基于小波变换的数字水印技术

郭倩，陈广学，陈奇峰
（华南理工大学，广州 510640）

摘要：目的 研究一种基于二维码的信息化包装防伪技术。**方法** 按照QR编码规则，将文字信息编码生成含彩色底纹的QR码载体图像和QR码水印图像；对彩色二维码进行空间转换提取其亮度分量，对水印QR码图像进行混沌置乱，把置乱后的水印图像利用离散小波变换嵌入到载体图像亮度分量经二级小波变换后的中频系数中，形成嵌入水印后的彩色QR码图像；客户终端运用提取算法从彩色载体QR码图像中提取QR水印。**结果** 实验证明该算法具有较高的水印信息嵌入强度容忍度，并且可以抵抗旋转和剪切等几何攻击，对高斯噪声、椒盐噪声、低通滤波、均值滤波具有较强的鲁棒性。**结论** 将二维码和数字水印结合的防伪技术应用于包装安全领域，有利于识别伪劣假冒商品，达到产品安全保护的目的。

关键词： 彩色二维码；数字水印；鲁棒性；防伪技术；小波变换
中图分类号： TS853+.6　　**文献标识码：** A　　**文章编号：** 1001-3563(2015)19-0115-05

Digital Watermarking Technology Based on Wavelet Transform

GUO Qian, CHEN Guang-xue, CHEN Qi-feng
(South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

ABSTRACT: The aim of this study was to investigate an informationalized packaging anti-counterfeiting technology based on color QR code. First of all, the original information and watermark were transformed into QR code carrier image containing color shading and QR code watermark image according to the encoding principle, and then space conversion of the color QR code was conducted to extract its luminance component. Chaotic scrambling of the watermark QR image was then conducted, and the scrambled watermark image was embedded into the intermediate frequency coefficient after two-level discrete wavelet transform of carrier image luminance component, forming the watermarked color QR code image. Finally, customer terminal could extract the QR watermark from the color carrier QR code image using extraction algorithm. Experiments showed that this algorithm possessed relatively high watermark information embedding strength tolerance, and it could resist geometric attacks like rotation and cropping. Meanwhile it had relatively high robustness against Gaussian noise, salt and pepper noise, low-pass filtering and average filtering attacks. In conclusion, the application of anti-counterfeiting technology combining two-dimensional code and watermark in packaging safety field could facilitate the identification of fake and shoddy goods and the protection of product safety.

KEY WORDS: color QR code; digital watermark; robustness; anti-counterfeiting technology; wavelet transform

彩色二维码技术是在黑白二维码技术的基础上发展而来。在网络传输过程中非法复制、篡改、传播等侵权行为的出现，使得彩色二维码的版权保护引起了人们的广泛关注。将二维条形码技术和数字水印技术结合起来，可以提高二维条形码在防伪技术领域应用的深度和广度[1]。目前，国内外关于二维码

收稿日期： 2015-01-23
作者简介： 郭倩(1990—)，女，山东邹平人，华南理工大学硕士生，主攻印刷包装防伪技术。
通讯作者： 陈广学(1963—)，河南人，博士，华南理工大学教授、博导，主要研究方向为数字印刷与绿色包装技术。

和数字水印的研究，主要集中在黑白二维码和以黑白二维码为水印提高数字水印的嵌入容量和鲁棒性方面。何小龙等[2]通过对不同容错级别的QR码嵌入位数的测试，提出了一种改进的LSB算法。李黎等[3]提出了一种用嵌入强度可控的DCT中频系数比较法来重复多次嵌入水印信息的数字水印算法。孙丙等[4]提出一种利用结构微调法在条码的行列中分别嵌入水印信息的方法。这里提出一种适用于彩色二维码的离散小波变换嵌入二维码的数字水印算法。实验证明，该算法复杂度低，具有较强的鲁棒性和不可见性。

1 彩色二维码和水印QR码预处理

1.1 彩色二维码颜色空间转换

采用CIE1976Lab均匀颜色空间进行载体彩色二维码的预处理。主要考虑2个方面：从RGB空间转换到Lab均匀颜色空间，可以将彩色二维码分解为颜色和亮度分量，对亮度分量L的变换不会影响颜色分量；在色彩管理中，Lab均匀颜色空间作为标准颜色转换空间，可用于实现不同设备间颜色空间的转换。从RGB到Lab空间的转换包括RGB到XYZ转换和XYZ到Lab转换。计算RGB三基色的CIE1931标准色度学系统三刺激值X,Y,Z，转换公式为[7—8]：

$$\begin{cases} X = 0.490R + 0.310G + 0.200B \\ Y = 0.177R + 0.812G + 0.011B \\ Z = 0.010G + 0.990B \end{cases} \tag{1}$$

由XYZ颜色空间转换到Lab颜色空间的计算公式为：

$$\begin{cases} L = 116(Y/Y_0)^{1/3} - 16 \\ a = 500[(X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}] \\ b = 200[(Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3}] \end{cases} \tag{2}$$

$$\begin{cases} L = 903.3\dfrac{Y}{Y_0} \\ a = 3893.5\left(\dfrac{X}{X_0} - \dfrac{Y}{Y_0}\right) \\ b = 1557.4\left(\dfrac{Y}{Y_0} - \dfrac{Z}{Z_0}\right) \end{cases} \tag{3}$$

式中：X,Y,Z为像素点的三刺激值；X_0,Y_0,Z_0为CIE标准照明体的三刺激值；L为心理明度；a和b为心理色度。式(2)适用于$X/X_0,Y/Y_0,Z/Z_0>0.008\ 856$，式(3)适用于$X/X_0,Y/Y_0,Z/Z_0\leqslant 0.008\ 856$。

1.2 水印QR码混沌加密

混沌(Chaotic)是在确定性算法中出现的类似随机的过程。它是指非线性算法在没有外界随机因素影响的情况下，因算法的状态对初值的敏感性而产生的一种内在的随机性。一般来说，如果一个接近实际而没有内在随机性的模型仍然具有貌似随机的行为，就可以称这个真实物理系统是混沌的。混沌系统对初始值和系统参数非常敏感，其产生的混沌序列具有非周期性、类随机性、可精确再生及难以预测等特征。为了提高水印的加密性和增强水印的鲁棒性，选择一维Logistic映射对水印进行置乱预处理。定义一维Logistic映射为[9]：

$$x_{n+1}=\gamma x_n(1-x_n),\ \gamma\in[0,4],x_n\in(0,1),n=1,2,\cdots \tag{4}$$

这里，选择控制参数$\gamma=3.9$，$x_n=0.4$，产生一维Logistic混沌矩阵，对水印QR码进行混沌加密。其中，γ和x_n作为密匙。水印提取时需要解密密匙γ和x_n，把提取出的QR码反混沌置乱，得到最终提取出的水印图像。

2 彩色二维码数字水印嵌入与提取

2.1 数字水印嵌入

提出一种适用于彩色二维码为载体嵌入水印QR码的数字水印算法，具体嵌入步骤如下所述。

1）将文字信息“华南理工大学”按照QR码的编码规则生成大小为$M\times M$的彩色载体QR码和大小为$N\times N$的水印QR码。

2）利用Logistic混沌变换置乱水印序列，得到加密之后的水印序列，$w = w_1,w_2,\cdots,w_{M_1\times M_2}$。

3）对彩色二维码图像进行灰度化处理，将$M\times M$的原始彩色图像从RGB转换到CIEXYZ颜色空间，再从CIEXYZ转换到Lab颜色空间。由此获得亮度图像矩阵$\boldsymbol{L}$，对$\boldsymbol{L}$进行二级小波变换获得中频系数c_{H2}，并对c_{H2}作分块DWT变换。

4）在DWT域的第2级中频系数的各个子块内重复嵌入加密后的QR码。设定阈值R，$Q(i,j)$为对应子块第i行、第j列的像素值，mod为求余操作。

当嵌入的QR码水印位为0时有[9]：

$$Q'(i,j) = \begin{cases} Q(i,j) - \mathrm{mod}(Q(i,j),R) + R/4, & 0 \leqslant \mathrm{mod}(Q(i,j),R) < 3R/4 \\ Q(i,j) - \mathrm{mod}(Q(i,j),R) + 5R/4, & 3R/4 \leqslant \mathrm{mod}(Q(i,j),R) < R \end{cases}$$

当嵌入的QR码水印位为1时有:

$$Q'(i,j)=\begin{cases}Q(i,j)-\mathrm{mod}(Q(i,j),R)-R/4, & 0\leqslant \mathrm{mod}(Q(i,j),R)<R/4\\ Q(i,j)-\mathrm{mod}(Q(i,j),R)+3R/4, & R/4\leqslant \mathrm{mod}(Q(i,j),R)<R\end{cases}$$

5)将嵌入水印QR码信息的中频系数进行二级小波反变换重构,得到含有水印的彩色载体二维码的亮度信息。颜色空间由Lab转换为RGB,得到含有水印的彩色二维码。

2.2 数字水印提取

这里数字水印算法的提取不需要原始载体信息和原始水印信息的参与,属于盲提取。具体水印提取算法步骤如下所述。

1)将含有水印信息的彩色二维码由RGB颜色空间转换为Lab颜色空间,获得亮度分量信息L。

2)对亮度信息L进行二级小波变换获得中频系数c_{H2},并对c_{H2}做分块DWT变换。

3)根据$w=\begin{cases}0, & 0\leqslant \mathrm{mod}(Q'(i,j),R)<R/2\\ 1, & R/2\leqslant \mathrm{mod}(Q'(i,j),R)<R\end{cases}$,经多次判别提取水印信息。

4)应用混沌密匙进行反置乱变换得到QR码水印信息,并将提取的QR码进行解码。

3 仿真实验

为了验证提出算法的有效性,在Matlab 7.0环境下对图像实施仿真实验。原始彩色二维码选用汉字“华南理工大学”编码生成的大小为560像素×560像素的绿色二维码,水印二维码选用“华南理工大学”编码生成的大小为140像素×140像素的黑白二维码。

采用适用于彩色图像的峰值信噪比PSNR值(r_{PSNR})和相关失真度量中的归一化相关函数NC值(f_{NC})来度量嵌入水印彩色载体QR码的不可见性和提取水印的有效性。计算公式为[10—11]:

$$r_{\mathrm{PSNR}}=10\ \lg\frac{255^2}{(m_{\mathrm{MSE}}(R)+m_{\mathrm{MSE}}(G)+m_{\mathrm{MSE}}(B))/3} \tag{5}$$

$$m_{\mathrm{MSE}}=\frac{1}{NN}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}(X^*(i,j)-X(i,j))^2 \tag{6}$$

式中:m_{MSE}为均方根误差值;$X^*(i,j)$,$X(i,j)$分别为嵌入水印后图像和原水印图像的R,G,B分量像素值;根据人眼视觉特性PSNR值大于30 dB,则水印的隐蔽性较好。PSNR值越大,水印隐蔽性越好[12—13]。

$$f_{\mathrm{NC}}=\sum_{m,n}I_{m,n}I'_{m,n}/\sum_{m,n}I^2_{m,n} \tag{7}$$

式中:$I_{m,n}$,$I'_{m,n}$分别为原始水印和提取水印的像素值。为客观评价算法的鲁棒性,将嵌入水印的彩色载体QR码和提取出的水印QR码用移动电子设备进行解码操作,将能否解码得出原来的文字信息作为依据进行客观评价。嵌入水印的彩色QR载体图像和提取的QR码水印图像分别见图1和图2。含水印彩色QR码图像与原图像的PSNR值为31.6562 dB,且含水印的QR码图像可以正确解码,说明该算法具有较强的不可见性。提取的水印QR码与原始QR码的NC值为1,说明在未受攻击的情况下,水印QR码可以完整提取且正确解码。



图1 含水印彩色QR码图像

Fig.1 Watermarked color QR code image



图2 提取的QR码水印图像

Fig.2 Extracted QR code watermark image

3.1 不可见性

在数字水印中,嵌入强度的增加有利于鲁棒性的提高,但容易造成不可感知的降低。这里在确保不可见性的条件下,分析了算法的最大水印嵌入强度[14]。峰值信噪比PSNR值随水印嵌入强度增大而减小。当强度因子为300时,嵌入水印后的二维彩码图像PSNR值为30.3372 dB,视觉上察觉不出变化,且可以正确识读。在提出算法中载体可以嵌入较强的水印信息,并确保水印的不可见性,克服了二维码嵌入强度不高的问题。在攻击实验中所选取的嵌入强度因子为200,提出算法体现了较强的鲁棒性。

3.2 鲁棒性

为了更好地说明以彩色QR码为载体的水印算法的鲁棒性,与文献[10]算法进行比较。为保证2种算法的可比性,采用同样的彩色QR码载体图像和QR码水印图像,保持2幅图像具有相同的PSNR值,对图像进

行旋转、剪切的几何攻击，以及JPEG压缩攻击、噪声和滤波攻击[15]。

3.2.1 旋转、剪切攻击

在Matlab中，应用"bilinear"插值方式对含水印的QR码图像进行角度为15° 的旋转攻击，对文献[10]的算法对应旋转相应的角度，提取的QR码水印见图3；为了测试水印图像的抗剪切攻击能力，对彩色二维码进行1/4的裁剪攻击，结果见图4。



a QR图像 b 提出算法提取水印 c 文献[10]算法提取水印

图3 旋转15° QR码图像提取水印图像

Fig.3 Extracted watermark image of QR code image with 15° rotation



a QR码图像 b 提出算法提取水印 c 文献[10]算法提取水印

图4 剪切1/4QR码图像提取水印图像

Fig.4 Extracted watermark image of QR code image after 1/4 shearing

由图3和图4可知，提出的基于彩色二维码的数字水印算法在强度因子为200时，对旋转和裁剪攻击具有较强的鲁棒性。当图像旋转15° 时，提出算法能较清晰地提取水印QR码，归一化相关函数NC值为0.9446，且可以用电子设备正确解码；当对图像进行裁剪1/4攻击时，提取的QR码NC值为0.9684，可以正确解码，而文献[10]的算法对旋转和剪切攻击的抵抗性较差，均不能正确识读。

3.2.2 JPEG压缩攻击

JPEG压缩攻击是水印算法中常见的攻击算法之一。彩色QR码载体图像在压缩因子为40和50时的攻击效果分别见图5和图6。

相比于文献[10]的方法，提出算法对JPEG压缩攻击的鲁棒性较强。当压缩因子为40时，提取的水印QR码与原始QR码相似度较高，NC值为0.8956，仍然



a QR码图像 b 提出算法提取水印 c 文献[10]算法提取水印

图5 JPEG压缩因子为40的QR码图像提取水印图像

Fig.5 Extracted watermark image of QR Code image at a JPEG compression factor of 40



a QR码图像 b 提出算法提取水印 c 文献[10]算法提取水印

图6 JPEG压缩因子为50的QR码图像提取水印图像

Fig.6 Extracted watermark image of QR code image at a JPEG compression factor of 50

可以识别嵌入的水印信息；文献[10]在压缩因子为50时提取的水印相似度为0.8891，已经不可以正确识读。

3.2.3 噪声和滤波攻击

图像在传输过程中受到各种干扰就会含有噪声，如果噪声相对于图像来说幅度太大，水印就很难提取出来。滤波是一种常见的图像处理方式，对嵌入的图像进行3×3高斯低通滤波、均值滤波攻击。对图像分别添加均值为0，不同方差的高斯噪声、椒盐噪声时提取水印图像的情况分别见图7和图8。在滤波攻击下检测到的水印见图9和图10。



a QR码图像 b 提出算法提取水印 c 文献[10]算法提取水印

图7 高斯噪声0.05的QR码图像提取水印图像

Fig.7 Extracted watermark image of QR code image with a Gaussian noise of 0.05

由图7—10可知，提出算法对噪声和滤波攻击具



a QR码图像　　b 提出算法提取水印　　c 文献[10]算法提取水印

图8　椒盐噪声0.1的QR码图像提取水印图像

Fig.8 Extracted watermark image of QR code image with a salt and pepper noise of 0.05



a QR码图像　　b 提出算法提取水印　　c 文献[10]算法提取水印

图9　低通滤波3×3的QR码图像提取水印图像

Fig.9 Extracted watermark image of QR code image with low pass filter 3×3



a QR码图像　　b 提出算法提取水印　　c 文献[10]算法提取水印

图10　均值滤波3×3的QR码图像提取水印图像

Fig.10 Extracted watermark image of QR code image with mean filter 3×3

有较强的鲁棒性。对图像进行方差为0.05的高斯噪声和方差为0.1的椒盐噪声攻击,应用提出算法提取的QR码相似度高、均可正确解码;NC值为0.9824和0.9631。文献[10]的算法在高斯噪声的攻击下,提取水印的相似度只有0.2167,不能抵抗高斯噪声的攻击。实验结果显示,提出算法对低通滤波和均值滤波有很强的抗攻击性。在3×3模板的低通滤波和3×3模板的均值滤波攻击下,水印可以以较小的误差提取,NC值分别为0.9845和0.9932,均可以正确解码,而文献[10]的算法提取水印均不能正确解码。

4　结语

提出的基于彩色二维码的数字水印算法,在不影响二维码本身快速识别功能的基础上,提高了二维码的防伪性能。实验测试了该算法的不可见性和鲁棒性。一方面,当嵌入强度因子为300时,彩色二维码与原始二维码的PSNR值在30 dB以上,且依然可以正确识别;另一方面,在嵌入强度为200时,对图像进行各种攻击如旋转、剪切、JPEG压缩、噪声和滤波,仍然具有较高的鲁棒性。因此,可以将彩色二维码技术与数字水印技术结合实现安全防伪,达到保障产品安全的目的。

参考文献:

[1] 谢勇,李娟,王娟娟. 一种抗印刷-扫描倾斜失真的数字水印算法[J]. 包装工程,2013,34(15):104—108.
XIE Yong, LI Juan, WANG Juan-juan. A Kind of Printing and Scanning Tilt Distortion Resistant Digital Watermarking Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(15): 104—108.

[2] 何小龙,安虎,张无忌,等. 基于改进LSB算法的QR条码数字水印[J]. 计算机与信息技术,2010(10):1—5.
HE Xiao-long, AN Hu, ZHANG Wu-ji, et al. QR Barcode Digital Watermark Based on Improved LSB Algorithm[J]. Computer and Information Technology, 2010(10): 1—5.

[3] 李黎,王瑞玲. 一种适用于QR码的数字水印方法[J]. 杭州电子科技大学学报,2011,31(2):46—50.
LI Li, WANG Rui-Ling. A Digital Watermarking Method for QR Codes[J]. Journal of Hangzhou Dianzi University, 2011, 31(2): 46—50.

[4] 孙丙,高美凤. 基于QR码的数字水印算法研究[J]. 计算机与现代化,2011(11):74—77.
SUN Bing, GAO Mei-feng. Research on Digital Watermarking Algorithm Based on QR Barcode[J]. Computer and Modernization, 2011(11): 74—77.

[5] PRABAKARAN G, BHAVANI R, RAMESH M. A Robust QR-Code Video Watermarking Scheme Based on SVD and DWT Composite Domain[C]// IEEE, 2013: 251—257.

[6] 李孟涛,孙刘杰. 一种新的DWT域彩色图像数字水印算法及其实现[J]. 包装工程,2011,32(19):105—107.
LI Meng-tao, SUN Liu-jie. A New Color Image Watermarking Algorithm and Its Implementation in DWT Domain[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(19): 105—107.

[7] PARK D H, HONG Y K, CHO E H, et al. Light-Emitting Color Barcode Nanowires Using Polymers: Nanoscale Optical

(下转第129页)

Reconstruction Algorithm for Color Image Using Wiener Estimation Method[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science,2014,30(1):175—180.

[10] 王葛,李长军.用改进的基向量法重建光谱反射比[J].感光科学与光化学,2005,23(5):340—350.
WANG Ge, LI Chang-jun. Improvement in the Estimation of Reflectance Functions Generated Using the Basis Vectors[J]. Photographic Science and Photochemistry, 2005, 23(5): 340—350.

[11] 王晋.基于数字成像设备的光谱测量精度评价[J].包装工程,2014,35(13):133—138.
WANG Jin. Accuracy Evaluation of Spectral Measurement Based on Digital Imaging Equipment[J]. Packaging Engineering,2014,35(13):133—138.

[12] 任鹏远,廖宁放.基于多光谱成像的光谱反射率重建[J].光学技术,2005,31(3):427—433.
REN Peng-yuan, LIAO Ning-fang. Spectral Reflectance Recovery Based on Multispectral Imaging[J]. Optical Technique, 2005,31(3): 427—433.

[13] 丁国华,朱元泓,李博.基于不同色块数量的光谱重构对比[J].包装工程,2012,33(3):14—18.
DING Guo-hua, ZHU Yuan-hong, LI Bo. Comparison of Spectrum Reconstruction on Different Number of Color Block [J]. Packaging Engineering,2012,33(3):14—18.

[14] 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.

[15] CHEN Guang-xue, WANG Hai-wen, LI Jie. Study on the Efficient Reconstruction Method of Spectral Color Imformation [J]. Advanced Materials Research,2011,174:32—35.

[16] 王海文.多光谱颜色复制的关键技术研究[D].广州:华南理工大学,2012.
WANG Hai-wen. Research on Key Technologies of Multispectral Color Reproduction[D]. Guangzhou:South China University of Technology,2012.

[17] 汪婧,荣升格.基于杰卡德相似性的推荐系统研究[J].安徽工程大学学报,2013,28(3):73—76.
WANG Jing, RONG Sheng-ge. Research on Recommender Systems Based on Jaccard Similarity[J]. Journal of Anhui Polytechnic University,2013,28(3):73—76.

[18] 周万怀,谢丽娟,应义斌.一种基于杰卡德相似性原理的光谱匹配算法[J].农业工程学报,2013,29(19): 285—292.
ZHOU Wan-huai, XIE Li-juan, YING Yi-bin. A New Full Spectral Matching Algorithm in a Near-infrared Spectral Database System[J]. Journal of Agricultural Engineering, 2013, 29(19): 285—292.

(上接第119页)

Characteristics[J].ACS Nano,2010,4(9):5155—5162.

[8] VONGPRADHIP S.QR Code Using Invisible Watermarking in Frequency Domain[C]// IEEE,2012:47—52.

[9] PANYAVARAPOR N J, HORKAEW P, WONGTRAIRAT W. QR Code Watermarking Algorithm Based on Wavelet Transform[C]// IEEE,2013:791—796.

[10] 刘丽丽,谭延琪,马小虎.基于奇异值分解的Contourlet域三维彩码鲁棒水印算法[J].苏州大学学报:工科版,2011,31(6):10—14.
LIU Li-li, TAN Yan-qi, MA Xiao-hu. A Robust Algorithm of Color Code Image Watermarking Based on Singular Value Decomposition in Contourlet Domain[J]. Journal of Soochow University: Engineering Science Edition, 2011, 31(6): 10—14.

[11] KIKUCHI M, FUJIYOSHI M, KIYA H. A New Color QR Code Forward Compatible with the Standard QR Code Decoder[C]// IEEE,2013 :26—31.

[12] 谢荣生,赵欢喜,吴克寿.基于离散小波变换的QR二维条码防伪技术[J].计算机工程,2013,39(12):126—129.
XIE Rong-sheng, ZHAO Huan-xi, WU Ke-show. QR 2D Barcode Anti-counterfeiting Technique Based on Discrete Wavelet Transform[J]. Computer Engineering. 2013,39(12): 126—129.

[13] 代小红,王光利.一种用于印刷图像防伪的水印算法设计与实现[J].包装工程,2011(15):118—122.
DAI Xiao-hong, WANG Guang-li. Design and Realization of an Anti-counterfeiting Watermark Algorithm for Printed Image[J]. Packaging Engineering,2011(15):118—122.

[14] 刘真,丁盈盈.一种优化的基于DWT的抗打印扫描的数字水印算法[J].包装工程,2011(11):93—99.
LIU Zhen, DING Ying-ying. An Optimized and DWT Based Printing and Scanning Resistant Watermark Algorithm[J]. Packaging Engineering,2011(11):93—99.

[15] 周丽娟,罗亚明.用于印刷品版权保护的数字水印技术[J].包装工程,2009,30(1):118—119.
ZHOU Li-juan, LUO Ya-ming. Digital Watermarking Technology for Printing Copyright Protection[J]. Packaging Engineering,2009,30(1):118—119.