

抗几何形变全息水印防伪技术

包观笑, 孙刘杰, 周中原
(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: **目的** 为了提高水印的抗几何攻击能力,以DCT(余弦变换)变换生产全息水印,并通过DCT嵌入宿主图像的中频区域,结合Randon变换技术,使得水印拥有良好的抗裁切和几何形变性能。**方法** 首先,根据FFT(傅里叶变换)和DCT全息的成像特点介绍全息水印。然后,通过计算机系统将原始图像与参考光干涉,生成全息图像后经DCT变换,利用DCT嵌入到宿主图像的Y通道中。最后,结合Randon变换算法检测扫描图像倾斜角度。**结果** 以嵌入强度 a 为0.4嵌入打印扫描后,含水印图像的PSNR值达到39.53,提取水印SSIM达到0.783。嵌入水印有很强的不可见性,提取水印清晰,嵌入量较大,有一定的鲁棒性。**结论** 该算法能够快速、准确地从受到旋转、滤波、噪声、裁切和几何形变等攻击的宿主图像中提取水印。

关键词: Radon变换; 余弦变换; 全息水印; 角度校正; SSIM算法

中图分类号: TS805.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)23-0115-05

Anti-geometric Distortion Holographic Counterfeiting Watermark Technology

BAO Guan-xiao, SUN Liu-jie, ZHOU Zhong-yuan
(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: **Objective** In order to improve the watermark against geometrical attacks, holographic watermark was produced by DCT transform (Cosine Transform) and embedded in the IF region of the host image by DCT technology, in combination with Randon transform technology, the watermark was granted with high resistance to cutting and geometric distortion. **Methods** Firstly, the imaging characteristics of holographic watermark was introduced according to the FFT (Fast Fourier transformation) and DCT holographic features. Then hologram optical interference was generated by the computer system with reference to the original digital information, and then the holographic image underwent DCT transform, and was embedded into the Y channel of the host image by DCT. Finally, Randon transform algorithm was used to detect the binding inclination angle of the scanned image. **Results** Experimental results showed that when the embedding intensity was $a=0.4$ for the embedding of print scan, the PSNR of the watermarked image reached 39.53, and the watermark SSIM reached 0.783. The embedded watermark had strong invisibility, the extracted watermark was clear, the embedding capacity was high, and there was certain level of robustness. **Conclusion** Therefore, this algorithm could quickly and accurately extract watermark image from the host image which suffered from rotation, filter, noise, cropping, or other geometric distortion attacks.

KEY WORDS: Radon transform; DCT; holographic watermark; angle correction; SSIM algorithm

数字水印技术是现阶段一种普遍得到公认的较为有效的数字作品产权保护手段,具有不可见性、鲁

收稿日期: 2014-07-08

基金项目: 上海市教委科研创新重点项目(13ZZ111)

作者简介: 包观笑(1992—),男,浙江温州人,上海理工大学硕士生,主攻图像处理、数字水印和印刷防伪技术。

通讯作者: 孙刘杰(1965—),男,安徽人,博士,上海理工大学教授,主要研究方向为数字水印、模式识别和印刷防伪技术。

棒性和有效性等优点。1948年,英国学者Gabor^[1]首次提出全息理论,并获得诺贝尔奖。在之后的数十年里,全息技术被广泛地应用在各个领域。2002年,日本学者Nobukatsu Takai等^[2]成功利用傅里叶变换全息技术嵌入并提取了水印图像,但在抵抗低通滤波的能力上显得不足;2007年,孙刘杰^[3-9]等人改进傅里叶全息技术,使其具有一定的抗低攻击能力;2010年,Shuozhong Wang等^[10-11]通过DCT域嵌入傅里叶全息水印,验证了DCT域嵌入水印的不可见性和有效性;2011年,A.P.Starchenko^[12]提出了一种利用DCT变换的全息技术,减少了原本全息技术的数据冗余性。这里通过DCT变换生成全息后,再次进行DCT变换调整水印图像的能量分布,并在CMYK空间嵌入宿主图像。该水印技术具有良好的不可见性,且具有一定的抗旋转、滤波和噪声等攻击的性能。通过打印输出再扫描输入后,依然能有效的提取水印图像。

1 原理

M.V.Smirnov在文献[13]中表明,通过傅里叶全息产生水印图像的数据冗余原因是由于共轭相的存在。设 $A(e^{j\omega})$ 为信号 $A(x)$ 的傅里叶变换系数,*为共轭符号; (ζ, η) 为频域坐标, $g(\zeta, \eta)$ 为从全息图中重建的水印; (x, y) 为空域坐标, $h(x, y)$ 为傅里叶全息图像。傅里叶全息可以表示为:

$$A(e^{j\omega}) = A^*(e^{-j\omega}) \quad (1)$$

$$F\{h(x, y)\} = g(\zeta - M, \eta - N) + g(-\zeta - M, -\eta - N) + \sigma(\zeta, \eta) \quad (2)$$

$$g(\zeta - M, \eta - N) = g(-\zeta - M, -\eta - N) \quad (3)$$

其中, M, N 为载波频率; F 为傅里叶变换; $\sigma(\zeta, \eta)$ 为自相关系数。

可以看出,傅里叶全息会产生一个冗余的共轭相。DCT变换的机理可以表示为:

$$\{1/N_c^{1/2}, \cos[(2m+1)k\pi/(2N_c)]\} \quad (4)$$

式中, $m=0, 1, 2, \dots, N_c-1; k=0, 1, 2, \dots, N_c-1; N_c$ 为输入数据的尺度。

DCT变换是当前变换域水印算法中采用最多的方法之一^[14-19]。DCT变换是实变换^[20],因此不存在傅里叶全息中的光谱冗余数据。通过DCT的非轴对称性重建的水印可以表示为:

$$K\{D(x, y)\} \sim g(\zeta - M, \eta - N) \quad (5)$$

式中, $D(x, y)$ 表示经过DCT变换生成的全息图, K 表示余弦变换。图像大小为 M 像素 $\times N$ 像素的 $f(x, y)$ 的余弦变换和反变换可以表示为:

$$F(\zeta, \eta) = c(\zeta)c(\eta) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cdot \cos \frac{\pi(2x+1)\zeta}{2M} \cos \frac{\pi(2y+1)\eta}{2N},$$

其中, $\zeta=0, 1, 2, \dots, M-1; \eta=0, 1, 2, \dots, N-1$ 。 (6)

$$f(x, y) = \sum_{\zeta=0}^{M-1} \sum_{\eta=0}^{N-1} c(\zeta)c(\eta)F(\zeta, \eta) \cdot \cos \frac{\pi(2x+1)\zeta}{2M} \cos \frac{\pi(2y+1)\eta}{2N},$$

其中, $x=0, 1, 2, \dots, M-1; y=0, 1, 2, \dots, N-1$ 。 (7)

$$c(\zeta) = \begin{cases} 1/\sqrt{M}, & \zeta = 0 \\ \sqrt{2/M}, & \zeta = 1, 2, \dots, M-1 \end{cases}$$

$$c(\eta) = \begin{cases} 1/\sqrt{N}, & \eta = 0 \\ \sqrt{2/N}, & \eta = 1, 2, \dots, N-1 \end{cases} \quad (8)$$

DCT变换很好地将图像能量集中在低频域,低频到高频域的指向为图像的左上角向右下角。基于DCT的全息技术相比传统的傅里叶全息技术而言,减少了冗余数据,提高了有效数据在重建水印过程中的比率,具有更多水印图像的选择。DCT与DFT全息重构效果对比见图1。

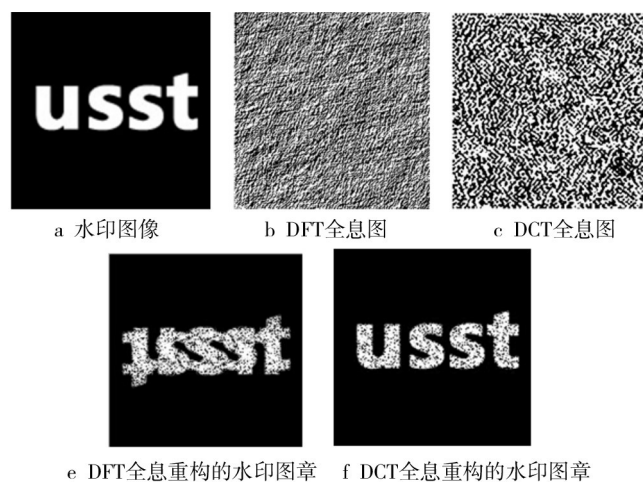


图1 DFT与DCT全息重构效果比较

Fig.1 Contrast of holographic reconstruction by DFT and DCT

1.1 DCT全息

设 $\Psi(x, y) = A(x, y)\exp[j\phi(x, y)]$,同轴参考相位 $\exp[j\Psi]$, Ψ 为某一常数,则同轴全息图像为:

$$H(x, y) = |A(x, y)\exp[j\Psi(x, y) + \Psi_0] + \exp(j\Psi_0)|^2 =$$

实验中,使用 HP CP5225 四色喷墨打印机,打印分辨率为 150 dpi; 纷腾 9800XL 高精度扫描仪,扫描精

度为 600 dpi。宿主图像为 512 像素 × 512 像素的 CMYK 格式彩色图片,水印图像采用带有 USST 标志的 128 像素 × 128 像素图像。其中,USST 图像嵌入量为 12 288 bit。嵌入强度 $a=0.4$ 的攻击结果见表 2。印刷扫描结果见图 3。

由表 2 可以看出,该全息水印算法对旋转、裁切、滤波、噪声和压缩等攻击具有一定的抵抗能力。对裁切、压缩和噪声有较强的抗攻击能力,裁切 50%后 SSIM 依旧在 0.7 以上,以 crop 的旋转裁切后依然能够正确地提取水印。

表 2 攻击结果
Tab.2 Result of attacking

攻击方式	检测结果	SSIM	攻击方式	检测结果	SSIM
JPEG 压缩(因子 5)	成功	0.650	JPEG 压缩(因子 3)	成功	0.635
中值滤波[3,3]	成功	0.178	维纳滤波[3,3]	成功	0.627
高斯噪声(0.05)	成功	0.730	椒盐噪声(0.05)	成功	0.740
loose 旋转 5°	成功	0.308	loose 旋转 15°	成功	0.313
crop 旋转 5°	成功	0.288	crop 旋转 15°	成功	0.260
裁切 50%	成功	0.731	裁切 70%	成功	0.479
放大 2 倍	成功	0.445	缩小为 0.75 倍	成功	0.215
向右平移 50 pixel	成功	0.290	向下平移 50 pixel	成功	0.310

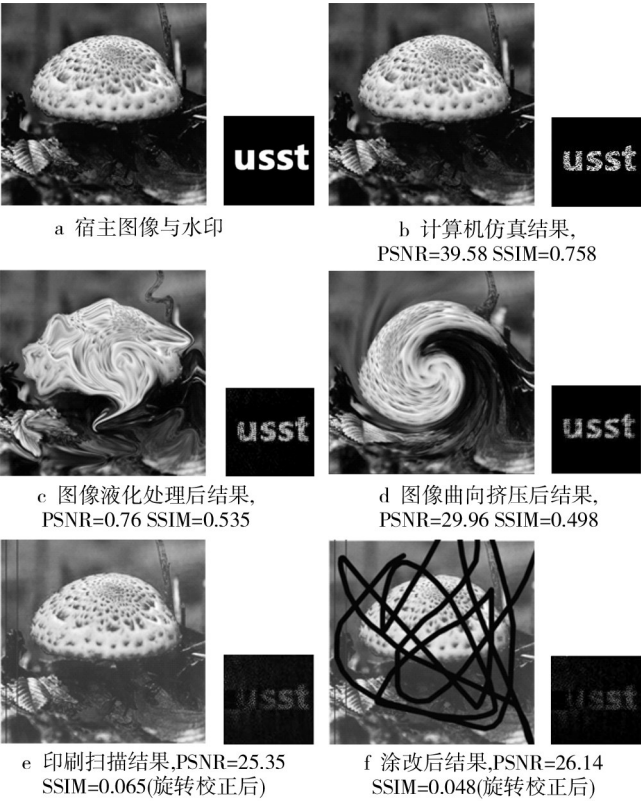


图 3 印刷扫描结果
Fig.3 Result after printing and scanning

含水印图像(512 像素 × 512 像素)经过印刷扫描后,依旧能够准确地提取清晰的水印图像(128 像素 × 128 像素),见图 3。图 3c 和图 3d 表明,含水印图像经过 Photoshop 的液化和挤压操作后,图像结构有明显的

破坏,但是嵌入的水印依然能够被清晰提取。图 3e 和图 3f 表明,含水印图像经过四色印刷并扫描后,图像出现较为明显的失真。嵌入水印图像的 PSNR 值为 39.53,印刷扫描后的含水印图像 PSNR 下降为 25.35。图像数据在严重损失后,水印还是得到准确的提取。由实验可知,提出的算法有一定抗图像失真和几何形变的鲁棒性。

3 结语

DCT 变换全息水印技术建立在傅里叶全息水印技术的基础上,并创新性地运用 DCT 技术产生全息水印,与传统的 DFT 全息相比,有效地消除了共轭像,减少了水印数据冗余。理论分析了 DCT 构造全息水印的可行性和高效性。结合了 Randon 变换校正扫描图像角度偏转问题。无论是对于 crop 裁切旋转,还是 loose 旋转攻击,都有快速而准确的旋转角度校正能力。含水印图像裁切 70%以后,提取水印 SSIM 依然有 0.479。旋转平移以后,提取水印 SSIM 都在 0.20 以上。与传统的攻击方式相比,实验中更是添加了对图像结构被破坏的攻击实验,经过 Photoshop 的液化和挤压攻击后,提取水印依旧清晰,SSIM 在 0.45 以上,基本满足数字水印防伪需要。通过实验验证了 DCT 全息水印技术具有抗滤波、裁切和旋转等干扰能力。从客观数据 PSNR 和 SSIM 可以看出,该算法有很好的不可

见性和有效性,提取水印不需要原始图像参与,属于盲水印。

参考文献:

- [1] GABOR D. A New Microscopic Principle[J]. Nature, 1948, 161 (4098): 777.
- [2] TAKAI N, MIFUNE Y. Digital Watermarking by Holographic Technique[J]. Appl Opt, 2002, 41(5): 865—973.
- [3] 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, 10(27): 622—626.
SUN Liu-jie, ZHUANG Song-lin. Forgery Prevention Based on In-line Fourier Holographic Watermark with Double Random Phase Encryption[J]. Acta Optica Sinica, 2007, 10 (27): 622—626.
- [4] 孙刘杰, 庄松林. 加密同轴全息水印技术[J]. 光学精密工程, 2007, 01(15): 132—136.
SUN Liu-jie, ZHUANG Song-lin. Digital Watermark of Encrypted In-line Holography[J]. Optics and Precision Engineering, 2007, 01(15): 132—136.
- [5] 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, 2013, 34(7): 144—148.
WANG Zi-yu, SUN Liu-jie. Improved QR Code Based Digital Holographic Watermark[J]. Packaging Engineering, 2013, 34 (7): 144—148.
- [6] 李晨璐, 孙刘杰, 李孟涛. 强鲁棒性全息水印算法[J]. 包装工程, 2012, 33(13): 104—107.
LI Chen-lu, SUN Liu-jie, LI Meng-tao. Robust Holographic Watermarking Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2012, 33 (13): 104—107.
- [7] 李孟涛, 孙刘杰, 刘真. 变换域加密全息水印算法[J]. 包装工程, 2011, 32(15): 22—24.
LI Meng-tao, SUN Liu-jie, LIU Zhen. Encrypted Holographic Watermarking Algorithm Based on Transform Domain[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(15): 22—24.
- [8] 卢鹏, 刘真. 基于归一化的全息水印技术[J]. 包装工程, 2013, 34(1): 115—118.
LU Peng, LIU Zhen. Holographic Watermark Technology Based on Image Normalization[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(1): 115—118.
- [9] 张雷洪, 孙刘杰, 郑继红. 傅里叶变换全息加密数字水印解密实验研究[J]. 包装工程, 2011, 32(17): 8—12.
ZHANG Lei-hong, SUN Liu-jie, ZHENG Ji-hong. Experiment Study on Decryption of Fourier Transform Holography Encrypted Watermark[J]. Packaging Engineering, 2011, 32 (17): 8—12.
- [10] WANG Shuo-zhong, HUANG Su-juan, ZHANG Xin-peng, et al. Hologram-based Watermarking Capable of Surviving Print-scan Process[J]. Opt Technol, 2011, 49(7): 176—178.
- [11] YU Chi-liang, GU Ji-hua, LIU Wei, et al. An Image Digital Watermark Technique Based on Digital Holography and Discrete Cosine Transform[J]. Acta Optica Sinica, 2006, 12(26): 356—359.
- [12] STARCHENKO A P. Using the Discrete Cosine Transformation to Construct a Hologram for the Task of Embedding Hidden Watermarks[J]. Appl Opt, 2010, 78(3): 1170—1174.
- [13] SMIRNOV M V. Holographic Approach to Embedding Hidden Watermarks in a Photographic Image[J]. Appl Opt, 2005, 72 (6): 1673—1674.
- [14] 李旭东. 抗亮度和对比度攻击的DCT域图像数字水印算法[J]. 光电子·激光, 2013, 24(6): 1185—1189.
LI Xu-dong. Image Digital Watermarking Algorithm in DCT Domain for Resisting Brightness and Contrast Adjusting Attack[J]. Optoelectronics · Laser, 2013, 24(6): 1185—1189.
- [15] 蔡立军, 易叶青, 刘云如, 等. 一种基于边缘检测技术的DCT域非嵌入式认证水印[J]. 湖南大学学报, 2012, 39(1): 88—91.
CAI Li-jun, YI Ye-qing, LIU Yun-ru, et al. A Non-embedded DCT Based Watermarking Using Edge Detection Technology for Authentication[J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences), 2012, 39(1): 88—91.
- [16] 朱长青, 任娜. 一种基于伪随机序列和DCT的遥感影像水印算法[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2011, 36(12): 1428—1429.
ZHU Chang-qing, REN Na. An Algorithm for Digital Watermark Based on Pseudo Random Sequence and DCT for Remote Sensing Image[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2011, 36(12): 1428—1429.
- [17] LI Xiao-jie, XU Lu-ping, SONG Shi-bin, et al. DCT Domain Filtering Method for Multi-antenna Code Acquisition[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2013, 24(5): 734—741.
- [18] 林晓丹. 基于高斯混合模型的DCT域水印检测方法[J]. 自动化学报, 2012, 38(9): 1446—1448.
LIN Xiao-dan. DCT-domain Watermark Detection Using Gaussian Mixture Model[J]. Acta Automatica Sinica, 2012, 38 (9): 1446—1448.
- [19] 林森, 苑玮琦, 吴微, 等. 基于离散余弦变换和主线分块能量的模糊掌纹识别[J]. 光电子·激光, 2012, 23(11): 2201—

(下转第148页)

- neering, 2008, 29(8):50.
- [20] 郑元林. 印刷品质量检测与控制技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- ZHENG Yuan-lin. Testing and Control Technology of Print Quality[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010
- [21] 韩春阳, 孙炳新, 张佰清. 单色线条调原稿丝印质量影响因素的研究[J]. 包装工程, 2008, 29(6):55—57.
- HAN Chun-yang, SUN Bing-xin, ZHANG Bai-qing. Research on Influencing Factors of Screen Printing Quality of Homochromous Line Manuscript[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(6):55—57.
- [22] SHEN Shi-zhe, BERNIS R S. Color-difference Ellipsoids for Five CIE Colour Centres[J]. Color Research & Application, 1986, 11(3):185—195.
- [23] 吕备战. 浅析影响印刷品色差的主要因素[J]. 印刷技术, 2004(34):64.
- LYU Bei-zhan. Analysis of the Main Factors Affecting the Color Difference of the Print[J]. Printing Technology, 2004 (34):64.
- [24] 叶义成. 丝网印刷工艺参数分析与研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2007.
- YE Yi-cheng. Research and Analyses the Technologic Parameters of Screen Printing[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2007.
-
- (上接第 119 页)
- 2205.
- LIN Sen, YUAN Wei-qi, WU Wei, et al. Blurred Palmprint Recognition Based on DCT and Block Energy of Principal Lines[J]. Optoelectronics · Laser, 2012, 23(11):2201—2205.
- [20] 马建设, 任振波, 苏萍, 等. 多重全息水印技术[J]. 光学精密工程, 2013, 21(8):2112—2114.
- MA Jian-she, REN Zhen-bo, SU Ping, et al. Multiple Water-marking Technique Based on Computer Generated Hologram [J]. Optics and Precision Engineering, 2013, 21(8):2112—2114.
- [21] 王珣, 肖斌, 马建峰. 基于 Radon 和解析 Fourier-Mellin 变换的尺度与旋转不变目标识别算法[J]. 中国图像图形学报, 2008, 13(11):2159—2160.
- WANG Xuan, XIAO Bin, MA Jian-feng. Scaling and Rotation Invariant Analysis Approach to Object Recognition Based on Radon and Analytic Fourier-mellin Transforms[J]. Journal of Image and Graphics, 2008, 13(11):2159—2160.
- [22] 吴丽丽, 余春艳. 基于 Sobel 算子和 Radon 变换的车牌倾斜校正方法[J]. 计算机应用, 2013, 33(S1):220—222.
- WU Li-li, YU Chun-yan. Tilt Correction Method of License Plate Based on Sobel Operator and Radon Transform[J]. Journal of Computer Applications, 2013, 33(S1):220—222.
- [23] 靳鑫, 蒋刚毅, 陈芬, 等. 基于结构相似度的自适应图像质量评价[J]. 光电子·激光, 2014, 25(2):379—383.
- JIN Xin, JIANG Gang-yi, CHEN Fen, et al. Adaptive Image Quality Assessment Method Based on Structural Similarity[J]. Optoelectronics · Laser, 2014, 25(2):379—383.
- [24] 范媛媛, 沈湘衡, 桑英军, 等. 基于对比度敏感度的无参考图像清晰度评价[J]. 光学精密工程, 2011, 19(10):2486—2492.
- FAN Yuan-yuan, SHEN Xiang-heng, SANG Ying-jun, et al. No Reference Image Sharpness Assessment Based on Contrast Sensitivity[J]. Optics and Precision Engineering, 2011, 19 (10):2486—2492.
- [25] 王正友, 李振兴, 林维斯, 等. 结合 HVS 和相似特征的图像质量评估方法[J]. 仪器仪表学报, 2012, 33(7):1607—1610.
- WANG Zheng-you, LI Zhen-xing, LIN Wei-si, et al. Improved Image Quality Assessment Model Incorporating HVS and FSIM[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2012, 33(7):1607—1610.
-
- (上接第 137 页)
- Radial Basis Function Neural Network Based on Color Space [J]. China Printing and Packaging Research, 2010 (11):48—51.
- [13] SIMONENKO S, BAYONA V, KINDELAN M. Optimal Shape Parameter for the Solution of Elastostatic Problems with the RBF Method[J]. Journal of Engineering Mathematics, 2014, 85 (1):115—129.
- [14] AKBILGIC O, BOZDOGAN H, BALABAN M E. A Novel Hybrid RBF Neural Networks Model as a Forecaster[J]. Statistics and Computing, 2014, 24(3):365—375.
- [15] 刘容, 王强, 刘真. 基于分区的 RBF 神经网络颜色空间转换模型的研究[J]. 包装工程, 2013, 34(11):85—88.
- LIU Rong, WANG Qiang, LIU Zhen. Study on the Transformation Model Partition of RBF Neural Network Based on the Color Space[J]. Packaging Engineering, 2013, 34 (11):85—88.