

一种变换域的均匀量化盲图像水印算法*

杨帆, 范九伦

(西安邮电大学 通信与信息工程学院, 陕西 西安 710061)

摘要: 提出了一种基于均匀量化的盲提取图像水印算法。载体图像经过小波变换之后提取出其低频系数, 再对其进行分块 DCT 变换, 采用双极性量化的方法进行水印的嵌入。水印的提取不需要原图像, 且嵌入同一个水印可通过不同密钥分别提取出鲁棒水印和脆弱水印。仿真实验表明, 该算法可以有效地抵抗 JPEG 压缩、低通滤波、噪声和剪切等攻击, 具有较好的脆弱性和对攻击的鲁棒性。

关键词: 小波变换; 离散余弦变换; 双极性量化; 盲提取

中图分类号: TP309

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)23-0041-04

An uniform quantization blind image watermarking algorithm on transform domain

Yang Fan, Fan Jiulun

(School of Communication & Information Engineering, Xi'an University of Posts & Telecommunications, Xi'an 710061, China)

Abstract: An algorithm for blind image watermarking based on uniform quantization is proposed in this paper. Firstly, the paper performs wavelet transform to the carrier image and extracts the low-frequency coefficients, then the 2D watermarks was embedded into the block-DCT of the image with the method of bipolar quantization. In watermarking extracting process, it don't need original image when extracting watermark and can respectively extract the robust watermark and the fragile watermark by different keys in the condition of embedding the same watermark. Experimental results show that the algorithm can effectively resist the attack of JPEG compression, low-pass filtering, Gaussian noise, shear and so on, therefore, it has better fragility and robustness.

Key words: discrete wavelet transform; discrete cosine transform; bipolar quantization; blind extraction

近年来, 由于网络技术的迅速普及和发展, 在图像、视频、音频等形式的多媒体中传播的数字信息也越来越多, 随之引发了数字产品的安全问题, 例如媒体版权侵犯、非法篡改和盗版等^[1]。虽然传统密码学提出了一些加密算法可对数据安全进行保护, 但这类传统的方法并不能有效解决多媒体版权保护问题。数字水印技术就是为了有效保护数字信息安全而产生的一种技术^[2-4], 它是信息安全技术的一个方面。数字水印技术是将一些特制的信息嵌入到数字图像、音频、视频等数字载体中, 在嵌入过程中对载体造成的影响尽可能最小, 达到的鲁棒性尽可能最强, 而嵌入的水印信息在受到攻击后依然能被检测并且恢复出来。

数字图像水印一般有两种功能, 一种是为了进行版

权保护, 另一种是对有用信息进行隐藏。版权保护通过水印的脆弱性, 即在其受到攻击时可以立即检测出来, 以此来保证信息的完整。信息隐藏是依赖水印的鲁棒性来保证即使遭受攻击依然可以传递正确信息。现有的水印算法主要分为空间域和变换域两类。空间域(LSB)的不可见性比较好, 易于实现大量数据的信息隐藏。变换域的主要技术有 DFT、DCT 和 DWT, 其充分考虑了人类的视觉特性, 抗攻击力强, 具有较好的鲁棒性, 因此, 变换域的水印算法成为了当前图像水印研究的主流。在 DWT 域嵌入水印可以防止由于 JPEG-2000 有损压缩而造成的水印消除, 且利用小波多分辨率分析可更好地控制水印在载体图像中的分布, 有效解决了鲁棒性和可见性之间的矛盾。在 DCT 域的 AC 分量中, 嵌入水印可保证水印的不可见性, 有学者提出在

* 基金项目: 国家自然科学基金项目(61102095)

DC 分量中嵌入水印具有更好的鲁棒性^[5]。参考文献[6]首先提出了扩频水印技术,该算法指出水印应嵌入到对人类视觉系统比较敏感的 DCT 域低频系数上;参考文献[5]又提出在 DCT 域 DC 分量中嵌入水印鲁棒性更好;参考文献[7]提出了一种改进的 DCT 域自适应水印算法,这种算法相对于参考文献[6]与参考文献[5],有效地解决了低频与高频之间的矛盾,将水印信息嵌入到中频系数中,且自适应选择嵌入强度,提高了算法的抗攻击能力,但没有实现盲提取;参考文献[8]相对于参考文献[7],提出了一种基于 DCT 域最优均值量化的水印算法,实现了水印的盲提取,且该算法具有较好的鲁棒性。

本文结合 DWT 与 DCT 的优点,采用双极性量化^[9]的方法,提出了一种 DWT 与 DCT 相结合的盲水印算法。该算法首先对原载体图像进行小波变换,提取出其低频分量,对低频分量进行分块 DCT 处理之后,采用双极性均匀量化的策略将水印嵌入到处理后的 DCT 系数中;之后进行逆离散余弦变换,融合分块,再进行小波逆变换重组图像信息;提取水印时,按照功能的不同,采用不同密钥分别提取出鲁棒水印和脆弱水印。实验结果表明,与参考文献[8]相比,本文算法不仅实现了水印的盲提取,嵌入一个水印可通过不同密钥分别提取出鲁棒水印和脆弱水印,很好地实现了图像水印版权保护和信息隐藏的功能,且对 JPEG 压缩、滤波、噪声和剪切等多种攻击的鲁棒性更强。

1 水印图像预处理

1.1 Arnold 置乱

Arnold 变换^[10-11]是 ARNOLD V. J 在遍历理论的研究中提出的一种裁剪变换。对于一幅 $L \times L$ 大小的二值水印图像,用 $W=(x, y)$ 表示图像的信息,图像像素坐标 $x, y \in \{1, 2, \dots, L\}$, 经过 Arnold 置乱之后的坐标为 $W'=w(x', y')$ 。本文将基于像素点离散化的 Arnold 置乱定义为:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \bmod L \quad (1)$$

其中, $\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}$ 为变换矩阵。对二值水印通过式(1)进行置乱,其置乱次数 M 作为密钥,若 Arnold 置乱的周期为 m ,则 M 可通过对二值水印矩阵求和的方式提取出来:

$$M = \text{mod}(\text{sum}(\text{sum}(W)), m) \quad (2)$$

1.2 混沌加密

Logistic 混沌映射和 Tent 混沌映射是用于图像加密的两个常见的加密模型,根据 Logistic 混沌映射和 Tent 混沌映射之间的拓扑共轭关系,提出了一个全新的分段 Logistic 混沌映射^[12]。由于分段 Logistic 混沌映射产生的序列具有良好的随机性和初值敏感性,有效保证了

生成序列的安全性,因此本文采用分段 Logistic 混沌映射对置乱后的水印图像进行加密。

分段 Logistic 混沌映射具有非线性特性,其加密函数如下:

$$X_{n+1} = \begin{cases} 4 \times \mu \times X_n \times (0.5 - X_n), & 0 \leq X_n < 0.5 \\ 1 - 4 \times \mu \times (X_n - 0.5) \times (1 - X_n), & 0.5 \leq X_n < 1 \end{cases} \quad (3)$$

其中, $3.569\ 945\ 5 \leq \mu \leq 4, X \in (0, 1)$ 。本文取 $\mu=4$,初始状态 $X_0=0.235$ 。

本文采用分段 Logistic 混沌映射生成一维混沌序列 $\{X_k, k=1, 2, \dots\}$, 设 $\{Z_k, k=1, 2, \dots\}$ 为对此混沌序列进行混沌调制后生成的 0.1 序列,取调制阈值为 0.5,当 $X_k > 0.5$ 时, $Z_k=1$; $X_k \leq 0.5$ 时, $Z_k=0$ 。将置乱之后的水印矩阵进行降维生成二值水印序列 W'' , W'' 与 Z_k 进行异或生成加密后的水印序列 w' :

$$w' = W'' \oplus Z_k \quad (4)$$

2 水印嵌入

2.1 嵌入算法与步骤

水印嵌入算法框图如图 1 所示,具体步骤如下:

(1) 对原载体图像 A 进行二级小波变换,提取出其低频系数 $cA1, cA2$, 对 $cA2$ 进行 4×4 大小的分块,若图像大小为 $N \times N$, 则 $cA2$ 大小为 $\frac{N \times N}{4 \times 4}$, 共可分的块数为 $\frac{N \times N}{16 \times 16}$, 记为 h 。针对每一块分别作二维离散余弦变换。

(2) 所分的块数 h 对应水印序列 w' 中元素的个数,每一块中含有 p 个 DCT 系数,可记为 $C_j(i)$, 其中 $0 \leq j \leq h, 0 \leq i \leq p$ 。

(3) 对每一块中 p 个系数求和,得到含有 h 个值的系数矩阵 $E(j)$, 即:

$$E(j) = \sum_{i=0}^p C_j(i) \quad (0 \leq j \leq h, 0 \leq i \leq p)$$

系数矩阵按照水印序列 w' 的值进行双极性量化,量化之后的矩阵记为 $E_1(j)$ 。

(4) 量化之后矩阵 $E_1(j)$ 减去量化之前矩阵 $E(j)$, 得到差值矩阵 $E_2(j)$, 即:

$$E_2(j) = E_1(j) - E(j) \quad (0 \leq j \leq h)$$

(5) $E_2(j)$ 将中的元素依次平均分配到 $C_j(i)$, 得到新的含水印信息的分块 $C_j'(i)$, 即:

$$C_j'(i) = C_j(i) + E_2(j) / p \quad (0 \leq j \leq h, 0 \leq i \leq p)$$

(6) 对含水印的分块分别进行离散余弦逆变换 (IDCT), 对变换后的分块进行块融合, 得到含水印信息的小波低频系数 $cA21$, 对其再进行两次小波逆变换, 得到重构的含水印信息的图像。若图像的大小为 $N \times N'$, $N \neq N'$, 则所分块数由水印序列的元素个数而定, 分块时可取小波变换后低频系数的一部分, 其余部分不作处理。

《微型机与应用》2013 年第 32 卷第 23 期

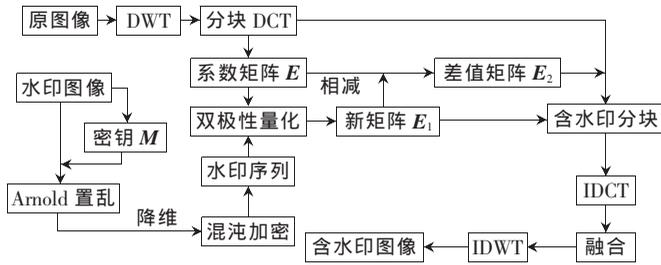


图1 水印嵌入算法框图

2.2 双极性量化

由于进行DCT变换后的系数可正可负，因此对系数矩阵 $E(j)$ 进行双极性量化。设需要量化的系数为 g ，量化后的系数为 g' ，量化步长为 Δ ， Δ 取值越小，水印的透明性越好； Δ 取值越大，水印鲁棒性越好，所以本文对 Δ 采取自适应算法。量化原理如图2所示。

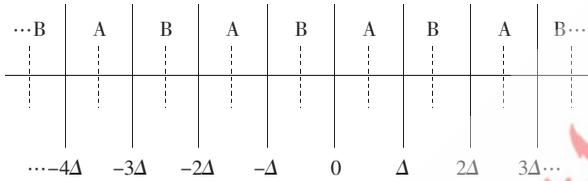


图2 双极性量化原理图

如图2所示，将坐标轴按步长 Δ 划分成A区间与B区间，A区间代表 $w'(i)$ 为0的水印序列值，B区间代表 $w'(i)$ 为1的水印序列值。采用下列方式对 $E(j)$ 中的系数进行量化。

(1) 当 $w'(i)$ 为0时，将 g 量化为A区间的1/2处的值；当 $w'(i)$ 为1时，将 g 量化为B区间1/2处的值。对 g 作取模运算和求余运算，即：

$$\begin{aligned} & \textcircled{1} g \geq 0 \text{ 时:} \\ & n = \text{floor}(g/\Delta) \\ & r = g - n \times \Delta \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & \textcircled{2} g < 0 \text{ 时:} \\ & n = -\text{floor}(\text{abs}(g/\Delta)) \\ & r = g - n \times \Delta \end{aligned} \quad (6)$$

其中， n 为模值， r 为余数。

(2) 根据待嵌入水印序列 $w'(i)$ 对系数 g 进行量化处理，处理算法如下：

$$\begin{aligned} & \textcircled{1} g \geq 0 \text{ 时:} \\ & w'(i) = 0 \\ & g' = \begin{cases} n\Delta + 0.5\Delta, & n = 2k \\ (n-1)\Delta + 0.5\Delta, & n = 2k+1, |r| < 0.5\Delta \\ (n+1)\Delta + 0.5\Delta, & n = 2k+1, |r| > 0.5\Delta \end{cases} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & w'(i) = 1 \\ & g' = \begin{cases} n\Delta + 0.5\Delta, & n = 2k+1 \\ (n-1)\Delta + 0.5\Delta, & n = 2k, |r| < 0.5\Delta \\ (n+1)\Delta + 0.5\Delta, & n = 2k, |r| > 0.5\Delta \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

$\textcircled{2} g < 0$ 时：

$$\begin{aligned} & w'(i) = 0 \\ & g' = \begin{cases} n\Delta - 0.5\Delta, & n = -(2k+1) \\ (n+1)\Delta - 0.5\Delta, & n = -2k, |r| < 0.5\Delta \\ (n-1)\Delta - 0.5\Delta, & n = -2k, |r| > 0.5\Delta \end{cases} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} & w'(i) = 1 \\ & g' = \begin{cases} n\Delta - 0.5\Delta, & n = -2k \\ (n+1)\Delta - 0.5\Delta, & n = -(2k+1), |r| < 0.5\Delta \\ (n-1)\Delta - 0.5\Delta, & n = -(2k+1), |r| > 0.5\Delta \end{cases} \end{aligned} \quad (10)$$

通过上述算法对矩阵 E 进行量化之后，将水印信息嵌入其中，由量化处理造成最大误差为 Δ 。基于对系数进行量化的方法嵌入水印是对系数 g 进行适当修改，以达到嵌入二值水印信息的目的。

3 水印提取

水印提取的具体步骤如下。

(1) 对已嵌入水印的载体图像进行相应小波变换，取两次变换后的低频系数进行分块DCT处理；

(2) 分成 h 块，每块含 p 个DCT系数，每块系数分别求和，得到重组系数矩 $E'(j)$ ， $(0 \leq j \leq h)$ ；

(3) 判断 $E'(j)$ 中元素属于那个区间：

$$W_1(i) = \begin{cases} 0 & E'(j) \in A \\ 1 & E'(j) \in B \end{cases}$$

(4) 对提取的水印序列进行混沌解密，得到的二值序列为 W_2 ，并对其升维；

(5) 对升维后二值图像进行Arnold置乱还原，得到水印图像。

3.1 鲁棒水印的提取

鲁棒水印提取框图如图3所示。

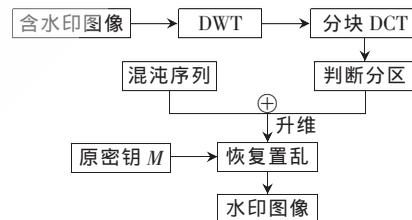


图3 鲁棒水印提取框图

鲁棒水印可通过特征值 M 提取出来，其采用的算法为：

$$M = \text{mod}(\text{sum}(\text{sum}(W)), m) \quad (11)$$

这种水印的提取方案保证了在水印受到攻击（如JPEG压缩、高斯噪声、低通滤波及剪切等攻击）后，提取出来的水印依然清晰可辨，具有较好的鲁棒性。

3.2 脆弱水印的提取

脆弱水印提取框图如图4所示。

脆弱水印可通过特征值提取出来，采用的算法为：

$$K = \text{mod}(\text{sum}(W_2), m) \quad (12)$$

此种提取方案能快速有效检验水印是否受到攻击。若原始密钥 M 与特征值 K 一致，则可判断水印未受到攻击。

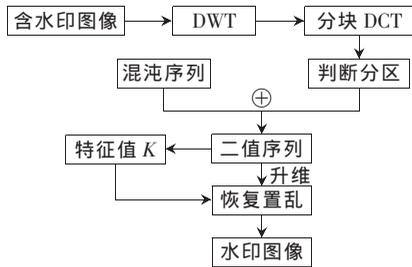


图4 脆弱水印提取框图

攻击;若 M 与 K 值不相同,则可判定水印受到攻击。

4 实验仿真与分析

本文采用大小为 512×512 的 lena 灰度图像作为载体图像,采用大小为 32×32 ,内容为“西邮通工”的二值图像作为水印图像进行嵌入。

(1) 图5为嵌入水印前载体图像与嵌入水印后图像,它们之间的峰值信噪比 $PSNR=43.192$ dB,从人眼视觉上比较,这两幅图像几乎没有失真。

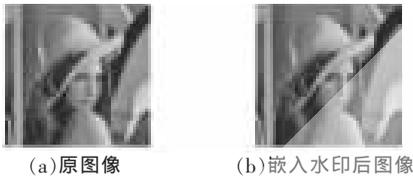


图5 原图像与含水印图像

(2) 对含水印图像进行攻击测试,提取鲁棒水印。攻击后提取出的水印与原图及未受攻击时提取出水印的对比如图6所示。

①对含水印图像加方差为 0.001 的高斯噪声,提取的鲁棒水印。其峰值信噪比 $PSNR=29.839$ dB,相似度 $NC=0.998$,表明提出的水印算法对高斯噪声有较好的鲁棒性。

②对含水印图像进行质量因子为 70 的 JPEG 压缩后, $PSNR=36.832$ dB, $NC=1$,表明此水印算法对 JPEG 压缩具有很好的鲁棒性。

③对嵌入水印图像进行低通滤波后,提取出的水印依然清晰可辨,其 $PSNR=40.105$ dB, $NC=0.999$,实验表明本算法对低通滤波攻击也具有很好的鲁棒性。

④对含水印图像进行中间 1/4 剪切攻击,提取出水印的峰值信噪比 $PSNR=35.459$ dB, $NC=0.910$,表明本文提出的算法对剪切攻击具有较好的鲁棒性。



图6 原图与未受攻击及受攻击提取的水印图像

本文算法与参考言文献[8]算法在各种攻击下的性能比较如表1所示。

表1 本文算法与参考文献[8]算法在各种攻击下的性能比较

攻击类型	高斯噪声	剪切	低通滤波	JPEG 压缩
攻击参数	0.01	中间 1/4	0.5	Q=70
参考文献[8]算法	PSNR/dB 29.522	42.509	40.069	36.698
	NC 0.994	0.884	0.959	0.861
本文算法	PSNR/dB 29.839	35.459	40.105	36.832
	NC 0.998	0.910	0.999	1

以上实验结果表明,与参考文献[8]相比,本文算法计算出的未受攻击的图像 $PSNR$ 值与参考文献[8]基本相同,在受到高斯噪声、低通滤波以及 JPEG 压缩攻击时,本文算法的 $PSNR$ 值略高于参考文献[8]算法,而所有 NC 值均高于参考文献[8]算法,表明本文算法的整体抗攻击性更好,对高斯噪声、剪切、JPEG 压缩和低通滤波等攻击的鲁棒性更强。

(3) 提取脆弱水印

图7为对水印加攻击后提取的脆弱水印,实验表明本文算法对高斯噪声、JPEG 压缩、低通滤波及剪切等几种常见的攻击具有较好的脆弱性,能有效地保护版权,使其在受到攻击时可立即检测出来,保证信息的完整。

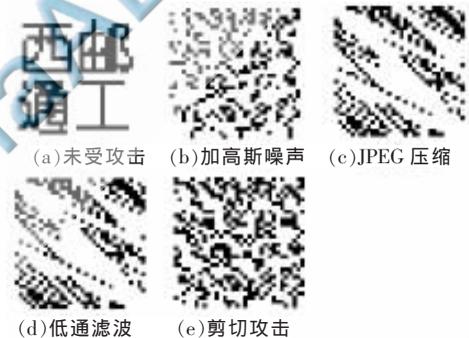


图7 加攻击后提取的脆弱水印

为了更好地进行版权保护,保证水印信息的隐秘与完整性,本文提出了一种基于均匀量化的盲图像水印算法。采用分段 Logistic 混沌映射对置乱后图像进行加密,有效增强了水印图像的安全性。在对载体图像进行 DWT 与分块 DCT 变换之后,采用双极性量化的策略对提取出的系数进行处理,并嵌入水印信息。

为使水印信息对各种攻击具有较好的鲁棒性,在受到攻击后可立即被检测出来,又提出了嵌入一个水印,可分别提取出鲁棒水印和脆弱水印的算法。实验仿真表明,本文的算法既能有效抵抗各种攻击,又能在受到攻击时具有较好的脆弱性,具备了更好的版权保护及信息隐藏能力。

参考文献

- [1] CHANMIN P, SEUNGHYUN K, TAEHYUNG W. Multi-media Copyright Protection on the Web—issues and suggestions[C]. 2012 IEEE International Symposium on Multimedia(ISM). IEEE Conference Publication, 2012:274-277.
- [2] 赵春晖,刘巍.基于压缩感知的交互支持双水印算法[J].电子学报,2012,40(4):681-687.
- [3] Jiang Xuehua. Digital watermarking and its application in image copyright protection[C]. 2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), 2010:114-117.
- [4] RAO N N, THRIMURTHY P, BABU B R.An efficient copyright protection scheme for digital images using biometrics and watermarking[C]. ICCSIT 2009, 2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology, 2009:69-74.
- [5] 黄继武,SHI Y Q,程卫东.DCT域图像水印:嵌入对策和算法[J].电子学报,2000,28(4):57-60.
- [6] COX I J, KILLIAN J, LEIGHTON T, et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia [J]. IEEE Transactions on Image Processing,1997,6(12):1673-1687.
- [7] 闫丽君,康宝生,岳晓菊.改进的基于 DCT 的自适应水印算法[J].计算机工程与应用,2011,47(8):197-200.
- [8] 邱丽红,张丽艳.一种 DCT 域的最优均值量化盲图像水印算法[J].计算机应用研究,2013,30(2):497-499.
- [9] 陆佰林,朱艳琴.基于小波变化的双水印算法[J].微电子学与计算机,2007,24(8):31-34.
- [10] 陈萍,张飞.基于 Arnold 置乱和小波变换的图像加密算法[J].微电子学与计算机,2009,26(10):197-199.
- [11] BAISA L, GUNJAL,SURESH N MALL Secured color image watermarking technique in DWT-DCT domain[J]. International Journal of Computer Science,Engineering and Information Technology (IJCSIEIT),2011,1(3):38-39.
- [12] 范九伦,张雪峰.分段 Logistic 混沌映射及其性能分析[J].电子学报,2009,34(12):720-725.

(收稿日期:2013-09-14)

作者简介:

杨帆,女,1991年生,硕士研究生,主要研究方向:信息安全。

范九伦,男,1964年生,教授,博士生导师,CCF高级会员,主要研究方向:模式识别,信息安全。