

一种基于QR码的彩色图像数字水印

李毓彬, 孙刘杰, 包观笑
(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: **目的** 提出一种具有高度抗攻击能力的数字水印算法。 **方法** 将载体图像从RGB色空间转换到YCbCr色空间,以其Y通道作为嵌水印通道;将文字信息编码为QR码作为数字水印,再对其Y通道进行离散余弦变换;最后在其中频区域嵌入数字水印。 **结果** 该算法重建的水印图像与原水印相似度极高,NC值达到0.99。同时,水印的嵌入对图像质量影响很小,PSNR值高达42.3115,且能抵抗多种噪声的攻击。 **结论** 该数字水印技术兼具了水印的安全性与鲁棒性,能够基本满足各类数字作品版权保护的需要。

关键词: 数字水印; QR码; 离散余弦变换; 彩色图像

中图分类号: TS801.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)07-0091-05

A Novel Color Image Digital Watermarking Algorithm Based on QR Code

LI Yu-bin, SUN Liu-jie, BAO Guan-xiao

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: A new digital watermarking algorithm which can enhance the attack resistance ability of the color image was proposed. The watermarked host image in RGB mode was converted to the YCrCb color space, and luminance Y component was used as the embedded watermark channel. Literal information was encoded with QR code as the digital watermark, and then embedded into the intermediate frequency area in Y channel, which was previously subjected to DCT transformation. The experimental results showed that the similarity between the reconstructed watermark and the original watermark was very high, and the NC value reached 0.99. Meanwhile, the embedding of watermark had little effect on the image quality, with a PSNR value of 42.3115, and it could resist attack of various noises. The digital watermarking technology did not only keep the security and robustness characteristics of watermark, but could also meet the needs of copyright protection in all kinds of digital works.

KEY WORDS: digital watermarking; QR code; DCT transformation; color image

近几年来,数字信息化技术越来越多地应用于各行各业,如何高效地保护数字内容的版权成为研究热点。数字水印是将一些标识信息以某种方式嵌入数字载体当中,且不影响原载体的使用价值,不容易被探知和再次修改的一门技术。数字水印具有不可见性好、安全性高、灵活多变且成本较低的特点。

现今的数字媒体中,图像仍是其主要的载体,而彩色图像的水印算法更是近年来学者们研究与讨论的重点。王子煜等人^[1-2]曾提出利用离散小波变换方法将QR码作为数字水印,嵌入到载体图像二级小波分解后的中频系数中,以保证水印的鲁棒性与不可见性。该方法对于水印的抗噪声攻击能力不强,嵌入水

收稿日期: 2014-09-26

基金项目: 上海市教委科研创新重点项目(13ZZ111)

作者简介: 李毓彬(1990—),女,四川广元人,上海理工大学硕士生,主攻数字水印、图像处理。

通讯作者: 孙刘杰(1965—),男,安徽怀宁人,博士,上海理工大学教授、硕士生导师,主要研究方向为印刷机测量与控制技术、数字印刷防伪技术、光信息处理技术。

印后对图像质量影响较大,且提取的QR码水印也不能解码出原始文字信息。基于前人研究的基础,提出了以离散余弦变换与QR码数字水印相结合的彩色图像数字水印算法,该算法简单、操作性强,具有较强的鲁棒性,且对图像质量影响较小。

1 QR码及离散余弦变换

1.1 QR码

QR码(Quick Response, QR)^[3-7]又称快速响应矩阵码。这种二维码能够快速地读取,与之前的条形码相比能存储更丰富的信息,包括对文字、URL地址和其他类型的数据加密。QR码结构见图1,呈正方形,包括编码区、功能图形和空白区等3部分。其中,编码区是由文本信息转化的二进制码组成。

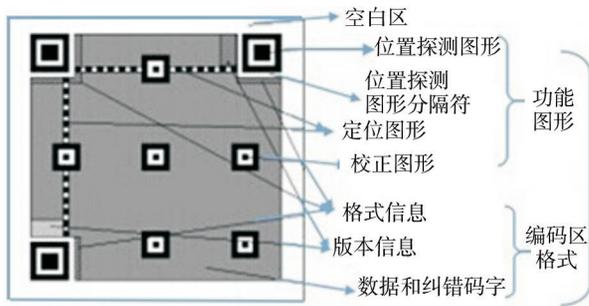


图1 QR码结构

Fig.1 QR code structure

目前,QR码中RS(Reed-Solomon)^[3]错误控制码是应用最为广泛的。RS码是一种重要的循环码,是分组中纠错能力最强的一种码。在QR码中利用RS纠错码,最高纠错等级能纠错30%的错误码字。条码在传输的过程中若受到污染,接收的码字组就会发生变化,若原始信息 $v(x)$ 在传输过程中受到的错误影响为 $A(X)$,则实际接收到的信号 $B(x) = v(x) + A(X)$,则原始信息 $v(x) = B(x) - A(X)$ 。设接收到的码字多项式^[5]为:

$$B(x) = \sum_{i=0}^{n-1} r_i x^i = r_0 + r_1 x + r_2 x^2 + \dots + r_{n-2} x^{n-2} + r_{n-1} x^{n-1} \quad (1)$$

错误的多项式:

$$A(x) = e_{n-1} x^{n-1} + e_{n-2} x^{n-2} + \dots + e_1 x^1 + e_0 \quad (2)$$

若含有 r ($0 \leq r \leq t$)个错误,其发生在未知错误位置 i_1, i_2, \dots, i_r 上,则有:

$$A(X) = Y_1 X^{i_1} + Y_2 X^{i_2} + \dots + Y_r X^{i_r} = \sum_{i=1}^r Y_i X^{i_i} \quad (3)$$

式中: $Y_i \in GF(q)$,GF为Galois Field伽罗瓦域。 X^i

称为错误位置,说明错误发生在 $B(x)$ 中的第 $n-i_i(x^{n-1}$ 的系数为第1位)位,错误值是 Y_i 。利用RS码纠错能力强的特点,使遭受攻击后的QR码数字水印依然能译出其原始文本信息。

利用QR码纠错能力强这一特点,将作为水印信息的文本信息转换为QR码水印嵌入载体图像,以提高数字水印的抗攻击能力,保证图像即使局部损坏也照样可以正确识别出原始水印所携带的标识信息。同时,用手机二维码扫描功能也能轻松识别出水印。

综上所述,将QR码作为水印嵌入彩色图像当中,不但能增加水印嵌入的容量,同时还能接受一定范围内的纠错能力,其携带的水印信息可以被完整地保存下来,保证了水印的鲁棒性。

1.2 离散余弦变换

离散余弦变换(DCT)^[8-15]是数据压缩常用的变换编码方法,其变换核为实数的余弦函数。DCT变换是一种正交变换,是近似最佳变换,很适合于图像压缩和随机信号处理。与离散傅里叶变换相比,DCT变换能够减少数据的相关性与冗余度。

设 $f(x, y)$ 为 $M \times N$ 大小的图像, (x, y) 为图像数据矩阵内某个数值的坐标位置; $F(a, b)$ 为DCT变换后矩阵内的某个数值, (a, b) 为DCT变换后矩阵内某个数值的坐标位置; c 为DCT变换后的频率系数。

DCT变换公式为:

$$F(a, b) = c(a) c(b)$$

$$\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cdot \cos \frac{(2x+1)\pi a}{2M} \cdot \cos \frac{(2y+1)\pi b}{2N}$$

$$a=0, 1, \dots, M-1$$

$$b=0, 1, \dots, N-1$$

(4)

DCT逆变换公式为:

$$f(x, y) = \sum_{a=0}^{M-1} \sum_{b=0}^{N-1} c(a) c(b) F(a, b) \cdot$$

$$\cos \frac{(2x+1)\pi a}{2M} \cos \frac{(2y+1)\pi b}{2N}$$

(5)

$$x=0, 1, \dots, M-1$$

$$y=0, 1, \dots, N-1$$

其中,

$$c(a) = \begin{cases} 1/\sqrt{M} & a = 0 \\ \sqrt{2/M} & a = 0, 1, \dots, M-1 \end{cases}$$

$$c(b) = \begin{cases} 1/\sqrt{N} & b = 0 \\ \sqrt{2/N} & b = 0, 1, \dots, N-1 \end{cases} \quad (6)$$

信息在通过DCT后,能量分布到频域的低、中和高频系数中,其中,能量主要集中在低频系数上,若把

QR码水印嵌入到低频系数上,会使图像的不可见性较差。若将其嵌入到高频系数上,又会使图像的抗攻击性较差。综合考虑,将QR码水印嵌入DCT变换后的中频系数上,以确保水印的鲁棒性与安全性。

2 算法实现

2.1 色空间转换

当前网络媒体传播所使用的彩色图像多为RGB模式,其3个颜色通道之间的相关性极强,若直接在其中任何一个通道中嵌入水印,都会对整体视觉效果构成较大影响。故在彩色图像的水印算法里,都会涉及将原始RGB色空间的图像转换到其他颜色空间的步骤^[16-19]。在常见的颜色空间中,YCbCr颜色空间^[16]中亮度与彩度分量能够分离开来,各通道间相关性最弱,与RGB色空间相互转换是线性的。基于此,选用YCbCr色空间中代表亮度的Y通道作为水印的嵌入通道。RGB色空间与YCbCr色空间的转换公式为:

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cr \\ Cb \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.257 & 0.504 & 0.098 \\ 0.439 & -0.368 & -0.071 \\ -0.148 & -0.291 & 0.439 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (7)$$

2.2 水印嵌入

在结合QR码、DCT变换及色空间转换^[16-20]的基础上,提出了一种彩色图像数字水印嵌入算法,其流程图见图2,具体步骤如下。

1) 根据上述算法,将文本信息通过Psytec QR Code Editor编码器译为QR码,作为待嵌入的数字水印图像。

2) 将RGB色空间的彩色载体图像转换到YCbCr色空间,提取亮度通道Y,作为水印嵌入通道。

3) 首先通过公式(4)对Y通道进行DCT变换,然后在其中频域嵌入QR码水印,接着通过公式(5)进行DCT逆变换得到含水印的灰度图像,最后将亮度通道与彩度通道进行合成,得到含水印的YCbCr色空间的彩色图像。

4) 通过色空间转换,将图像由YCbCr色空间转换回RGB色空间,得到含水印的彩色载体图像。

2.3 水印提取

水印的提取与嵌入一样,都需要将彩色图像由RGB色空间转换到YCbCr色空间,然后在Y通道通过



图2 嵌入水印算法流程

Fig.2 Algorithm flow chart of embedding watermark

公式(5)进行DCT逆变换。将提取的QR码通过译码器或者手机二维码扫描功能,读取其水印携带的信息,其流程见图3。

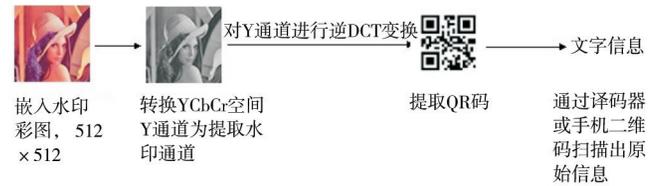


图3 提取水印算法流程

Fig.3 Algorithm flow chart of extracting watermark

3 实验

3.1 评价指标

1) 实验采用峰值信噪比 r_{PSNR} 作为评价原始彩色图像与嵌入水印后图像差别的指标。彩色图像的 r_{PSNR} 计算公式为:

$$r_{PSNR} = 10 \lg \frac{255^2}{[(S_{MSE}(R) + S_{MSE}(G) + S_{MSE}(B))/3]} \quad (8)$$

式中, S_{MSE} 为均方差,计算公式为:

$$S_{MSE} = \frac{1}{N \times N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [X^*(i,j) - X(i,j)]^2 \quad (9)$$

式中: $X^*(i,j)$ 为嵌入水印后图像R,G,B分量的像素值。

2) 采用相似度 f_{NC} 作为提取后水印与原始水印的相似性评价指标,计算公式:

$$f_{NC} = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N w(x,y) w'(x,y)}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N w(x,y) w(x,y)} \quad (10)$$

式中: $w(i,j)$ 为原始水印信息; $w'(i,j)$ 为提取的水印信息。

3.2 实验设计

选用RGB模式512像素×512像素的lena彩色图像作为载体图像,将文字信息usst编码为QR码,实验使用的QR码按照GB/T 18284—2000中相关规定编码。设定纠错等级为30%,再将QR码修改为128像素×128像素。利用以上水印嵌入与提取算法,嵌入水印后得到含水印的彩色载体图像与提取的水印,水印嵌入强度为0.1,实验用图像见图4。



图4 实验图像
Fig.4 The experiments image

实验结果表明,在未受到任何形式的攻击之前,原始彩色载体图像与嵌入水印后载体图像的PSNR值为42.3115,说明嵌入水印后彩色图像的水印不可见性好,肉眼无法识别出嵌入水印前后的变换,满足了人眼视觉的要求。同时,提取的QR码水印与原始QR码水印的NC值为0.9959,且能够被译出其携带的原始文字信息,故提取的水印与原始水印的相关性高。

为了进一步测试该算法的鲁棒性,对已嵌入水印的图像进行不同噪声攻击、JPEG压缩、直方图均衡化和剪切等常见的水印攻击,而后计算出载体图像的PSNR值与水印图像的NC值。添加各种攻击后含水印的载体图像与提取的水印见图5。水印攻击实验结果见表1。

表1的数据说明,提出的算法对于水印载体图像的质量有明显提高,水印也具有良好的不可见性。同时,在QR码水印遭到攻击的情况下,仍能提取出水印且准确地译出水印所携带的原始信息。由此可见,提出的数字水印算法具有更好的安全性与鲁棒性。



图5 受攻击后的载体图像及提取的水印
Fig.5 The attacked host images and the extracted watermarks

表1 水印攻击实验结果
Tab.1 Experimental results of watermarking attacks

攻击方式	文献[2]算法			提出算法		
	PSNR值	NC值	能否译码	PSNR值	NC值	能否译码
椒盐噪声5%	17.8891	0.9652	可以	27.3314	0.7101	可以
椒盐噪声10%	15.0616	0.8178	不可以	27.3732	0.6565	不可以
椒盐噪声15%	13.3453	0.6412	不可以	27.4123	0.6451	不可以
高斯噪声(0,0.01)	19.7070	0.9913	可以	27.2888	0.9481	可以
高斯噪声(0,0.02)	17.1112	0.9028	可以	27.2847	0.8848	可以
高斯噪声(0,0.03)	15.5857	0.7789	不可以	27.2848	0.8848	可以
高斯噪声(0,0.04)	14.5338	0.6686	不可以	27.2832	0.8722	可以
剪切1/4	11.2664	0.9991	可以	24.0769	0.9954	可以
剪切1/2	8.9546	0.5063	不可以	24.0738	0.9837	可以

4 结语

提出了一种针对彩色图像的QR码水印技术,将QR码作为数字水印,结合离散余弦变换,在载体图像的中频域嵌入水印,既兼顾了水印的不可见性,提高了其安全性能,又增强了水印的抗攻击能力,同时对载体图像的质量影响较小。从理论上分析了提出水印算法的可行性,通过Matlab仿真实验,对嵌入水印后的彩色图像添加高斯噪声、椒盐噪声、泊松噪声、斑纹噪声及JPEG压缩、直方图均衡化和剪切等攻击,结果表明,在抗噪声和剪切攻击方面具有更好的效果。

该算法简单、运算速度快,重建的水印与原始水印的相似度高,NC值达到0.9959,PSNR值高达42.3115,满足人眼视觉的要求。同时,该算法属于盲水印,提取水印时不需要原图像的参与,在各类数字作品的版权保护中具有广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] GB/T 1824—2000,快速响应矩阵[S].
GB/T 1824—2000,QR Code[S].
- [2] 王子煜,孙刘杰,李孟涛.强鲁棒性QR码水印技术[J].包装工程,2012,33(15):84—87.
WANG Zi-yu, SUN Liu-jie, LI Meng-tao. Improved QR Code Based Digital Holographic Watermark[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(15): 84—87.
- [3] 王子煜,孙刘杰.改进的基于QR码的数字全息水印[J].包装工程,2014,33(7):144—148.
WANG Zi-yu, SUN Liu-jie. Improved QR Code -based Digital Holographic Watermark[J]. Packaging Engineering, 2014, 33(7): 144—148.
- [4] FENG Xiao-fei, JI Xing-zhong. A Blind Watermarking Method with Strong Robust Based on 2D-barcode[C]// 2009 International Conference on Information on Technology and Computer Science, 2009: 452—453.
- [5] 冯汉禄,黄颖为,牛晓娇,等. QR码纠错码原理及实现[J]. 计算机应用, 2011, 31(1): 40—42.
FENG Han-lu, HUANG Ying-wei, NIU Xiao-jiao, et al. Principle and Implementa Implementation of Error Correcting Coding of QR Code[J]. Journal of Computer Applications, 2011, 31(1): 40—42.
- [6] VONGPRADHIP S, RUNGRAUNGLIP S. QR Code Using Invisible Watermarking in Frequency Domain[C]// 2011 Ninth International Conference on ICT and Knowledge Engineering, 2012: 47—52.
- [7] 白韬韬,刘真,卢鹏.基于QR码的抗几何攻击数字水印[J].包装工程,2013,33(13):104—107.
BAI Tao-tao, LIU Zhen, LU Peng. Geometrical Attack Resistant Digital Watermarking Based on QR Code[J]. Packaging Engineering, 2013, 33(13): 104—107.
- [8] CHENG Chau-jern, HWANG Wen-jiyi, ZENG Han-yi, et al. A Fragile Watermarking Algorithm for Hologram Authentication[C]// Journal of Display Technology, 2014: 319—327.
- [9] 林森,苑玮琦,方婷,等.基于离散余弦变换和主线分块能量的模糊掌纹识别[J].光电子·激光,2012,6(11):200—206.
LIN Sen, YUAN Wei-qi, FANG Ting, et al. Blurred Palmprint Recognition Based on DCT and Block Energy of Principal Lines[J]. Journal of Optoelectronics · Laster, 2012, 6(11): 200—206.
- [10] AKTER A, NUR E T, ULLAH M A. Digital Image Watermarking Based on DWT-DCT: Evaluate for a New Embedding Algorithm[C]// 2014: 80—86.
- [11] 赵亮,田维佳.基于DCT变换的数字水印算法研究[J].电脑开发与用,2012,50(11):15—17.
ZHAO Liang, TIAN Wei-jia. Study on Digital Watermark Algorithm Based on DCT[J]. Computer Development & Applications, 2012, 50(11): 15—17.
- [12] 刘丽,周亚健,张斌,等.基于DCT和SVD的QR码数字水印算法[J].红外与激光工程,2013,26(S2):304—311.
LIU Li, ZHOU Ya-jian, ZHANG Bin, et al. Digital Watermarking Method for QR Code Images Based on DCT and SVD [J]. Infrared and Laser Engineering, 2013, 26(S2): 304—311.
- [13] WANG Hui-qin, SHANG Fei, Ji Qi-chun, et al. Robust Digital Watermarking Adopting Barcode in Image[C]// The 1st International Conference on Information Science and Engineering, 2009: 660—662.
- [14] 王静,王冰.基于DCT域和纹理复杂度的图像水印算法[J].计算机工程,2011,38(18):49—51.
WANG Jing, WANG Bing. Image Watermark Algorithm Based on DCT Domain and Texture Complexity[J]. Computer Engineering, 2011, 38(18): 49—51.
- [15] AN Shao-feng, WANG Chun-yan. A Computation Structure for 2-D DCT Watermarking[C]// 2009: 60—66.
- [16] 孙刘杰,徐卓.一种基于Contourlet变换的彩色图像全息水印算法[J].包装工程,2013,34(9):10—13.
SUN Liu-jie, XU Zhuo. Novel Color Image Hologram Watermarking Algorithm Based on Contourlet Transform[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(9): 10—13.
- [17] 孙刘杰,李孟涛.基于CMYK颜色空间的光全息水印算法研究[J].包装工程,2012,33(9):27—32.
SUN Liu-jie, LI Meng-tao. Study on Light Holographic Watermarking Algorithm Based on CMYK Color Space[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(9): 27—32.
- [18] 李晨璐,孙刘杰,李孟涛.强鲁棒性全息水印算法[J].包装工程,2013,33(13):104—107.

频分量损坏图像修复中,提出的算法具有更高的修复视觉逼真效果,其结构相似度最高,有效消除了纹理不连续现象与块效应。

参考文献:

- [1] 王晓红,章婷.一种基于视觉感兴趣区域的彩色图像增强方法[J].包装工程,2014,35(3):84—88.
WANG Xiao-hong, ZHANG Ting. Color Image Enhancement Method Based on Visual Region of Interest[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(3): 84—88.
- [2] 刘晓燕,于惠钧,谭兮.基于双随机多变量高斯模型的Contourlet域贝叶斯图像估计[J].包装工程,2010,31(3):58—61.
LIU Xiao-yan, YU Hui-jun, TAN Xi. Bayesian Image Estimation Based on Dual Random Multivariate Gaussian Model in Contourlet Domain[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(3): 58—61.
- [3] 于海琦,刘真,张雷洪.样本特征对光谱图像重构影响的研究[J].包装工程,2014,35(13):144—149.
YU Hai-qi, LIU Zhen, ZHANG Lei-hong. Effects of Sample Characteristics on Spectral Image Reconstruction[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(13): 144—149.
- [4] KAWANAKA H, KOSAKA S. Image Reproduction Based on Texture Image Extension with Traced Drawing for Heavy Damaged Mural Painting[J]. Procedia Computer Science, 2013, 22(17): 968—975.
- [5] RAGHAVA M, AGARWAL A, RAO C. Spatial Anisotropic Interpolation Approach for Text Removal from an Image [J]. Multi-disciplinary Trends in Artificial Intelligence, 2013, 56(8): 153—164
- [6] 韩志科,王贵.基于方向场的指纹图像偏微分方程修补模型[J].计算机应用,2013,33(10):2886—2890.
HAN Zhi-ke, WANG Gui. Partial Differential Equation Model for Fingerprint Image Inpainting Based on Orientation Field[J]. Journal of Computer Application, 2013, 33(10): 2886—2890.
- [7] ZHOU Ya-tong, LI Lin, XIA Ke-wen. Research on Weighted Priority of Exemplar-based Image Inpainting[J]. Journal of Electronics (China), 2012, 29(1): 166—170.
- [8] NOORI H, SARYAZDI S. A Bilateral Image Inpainting [J]. IJST Trans Electr Eng, 2011, 25(E2): 95—108.
- [9] ZHOU Guang-ming, FENG Chun-sheng. The Steepest Descent Algorithm Without Line Search for P-Laplacian[J]. Applied Mathematics and Computation, 2013, 224(5): 36—45.
- [10] ZHOU Wei-jun, CHEN Xin-long. On the Convergence of a Modified Regularized Newton Method for Convex optimization with Singular Solutions[J]. Journal of Computational and Applied Mathematics, 2013, 239(1): 179—188.
- [11] WANG Xiao-tong, XU Guan-lei, MA Yue. Generalized Parseval's Theorem on Fractional Fourier Transform for Discrete Signals and Filtering of LFM Signals[J]. Journal of Signal and Information Processing, 2013, 4(3): 274—281.
- [12] KAMALI A, HASAN K M, ADAPA P. Distinguishing and Quantification of the Human Visual Pathways Using High-spatial-resolution Diffusion Tensor Tractography[J]. Magnetic Resonance Imaging, 2014, 32(7): 796—803.
- [13] BERTSSON F, BARAVDISH G. Coefficient Identification in PDEs Applied to Image Inpainting[J]. Applied Mathematics and Computation, 2014, 242(11): 227—235.
- [14] HAREESH A S, CHANDRASEKARAN V. Exemplar-based Color Image Inpainting: a Fractional Gradient Function Approach[J]. Pattern Analysis and Applications, 2014, 17(2): 389—399.
- [15] 徐敏,郑元林.基于SSIM的印刷图像质量评价研究[J].包装工程,2012,33(5):98—101.
XU Min, ZHEN Yuan-lin. Research of Printed Image Quality Based on SSIM[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(5): 98—101.
- [16] 陈丽娜,刘真.基于半色调特性的图像质量评价方法的研究[J].包装工程,2012,33(17):98—101.
CHEN Li-na, LIU Zhen. Study of Image Quality Assessment Based on Halftone Characteristics[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(17): 98—101.
- [17] 肖菲菲,刘真.基于半色调特性的图像质量评价方法的研究[J].包装工程,2012,33(13):104—107.
XIAO Fei-fei, LIU Zhen. Study of Image Quality Assessment Based on Halftone Characteristics[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(13): 104—107.
- [18] 肖菲菲,刘真.二维码防伪技术在可变数据印刷中的应用[J].包装工程,2011,32(21):102—109.
XIAO Fei-fei, LIU Zhen. Application of Anti-counterfeiting Technology Based on Two-dimensional Bar Code in Variable Data Printing[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(21): 102—109.
- [19] 李晨璐,孙刘杰.一种新的彩色图像变换域全息水印算法[J].包装工程,2013,34(9):84—88.
LI Chen-lu, SUN Liu-jie. New Color Image Holographic Watermarking Algorithm in Transform Domain[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(9): 84—88.
- [20] 肖菲菲,刘真.二维码防伪技术在可变数据印刷中的应用[J].包装工程,2011,32(21):102—109.
XIAO Fei-fei, LIU Zhen. Application of Anti-counterfeiting Technology Based on Two-dimensional Bar Code in Variable Data Printing[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(21): 102—109.

(上接第95页)

工程,2012,33(13):104—107.

LI Chen-lu, SUN Liu-jie, LI Meng-tao. Robust Holographic Watermarking Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(13): 104—107.

[19] 李晨璐,孙刘杰.一种新的彩色图像变换域全息水印算法[J].包装工程,2013,34(9):84—88.

LI Chen-lu, SUN Liu-jie. New Color Image Holographic Wa-