

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2015.02.003

CMYK 与 RGB 颜色空间数字水印 在印刷品中的应用比较

肖颖喆, 张 雯, 谢 勇

(湖南工业大学 包装与材料工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘 要: 为提高水印抗印刷/扫描攻击的鲁棒性, 比较了在 CMYK 与 RGB 颜色空间嵌入的水印经印刷/扫描后提取的效果。采用离散小波变换域傅里叶全息数字水印算法生成水印图像, 经印刷/扫描后, 可以提取到水印; 然而, 由于印刷/扫描过程中颜色空间的转换, 使得原本嵌入某一颜色通道的水印转移到其他通道, 降低了单通道提取的水印质量; 且相对于 RGB 颜色空间, 在 CMYK 颜色空间嵌入水印生成的水印图像经历印刷/扫描后提取到的水印质量普遍较高, 说明 CMYK → RGB → CMYK 颜色空间的转换相对于 RGB → CMYK → RGB 颜色空间的转换, 对水印图像的改变较小。为减小印刷/扫描攻击的影响, 考虑下一步研究工作主要集中在 CMYK 颜色空间嵌入水印。

关键词: 防伪印刷; 水印; 全息数字水印技术; CMYK; RGB; 颜色空间; 转换

中图分类号: TS853+.6

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2015)02-0011-05

The Application of Digital Watermarking Technology for Printings in CMYK and RGB Color Space

Xiao Yingzhe, Zhang Wen, Xie Yong

(School of Packaging and Material Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: In order to find the proper color space for promoting robustness against print-and-scan, the watermarks extracted from watermarked image embedded into CMYK and RGB color space were compared. Experiments showed that the watermark embedded into one channel diffused to other channels and reduced the quality of extracted watermark. The watermark extracted from watermarked image embedded into CMYK color space had higher quality than RGB space, which indicated that the transformation of CMYK → RGB → CMYK led to less damage for extracted watermark than in the transformation of RGB → CMYK → RGB. The future research on anti-counterfeiting print should mainly be focused on the embedded watermark CMYK color space.

Key words: anti-counterfeiting printing; watermarks; holographic watermarking technology; CMYK; RGB; color space; transformation

收稿日期: 2014-11-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61170101)

作者简介: 肖颖喆(1974-), 女, 湖北汉川人, 湖南工业大学副教授, 主要从事包装防伪技术和包装结构设计方面的教学与研究, E-mail: xiaoyingzhe7410@126.com

通信作者: 谢 勇(1964-), 男, 湖南攸县人, 湖南工业大学教授, 主要从事功能包装材料及包装防伪技术方面的教学与研究, E-mail: hutxy@126.com

0 引言

随着图像采集技术的不断发展及采集精度的不断提高,不法分子通过高精度扫描仪采集印刷品图像进行再次印刷来制假贩假、扰乱市场秩序的违法现象屡见不鲜。数字水印技术作为数字媒体版权保护的手段已得到研究者的广泛关注,并且已有学者尝试将其应用于打印、印刷品防伪等领域,试图找到一种“难仿制、易识别、低成本、无公害”的印刷防伪技术^[1-8]。如吴清乐等^[1]提出了一种数字全息双水印离散傅里叶变换(discrete fourier transform, DFT)域算法;叶天语^[2]提出了一种抗二次打印/扫描鲁棒零水印算法;葛云露等^[3]结合人眼视觉系统(human visual system, HVS)和噪声可见函数(noise visibility function, NVF)自适应控制水印嵌入强度,提出了一种基于Walsh编码调制的抗打印/扫描的鲁棒水印算法;孙云峰等^[4]提出了一种基于傅里叶全息数字水印系统。然而,已报道的水印算法大多集中在打印机上进行实验,而实际生产中,大批量的印刷品是由印刷机械生产出来的。

在印刷过程中一般采用CMYK颜色空间,扫描仪获得的数字图像却大多以RGB颜色空间显示。印刷和扫描过程中采用两种不同的颜色空间,必然会导致水印图像在经历印刷/扫描过程中颜色空间的转换,导致水印的转移甚至丢失,这加大了水印提取的难度。虽然CMYK与RGB颜色空间的转换都是通过Lab这个与设备无关的色彩空间来进行的,但是考虑到Lab颜色空间的色域大于CMYK和RGB颜色空间的色域,若将水印嵌入Lab颜色空间后再转换到CMYK或RGB颜色空间,都会改变部分颜色,因此本研究暂不考虑Lab颜色空间。本研究主要应用离散小波变换(discrete wavelet transform, DWT)域全息数字水印算法,实现在CMYK与RGB颜色空间分别嵌入水印并生成水印图像,经印刷/扫描后获得扫描图像,再经扫描图像提取水印,比较两者所提取的水印质量。

1 CMYK和RGB颜色空间

1.1 CMYK和RGB颜色空间的差异

由于印刷品本身不具备发光特性,其颜色表现是通过反射光来实现的,属于反光体;而通过显示器展现出来的数字图像本身是发光体,其颜色表示是通过发光来实现的。反光体通常采用CMYK颜色空间,而发光体通常采用RGB颜色空间。

数字图像经过印刷机械的生产加工而得到印刷

品,然而,与数字图像相比,印刷品图像的颜色相对较暗淡,不如数字图像的色彩鲜活动人,有的甚至存在较大的颜色失真。这是由于数字图像在RGB颜色空间中展示,其色域相对CMYK颜色空间较为宽广^[9],可以展现的颜色更为丰富,而印刷后的图像由CMYK颜色空间来表现,颜色空间的转换在一定程度上丢失或改变了部分像素点,导致颜色失真。

1.2 CMYK和RGB颜色空间的转换

RGB和CMYK颜色空间之间的相互转换会造成图像部分颜色的改变。图1a所示为RGB颜色空间中的标准测试图像辣椒图像,图1b为由RGB颜色空间转换为CMYK颜色空间的辣椒图像,图1c为由CMYK颜色空间再转换为RGB颜色空间的辣椒图像。

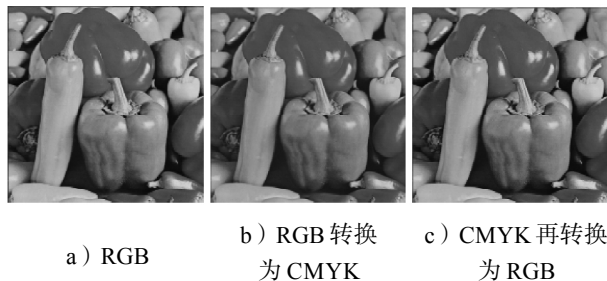


图1 CMYK和RGB颜色空间的测试图像

Fig. 1 Pepper images in RGB and CMYK space

如图1所示,RGB颜色空间中的图像颜色较为鲜亮、饱满,而将RGB颜色空间中的图像转化为CMYK颜色空间中的图像后,其颜色整体偏暗。并且,即使将图像颜色空间由CMYK再次转换为RGB,图像色彩仅能得到一定程度的复原,仍有部分色彩在颜色转换中被改变。正如文献[9]中所述,虽然RGB相对CMYK颜色空间色域较宽,但是仍然存在一部分颜色在CMYK颜色空间可以显示而在RGB颜色空间却无法显示的问题。综上所述,RGB和CMYK颜色空间之间的相互转换都会造成图像部分颜色的改变,并且这种改变不可逆。

由于印刷过程中通常采用CMYK颜色空间,而扫描后得到的图像通常采用RGB颜色空间,将水印嵌入宿主图像某一颜色通道后获得水印图像,不论水印图像采用RGB颜色空间还是CMYK颜色空间,在印刷/扫描时不可避免地要经历一次颜色空间转换,造成水印图像部分像素的改变,降低从中提取出的水印质量。因此,本文将比较两种颜色空间的水印图像经过印刷/扫描后提取到的水印质量,以寻找合适的水印嵌入空间。

RGB和CMYK颜色空间的水印图像在印刷/扫描过程中,其颜色转换流程如图2所示。

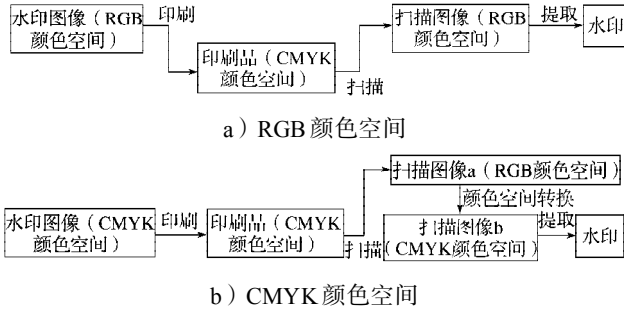


图2 RGB 和 CMYK 颜色空间的水印图像在印刷 / 扫描过程中的颜色空间转换流程

Fig. 2 Converting of color space in the process of printing-and-scan of the watermarked image in RGB and CMYK color space

2 全息数字水印算法

2.1 制作傅里叶全息图

采用 Matlab 2013a 平台进行水印嵌入和提取实验, 水印为 128 像素 × 128 像素的二值水印, 如图 3a 所示, 将其记为 $w(x, y)$ 。

印刷品是采用离散的点来构成图像的, 即在印刷过程中伴随着图像半色调化的过程, 该过程必然会对水印造成攻击, 影响水印的提取。据此, 本文将水印制作成全息图后嵌入宿主图像中, 试图利用全息图独特的不可撕毁性, 在一定程度上提高水印抗印刷的鲁棒性。同时, 全息图由高频带状条纹构成, 人眼对其不敏感, 不仅加密了水印, 还提高了水印的不可感知性, 这在一定程度上权衡了水印鲁棒性和不可感知性之间的矛盾。

将水印 $w(x, y)$ 的博奇编码傅里叶全息图记为 $h(x, y)$, 如图 3b 所示, 全息图的具体制作过程参考文献[10]。

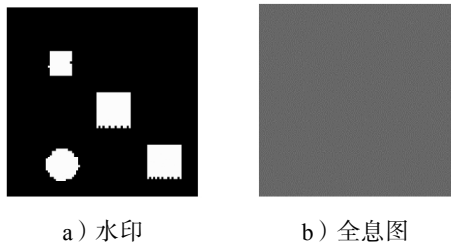


图3 水印和全息图

Fig. 3 Watermark and hologram

2.2 嵌入水印

采用图 1a 和图 1b 作为宿主图像, 分别记为 $I_1(x, y)$ 和 $I_2(x, y)$ 。对宿主图像作分通道处理, 将 $I_1(x, y)$ 分作 R、G 和 B 3 个通道, $I_2(x, y)$ 分作 C、M、Y 和 K 4 个通道, 并对 B 通道和 C 通道进行二层 Haar 小波分解, 图 4 为一级、二级 Haar 小波分解示意图。

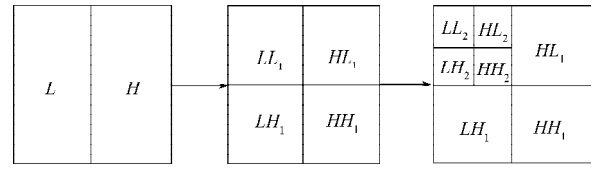


图4 一级、二级小波分解示意图

Fig. 4 Wavelet decomposition diagram of 1-level and 2-level

图 4 中, LL_1 , HH_1 , HL_1 和 LH_1 分别表示图像一层小波分解的低频逼近子带、水平高频细节子带、垂直高频细节子带和对角线高频细节子带。 LL_2 , HH_2 , HL_2 和 LH_2 分别表示 LL_1 的二层小波分解的低频逼近子带、水平高频细节子带、垂直高频细节子带和对角线高频细节子带。

嵌入方程为:

$$W'(i, j) = aw(i, j). \quad (1)$$

式中: $W'(i, j)$ 表示水印嵌入后 HH_2 的小波系数值; a 为强度因子, a 升高, 则鲁棒性随之升高, 不可感知性降低, 综合考虑水印的鲁棒性和不可感知性, 选取强度因子为 1.5; $W(i, j)$ 为全息图 HH_1 的小波系数值。

将全息图经一层小波分解的 HH_1 子带嵌入宿主图像二层小波分解的 HH_2 子带中。对已嵌入全息图的 B 通道进行逆小波分解后与 R 通道和 G 通道合并, 得到水印图像 $I_{w1}(x, y)$, 如图 5a 所示; 同理, 得到水印图像 $I_{w2}(x, y)$, 如图 5b 所示。

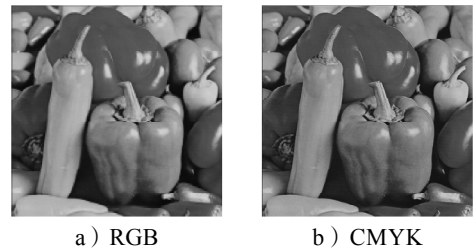


图5 RGB 与 CMYK 颜色空间水印图像

Fig. 5 Watermarked images in RGB and CMYK color space

本研究采用峰值信噪比 (peak signal to noise ratio, PSNR) 来客观衡量水印 $I_w(x, y)$ 的图像质量。PSNR 定义为:

$$P_{SNR} = 10 \log \frac{MN \max [I(x, y)]^2}{\sum_{x, y} [I(x, y) - I_w(x, y)]^2} \quad (2)$$

式中 M , N 表示图像的分辨率, 单位为 ppi。

PSNR 在一定程度上反映了图像变化前后的统计特性。通常, P_{SNR} 值为 20~45 dB, P_{SNR} 值越大, 图像的保真度就越好。水印图像 $I_{w1}(x, y)$ 和 $I_{w2}(x, y)$ 的 P_{SNR} 分别为 30.938 0 dB 和 32.922 0 dB, 水印图像的质量较高, 水印不可感知性较好。

2.3 提取和再现水印

本研究采用的水印提取算法为其嵌入算法的逆

运算,基本流程如下:读入水印图像 $I_w(x, y)$ 并作分通道处理,对嵌入水印的通道 (RGB 颜色空间中的 B 通道和 CMYK 颜色通道中的 C 通道) 作二层小波分解,提取其二层小波分解的对角线高频细节子带,记为 HH' 。 HH' 为水印的对角高频信息,应用傅里叶全息图再现原理^[7],得到再现水印 $w'(x, y)$,完成水印的提取过程。

图 6 为从水印图像 (图 5) 中提取出的水印。由图 6 可知,在水印图像未经历任何攻击的情况下,可以提取到比较完整的水印。图 6a 和 b 中水印的归一化系数 (normalized coefficient, NC) 值均为 0.959 7,可见提取到的水印保真度较高,且在未遭受攻击的情况下,水印的保真度与嵌入水印的颜色空间无关。

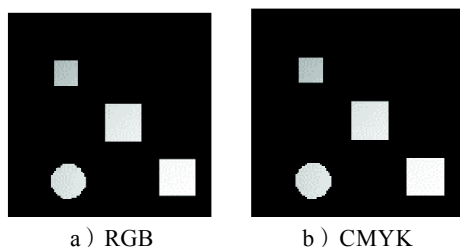


图 6 RGB 和 CMYK 颜色空间水印图像中提取的水印

Fig. 6 Extracted watermark in RGB and CMYK color space

此外,尝试在水印图像未嵌入水印的颜色通道 (如 RGB 颜色空间中的 R 和 G 通道, CMYK 颜色空间中的 M、Y 和 K 通道) 中提取水印,不能提取到水印信息。

3 印刷 / 扫描实验及结果分析

将图 5 中两种颜色空间的水印图像进行印刷 / 扫描,印刷 / 扫描参数如下:

印刷机型号为威海滨田 WEIHAI HAMADA 452A 六开四色印刷机,印刷油墨为 UNI-100 高级四原色东吴油墨,UV 板材 (1.5 mm 超薄型),调幅 (amplitude modulation, AM) 加网方式,网点形状为方形,加网线数 175 lpi, K45° 的加网角度,通过打孔定位,利用由计算机直接到印版 (computer to plate, CTP) 制

版机制版,承印材料为 300 g/m² 的铜版纸;扫描仪为 CANON 5600 F 扫描仪,扫描分辨率均为 300 dpi。

经过印刷 / 扫描后获得的数字图像如图 7 所示, RGB 颜色空间的印刷 / 扫描图像 P_{SNR} 值为 23.799 9 dB, CMYK 颜色空间的印刷 / 扫描图像 P_{SNR} 值为 23.018 0 dB,其图像质量略低于 RGB 颜色空间的图像质量。

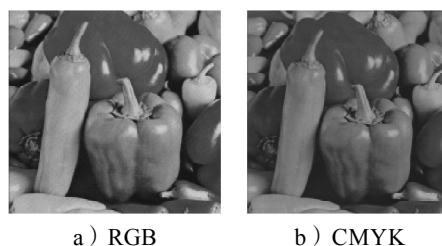


图 7 CMYK 和 RGB 颜色空间的印刷 / 扫描图

Fig. 7 Printed-and-scanned images in RGB and CMYK color space

由图 7a 的 B 通道中提取到的水印 (如图 8a) N_c 值为 0.748 4,由图 7b 的 C 通道提取到的水印 (如图 8b) N_c 值为 0.826 7,其水印质量高于由 RGB 颜色空间提取到的水印,说明 CMYK 颜色空间的水印图像抵抗印刷 / 扫描攻击的鲁棒性更强。

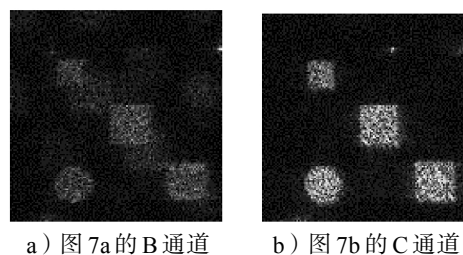


图 8 由图 7 的 B 通道及 C 通道提取的水印

Fig. 8 Watermarks extracted from Fig. 7

为进一步分析在印刷 / 扫描过程中颜色空间转换给水印造成的攻击,在 RGB 和 CMYK 颜色空间扫描图像的各个颜色通道分别提取水印,并计算其 N_c 值,相关数据如表 1 所示。RGB 颜色空间中, B 通道提取到的水印质量最高, CMYK 颜色空间中, C 通道提取到的水印质量最高,并且 CMYK 颜色空间中 C 通道提取到的水印质量高于 RGB 颜色空间中 B 通道提取到的水印质量。

表 1 RGB 和 CMYK 颜色空间印刷 / 扫描图像中提取的水印及其 N_c 值

Table 1 Extracted watermarks and N_c from printed-and-scanned images in RGB and CMYK color space

项 目	RGB 颜色空间			CMYK 颜色空间			
	R 通道	G 通道	B 通道	C 通道	M 通道	Y 通道	K 通道
提取的水印							
N_c 值	0.550 7	0.748 4	0.748 4	0.826 7	0.519 3	0.669 2	0.713 3
调整色阶后的水印							

为清晰辨认提取到的水印,分别对其色阶进行了调整,将其输入色阶调整到[20, 45]之间。由表1可知,在R、G、B、C、M、Y和K 7个通道中均提取到了水印,而本文2.3节中,仅在B和C通道中提取到了水印,其他通道不能提取水印,由此可见,在印刷/扫描过程中颜色空间的转换使得水印部分转移到了其他通道。

4 结论

本研究采用DWT域全息数字水印算法,分别在CMYK与RGB颜色空间嵌入水印,水印图像经历印刷/扫描攻击后,再次提取水印,得到如下结论:

1) 经历印刷/扫描攻击后可以提取到水印,DWT域全息数字水印算法对印刷/扫描攻击具备一定的鲁棒性。

2) 经历印刷/扫描攻击后,原本在某一通道的水印部分转移到其他通道,降低了水印提取质量。

3) 相对RGB颜色空间,在CMYK颜色空间嵌入水印生成的水印图像在经历印刷/扫描后提取到的水印质量较高,说明CMYK→RGB→CMYK颜色空间的转换相对于RGB→CMYK→RGB颜色空间的转换对水印图像的改变较小。

为减小印刷/扫描攻击的影响,考虑下一步研究工作主要集中在CMYK颜色空间嵌入水印。

参考文献:

- [1] 吴清乐,彭代渊.基于离散傅里叶变换的数字全息水印[J].计算机应用,2013,33(3):752-755.
Wu Qingle, Peng Daiyuan. Digital Hologram Watermarking Based on Discrete Fourier Transform[J]. Journal of Computer Applications, 2013, 33(3): 752-755.
- [2] 叶天语.离散余弦变换域抗二次打印-扫描鲁棒零水印算法[J].光子学报,2011,40(1):142-148.
Ye Tianyu. A Robust Zero-Watermarking Algorithm Against Dual Print-and-Scan Process Based on Discrete Cosine Transformation[J]. Acta Photonica Sinica, 2011, 40(1): 142-148.
- [3] 葛云露,年桂君,王树勋.基于Walsh编码调制的抗打印扫描数字水印算法[J].东南大学学报:自然科学版,

2007, 37(1): 197-200.

Ge Yunlu, Nian Guijun, Wang Shuxun. Walsh Modulating Watermarking Algorithm for Image Print-and-Scan Process [J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2007, 37(1): 197-200.

- [4] 孙云峰,翟宏琛,杨晓苹,等.傅立叶计算全息数字水印在彩色图像印刷防伪中的应用[J].光子·激光,2008,19(7):952-955.

Sun Yunfeng, Zhai Hongchen, Yang Xiaoping, et al. Application of Fourier CGH Digital Watermarking Technique in Color Image Forgery-Prevention Printing[J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2008, 19(7): 952-955.

- [5] Matthieu Urvoy, Florent Autrusseau. Print and Scan-Robust Image Watermarking Algorithm[J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2013, 41(7): 120-125.

- [6] 肖颖喆,张雯,单武扬.全息数字水印技术在防伪印刷领域的应用研究[J].包装学报,2013,5(4):47-51.
Xiao Yingzhe, Zhang Wen, Shan Wuyang. Research on Application of Holographic Digital Watermarking Anti-Counterfeiting Printing[J]. Packaging Journal, 2013, 5(4): 47-51.

- [7] 王娟娟,肖颖喆,李娟,等.打印/扫描过程中数字水印图像的失真及还原[J].包装学报,2013,5(2):40-44.
Wang Juanjuan, Xiao Yingzhe, Li Juan, et al. Distortion and Reduction of Digital Watermarking Image in Print-Scan Process[J]. Packaging Journal, 2013, 5(2): 40-44.

- [8] 肖颖喆,王娟娟.抗打印/扫描数字水印技术的研究进展[J].包装学报,2012,4(3):49-53.

Xiao Yingzhe, Wang Juanjuan. Research Progress of Print-Scan Resistant Digital Watermarking Technology[J]. Packaging Journal, 2012, 4(3): 49-53.

- [9] Dianne McGavin, Bernard Stukenborg, Mark Witkowski. Color Figures in BJ: RGB Versus CMYK[J]. Biophysical Journal, 2005, 88(2): 761-762.

- [10] 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 Juanjuan. A Kind of Printing and Scanning Tilt Distortion Resistant Digital Watermarking Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(15): 104-108.

(责任编辑:徐海燕)