

基于量化和关系的图像水印算法

熊祥光

(贵州师范大学 数学与计算机科学学院, 贵州 贵阳 550001)

摘 要: 提出了一种基于量化和关系的奇异值分解水印算法. 算法先对载体图像进行互不重叠的 8×8 分块; 其次对选取的分块进行 1 级离散小波变换和分别对生成的低频子带和高频子带进行奇异值分解; 最后对低频和高频子带奇异值分解后的最大奇异值分别采用量化和关系的嵌入方法嵌入预处理后的水印. 实验表明, 该算法具有较好的透明性和鲁棒性. 与其他算法相比, 对于大多数的攻击, 该算法具有更好的性能.

关键词: 图像水印; 奇异值分解; 离散小波变换; 关系; 量化

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)09-0071-04

Image Watermarking Algorithm Based on Quantization and Relationship

XIONG Xiang-guang

(School of Mathematics and Computer Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

Abstract: A novel watermarking algorithm based on quantization and relationship in singular value decomposition domain is proposed. Firstly, cover image is subdivided to non-overlapping blocks of size 8×8 . Secondly, perform 1-level discrete wavelet transform for each selected blocks, and do singular value decomposition on the low and high frequency sub-band, respectively. Finally, the biggest singular value of low and high frequency sub-band are modified by exploiting quantification and relationship method to embed preprocessed watermarking image, respectively. Experimental results show that the proposed algorithm has good transparency and robustness. Compared with other algorithms, it has better performance for most attacks.

Key words: image watermarking; singular value decomposition (SVD); discrete wavelet transform (DWT); relationships; quantization

1 引言

数字水印技术因其在数字多媒体版权保护和认证等方面的应用价值, 已成为研究热点. 从嵌入方法来看, 水印技术可分为空域水印技术和变换域水印技术. 空域水印技术具有较低的复杂度, 但抵抗攻击的能力较弱. 变换域水印技术具有较高的复杂度, 但具有较强的鲁棒性. 因此, 目前的数字水印一般属于变换域水印技术. 由于奇异值分解后的奇异值具有很好的稳定性. 文献[1]数学背景清晰, 而算法又具有较强的鲁棒性, 具有一定的应用价值. 后来许多国内外学者, 提出了一系列基于奇异值分解的水印技

术^[2-12]. 文献[12-13]理论分析和实验证实了该类算法是存在致命缺陷的, 利用文献[1]水印提取算法, 可从未嵌入任何水印的载体图像中提取出高度相关的水印信号, 使提取的水印不具备真实性. 鉴于此, 文中提出一种基于量化和关系的混合 DWT 和 SVD 域图像水印算法.

2 提出的水印方案

2.1 人眼视觉系统的掩蔽特性

根据人眼视觉系统的掩蔽特性, 纹理越复杂或亮度越亮, 该门限值就越高, 允许嵌入的水印强度就越大. 实验中, 对于纹理特征的估计, 选取每一分块

$Block(x, y)$ 的熵值 $E(x, y)$ 作为此分块纹理特征的近似估计, 并将其归一化到区间 $[a, b]$ 上, 即

$$E'(x, y) = \frac{(b-a)(E(x, y) - \min(E))}{\max(E) - \min(E)} + a \quad (1)$$

其中, a 和 b 为预定义的阈值, 一般 $[a, b] \in [1, 8]$, 也可根据载体的特征取其他的值. 对于亮度特征的估计, 设分块 $Block(x, y)$ 的均值为 $Ave(x, y)$, 不同亮度对噪声的掩蔽因子为 $L(x, y)$, 对比灵敏度最大值为 λ , 则 $L(x, y)$ 可用式(2)表示如下^[14]:

$$L(x, y) = \begin{cases} \frac{[(\lambda - 0.02)(Ave(x, y) - I_1)^2]}{I_1^2 + 0.02} & \text{if } Ave(x, y) < I_1 \\ 0.02, & \text{if } I_1 \leq Ave(x, y) < I_2 \\ \frac{[(\lambda - 0.02)(Ave(x, y) - I_2)^2]}{(255 - I_2)^2 + 0.02} & \text{if } Ave(x, y) \geq I_2 \end{cases} \quad (2)$$

其中, I_1 和 I_2 为预定义的阈值. 实验中 I_1 和 I_2 可根据载体图像的特征来选取, 一般设置为 80 和 160. 因此, 分块 $Block(x, y)$ 经小波分解后各细节子带的视觉掩蔽阈值可表示为: $Q(x, y) = V'(x, y)L(x, y)$. 为使嵌入的水印更加自适应于载体图像, 对 $Q(x, y)$ 进行归一化处理, 即

$$Q'(x, y) = \frac{(d-c)(Q(x, y) - \min(Q))}{\max(Q) - \min(Q)} + c \quad (3)$$

其中, a 和 b 为预定义的阈值, 影响水印的透明性和鲁棒性, 可根据载体图像的特性来选取.

2.2 水印嵌入算法

(1) 为提高水印的安全性和抗剪切攻击的能力, 先用密钥 k_1 (混沌映射的初始值) 生成与水印同大小的二值混沌矩阵 (由混沌序列生成) 对水印信号进行异或加密, 然后用密钥 k_2 (Arnold 变换的迭代次数) 将加密后的水印信号进行 Arnold 空间置乱得到预嵌入的水印图像.

(2) 对载体图像进行互不重叠的 8×8 分块, 每次不重复地随机选取 2 分块嵌入水印, 直到水印嵌入完毕为止. 随机选取分块的序号需保存, 以便能正确地提取水印.

(3) 对每次选取的 2 分块进行 1 级离散小波变换, 生成 LL_1, LH_1, HL_1, HH_1 和 LL_2, LH_2, HL_2, HH_2 共 8 个子带.

(4) 对高频子带 HH_1 和 HH_2 进行奇异值分解.

$$HH_r = U_r S_r V_r^T, \quad r \in \{1, 2\} \quad (4)$$

(5) 计算高频子带 HH_1 和 HH_2 奇异值分解后的奇异值之和的差.

$$dif = \text{sum}(\text{diag}(S_1)) - \text{sum}(\text{diag}(S_2)) \quad (5)$$

其中, $\text{diag}(\cdot)$ 表示提取奇异值矩阵的主对角线上的元素, $\text{sum}(\cdot)$ 表示求和函数.

(6) 设 $W(k)$ 表示第 k 位的水印信号, $\mu = (Q'_1 + Q'_2)/2$, $\lambda_r = S_r(1, 1)/\text{sum}(\text{diag}(S_r))$, $r \in \{1, 2\}$, 按如下规则嵌入水印:

$$\begin{aligned} & \text{if } W(k) = 1 \\ & \text{if } dif \leq \mu \\ & \begin{cases} S'_1(1, 1) = S_1(1, 1) + \lambda_1(\mu - dif)/2 \\ S'_2(1, 1) = S_2(1, 1) - \lambda_2(\mu - dif)/2 \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

end

else

$$\begin{aligned} & \text{if } (-dif) \leq \mu \\ & \begin{cases} S'_1(1, 1) = S_1(1, 1) - \lambda_1(\mu - dif)/2 \\ S'_2(1, 1) = S_2(1, 1) + \lambda_2(\mu - dif)/2 \end{cases} \end{aligned} \quad (7)$$

end

end

(7) 将修改后的奇异值替换原来的奇异值并进行逆奇异值分解, 得到嵌入水印后的高频子带 HH'_r .

(8) 对每次选取的 2 分块的第 1 分块离散小波变换后的低频子带 LL_1 进行奇异值分解.

$$LL_1 = U_3 S_3 V_3 \quad (8)$$

(9) 采用量化的嵌入策略按下式再嵌入水印, 即在低频子带再嵌入一个完整的水印信号.

$$\begin{aligned} & S'_3(1, 1) = \\ & \begin{cases} (S_3(1, 1) + Q/4) - \text{mod}((S_3(1, 1) - Q/4), Q) + Q/4 \\ \text{if } W(k) = 1 \\ (S_3(1, 1) + Q/4) - \text{mod}((S_3(1, 1) - 3 * Q/4), Q) + Q/4 \\ \text{if } W(k) = 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (9)$$

其中, $S_3(1, 1), S'_3(1, 1)$ 分别表示未嵌入水印前和嵌入水印后的最大奇异值, Q 是水印嵌入强度, $\text{mod}(\cdot)$ 是求余数运算, $W(k)$ 表示第 k 位的水印信号.

(10) 将修改后的奇异值替换原来的奇异值并进行逆奇异值分解, 得到嵌入水印后的低频子带 LL'_1 .

(11) 对修改后的低频子带 LL'_r , 高频子带 HH'_r, LH_r 和 HL_r 进行 1 级逆离散小波变换, 得到嵌入水印信号后的 2 分块.

(12) 把嵌入水印后的 2 分块放回原来的位置, 得到嵌入水印的图像.

2.3 水印提取算法

(1)对含水印图像进行互不重叠的 8×8 分块,根据嵌入时的密钥,每次选取 2 分块进行 1 级离散小波变换,生成 $LL_1^*, LH_1^*, HL_1^*, HH_1^*$ 和 $LL_2^*, LH_2^*, HL_2^*, HH_2^*$ 共 8 个子带.

(2)对高频子带 HH_1^* 和 HH_2^* 进行奇异值分解.

$$HH_r^* = U_r^* S_r^* V_r^{*T}, \quad r \in \{1, 2\}$$
 (10)

(3)按式(11)提取第 1 个水印,即

$$W_1^*(k) = \begin{cases} 1 & \text{if } S_1^* \geq S_2^* \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$
 (11)

(4)对低频子带 LL_1^* 进行奇异值分解.

$$LL_1^* = U_1^* S_1^* V_1^{*T}$$
 (12)

(5)按式(13)提取第 2 个水印,即

$$W_2^*(k) = \begin{cases} 1 & \text{if } \text{mod}(S_1^*(1,1), Q) \geq Q/2 \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$
 (13)

(6)对提取的 W_1^*, W_2^* 分别用密钥 k_2 逆 Arnold 置乱和密钥 k_1 混沌解密,得到提取的水印图像 W_1, W_2 .

(7)分别采用式(14)计算 W_1, W_2 与原始水印的相似性,选取相似值较高的作为最终提取的水印图像.归一化互相关(Normalize Correlation, NC)的定义如下:

$$NC = \frac{\sum \sum (W' \oplus \bar{W})}{(P \times Q)}$$
 (14)

其中, P, Q 表示水印图像的长和宽, W' 表示提取的水印图像, $\bar{W}$ 表示原始水印的逻辑非运算.

3 实验结果与分析

3.1 透明性实验验证

以 Matlab 7.5 为实验平台,以大小为 512×512 的标准 Lena、Baboon、Peppers 和 Airplane 灰度图像作为载体图像.水印采用大小为 32×32 标识“贵州师大”的二值图像,当水印图像未受到任何的攻击时,能完整地提取嵌入的水印信号.

为了能客观地验证算法的透明性,采用峰值信噪比(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR)来客观评价嵌入水印后图像的质量,相应的 PSNR 值如表 1 所示.从表 1 可以看出,含水印图像满足水印透明性的基本要求.

表 1 透明性测试结果

载体图像	Lena	Baboon	Peppers	Airplane
PSNR	42.1576	41.1939	42.0297	42.0546

3.2 鲁棒性实验验证

对含水印的 4 幅图像分别进行滤波、噪声、压缩和调整对比度等多种攻击测试,算法都具有较好的鲁棒性,部分实验结果如表 2 所示(表 2 中的 NC 值是提取的 2 个水印与原始水印的 NC 值的最大值,下同).为进一步验证提出算法的性能,以 Lena 图像为例,将提出的算法与文献[4,5]中的算法进行比较.从表 3 可以看出,与文献[4]和文献[5]的算法相比,对于常见的攻击,如滤波、噪声、剪切和 JPEG 压缩等攻击,三种算法都表现出较好的鲁棒性能,但对于直方图均衡攻击,文献[4,5]算法几乎没有抵抗该攻击的能力,而提出的算法能抵抗直方图均衡攻击.

表 2 部分鲁棒性实验结果

攻击类型	中值滤波	维纳滤波	钠盐噪声	乘性噪声	1/4中心剪切	左上角1/4剪切	JPEG压缩	直方图均衡
PSNR	34.3037	36.1757	25.3658	25.5508	11.2810	11.4150	33.8808	19.1282
NC	0.9727	1.0000	0.8477	0.8555	0.8984	0.8809	1.0000	0.9248
提取的水印								

图 1 粒子滤波跟踪算法框架图

表 3 与其他算法的比较

	中值滤波	维纳滤波	钠盐噪声	乘性噪声	1/4 中心剪切	左上角 1/4 剪切	JPEG 压缩	直方图均衡
文中算法	0.9775	1.0000	0.8301	0.8789	0.8701	0.8809	1.0000	0.9160
文献[4]	0.9248	1.0000	0.7891	0.8750	0.8942	0.8750	0.9904	0.5192
文献[5]	0.9766	1.0000	0.8750	0.9199	0.8789	0.8799	0.9980	0.4824

为进一步验证三种算法抵抗对比度攻击的能力,对分别采用三种算法嵌入水印后的图像分别采用 Matlab 自带的 imadjust 函数进行测试,相应的

参量和实验结果如表 4 所示(表 4 中的 {a,b,c,d} 分别表示 imadjust 函数的四个参数:low_in, high_in, low_out, high_out, gamma 采用默认值).从表 4 可

以看出,文中算法具有抵抗对比度攻击的能力,而文献[4]和文献[5]算法提取的水印与原始水印的相似值都较小,抵抗对比度攻击的能力较弱.通过实验发现,基于量化的嵌入方法对常见的攻击如滤波,噪

声,压缩等攻击性能优于基于关系的嵌入方法,而基于关系的嵌入方法抗直方图均衡和调整对比度攻击明显优于基于量化的嵌入方法.

表 4 抗对比度攻击测试对比结果

imadjust 函数的参数				本文算法		文献[4]		文献[5]	
a	b	c	d	NC	PSNR	NC	PSNR	NC	PSNR
0	1	0.1	0.9	0.9512	27.1825	0.5288	27.1815	0.5088	27.1308
0	1	0.2	0.8	0.9502	20.2498	0.4519	20.1685	0.5234	20.1960
0	1	0.3	0.7	0.9492	15.6746	0.4904	15.7179	0.4971	15.5896
0	1	0.4	0.6	0.9490	11.8955	0.5385	11.9487	0.4170	11.8436
0.1	0.9	0	1	0.9512	26.3945	0.5288	26.4533	0.5352	26.3043
0.2	0.8	0	1	0.8945	18.7962	0.4519	18.7833	0.4873	18.7663
0.3	0.7	0	1	0.7783	14.9249	0.5096	14.8952	0.5068	14.9182
0.4	0.6	0	1	0.5986	11.3604	0.5288	11.3162	0.4824	11.3609

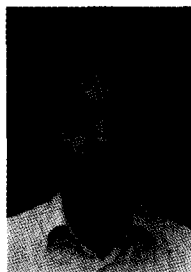
4 结束语

文中提出了一种基于量化和关系的图像水印算法.该算法首先根据密钥对二值水印图像进行预处理,增强了算法的安全性和抗剪切攻击的能力.其次对载体图像进行互不重叠的分块,每次不重复地选取 2 分块进行离散小波变换,并分别对低频和高频子带进行奇异值分解.最后对于低频子带,采用量化奇异值矩阵主对角线上的第一个元素嵌入水印,而对于高频子带,采用关系的嵌入方法,并依据人类视觉系统的掩蔽特性对水印嵌入强度进行自适应调节.实验表明,文中算法具有良好的透明性和抵抗多种抗攻击的能力.

参考文献:

- [1] Liu R, Tan T. An SVD-based watermarking scheme for protecting rightful ownership [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2002, 4(1): 121-128.
- [2] Song Jianhua, Song Jianwei, Bao Yuhua. A blind digital watermark method based on SVD and chaos [J]. Procedia Engineering, 2012(29): 285-289.
- [3] Shieh J M, Lou D C, Chang M C. A semi-blind digital watermarking scheme based on singular value decomposition [J]. Computer Standards and Interfaces, 2006 (28): 428-440.
- [4] 谢劭, 谢建全. 一种基于奇异值分解的改进图像水印算法[J]. 计算机工程与科学, 2007, 29(11): 40-43.
- [5] Bao P, Ma Xiaohu. Image adaptive watermarking using wavelet domain singular value decomposition [J]. IEEE Transactions on circuits and systems for video technology, 2005, 15(1): 96-102.
- [6] 任小康, 范丽, 白勇峰, 等. 一种基于 DWT-SVD 的彩色图像水印嵌入方法[J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(1): 113-115.
- [7] 余香敏, 焦占亚. 一种基于 DWT 与 SVD 的数字图像水印算法[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(10): 199-202.
- [8] 刘俊景, 蒋华. 一种基于离散余弦变换与奇异值分解的数字图像水印算法[J]. 微电子学与计算机, 2007, 24(10): 111-115.
- [9] 夏菽兰, 王吉林, 赵力. 基于 SVD 分解的小波数字水印算法的研究[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(6): 128-131.
- [10] Bhatnagar G, Raman B. A new robust reference watermarking scheme bases on DWT-SVD[J]. Computer Standards & Interfaces, 2009(31): 1002-1013.
- [11] Rastegar S, Namazi F, Yaghmaie K, et al. Hybrid watermarking algorithm based on singular value decomposition and Radon transform[J]. Int J Electron Commun, 2011, 65(7): 658-663.
- [12] 蒋天发, 熊祥光, 蒋巍. 一类 SVD 域水印问题分析及改进算法[J]. 计算机科学, 2011, 38(10A): 62-65.
- [13] Zhang Xiaoping, Li Kan. Comment on 'an SVD-based watermarking scheme for protecting rightful ownership' [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2005, 7(2): 593-594.
- [14] 李智, 陈孝威. 基于内容自适应波域鲁棒公开数字水印算法[J]. 计算机应用, 2005, 25(9): 2148-2150.

作者简介:



熊祥光 男, (1984—), 硕士, 讲师. 研究方向为网络信息安全和数字水印.