

基于迭代混合的双重鲁棒数字水印

耿芸, 张贵仓

(西北师范大学 数学与信息科学学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要:在变换域添加的数字水印一般在具有较高鲁棒性的情况下,嵌入容量都比较小.为了提高数字水印的鲁棒性和嵌入信息量,采用在不同变换域添加双重数字水印的方法.在DCT域采用修改DCT系数的方法添加了二值水印,而在DWT域采用迭代混合技术添加了灰度图像以提高水印容量和鲁棒性.实验结果表明,这一算法对JPEG压缩、剪切、加噪都具有较好的鲁棒性,很好地实现了数字水印鲁棒性和大容量的统一.

关键词:双重数字水印技术;迭代混合;离散余弦变换(DCT);鲁棒性水印;变换域

中图分类号:TP309.7 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2012.01.029

0 引言

信息技术的发展为社会带来了革命性的变化.多媒体技术为现在的研究带来了新的挑战和机遇^[1],所以如何进行数字产品版权保护、确保信息安全已成为现代产权保护和认证的核心问题.而数字水印技术已经成为人们处理这类问题的一种主要手段^[2].变换域数字水印的优点是嵌入的水印信号能量可以分布到空间域的所有像素中,该特点有利于保证水印的透明性和鲁棒性,同时还能与国际数据压缩标准兼容,是目前发展较为成熟的数字水印技术^[3].变换域双重数字水印技术是众多数字水印技术中的一种,它的特点在于它在一幅数字图像里同时嵌入两重水印,有效地提高了被嵌入的数字水印所含的信息量和鲁棒性^[4].迭代混合是利用人类的视觉特性,将一幅图像嵌入到另一幅图像之中,通过调节嵌入系数达到被嵌入图像的不可见性.在小波变换的基础上使用迭代混合数字图像隐藏方法,可以有效地提高隐藏图像的安全性和抗攻击能力.同时迭代混合具有较大的信息隐藏容量,并且也可以将其应用到数字水印技术中^[5].结合DWT和DCT域数字水印的优点,笔者在DWT域采用迭代混合技术来实现第一重灰度图像水印的嵌入,而在DCT域嵌入一个二值水印,从而较大地提高了水印的鲁棒性和信息量.

1 迭代混合思想

文献[6]在研究信息隐藏技术时提出了一种用迭代混合将图像隐藏在载体中的方法,并且给出了迭代混合的定义.

若数字图像 A 和数字图像 B 的大小分别为 $M \times N$,若 a 是满足 $0 \leq a \leq 1$ 的任意实数,则称

$$S = Aa + (1 - a)B \quad (1)$$

为数字图像 A 和 B 的 a 混合.

设 A 和 B 分别表示尺寸为 $M \times N$ 的数字图像, $\{0 \leq a_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, n\}$ 为给定的 n 个实数,对数字图像 A 和 B 进行 a_1 混合得

$$S_1 = Aa_1 + (1 - a_1)B, \quad (2)$$

将数字图像 A 和 S_1 进行 a_2 混合得

$$S_2 = Aa_2 + (1 - a_2)S_1, \quad (3)$$

依次进行混合得

$$S_n = Aa_n + (1 - a_n)S_{n-1}, \quad (4)$$

则数字图像 S_n 称为图像 A 和 B 的关于 a_i 的 n 重迭代混合.

2 嵌入及提取算法

2.1 水印图像置乱

如果给定的原始水印是具有特定意义的文本或图像,因相邻像素具有相关性,若提取算法被人知晓,攻击者很容易得到水印信息,所以在嵌入水

收稿日期:2011-09-08;修订日期:2011-11-14

基金项目:国家教育部重点科学技术资助项目(20413);甘肃省科技攻关计划资助项目(2GS035-A052-011)

作者简介:耿芸(1981-),女,硕士,主要从事信息隐藏与数字水印研究.通信作者:张贵仓(1964-),西北师范大学教授,博士,主要从事计算机图形学和图像工程等研究, E-mail: zhanggc@nwnu.edu.cn.

印之前应进行预处理,使得水印信息能量分散,消除信息中相邻像素的相关性,提高数字水印的鲁棒性.笔者采用 Arnold 变换作为水印嵌入的预处理方法. Arnold 变换具有周期性,即当置乱到某一步时,将重新得到原始图像. Arnold 算法易于实现,其置乱次数可作为水印系统的密钥(Key),从

而增强系统的安全性和保密性;同时该算法实现的置乱可克服随机置乱的不可恢复性.置乱水印的解密算法即上述加密过程的逆过程.因此将灰度水印图像 $Ertong(256 \times 256)$ W_1 (如图 1(b)) 和二值水印图像 (32×32) W_2 (如图 1(c)) 进行置乱分别为 W_1^* 和 W_2^* .



图 1 载体图和水印图

Fig. 1 The cover image and watermarking image

2.2 第一重灰度图像水印的嵌入

笔者选取离散小波变换的方法,应用迭代混合的思想进行水印算法的研究,将灰度水印图像嵌入到原始载体图像中,以达到较好的不可见性,更重要的是可以大大提高数字水印的嵌入容量.由于迭代混合是在频域进行,同时是将整幅灰度图像嵌入到宿主图像中的,因此对水印图像进行置乱之后,对于一般的加噪或者剪切攻击,攻击位置被分散,使得水印图像能够较好地恢复,算法能够保持较好的鲁棒性.

对载体图像(如图 1(a))和欲添加的水印图像 W_1^* 进行一级离散小波分解,分别提取其频率系数;根据迭代混合将二者的频率系数进行如下运算

$$S = m \times C + (1 - m) \times W_1^*, \quad (5)$$

式中: m 为迭代混合因子,使得置乱后的水印图像迭代 3 次嵌入到载体图像中;迭代嵌入水印后对小波系数进行重构,进行小波逆变换,得到嵌入水印后的图像 CW_1 如图 2 所示.

2.3 第二重二值水印的嵌入

为了确保水印只能被合法的用户检测出,根据密钥 key 生成 2 个服从均匀分布且具有相关性很小的一维随机数序列 k_1, k_2 . 对原始灰度图像 C 按照 8×8 的大小进行分块,然后对每一块进行离散余弦变换得 DCT_I . 使用一个滤波矩阵修改每块的对角线元素系数. 其中 n 为嵌入强度,为正数. 当滤波矩阵元素为 1 时,

若水印元素为 $W_2^*(i, j) = 1$, 则修改

$$DCT_I = DCT_I + nk_1; \quad (6)$$

若 $W_2^*(i, j) = 0$, 则修改

$$DCT_I = DCT_I + nk_2. \quad (7)$$

然后对每一个 8×8 大小块做离散余弦逆变换得到嵌入水印的灰度图像 CW_2 (如图 2(b)).

2.4 第二重二值水印的提取

若 $\text{corr2}(k_1) > \text{corr2}(k_2)$, 则水印元素 $W_2^*(i, j) = 1$; 反之水印元素则 $W_2^*(i, j) = 0$. 对水印进行重构和逆置乱得到提取的二值水印图像.

2.5 第一重灰度图像水印的提取

灰度图像水印的提取是嵌入的逆过程,步骤如下: (1) 对原始图像 C 及含水印图像 CW_2 进行一级小波分解,分别提取其频率系数; (2) 根据迭代混合的逆运算计算出水印图像的频率系数并对图像进行小波逆变换,得到恢复的置乱水印图像 W_1^* . 对求出的水印图像依据置乱密钥进行逆置乱,最终得到提取的灰度水印图像.

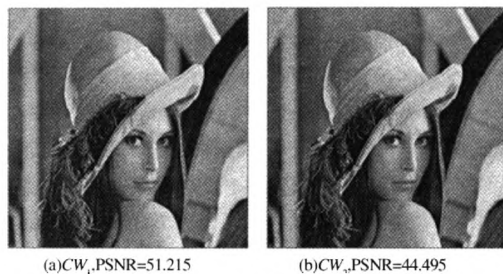


图 2 嵌入效果图

Fig. 2 The image of embedding effect

3 实验仿真

笔者以 8 位灰度图像 $Lena(256 \times 256)$ (如图

1(a))作为原始载体图像,选取 8 位灰度图像 *Ertong* (256 × 256) 一级 *Haar* 小波分解,迭代混合因子均为 $m = 0.8$,迭代次数为 3. 嵌入的二值水印是大小为 32 × 32 的二值图像,嵌入强度 $n = 5$. 对水印的嵌入、提取和攻击进行测试实验. 利用峰值信噪比 PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) 作为水印图像的客观评价标准,采用归一化相关系数 NC (Normalized Cross-Correlation) 作为提取水印与原始水印的相似性评价标准.

图像在使用和传输的过程中,经常会面临一些非恶意攻击,如图像在传送过程中的信道噪声、有损压缩、图像增强等;除此之外,也可能会受到一些恶意攻击,如图像剪切、涂改等操作. 为了验证笔者算法的鲁棒性,对嵌入水印后的图像进行一些常规的攻击,以进行鲁棒性评估. 笔者使用了 *Stirmark Version 4.0* 对含水印图像分别进行图像剪切和添加噪声等操作以后的实验结果.

实验发现,经笔者方法嵌入第一重水印图像后的 PSNR 为 51.215 dB,嵌入第二重的二值水印之后 PSNR 为 44.495 dB. 表 1 为攻击后的提取效果由图 1 可见含水印的图像保持了良好的图像质量. 对嵌入的水印进行提取时发现,水印的提取效果

均比较好,主观识别较清晰,NC 系数分别为 0.996 8 和 0.990 7. 从表 1 可以看出,在小波变换的基础上采用迭代混合算法嵌入的第一重水印具有较好的抗剪切和抗椒盐噪声能力. 这可能是因为嵌入的灰度图像水印信息量较大,而且灰度图像水印被置乱之后,信息也得到了有效的分散. 因此部分位置被攻击之后,水印图像也能得到较好的恢复.

DCT 变换也将图像信号从时域变换到了频域,*DCT* 变换是广泛使用的有损数字图像压缩系统的核心步骤之一,这主要是因为它具有较高的鲁棒性. 从笔者的仿真实验中也可以看出,该水印在经受一系列攻击之后仍然能够较为清晰地提取出水印. 而采用迭代混合技术的灰度图像水印承受压缩和中值滤波方面的攻击能力较差. 总体来说双重水印的嵌入,在没有降低图像质量的前提下,较大地提高了隐藏信息容量,并在一定程度上提高了水印的鲁棒性. 为了进一步证明本算法的优越性,参考了几种具有代表性的文献进行了对比,列在表 2 中. 从表中可以发现,相对于其他的几种水印算法,笔者的算法将大容量和鲁棒性结合到了一起. 由于笔者的第一重水印还不能实现盲提取,仍需继续进行深入研究.

表 1 攻击后提取效果
Tab.1 The extraction effect after attack







攻击方式	MEDIAN3	JPEG 压缩 15%	剪切 1//4	椒盐噪声 0.05	无攻击
第一重水印					
第二重水印					
第一重水印 NC	0.901 2	0.904 7	0.932 8	0.965 4	0.996 7
第二重水印 NC	0.935 8	0.955 6	0.926 7	0.937 2	0.990 8

表 2 与文献的水印特征比较
Tab.2 The comparison of watermarkings among different articles

水印类型	是否盲提取	鲁棒性	不可见性	宿主图像大小	嵌入容量	参考文献
单重水印	否	高	较好	512 × 512 × 8	100 × 100 × 8	[7]
单重水印	是	高	较好	512 × 512 × 8	32 × 32 × 8	[8]
二重水印	是	高	较好	256 × 256 × 8	32 × 32 × 2	[9]
二重水印	是	高	较好	256 × 256 × 8	256 × 256 × 8	本文

4 结论

提出了一种基于 *DCT* 域的二值水印和基于

DWT 域的灰度级图像双重数字水印算法,此算法的特点是结合了小波变换、*DCT* 变换和迭代混合技术. 使用迭代混合技术嵌入了相同大小的灰度

图像,使其嵌入容量大大提高.实验结果表明:该算法对 JPEG 压缩、剪切和噪声这几种常见的攻击方式都有较好的鲁棒性,并且能很好地满足数字水印系统的不可见性.笔者创新之处在于结合了 DWT 域和 DCT 域双重数字水印的优点,特别是利用迭代混合技术嵌入了同样大小的灰度图像,在不降低其透明性的情况下较大地提高了嵌入容量和鲁棒性.

参考文献:

- [1] LI Chang-sun. Digital watermarking schemes for multi-media authentication[J]. In: Digital watermarking for digitalmedia. J. Seitz Idea Group Publishing, 2005: 30 - 51.
- [2] LU Wei, SUN Wei, LU Hong-tow. Robust watermarking based on DWT and nonnegative matrix factorization [J]. Comput Electr Eng Elsevier Sci, 2009, 35(1): 183 - 88.
- [3] 路玲,孙新德. 基于图像字块 DCT 系数对的盲检测数字水印[J], 郑州大学学报:工学版, 2010, 31(2): 106 - 109.
- [4] 瞿治国,金聪. 一种稳健的可恢复双重数字水印技术[J]. 武汉大学学报:理学版, 2007, 53(3): 314 - 318.
- [5] 杨春风,张贵仓. 一种基于 DWT 的数字水印新算法[J]. 重庆科技学院学报:自然科学版, 2010, 12(1): 160 - 162.
- [6] 张贵仓,王让定,章毓晋. 基于迭代混合的数字图像隐藏技术[J]. 计算机学报, 2003, 26(5): 569 - 574.
- [7] 蒋华,张敏. 一种新的 LWT 和 SVD 的灰度图像水印[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(11): 104 - 106.
- [8] 高光勇,吴维勇. 基于小波分析的盲灰度水印算法[J]. 郑州大学学报:理学版, 2010, 42(2): 53 - 56.
- [9] 瞿治国,金聪. 一种稳健的可恢复双重数字水印技术[J]. 武汉大学学报:理学版, 2007, 53(3): 314 - 318.

Dual Robust Watermarking Based on Iterative Blending Technique

GENG Yun, ZHANG Gui-Cang

(Department of Mathematics and Information Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Watermarking embedded in transformation domain often possesses excellent robust performance but small embedding information volume. Dual digital watermarks were embedded in different transformation domains in order to improve the robust performance of the watermarking and embedding information volume. A binary watermarking was embedded in the DCT domain by exchanging the DCT coefficient while a gray level image was embedded in the DWT domain with iterative blending technique which is ready to enlarge the volume of watermarking information. It was shown that the algorithm could improve the robust performance when it was attacked with JPEG compression, cutting and adding some noises and the embedding information volume being enlarged.

Key words: dual digital watermarking; iterative blending; discrete cosine transformation; robust watermark; transform domain