

基于全息水印印刷防伪的半色调算法

冯起芹, 单武扬, 薛继武, 李 娟, 谢 勇

(湖南工业大学 包装与材料工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘 要: 分析了数字全息水印技术和数字图像半色调技术中的调幅半色调、调频半色调和 AM/FM 混合半色调 3 类主要技术的优势。探讨了将数字全息水印和数字图像半色调化技术紧密结合起来的数字全息水印防伪技术, 并介绍了其原理、特点及应用。

关键词: 数字全息水印; 数字半色调; 印刷防伪

中图分类号: TS801.8

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2013)01-0026-05

The Halftoning Algorithm Based on Holographic Watermark Security

Feng Qiqin, Shan Wuyang, Xue Jiwu, Li Juan, Xie Yong

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

Abstract: The advantages of digital holographic watermark technology and three main techniques of AM screening, FM screening and hybrid AM/FM screening in digital image halftoning are analyzed. The digital hologram watermarking and digital image halftoning technique combined with digital holographic watermark security technology are discussed while the principle, characteristics and applications are introduced as well.

Key words: digital holographic watermark; digital halftoning; printing security

0 引言

目前, 印刷文件仍旧是承载金融、法律、商业交易等方面重要数据的主要媒介。纸币、驾驶执照、护照、票据、合同以及产品商标等印品, 因涉及国家安全、社会稳定、经济利益和人们的生活保障, 有必要植入防伪信息以确保其真实性、唯一性^[1]。这些产品的生成或成型均需经过印刷环节, 因而印刷表面便成为防伪信息的主要载体, 由此派生的印刷防伪技术在众多防伪方法中自成体系, 并占据着重要

地位。传统的印刷防伪技术主要侧重利用印刷材料和输出设备, 如变色油墨、特殊纸张、凹版印刷机、全息成像设备等^[2]。虽然这些方法能够在一定程度上实现防伪的效果, 但同时也增加了印刷品印制的成本, 且所使用的关键技术和材料设备易被仿制, 防伪的安全性较低。

在印刷半色调图像中嵌入数字水印, 可有效实现对印刷品的版权保护^[3-4]。考虑印刷制版及工艺的特殊性, 通常先将水印信息嵌入印刷图像中, 再进行半色调处理。而对含有水印信息的图像进行半色

收稿日期: 2012-04-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61170101)

作者简介: 冯起芹(1985-), 女, 黑龙江牡丹江人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为包装防伪技术,

E-mail: fengqiqinkl@yahoo.com.cn;

通信作者: 谢 勇(1964-), 男, 湖南攸县人, 湖南工业大学教授, 博士, 主要从事包装防伪技术及防振缓冲材料方面的教学与研究, E-mail: hutxy@126.com

调化(网点离散化)处理,实质上是对水印的一种攻击,可能导致水印信息丢失,因此,选择合适的半色调算法是保证水印信息能正常提取,并提高半色调印刷图像质量的重要前提。

针对数字水印和半色调算法问题,本文拟对数字全息水印和数字图像半色调的技术优势进行分析,并在此基础上分析将这两种技术紧密结合起来的印刷防伪方案,最后总结并探讨数字全息水印技术在印刷防伪方面的发展方向。

1 数字全息水印技术

数字水印技术是指在不影响原图像视觉效果的基础上,将一定的信息隐藏到作品信息中,该信息能通过特定的程序提取出来,以证明作品的来源和出处,从而实现图像的防伪和版权保护^[5]。数字水印具有透明性、鲁棒性、不可检测性、安全性、自恢复性等特性。数字水印最主要的应用为版权保护,其目的是嵌入数据的来源信息或版权所有者的信息,从而防止其他团体对该数据非法占有;此外,还被用于盗版跟踪的数字指纹、图像认证的水印、商务交易中的票据防伪等方面^[6]。

数字全息技术是由顾德门^[7]在1967年提出的一种新的全息成像方法,以CCD(charge coupled device)等光电耦合器件取代传统的干版记录全息图,并由计算机以数字的形式对全息图进行再现。计算机制全息图(computer-generated hologram, CGH)^[8]的生成一般不需要特定的光学元器件,可利用计算机直接进行数字化全息处理。

为了提高数字水印自身的防伪能力,先将水印制成CGH再嵌入载体中的“全息水印”^[9]应运而生。数字全息水印技术将原始水印的全息图作为秘密信息嵌入宿主图像,以实现信息隐藏,然后通过数字重建算法再现原始水印。由于嵌入载体数据的是原始水印的全息图,而不是可以直接看到认证信息的水印图像本身,因而提高了水印破解难度。全息图记录了物体的全部信息(振幅和相位),并且具有不可撕毁性(由局部恢复全体),以及很高的抗干扰能力。因此,用全息图作为水印具有众多技术优势,有利于提高水印的隐秘性、鲁棒性,特别是其抗剪切、抗印刷能力。

2 数字图像半色调技术

数字半色调是基于人眼的视觉特性和图像的成色特性,利用数学、计算机等工具,在单色或多色

二值设备上实现图像再现的技术^[10]。此技术被广泛应用于打印、印刷、图像输出、压缩存储、纺织以及医学等领域。数字半色调技术又称数字加网技术,主要有调幅(amplitude modulation, AM)半色调、调频(frequency modulation, FM)半色调和AM/FM混合半色调三大类。

2.1 AM半色调

AM半色调是目前印刷工业中应用最普遍的半色调方式,其网点的间距、角度和数目是固定不变的,仅通过改变网点大小尺寸来表现图像灰度层次的深浅^[11]。最理想的加网角度为 $Y0^\circ$ $C15^\circ$ $M75^\circ$ $K45^\circ$,网点不同,角度排列出现的视觉效果不同。AM半色调采用点聚集态网点技术,其方法主要有有理正切、无理正切以及超细胞结构半色调等,AM半色调网点再现规律如图1所示。

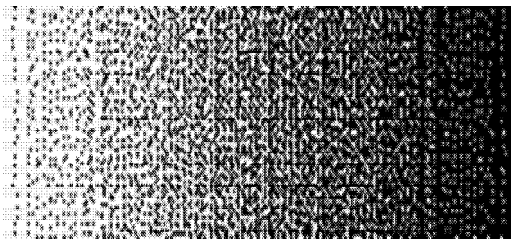


图1 AM半色调网点再现规律

Fig. 1 AM screening dot reproduction law

谢侍棋和成刚虎等人在《数字加网技术的比较分析》^[12]和《混合加网技术研究》^[13]2篇文章中对有理正切、无理正切、超细胞结构半色调3种基本方法做了详细介绍,可概括如下:

1) 有理正切半色调易实现,但会产生 3.4° 的绝对误差,容易出现玫瑰斑。

2) 无理正切半色调输出图像质量较高,但对光栅图像处理器(raster image processor, RIP)以及半色调计算机的运算速度和存储空间要求较高,且这两种半色调方法实际得到的加网角度和加网线数与设定的数值都有一定偏差。

3) 超细胞结构半色调是针对前两种半色调方法的不足,设置由多个网点单元组成的超大细胞单元,能很好地减少印刷品中的龟纹,但计算量较大,降低了加网效率,而且仍然有玫瑰斑存在,图像细节分辨率较低。

AM半色调方法的主要优点是计算量较低,具有良好的印刷适应性,能很好地再现中间调;缺点是在亮调区和暗调区,由于网点过小而可能导致网点丢失、并级、糊版,降低了图像的分辨率,不能很好地再现图像细节,且易出现龟纹和玫瑰斑。

2.2 FM 半色调

FM 半色调是针对 AM 半色调的缺陷发展起来的半色调技术^[14]。其网点面积固定, 网点出现的空间频率随图像的深浅变化, 网点在微观上呈随机分布。网点数量越多, 色调越低; 数量越少, 色调越高。FM 半色调采用网点大小来区分其精度, 其网点再现规律如图 2 所示。

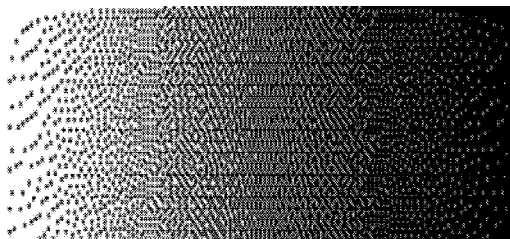


图 2 FM 半色调网点再现规律

Fig. 2 FM screening dot reproduction law

FM 半色调打破了调幅网点的规律性分布, 用网点频率、网点大小等变量来进行描述。像素独立地以离散的形式转变为网点, 可以获得与设备分辨率相同的网目调图像。FM 半色调采用点离散态网点技术, 主要有误差扩散、直接二值搜索和蓝噪声半色调等技术。

误差扩散半色调技术^[15]把输出与输入信号之间的误差分散到相邻点中, 保存了一定的局部量化误差, 对临近的像素而言是一种补偿, 使处理前后图像的总灰度保持一致, 且获得半色调图像中网点的分布具有各向异性和无规律性, 因而色调丰富, 视觉效果较好, 大大提高了图像的质量。缺点是在不同灰度区域的边缘部位易出现不连续的过渡, 产生结构性纹理, 且处理速度较慢。

直接二值搜索 (direct binary search, DBS) 半色调是一种基于人类视觉模型 (human visual system, HVS) 的搜索方法^[16]。它根据人眼的低通滤波特性, 使人眼观察到的输入图像和输出图像之间的均方误差最小化, 并将当前像素的二值输出不断进行优化以得到最优的处理结果。该方法能够产生令人类视觉满意的半色调图像, 基本上消除了结构性的龟纹和人工痕迹, 可准确再现图像的色调, 且在灰暗处的色调也能够丰富再现, 但其计算复杂性较高, 不适于实时处理场合。

蓝色噪声半色调是根据人眼具有低通滤波的特征提出的半色调方法^[17]。经这种方法处理后的图像具有蓝噪声的特点, 没有结构性龟纹, 整体视觉效果良好, 但是蓝色噪声半色调对图像灰度等级的变化不够敏感。

FM 半色调方法的优点是加网网点精细, 图像层

次丰富, 视觉效果较好。由于网点空间位置的随机性, 能够避免调幅网点无法克服的条纹型干扰, 消除了玫瑰斑和龟纹; 缺点是在网点面积率相同的条件下, 调频网点的周长大于调幅网点, 其网点扩大的趋势较强, 平网时会出现墨斑, 导致中间调和暗调颜色加深、层次丢失, 亮调区域网点易在制版和印刷过程中丢失, 且 FM 半色调计算复杂度较高, 需要更细致的工艺控制和监测技术, 对设备及环境要求较高。

2.3 AM/FM 半色调

混合半色调是将 AM 和 FM 两者相结合的半色调技术, 其网点配置的频率分布无角度方向问题。混合半色调通过减少低频部分来降低网点颗粒性, 减少高频部分来提高印刷稳定性。产生的网点具有 AM 和 FM 半色调算法的双重优势, 既具有 AM 半色调印刷适性好的优点, 又具有 FM 半色调层次再现丰富的优点。由于该方法能充分发挥输出设备的功能, 随着 CTP 技术的普及, 混合半色调成为当前最受重视的一种半色调算法。最早为绿噪声半色调^[18]技术, 目前市场上主要有 Hybrid、SambaFlex、Sublima 晶华网点、Staccato 和 Spekta 半色调。混合半色调算法流程如图 3 所示。

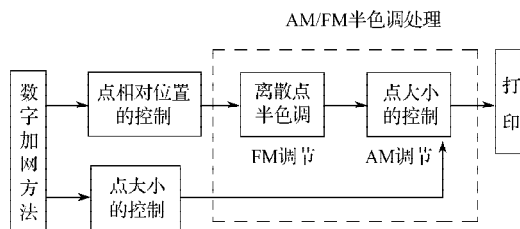


图 3 AM/FM 半色调算法示意图

Fig. 3 AM / FM screening algorithms schematic

文献[19]对混合半色调方法进行了详细介绍, 主要有以下几种处理方案:

1) 在图像很精细、层次感比较丰富的部分用 FM 半色调, 而平网部分用 AM 半色调。该方案计算复杂度相对较高, 影响生产力, 输出图像时两种加网方法交界处会产生人工痕迹。

2) 在中间调区域使用 AM 半色调, 在暗调和亮调区域用 FM 半色调。该方案可以使网点柔和再现, 能够显示出图像细节, 但在两种加网方式的交界处还是会产生人工痕迹。

3) 同时调制网点的大小和位置, 产生的加网图像兼具 FM 半色调网点的分布特性和 AM 半色调网点的阶调表现。该方案也称为“二阶调频加网”。

4) 对干扰性较弱的浅色黄版使用 AM 半色调, 对 3 个深色油墨版使用 FM 半色调。

混合半色调技术的优点是具有较高的空间分辨率和良好的打印稳定性;不容易产生龟纹和玫瑰斑;印品的中间调更加接近原稿,更加清晰,能更好地再现图像细节;混合半色调技术在现有的设备基础上,将AM和FM半色调结合起来,其图像再现效果明显优于单一的AM和FM半色调算法生成的半色调图像。缺点是在AM和FM半色调交界处存在着人工痕迹,色调间的转换不平滑等,如何解决这些问题,设计新的半色调实施方案,将是今后数字印刷技术研发的一个重要方向。

3 数字全息水印和半色调技术结合

目前,国内外围绕数字水印、数字全息水印及数字半色调技术做了大量的理论研究与应用实践,取得了较好的成效。但在实施对象为非数字形式的印刷图像的情况下,现有的半色调印刷技术使得宿主图像在水印嵌入前后的差异清晰可辨。精确再现原稿图像以获得高质量的印刷图像,是推动印刷技术进步的原动力,任何与原稿的视觉可辨差异都是应予以解决的问题。

针对现有印刷防伪技术存在的不足,以及数字全息水印在信息加密方面的优势,并结合印刷图像网点再现的工艺特点,可将数字全息水印和数字图像半色调化技术紧密结合起来,即将数字全息图作为数字水印,嵌入待印刷图像中,采用基于支持向量机(support vector machine, SVM)^[20]模拟人类视觉系统感知特性^[21]方法对AM/FM混合网点半色调优化技术制作印刷图像,以提高包装印刷品的防伪力度,并保证印刷图像的高保真度。同时,可研究利用基于SVM模拟人类视觉系统感知特性的水印印刷图像质量评价^[22]方法,检验水印的嵌入对印刷图像质量的影响,并可以此为基点,对所研究的半色调算法进行优化。数字全息水印技术的抗半色调研究将是今后印刷防伪的主要研究方向。

将数字全息水印技术应用到印刷防伪技术中时,因结合了半色调算法,将多种先进的防伪技术有效结合,具有很强的鲁棒性和稳定性,可实现一种多重加密、高安全度的防伪技术。在现有的包装技术基础上对其进行改良,无需特殊材料和设备,不增加印刷成本,只需通过专门的软件处理就可以将防伪信息嵌入印刷产品中,因而不仅研制成本大大降低,还具有灵活高效的特点。利用数字全息水印技术对印刷品进行防伪,可以达到防伪力度强、制作成本低的目的。

全息水印防伪方案的实施流程如图4所示。

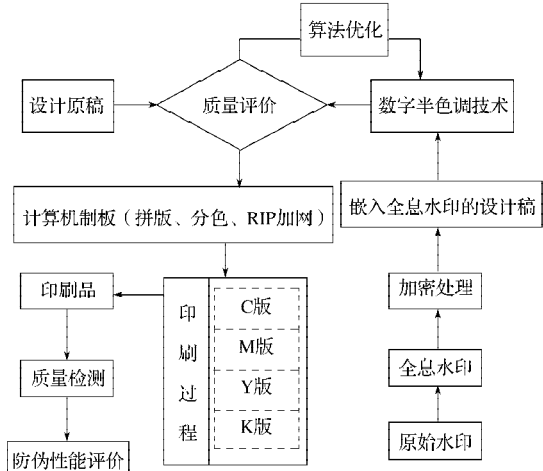


图4 全息水印防伪方案实施流程图

Fig. 4 The program flow chart of holographic watermark security implementation

4 结语

综上所述,全息水印防伪方案在基于数字全息和数字水印2种先进防伪技术的基础上,利用它们在信息加密方面的优势,结合印刷图像网点再现的工艺特点,将数字全息水印和数字图像半色调化技术紧密结合起来,将数字全息图作为数字水印,嵌入待印刷图像中。

本文以传统半色调方法为基点,研究了一种符合人类视觉感知特点的水印嵌入算法和半色调方法的优化结合防伪方案,以确保全息水印印刷图像对原稿的高保真度,从而有效地提高防伪方案的实用性。所形成的理论与方法的工业应用,将提高数字水印印刷防伪技术的防伪力度,提升防伪印刷的科技含量,降低商品防伪的运行成本,提高商品包装的可靠性、有效性及环保控制目标,从而提高企业的经济效益和社会效益,并对提升我国包装防伪技术水平具有十分重要的意义,因而具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] Steven J Simske, Margaret Sturgill, Jason Aronoff, et al. Factors in a Security Printing & Imaging Based Anti-Counterfeiting Ecosystem[C]//The 26th International Conference on Digital Printing Technologies. Fort Collins: Hewlett-Packard Labs, 2010: 19-23.
- [2] Liu Jianbo, Yang Cheng. Copyright Self-Registration and Its Secure Authentication Based on Digital Watermark[J].

- Advances in Intelligent and Soft Computing, 2012, 127: 233-244.
- [3] Afrakhteh M, Ibrahim S, Salleh M. Printed Document Authentication Using Watermarking Technique[G]// Second International Conference on Computational Intelligence, Modelling and Simulation. Packaging IEEE Transactions on, 2010: 367-370.
- [4] 冯起芹, 曹小龙, 单武扬, 等. 印刷品水印图像的半色调算法比较[J]. 包装学报, 2012, 4(3): 34-38.
Feng Qiqin, Cao Xiaolong, Shan Wuyang, et al. Comparison Study of Halftoning Algorithm for Printed Watermarking Image[J]. Packaging Journal, 2012, 4(3): 34-38.
- [5] 和 萌. 基于混合加网的半色调水印技术研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2008.
He Meng. Digital Halftone Watermark Based on Hybrid Halftone[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2008.
- [6] 谢 勇, 彭 涛. 数字水印包装防伪技术及其应用[J]. 株洲工学院学报, 2005, 19(4): 17-19.
Xie Yong, Peng Tao. Digital Watermarking Technique and Its Applications in Packaging Anti-Counterfeiting[J]. Journal of Zhuzhou Institute of Technology, 2005, 19(4): 17-19.
- [7] Zheng Liangbin, Xie Kai, Li Yeli, et al. A Digital Watermark Scheme for Vector Graphics[C]//Image Analysis and Signal Processing, 2010 International Conference. [S. l.]: IEEE Conference Publications, 2010: 699-702.
- [8] Chen Musheng. Application of Fresnel Digital Holography in Image Encryption[J]. Laser & Infrared, 2010, 40(2): 223-226.
- [9] Aoki Y. Watermarking Technique Using Computer-Generated Holograms[J]. Electronics and Communications in Japan, Part III - Fundamental Electronic Science, 2001, 84: 21-31.
- [10] 章 芳. 基于误差扩散的半色调图像细节再现技术研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2010.
Zhang Fang. Image Details Based on Error Diffusion Halftone Reproduction Technology[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2010.
- [11] Chen Guangxue, Chen Qifeng, Tang Baoling, et al. Halftoning Method and Reproduction of Color Gamut in Digital Image Output[G]//The 31st International Congress on Imaging Science. IEEE Transactions on Image Processing, 2010: 289-292.
- [12] 谢侍棋, 成刚虎. 数字加网技术的比较分析[J]. 印刷杂志, 2009(10): 39-42.
Xie Shiqi, Cheng Ganghu. Comparative Analysis of the Digital Screening Technology[J]. Printing Field, 2009(10): 39-42.
- [13] 谢侍棋, 韩 啸, 成刚虎. 混合加网技术研究[J]. 中国印刷与包装研究, 2010, 2(1): 25-28.
Xie Shiqi, Han Xiao, Cheng Ganghu. Research on Hybrid Screening Technique[J]. China Printing and Packaging Study, 2010, 2(1): 25-28.
- [14] 吕明珠. 调频网点印刷工艺适性探讨[J]. 今日印刷, 2008(9): 23-26.
Lü Mingzhu. FM Outlets Printing Process Adaptive Discussion[J]. Print Today, 2008(9): 23-26.
- [15] 叶玉芬, 郭宝龙, 马 佳. 基于视觉差的误差扩散半色调算法[J]. 计算机工程, 2006, 32(16): 195-197.
Ye Yufen, Guo Baolong, Ma Jia. Perceived Error-Based Error Diffusion[J]. Computer Engineering, 2006, 32(16): 195-197.
- [16] Chang Jianghao, Benoit Alain, Victor Ostromoukhov. Structure-Aware Error Diffusion[J]. ACM Transactions on Graphics, 2009, 28(5): 161-168.
- [17] Bacca Rodriguez J, Arce G R, Lau D L. Blue-Noise Multitone Dithering[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2008, 17(8): 1368-1382.
- [18] Fung Yik-Hing, Chan Yuk-Hee. Green Noise Digital Halftoning with Multiscale Error Diffusion[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2010, 19(7): 1808-1823.
- [19] 赵 炎. 混合加网技术及其发展[J]. 广东印刷, 2011, 4(2): 11-13.
Zhao Yan. Hybrid Screening Technology and Its Development[J]. Guangdong Printing, 2011, 4(2): 11-13.
- [20] Peng Hong, Wang Jun. Image Watermarking Method in Multi-Wavelet Domain Based on Support Vector Machines [J]. Journal of Systems and Software, 2010, 83(8): 1470-1477.
- [21] 冯春晖, 刘全香. 基于HVS的半色调图像数字水印算法研究[J]. 中国印刷与包装研究, 2010, 2(21): 144-149.
Feng Chunhui, Liu Quanxiang. Study of Digital Watermark Algorithm Based on HVS for Halftone Images[J]. China Printing and Packaging Study, 2010, 2(21): 144-149.
- [22] Zhang Lin, Zhang Lei, Mou Xuanqin, et al. FSIM: A Feature Similarity Index for Image Quality Assessment[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(8): 2378-2386.

(责任编辑: 廖友媛)