

包装印刷

基于拉普拉斯金字塔的数字水印防伪技术

包观笑, 孙刘杰, 于海娇
(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: **目的** 为了提高数字水印的不可见性, 运用拉普拉斯金字塔对原始图像进行拉普拉斯分解后使用DCT变换将水印嵌入其拉普拉斯残差图像的中高频。 **方法** 对原始图像的Y通道灰度图像进行多层拉普拉斯分解后得到第2层拉普拉斯残差图像, 然后通过余弦变换将水印图像嵌入原始图像第2层拉普拉斯残差图像, 最后将所有拉普拉斯残差图重建为含水印图像。 **结果** 嵌入水印图像的PSNR能够达到40.3 dB, 在图像细节上有少许噪声, 并且对一定的图像攻击具有鲁棒性。 **结论** 该算法能够改善数字水印技术的不可见性。

关键词: 数字水印; 离散余弦变换; 图像融合; 拉普拉斯金字塔

中图分类号: TB853+.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)01-0130-04

Digital Security Technology of Watermark Based on Laplacian Pyramid

BAO Guan-xiao, SUN Liu-jie, YU Hai-jiao

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: The aim of this study was to decompose the hologram image into different frequency by Laplacian pyramid decomposition and embed the watermark into medium-high frequency coefficients of the residual image, so as to improve the invisibility of digital watermark. The second layer Laplacian residual image was obtained after multilayer Laplacian decomposition of Y components gray level image in the host image. Then the watermark was embedded into the second layer Laplacian residual image through the cosine transform. In the end, all the Laplacian residual images were rebuilt to a watermarked image. The experimental results indicated that the PSNR of the watermarked image can reach 40.3 dB with less noises in image details, at the same time, the watermarked image had good robustness against many attacks. The algorithm has better performance in improving the invisibility than before.

KEY WORDS: digital watermarking; discrete cosine transform; fusion of image; Laplacian pyramid

2014年,包观笑^[1-7]等人改进传统的数字水印技术,提高了数字水印在抵抗各种攻击时水印信息的鲁棒性,在数字水印整体上的不可见性也有着不错的效果,但在图像的细节上由于DCT变换等频率域方法的原因,出现了部分噪声集中在某些图像细节上,从而影响了含水印图像在人眼主观上的不可见性。文中算法将多用于图像融合的拉普拉斯金字塔与数字水印技术相结合,以有效地改善数字水印的不可见性。

1 原理

1.1 拉普拉斯金字塔

拉普拉斯金字塔^[8-9]的理念是建立一个金字塔式的多分辨率与尺度变化的图像组,高分辨率的图像包含了图像的细节内容,低分辨率图像表现图像的结构

收稿日期: 2015-04-08

基金项目: 上海市教委科研创新重点项目(13ZZ111); 上海市研究生教育创新计划(JWCXSL1402)

作者简介: 包观笑(1992—),男,浙江温州人,上海理工大学硕士生,主攻数字水印、印刷防伪。

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、印刷防伪。

信息,因此拉普拉斯金字塔可以良好地表现图像的多重信息,即金字塔底部为原始尺寸的图像 A_0 ,逐级向上第 i 层的图像为 A_i 。每一级所在的图像都是通过下一级图像的下采样与高斯滤波得到,即第 i 级图像 A_i 便是通过 A_{i-1} 的下采样与高斯滤波得到,尺寸为 A_{i-1} 的四分之一,随着级数的增加,金字塔从下至上的图像分辨率与尺寸随之下降。设金字塔底层为 $2^i \times 2^i$ 的图像,则金字塔的图像组成为1个近似图像(算子见式(1))和 i 个预测残差图像,见图1。

$$Q = 1/256 \begin{bmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 14 & 24 & 14 & 4 \\ 6 & 24 & 36 & 24 & 6 \\ 4 & 14 & 24 & 14 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

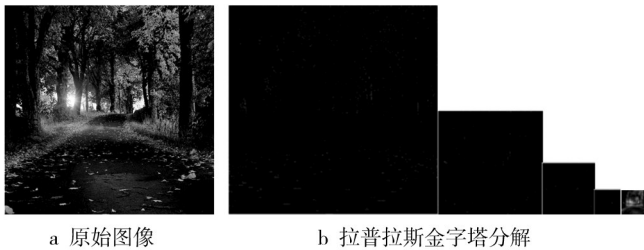


图1 拉普拉斯分解示意

Fig.1 Laplacian decomposition diagram

1.2 DCT变换

余弦变换作为数字水印中最常使用的频率变换方法^[10-13],其正变换和反变换可以用数学公式(2)~(4)表示。 $F(\zeta, \eta)$ 为余弦变换的正变换, $f(x, y)$ 为余弦变换的逆变换, M 与 N 为图像尺寸。

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

$$f(x, y) = \sum_{\zeta=0}^{M-1} \sum_{\eta=0}^{N-1} c(\zeta)c(\eta) F(\zeta, \eta) \cdot \cos \frac{\pi(2x+1)\zeta}{2M} \cos \frac{\pi(2y+1)\eta}{2N} \quad (x=0, 1, 2, \dots, M-1; y=0, 1, 2, \dots, N-1) \quad (3)$$

$$c(\zeta) = \begin{cases} 1/\sqrt{M} & (\zeta = 0) \\ \sqrt{2/M} & (\zeta = 1, 2, \dots, M-1) \end{cases} \quad (4)$$

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

经过DCT变换的数字图像按照低频到高频对图像进行能量的重新分配,频谱图左上角为低频域,右下角为高频,能量为低频到高频逐渐减小。DCT变换为JPEG压缩方式的原理之一,对于图像的压缩有良好的抵抗性能。由于人眼对低频域图像区域有很小的宽容度,因此利用DCT变换将水印图像嵌入在中高频域有良好的不可见性。

1.3 水印的嵌入与提取

RGB模式的图像在显示时,理论上3个通道互不影响,但实际情况下,RGB等3个通道是有相关性的,因此水印在嵌入B通道后的不可见性并没有理论上那么良好,文中将水印嵌入相关性较小的CMYK格式图像的Y通道灰度图。

文献[14]诠释了人眼对图像主观质量评价的主要原理,人眼对于图像像素点与像素点之间的点误差并不敏感,人眼对于图像的区分主要是在图像结构方面的差异,因此可以将水印信息嵌入到图像像素点的误差扩散中。拉普拉斯金字塔在分解时,从底层由下至上为降采样过程,而拉普拉斯金字塔重构则是由上至下的上采样,并且与对应级数的拉普拉斯金字塔残差图进行像素修正,也就是对上采样后图像的像素点误差校正。由此,文中方法选取原始图像Y分量的第2层拉普拉斯金字塔图像进行DCT变换后,在中频域中嵌入水印信息,DCT逆变换后与其他残差图像重构生成含水印图像,通过残差图像的重构将水印信息嵌入到图像像素点的扩散中,以达到人眼的不可见性。

具体嵌入步骤:对原始图像的Y分量进行拉普拉斯分解,获得多层拉普拉斯残差图;选取拉普拉斯金字塔第2层残差图像,对其进行DCT变换;将水印图像嵌入其中高频域后DCT逆变换得到含有水印的拉普拉斯残差图;然后再将所有拉普拉斯分解图重建为含水印图像Y分量;将含水印的Y分量图像与其余分量合成含水印彩色图像。

提取方法则为嵌入方法的逆过程,具体步骤:对含水印图像的Y分量进行拉普拉斯分解,获得多层拉普拉斯残差图;选取上一步骤中拉普拉斯金字塔第2层残差图像,对其进行DCT变换;提取上一步骤图像的高频域后DCT逆变换得到水印。嵌入与提取流程见图2。

2 实验

实验编程环境选择为MATLAB2012b,计算机主

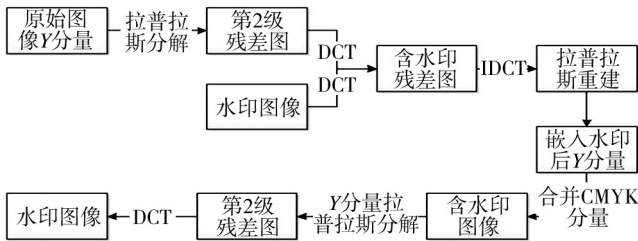


图2 水印嵌入与提取流程

Fig.2 The flow chart of embedding and extraction of the watermark

频为 1.69 GHz,内存为 2 G。载体图像为 1024 pixel × 1024 pixel 的 CMYK 格式彩色风景照片,水印图像采用大小为 128 pixel × 128 pixel 的 USST 标志灰度图像,嵌入强度均为 1.0。

2.1 含水印图像细节对比

水印的不可见性作为数字水印性能最重要的指标之一,常常用 PSNR(峰值信噪比)来表述,但作为一个客观指标,它无法完全地描述人眼对嵌入水印的不可见性,见图3。

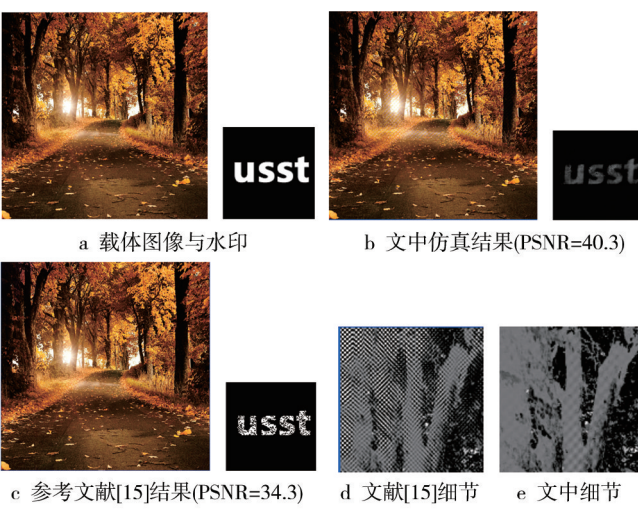


图3 含水印图像对比

Fig.3 Comparison of watermarked images

图3可以看出,虽然文中算法与参考文献的方法都能准确地提取水印信息,并且在峰值信噪比(PSNR)上也较为相近,但由于参考文献是单纯的通过DCT将水印信息嵌入载体图像的某一特定中高频频率域中,而高频信息一般表示为图像的细节信息,因此通过DCT单纯地嵌入在图像的中高频容易产生噪声集中在某一特定范围内。对嵌入水印的Y分量左上角进行放大后可以明显看出,文中算法对于图像的细节影响没有参考文献的大。

2.2 水印数据鲁棒性对比

数字水印对于嵌入水印信息的鲁棒性是水印性能重要指标之一,只有良好的水印信息鲁棒性,才能在含水印图像信息丢失后依然保证水印的正确识别,保护数字信息的版权。滤波与尺度缩放则是最能考究图像受到攻击后,信息出现丢失的情况下,水印信息的鲁棒性能。现对文中算法与参考文献算法进行图像攻击,对比水印信息的鲁棒性能,结果见图4,左侧为文中算法,右侧为参考文献[15]的算法。

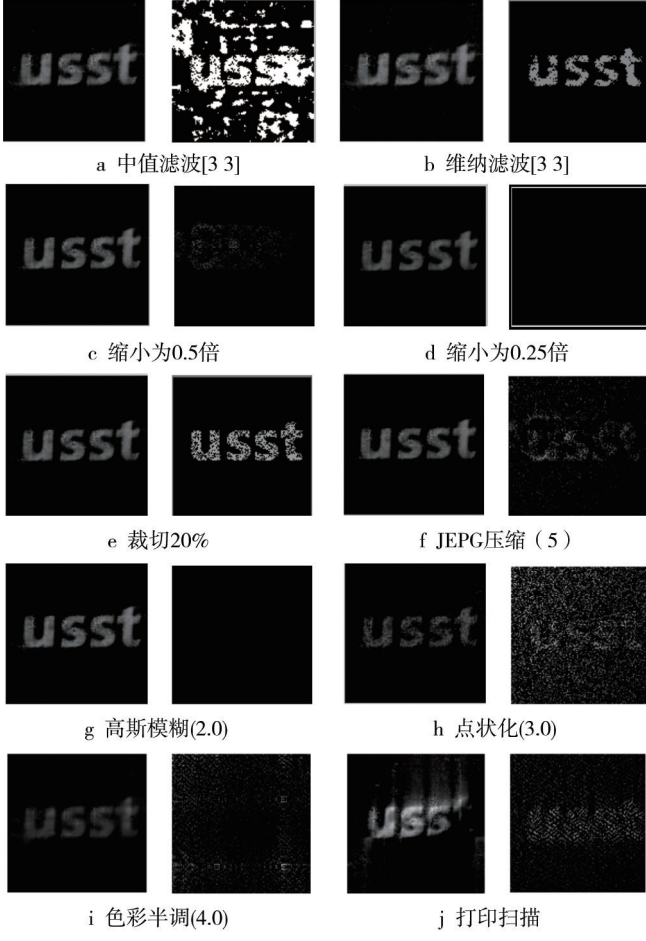


图4 图像攻击后提取水印对比

Fig.4 Comparison of extracted watermarks after the attack

从图4中明显可以看出,文中算法在受到滤波与缩放攻击后,虽然图像中的有效信息遭到部分损失,但是提取的水印轮廓与结构依旧清晰。参考文献的算法仅对裁切有较好的鲁棒性,但是在受到其他较大数据损失量的攻击,如缩小为原尺寸0.5倍时,便无法正确提取水印信息。对于常见的JPEG压缩,文中方法即使在中低等质量的压缩因子下,也能清晰提取水印。对含水印进行Photoshop的各种图像处理,模拟图像在日常生活中受到的各种图像类处理攻击,经过高

斯模糊、点状化、色彩半调等图像内容改变的处理后,文中方法依旧可以清晰提取水印。在打印输出后,扫描输入含水印图像后,水印信息也没有丢失,因此可以看出文中算法较参考文献有明显的信息鲁棒性改善,可用于实际的印刷防伪等用途。

3 结语

将用于图像融合领域的拉普拉斯金字塔技术运用在数字水印技术上,空间域变换与频率域变换技术相结合,通过实验可以明显看出,文中算法在水印不可见性上有较大的提高,避免了因为向特定的频率域嵌入水印而造成图像细节区域的损失。在水印信息的鲁棒性上得到了较大幅度的提高,即使在中值滤波、图像缩小攻击等对图像信息有较大损失的攻击下,依旧能够保证水印信息的有效提取。因此文中算法性能有较为明显的提升,可用于实际印刷输出,提取水印时不需要原始图像的参与,属于盲水印的一种。

参考文献:

- [1] 包观笑,孙刘杰,李毓彬,等. 抗任意旋转攻击的数字水印防伪技术[J]. 光电子·激光,2015,26(1):156—161.
BAO Guan-xiao, SUN Liu-jie, LI Yu-bin, et al. Digital Watermarking Technology against Arbitrary Rotation Attack[J]. Journal of Optoelectronics·Laser, 2015, 26(1): 156—161.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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 Opt Ica Sinica, 2006, 26(12): 356—359.
- [7] 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.
- [8] 肖进胜,饶天宇,贾茜,等. 基于切割的拉普拉斯金字塔图像融合算法[J]. 光电子·激光,2014,25(7):1416—1423.
XIAO Jin-sheng, RAO Tian-yu, JIA Qian, et al. An Image Fusion Algorithm of Pyramid Based on Graph Cuting[J]. Journal of Optoelectronics·Laser, 2014, 25(7): 1416—1423.
- [9] 苗启广,王宝树. 基于改进的拉普拉斯金字塔变换的图像融合方法[J]. 光学学报,2007,27(9):1605—1610.
MIAO Qi-guang, WANG Bao-shu. Multi-sensor Image Fusion Based on Improved Laplacian Pyramid Transform[J]. Acta Optica Sinica, 2007, 27(9): 1605—1610.
- [10] 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,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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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—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.
- [14] 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.
- [15] 包观笑,孙刘杰,周中原. 抗几何形变全息水印防伪技术[J]. 包装工程,2014,35(23):115—119.
BAO Guan-xiao, SUN Liu-jie, ZHOU Zhong-yuan. Anti-geometric Distortion Holographic Counterfeiting Counterfeiting Watermark Technology[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(23): 115—119.