

文章编号: 1005-3026(2002)03-0217-04

图像及声音的数字水印嵌入研究与实现

王丽娜, 董晓梅, 梅哲, 于戈
(东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘 要: 介绍了小波 SVD 数字水印嵌入算法, 它可以实现多媒体信息的版权保护。深入地分析了图像、声音文件格式, 使用小波 SVD 算法实现图像、声音的水印嵌入, 并通过计算矩阵之间的相关性来实现水印的检测。给出了图像和声音文件的数字水印嵌入及检测实验结果。通过数据比较找出小波 SVD 算法中各系数与生成水印之间的联系, 从而证实了数字水印技术的可行性并指出了如何选择合理水印的方法。

关 键 词: 多媒体; 小波; 数字水印嵌入; 数字水印检测; 图像格式; 版权保护

中图分类号: TP 309.7 **文献标识码:** A

随着 Internet 中图像和视频信息的快速增长, 对多媒体数字信息进行版权永久性保护有着迫切的需求。数字水印 (digital watermark) 技术很好地解决了这一问题^[1~3]。数字水印技术以信息隐藏学为基础^[4,5]。由于水印信息并不影响作品的宏观内容, 因而水印信息将永久地保存在多媒体作品当中, 任何人若试图从作品中剔除水印都不得不大幅度破坏原作品, 以致到面目全非的地步, 从而保护了作者的合法权益。

本文深入地分析了图像、声音文件格式, 使用小波 SVD 算法嵌入水印, 给出图像和声音文件的数字水印嵌入实验结果。通过计算矩阵之间的相关性来实现水印的检测。通过数据比较找出小波 SVD 算法中各系数与生成水印之间的联系, 实现多媒体信息的版权保护。

1 小波 SVD 数字水印算法

定义 1 E 为小波 SVD (Singular Value Decomposition) 系数水印转换^[6], 设 $A = A(M, l)$ 是图像 M 在 l 层的相近系数的 $n \times n$ 矩阵, 考虑到 A 的单值分解:

$$A = U \sum V^T$$

其中, $U = (u_1, \dots, u_n)^T$
 $V = (v_1, \dots, v_n)^T$

$$\sum = \begin{bmatrix} \delta_1 & & \\ & \ddots & \\ & & \delta_n \end{bmatrix}$$

U 和 V 是正交矩阵:
 $U^T U = I, \quad V^T V = I$

设 $U = (\bar{u}_1, \dots, \bar{u}_n)^T, V = (\bar{v}_1, \dots, \bar{v}_n)^T$ 是两个随机生成的正交矩阵 (密钥相关), 并且

$$\bar{\sum} = \begin{bmatrix} \bar{\delta}_1 & & \\ & \ddots & \\ & & \bar{\delta}_n \end{bmatrix}$$

是随机生成的对角矩阵 (密钥相关)。

从 U 和 V 中取后 d 行来代替 U 和 V 的对应的 d 行, 形成如下两个矩阵 U 和 V

$$U = (u_1, \dots, u_{n-d}, \bar{u}_{n-d+1}, \dots, \bar{u}_n)^T$$
$$V = (v_1, \dots, v_{n-d}, \bar{v}_{n-d+1}, \dots, \bar{v}_n)^T$$

进而构成

$$W(A) = U \bar{\sum} V^T$$

小波 SVD 系数水印转换 E 表示如下:

$$A_w = E(A) = A + W(A)$$

并进行小波逆变换 (重构)^[7,8] 即得到嵌入水印的图像。

2 图像的数字水印嵌入

图像可以被看作是一个二维信号, 采用小波

SVD 数字水印嵌入方法, 对图象实现水印嵌入, 通过计算矩阵的相关性来判断水印存在与否。图 1 给出了两个由图 2 的原图像得来的数字水印图像。从两个图像的对比可以直观地看到 d/n 的值越接近于 1, 数字水印的随机性越好; 越接近于 0, 数字水印包含原图像的信息越多。因为 d/n 代表着原矩阵被随机矩阵替代的列数的多少, 其值越接近于 1, 原矩阵所占的信息比重越小, 随机矩阵所占的比重越大, 反之亦然。图 2 为加入水印前后的两个图像, 从图像中几乎看不出表面上的差距。

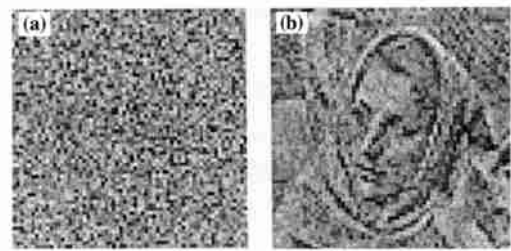


图 1 数字水印图像
Fig. 1 Digital watermark image
(a) $-d/n=0.99$; (b) $-d/n=0.5$ 。



图 2 嵌入水印前后效果对比
Fig.2 Comparison of original image and watermarked image
(a) —原图像; (b) —嵌入水印后图像。

采用同样的方法对索引原图像嵌入水印后却得到了另外一种效果。同样的方法为什么对两个图像会产生不同的测试结果呢? 原因在于被嵌入水印的原图像类型之间的区别。因此, 下面有必要对图像的类型加以解析。平时经常使用的图像大多以扩展名区分, 例如 BMP、JPG、GIF 等。图像按照色彩调配方法又可以有另外一种分类方式。

2.1 灰度图像及水印嵌入

灰度图像 (Gray Scale, GS) 可以看作一个二维矩阵, 其元素由 0 到 1 之间的实数构成, 0 代表黑色, 1 代表白色, 它把颜色从黑到白分成 256 种不同深度的颜色。灰度图像中的元素值代表该像素的黑白程度, 因此灰度图像没有彩色的。设 GS 为 $m \times n$ 阶图像矩阵, 则

$$GS = (gs_{ij})_{m \times n} \quad gs_{ij} \in [0, 1]$$
$$1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$$

图 2 中的原图像即为灰度图像, 使用小波 SVD 方法在灰度图像中嵌入水印时不会出现任何问题。

2.2 RGB 图像及水印嵌入

RGB 图像也称为 24 位真彩色图像^[9, 10]。它的每个像素点的值由红、绿、蓝三原色共同组成, 因此一共可以表示 $2^8 \times 2^8 \times 2^8 = 2^{24}$ Bit = 16M 种不同的色彩。如果说灰度图像可以看作一个二维矩阵的话, 那么 RGB 图像可以看作一个三维矩阵, 它是由三个二维矩阵构成的, 每一个二维矩阵代表红、绿、蓝中的一种颜色, 用来表示该种颜色的深浅程度。

设 RGB 为 $m \times n \times k$ 阶图像矩阵, 则

$$RGB (rgb_{ijk}) \quad 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n,$$
$$k = \text{Red, Green, Blue}$$

单独抽取 R、G、B 中的任何一层图像都可以看作一个灰度图像, 不同的是真正的灰度图像表现的是黑色的深浅程度, 而从 RGB 图像中抽取的每一层图像则分别表现的是红绿蓝的深浅程度。小波 SVD 方法是通过计算矩阵之间的相关系数来判别水印的存在情况, 它只适合于二维矩阵, 因此对于 RGB 图像在嵌入水印的过程中要经过预先处理。通常可以在 R、G、B 其中的某一层嵌入水印, 再重新组合图像即可。由于 RGB 图像的特殊性, 通过在不同色彩层加入不同的水印可以实现多重水印技术。

2.3 索引图像及水印嵌入

索引图像 (Index) 是一类比较特殊的图像。索引图像可以被看作两个二维矩阵, 其中一个矩阵与灰度图像的矩阵相似, 它的元素由 0 到 255 之间的整数构成; 另一个矩阵是一个 255 行 3 列的矩阵, 该矩阵中的元素为 0 到 1 之间的实数。由 RGB 图像色彩原理可以发现, 每行中的三列元素分别代表红、绿、蓝三种颜色的深浅程度, 因此该矩阵中每行代表一种色彩。可见索引图像中的 255 行 3 列的矩阵相当于一个调色板。这类图像表现色彩时根据相应像素点的值到调色板中寻找相应的色彩并显现出来, 因此这类图像可以显示 255 种不同的色彩。对于色彩种类不很丰富的彩色图像来说, 索引图像无疑是一种节省信息空间的方式, 它可以以较少的空间代价换来较好的显示效果。如果索引图像的调色板矩阵每行中的三列元素值相等并且每列元素中的值从 0 到 1 几乎平均分布, 那么该索引图像起到的效果与灰度图像完全相同。

对索引图像直接采用小波 SVD 方法嵌入数

字水印是行不通的。可以通过图像类型转换, 将索引图像首先转换为 RGB 图像, 采用对 RGB 图像嵌入水印的方法, 再将嵌入水印后的图像由 RGB 图像转换为索引图像, 这样既不会影响文件所占空间又不会产生调色板带来的差距。

3 声音的数字水印嵌入

声音文件可以看作一个列向量。根据小波 SVD 方法, 如果要在声音文件中嵌入数字水印, 要将声音文件转换为二维矩阵, 只有这样才能通

过计算二维矩阵的相关系数判断水印存在与否。因此首先要将声音文件这个列向量转换为 n 阶方阵, 不足的元素由 0 来填充。接下来的操作与图像的水印嵌入过程相同。然后将嵌入数字水印的方阵转换为列向量, 并根据填充 0 的元素个数将列向量的最后几个元素去掉。图 3 显示了一个 WAV 声音文件在嵌入数字水印前后的声音波形图。从图中可以看出, 声音的波形变动很小, 人的听觉系统无法分辨其间的差距。

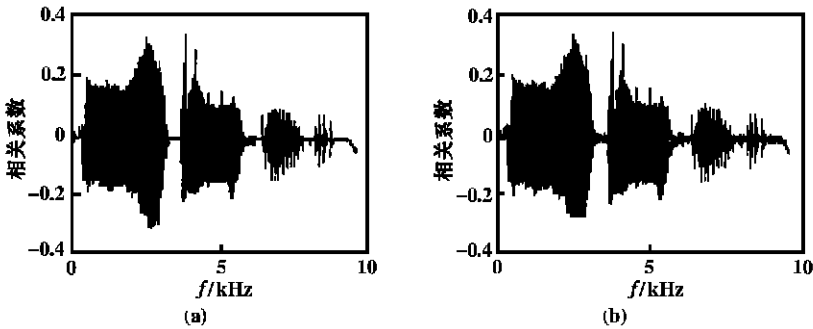


图 3 声音文件嵌入水印前后波形图
Fig. 3 Comparison of original wave form and watermarked wave form
(a) — 原声音波形; (b) — 嵌水印后声音波形。

4 数字水印的检测

4.1 参数 d/n 与 σ 对数字水印的影响

从实验结果可以得到以下结论: d/n 的值越趋近于 0, 其生成的数字水印越接近于原图像, 不同种子产生的数字水印之间的相关性越强, 水印的检测难度越大; d/n 的值越趋近于 1, 其生成的数字水印越随机, 不同种子产生的数字水印之间的相关性越差, 水印的检测越准确。

σ 的值为 0.1 之间的实数, σ 值的大小代表着水印信息在嵌入水印后的图像中痕迹所占的比重。 σ 的值越接近于 1, 它所占的比重越大, 越接近于 0 它所占的比重越小。在 SVD 算法中, 由于生成的数字水印是由原图像得来的, 因此 σ 取值的大小不会对最终图像的结果产生感官上的影响。对于以其他途径获得的数字水印来说, 适当地选取 σ 值极为重要。对于用来进行内容保护或标记注释的数字水印来说, 尽量选择较大的 σ 值, 以增强水印信息的影响力; 而对于用在版权保护或信息隐藏方面的数字水印来说, 要选取较小的 σ 值以避免秘密信息的泄漏。

4.2 数字水印的抗压缩检测

嵌入数字水印的多媒体信息经过有损压缩处理后, 在部分图像信息损失的同时也损失了一部

分水印信息。嵌入信息中的数字水印只有能够经得起压缩处理, 才能够说明它是健壮的。采用小波 SVD 方法嵌入数字水印, 然后对嵌入水印的图像进行不同质量压缩比的有损压缩, 再检测这些压缩后的图像的水印存在情况, 可以明显地发现图像中颜色分配的不均匀现象。因此, 通过小波 SVD 算法实现的数字水印嵌入及检测完全能够达到多媒体信息的版权保护要求。

5 结 论

小波 SVD 数字水印算法的优点首先在于其算法简单, 利用小波变换快速、简单的特点; 第二, 这一算法的抗干扰能力强, 因为水印信号隐藏在图像的第 1 级的详细分量中, 即是把水印信息放在图像能量最大的部分——低频部分。用 Mathworks 公司的 Matlab^[8] 实现了小波 SVD 数字水印算法, 对图像、声音多媒体信息嵌入了数字水印, 并做了各种健壮性测试, 实现了其版权保护。未来的工作是对 Video 信息嵌入水印。

参考文献:

[1] Schyndel R G, Tirkel A Z, Osborne C F. A digital watermark[A]. In: IEEE Signal Processing Society ed. Proc IEEE Int Conf Image Processing (II) [C]. Piscataway: IEEE Signal Processing Society, 1994. 86—90.
[2] Craver S, Memon N, Yeo L, et al. Resolving rightful

- ownerships with invisible watermarking techniques; limitations, attacks and implications[J]. *IEEE J Select Areas Commun*, 1998, 16: 573—586.
- [3] Wolfgang R B, Delp E J. A watermark for digital images [A]. In: IEEE Signal Processing Society ed. *IEEE International Conference on Images Processing (III)* [C]. Piscataway: IEEE Signal Processing Society, 1996. 219—222.
- [4] Cox I J, Killian J, Leighton T, *et al*. A secure robust watermark for multimedia information hiding[A]. *Lecture Notes in Computer Science (1174)* [C]. Berlin: Springer-Verlag, 1996. 183—206.
- [5] Westfield A, Wolf G. Steganography in a video conferencing system[A]. In: IEEE Security Organization ed. *Proc of information hiding* [C]. Oregon: IEEE Security Organization, 1998. 32—47.
- [6] Adam L, Li A B, John V. *On wavelet-based method of watermarking digital images* [R]. New York: Syracuse University, 1998. 9—10.
- [7] 胡昌华, 张军波, 夏军, 等. 基于 MATLAB 的系统分析与设计——小波分析[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999. 134—149.
(Hu C H, Zhang J B, Xia J, *et al*. *Analysis and design of a system based on MATLAB-wavelet analysis* [M]. Xi'an: Press of Xidian University, 1999. 134—149.)
- [8] 李景宏, 彭辉, 杜玉远, 等. 基于小波变换的超声多普勒血流信号的分析[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2000, 21(5): 487—489.
(Li J H, Peng H, Du Y Y, *et al*. Analysis of doppler ultrasound blood flow signal basing on wavelet transform[J]. *Journal of Northeastern University (Natural Science)*, 2000, 21(5): 487—489.)
- [9] Ralf Steinmetz, Klara Nahrstedt. *Multimedia: computing, communications and application* [M]. Englewood: Prentice-Hall International, Inc, 1977. 128—138.
- [10] Yu P, Tsai H, Lin T. Digital watermarking based on neural networks for color images [J]. *IEEE Signal Processing*, 2001, 81: 663—671.

Research and Realization of Digital Watermarking for Image and Wave

WANG Li-na, DONG Xiao-mei, MEI Zhe, YU Ge

(School of Information Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China. Correspondent: WANG Li-na, associate vice professor, E-mail: lnawang@163.com)

Abstract A wavelet SVD method of digital watermarking was introduced. This method can protect the copyright of multimedia information. The digital watermarking method is based on information hiding. Image and audio file format was deeply analyzed. The experiment results of watermarking embedding and detecting on image and audio file were given. The relation of the coefficient in wavelet SVD method was analyzed. The method to select the proper coefficient was given.

Key words multimedia; wavelet transform; digital watermark embedding; digital watermark detecting; image format; copyright protection

(Received June 11, 2001)