

研究进展

数字水印技术在印刷防伪领域应用的研究进展

张雯, 孟婕

(天津职业大学, 天津 300410)

摘要: **目的** 综述将数字水印技术应用于印刷防伪领域, 开发具备“难仿制、易识别、低成本、无公害”特点的印刷品防伪技术的研究进展。**方法** 将该技术在印刷防伪领域应用流程划分为包括水印生成与嵌入、印刷-采集过程、水印提取与检测 3 个阶段并分阶段探讨其研究现状。**结论** 现阶段研究主要着力权衡水鲁棒性和不可感知性之间的矛盾, 进一步研究可从印刷-采集图像攻击对水印的影响着手, 从而权衡水印不可感知性与抗印刷-采集攻击鲁棒性之间的关系, 加强对水印“防二次印刷”脆弱性的研究, 描述印刷原稿、水印算法和印刷工艺参数之间的关系, 建立并完善数字水印印刷防伪可视化应用平台。

关键词: 数字水印技术; 印刷品; 防伪

中图分类号: TS805.4; TS853^{+.6} **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)15-0143-06

Progress of Applying Digital Watermarking Technology in Printing Anti-counterfeiting

ZHANG Wen, MENG Jie

(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

ABSTRACT: This work aims to summarize the research programs of applying digital watermarking technology in anti-counterfeiting printing, to find a kind of printing anti-counterfeiting technology which is difficult to be copied, easy to be identified, of low cost and no pollution. Process of above technology applied in the field of printing anti-counterfeiting was divided into three stages which included generating and embedding watermarks, printing and scanning, extracting and detecting watermarks. Research status were discussed the in stages. Current research mainly focused on tradeoff contradiction between robustness and invisibility. Further studies could be started from influences of printing and scanning attacks on watermarks, to balance the relationship of invisibility and robustness to resist printing and scanning attacks, strengthen research on “fragility” that prevents secondary printing, descript the relationship between printing design, watermarking algorithm, printing process and parameters, establish and improve the visualization application platform for digital watermark printing anti-counterfeiting.

KEY WORDS: digital watermarking technology; presswork; anti-counterfeit

不论是商品外包装、票据或者是书籍报刊, 印刷品作为承载、传递产品信息的媒介与消费者直接接触, 成为众多防伪手段的应用载体。印刷图文防伪技术大多通过在印刷品生产过程中采用某种特殊的印刷工艺(如雕刻版印刷)或引入某种特殊的材料(如光敏、热敏变色油墨)来达到防伪的目的, 并且常常采用多种方式组合防伪。特殊的工艺、材料往往会有不易自动识别、印刷品成本提高、不适合大批生产、

环境污染等问题。为解决上述问题, 学者们尝试将数字水印技术应用于印刷品防伪领域, 试图找到一种“难仿制、易识别、低成本、无公害”的印刷品防伪技术^[1-15]。

数字水印技术通过引入人眼不能察觉, 但计算机程序可以重新提取的数据, 嵌入到宿主图像。嵌入数据的位置由密钥决定, 所以造假者不能直接访问它。该技术在播出监控、鉴定、证明所有权、交易跟踪、

收稿日期: 2016-12-24

基金项目: 天津职业大学 2015 年度校基金(20151202); 天津市高等学校科技发展基金(20140403)

作者简介: 张雯(1989—), 女, 硕士, 天津职业大学助教, 主要研究方向为印刷品全息水印防伪技术。

内容认证、拷贝控制、设备控制和数字版权保护等领域的应用是有效的,其中最主要的是数字版权保护^[16-21]。近年来,学者们尝试将这项技术从数字版权保护领域移植应用于印刷防伪领域,已有研究成果颇丰,但仍有关键问题未能得到圆满解决。文中将综述数字水印技术在防伪印刷领域的应用流程,介绍该过程中关键问题的研究现状,并展望进一步的研究方向。

1 数字水印技术在防伪印刷领域的应用流程

将数字水印技术应用到印刷品防伪的主要流程如下所述(见图1)。

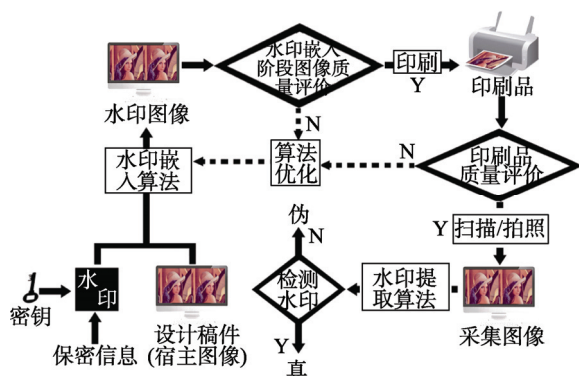


图1 数字水印技术在防伪印刷领域的应用流程
Fig.1 Process of digital watermarking technology applied in the field of printing anti-counterfeiting

1) 生成水印信息。选择某种密钥,将需要保密并隐藏的信息与密钥进行运算,生成水印 w 。

2) 水印嵌入。在数字水印系统中,水印 w 被嵌入到多媒体对象 o 中,生成水印图像 m ,嵌入方程式可表示为:

$$m=e(w, o) \quad (1)$$

式中: e 为水印嵌入算法。水印嵌入算法的逆过程适用于提取水印,即水印可以被提取。

设计某种水印嵌入算法,将水印 w 嵌入到印刷品的设计原稿 o (宿主图像)中,获得水印图像 m ,并评价水印图像 m 质量,若水印图像 m 质量不符合要求(水印图像 m 保真度低或打样不符合客户需求),则优化嵌入算法,重新嵌入水印,直至水印图像 m 符合要求;若水印图像 m 质量符合要求,则进行下一步。

3) 选择适合2)中水印嵌入算法的印刷方式和工艺参数进行印刷(例如采用平版胶印的方式,调幅加网、圆形网点、加网线数200 lpi等参数)。获得印刷品后,评价印刷品质量,考察印刷品质量是否符合国家标准、客户需求,若印刷品质量不符合要求,则需要优化嵌入算法,重新嵌入水印、印刷并评价质量;若印刷品质量符合要求,则进行下一步。

4) 提取水印。采集(扫描或拍照)含有水印的图像,即采集印刷品信息并转换为数字图像,获得采

集图像。

5) 采集图像与水印图像必然存在较大差异,对采集图像进行矫正(几何校正、像素值校正)后,应用与2)中水印嵌入算法对应的水印提取算法由采集图像中提取水印。

6) 检测水印。将提取到的水印与1)中生成的水印图像比较,若二者的相似度在允许的阈值内,则判定该印刷品为真品,若不在允许的阈值内,则判定该印刷品为伪造品。

数字水印技术移植应用到印刷品防伪领域中,与其在数字版权保护领域应用的主要区别为:从水印嵌入后到水印提取前,不可避免地要进行印刷-采集过程,该过程对水印的攻击是一个具有挑战性的问题,因为水印中携带着大量信息,水印既要对抗印刷-采集攻击具备鲁棒性,又要保证印刷品质量,即水印具备较好的不可感知性。即使同时保证了水印的鲁棒性和不可感知性,合格的印刷品经过第1次印刷后可提取水印并不意味着问题已经得到圆满解决,倘若造假者使用高保真扫描仪扫描印刷品并进行二次印刷,二次印刷品中依旧可提取水印,则无法满足防伪技术“难仿制”的要求,不能作为有力的防伪手段,因而,水印“防二次印刷”的性能也至关重要。文中将数字水印技术应用到印刷品防伪的主要流程分为印前生成嵌入水印、印刷-采集、提取并检测水印等3个阶段,分别探讨所需解决的关键问题及其研究进展。

2 水印生成与嵌入

水印的生成与嵌入算法的提出由水印需要具备的性质决定,水印常见的性质如下所述^[16-17]。

1) 鲁棒性又称顽健性。鲁棒性与脆弱性相对,是水印能够抵制不同攻击的能力。常见的攻击包括压缩储存水印图像时产生的压缩攻击,印刷-采集过程中,印刷过程将数字图像转变为模拟图像,而图像采集过程将模拟图像转变为数字图像,这2种攻击产生的扭曲与失真有多重。首先是普遍的几何失真,如旋转、倾斜、缩放或裁剪,这主要是由于扫描或拍照过程产生的。此外,还存在像素值的非线性失真,这是由于亮度和对比度变化、伽马校正、半色调处理或噪声添加引起的。

水印的鲁棒性决定了水印经历攻击后是否可以顺利提取。若水印对印刷-采集攻击的鲁棒性强,则有利于顺利提取水印,因而水印需要具备一定的鲁棒性。倘若把经过高保真扫描后获得的采集图像再次印刷,依旧可以提取水印,则水印可仿制,不能达到防伪的目的,因此,水印还需要对二次印刷-扫描攻击具备脆弱性,达到防二次印刷的目的。

2) 不可感知性又称不可见性。若水印不可感知

性差,人眼视觉可以察觉添加水印前后宿主图像的变化,则宿主图像保真度降低;否则,说明宿主图像保真度较高,水印的不可感知性好。例如应用到包装印刷品中,此时宿主图像为传递产品信息、促进销售的包装装潢,水印不应影响包装装潢的视觉效果,因而在设计水印嵌入算法时应考虑保持水印较高的不可感知性。

3) 容量即可以被嵌入的数据量的大小。当水印技术得到广泛应用,嵌入的水印信息数量必然提升,水印的容量对于这项技术的推广尤为重要。

4) 安全。如果水印数据被改变或者提取,不应影响宿主图像或者产品。

5) 效率即嵌入和提取数字水印的速度。提取水印的效率关系到这项技术的应用是否可以适应现代化的快节奏,直接影响着数字水印的实用性。

对于大多数数字水印,印刷-采集攻击是一个具有挑战性的问题。水印中携带着大量信息,水印既要使印刷-采集攻击具备抵抗力,又要肉眼不可见。由图1可知,水印嵌入算法不仅需要保证可以嵌入足够容量的信息并能够顺利提取信息,还受到水印图像m的图像质量评价、印刷品质量评价结果制约,即对水印不可感知性的要求。水印的容量、鲁棒性和不可感知性等3个性质至关重要。

水印的容量、鲁棒性和不可感知性这3个性质彼此之间相互制约。一方面,正如Alain Trémeau^[16]的研究显示,为了具有足够的鲁棒性,水印需要放置在可感知性比较重要的位置;另一方面,为了具有高的保真度,水印不得被放置在不易被感知的部分,因此,鲁棒性和不可感知性是相互制约的性能。同样,没有一个水印方案既可以抵制广泛的攻击,又具有很高的容量,不缩减保真度,也不能提高容量。

为权衡上述三者的性质,学者们做了许多尝试。例如日本学者N. Takai^[21]于2002年提出了全息数字水印算法,该算法将水印制作成全息图,再嵌入到宿主图像中。一方面全息图具备独特的不可撕毁性,可提高水印算法的鲁棒性,尤其是抗剪切的鲁棒性;另一方面干涉条纹形式记录的全息图类似随机条纹,人眼视觉对其不敏感,利于提高水印的不可感知性,全息图的引入为权衡水印的鲁棒性和不可感知性的研究开拓了思路。上述水印算法虽然存在抗压缩攻击能力差的问题,但是在此基础上的拓展研究相继展开。2005年H T Chang等^[22]提出将水印信息嵌入离散余弦域(DCT)的中频系数中,以提高水印的不可感知性。2007年,O E Okman等^[23]在水印嵌入算法中应用量化索引调制,将水印嵌入离散小波变换(DWT)的低频子带,其抗滤波攻击鲁棒性较强,抗压缩攻击的鲁棒性有显著提高,且水印提取过程实现了盲提取。该算法的研究着力解决信号进程方面的攻击,如低通滤

波与压缩攻击,并未涉及到抗几何攻击的鲁棒性。2010年,LI Jian-zhong^[24]在嵌入水印阶段应用量化嵌入的方法将水印嵌入DWT的低频子带。在提取水印阶段,结合尺度不变特征变换、不变质心和脉冲耦合神经网络来评估图像的几何畸变并修正。DWT水印方案对JPEG压缩的鲁棒性较强,学者们相继探索其变换域中图像不可感知性较强的区域位置^[25—28]。

3 水印攻击特性

将数字水印技术移植到印刷防伪领域,最严峻的挑战则是印刷-采集图像过程对水印的攻击,其特点可归结为以下3点^[17—18]。

1) 随机性。根据采用的设备和工艺参数不同,所得到采集图像会有较大差异。如印刷方式(平版印刷、凹版印刷、凸版印刷或孔版印刷)不同可以呈现出的色彩也不尽相同。张金龙^[29]阐述了印刷过程中不同的原稿特征、加网线数、网点形状、承印物对提取到水印质量的影响,并认为印刷品色彩的复现在技术上无法做到完美,且会造成不必要的成本增加,与其一味追求高质量地复现印刷品,不如科学地确立印刷原稿、水印算法和印刷工艺参数之间的关系,针对具备某种特征的印刷原稿选择适合的水印算法和相应的工艺参数。

2) 人为性。在印刷或采集图像过程中,操作者根据具体需求调整一些参数,如对比度变化、伽马校正、旋转、缩放或特定的艺术加工。

3) 相互依存性。没有被采集(扫描或拍照)的印刷品就无法进行水印提取和检测分析。印刷和采集(扫描或拍照)是不能彼此分开的,这两者也都会造成图像扭曲与失真。

此外,印刷-采集图像过程中,图像的色彩在不同颜色空间中转换,这种转换对水印造成的攻击已经被重视^[7,9,30—34]。图像可以被显示在计算机显示器上的RGB颜色空间中,人眼能够感受到显示器上呈现的色彩是由于显示器本身可以发光,其遵循色光加色法;印刷品在CMYK颜色空间被印刷,人眼可以识别印刷品的色彩,是由于印刷品上的色料反射了部分波长光线,其遵循色料减色法,这2种截然不同的呈色方式之间的转换必然会给水印造成攻击。

如图2所示,倘若在计算机中选择RGB颜色空间完成水印的生成、嵌入,经过印刷,数字图像转变为印刷品,由RGB颜色空间转换为CMYK颜色空间,水印需要经历第1次颜色空间的转换,采集图像时,不论采用扫描仪或者相机,再次将印刷图像转换为数字图像,由CMYK颜色空间转换为RGB颜色空间,图像经历第2次颜色空间的转换。倘若采用CMYK颜色空间嵌入水印,经印刷后颜色空间没有转变,不论采用

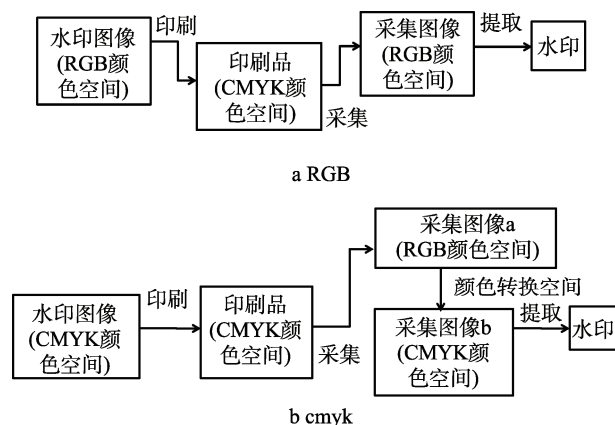


图 2 印刷-采集过程的颜色空间转换流程

Fig.2 Process of color space transformation while printing and scanning images

何种方式进行图像采集,颜色空间必然转变为RGB(由现有图像采集原理决定),并且在提取水印时,还需转变为CMYK颜色空间,仍然需要2次颜色空间的转变。

由此可见,不论是采用RGB或者CMYK颜色空间嵌入水印,这种颜色空间的转换是不可避免的,但这并不意味着CMYK与RGB颜色空间嵌入水印效果没有差异^[30]。

4 水印提取与检测

在水印提取阶段,值得注意的是经过印刷-采集过程获得采集图像,该图像与水印图像相比必然存在一定程度的畸变(几何畸变、像素值非线性失真)。为提高水印提取质量,保证水印检测精度,在提取水印前可以对采集图像进行矫正。针对图像在印刷-采集过程中产生几何畸变的问题,孙云峰等^[2]设计了校正几何畸变的定位-校正程序,且可实现盲提取,水印算法实用性较强。在水印检测阶段,比较提取到的水印与原水印图像的相似度^[35-36],较多采用归一化相关系数(NC)评价。

近年二维码技术的研发与应用也为水印的提取、检测提供了新思路^[37-41],采用QR码作为水印或者宿主图像应用到数字水印技术中,利用其纠错能力强、识别速度快的优点增强水印的鲁棒性,提升水印抗印刷-采集过程攻击的能力,提高水印的检测效率。

5 结语

目前,数字水印技术在印刷防伪领域的应用还有部分关键问题没有得到圆满解决,还未能完全实现其目标。在印前生成、嵌入水印阶段,现有算法主要着力权衡鲁棒性和不可感知性之间的矛盾,对水印“防二次印刷”的性能研究并不充分。在印刷-采集图像阶段,现有研究已涉及到图像在印刷-采集过程中颜色

空间的转换,然而该过程对水印造成的影响并没有得到足够充分的研究,尚未获得确定的结论。针对将数字水印技术移植到印刷防伪领域的研究现状及存在的问题,其未来的研究和应用可以朝以下方向发展:深入研究印刷-采集图像攻击对水印的影响,设计水印嵌入算法时一方面需考虑水印的不可见性和抗印刷-采集攻击的鲁棒性,另一方面,还需加强对水印“防二次印刷”脆弱性的研究,满足防伪技术“难仿制”的要求。针对不同印刷方式及印刷参数,描述印刷原稿、水印算法和印刷工艺参数之间的关系,针对具备某种特征的印刷原稿选择适合的水印算法和印刷工艺参数。建立并完善数字水印印刷防伪可视化应用平台,将集合水印嵌入、提取和检测等功能,方便使用者线上操作。

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] 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].光电子·激光,2008,19(7):952—955.
SUN Yun-feng, ZHAI Hong-chen, YANG Xiao-ping, 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.
- [3] 谢勇,冯起芹,单武扬,等.数字全息水印在印刷半色调图像中的应用[J].包装工程,2013,34(1):101—105.
XIE Yong, FENG Qi-qin, SHAN Wu-yang, et al. Application of Digital Hologram Watermark in Printing Halftone Image[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(1): 101—105.
- [4] 王晓红,孙业强.基于QR码和Schur分解的感兴趣区域水印算法[J].光电子·激光,2017,28(4):419—426.
WANG Xiao-hong, SUN Ye-qian. Region of Interest Based Watermarking Algorithm Based on QR Code and Schur Decomposition[J]. Journal of Optoelectronics·Laser, 2017, 28(4): 419—426.
- [5] 李孟涛,孙刘杰,李晨璐.基于小波变换的傅里叶加密印刷水印算法研究[J].包装工程,2012,33(1):108—112.
LI Meng-tao, SUN Liu-jie, LI Chen-lu, et al. Research on Fourier Encryption Printing Watermarking Algorithm Based on Wavelet Transform [J]. Packaging Engineering, 2012, 33(1): 108—112.
- [6] 孙刘杰,庄松林.双随机相位加密同轴傅里叶全息

- 水印防伪技术[J]. 光学学报, 2007, 27(4): 621—624.
SUN Liu-jie, ZHUANG Song-lin. Forgery Prevention Based on In-Line Fourier Holographic Watermark with Double Random Phase Encryption[J]. Optica Sinica, 2007, 27(4): 621—624.
- [7] 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.
- [8] 谢勇, 谭海湖, 王凯丽. 基于 DWT-QDFT 的硬拷贝彩色图像全息水印[J]. 光电子·激光, 2016, 27(10): 1086—1093.
XIE Yong, TAN Hai-hu, WANG Kai-li. A Hologram Algorithm Based on DWT-QDFT for Hardcopy Color Image[J]. Journal of Optoelectronics·Laser, 2016, 27(10): 1086—1093.
- [9] 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 Cai-yin, KONG Xiang-wei, 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.
- [10] 李刚, 杨杰. 一种基于二值印刷图像的数字水印方案[J]. 上海交通大学学报, 2005, 39(4): 570—573.
LI Gang, YANG Jie. A Secure Digital Watermarking Scheme for Binary Printing Images[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2005, 39(4): 570—573.
- [11] 唐雪婷, 潘伟. 一种基于数字水印的印刷品防伪方法[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2008, 36(S1): 17—20.
TANG Xue-ting, PAN Wei. A Forgery Detection Method in Printed Materials Based on Digital Watermarking[J]. Journal of Fuzhou University(Natural Science Edition), 2008, 36(S1): 17—20.
- [12] 申静. 基于人眼视觉特性的包装印刷图像水印技术研究[J]. 包装工程, 2012, 33(1): 113—118.
SHEN Jing. Packaging and Printing Images Watermark Technology Based on Human Vision Characteristics[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(1): 113—118.
- [13] XIE Yong, SHAN Wu-yang, CAO Xiao-long, et al. Analysis and Comparison of Holographic and Traditional Digital Image Watermarking in DWT Domain[C]// ICCSE Melbourne: IEEE Computer Society, 2012: 790—793.
- [14] XIAO Ying-zhe, ZHANG Wen, XIE Yong. Recent Trends in Holographic Digital Watermarking Technology for Image Hiding Information[C]// DESTech Publications, 2014.
- [15] 肖颖喆, 张雯. 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 Ying-zhe, ZHANG Wen. Research on Application of Holographic Digital Watermarking Anti-Counterfeiting Printing[J]. Packaging Journal, 2013, 5(4): 47—51.
- [16] TRÉMEAU A, MUSELET D. Recent Trends in Color Image Watermarking[J]. Journal of Imaging Science and Technology, 2009, 53(1): 1—15.
- [17] HEBAH H O N. Digital Watermarking a Technology Overview[J]. International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences, 2011, 6(1): 89—93.
- [18] LUBIN J, BLOOM J A, CHENG Hui. Robust Content-Dependent High-Fidelity Watermark for Tracking in Digital Cinema[J]. SPIE Proceedings, 2003, 5020: 536—545.
- [19] LANG Fang-nian, LIU Ji, ZHOU Shuang, et al. A Self-adaptive Image Normalization and Quaternion PCA Based Color Image Watermarking Algorithm[J]. Expert Systems with Applications, 2012(39): 12046—12060.
- [20] XIE Yong, FENG Qi-qin, SHAN Wu-yang, et al. A Fresnel Hologram Watermarking Scheme for Halftone Image[C]// ICTMF, 2012: 256—262.
- [21] TAKAI N, MIFUNE Y. Digital Watermarking by a Holographic Technique[J]. Applied Optics, 2002, 41(5): 865—873.
- [22] CHANG H T, TSAN C L. Image Watermarking by Use of Digital Holography Embedded in the Discrete-Cosine-Transform Domain[J]. Applied Optics, 2005, 44(29): 6211—6219.
- [23] OKMAN O E, AKAR G B. Quantization Index Modulation-Based Image Watermarking Using Digital Holography[J]. Journal of the Optical Society of America, 2007, 24(1): 243—252.
- [24] LI Jian-zhong. Robust Image Watermarking Scheme Against Geometric Attacks Using a Computer-Generated Hologram[J]. Applied Optics, 2010, 49(32): 6302—6312.
- [25] 顾宁, 葛万成. 基于 DWT 域图像数字水印技术[J]. 通讯技术, 2009, 42(5): 213—215.
GU Ning, GE Wan-cheng. Digital Watermarking Technology Based in DWT Domain[J]. Communications Technology, 2009, 42(5): 213—215.
- [26] 李旭东. 抗 JPEG 压缩攻击的 DWT 域图像量化水印算法[J]. 光电子·激光, 2012(2): 342—348.
LI Xu-dong. JPEG-compression-attack Resistant Image Quantization Watermarking Algorithm in DWT Domain[J]. Journal of Optoelectronics·Laser, 2012(2): 342—348.
- [27] 郑秋梅, 张明, 王风华, 等. 基于 PCA 和 DWT 的强鲁棒数字水印算法[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2016(1): 177—182.
ZHENG Qiu-mei, ZHANG Ming, WANG Feng-hua, et al. Robust Digital Watermarking Algorithm Based on PCA and DWT[J]. Journal of China University of Petroleum, 2016(1): 177—182.
- [28] 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, 32(11): 93—99.
- LIU Zhen, DING Ying-ying. An Optimized and DWT Based Printing and Scanning Resistant Watermark Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(11): 93—99.
- [29] 张金龙. 平版印刷工艺对全息水印防伪信息的影响与评估[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2015.
- ZHANG Jin-long. The Impact and Assessment of Lithography Process for Holographic Watermark Security Information[D]. Zhuzhou: Hunan University of Technology, 2015.
- [30] 肖颖喆, 张雯, 谢勇. CMYK 与 RGB 颜色空间数字水印在印刷品中的应用比较[J]. 包装学报, 2015, 7(2): 11—15.
- XIAO Ying-zhe, ZHANG Wen, XIE Yong. The Application of Digital Watermarking Technology for Printings in CMYK and RGB Color Space[J]. Packaging Journal, 2015, 7(2): 11—15.
- [31] XIE Yong, SHAN Wu-yang, FENG Qi-qin, et al. Performance Comparison of Holographic Watermarking for Color Images in RGB and CMYK Channels[C]// Proc of 25th Chinese Control and Decision Conference(CCDC), 2013: 3024—3027.
- [32] MCGAVIN D, STUKENBORG B, WITKOWSKI M. Color Figures in BJ: RGB Versus CMYK[J]. Biophysical Journal, 2005, 88(2): 761—762.
- [33] 胡广平, 周华强. 基于 Lab 空间的图像全息数字水印算法一种[J]. 电子技术应用, 2014, 40(4): 59—69.
- HU Guang-ping, ZHOU Hua-qiang. Image Holographic Digital Watermark Algorithm Based on Lab Space[J]. Application of Electronic Technique, 2014, 40(4): 59—69.
- [34] 钟云飞, 谷祥华, 包贤敬, 等. 基于相位调制的多通道半色调信息隐藏技术[J]. 包装工程, 2016, 37(15): 12—17.
- ZHONG Yun-fei, GU Xiang-hua, BAO Xian-jing, et al. Multimodal Information Hiding Technology Based on Phase Modulation[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(15): 12—17.
- [35] 周亚训, 叶庆卫, 徐铁峰. 基于二值运算的数字图像水印嵌入与检测算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2002, 14(2): 148—152.
- ZHOU Ya-xun, YE Qing-wei, XU Tie-feng. Embedding and Detecting Algorithm for Digital Image Watermarking Based on Binary Operation[J]. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics, 2002, 14(2): 148—152.
- [36] 张登银, 杨海云, 邓兰兰. 抗几何失真的数字水印检测算法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(2): 33—39.
- ZHANG Deng-yin, YANG Hai-yun, DENG Lan-lan. Watermarking Detecting Algorithm with Geometric Distortion Resistance[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Nature Science Edition), 2007, 35(2): 33—39.
- [37] 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, 35(7): 144—148.
- WANG Zi-yu, SUN Liu-jie. Improved QR Code-based Digital Holographic Watermark[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(7): 144—148.
- [38] 白韬韬, 刘真, 卢鹏. 基于 QR 码的抗几何攻击数字水印基于 QR 码的抗几何攻击数字水印[J]. 包装工程, 2013, 34(11): 113—116.
- BAI Tao-tao, LIU Zhen, LU Peng. Geometrical Attack Resistant Digital Watermarking Based on QR Code[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(11): 113—116.
- [39] 韩绍程, 张红颖. 基于 QR 分解的彩色图像自嵌入全盲水印算法[J]. 图学学报, 2015, 36(3): 345—351.
- HAN Shao-cheng, ZHANG Hong-ying. Self-Embedding Perfectly Blind Watermarking Algorithm Based on QR Decomposition for Color Images[J]. Journal of Graphics, 2015, 36(3): 345—351.
- [40] 严敏, 陈军. 基于 QR 分解的 Contourlet 域抗几何攻击水印算法[J]. 计算机应用研究, 2016, 33(9): 2813—2818.
- YAN Min, CHEN Jun. Anti-geometric Attack Watermarking Algorithm Based on QR Decomposition in Contourlet Domain[J]. Application Research of Computers, 2016, 33(9): 2813—2818.
- [41] 王晓红, 魏代海, 刘玄玄, 等. 一种彩色 QR 码嵌入彩色图像的数字水印技术[J]. 光电子·激光, 2016, 27(10): 1094—1100.
- WANG Xiao-hong, WEI Dai-hai, LIU Xuan-xuan, et al. Digital Watermarking Technique of Color Image Based on Color QR Code[J]. Journal of Optoelectronics·Laser, 2016, 27(10): 1094—1100.