

基于 SVD 的灰度水印单色通道嵌入算法

赵丕锡^{1), 3)} 王 巍¹⁾ 王成喜²⁾

¹⁾ (大连民族学院计算机学院, 大连 116600) ²⁾ (北华大学计算机科学学院, 吉林市 132021)

³⁾ (大连理工大学电信学院, 大连 116023)

摘 要 为了更有效地进行多媒体数据的版权保护, 提出了一种在真彩色宿主图像中利用奇异值分解实现的灰度水印嵌入的鲁棒算法。该算法首先利用奇异值的特征来对灰度水印图像进行编码预处理, 编码后的水印信息存储为二值数字序列, 并选择视觉掩蔽性高的宿主图像区域进行隐藏。为了保证水印的不可察觉性, 该水印算法先提取宿主图像 RGB 彩色空间中的蓝色通道分量, 然后选择其中具有高活动因子的图像分块作为水印的嵌入区域。用该算法对灰度水印图像进行处理, 不仅实现了水印的盲提取, 而且在保证隐藏灰度水印大容量生动信息的同时, 对宿主图像的视觉效果影响很小。实验结果表明, 该水印算法不仅较传统方法有更高的鲁棒性, 而且灰度水印图像的提取结果受常见的图像处理攻击操作的影响非常小。

关键词 奇异值分解 蓝色通道 相似系数

中图法分类号: TP309 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2008)01-0029-05

A Gray-level Watermarking Algorithm in Single Channel Based on SVD

ZHAO Pixi^{1), 3)}, WANG Wei¹⁾, WANG Cheng-xi²⁾

¹⁾ (Computer School, Dalian Nationalities University, Dalian 116600) ²⁾ (Computer School, Beihua University, Jilin 132021)

³⁾ (School of Electric & Information Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023)

Abstract In order to effectively protect the copyright of multimedia data, a novel digital color watermarking algorithm based on singular value decomposition was presented in this paper. The watermark used in the algorithm is 8 bits gray-level image which is used extensively in these days and includes more information than the binary image watermark. The scheme first encodes the gray-level watermark into the binary-value bit sequence using the singular value decomposition, and then embeds the encoded watermark into the region with high visual masking effect. In order to access the aim of the watermark's imperceptibility, a method which extracts the blue channel in RGB color space of the host image is adopted. The application of watermark encoding scheme makes our method achieve the goal of watermark blind-extraction and large quantity of vivid information's hiding. Simulation results show that the proposed method is more robust than traditional methods. The watermarks extracted from the host image after different kinds of attacks that usually encountered in the course of image processing and transmission are still clear and their visual information are nearly lossless.

Keywords singular value decomposition(SVD), blue channel similarity(SM)

1 引 言

数字水印技术就是将数字、序列号、图像标志等版权信息嵌入到多媒体数据中的一种技术, 多用来

跟踪多媒体数据的发布与使用。而数字水印的特殊应用则要求嵌入的水印信息具备不可察觉性、鲁棒性、安全性等 3 个要求。

近年来数字水印技术在灰度宿主图像中的应用已经得到广泛和深入的研究, 多数灰度宿主图像的

收稿日期: 2006-04-20 改回日期: 2006-09-10

第一作者简介: 赵丕锡(1963~), 男, 教授, 博士生。主要研究方向为多媒体信息系统。E-mail: pixizhao@yahoo.com.cn

水印算法是将二值图像水印或随机生成的水印序列隐藏到宿主图像中。文献 [1] 和 [2] 分别在空域及频率域实现了二值水印的嵌入, 而文献 [3] 则将选取的二值图像水印的重要部分嵌入到灰度宿主图像中。随着网络的逐步普及, 彩色图像和视频等多媒体信息的应用越来越多, 因此数字水印技术在彩色图像中的应用成了亟待解决的问题。目前已经存在一些针对彩色图像的数字水印嵌入算法。Yu Pao-

Ta 等人提出了利用神经网络进行彩色图像水印嵌入的算法^[4], Tsai Piyu 等人利用彩色调色板实现了二值图像水印的隐藏^[5]。由于灰度图像可以代表更多生动和直观的版权信息, 故本文提出一种新的彩色图像数字水印算法, 该算法利用奇异值分解 (singular value decomposition, SVD) 技术将灰度图像水印嵌入到宿主彩色图像中, 该算法的框图如图 1 所示。

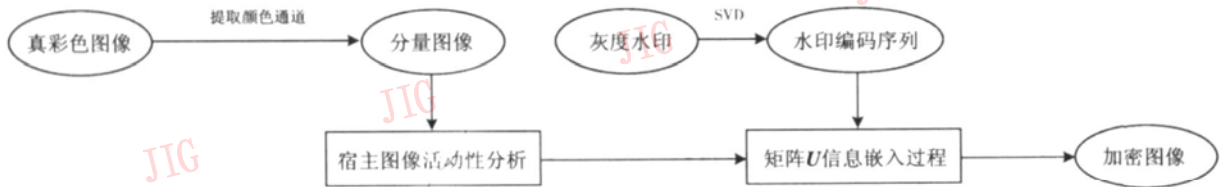


图 1 水印嵌入算法框图

Fig 1 The flow chart of the watermarking algorithm

2 预处理

2.1 宿主图像预处理

彩色图像有不同的彩色空间, 本文利用图像 RGB 空间的特性, 选择其中的蓝色通道图像来嵌入水印。因为人类视觉系统对蓝色最不敏感, 而且各个分量的信息冗余可以在修改蓝色通道的同时, 保证宿主图像的质量。根据人类视觉系统的特点, 本文采用结合奇异值 (singular value) 和方差 (variance) 特征处理宿主图像的方法 (singular value and variance, SVV) 对提取出来的颜色分量进行预处理。算法如下:

(1) 提取原始宿主彩色图像的 3 个颜色分量 R, G, B ;

(2) 选择其中的蓝色通道分量图像在空域中进行分块, 分块大小为 8×8

(3) 计算所有图像块的方差, 并升序排序;

(4) 对每一图像分块进行 SVD 变换, 同时利用式 (1) 计算 E , 即矩阵 S 中最大两个奇异值的比值,

$[U \ S \ M] = SVD(W)$, $E = S(1, 1) / S(2, 2)$ (1)
其中, W 代表图像子块矩阵, SVD 代表奇异值分解操作, $U \ S \ M$ 代表奇异值分解后得到的矩阵, $S(1, 1)$ 和 $S(2, 2)$ 代表的是对角矩阵 S 中两个最大的奇异值;

(5) 计算图像分块的块方差最大值, 记为 V_{max} , E 的最大值记为 E_{max} 。将每个图像块的方差 V 和 E 值分别归一化, 并记为 $A_1 = V / V_{max}$ 和 $A_2 = E / E_{max}$;

(6) 定义活动因子 A 的概念 (如式 (2) 所示),

用来标记每一图像分块的特征。

$$A = \alpha_1 \times A_1 + \alpha_2 \times A_2 \quad (2)$$

其中, α_1 和 α_2 是 A_1 和 A_2 的权值, 并且满足条件 $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$;

经过预处理, 即获得每一图像分块的活动因子 A 。然后就可根据活动因子的值, 通过选择其中视觉掩蔽效应高的分块来嵌入水印。

2.2 灰度水印图像预处理

尽管灰度水印图像表达信息完整生动, 但是由于其包含信息量大, 致使嵌入很复杂。为此本文提出一种灰度水印图像嵌入算法, 并首先对水印图像进行预处理, 处理过程如下:

(1) 对原始灰度图像水印 (记为 W_{gray}) 进行奇异值分解, 得到以下相应的 3 个矩阵分量:

$$[U_{gray} \ S_{gray} \ M_{gray}] = SVD(W_{gray}) \quad (3)$$

(2) 对奇异值矩阵 S_{gray} 中对角阵的奇异值进行编码。编码方法为按照奇异值大小降序的顺序, 首先将各个奇异值四舍五入取整, 然后依次提取每个奇异值的最高位, 次高位, 直至个位数字, 最后将各位十进制数字用二进制表示, 并存储。如奇异值为“7092”, 经过编码以后即存储为“0111000010010010”。

(3) 将各奇异值的编码长度统一控制为 16bits, 奇异值矩阵中最大奇异值的编码长度如果超出 16bits 则将其部分编码与最小奇异值的编码结合, 占用最小奇异值的高位编码, 并用“1111”进行隔离区分。因为奇异值矩阵中最小奇异值通常为个位数, 正常编码只需 4bits 长度即可。

(4) 将各个奇异值编码后的二进制位串按照奇异值降序顺序连接起来, 存储为编码后的水印, 即将嵌入到宿主图像中的信息记为 W_{encoded} 。

3 基于 SVD 的水印算法

3.1 水印嵌入算法

作者在文献 [6] 中根据奇异值分解得到的矩阵 U 的性质, 即根据矩阵 U 的第 1 列系数中不随图像处理操作而轻易改变的相邻系数之间的大小关系来实现水印信息的隐藏。这种利用奇异值分解的特征实现的水印嵌入算法具有强鲁棒性, 即旋转、压缩等攻击对隐藏的水印信息影响很小。本文利用奇异值分解的特征将编码后的灰度图像水印信息嵌入到彩色宿主图像中。

算法如下:

(1) 根据蓝色分量图像分块的活动因子值按降序顺序选择图像分块;

(2) 对选择的图像分块进行奇异值分解, 得到奇异值分解结果中的矩阵 U ;

(3) 定义“ $||$ ”为求绝对值操作符, N_{row} 表示矩阵 U 中第 1 列系数的行标号, T_{block} 为用来选择满足相邻行系数关系稳定的块的阈值, 相邻系数间的差的绝对值定义如下:

$$|d| = ||U(N_{\text{row}}, 1) - U(N_{\text{row}} + 1, 1)|| \quad (4)$$

(4) 对选中的图像分块比较其 T_{block} 和 $|d|$ 的值。如果 $|d|$ 的值不小于 T_{block} 的值, 则选择下一个具有较小活动因子的图像分块继续算法, 当所有水印信息 W_{encoded} 都嵌入到宿主图像中, 则算法结束;

(5) 按照以下规则将 1bit 水印信息嵌入到选择的满足条件的图像分块中。

规则:

若待嵌入水印信息位值为 1 则修改相邻系数的值, 使相邻系数的大小关系为大于阈值 T ; 若待嵌入水印信息位值为 0 则修改相邻系数的值, 使其大小关系为小于阈值 T 。

其中 T 代表满足所有图像分块在嵌入水印后不导致图像降质的阈值;

(6) 对每一图像分块进行奇异值分解逆操作, 先得到嵌入水印后的蓝色分量图像, 再与红、绿分量结合重构宿主彩色图像。

3.2 水印提取算法

本文提出的盲水印算法, 其水印的提取过程不需要原始宿主图像和原始水印图像的参与, 只需要得到水印嵌入强度、水印奇异值分解的 U_{gray} 、 M_{gray} 矩阵等密钥信息, 进行嵌入算法的逆操作就可以实现水印的提取。

4 实验结果

为验证本文水印算法的效果, 采用原始宿主图像为 512×512 大小的 Lena 和 Seaside 真彩色图像, 水印是 64×64 大小的 256 级灰度图像进行了实验。图 2、图 3 是采用本文算法嵌入水印后的真彩色图像及分别受到不同攻击操作后的结果图像。图 4、图 5 显示的是原始水印和从相应宿主图像中提取出来的水印图像。以 Lena 真彩色图像为例, 算法中活动因子的权值 α_1 和 α_2 取值为 0.2 和 0.8, T 和 T_{block} 的值分别为 0.03 和 0.025。具体的水印嵌入位置, 本文选择利用矩阵 U 中第 1 列系数的第 5 行和第 6 行的关系来隐藏水印。

文中采用峰值信噪比 (peak signal noise ratio, PSNR)^[7] 来评价算法的不可察觉性; 而采用相似系数 (similarity, SM)^[8] 来评价算法对攻击的鲁棒性 (即灰度水印的相似性), SM 定义如下:

$$SM(W, \hat{W}) = \frac{\sum W(i, j)\hat{W}(i, j)}{\sqrt{\sum \hat{W}(i, j)\hat{W}(i, j)} \sqrt{\sum W(i, j)W(i, j)}} \quad (5)$$

其中, $W(i, j)$ 代表水印图像像素值, $\hat{W}(i, j)$ 代表提取出的水印图像像素值。

在不受任何攻击的情况下, 嵌入水印后 Lena 图像的 PSNR 值为 42.6847 dB, 提取出来的水印 SM 值为 1。嵌入水印后 Seaside 图像的 PSNR 值为 44.8840 dB, SM 值为 1。

图 4(c) 和图 4(d) 显示从受到 30% JPEG 压缩和旋转攻击之后的 Lena 图像中提取的水印图像。由图 4 可见, 经过攻击后提取的灰度水印图像失真很少。表 1 列出了嵌入水印后的 Lena 和 Seaside 图像经过各种攻击后的实验结果。

为了比较本文算法的有效性, 用杨文杰等人的算法^[8]进行了嵌入水印实验。在同样的攻击操作下其算法的实验结果如表 2 所示。通过和表 1 比较可见, 本文算法的性能要优于文献 [8] 的方法。



图 2 Lena 宿主图像
Fig.2 Host image Lena



图 3 Seaside 宿主图像
Fig.3 Host image Seaside



图 4 水印图像
Fig.4 Watermark images of Lena

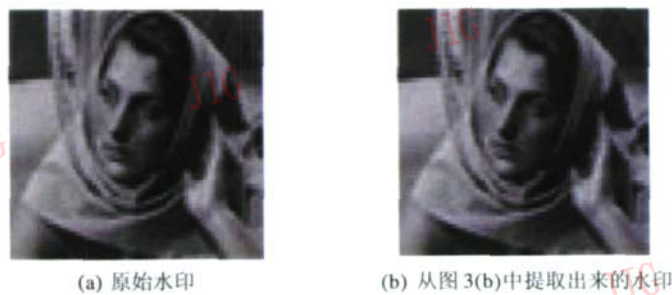


图 5 水印图像
Fig.5 Watermark images of Seaside

表 1 采用本文算法嵌入水印后的 Lena 和 Seaside 图像进行不同攻击后的水印提取结果

Tab 1 The SM result of Lena and Seaside using the method of this paper

嵌入水印图像	受不同攻击后提取出水印的 SM 值				
	无任何处理	椒盐噪声密度 0.02	JPEG 压缩 90%	JPEG 压缩 30%	旋转 45°
Lena 图像	1.000	1.000	0.999	0.990	0.997
Seaside 图像	1.000	0.999	0.998	0.992	0.999

表 2 用文献 [8] 的算法嵌入水印并经过不同攻击后的水印提取结果

Tab 2 The SM result of Lena and Seaside using the method of [8]

嵌入水印图像	受不同攻击后提取出水印的 SM 值				
	无任何处理	椒盐噪声密度 0.02	JPEG 压缩 90%	JPEG 压缩 30%	旋转 45°
Lena 图像	1.000	0.845	0.923	0.786	0.895

5 结 论

本文提出一个将灰度图像水印嵌入到彩色图像中的算法, 用来保护图像版权。该方法首先利用奇异值分解的性质对灰度水印图像进行预处理和编码, 然后将编码后的水印信息嵌入到彩色图像蓝色分量中。实验结果有力地表明, 对于大容量灰度水印图像的嵌入, 本文算法不仅实现了嵌入信息的高鲁棒性, 而且保证了从宿主图像中提取的水印图像质量和水印的视觉效果不受攻击的影响。

参考文献 (References)

- Cheung W N. Digital image watermarking in the spatial and transform domains [A]. In Proceedings of TENCON' 2000 [C], Kuala Lumpur, Malaysia, 2000, 3: 374~378
- Chen Wen-yuan, Chen Chin-hsing. A robust watermarking scheme using phase shift keying with the combination of amplitude boost and low amplitude block selection [J]. Pattern Recognition, 2005, 38(4): 587~598
- Shih Frank Y, Wu Scott Y T. Combinational image watermarking in the spatial and frequency domains [J]. Pattern Recognition, 2003, 36(4): 969~975
- Yu Pao-ta, Tsai Hung-hsu, Lin Jyh-shyan. Digital watermarking based on neural networks for color images [J]. Signal Processing, 2001, 81(3): 663~671
- Tsai Pi-yu, Hu Yu-chen, Chang Chin-chen. A color image watermarking scheme based on color quantization [J]. Signal Processing, 2004, 84(1): 95~106
- Wang Wei, Lü Ying-hua, Kong Jun. A robust digital image watermarking algorithm based on SVD [A]. In Tao Lim i edi Proceedings of Fourteenth National Conference on Multimedia Technology [C], Beijing Tsinghua University Press, 2005, 296~302 [王巍, 吕英华, 孔俊. 基于 SVD 的鲁棒的数字图像水印算法 [A]. 见: 陶霖密编. 第十四届中国多媒体学术会议论文集 [C]. 北京: 清华大学出版社, 2005, 296~302]
- Lü Ying-hua, Wang Wei, Kong Jun. A robust watermarking algorithm based on SVD and neural network [J]. Computer Science, 2005, 32(12): 232~235 [吕英华, 王巍, 孔俊. 基于 SVD 和神经网络的鲁棒水印算法 [J]. 计算机科学, 2005, 32(12): 232~235]
- Yang Wen-jie, Wang Wei-wei, Song Guo-xiang. A novel blind gray image watermarking scheme [J]. Computer Engineering and Applications, 2005, 41(31): 124~126 [杨文杰, 王卫卫, 宋国乡. 一种新颖的灰度图像盲水印算法 [J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(31): 124~126]