta = \frac{\sqrt{f_x^2 + f_y^2}}{\theta}. \quad (6)$$

基于此, 人眼感知图像时, 图像上每一点对应的角频率可利用式(6)计算获得, 同时代入到 CSF 中, 则能够计算出图像上任何一点的人眼感知对比敏感阈值。则通过该阈值可以较好的控制水印容量大小, 实现水印容量、透明性和鲁棒性之间的平衡。

3 水印算法设计

记原始图像为 I , 水印图像为 W 。结合人眼对比敏感视觉特性和图像纹理特征, 提出了以下的水印算法, 算法流程图如图 1。

算法具体描述如下。

(1) 为了使得水印在不同显示设备中能够完

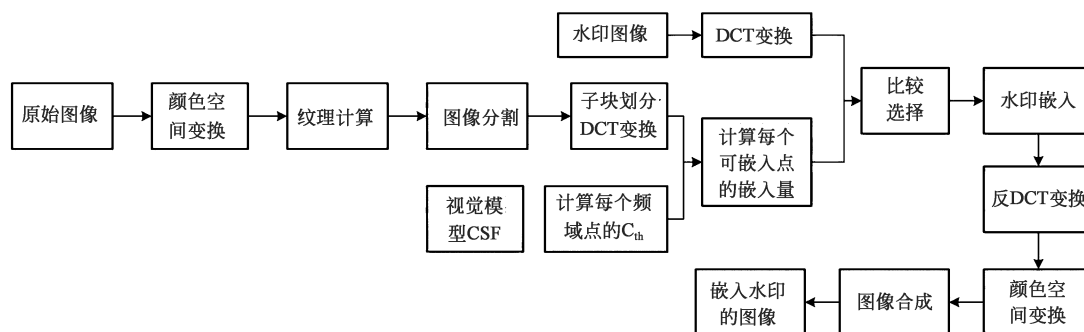


图 1 水印嵌入方案流程图

Fig.1 Architecture for embedding watermark

全重复再现,图像转换到与设备无关的 CIELAB 颜色空间^[9],得到三分量图,即亮度分量图(L)、红绿分量图(rg)和蓝黄分量图(by)。

(2)利用 Sobel 算子,计算每个分量图的纹理复杂性,以梯度的平均值为阈值,选取图像中大于阈值的点为水印可能嵌入的点。因为纹理越大的部分,人眼对其的敏感程度越下降,该部分图像的冗余必定越大,能够隐藏的信息量必定越大。依据该阈值,将图像进行分层,其方法如式(7)。

$$I_i = I_{i1} + I_{i2} \quad i = L, rg, by, \quad (7)$$

其中: I_{i1} 为各分量图中梯度大于平均梯度的像素点组成的部分, I_{i2} 为其余部分。

(3)以水印图像的大小为准,对 I_{i1} 进行子块划分,并进行离散余弦变换(DCT),且将零频移至频谱图中心。依据第(2)步的方法和 DCT 变换特征,则变换域中只有较少低频部分有系数值,大部分的中高频系数为零。

(4)依据以上的关系,计算频域中每一点的角频率,代入 CSF 模型中计算每一点的对比敏感度阈值 C_{iTh} ,并乘以该点的强度值 I_{i1} ,其结果作为该点可以嵌入水印量的最大值 W_{iTh} 。其结果如式(8)。

$$W_{iTh} = C_{iTh}(f_\theta) \times I_{i1} \quad i = L, rg, by. \quad (8)$$

(5)将水印图像进行颜色空间转换,同样得到三分量图,并对每个分量图进行 DCT 变换。

(6)嵌入水印,其方法如式(9)。

$$\frac{abs(K \times W_i - W_{iTh})}{W_{iTh}} < 5\%, \quad (9)$$

$$W_{is} = K \times W_i, \quad i = L, rg, by,$$

$$\text{else } W_{is} = 0$$

式中: W_{is} 为该点嵌入的水印, K 为嵌入强度系数。

实验中,由于每一子块都可嵌入水印信息,则每一子块有不同的 K 值,为了降低水印计算复杂性,调节每一子块的 K 值,最终使得所有子块的 K 值一致,同时使得所嵌入的水印信息量最大。而且,因为使用了人眼觉察阈值 C_{Th} 来控制水印量,所以此方法能够使得水印信息量达到最大,同时保证了水印透明性,从而实现了既保证了水印的不可见性,又增强了水印鲁棒性。

(7)对嵌入水印信息的频域图进行反 DCT 变换,并从 CIELAB 色空间变换到 RGB 色空间中,且进行颜色合成,得到嵌入水印信息的 RGB 图像,最后将嵌入水印的 I_{i1} 图与 I_{i2} 图进行合成,即为最终嵌入水印的图像。

(8)依据水印嵌入的逆过程提取水印,即首先将含水印图进行分层,得到嵌入水印的图像和未嵌入水印的图像,对嵌入水印的那部分图像进行子块划分和 DCT 变换,同时对原图进行相同的操作,再对两个变换域图像依次进行相减,得到差值,最后依据每一子块的差值求出共同的 K 值,并将差值除以 K 值,即为水印信息。

4 实验结果

依据以上提出的水印算法,以大小为 256 pixels×256 pixels 的三幅标准 Lena、Ladyliberty 和 Trolley 彩色图为源图像,以大小为 64 pixels×64 pixels 的中国龙彩色标志图作为水印信息进行仿真实验,结果如图 2 和图 3。



图 2 采用提出的水印算法对 Lena 图进行实验的结果。(a)~(d)原始水印彩色图及其三分量图,(e)~(h)原始彩色图及其三分量图,(i)~(l)嵌入水印的三分量图及其重建的彩色图,(m)~(p)提取的水印三分量图及其重建的彩色水印图。

Fig.2 Results of Lena image processed with the proposed watermarking algorithm. (a)~(d) the original watermarking color image and its tri-components, (e)~(h) the original color image and its tri-components, (i)~(l) the watermarked tri-components and their built color image, (m)~(p) the extracted watermarking tri-components and their built color watermarking image.



图 3 采用提出的水印算法对 Trolley 和 Ladyliberty 图进行实验的结果。(a) ~ (c) 原始彩色 Trolley 图及其嵌入水印图和提取的水印, (d) ~ (f) 原始彩色 Ladyliberty 图及其嵌入水印图和提取的水印。

Fig.3 Results of Trolley and Ladyliberty images processed with the proposed watermarking algorithm. (a) ~ (c) the original color image and its watermarked image of 'Trolley', and extracted watermarking, (d) ~ (f) the original color image and its watermarked image of 'Ladyliberty', and extracted watermarking.

在水印技术中,评价水印性能优劣的主要因素是其透明性、提取水印的有效性以及抗攻击性。一般从主观和客观两个方面来评价。主观评价一般是人眼主观分辨,客观评价一般采用 PSNR 来评价嵌入水印图像的透明性,以及 NC 值来评价提取水印的有效性^[10]。目前,在评价图像差异时,SSIM 比 PSNR 效果更好^[17],所

以本文采用 PSNR 和 SSIM 两个度量来评价嵌入水印图像的透明性。其中,SSIM 和 NC 值越接近于 1,效果越好;PSNR 越大,效果越好,且当 PSNR 大于 30 dB 时,人眼几乎不能分辨图像间的差异^[10-14]。据此,计算含水印图与原图的 SSIM 和 PSNR,以及提取水印与原水印之间的 NC 值。结果如表 1。

表 1 三幅含水印图的 SSIM 和 PSNR 值以及提取水印的 NC 值

Tab.1 SSIM and PSNR from evaluating the watermarked images and NC values of the extracted watermark

图像名称	原图的平均梯度	评价参数	含水印图			
			彩色图	L 分量图	rg 分量	by 分量
Lena	0.052 7	SSIM	0.995 4	0.996 2	0.995 7	0.992 1
		PSNR/dB	43.579 2	42.884 6	44.580 1	43.431 3
		NC	0.993 2	0.990 9	0.994 6	0.993 8
Lady liberty	0.022 3	SSIM	0.996 4	0.997 2	0.996 7	0.993 1
		PSNR/dB	44.015 0	43.313 4	45.025 9	43.865 6
		NC	0.990 5	0.988 2	0.991 9	0.991 1
Trolley	0.072 9	SSIM	0.992 4	0.993 2	0.992 7	0.989 1
		PSNR/dB	42.925 5	42.241 3	43.911 4	42.779 8
		NC	0.996 2	0.993 9	0.997 6	0.996 8

主观上,从图 2 和图 3 的实验结果可以看出,人眼无法分辨出含水印图与原图以及提取的水印与原水印图之间的差异;客观上,从表 2 的数据表明,含水印图的 SSIM 值均超过 0.99,PSNR 均在 35 以上,提取水印的 NC 值均大于 0.99。表明文中提出的算法能够有效的保证嵌入水印的视觉透明性和有效性。

另外,通过表 2 的数据也可以发现,当 3 幅图像的纹理复杂性(平均梯度)增加时,嵌入水印的容量也相应的有所增加,与之相应的 NC 值也随之增加,但含水印图的 PSNR 和 SSIM 值相应的有所减小,表明图像本身的纹理结构对图像的嵌入量有一定的影响。

5 攻击测试

5.1 攻击测试

在实际应用中,水印技术不仅要求水印具有较高的透明性,还必须具有较强的鲁棒性(即抗攻击性)。鲁棒性体现为:嵌入水印的图像经过不同的攻击后,在同一攻击条件下,在保证水印不可见的前提下,提取水印的 NC 值越大,表明该算法针对此攻击的鲁棒性越好,同时也表明在该条件下,嵌入水印量也越大。为了检测提出方法的鲁棒

性,对以上实验中三幅嵌入水印的图像进行不同类别、不同层次的攻击测试。水印攻击包括:不同压缩质量因子 QF(quality factor)的压缩、不同方位的剪切、不同角度的旋转、高斯噪声以及中值滤波等;并计算攻击后含水印图的 PSNR、SSIM 和提取水印的 NC 值。其中,QF 取值从 10% 至 90%,剪切包括中间和左上各剪切 1/4 区域,旋转为 45°和 90°,高斯噪声强度为 0.01,中值滤波采用[3, 3]模板。仿真攻击结果如图 4 和表 2。图 4 是对 Trolley 含水印图进行多种形式攻击后的图像和从中提取的水印信息。

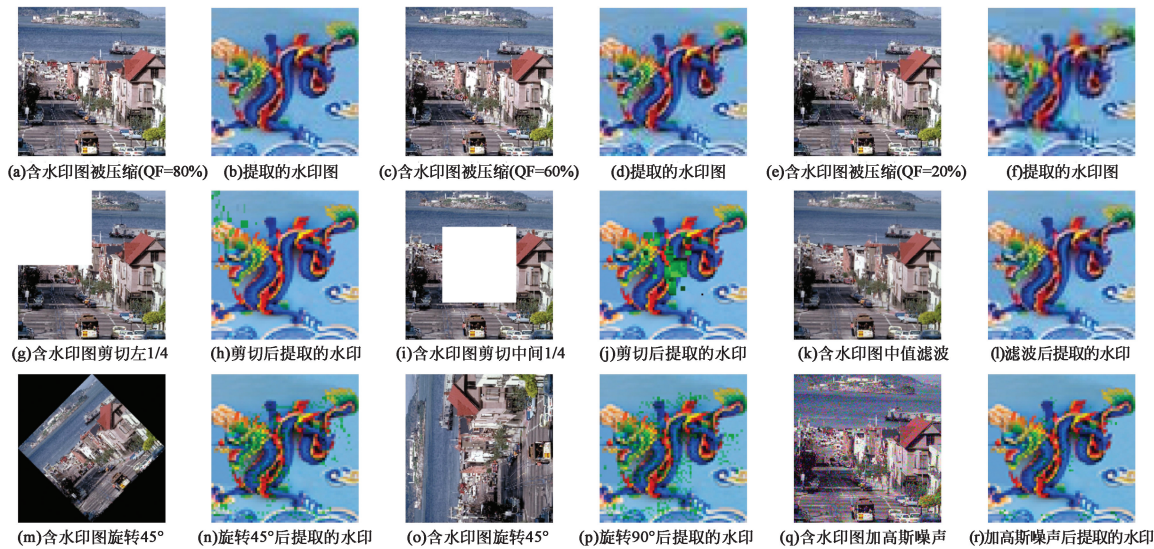


图 4 Trolley 含水印图被 5 种方式攻击后的图像和从中提取的水印. (a) ~ (f) 压缩, (g) ~ (j) 剪切, (k) ~ (l) 中值滤波, (m) ~ (p) 旋转, (q) ~ (r) 高斯噪声.

Fig.4 The watermarked Trolley images are captured by five attacks and the watermarking extracted from them. (a) ~ (f) compression, (g) ~ (j) cutting, (k) ~ (l) median-filter, (m) ~ (p) rotation, (q) ~ (r) Gauss-noise.

表 2 三幅含水印图被 5 种方式攻击后的图像的 PSNR 和 SSIM 值以及从中提取水印的 NC 值

Tab.2 PSNR and SSIM from evaluating the watermarked images after being attacked by five types and NC values from evaluating the extracted watermark

图像	攻击方式	JPEG 压缩				剪切		高斯噪声	中值滤波	旋转	
	攻击程度	QF=20%	QF=40%	QF=60%	QF=80%	中间 1/4	左上 1/4	0.1	[3 3]	45°	90°
Lena	PSNR/dB	28.8905	31.3316	34.2019	39.1457	20.9239	26.5896	33.9548	32.8715	26.9548	25.0715
	SSIM	0.8306	0.8824	0.9225	0.9716	0.8055	0.8158	0.8993	0.8858	0.8171	0.8119
	NC	0.8388	0.8742	0.9276	0.9689	0.8479	0.9296	0.9496	0.9389	0.8875	0.8475
Lady liberty	PSNR/dB	29.8318	31.9200	35.0224	40.0259	21.5018	27.3934	34.5748	31.0605	27.5748	25.7143
	SSIM	0.8451	0.8994	0.9396	0.9875	0.8129	0.8237	0.9119	0.8936	0.8267	0.8214
	NC	0.8164	0.8314	0.8828	0.9292	0.8203	0.8837	0.9210	0.9165	0.8659	0.8201
Trolley	PSNR/dB	27.2489	30.1143	32.8664	37.1680	20.6297	26.1804	33.2921	33.7242	26.4817	24.8714
	SSIM	0.8242	0.8790	0.9191	0.9684	0.8039	0.8142	0.8967	0.8842	0.8151	0.8100
	NC	0.8497	0.8985	0.9511	0.9870	0.8635	0.9350	0.9571	0.9423	0.8942	0.8580

主观分析图4和对比分析表2中的数据,可以表明:(1)主观上,含水印图像除了攻击对其进行了一定程度的破坏外,人眼不能感知其水印的溢出,保证了水印的不可见性。(2)三幅图像在纹理结构上有明显差异,致使其含水印图的鲁棒性有一定差异,提取水印的NC值同样有一定的差异,表明其嵌入水印量不同。结合表1和表2的数据表明,图像的纹理越复杂,相同条件下其能够嵌入的水印容量越多,抗攻击性越强,但含水印图的透明性有所下降(但仍保证水印透明性);图像的纹理越简单,嵌入水印量相对越少,透明性越好,但抗攻击性稍差。(3)对比分析5种形式的攻击测试结果,可以获得:在中间剪切1/4区域、旋转 90° 和 $QF=20\%$ 的压缩的攻击下,水印效果最差,但是其提取水印的NC值均超过0.81;而且,主观上,其提取的水印仍比较清晰,表明提取的水

印是有效可行的。(4)从高斯噪声和中值滤波的攻击测试结果上看:3幅含水印图攻击后,其提取水印的NC值均超过了0.9,表明其水印效果比较好,同时也说明提出的水印算法具有较好的抗二者的攻击性。综合以上分析表明:提出的水印算法具有较好的鲁棒性。

5.2 讨论

近些年,结合视觉特性和图像特征方面的水印技术进行了大量的研究,提出了较多的水印算法,为了说明算法性能优劣,将提出的水印算法与国内外近几年报道的文献[4-11]中提出的8种水印算法进行对比,分析5种攻击后提取水印的有效性,即计算攻击后提取水印的NC值。对于多种攻击,若每一种攻击后提取水印的NC值越大,表明该算法的鲁棒性越好,其性能越好。对比结果如图5。

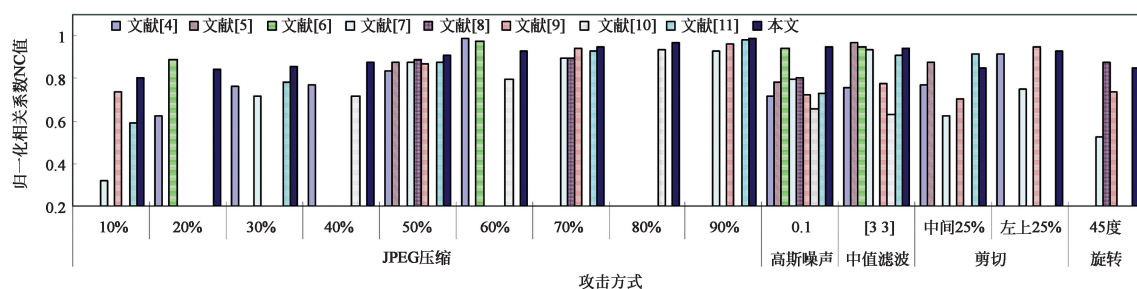


图5 文中算法与文献中的8个水印算法的鲁棒性比较

Fig.5 Robustness comparison between the watermarking algorithms proposed in the text and the eight ones in the references

分析图5的结果,表明:(1)对于5种不同程度的攻击,与8种水印算法相比,本文提出的水印算法可以达最优或者次优,而且提取的水印NC值均超过了0.8;而从文献中的8种水印算法的抗攻击性能上看,其算法的水印效果均参差不齐,抗攻击性不稳定。对比结果表明,提出的水印算法具有较好的鲁棒性。(2)在抗压缩和高斯噪声攻击方面,利用提出的算法提取水印的NC值明显高于其它,表明其鲁棒性性能明显好于其它几种方法。综合攻击测试结果和算法对比结果表明:提出的水印算法是可行的、有效的,而且具有较好的透明性和鲁棒性。

分析以上结果,究其原因,主要是:由于人眼对纹理复杂的图像感知时,其掩蔽效果更明显,使得图像视觉冗余更大,将水印嵌入其中可以更好的增加嵌入量,而不降低视觉透明性,所以,提出

的算法首先利用图像的纹理特征,将图像进行分割,并将水印嵌入到纹理复杂的部分;同时,利用人眼觉察阈值控制水印的嵌入量,可以满足在不影响视觉透明性的条件下,实现水印嵌入量达到极限,其有力的提高了水印的鲁棒性;此两个方面能够有效的解决水印容量与鲁棒性、透明性之间的平衡问题,从而实现较好的水印效果。

5.3 实物应用

为了更好地说明提出算法的实用性,将该算法应用于实际实物图像水印中。方法为:选取任意需要防伪的图标,以其为原始图像,选取任意标志为水印信息,采用以上方法嵌入水印;为了用于实际,对嵌入水印的图像进行打印,并扫描,得到扫描后的含水印图;再采用提出的方法进行水印提取。实验采用大小为 128×128 像素的陕西理工大学校徽为原始水印、 $256 \times$

256 像素的普洱茶图标为原始图像,结果如图 6。分别计算含水印图、打印扫描后的含水印图与原图之间的 PSNR,以及计算从打印扫描后的

含水印图中提取的水印信息与原始水印之间的相似值 NC,其结果分别为 42.193 2 dB、26.323 8 dB 和 0.689 3。

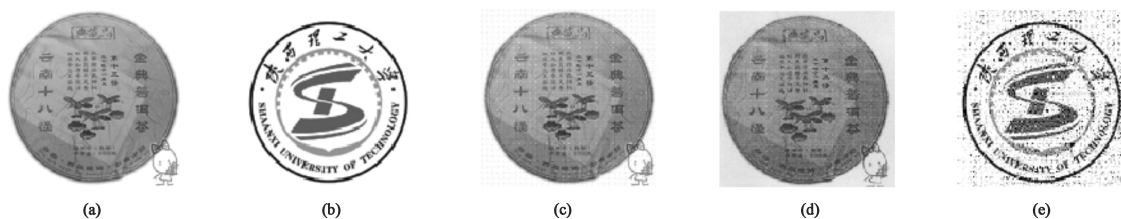


图 6 提出的算法在实际中的应用。(a)原始图像,(b)原始水印,(c)嵌入水印后的图像,(d)嵌入水印的图像经打印和扫描后的图像,(e)打印扫描后提取的水印

Fig.6 Proposed algorithm is applied in practice. (a) Original image, (b) original watermark, (c) watermarked image, (d) the watermarked image is printed and scanned, (e) the watermark extracted after printing and scanning

从实物图像的实验结果上分析,主观上,对于打印扫描后的含水印图,除了图像变暗外,人眼几乎不能分辨其与原图之间的差异,表明其水印透明性效果较好;而且,从打印扫描后提取的水印效果上看,除了因为打印扫描带来的噪声外,提取的校徽水印仍较清晰可见。客观上,打印扫描后含水印图的 PSNR 值接近于 30 dB,提取的水印的 NC 值达到 0.689 3,表明含水印图具有较好的透明性,提取的水印在一定的误差范围内仍能有效的鉴定印刷品的真伪。综上所述,表明提出算法是一种有效可行的水印技术方案。

6 结 论

本文结合人眼对比敏感度视觉特性和图像的纹理特征,提出了一种彩色图像的水印算法;算法首先利用图像的纹理特征,将图像进行分割,并将

水印嵌入到纹理复杂的部分;再利用人眼对比敏感阈值控制水印的嵌入量,实现水印的嵌入,最后利用逆过程实现水印的提取。并对 3 幅不同复杂纹理的图像进行仿真实验,且采用 5 种方式,对 3 幅含水印图进行攻击测试,结果表明,在没有攻击下,含水印图的 PSNR 和 SSIM 分别超过 42 dB 和 0.99,提取水印的 NC 值均在 0.99 以上;在较强的攻击(中间剪切 1/4 区域、旋转 90°和 QF=20%的压缩)下,提取的水印的 NC 值仍能达到 0.8 以上。表明提出的算法具有较好的视觉透明性、水印检测的有效性和鲁棒性。且与近些年国内外报道的 8 种水印算法进行了对比,结果表明,本文提出的水印算法在多种攻击下均可以达最优或者次优。综合仿真和对比结果表明,在水印嵌入过程中,文中的算法能够有效解决水印容量与视觉透明性、抗攻击性之间的平衡,其是一种行之有效的图像水印算法。

参 考 文 献:

- [1] NIU P P, WANG X Y, YIN Q B, *et al.* A new robust color image watermarking method for multimedia technology enhanced learning protection [J]. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2016, 31(5): 2553-2564.
- [2] TSAI M J, LIU J, YIN J S, *et al.* A visible wavelet watermarking technique based on exploiting the contrast sensitivity function and noise reduction of human vision system [J]. *Multimedia Tools and Applications*, 2014, 72(2): 1311-1340.
- [3] 吴佳楠,王世刚,张迪,等.融合量子密钥真随机性的二值图像水印[J].*光学精密工程*,2017,25(11):2968-2974.
WU J N, WANG S G, ZHANG D, *et al.* Binary image watermark fusionbased on quantum key true randomness [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2017, 25(11): 2968-2974. (in Chinese)
- [4] 奚溪.基于感兴趣区域的数字水印技术[D].上海:上海师范大学,2008.

- XI X. The digital watermark based on the region of interest [D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2008. (in Chinese)
- [5] 马巧斌. 基于感兴趣区域数字水印嵌入算法的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- MA Q E. Research of the digital image watermarking algorithm based on region of interest [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2013. (in Chinese)
- [6] 侯翔, 闵连权. 基于 SURF 特征区域的鲁棒水印算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2017, 42(3): 421-426.
- HOU X, MIN L Q. A Robust watermarking algorithm using SURF feature regions [J]. *Geomatics And Information Science of Wuhan University*, 2017, 42(3): 421-426. (in Chinese)
- [7] MAK BOL N M, KHOO B E, RASSEM T H. Block-based discrete wavelet transform-singular value decomposition image watermarking scheme using human visual system characteristics [J]. *IET Image Processing*, 2016, 10(1): 34-52.
- [8] ANDALIBIM, CHANDLER D M. Digital image watermarking via adaptive logo texturization [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2015, 24(12): 5060-5073.
- [9] PATVARDHAN C, KUMAR P, LAKSHMI C V. Effective Color image watermarking scheme using YCbCr color space and QR code [J]. *Multimedia Tools and Applications*, 2017, doi: 10.1007/s11042-017-4909-1.
- [10] SHEN H, CHEN B. From single watermark to dual watermark: a new approach for image watermarking [J]. *Computers & Electrical Engineering*, 2012, 38(5): 1310-1324.
- [11] ERNAWAN F. Robust image watermarking based on psychovisual threshold [J]. *Journal of ICT Research and Applications*, 2016, 10(3): 228-242
- [12] 姚军财. 基于人眼对比敏感视觉特性的彩色图像盲水印算法[J]. 液晶与显示, 2017, 32(8): 642-649.
- YAO J C. Blind watermarking algorithm for colour image based on human visual contrast sensitivity characteristics [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2017, 32(8): 642-649. (in Chinese)
- [13] 陈燕芹, 段锦, 祝勇, 等. 基于纹理特征的图像复杂度研究[J]. 中国光学, 2015, 8(3): 407-414.
- CHEN Y Q, DUAN J, ZHU Y, *et al.* Research on the image complexity based on texture features [J]. *Chinese Optics*, 2015, 8(3): 407-414. (in Chinese)
- [14] YAO J C. Measurements of human vision contrast sensitivity to opposite colors using a cathode ray tube display [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2011, 56(23): 2425-2432.
- [15] WESTLAND S, OWENS H, CHEUNG V, *et al.* Model of luminance contrast - sensitivity function for application to image assessment [J]. *Color Research and Application*, 2006, 31(4): 315-319.
- [16] NADENAU M. Integration of human color vision models into high quality image compression [D]. Switzerland: École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2000.
- [17] WANG Z Y, LI L Y, WU S, *et al.* A new image quality assessment algorithm based on SSIM and multiple regressions [J]. *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, 2015, 8(11): 221-230.

作者简介: 申静(1981—), 女, 山东微山人, 副教授, 硕士, 从事人工智能和图像处理方面的研究。E-mail: shenjingtg@163.com