

基于计算全息 Contourlet 域数字水印算法

白韬韬, 刘真, 卢鹏

(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: **目的** 提出一种基于计算全息的 contourlet 域数字水印算法。 **方法** 首先, 利用共轭对称延拓傅里叶计算全息方法, 将原始二值水印图像生成全息水印图像; 然后, 将原始图像进行二级 contourlet 变换, 得到 8 个中频方向子带系数; 最后, 将全息水印嵌入在其中频系数中。 **结果** 该方法可以有效抵抗高斯滤波、中值滤波和均值滤波以及打印-扫描攻击, 同时, 对噪声攻击、裁切攻击和 JPEG 压缩攻击也有很强的抵抗能力。在水印提取时无需原始图像, 属于盲水印算法。 **结论** 该算法可以广泛应用于数字图像的版权保护中。

关键词: 全息; contourlet 变换; 版权保护; 数字水印

中图分类号: TS801.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)21-0076-04

Digital Watermarking Algorithm in Contourlet Domain Based on Computer Generated Holography

BAI Tao-tao, LIU Zhen, LU Peng

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

ABSTRACT: **Objective** To propose a digital watermarking algorithm in contourlet domain based on computer generated holography. **Methods** Firstly, a binary watermark was converted to a holographic watermark using the computer generated holography by the conjugate-symmetric extension. Secondly, the original image was subjected to two-dimensional contourlet transform, and the intermediate frequency was transformed into eight directional subband coefficients. Finally, the holographic watermark was embedded into one directional subband coefficients. **Results** Experimental results demonstrated that the proposed method could well resist attacks such as low-pass filtering, noise, cropping and JPEG lossy compression. And the algorithm could also survive print-scan attack. The original image was not needed during watermark extraction. The proposed algorithm was blind. **Conclusion** The watermarking algorithm proposed could be widely used in copyright protection of digital images.

KEY WORDS: holography; contourlet transform; copyright protection; digital watermarking

近年来,随着计算机与网络通信技术的快速发展,数字产品的获取、使用和传播变得异常简单,在方便大众的同时,如何有效解决版权保护问题已越来越受到重视。数字水印^[1-4]技术在 1994 年被提出后,作为版权保护的一种新型手段,得到了国内外广大学者的关注。关于数字图像的水印算法是广大学者研究

的重点领域。图像数字水印技术是将水印信息隐藏于数字图像中,但含水印图像与原始图像相比仅产生微弱的、不易察觉的变化,即具有很强的不可见性。鲁棒性作为衡量数字水印算法是否可靠的指标,同样是广大学者的研究重点。

2002 年, Takai 等^[5]人提出将傅里叶计算全息

收稿日期: 2014-03-24

基金项目: 上海市研究生创新基金项目(JWCXSL1302)

作者简介: 白韬韬(1989—),男,蒙古族,辽宁锦州人,上海理工大学硕士生,主攻数字水印及图像处理。

(CGH)应用于数字水印技术中,首次将光全息技术引入到数字水印领域。由于全息图谱的不可撕毁性,该方法可以有效抵抗裁切攻击。但是其选择的嵌入方式为空域叠加,属于空间域水印,其抵抗攻击的能力较差。之后,许多学者对全息技术在数字水印技术中的应用进行了大量研究。2007年,Sun等^[6-7]人将双随机相位加密技术与全息技术相结合,提出了加密全息水印,由于使用了双随机加密技术,使得水印的安全性高,对噪声和亮度调整攻击的抵抗能力也很强。但是,由于同轴全息图逆傅里叶变换解得的图像会产生共轭像,因而经双随机解密后的图像会叠加上噪声干扰。2009年,Huang等^[8-9]人提出了一种新的数字全息图生成方法,即共轭对称延拓傅里叶全息,并应用其方法生成全息图像作为水印信息进行了探究,其水印的不可见性较差,含水印图像与原图像的相似性较低。全息水印一直以来也是数字水印领域的重点研究对象,许多学者^[10-13]进行了大量的研究。

$$\Phi(x,y) = \begin{cases} 0 & x = 0, \text{ or } y = 0, \text{ or } x = M/2 \\ \varphi(x,y) & x = 1, 2, \dots, M/2 - 1; y = 1, 2, \dots, N - 1 \\ \varphi^*(M - x, N - y) & x = M/2 + 1, \dots, M - 1; y = 1, 2, \dots, N - 1 \end{cases} \quad (1)$$

式中,*表示对复数做共轭运算, $\varphi(x,y)$ 经过共轭对称延拓计算后得到的复数图像为 $\Phi(x,y)$ 。对 $\Phi(x,y)$ 做二维离散傅里叶变换,得到实值的全息图像,设得到的全息图像为 $H(x,y)$,则有:

$$H(x,y) = F\{\Phi(x,y)\} \quad (2)$$

式中, F 表示傅里叶变换。此实数图像记录了复数图像的振幅和相位信息。

1.2 Contourlet变换

Do和Vetterli在2002年提出了contourlet变换^[14-15],这种变换被命名为一种“真正”的图像二维表示法。contourlet变换也称为金字塔型方向滤波器组PDFB(Pyramidal Directional Filter Bank)。PDFB首先利用拉普拉斯金字塔(Laplacian Pyramid, LP)变换对原始图像进行多尺度分解,以“捕获”二维图像信号中存在的奇异点。然后由方向滤波器组(Directional Filter Bank, DFB),将分布在同方向上的奇异点连成线,形成轮廓段。它不仅具有小波变换的多尺度和时频局域性特点,还提供了更高水平的方向性和各向异性。contourlet对图像进行分解的过程示意图见图1。对

通过对文献的研究,目前基于全息技术的数字水印的缺点主要是无法权衡鲁棒性和不可见性。为此,提出基于计算全息的contourlet域数字水印算法,利用contourlet变换域嵌入水印,使得水印算法具有很强的鲁棒性和很高的不可见性。

1 算法分析

1.1 共轭对称延拓傅里叶计算全息

设原始实值水印图像为已经归一化的图像 $f(x,y)$,尺寸为 m 像素 $\times n$ 像素。该算法利用共轭对称延拓傅里叶计算全息方法,生成全息水印图像。待记录的复数图像 $\varphi(x,y) = f(x,y)\exp[jp(x,y)]$,其中,相位为 $[-\pi, \pi]$ 范围内均匀分布的随机数。

对复数图像 $\varphi(x,y)$ 进行共轭对称延拓计算,得到尺寸为 M 像素 $\times N$ 像素的复数图像,其中, $M=2(m+1)$, $N=n+1$ 。如式(1):

lena图像进行二级contourlet变换分解的结果见图2,高频和中频部分分别分解为4方向和8方向。

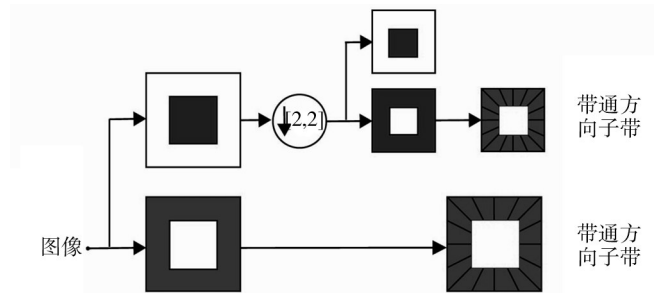


图1 contourlet变换分解

Fig.1 Contourlet transform decomposition

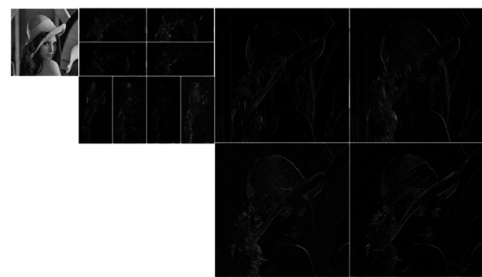


图2 灰度图像lena的contourlet分解结果

Fig.2 Contourlet decomposition results of the gray image "lena"

2 水印嵌入与提取

2.1 全息水印的嵌入

首先,将尺寸为 m 像素 $\times n$ 像素大小的二值图像利用共轭对称延拓傅里叶计算全息方法,生成全息水印图像。其次,将原始图像进行二级contourlet变换,2级分解分别为4方向和8方向,得到8个中频方向子带系数。最后,将全息水印替换原始图像的1个中频子带系数,并进行二级contourlet逆变换,得到空域含水印图像。具体步骤所述。

1) 生成大小为 m 像素 $\times n$ 像素的随机模版 P ,并将原始二值图像进行相位模版 P 的空域相位调制。

2) 将调制后的复数图像利用共轭对称延拓傅里叶计算全息方法,生成全息水印 W_{mark} ,尺寸为 M 像素 $\times N$ 像素。其中, $M=2(m+1)$, $N=n+1$ 。

3) 将尺寸为 $4M$ 像素 $\times 8N$ 像素的原始图像进行二级contourlet变换,得到8个大小为 M 像素 $\times N$ 像素的中频子带系数。

4) 将全息水印乘以一定系数与某个中频子带系数相加,完成水印的嵌入过程,并记录嵌入水印的中频子带系数的编号。公式为: $\text{Subband}_{2i} = \text{Subband}_{2i} + K \times W_{\text{mark}}$ 。其中, Subband_{2i} 为图像经二级contourlet变换后得到的某个中频子带系数, i 的取值为1~8; K 为比例系数,即水印嵌入强度。

5) 将嵌入水印后的变换域图像进行二级contourlet逆变换,得到空域含水印图像。

2.2 全息水印的提取

水印提取过程是水印嵌入步骤的逆步骤,具体步骤为:将含水印图像进行二级contourlet变换,2级分别分解为4方向和8方向,得到8个中频子带系数;根据记录的编号,提取相应的中频系数,作为提取出的全息水印图像;对提取出的图像作逆傅里叶变换得到水印信息。

3 实验结果与分析

采用512像素 $\times$ 512像素的lena灰度图像作为原始图像,采用的二值水印图像尺寸为63像素 $\times$ 63像素

,分别见图3a和图3b。二值图像经过1.1节的方法处理后得到全息水印图像,尺寸为128像素 $\times$ 64像素,见图3c。运用2.1节的方法将全息水印嵌入原始图像后得到的图像见图4a,其中,选择的嵌入强度 K 为1.2,含水印图像与原始图像的psnr值为42.2260,说明含水印图像与原始图像有很高的相似度。从含水印图像中提取出的水印见图4b,可以很清晰地看清“JN”字样。所提取的水印信息均没有经过二值化处理,为原始提出的图像。



图3 原始图像、二值水印图像及其全息图水印图像

Fig.3 Original image, binary watermark and hologram watermark



图4 含水印图像与提取的水印图像

Fig.4 Watermarked image and extracted watermark

为了验证本算法的鲁棒性,对已嵌入水印的图像分别进行加性噪声攻击、乘性噪声攻击、低通滤波攻击、裁切攻击、压缩攻击、打印-扫描攻击以及打印-扫描和裁切混合攻击实验。其中,加性噪声选择了高斯噪声和椒盐噪声,乘性噪声选择了speckle噪声,低通滤波选择了高斯滤波、中值滤波和均值滤波。具体参数和对应提取的图像见表1。

从表1可以看出,图像经过低通滤波攻击、加性噪声攻击和乘性噪声攻击,提取出的水印信息“JN”字样可以很清晰地辨别,表明该算法可以有效抵抗低通滤波和噪声攻击。裁切攻击的参数为50%,虽然裁切掉了含水印图像的很大一部分,但是从图中提

表1 不同水印攻击实验结果
Tab.1 Experimental results of different attacks

攻击方式	水印信息
高斯滤波模版为33	
均值滤波模版为33	
中值滤波模版为33	
高斯噪声方差为0.001	
椒盐噪声方差为0.005	
Speckle噪声方差为0.005	
裁切50%	
JPEG压缩质量因子60	
打印扫描	
打印扫描+裁切25%	
打印扫描+裁切50%	

取出的水印信息依然可以清晰辨认。图像JPEG压缩是较为常见的攻击之一,这里选择质量因子为60的压缩攻击,在压缩后的图像中提取出的水印信息清晰可辨认。在打印扫描实验中,使用的打印机型号为HPZ 3200彩色打印机,打印分辨率为150 dpi;采用的扫描仪型号为EPSON V500,扫描分辨率为600 dpi。从扫描得到的图中提取出的水印信息清晰,视觉辨识度很高。同时,对扫描后的图像进行了裁切攻击,参数分别为25%和50%,从提取出的水印信息可以清晰辨认“JN”字样,说明该算法可以有效抵抗打印-扫描攻击。

4 结语

提出了一种基于计算全息的contourlet域数字水印算法。将全息水印嵌入在原始图像的contorlet变换域中,由于这种变换具有多方向性,提供了更多方向子带系数,使得水印可嵌入的区域选择更多。选择最优的子带嵌入水印,让算法取得了很高的不可见性。算法得到含水印图像的PSNR值达到了42 dB以上,依然对常见的加性噪声、乘性噪声、滤波、裁切和JPEG

压缩攻击都有很强的抵抗能力。同时,可以有效地抵抗打印-扫描攻击,并且将打印稿裁切掉50%提取的水印依然可以清晰辨认,具有很强的实用价值。该算法为数字图片版权保护提供了一种新的手段。

参考文献:

- [1] 白韬韬,刘真,卢鹏. 基于QR码的contourlet域数字水印算法[J]. 光电子·激光,2014,25(4):769—776.
BAI Tao-tao, LIU Zhen, LU Peng. Digital Watermarking Scheme in Contourlet Domain Based on QR Code[J]. Journal of Optoelectronics·laser, 2014, 25(4): 769—776.
- [2] DUANMU C, ZHANG W. A New Algorithm for the Generation of a Type of Zero-watermarks Which are Robust to Geometrical Attacks[J]. International Journal of Digital Content Technology and its Applications, 2012, 6(15): 388—397.
- [3] 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.
- [4] 白韬韬,刘真,卢鹏. 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.
- [5] TAKAI N, MIFUNE Y. Digital Watermarking by a Holographic Technique[J]. Applied Optics, 2002, 41(5): 865—873.
- [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 Inline Fourier Holographic Watermark with Double Random Phase Encrypt Ion[J]. Acta Optica Sinica, 2007, 27(4): 621—624.
- [7] 孙刘杰,庄松林. 双随机相位加密全息标识防伪技术研究[J]. 光学学报, 2007, 27(1): 31—34
SUN Liu-jie, ZHUANG Song-lin. Anti-fake Technique by Doubled Random Phase Encrypted Holographic Mark[J]. Acta Optica Sinica, 2007, 27(1): 31—34.
- [8] 黄素娟,王朔中,于瀛洁. 共轭对称延拓傅里叶计算全息[J]. 物理学报, 2009, 58(2): 952—958.
HUANG Su-juan, WANG Shuo-zhong, YU Ying-jie. Computer Generated Holography Based on Fourier Transform Using Conjugate Symmetric Extension[J]. Acta Physica Sinica, (下转第85页)

- [7] 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.
- [8] 徐宏平, 万晓霞, 许法强. 基于视觉模型和误差扩散的半色调水印算法[J]. 包装工程, 2007, 28(12): 77—79.
XU Hong-ping, WAN Xiao-xia, XU Fa-qiang. Watermarking Algorithm for Halftone Images Based on HVS AND Error Diffusion[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(12): 77—79.
- [9] 李孟涛, 孙刘杰, 张雷洪, 等. 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, ZHANG Lei-hong, et al. Research on Fourier Encryption Printing Watermarking Algorithm Based on Wavelet Transform[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(1): 108—112.
- [10] 黄军. 基于离散余弦变换域的数字水印研究[J]. 包装工程, 2012, 31(13): 108—110.
HUANG Jun. Research of Digital Watermark Based on DCT Domain[J]. Packaging Engineering, 2012, 31(13): 108—110.
- [11] 王灿才. 基于空间域LSB数字水印的鲁棒性研究[J]. 包装工程, 2009, 30(3): 76—78.
WANG Can-cai. Study of the Robustness of Digital Watermark Based on Least Significant Bit[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(3): 76—78.
- [12] LI Y X, TAN C L, DING X, et al. Contextual Post-processing Based on the Confusion Matrix in Offline Handwritten Chinese Script Recognition[J]. Pattern Recognition, 2004, 37(9): 1901—1912.
- [13] LONG C, ZHU X, HUANG K, et al. An Efficient Post-processing Approach for Off-line Handwritten Chinese Address Recognition[C]// 2006 8th International Conference on Signal Processing, 2006: 16—20.
- [14] NAVARRO G, RAFFINOT M. Flexible Pattern Matching in Strings: Practical on-line Search Algorithms for Texts and Biological Sequences[M]. New York: Cambridge University Press USA, 2002.
- [15] PENG F, SCHUURMANS D. Self-supervised Chinese Word Segmentation[C]// IDA' 01: Proceedings of the 4th International Conference on Advances in Intelligent Data Analysis, 2001: 238—247.

(上接第79页)

- 2009, 58(2): 952—958.
- [9] 黄素娟, 王杜瑶, 刘晓静, 等. 基于小波变换的硬拷贝全息水印[J]. 光电子·激光, 2011, 22(9): 1415—1420.
HUANG Su-juan, WANG Du-yao, LIU Xiao-jing, et al. Hardcopy Hologram Watermarking Based on Discrete Wavelet Transform[J]. Journal of Optoelectronics · laser, 2011, 22(9): 1415—1420.
- [10] WANG S, HUANG S, ZHANG X, et al. Hologram-based Watermarking Capable of Surviving Print-scan Process[J]. Applied Optics, 2010, 49(7): 1170—1178.
- [11] 王子煜, 孙刘杰, 李孟涛. 强鲁棒性QR码水印技术[J]. 包装工程, 2012, 33(15): 84—87.
WANG Zi-yu, SUN Liu-jie, LI Meng-tao. QR Code Watermark Technology with Strong Robustness[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(15): 84—87.
- [12] 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.
- [13] 周中原, 孙刘杰, 唐波, 等. 一种抗旋转的全息水印算法[J]. 包装工程, 2013, 34(19): 95—100.
ZHOU Zhong-yuan, SUN Liu-jie, TANG Bo, et al. An Anti-rotation Holographic Watermarking Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(19): 95—100.
- [14] DO M N, VETTERLI M. Contourlets: A New Directional Multiresolution Image Representation[C]// Signals, Systems and Computers, 2002, 1: 497—501.
- [15] DO M N, VETTERLI M. The Contourlet Transform: An Efficient Directional Multiresolution Image Representation[J]. IEEE Trans. Image Process. 2005, 14(12): 2091—2106.