

基于人眼视觉特性的包装印刷图像水印技术研究

申静

(陕西理工学院, 汉中 723000)

摘要: 结合图像 DCT 特征和 Dally 拟合的 HVS 模型, 提出了一种适合包装印刷图像的水印方案。编程仿真实验结果表明, 嵌入水印后的图像与源图像几乎一样, 提取的水印与原始水印几乎相同, 人眼无法分辨; 对含水印的图像进行了压缩和剪切攻击测试, 结果表明嵌入的水印具有较好的鲁棒性和透明性; 从嵌入方案上看, 嵌入的水印具有不可预测性。并对含水印图像进行了抗打印和扫描攻击测试, 结果表明提出的水印方案在一定的误差范围内能够检测出包装印刷品的真伪。综合实验结果表明, 提出的水印方案是一种较好的、适合于包装印刷品防伪的水印技术方案。

关键词: 数字水印; 人眼视觉特性; 离散余弦变换; 包装印刷图像

中图分类号: TS853+.6; TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)01-0113-06

Packaging and Printing Images Watermark Technology Based on Human Vision Characteristics

SHEN Jing

(Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723000, China)

Abstract: A watermark scheme for the packaging and printing images was put forward according to the image characteristic of discrete cosine transform and human visual model fitted by Dally. Simulation experiments results showed that the watermark image and source image, the extracted watermark and original are almost the same; human eye can not distinguish. Attacking experiments of compression and cutting showed that the embedded watermark has better robustness and transparency; from embedded solutions, the embedded watermark is provided with the unpredictability. The experiments of printing and scanning image embedded watermark showed that proposed watermark scheme can detect the authenticity of presswork in a certain error range. Comprehensive results showed that the proposed watermark scheme is a good watermark technology and suitable for presswork anti-counterfeit.

Key words: digital watermark; human vision system characteristics; discrete cosine transform; packaging and printing images

信息技术和计算机网络的迅速发展,使得数字多媒体信息的交流达到了前所未有的深度和广度,随之而来的是人们可以毫无限制地任意编辑、修改、复制和散布数字信息,由此引起的信息安全问题、盗版问题及版权等问题亟待解决。同样,在出版印刷领域,防伪包装印刷技术也是一个研究的热点。较之传统的防伪技术,数字水印技术是近些年来兴起的前沿研究领域,在版权保护和认证方面得到了迅速发展,已

成为信息安全研究领域的一个焦点,但是在目前市场上用于印刷品防伪的数字水印产品,在技术上还不成熟,仍有大量的工作有待进一步地研究^[1-7]。

在包装印刷行业中,数字水印的防伪方法是将特定的信息(如版权信息、序列号、公司标志等)嵌入到要包装印刷的图像中,这种信息的嵌入不影响源图像的使用价值且能通过特定的恢复方法提取出原来嵌入的信息,通过提取的隐藏信息以确认内容的创建

收稿日期: 2011-07-01

基金项目: 陕西省教育厅专项科研项目(2010JK464);陕西省自然科学基金资助项目(2011JE012)

作者简介: 申静(1981—),女,山东微山县人,硕士,陕西理工学院讲师,主要从事智能系统和图像处理方面的研究。

者和购买者,检测其真实性、完整性,以达到防伪、版权保护等目的^[3-9];但是要求嵌入水印后的图像和原始图像在视觉上无法区别,外观上几乎完全一样,且提取的水印能在一定的人眼误差范围内容易辨别。基于此笔者提出了一种结合人眼视觉特性(HVS)和离散余弦变换(DCT)的包装印刷图像的水印方案,并通过编程仿真、压缩和剪切攻击测试及打印和扫描实验,验证了水印的鲁棒性、透明性和安全性。

1 DCT 变换

在图像技术研究中,离散余弦变换(DCT)将图像表示为具有不同振幅和频率的余弦曲线之和,在数字化图像显示时,一般用其二维系数矩阵来描述,逆离散余弦变换则是把系数矩阵变换成对应的图像。其正变换和逆变换的表达式如下^[4]:

$$\begin{aligned} \text{正变换: } B_{pq}(p, q) &= \\ a_p a_q \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} A_{mn}(m, n) \cos \frac{\pi(2m+1)p}{2M} \cos \frac{\pi(2n+1)q}{2N} \\ \text{逆变换: } A_{mn}(m, n) &= \\ \sum_{p=0}^{M-1} \sum_{q=0}^{N-1} a_p a_q B_{pq}(p, q) \cos \frac{\pi(2m+1)p}{2M} \cos \frac{\pi(2n+1)q}{2N} \end{aligned} \quad (1)$$

式中: $0 \leq m \leq M-1, 0 \leq n \leq N-1, 0 \leq p \leq M-1, 0 \leq q \leq N-1$ 。

2 人眼视觉特性

人眼对比度敏感视觉特性是人眼视觉系统空间特性的主要指标,在图像技术研究中,利用此特性研究的比较少^[8-11]。人眼对比度敏感视觉特性一般采用对比度敏感函数(CSF)来定量描述,CSF 是用不同条件下的对比度敏感值(即对比度觉察阈值的倒数)与空间频率的关系来表示,而人眼对比度敏感值到目前为止还无法直接测量。一般采用心理物理学的方法来确定,即用目标光栅刚好被人眼觉察而又不能完全分辨时的对比度值的倒数来定量表示,但是其受到多个方面的影响,如观察距离、光栅亮度、观察时人眼瞳孔直径等诸多外在因素,以致不同的研究者得出的人眼对比度敏感值及 CSF 模型有一定差异,但是通过大量实验研究,普遍认为 Dally 等人得出的多参数

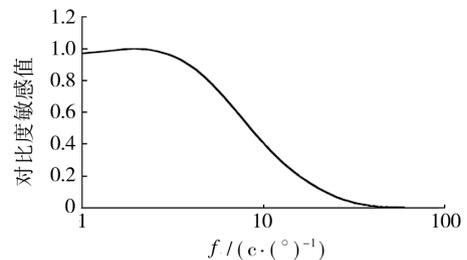
复合模型是到目前为止最符合人眼视觉特性的,一般称之为 Dally 模型^[9-11],其表达式为:

$$\text{CSF}(f, L, i^2) = \{ [3.23(f^2 \cdot i^2)^{-0.3}]^5 + 1 \}^{-0.2} \cdot A_1 \epsilon f \cdot \exp(-B_1 \epsilon f) \cdot \sqrt{1 + 0.06 \exp(B_1 \epsilon f)} \quad (2)$$

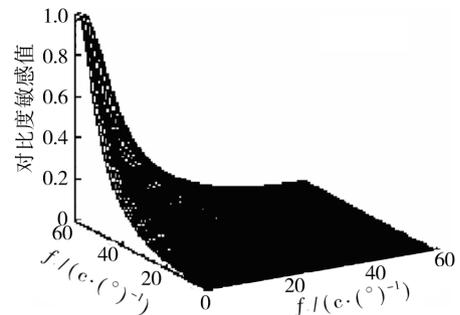
式中: $A_1 = 0.801 \left(1 + \frac{0.7}{L}\right)^{-0.2}$, $B_1 = 0.3 \cdot \left(1 + \frac{100}{L}\right)^{0.15}$; f 为空间频率($c/(\circ)$); L 是光栅平均亮度(cd/m^2); i^2 为图像的大小(假设图像为正方形), ϵ 为频率缩放常量(对于亮度 CSF, 等于 0.9)。如果考虑到人眼的适应性调节、观察时人眼瞳孔直径、光栅条纹方向选择,对式(2)进行改进,其主要为对 f 进行修正,修正后为式(3)。

$$f(d, e, \theta) = \frac{f}{r_d r_e r_\theta}, \quad r_d = 0.856d^{0.14}, \quad r_e = \frac{1}{1 + 0.24e}, \quad r_\theta = \frac{1 - 0.78}{2} \cos(4\theta) + \frac{1 + 0.78}{2} \quad (3)$$

其中: d 为观测距离(m); e 是图像成像在人眼视网膜中位置偏离中央凹的离心率; θ 是光栅条纹方向角。当亮度为 $100 \text{ cd}/\text{m}^2$, 观测距离为 0.5 m 时,对人眼对比度敏感值归一化后,其对应的 CSF 模型见图 1。



a 二维图像



b 三维图像

图 1 Dally 等人拟合的 CSF 数学模型

Fig. 1 CSF mathematical model diagram fitted by Dally

为了在图像水印技术中得到应用,对上述的 CSF 模型进行以下处理:①因为源图像是采用 DCT 变换,

变换后的频谱图对应的基频图形是明暗的竖条纹和水平条纹,对于竖条纹和水平条纹,人眼的敏感程度是相同的,则当光栅条纹方向角 θ 是 $\pi/2$ 时, $r_\theta=1$;② Dally 等人拟合的 CSF 数学模型主要是采用 Van Nes 和 Bouman 的测试结果,其测试目标是单眼通过 2 mm 人工瞳孔观察,则图像成像在人眼视网膜中位置偏离中央凹的离心率为 1 mm;③式(2)中的 L 是光栅的平均亮度,对于用显示器显示的图像,离散化后的灰度量化级数分为 0~255,共 256 级,则必须找出平均亮度和离散化后的量化级数之间的关系;根据显示器显示亮度的特点,在驱动值稍大时呈线性变化,且显示器在日常运用时,最大亮度一般设置为约 100 cm/m^2 ,则不同的图像量化级数 D 对应的亮度值可用式(4)求出。

$$L = \frac{D}{256} \times 100 \quad (4)$$

3 基于人眼视觉特性的水印方案

图像水印技术的实质是在源图像信息中载入另外一个标记信息,而利用 HVS 的图像水印技术的优势在于,使得欲添加的标记信息能最大量地被嵌入;利用变换域进行水印的原理即是修改变换域系数,嵌入标记信息,再经反 DCT 变换恢复重建图像,修改的系数在图像空间域中表现为亮度的改变,则要求恢复重建的图像经人眼观察不能觉察出图像失真,以保持较好的透明性,即需要知道频谱图每一频率的最小人眼觉察误差(JND 阈值)。方案先对大小为 $M \times N$ 的源图像进行 8×8 大小分块,再对每一块进行 DCT 变换,则每一块变为频谱图 $I_i (i=1, 2, 3, \dots, M \times N / 8 \times 8)$,表示为 DCT 变换系数矩阵 $M_{I_i} (i=1, 2, 3, \dots, M \times N / 8 \times 8)$ 。由于每一块频谱图的大小为 8×8 ,且每一块的平均亮度不同,则利用 HVS 可计算出每块频谱图中每个频率的 JND 阈值,对应于每一块组成 JND 阈值矩阵 $M_{JND_i} (i=1, 2, 3, \dots, M \times N / 8 \times 8)$ 。由于人眼对中频的目标比较敏感,且图像经 DCT 变换后源图像的主要信息集中在中低频上,则提取 JND 阈值矩阵和频谱图的 DCT 变换系数矩阵中的中频对应的值,组成新的一个一维 JND 阈值矩阵 M_{J_1} 和一个一维系数矩阵 I_{J_1} ,再把标记水印信息变为一维矩阵 W ,并且把其中一个元素 $W(i)$ 与 JND 阈值矩阵 M_{J_1} 中所有元素进

行对比。如果 $kW(i) \leq M_{J_1}(j)$ (k 为嵌入水印强度),表明水印信息嵌入该点后人眼不能觉察。在实验中发现:对于每一个 $W(i)$,在 M_{J_1} 中可能有多个位置的 $M_{J_1}(j)$ 使得 $kW(i) \leq M_{J_1}(j)$,或者对于每一个 $W_{J_1}(j)$,有多个 $W(i)$ 使得 $kW(i) \leq M_{J_1}(j)$,则对比 $kW(i)/I_{J_1}(j)$ 值,找出最大的比值所对应的位置 j 作为嵌入点,并且嵌入到系数矩阵 $I_{J_1}(j)$ 中。当所有标记水印信息都嵌入完时,再把 I_{J_1} 中元素归位到每一个频谱图的系数矩阵 M_{I_i} 中,得到新的矩阵 $M_{I_{w_i}}$,再对每块大小 8×8 的矩阵 $M_{I_{w_i}}$ 进行反 DCT 变换,恢复重建图像,即实现了水印的嵌入。利用上述过程的逆过程可以提取水印信息。嵌入和提取水印的流程见图 2 和 3。

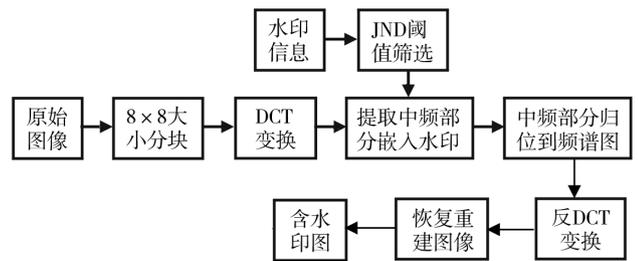


图 2 水印的嵌入流程

Fig. 2 Flow chart for embedding watermark

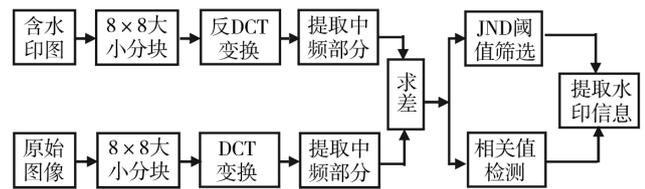


图 3 水印的提取流程

Fig. 3 Flow chart for extracting watermark

4 实验

选取大小为 256×256 的 Barbara 图作为包装印刷图像,以大小为 128×128 的卡斯基图标作为水印信息,根据上面提出的方法采用 MATLAB 编程进行嵌入和提取,实验结果见图 4。从图 4 可以发现,人眼无法分辨出源图像和嵌入水印的图像,且从嵌入水印的图像中提取的水印信息与原始水印信息一致。

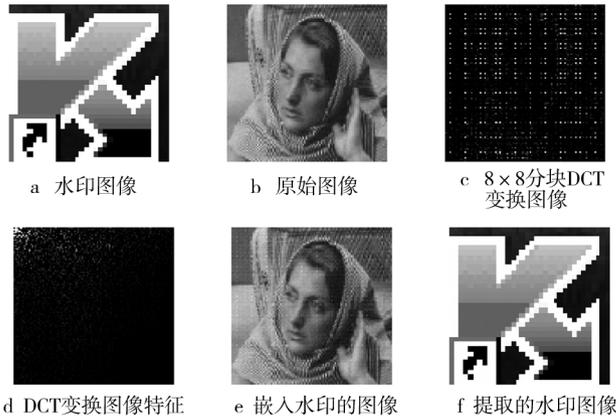


图4 图像嵌入和提取水印的实验过程及结果

Fig. 4 Process and results of watermarks embedding and extracting experiments

5 攻击测试

在包装印刷过程中,经常对图像进行压缩和剪切等操作,则要求在压缩和剪切等攻击后,源图像仍能检测出其水印信息。在图像水印技术中,在客观评价上一般采用峰值信噪比(PSNR)来评价嵌入水印后的图像与原始图像间的差异。根据 HVS,一般 PSNR ≥ 30 dB 时,图像水印的隐蔽性较好,人眼几乎不能分辨其差异,且 PSNR 越大,隐蔽效果越好。PSNR 的计算见式(5),其中 I 代表原始图像, I' 代表嵌入水印后的图像。为了客观评价从嵌入水印的图像中提取的水印信息图与原始水印信息图的一致性,一般采用相似度(NC)来定量的分析,NC 值取 0~1 之间的值,NC 值越大,表明两图像越相似,提取的水印信息效果越好。相似度的计算公式见式(6),其中 W 代表原始水印图, W' 代表提取出的水印图^[4]。

$$PSNR = 10 \lg \frac{M \times N \times 255 \times 255}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I(i,j) - I'(i,j)]^2} \quad (5)$$

$$NC = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N W(i,j)W'(i,j)}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N W(i,j)^2} \quad (6)$$

对嵌入水印后的图像进行不同质量因子(QF)的压缩和不同位置的剪切处理,并提取水印信息,结果见图5和图6。根据式(5)和式(6)分别计算其压缩和剪切处理后的图像与原始图像的 PSNR,及从压缩和剪切处理后的图像中提取的水印信息图与原始水印信息的相似度,计算结果见表1和2。

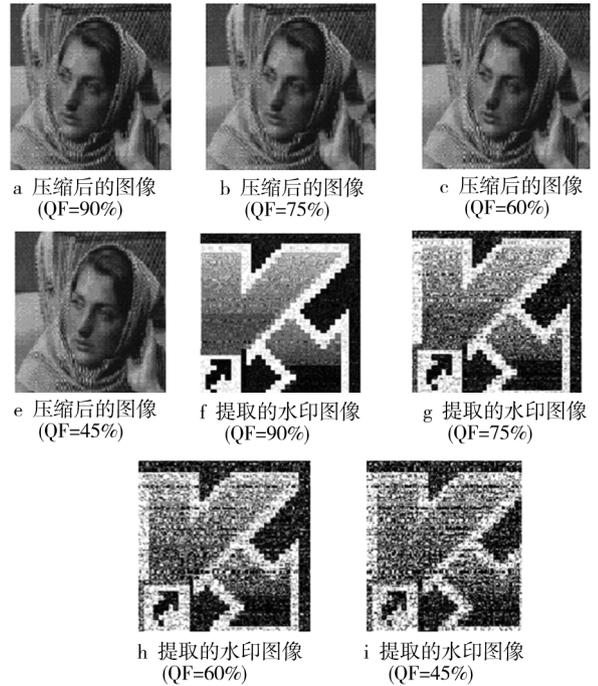
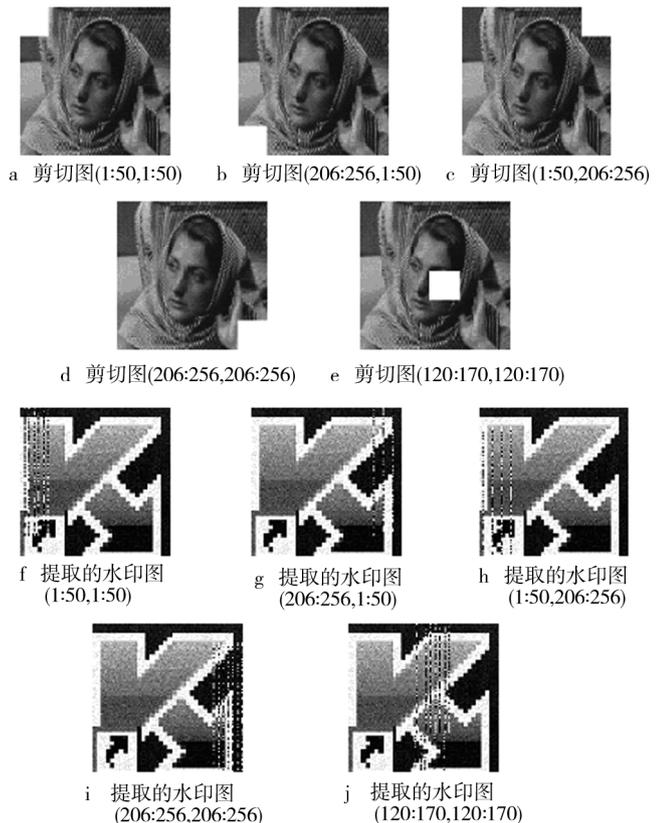
图5 含水印图像经不同质量因子 JPEG 压缩攻击的实验结果
Fig. 5 Experiment results of watermark embedded images attacked by JPEG compression of different quality factors图6 含水印图像经不同位置剪切攻击的实验结果
Fig. 6 Experiment results of watermark embedded images attacked by cutting in different position

表 1 不同质量因子 JPEG 压缩攻击对含水印图像的 PSNR 和 NC 的影响

Tab.1 Influence of JPEG compression attack by different quality factors on PSNR and NC of watermark embedded images

压缩质量因子(QF)/%	45	60	75	90
压缩攻击后的含水印图像与源图像的 PSNR	32.653 0	35.826 6	38.782 3	41.131 6
提取的水印图与原始水印图的 NC	0.682 6	0.780 1	0.889 7	0.978 0

表 2 不同位置的剪切攻击对含水印图像的 PSNR 和 NC 的影响

Tab.2 Influence of cutting attack in different position on PSNR and NC of watermark embedded images

剪切位置	左上角	左下角	右上角	右下角	中间任意
	(1;50; 1;50)	(206;256; 1;50)	(1;50; 206;256)	(206;256; 206;256)	(120;170; 120;170)
剪切后的含水印图像与源图像间的 PSNR	31.543 0	32.346 6	30.954 4	31.373 0	29.896 5
提取的水印图与原始水印图间的 NC	0.908 3	0.951 0	0.871 3	0.897 5	0.813 5

上面计算的结果表明,含水印的图像经过不同质量因子的压缩和不同位置的剪切处理后,PSNR 和 NC 都能达到较高水平,特别是剪切攻击,在不同位置的剪切攻击下,提取的水印信息图的相似度均达到 0.8 以上;且从直观上看,剪切和压缩攻击后的含水印图像与源图像差异较小,提取的水印信息图仍然清晰可见。表明实验提出的水印方案具有较好的鲁棒性和透明性。

6 在包装印刷防伪技术中的应用

在日常生活中,包装印刷品最常见的防伪技术是利用防伪商标来进行防伪,当需要检测包装印刷品的真伪时,通过提取商标内的水印信息来进行验证。仿真实验选取大小为 256×256 的普洱茶的商标图作为原始图像,以大小为 128×128 的卡巴斯基图标为原始水印信息,原始图像嵌入水印信息后组合在一起作为防伪商标。根据上面提出的方法,采用 MATLAB 编程进行水印嵌入,获得嵌入水印后的图像,见图 7c,再对含水印图像进行打印,打印后的含水印图像即可以看成是日常生活中常见的包装印刷品的防伪商标的一种,打印后用爱普生 Perfection V300 Photo 扫描仪扫描,再从扫描的防伪商标中提取水印信息,见图 7e。图 7d 是扫描后的含水印图像(即扫描后的防伪商标)。计算嵌入水印后的图像(图 7c)和扫描后的防伪商标与原始图像之间的 PSNR,结果分别为 46.552 5 和 27.029 2,从扫描的防伪商标中提取的水印信息与原始水印信息之间的相似度为 0.661 6。

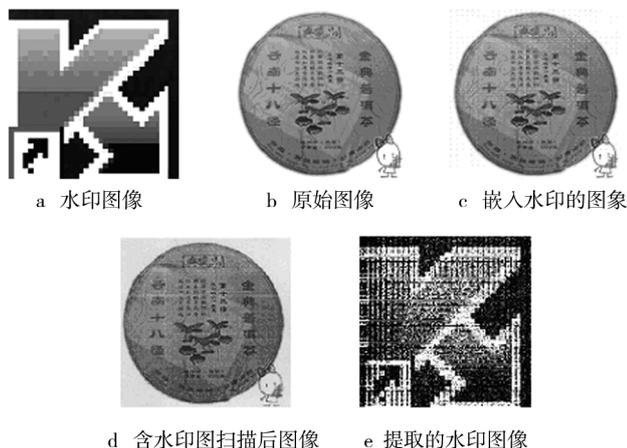


图 7 含水印图像抗打印和扫描攻击的实验结果
Fig.7 Experiment results of watermark embedded images attacked by printing and scanning

从实验结果上看,从主观上除了扫描后的防伪商标图像有些变暗,人眼不能分辨其与原始图像的差异,且其 PSNR 接近 30 dB,表明防伪商标具有较好的透明性;提取的水印信息图与原始水印虽然不能达到理论上的一致,有一定差异,但提取的水印信息仍然比较完整,相似度达到 0.661 6,其在一定的误差范围内仍能检测出包装印刷品的真伪,从而能够较好地实现包装印刷品的防伪。提出的水印方案是一种较好的且适合于包装印刷品防伪作用的水印技术方案。

7 结论

结合图像 DCT 特征和 Dally 拟合的 HVS 模型,

提出了一种适合包装印刷图像的水印方案。方案首先对源图像进行了子块划分和 DCT 变换,利用 HVS 嵌入和提取水印信息。并通过编程仿真实验,结果获得嵌入水印后的图像与源图像及提取的水印和原始水印几乎一样,人眼无法分辨;然后通过压缩和剪切攻击测试,计算获得的 PSNR 均超过 30 dB, NC 值均能达到 0.8 以上,计算结果说明嵌入的水印具有较好的鲁棒性和透明性,而且从嵌入方案上看,嵌入的水印具有不可预测性;最后对含水印图进行打印和扫描,以及从扫描的含水印图中提取水印的实际操作实验,实验结果为防伪商标与原始图像之间的 PSNR 达到 27.029 2,从防伪商标中提取水印的相似度为 0.661 6,表明提出的水印方案在一定的误差范围内能够检测出包装印刷品的真伪,在一定程度上满足了包装印刷品对防伪技术的要求,达到了保护真品的目的。综合表明提出的水印方案是一种较好的且适合于包装印刷品防伪作用的水印技术方案。

参考文献:

- [1] 肖亮,韦志辉,吴慧中.一种利用人眼视觉掩盖的小波域数字水印[J].通信学报,2002,23(3):100-106.
XIAO Liang, WEI Zhi-hui, WU Hui-zhong. A Digital Watermarking in Wavelet Domain Utilizing Human Visual Masking[J]. Journal of China Institute of Communications, 2002,23(3):100-106.
- [2] 骆光林,肖锭,和克智.基于 MATLAB 对包装装潢图像压缩的研究[J].包装工程,2003,24(5):67-68.
LUO Guang-lin, XIAO Ding, HE Ke-zhi. Research on MATLAB for Compressing Packaging Images[J]. Packaging Engineering, 2003,24(5):67-68.
- [3] 黄继武,SHI Y Q,程卫东. DCT 域图像水印:嵌入对策和算法[J].电子学报,2000,28(4):57-60.
HUANG Ji-wu, SHI Y Q, CHENG Wei-dong. Image Watermarking in DCT: An Embedding Strategy and Algorithm [J]. Acta Electronica Sinica, 2000,28(4):57-60.
- [4] 郑方,章毓晋.数字信号与图像处理[M].北京:清华大学出版社,2006.
ZHENG Fang, ZHANG Yu-jin. Digital Signal and Image Processing [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.
- [5] 和克智,刘奇龙,赵鸿雁.包装印刷中 JPEG2000 标准实现的研究[J].包装工程,2006,27(1):79-83.
HE Ke-zhi, LIU Qi-long, ZHAO Hong-yan. Study on Realization of JPEG2000's in Packaging and Printing[J]. Packaging Engineering, 2006,27(1):79-83.
- [6] 徐绍虎.包装装潢图像小波去噪的实现[J].重庆工商大学学报(自然科学版),2008,25(3):247-249.
XU Shao-hu. Realization of Denoising Image in Packaging by Applying Wavelet Theory [J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Sciences Edition), 2008,25(3):247-249.
- [7] 姚军财.基于人眼视觉特性的印刷图像压缩技术研究[J].包装工程,2011,32(5):69-72.
YAO Jun-cai. Compression Technology of Printed Image Based on Human Vision Characteristics [J]. Packaging Engineering, 2011,32(5):69-72.
- [8] 周燕,金伟其.人眼视觉的传递特性及模型[J].光学技术,2002,28(1):57-59.
ZHOU Yan, JIN Wei-qi. The Transfer Characteristic of Human Visual System and Models [J]. Optical Technique, 2002,28(1):57-59.
- [9] NADENAU M. Integration of Human Colour Vision Models into High Quality Image Compression [D]. PhD Thesis, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland, 2000.
- [10] YAO Jun-cai. Measurements of Human Vision Contrast Sensitivity to Opposite Colors Using a Cathode Ray Tube Display [J]. Chinese Science Bulletin, 2011, 56 (23):2425-2432.
- [11] DALY S. The Visible Difference Predictor: An Algorithm for the Assessment of Image Fidelity. In: Digital Image and Human Vision [M]. Cambridge, MA: MIT Press, 1993:176-206.