

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2012.03.011

抗打印/扫描数字水印技术的研究进展

肖颖喆, 王娟娟

(湖南工业大学 包装与材料工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 国外对抗PS数字水印技术的研究主要集中在变换域水印算法上, 主要有DCT域、DFT域、DWT域和其他变换域等; 国内对抗PS数字水印技术的研究主要集中在空间域和变换域2种算法上。可从数字水印嵌入范围、数字水印检测系统应用、数字水印在企业中的应用3个方面, 扩展抗PS数字水印技术的应用领域。目前, 抗PS数字水印技术还不成熟, 可从嵌入强度、嵌入信息容量、嵌入实用性等方向, 进一步完善其研究与应用。

关键词: 抗打印/扫描; 数字水印; 变换域; 空间域; 水印嵌入

中图分类号: TS805

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2012)03-0049-05

Research Progress of Print-Scan Resistant Digital Watermarking Technology

Xiao Yingzhe, Wang Juanjuan

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

Abstract: In foreign nations, the researches on the print-scan resistant digital watermarking technology mainly concentrate in the transform domain, which includes DCT domain, DFT domain, DWT domain and other transform domains, while in China the researches chiefly focus on the spatial domain and transform domain. The application fields of the print-scan resistant digital watermarking technology are discussed in three aspects, i.e. the embedding scope of digital watermark, watermarking applications in detection system, and digital watermarking applications in enterprises. At present, the watermarking technology is still not mature. Its researches and applications can be further improved in embedding strength, embedded information capacity, embedded practical applicability and the other directions respectively.

Key words: print-scan resistant; digital watermarking; transform domain; spatial domain; watermark embedding

近年来, 假冒、盗版现象屡见不鲜, 而最常见的盗版行为便是印刷品的再次打印/扫描 (print-scan, PS)。假冒、盗版行为不仅扰乱了市场规范, 造成商品交换的混乱, 而且严重损害了消费者的利益。针对假冒、盗版行为, 越来越多的研究者开始致力于研发一种高效且成本低廉的防伪方法。在此背景下, 一种新型的防伪技术——抗PS数字水印技术应运而生。

盗版产品是通过扫描已发行的正版产品, 然后进行印刷、销售, 比正版产品多一轮印刷扫描过程。一般而言, 防伪技术应具有对正版产品与盗版产品不同的识别方式。抗PS数字水印技术就是通过比较从正版产品中提取的水印和从盗版产品中提取的水印之间是否具有明显区别, 从而有效保护PS输出作品的版权, 实现防伪印刷的现实需求。目前, 抗PS数字

收稿日期: 2012-04-27

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, 硕士, 主要从事包装设计理论与文化方面的教学与研究, E-mail: xiaoyingzhe7410@126.com

水印技术研究已经取得了一定的成果,但是如何设计出更高效的抵抗各种攻击的数字水印算法,及进一步扩展该技术的应用领域,仍是一项重要课题。

1 研究现状

随着防伪印刷需求的增加,抗PS数字水印技术越来越受到国内外专业人士的关注。1999年,Ching-Yung Lin^[1]提出一种在图像傅立叶域的对数幅度域中嵌入扩频水印的抗PS数字水印算法。随后,抗PS数字水印技术进入了一个快速发展的阶段,并推动着印刷防伪技术的发展。

1.1 国外研究现状

在国外,抗PS数字水印技术研究起步较早且发展较全面。国外对抗PS数字水印技术的研究主要集中在变换域算法上。变换域即利用变换方法将图像变换到频域,通过修改特定频域系数来嵌入水印信息,再通过逆变换将其变换回空间域,得到水印化图像。研究较多的变换域主要有:离散余弦变换(discrete cosine transform, DCT)域、离散傅立叶变换(discrete fourier transform, DFT)域、离散小波变换(discrete wavelet transform, DWT)域和其他变换域。

1) DCT域

DCT域水印算法是数字水印的典型算法,具有鲁棒性强、隐蔽性好等特点,对低通滤波、对比度调整和模糊操作等均具有较强的抵抗性,但其算法操作较复杂,计算量较大,对大多数几何攻击的抵抗力较弱。

Malay K. Kundu等^[2]针对数字水印成本较高的特点,设计了一种价格较低的印刷作品数字水印模式。该水印属于DCT域中鲁棒的半盲数字水印,具有鲁棒性高、安全性好、计算代价低等优点,但实用性较低,因此没有得以广泛应用。Tadashi Mizumoto等^[3]研究了PS前后图像RGB值的变化情况,由于PS前后RGB值差异较大,故难以利用该值进行水印检测,但PS过程对变换域的干扰较小,因而提出在DCT域的中频系数上嵌入鲁棒水印的抗PS数字水印算法。

2) DFT域

DFT域水印算法具有DCT域和DWT域所不具备的优点,如旋转、尺度和平移不变性,对旋转、剪切、图像缩放和有损压缩等几何变换具有较强的抵抗性等。

DFT域水印算法常用的嵌入方法是:首先将傅立叶谱转化为极坐标,然后通过修改DFT域的幅值和相角来嵌入水印。1999年,Ching-Yung Lin^[1]依据傅立叶变换的旋转、剪切和平移等特点,提出了一种

在图像的傅立叶域log-log映射量级的DFT量级中嵌入扩频水印的抗PS数字水印算法。该算法通过修改幅值进行水印的嵌入,具有抵抗像素值失真、鲁棒性强等特点,但是具有嵌入容量小和计算量大等缺点,这在一定程度上限制了其应用。Runanaidh等^[4]将傅立叶谱转化为极坐标,通过修改DFT域的相角嵌入水印信息来实现抗PS。

量化嵌入法也是DFT域水印算法的一种主要嵌入法。量化嵌入法根据DFT域中PS前后的系数性质选择嵌入位置,将水印嵌入DFT的低频系数带,使用类turbo码解决同步问题,并对PS过程中的失真进行修正,从而实现抗PS数字水印^[5]。R. Vikas等通过进一步的试验,得出“使用半色调信息能更精确地解决旋转的同步问题”的结论^[6]。

另外,DFT域水印算法的嵌入法还有模板嵌入法。S. Pereira等^[7]提出了一种基于模板的DFT域数字水印,该水印能够通过点的匹配来达到恢复图像的效果,对旋转、缩放、剪切以及一定程度的JPEG压缩等几何攻击具有较好的抵抗性。但该嵌入法难以实现,实用性不强。

3) DWT域

DWT域算法是近年来新兴的一种数字水印方法,其包含时域、频域的同时还具有良好的局部性,综合了传统时域分析和频域分析的优点,更加符合人眼视觉特性,且在鲁棒水印方面具有一定的优势。M. S. Raval等^[8]提出一种用于非盲检测的多重水印技术,该技术将水印分别嵌入DWT频带的低频和高频分量中,达到全面的鲁棒,以抵抗多种攻击,从而实现抗PS。

4) 其他变换域

除了上述3种典型算法外,还有如下2种算法:基于多分辨率变换和复杂hadamard变换的非盲水印方法^[9]和在contourlet域中嵌入水印的方法^[10]。其中,前者由B. J. Falkowski等提出,对JPEG压缩、图像缩放、抖动、剪切等攻击具有一定的抵抗性,是一种非盲水印算法;后者由M. Jayalakshmi等提出,利用contourlet变换,将图像分解为一个低通版本和不同层的方向细节频带,然后继续分解多频带4个层的方向频带,并将其中最粗糙的分解子带作为水印嵌入区域,从而实现水印嵌入。该算法对均值滤波、量化和JPEG压缩等攻击具有一定的抵抗性。

1.2 国内研究现状

在国内,抗PS数字水印技术的研究起步虽然较国外晚,但也取得了可观的成效,提出了较多具有实用价值和针对性的水印算法,空间域和变换域抗

PS 数字水印算法即是其中具有代表性的 2 种算法^[11]。

1) 空间域算法

国内最早对数字水印的研究就是基于空间域的。空间域算法是将水印信息直接嵌入音频时域采样、图像空间像素和视频数据等原始载体数据中, 具有较好的隐蔽性。但由于使用了像素位, 该算法的鲁棒性较差, 水印信息容易被滤波、图像量化、几何变形等操作破坏。

空间域代表性算法之一是张春田等提出的基于混沌映射的鲁棒性数字图像水印算法^[12]。该算法针对 PS 之后图像基准点的定位问题, 分析了 PS 过程造成的图像空间域的各种失真, 在空间域上实现抗 PS 数字水印, 该算法提取过程比较复杂。另外一个代表性的算法是李刚等提出的基于文字区域嵌入水印的方法^[13]。该算法主要针对商业文档的完整性保护问题, 利用区域分块的思想将文字分割成若干区域, 并以区域中 0/1 比率作为特征量来决定水印的数值, 从而实现二值印刷图像的抗 PS。

2) 变换域算法

相对于空间域算法而言, 变换域算法的研究起步较晚, 但其具有较强的抗攻击能力, 对数字作品的版权保护具有较好的效果, 因此发展较快。但是该算法具有隐藏和提取信息操作复杂、信息嵌入量小等不足, 这限制了其应用。

宋玉杰等^[14]分析了 PS 可能给电子图像带来的误差, 利用重复构造法、线性运算、阈值判断法等实现了水印的构造、嵌入和提取, 并采用 CIElab 色彩空间算法, 提出了一种印刷品防伪的数字水印算法。实验证明: 该算法可判断印刷产品为正版产品(经过一轮印刷扫描)还是盗版产品(经过两轮印刷扫描)。唐雪婷等^[15]结合 hadamard 变换、置乱、radon 变换等技术, 并考虑水印嵌入后图像的可见性及算法的鲁棒性和安全性, 提出了一套基于数字水印的印刷品防伪实现方案。

针对印刷品防伪的实际需求及相关数字水印算法嵌入无意义水印信号且嵌入量小的问题, 葛云露等^[16]提出一种基于 walsh 编码调制抗 PS 数字水印鲁棒性算法。该算法具有较强的鲁棒性及不可感知性, 信息嵌入量大, 但是对人为造成的几何攻击考虑不足, 实用性较差。

为了增强水印的鲁棒性, 戴跃伟等^[17]提出一种用于证件防伪的 DFT 域鲁棒水印算法。牛少彰等^[18]针对 PS 对图像影响的特点, 选取在图像的 DCT 域上嵌入水印信息, 得到了一种鲁棒性较强的抗 PS 数字水印算法。

为了实现盲检测, Yang Zhao 等^[19]使用正交 DCT-DWT 域水印技术, 同时加入色度水印来增强压缩, 提出一种可用于盲检测的二重域水印技术。刘华健等^[20]依次利用 turbo 码、小波系数的统计特征及预定的阈值, 对水印分别进行编码、嵌入和检测, 提出可用于盲检测的水印算法。

为了高效且操作简单地将有意义的水印图像嵌入不同尺寸的宿主图像中, Huang Yupeng 等^[21]提出一种使用 hadamard 变换嵌入和提取水印的方法。该算法不仅能在一定程度上修正旋转引起的几何失真, 且便于软件实现。

Zhang Yongping 等^[22]针对 PS 过程中的非线性失真问题, 提出面向高分辨率数字图像的抗 PS 数字水印算法。该算法在高分辨率数字图像的低分辨率版本中进行水印的嵌入和提取, 具有较强的鲁棒性和较高的计算效率。

为了优化基于 DWT 的抗 PS 数字水印算法, 刘真等^[23]将小波系数分为低频、中频、高频 3 类, 并根据人眼视觉系统对这 3 类系数的不同分辨率载入不同强度的水印信息, 同时在提取时增加对扫描图像的预处理过程, 提出一种优化的基于 DWT 的抗 PS 数字水印算法。该算法对剪切、噪声、压缩等攻击具有较好的鲁棒性, 同时具有较高的水印信息提取正确率。

2 应用领域的扩展

商品经济时代, 打假防伪、版权保护是人们广泛关注的社会问题。抗 PS 数字水印的研究不仅将推动印刷水印技术的实用化, 而且有助于打击假冒盗版行为。但是, 到目前为止, 抗 PS 数字水印技术的研究应用仍主要集中于图像、文档的防伪印刷, 其实用价值还没有得到很好的体现, 例如在版权保护、隐藏标识、认证和安全不可见通信等领域, 抗 PS 数字水印技术的应用均涉及不多。因此, 可从以下 3 个方面, 进一步扩展抗 PS 数字水印技术的应用领域。

1) 扩展数字水印嵌入的范围

抗 PS 数字水印技术不仅适用于印刷品的防伪, 也适用于试卷等重要文件资料、证件保护及多媒体和数字视频认证等, 如可在护照、驾驶证、身份证等证件及其他各种证书上嵌入独特且唯一的标识(水印信息), 以防止篡改或伪造; 在高考或研究生入学考试等重要考试的试卷中嵌入指纹等水印信息, 一旦发现未经授权的拷贝, 就可根据此拷贝所恢复出的指纹来确定其来源, 从而增加伪造的难度, 减少作弊行为。

2) 扩展数字水印检测系统的应用

可将数字水印检测系统集成到手机、相机和摄像头等图像捕获设备或其他软件中,使数字水印防伪技术的应用实现日常化、大众化,普通用户也能随时随地辨别证件材料等的真伪,减少上当受骗。如由瑞士 Alp Vision 公司开发的 Photo Check 软件,就是使用了一种基于内容的水印版权保护算法来辨别护照等信息的真伪^[24];而 Alpvision 公司推出的 LaveIt 软件,能够在任何扫描的图片中隐藏若干字符,可用于文档的保护与跟踪^[25]。

3) 拓展数字水印在企业中的应用

对于拥有技术专利的企业而言,对专利的保护是必不可少的,而抗 PS 数字水印技术在该领域内可以发挥显著的作用^[25]。如目前流行的图像处理软件 photoshop,内嵌了由 Digimarc 公司开发的添加水印功能进行版权保护,其嵌入的水印能抵抗一定程度的 PS,但嵌入的水印信息非常有限,且对于几何变换非常敏感;国际商业机器公司(International Business Machines Corporation, IBM)在其“数字图书馆”软件中提供了数字水印功能,从而对其数字图书馆进行版权保护。在国内,一直致力于水印技术的推广和应用的中国科学院自动化研究所,成功研制了兼容多种媒体类型的数字水印嵌入/提取系统,该系统的投入使用大大降低了媒体信息被盗取的可能,从而有效地保护了国家数字图书馆的版权。

3 问题及展望

目前,抗 PS 数字水印技术还不成熟,还未能完全实现其目标:含水印的数字作品在第一次打印后能准确获取嵌入的水印,打印作品的复印版本在扫描后不能提取水印^[26]。除此之外,抗 PS 数字水印还存在一些关键问题:还未能形成一套系统的理论,算法的实用性不强,抗 PS 过程的数学建模不够准确,实验性能有待提高,嵌入/提取/检测算法较复杂等。这些不足限制了抗 PS 数字水印技术的应用和发展,亟待进一步的完善与发展。

针对抗 PS 数字水印技术的研究现状及存在的问题,其未来的研究和应用可朝以下方向发展:

1) 考虑色差因素,针对不同的图像信息选取不同的嵌入强度,提高图像的视觉评价指标;2) 扩大嵌入信息容量,如可将水印嵌入低频;3) 针对 PS 信道的特征,提出新的水印算法;4) 结合最新的图像特征提取方法在水印中的应用,找到更加有效的嵌入载体,提高水印算法的实用性;5) 在保证水印的

不可见性和嵌入容量的同时,提出更加简捷稳健的抗 PS 数字水印嵌入/提取/检测算法。

参考文献:

- [1] Lin Ching-Yung. Public Watermarking Surviving General Scaling and Cropping: An Application for Print-And-Scan Process[C]//Multimedia and Security Workshop at ACM Multimedia '99. Florida: [s.n.], 1999: 41-46.
- [2] Malay K Kundu, Arpan K Maiti. An Inexpensive Digital Watermarking Scheme for Printed Document[C]//IET International Conference on Visual Information Engineering. Piscataway: IEEE Press, 2006: 378-383.
- [3] Tadashi Mizumoto, Kineo Matsui. Robustness Investigation of DCT Digital Watermark for Printing and Scanning[J]. Electronics and Communications, 2003, 86(4): 11-19.
- [4] Ruanaidh J J K O, Dowling W J, Borland F M. Phase Watermarking of Digital Image[C]//International Conference on Image Processing. Piscataway: IEEE Press, 1996: 239-242.
- [5] Solanki K, Madhow U, Manjunath B S, et al. Estimating and Undoing Rotation for Print-Scan Resilient Data Hiding [C]//2004 International Conference on Image Processing. Piscataway: IEEE Press, 2004: 39-42.
- [6] Vikas R, Kishor Kumar Barman. A Report on Print Scan Resilient Information Hiding in Images[D]. Pilani: A Practice School Station of Birla Institute of Technology and Science, 2005.
- [7] Pereira S, Ruanaidh J J K O, Deguilaume F, et al. Template Based Recovery of Fourier-Based Watermarks Using Log-Polar and Log-Log Maps[C]//IEEE Florence International Conference on Multimedia Computing and Systems. Piscataway: IEEE Press, 1999: 870-874.
- [8] Raval M S, Rege P P. Discrete Wavelet Transform Based Multiple Watermarking Scheme[C]//TENCON 2003 Conference on Convergent Technologies for Asia Pacific Region. Piscataway: IEEE Press, 2003: 935-938.
- [9] Falkowski B J, Lim Lip-San. Image Watermarking Using Hadamard Transforms[J]. IEEE Electronics Letter, 2000, 36(3): 211-213.
- [10] Jayalakshmi M, Merchant S N, Desai U B, et al. Digital Watermarking in Contourlet Domain[C]//18th Hongkong International Conference on Pattern Recognition. Piscataway: IEEE Press, 2006: 861-864.
- [11] 周四清,余英林.数字图像水印技术及其应用[J].数据采集与处理, 2001, 16(3): 353-357.
Zhou Siqing, Yu Yinglin. Digital Image Watermarking and Its Applications[J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 2001, 16(3): 353-357.

- [12] 张春田, 张 静. 基于混沌映射的鲁棒性图像水印算法[J]. 电子学报, 2002, 30(1): 5-8.
Zhang Chuntian, Zhang Jing. Robust Image Watermarking Based on Chaotic Mapping[J]. Acta Electronica Sinica, 2002, 30(1): 5-8.
- [13] 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.
- [14] 宋玉杰, 刘瑞帧, 谭铁牛, 等. 数字水印技术在印刷品防伪中的应用[J]. 中国图像图形学报, 2001, 6(5): 450-454.
Song Yujie, Liu Ruizhen, Tan Tieniu, et al. Application of Digital Watermark Technology in Forgery Detection of Printed Material[J]. Journal of Image and Graphics, 2001, 6(5): 450-454.
- [15] 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(增刊1): 17-20.
Tang Xueting, 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.
- [16] 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(增刊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(S1): 197-200.
- [17] 戴跃伟, 施 燕, 王执铨. 一种用于证件防伪的鲁棒图像水印算法[J]. 机器人技术与应用, 2002(6): 41-46.
Dai Yuewei, Shi Yan, Wang Zhiqian. A Robust Image Watermarking Algorithm for Certification's Forgery Detection[J]. Robot Technology and Application, 2002(6): 41-46.
- [18] 牛少彰, 伍宏涛, 谢正程, 等. 抗打印扫描数字水印算法的鲁棒性[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2004, 43(增刊2): 1-4.
Niu Shaozhang, Wu Hongtao, Xie Zhengcheng, et al. Robustness Investigation of Digital Watermarking Algorithm for Print and Scan Process[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2004, 43(S2): 1-4.
- [19] Yang Zhao, Campisi P, Kundur D. Dual Domain Watermarking for Authentication and Compression of Cultural Heritage Image[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(3): 430-448.
- [20] 刘华健, 孔祥维. 应用于数字图像版权保护的数字水印策略[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001: 92-97.
Liu Huajian, Kong Xiangwei. The Digital Watermarking Strategy Applying to Image Copyright Protection[M]. Xi'an: Xi'an University of Electronic Science and Technology, 2001: 92-97.
- [21] Huang Yupeng, Pan Wei. A Watermark Scheme for Presswork[C]//2007 IEEE Xiamen International Work-Shop on Anti-Counterfeiting, Security Identification Proceedings-Piscataway: IEEE Press, 2007: 130-133.
- [22] Zhang Yongping, Kang Xiangui, Zhang Philipp. A Practical Print-And-Scan Resilient Watermarking for High Resolution Images[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2009, 5450: 103-112.
- [23] 刘 真, 丁盈盈. 一种优化的基于DWT的抗打印扫描数字水印算法[J]. 包装工程, 2011, 32(11): 93-99.
Liu Zhen, Ding Yingying. An Optimized and DWT Based Printing and Scanning Resistant Watermark Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(11): 93-99.
- [24] 贺 岚, 孔祥维, 尤新刚. 印刷作品版权保护中的数字图像水印技术[J]. 信息安全与通信保密, 2008(1): 55-58.
He Lan, Kong Xiangwei, You Xingang. Digital Image Watermarking Techniques for Printing Image Copyright Protection[J]. Information Security and Communications Privacy, 2008(1): 55-58.
- [25] 朱新山. 面向版权保护的数字水印技术研究[D]. 北京: 中国科学院, 2005.
Zhu Xinshan. Research of Digital Watermark Technology for Copyright Protection[D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2005.
- [26] 舒南飞. 抗打印扫描数字水印算法设计与研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2010.
Shu Nanfei. The Design and Research of Print-Scan Resistant Watermarking Algorithm[D]. Beijing: Beijing University of Post and Telecommunications, 2010.

(责任编辑: 徐海燕)