

包装中专色印刷图像数字水印方法

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2018.06.001

王彩印 李 超

大连工业大学
轻工与化学工程学院
辽宁 大连 116034

摘 要: 目前, 包装装潢图的印刷图像水印算法主要是针对传统的四色印刷方式, 因而其用于专色印刷中效果不佳。基于包装中专色印刷和扫描图像特征, 结合整数小波转换 (IWT) 和奇异值分解 (SVD) 提出了一种可用于专色图像印刷的鲁棒水印算法。先对专色通道进行 IWT 转换, 然后将水印信息直接嵌入一级 IWT 各子带的奇异值 S 中; 为了提高水印安全性, 对水印图像进行了 Arnold 置乱加密, 并在嵌入水印的图像中嵌入一个数字签名; 提取水印时, 基于专色图像印刷-扫描特征, 将专色印刷图像扫描成灰度图, 提取数字签名进行验证, 验证通过后再提取水印信息。为了验证算法的有效性, 选用胶版印刷方式对本文算法进行了一系列实验测试, 并与文献 [8] 所提算法进行了比较, 结果表明, 本算法应用于专色印刷中具有很好的视觉不可见性, 且可以抵抗胶版印刷过程。

关键词: 专色印刷; 数字水印; 整数小波变换; 奇异值分解; 数字签名

中图分类号: TP309.7

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2018)06-0001-10

1 研究背景

近年来, 商品的包装装潢侵权事件时有发生, 如加多宝和王老吉关于红罐凉茶包装装潢纠纷案, 不法经营者通过各种隐蔽的方式模仿他人的包装装潢, 使消费者误认误购商品, 这给被侵权企业造成了巨大的经济损失。因而如何有效、全面地保护包装装潢的知识产权成为了研究热点。

通常, 厂商采用印刷方式使装潢图呈现在包装容器上。印刷图像的颜色再现有两种方式: 第一种是减色法再现, 使用青 (cyan)、品红 (magenta)、黄 (yellow) 和黑 (black) 四色油墨套印实现彩色原稿的复制; 第二种是专色印刷再现, 是指采用 CMYK 四色油墨以外的其他方式复制彩色原稿, 即当彩色原稿的颜色超出四色印刷的色域范围, 或者需要产生如珠光、荧光等特殊的效果时, 四色套印无法实现颜色的准确

复制, 需要调制特定的专色印刷。专色印刷被广泛应用于包装印刷、艺术品印刷和高保真印刷领域^[1]。

数字水印技术是一种信息隐藏技术, 可以将版权、标识等信息嵌入包装装潢图像之中, 以实现对包装装潢的知识产权保护^[2]。目前数字水印技术所需解决的主要问题是抵抗印刷扫描过程的鲁棒性和水印对印刷图像颜色保真度的影响。近年来, 专家学者从事这方面的研究取得了一些成果^[3-6], 但大部分算法都是针对 CMYK 四色印刷工艺而提出的, 并不适用于专色印刷。专色印刷信息通道少, 因而对数字水印技术的鲁棒性、透明性和容量提出了更高的要求。2003 年, O. M. Alattar 等^[7]首次提出了应用于专色印刷的数字水印算法, 先计算专色亮度映射因数和黄色饱和度, 再对水印信号进行调制, 并嵌入专色通道中, 同时通过强度因数对每个像素进行动态调整, 实验结果表明: 该算法对大部分专色是有效的, 但对

收稿日期: 2018-10-12

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金资助项目 (61802041)

作者简介: 王彩印 (1982-), 女, 甘肃会宁人, 大连工业大学讲师, 博士, 主要研究方向为印刷图像信息隐藏、防伪包装等, E-mail: weyvivien@126.com

部分专色是无效的,如银光黄、银光金、银色和金色等。2015 年, A. Reed 等^[8]提出包装印刷中专色水印算法,该算法将一定比例的专色使用 CMY 三色叠印,在 CMY 三色通道中嵌入水印信息,如 PANTONE 221 专色可以分解为 75% 的专色通道和 25% 的 CMY 通道叠加,水印在 25% 的 CMY 通道中嵌入,但是使用 CMY 模拟专色会产生一定的色差,且需额外增加 C、M 和 Y 三个印版,这导致印刷成本增加。学者们还提出了不同变换域相结合的水印算法,其中基于小波变换和奇异值分解(singular value decomposition, SVD)的混合变换域水印算法备受关注^[9-13]。基于 SVD 的混合变换域水印算法是将图像矩阵分解为两个正交矩阵(U 和 V)和一个奇异值矩阵(S),在 S 中嵌入水印即灰度图像,该算法的优点是奇异值的稳定性较高、鲁棒性较好、水印容量较大,同时能保证图像质量,适用于信息通道少的专色图像。C. C. Lai^[11]分析了基于 SVD 的水印算法性能, S 、 U 、 V 分别代表了图像的亮度信息、纹理特征、几何结构特征,但该算法在嵌入水印时只使用了 S ,因此,如果提取水印时使用 U 和 V 与没有嵌入水印的 S 进行合成,则可重构一幅与原始水印图像结构相似的图像,这会造成虚警。针对此问题, N. M. Makbol 等^[12]提出在原有算法中嵌入数字签名机制,但该改进算法抵抗印刷的鲁棒性有待提高;肖亮等^[13]提出了在版权图像的奇异值中嵌入水印图像的 DCT(discrete cosine transform)系数以改进算法。

针对专色印刷,本课题组提出整数小波变换(integer wavelet transform, IWT)和 SVD 相结合的水印算法,先将载体图像分解成专色通道,并将

专色通道进行 IWT 转换,然后将水印信息直接嵌入一级 IWT 各子带的奇异值 S 中,并对水印图像进行 Arnold 置乱加密处理,在嵌入水印图像的 U 和 V 中嵌入一个能够抵抗印刷、扫描过程的数字签名。

2 印刷原理和专色印刷的扫描图像特性分析

2.1 印刷原理

图 1 为专色 PANTONE 168 C 分别使用四色印刷和专色印刷的流程图。四色印刷和专色印刷的最大区别是,四色印刷是通过四色油墨的套印实现,专色印刷是通过一个专色通道实现。专色 PANTONE 168 C 使用 CMYK 模拟印刷时,分色获得的 C、M、Y 和 K 颜色的网点百分比分别是:36%, 79%, 96% 和 48% (如图 1 中红框内的四色信息),各色版都不是实地(颜色的网点百分比为 100%),加网后输出各网目调色版(如图 1 绿色框内的四色信息),最后,不同加网角度的色版叠印即得印刷稿。通常,专色印刷使用专色分色软件将图像进行专色分色即计算每个像素的油墨使用量,油墨的使用量既可以用 0~255 的灰度值表示,也可以用 0%~100% 的油墨覆盖率表示,0 和 0% 表示该处没有油墨,255 和 100% 表示该处为实地即完全覆盖油墨^[14]。专色分色之后,每种专色油墨对应一幅灰度图像,再对其进行半色调化处理。使用网点的大小和疏密表示专色的阶调层次^[15]。印版没有网点,除非专色图像中有明暗变化才需要加网处理。

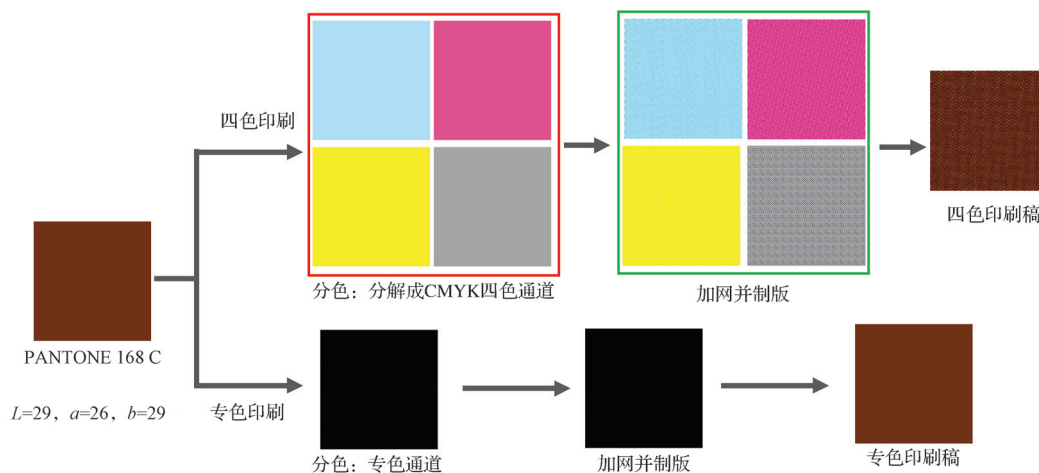


图 1 四色印刷和专色印刷流程图

Fig. 1 CMYK printing and spot printing

由图 1 可知: CMYK 模拟印刷时, 网目调色版叠加会产生玫瑰斑 (如图 1 中四色印刷稿), 另外, 由于专色并不在四色印刷色域内, 因此四色印刷稿的色差较大, 而专色印刷可以更加真实地再现原稿颜色。

2.2 专色印刷的扫描图像特性

在专色印刷图像水印系统中, 水印信息的嵌入策略有两种: 第一种是在专色彩色图像中嵌入, 然后进行分色印刷, 印刷后从扫描的彩色图像中提取水印信息; 第二种是在专色分色图中嵌入水印信息, 印刷后从扫描的灰度图像中提取水印信息。专色印刷图像经彩色 CCD (charge coupled device) 扫描仪扫描后, 得到 RGB 彩色图像, 但该彩色图像的颜色严重失真, 无法再现原专色的信息, 故要获得专色的分色信息, 需先将 RGB 彩色图像进行转换, 得到 $L^*a^*b^*$ 色度值, 再根据转换后的色度值得到专色分色图。可见第二种策略的信息转换较少, 操作也更方便。另外, 大部分包装装潢并非使用叠色专色复制, 而是使用单色专色印制。对于单个专色图像而言, 专色分色图可用专色

油墨的网点面积率表示, 因此在专色通道嵌入水印信息后, 只需获得印刷图像的网点面积率即可提取水印信息, 而灰度图像可以反映专色油墨的网点面积率。故本课题组采用在专色图像的分色通道中嵌入水印信息方法。

彩色图像转换为灰度图像的原理是, 将扫描获得的 RGB 三原色数据转换为灰度数据^[16], 即

$$K=0.30R+0.59G+0.11B, \quad (1)$$

式中: R 、 G 和 B 分别为彩色图像的红、绿、蓝分量; K 为灰度值。

由式 (1) 可知, 对于不同的专色印刷图像虽然其分色图的网点面积率可能相同, 但是扫描后的 R 、 G 和 B 值不同, 因而灰度值也不尽相同。

图 2 为 Lena 图和 Flower 图的原稿、分色图和扫描图。由图可知, 将专色印刷图像扫描成灰色图像之后, 图像的阶调会被压缩, 不同的专色其压缩程度不一, 因此需要使用图像处理软件对灰度图像进行阶调校正。

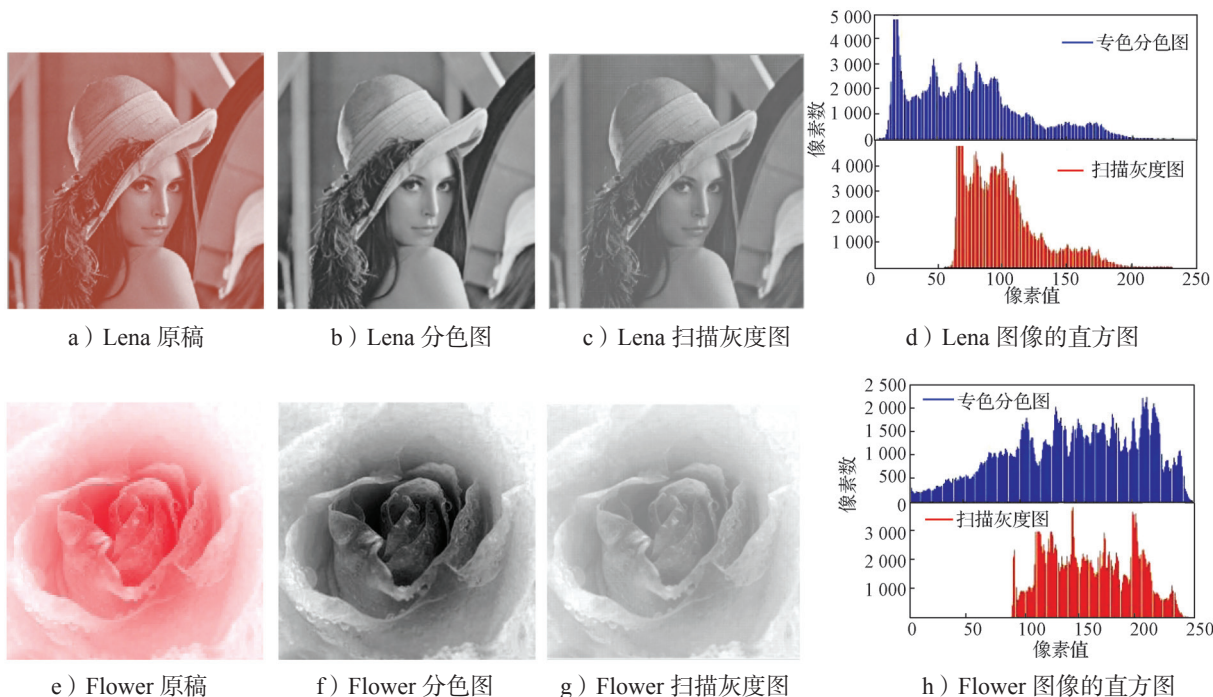


图 2 原稿、分色图和扫描图

Fig. 2 The original, separated image and scanned image

3 算法原理

一个专色对应一个颜色通道, 这对水印算法的鲁棒性和透明性提出了更高的要求。与传统的小波变换^[17-18]相比, IWT 具有很多优势: 第一, 整数到整数的映射避免了舍入误差; 第二, IWT 是完全可逆

的, 能够确保完美的重构特征; 第三, IWT 是更有效、更快速的提升小波变换; 第四, 能够加强水印的鲁棒性和透明性。另外, SVD 在图像处理领域得到了广泛的使用, 主要是因为其具有以下特征: 任何图像的奇异值稳定性非常好; 图像的奇异值仅仅代表

了图像的亮度特征,而正交矩阵 U 和 V 代表了图像的纹理和几何特征;这些奇异值降序排列,与第一个奇异值相比大部分奇异值很小,在图像重构阶段,更新或者忽略这些奇异值不会影响图像的质量;矩阵奇异值具有比例不变性和旋转不变性;SVD 可用于方形或者矩形矩阵^[19]。基于此,本课题组提出了整数小波变换和奇异值分解相结合的数字水印算法。该算法由两部分组成:水印嵌入和水印提取。本算法具有很强的鲁棒性和视觉不可见性。

3.1 水印嵌入算法

水印嵌入的具体流程(见图 3a)如下。

1) 对专色分色图进行一级 IWT 分解,获得 4 个子带 LL、HL、LH 和 HH。

2) 对各子带 A_i 进行 SVD 分解,即

$$A_i = U_i S_i V_i^T, \quad (2)$$

式中 i 为 LL 或 HL 或 LH 或 HH 子带。

3) 为了提高水印安全性,对水印图像进行 Arnold 置乱加密处理。

4) 在各子带的奇异值 S_i 中嵌入置乱加密的水印图像,即

$$S_i + \alpha W = U_i^W S_i^W (V_i^W)^T. \quad (3)$$

式中: W 为置乱加密后的水印图像;

α 为水印强度。

5) 为了防止攻击者预测,产生一个随机的二进制数字签名,使用密钥对 U 和 V 进行加密。数字签名的生成方法如下: a. 将 4 个子带的二维正交矩阵 U_i^W 和 $(V_i^W)^T$ 转换到一维; b. 使用 SHA-1 算法对 U_i^W 和 $(V_i^W)^T$ 进行哈希运算,即

$$\begin{cases} \text{Digest}_U(U_i^W) = \text{Hashing}_{\text{SHA-1}}(U_i^W), \\ \text{Digest}_V(V_i^W)^T = \text{Hashing}_{\text{SHA-1}}((V_i^W)^T); \end{cases} \quad (4)$$

c. 将 $\text{Digest}_U(U_i^W)$ 和 $\text{Digest}_V(V_i^W)^T$ 转换为相应的二进制,并进行异或运算,记为 $R_{1,i}$; d. 设定一个密钥并将其转换成二进制 $R_{2,i}$,将 $R_{2,i}$ 与 $R_{1,i}$ 进行异或运算,记为 $R_{3,i}$; e. 选择 $R_{3,i}$ 的前 8 位,生成一个 8 位的数字签名,每个子带生成一个数字签名,分别为 Sig_{LL} , Sig_{HL} , Sig_{LH} 和 Sig_{HH} ,对其进行异或运算,记为数字签名 $\text{Sig}_{\text{Final}}$ 。

6) 进行逆 SVD 操作,产生嵌入水印后的 IWT 系数,即

$$A'_i = U_i S_i^W V_i^T. \quad (5)$$

7) 进行逆 IWT 操作,产生含水印的图像 A'' 。

8) 在图像 A'' 中嵌入数字签名 $\text{Sig}_{\text{Final}}$,具体方法如下: a. 对含水印的图像使用 db2 小波进行一级离散小波变换(discrete wavelet transform, DWT); b. 对 LL 子带进行 8×8 分块处理; c. 使用密钥随机选择 8 个子块,并对其进行 SVD 操作; d. 每一子块对应一位数字签名,基于对应数字签名的位值,检查并修改 $U_{2,1}$ 和 $U_{3,1}$,若数字签名位值为 1,则让 $U_{2,1} - U_{3,1} > T$,否则,则让 $U_{3,1} - U_{2,1} > T$,其中 T 为阈值; e. 对已选择的 8 个子块进行逆 SVD 操作; f. 进行 DWT 逆操作,即得 A'' 。

9) 对含数字签名和水印的图像进行加网制作印版,最后使用专色印刷。

3.2 水印提取算法

水印提取的具体流程(见图 3b)如下。

1) 将专色图像扫描为灰度图像,并进行阶调校正和几何校正。由于具有相同的油墨覆盖率的不同专色图像扫描转换后的灰度值不同,因此本课题组利用图像处理软件对灰度图像进行阶调调整,并对扫描过程中图像发生的平移、旋转等进行校正。

2) 提取数字签名。数字签名提取是嵌入的逆过程,具体方法如下:

a. 对扫描校正后的灰度图像使用 db 小波进行一级离散小波变换;

b. 对 LL 子带进行 8×8 分块处理;

c. 根据密钥选择 8 个子块,然后对其进行 SVD 操作;

d. 检验 $U_{2,1}$ 和 $U_{3,1}$,若 $U_{2,1} > U_{3,1}$,则数字签名位值为 1,否则为 0。

3) 匹配数字签名。如果提取的数字签名和原数字签名匹配,则继续下面的水印信息提取过程,否则将终止提取水印。

4) 对含水印的灰度图 A'' 进行一级 IWT 转换,生成 4 个子带 LL、HL、LH 和 HH。

5) 对所有子带进行 SVD 操作,即

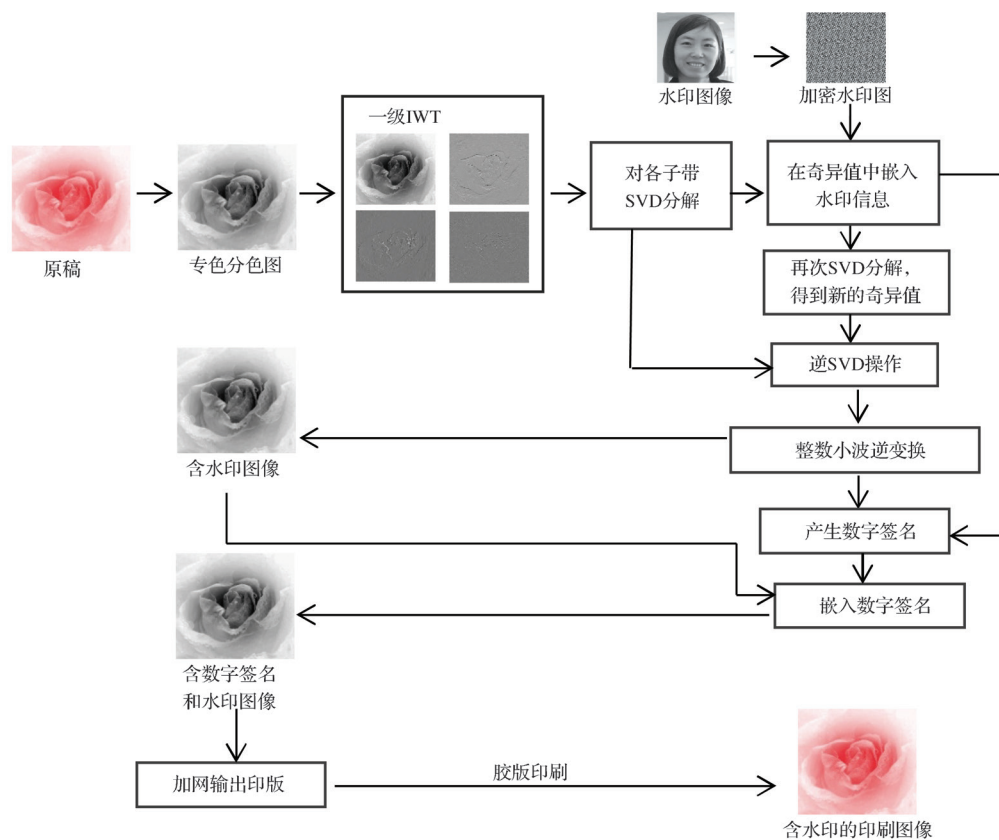
$$A'' = U_i^* S_i^* (V_i^*)^T.$$

6) 用式(6)提取水印:

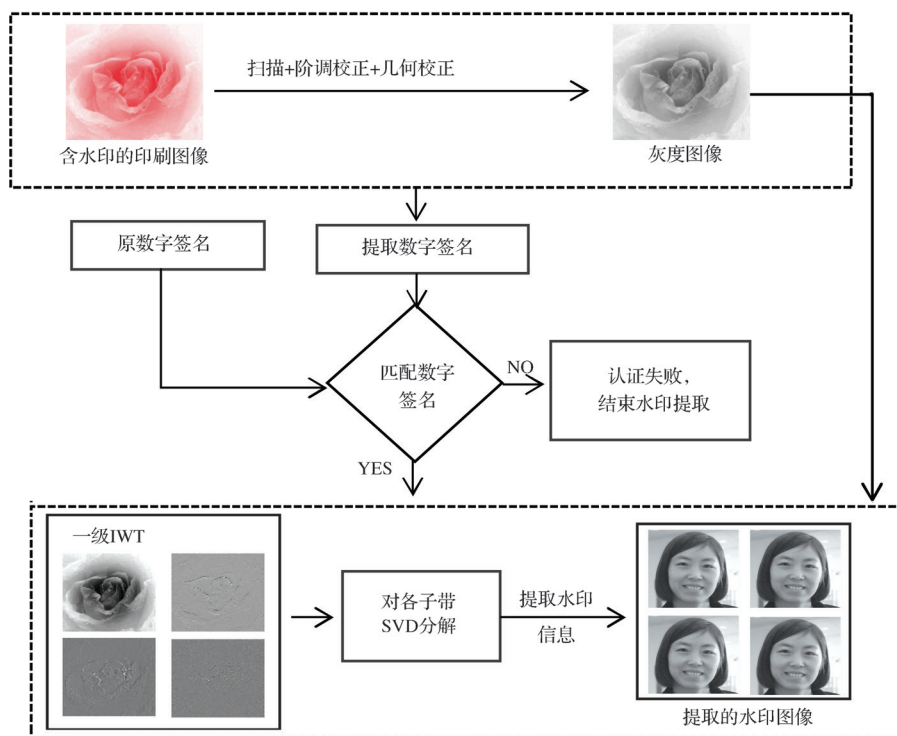
$$\begin{cases} D_i^* = U_i^W S_i^* (V_i^W)^T, \\ W_i^* = (D_i^* - S_i) / \alpha. \end{cases} \quad (6)$$

式中 W_i^* 为从各个子带中提取的水印。

本算法流程见图 3。



a) 水印嵌入流程图



b) 水印提取流程图

图3 水印嵌入和提取流程图

Fig. 3 The process of watermark embedding and extracting

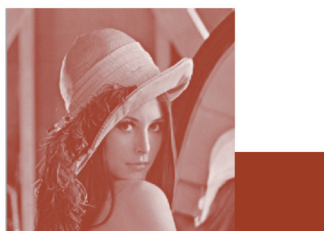
4 实验

为了验证本算法的有效性,本课题组进行了一系列实验,并和文献[8]中提出的专色印刷图像水印算法进行了比较。

4.1 实验环境和参数设置

专色印刷图像水印算法实验中,印刷设备和主要工艺参数有:制版机 CREO Trendsetter 800II 和胶版印刷机 KBA Rapida 105;本算法中,专色加网角度为 45° ,加网线数和形状分别为 150 线/英寸和圆形;文献[8]将专色 S 使用 75% 的专色 S 和 25% 的 CMY 叠印模拟专色,在 CMY 中嵌入水印,4 种颜色的加网角度分别为 $C75^\circ$, $M15^\circ$, $Y0^\circ$, $S45^\circ$ 。

扫描设备使用扫描仪 AGFA SNAPSCAN 600,扫描分辨率有 100, 200, 300 dpi,扫描图像的保存格式为 JPEG。实验中使用 Lena 和 Flower 图像作为载体图像,分别选择 PANTONE 174 C 和 PANTONE Red 032 C 专色印刷图像,水印图像为大连理工大学 logo,如图 4 所示。根据实验结果,LL 子带中的水印嵌入强度设置为 0.060,其它子带中的水印嵌入强度设置为 0.008。



a) Lena, PANTONE 174 C



b) Flower, PANTONE Red 032 C



c) 水印图像

图 4 专色测试图像和水印图像

Fig. 4 The test image and watermark image

4.2 水印的图像质量评价

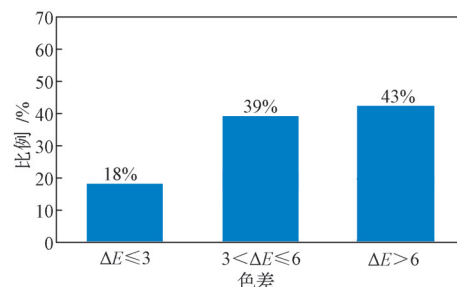
水印透明性的评价指标最常用的是峰值信噪比 (peak signal-to-noise ratio, PSNR)。含水印图像和原图像的 PSNR 值越大,说明含水印图像的透明性越好。分别利用本文算法和文献[8]所提算法得到含水印的 Lena 图像和 Flower 图像,这些图像再经不同分辨率的扫描仪进行扫描,含水印的 Lena 图像和 Flower 图像印刷前和扫描后的 PSNR 值如表 1 所示。由表可知:本文算法得到的含水印图像的 PSNR 值均高于 42,水印透明性明显好于文献[8]所提算法的。

表 1 本文算法和文献[8]算法的 PSNR 值

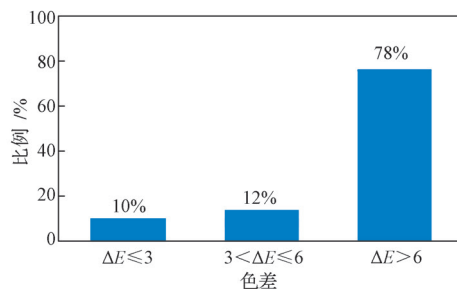
Table 1 PSNR of the proposed method and the method in paper [8]

算法	图像	印刷前 PSNR 值	印刷-扫描后 PSNR 值	
			200 dpi	300 dpi
本文	Lena	43.24	15.12	18.86
	Flower	42.63	14.23	17.77
文献[8]	Lena	37.76	10.09	11.18
	Flower	37.43	10.02	11.02

当两种颜色的色差小于等于 3 时,人眼很难察觉;当色差在 (3, 6] 内时,人眼有些许感觉;当色差大于 6 时,人眼能察觉。2 种算法的印刷-扫描图像和原图像的色差统计结果如图 5 所示。



a) 本文算法



b) 文献[8]所提算法

图 5 印刷-扫描图像和原图像的色差统计图

Fig. 5 The statistical graph of the color difference between the original and print-scanned image


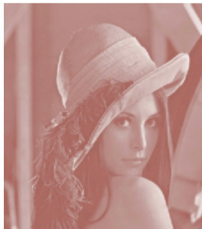





由图 5 可知:由本文算法得到的含水印-扫描

图像与原图像的色差小于等于 3 的像素数占 18%，色差大于 6 的像素数占 43%；由文献 [8] 所提算法得到的含水印 - 扫描图像与原图像的色差大于 6 的像素数高达 78%，其原因是该算法将一部分专色使用 CMY 三色油墨模拟，并在三色中嵌入水印，但三色油墨无法准确地模拟专色，且此方法对图像的颜色和阶调影响较大，尤其是对非常鲜艳的专色，故印刷 - 扫描图像的颜色色差较大。可见，由本文算法得到的

含水印 - 扫描图像的视觉效果更佳。

分别以 100, 200, 300 dpi 扫描含水印的印刷图像，印刷 - 扫描图像如表 2 所示。扫描分辨率越高扫描图像的精度越好，图像细节的表现越好。由图可知：本文算法得到的印刷 - 扫描图像的视觉效果更好，不管是较暗的专色 PANTONE 174 C，还是较鲜艳的专色 PANTONE Red 032 C，印刷 - 扫描图像的颜色和阶调与原图像更加接近。

表 2 经不同扫描分辨率得到的水印印刷 - 扫描图像
Table 2 Watermarked print-scanned image in different scanning resolution

原图像	100 dpi	200 dpi	300 dpi	算法
				本文
				
				本文
				

4.3 印刷 - 扫描实验及结果分析

评价水印鲁棒性最常用的参数是归一化相关系数（normalization cross correlation, NCC）。NCC 用于测量原水印图像和提取水印图像的相似度，NCC 值越接近 1，表示原水印图像和提取的水印图像越相似，水印鲁棒性越好。本文算法是在图像小波变换的 4 个子带中分别嵌入水印信息，不同扫描分辨率下提




























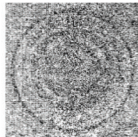


取的水印图像如表 3 所示。由表可知：1）扫描分辨率影响水印提取的准确率，扫描分辨率越高提取的水印与原水印的 NCC 值越大。2）与文献 [8] 所提算法相比，在同一扫描分辨率下，本文算法提取的水印图像与原水印图像的 NCC 值更大，可见本文算法的鲁棒性更好。3）对于本文算法，扫描分辨率的高低对 LL 和 HH 子带中水印的提取影响较大。当扫描分

分辨率为 300 dpi 时, 在 LL 子带中提取的水印与原水印的 NCC 值均大于 0.98, 提取的水印图像清晰可见, 然而在其它子带中提取的水印图像的细节不够精细。

可见在本文算法中, 水印图像添加在 LL 子带中的效果更好。

表 3 不同扫描分辨率下提取的水印图像

Table 3 Extracted watermark image in different scanning resolution

图像	100 dpi		200 dpi		300 dpi		方法	
Lena							本文	
	NCC=0.913 5 LL 子带	NCC=0.677 5 HL 子带	NCC=0.981 8 LL 子带	NCC=0.664 9 HL 子带	NCC=0.989 7 LL 子带	NCC=0.797 9 HL 子带		
								
	NCC=0.687 6 LH 子带	NCC=0.576 0 HH 子带	NCC=0.681 3 LH 子带	NCC=0.654 1 HH 子带	NCC=0.872 3 LH 子带	NCC=0.790 3 HH 子带	文献 [8]	
								
	NCC=0.222 1	NCC=0.450 4	NCC=0.505 1					
	Flower							本文
		NCC=0.915 8 LL 子带	NCC=0.794 3 HL 子带	NCC=0.984 7 LL 子带	NCC=0.729 2 HL 子带	NCC=0.988 2 LL 子带	NCC=0.730 3 HL 子带	
								
		NCC=0.757 3 LH 子带	NCC=0.578 9 HH 子带	NCC=0.687 9 LH 子带	NCC=0.621 7 HH 子带	NCC=0.698 8 LH 子带	NCC=0.680 1 HH 子带	文献 [8]
								
NCC=0.161 6		NCC=0.622 9	NCC=0.692 0					

5 结论

根据包装中专色印刷工艺特点, 以及 IWT 变换良好的重构特性和 SVD 变换的高稳定性, 本课题组

提出了一种适用于专色印刷的图像水印方法。本算法解决了两个方面的问题: 1) 安全性问题。本文采用嵌入水印图像的同时嵌入数字签名即 8 位二进制

数字的方法, 在提取水印图像之前先要提取数字签名进行验证, 提取数字签名的正确位数 6~8 即有效, 进而提取水印图像, 这有效抵抗了图像专色印刷和扫描过程, 提高了 SVD 水印算法的安全性。2) 水印容量问题。本算法可在 4 个子带中分别嵌入原载体图像 1/2 的水印图像, 且水印图像可以相同, 也可以不同; 可以是二值图像, 也可以是灰度图像。若原载体图像为 $1\,024 \times 1\,024$ 像素, 则水印图像为 512×512 像素, 故 4 个子带中嵌入的水印图像共 $1\,048\,576$ 像素。水印图像为灰度图像时, 水印图像的像素值范围为 0~255, 通过实验测试发现, 在 LL 子带中嵌入灰度图像的水印强度范围是 0.040~0.070, 其它子带中为 0.004~0.009。可见本算法具有较大的水印容量。

在胶版印刷工艺流程下, 对本文提出的水印算法和文献 [8] 所提算法进行了测试, 实验结果表明: 本文提出的水印算法在水印透明性、鲁棒性和容量方面均表现更好, 能够抵抗胶版印刷-扫描过程。因此, 本文提出的水印算法可用于包装中专色印刷图像的版权保护、取证和防伪等方面, 可以直接应用于现有的包装印刷工艺流程, 不需要额外的辅助材料, 具有绿色环保、成本低且安全性能高等特点。

在未来的研究工作中, 本课题组将从两个方面对算法进行改进: 一方面, 改进水印提取算法, 以适用两种及以上的专色印刷图像以及不同印刷方式的工艺流程; 另一方面, 针对不同的专色, 建立阶调优化模型数据库, 以适用更多的专色印刷工艺。

参考文献:

- [1] 杨慧芳. 基于光谱的专色叠印预测模型研究[J]. 北京印刷学院学报, 2016, 24(2): 17-21.
YANG Huifang. Predicting the Colorimetry of Spot Color Overprints Using Spectral Methods[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2016, 24(2): 17-21.
- [2] 谢勇, 张金龙, 张雯. 一种基于奇异值的抗打印/扫描的彩色图像零水印方案[J]. 包装学报, 2014, 6(3): 10-13.
XIE Yong, ZHANG Jinlong, ZHANG Wen. A Zero-Watermark Scheme Based on Singular Value of the Resistance to Printing/Scanning Color Image[J]. Packaging Journal, 2014, 6(3): 10-13.
- [3] XIE Y, YUAN Y, TAN H H, et al. Effect of Embedding Way on Printed Watermarking Image by Lithography [C]//2014 International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery. Shanghai: IEEE, 2014: 286-289.
- [4] MAK BOL N M, KHOO B E, RASSEM T H. Performance Evaluation of SVD-Based Digital Image Watermarking Scheme on Print-Scan and Print-Cam(PSPC) Applications[C]//2014 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems(ISPACS). Kuching: IEEE, 2014: 48-53.
- [5] 王彩印, 孔祥维, 郭君, 等. 基于 ICC 色彩空间转换的彩色印刷图像数字水印[J]. 光电子·激光, 2014, 25(11): 2186-2195.
WANG Caiyin, KONG Xiangwei, GUO Jun, et al. Adaptive Color Printing Image Watermarking Based on ICC Color Space Conversion[J]. Journal of Optoelectronics·Laser, 2014, 25(11): 2186-2195.
- [6] WANG C Y, KONG X W, LI C. Process Color Watermarking: The Use of Visual Masking and Dot Gain Correction[J]. Multimedia Tools and Applications, 2017, 76(15): 16291-16314.
- [7] ALATTAR O M, REED A M. Watermarking Spot Colors[C]//The International Society for Optical Engineering (SPIE). [S. l.]: SPIE, 2003, 5020: 430-439.
- [8] REED A, FILLER T, FALKENSTERN K, et al. Watermarking Spot Colors in Packaging[C]//The 2015 IS&T/SPIE Electronic Imaging Conference: Media Watermarking, Security, and Forensics. [S. l.]: SPIE, 2015, 9409: 1-13.
- [9] 邱群, 马小虎. 采用整数小波变换和多目标遗传算法的可逆灰度水印[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2015, 27(7): 1290-1297.
QIU Qun, MA Xiaohu. Reversible Grayscale Watermarking Using Integer Wavelet Transform and Multi-Objective Genetic Algorithm[J]. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 2015, 27(7): 1290-1297.
- [10] MAK BOL N M, KHOO B E. Robust Blind Image Watermarking Scheme Based on Redundant Discrete Wavelet Transform and Singular Value Decomposition[J]. AEÜ - International Journal of Electronics and Communications, 2013, 67(2): 102-112.
- [11] LAI C C. A Digital Watermarking Scheme Based on Singular Value Decomposition and Tiny Genetic Algorithm[J]. Digital Signal Processing, 2011, 21(4): 522-527.
- [12] MAK BOL N M, KHOO B E. A New Robust and Secure Digital Image Watermarking Scheme Based on the Integer

- Wavelet Transform and Singular Value Decomposition[J]. Digital Signal Processing, 2014, 33: 134-147.
- [13] 肖 亮, 叶建兵, 韦志辉. 一类基于 SVD 的数字水印虚警分析与改进算法 [J]. 南京理工大学学报 (自然科学版), 2010, 34(2): 227-231.
- XIAO Liang, YE Jianbing, WEI Zhihui. Analysis of High False Alarm in SVD Based Watermarking and Improved Algorithm[J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology (Natural Science), 2010, 34(2): 227-231.
- [14] HERSCH R D, CRETE F. Improving the Yule-Nielsen Modified Neugebauer Model by Dot Surface Coverages Depending on the Ink Superposition Conditions[J]. Color Imaging X: Processing, Hardcopy, and Applications, 2005, 5667: 434-445.
- [15] 屠长河, 冯定国, 李学庆, 等. 面向专色印制的油墨定制及图像分色算法的研究 [J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(1): 75-80.
- TU Changhe, FENG Dingguo, LI Xueqing, et al. Studies in Ink Customization for Spot Color Printing Technology and Color Separation of Continuous Tone Pattern [J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10(1): 75-80.
- [16] WYBLE D R, BERNIS R S. A Critical Review of Spectral Models Applied to Binary Color Printing[J]. Color Research & Application, 2000, 25(1): 4-19.
- [17] SWELDENS W. The Lifting Scheme: A Construction of Second Generation Wavelets[J]. SIAM Journal on Mathematical Analysis, 1998, 29(2): 511-546.
- [18] JIA Z Z, ZHU H Y, CHENG W S. A Blind Watermarking Algorithm Based on Lifting Wavelet Transform and Scrambling Technology[C]//2010 International Conference on Electrical and Control Engineering. Wuhan: IEEE, 2010: 4576-4579.
- [19] LOUKHAOUKHA K, CHOUINARD J Y. Hybrid Watermarking Algorithm Based on SVD and Lifting Wavelet Transform for Ownership Verification[C]//2009 11th Canadian Workshop on Information Theory. Ottawa: IEEE, 2009: 177-182.

A Robust Watermarking Algorithm for Spot Color Printing

WANG Caiyin, LI Chao

(School of Light Industry and Chemical Engineering, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

Abstract: The digital watermarking methods for packing and decoration drawings were primarily aimed at process color, which had poor performance in spot color printing. Based on the spot color printing and combined with Integer Wavelet Transform (IWT) and Singular Value Decomposition (SVD), a robust watermarking algorithm for spot color printing was presented herein. Firstly, spot-channel image was transformed with IWT, and the watermark was then embedded in singular values of the 1-level IWT decomposed sub-bands. To improve the security, Arnold scrambling and encryption was adopted and a digital signature was embedded in the watermarked images. Based on the features of print-scanned image, the spot color printing image was scanned into grey image in extracting process, and the extracting digital signature was required prior to the extraction of watermark information. To verify the proposed method, the offset printing was chosen. A series of tests were conducted and compared with the method in paper [8]. The results showed that the method was effective to resist the attack from offset printing, and the imperceptibility, capacity and security in the spot color were also favorable.

Keywords: spot color printing; digital watermarking; integer wavelet transform; singular value decomposition; digital signature