

基于小波变换的图象水印嵌入方法

潘 蓉 高有行

(西安电子科技大学计算机外部设备研究所, 西安 710071)

摘 要 数字水印技术作为数字产品版权保护的一项新技术, 已受到越来越多的关注. 为保证水印的安全性, 提出了一种基于小波变换的水印嵌入方法, 即在嵌入之前先对水印做置乱处理, 然后根据小波变换后, 高、低频分量的特点, 在高频部分嵌入较多的水印信息, 而在低频部分嵌入较少的信息, 亦即利用小波变换的层次结构, 将同一水印反复嵌入到不同的位置. 实验证明, 该方法对剪裁、JPEG 压缩和锐化等图象退化处理均具有一定的抵抗力, 是一种行之有效的水印嵌入方法.

关键词 小波变换 文字水印 图象置乱

中图分类号: TN918.74 TP393.08 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2002)07-0667-05

Image Watermarking Method Based on Wavelet Transform

PAN Rong, GAO You-xing

(Research Institute of Computer Peripherals, Xidian University, Xi'an 710071)

Abstract As a new technique applying to protecting the copyright of digital productions, the digital watermark technique has drawn extensive attention. A method of embedding the watermark in digital images based on the discrete wavelet transform is proposed. The watermark used here is not the conventional patterns such as a pseudo-random sequence or a bit stream but a text watermark. The information which the text watermark contains is abundant and intuitionistic, also the watermark is robust. To ensure the security of the watermark and make the watermark be hard to be extracted, the watermark is scrambled with Arnold scrambling transformation before embedded into the original image. According to the different characteristics of the high and the low frequency components of the wavelet coefficients of the original image, more watermark information is embedded in the high frequency components while less information in the low ones. That is to say, by using the hierarchical structure of the wavelet, the watermark is repeatedly embedded in various places. Moreover, experimental results have proved that the method is robust enough to some image degradation process such as cropping, JPEG compression and sharpening etc. So it is effective.

Keywords Wavelet transform, Text watermark, Image scrambling

0 引 言

随着通信、计算机和网络技术的飞速发展, 数字图象的高速传输、处理和存储已成为现实, 但是由于网上的数字图象很容易被截获、复制及篡改, 这严重侵犯了单位或个人的知识产权. 为解决这一问题, 近几年国际上提出了一种全新的信息安全技术, 即数

字水印技术, 并广泛应用于图象、视频和音频等数字媒体. 由于它在版权保护、真伪鉴别、秘密通信和隐含标注等领域有着广泛的应用前景, 因此日益成为一个非常重要的研究领域.

到目前为止, 已经有许多文献对水印的嵌入做过研究, 并已提出大量方法, 现有方法大致可分为空域方法和变换域方法两类. 从综合性能对比来看, 变换域方法更加优越一些, 目前占据了主要地位, 未来

的趋势也当以变换域方法为主流. 本文提出了一种基于小波变换的变换域水印嵌入方法, 因为小波变换已应用于新一代静态图象压缩标准 JPEG2000, 这样就使水印嵌入算法可以在压缩域中实现, 而且小波变换充分考虑了人类视觉特性; 其次, 在将原始图象进行小波多分辨率分解后, 形成一种金字塔式的层次结构, 根据这一特点, 将水印图象重复嵌入不同的层次结构中, 还可以保证算法的强壮性. 另外, 大部分的图象水印嵌入方法是在图象中嵌入一些伪随机数^[1,2], 这是因为伪随机数具有难以仿造的优点, 所以保证了水印的安全性, 但是由于伪随机数并不能具体地代表特定的信息, 也具有一定的局限性, 因此, 从实际应用考虑, 如果能在图象中嵌入像单位或本人名字等文字信息, 那么将更加具有现实意义及视觉上的直观性. 基于这样的想法, 本文研究了在静止图象中嵌入文字水印的问题.

1 水印算法的实现

1.1 图象置乱

图象置乱就是利用某种算法将一幅图象各像素的次序打乱, 但像素的总个数不变, 直方图不变. 由于对水印进行置乱可以消除水印像素的空间相关性, 因此能提高水印抗图象剪裁操作的强壮性. 已提出的图象置乱方法有 Fass 曲线、Gray 代码、Arnold 变换和幻方方式等. 本文选择 Arnold 变换作为水印嵌入的预处理方法, 是由于它直观、简单, 并且具有周期性, 这在应用时非常方便. 在文献[3~5]中, 就讨论了 Arnold 变换在数字图象变换中的应用.

Arnold 变换是 Arnold 在遍历理论中提出的一种变换, 又称猫脸变换 (Arnold's Cat Map). 设想在平面单位正方形内绘制一个猫脸图象, 猫脸变换式为

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \left[\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \right] \bmod 1 \quad (1)$$

通过变换, 猫脸图象由清晰变模糊, 这实际上是一种点的位置移动, 并且这种变换是一一对应的.

从采样理论的角度看, 数字图象可看作是在二维连续曲面上, 按照某一间隔和某种策略进行采样所得到的一个二维离散点的阵列, 即一个图象矩阵. 对于正方形数字图象, 可进行离散化的 Arnold 变换^[3].

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \left[\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \right] \bmod N \quad (2)$$

$(x, y) \in \{0, 1, \dots, N-1\}$

利用上式, 逐一对图象中的像素点坐标做变换, 当遍布了图象所有像素点之后, 便产生了置乱后的图象. 另外, 对该图象还可做反复迭代, 以产生不同结果的图象, 直到达到要求为止. Arnold 变换具有周期性, 即当迭代到某一步时, 将重新得到原始图象.

1.2 小波变换

小波变换作为一种变换域信号处理方法, 近年来在计算机视觉和图象处理研究领域, 引起人们的极大兴趣. 小波变换将图象在独立的频带和不同空间方向上进行分解, 它不仅具有良好的空间-频率分解特性, 而且能更好地与人类视觉系统相结合, 是一种很有潜力的方法^[6].

图象经过离散小波变换, 即分解成 4 个四分之一大小的子图: 水平方向、垂直方向和对角线方向的中高频细节子图和低频逼近子图, 每个子图通过间隔抽样滤波得到. 后继分解时, 逼近子图以完全相同的方式再分解成在下一级分辨率下更小的子图. 以此类推分解, 图象就被分解成不同分辨率级和不同方向上的多个子图, 这更加符合人眼的视觉机制. 这种锥形结构有如下特点: ①与人类视觉特性相匹配; ②数据量没有扩展; ③变换域内相关性小. 对图象进行 3 次小波变换的结果如图 1 所示. 图中, X_0^i 是低频分量, X_1^i ($i=1, 2, 3$) 是水平方向的高频分量, X_2^i 是垂直方向的高频分量, X_3^i 是对角方向的高频分量.

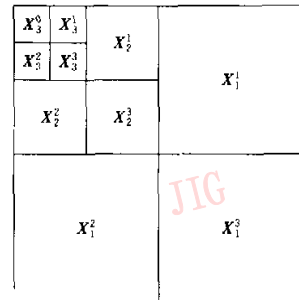


图 1 3 级小波变换分解图

在频率域中, 高频部分代表图象的边缘及纹理部分, 在这些地方嵌入水印, 人眼虽不易察觉, 但这样的水印容易在图象经过有损压缩等一些图象处理后丢失, 另一方面, 因为低频部分集中了图象的大部分能量, 所以在低频部分嵌入水印不易丢失, 然而低频部分代表图象的平滑区域, 这部分的改变极易影响图象的质量. 由于高低频部分具有不同的特点, 因此可进行折中考虑, 也就是首先将经过 3 级小波变换的图象分成与水印大小相同, 且互不重叠的图象

块,然后将同一水印分别嵌入到每一图象块中.由于高频部分所占的图象面积较大,多被分为许多小图象块,因此嵌入的水印就多;而低频部分,由于只占据图象的较小部分,因此图象块数少,自然所嵌入的水印就少.这样,就实现了在高频部分嵌入较多的水印信息,而在低频部分嵌入较少的水印信息的要求.由于是同一水印反复嵌入到图象的不同部分,因此很大程度上提高了水印的强壮性.

1.3 水印的嵌入方法

假设 X 是原始灰度图象,大小为 $M \times M$,每个像素用 $sbit$ 表示

$$X = \{x(m, n), 0 \leq m, n \leq M\} \quad (3)$$

其中, $x(m, n) \in \{0, 1, 2, \dots, 2^s - 1\}$ 是原始图象在 (m, n) 处的灰度值.

假设 W 是水印图象,大小为 $N \times N$,每个像素用 $cbit$ 表示

$$W = \{w(m, n), 0 \leq m, n \leq N\} \quad (4)$$

其中, $w(m, n) \in \{0, 1, 2, \dots, 2^c - 1\}$ 是水印图象像素 (m, n) 的灰度值.

不失一般性,设水印的尺寸小于原始图象的尺寸,并且满足 $M = 2^p \cdot N$ (p 为正整数).

算法的具体步骤如下:

(1) 利用 Arnold 变换将水印图象置乱,置乱后的水印记为 W_a .

(2) 将原始图象 X 经过 3 级小波变换,得到不同分辨率级下的细节子图 X_k^j 和一个逼近子图 X_0^3 , X 表示小波变换后的图象

$$X = DWT(X) = \{X_k^j, j, k = 1, 2, 3, \text{若 } k=0, \text{则 } j=3\} \quad (5)$$

(3) 将所有细节子图分割成 $2^{(p+1)} \cdot 2^{(j-1)}$ 块大小相同,且互不重叠的子图块,并使每一子图块的大小与水印相同

$$X_k = \text{Block}(X_k) = \{x_k^{j,i}, i = 1, 2, \dots, 2^{(p+1)-2^{(j-1)}}\} \quad (6)$$

(4) 将水印中的数据分别与每一子图块依下式进行分块组合,这样,高频部分被反复嵌入水印,而低频部分只用嵌入一次水印

$$X_{kb} = X_k + \alpha W_a = \{x_k^{j,i} + \alpha w_a(m, n), 0 \leq m, n < N\} \quad (7)$$

式中, α 表示嵌入水印的强度, α 取值要在水印的可见性与强壮性之间权衡,因为 α 越大,水印虽越强壮,但是嵌入水印的图象质量就会降低;反之, α 取值小,图象质量虽提高了,但同时会削弱水印的强壮性.

(5) 将经过运算的子图块进行重新拼接,即得到完整的 $M \times M$ 大小的子图 X_{bb} ,最后再进行小波反变换,便可实现静态图象上文字水印的嵌入.

$$X_b = IDWT(x_{bb}) = \{x(m, n), 0 \leq m, n < M\} \quad (8)$$

嵌入过程如图 2 所示.

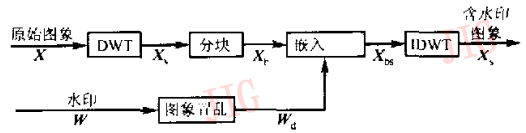


图 2 水印的嵌入方法

1.4 水印的抽取方法

水印的抽取过程是嵌入的逆过程,在抽取水印时,需要用原始图象,即首先将含水印图象 X_b 和原始图象 X 分别进行 3 级小波变换(这时的 X_b 可能已经过了退化处理),并且将各细节子图分成 $2^{(p+1)} \cdot 2^{(j-1)}$ 块大小相同,且互不重叠的子图块,然后再把两幅图象对应位置的子图块,根据式(7)计算出从每一子图块中抽取的水印子图,这样可得到 $\frac{M}{N} \times \frac{M}{N}$ 块水印,再对它们加以平均;最后经过置乱,即可得到抽取出来的水印.水印的抽取方法如图 3 所示.

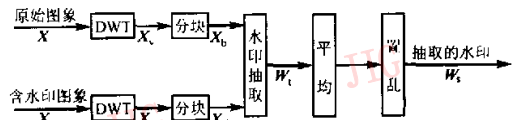


图 3 水印的抽取方法

根据抽取的水印图象 W_a 与原始水印 W 的对比,即可判断两者之间的相似程度,但由于这种主观方法往往受观察者经验、环境条件等因素的影响,因此,有必要采取定量的方法来描述这一关系.本文利用下式来计算 W_a 与 W 的相似度^[7]

$$NC = \frac{\sum_{m,n} w_a(m, n)w(m, n)}{\sum_{m,n} w^2(m, n)} \quad (9)$$

另外,又利用峰值信噪比来对含水印图象 X_b 的扭曲程度做客观评价,它定义为^[8]

$$PSNR = 10 \lg \frac{M^2 \max_{m,n} x^2(m, n)}{\sum_{m,n} (x(m, n) - x_b(m, n))^2} \text{ (dB)} \quad (10)$$

2 实验结果

为了测试本算法的性能,本文对 256 级灰度、 256×256 的标准 Lena 图象进行了水印嵌入实验.实验中,采用二维离散正交小波变换,并通过多次实

验,取定参数 $\alpha=0.0024$,该参数是可同时保证水印的强壮性和不可见性的临界值.实验中还对含水印图象作了各种退化处理,以检测水印嵌入的有效性和强壮性.原始图象和原始水印,嵌入水印后的图象和抽取的水印如图 4 所示.

无论从主观上,还是从客观评价指标上看,含水

印图象均保持了良好的图象质量,并且抽取的水印与原始水印相似度也很高(图 4(d)).

2.1 水印图象的剪裁

对嵌入水印的图象进行 1/4 剪裁,被剪裁部分以黑色代替.剪裁后虽然图象变得不完全,但仍可检测出水印的存在,结果如图 5 所示.



图 4 Lena 图象与水印

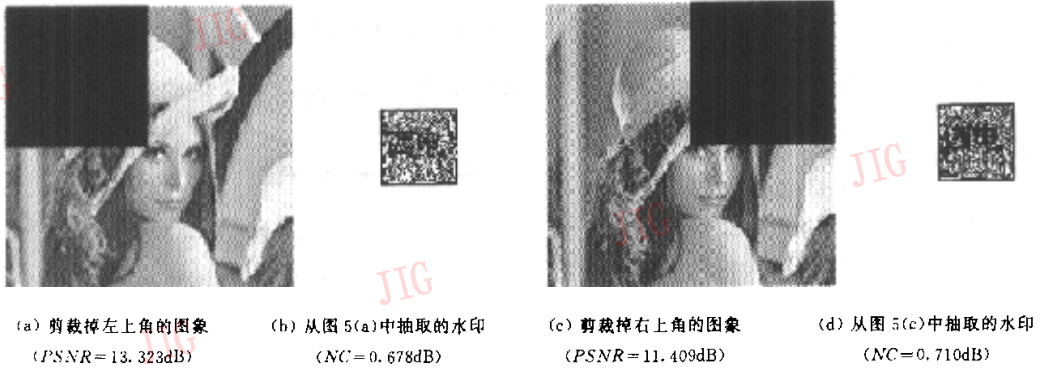


图 5 水印图象的剪裁

2.2 水印图象压缩编码

目前网络上传输的图象,大多以 JPEG 格式压缩,因此保证该算法对 JPEG 压缩的强壮性是很有必要的.本文采用 JPEG 技术对含有水印的图象进行了压缩编码,其从不同压缩比的压缩图象中提取水印的实验结果如图 6 及表 1 所示.其中, Q 表示图象质量级别, Q 越大,图象质量越好.

表 1 不同质量的 JPEG 图象的实验结果

Q	压缩比	NC(相似度)	PSNR(dB)
10	1.4	0.954	38.440
9	1.7	0.920	37.848
8	2.16	0.787	37.174
7	2.69	0.673	36.267

从图 6 和表 1 可以看出,图象质量越低,亦即压缩比越高,则抽取的水印效果越差.

实验中还用本文方法对经过拷贝处理、叠加噪声和锐化等退化处理后图象的水印抽取作了研究,均得到不错的效果.可见,虽然对含水印图象进行了某种程度的退化处理,其在产生了很大失真的情况下,依然可以检测到水印,这说明本文提出的算法具有良好的强壮性.

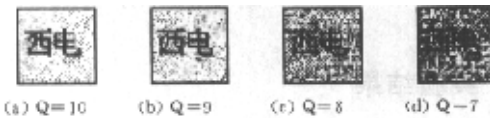


图 6 分别从图象质量级别 Q 为 10,9,8,7 的 JPEG 图象中抽取的水印

3 结 论

本文将图象置乱应用于数字水印嵌入的方法中,提出了一种基于小波变换的方法.该方法采用一个比原始图象小许多的水印图象,根据小波变换的多分辨率分解特性,将水印反复嵌入到不同的层次结构中.本文算法所实现的水印嵌入有如下一些优点:其抵抗常见图象处理的强壮性较好;可在小波变换域中实现,并可与国际压缩标准 JPEG2000 相兼容,还可直接在压缩域中进行处理;计算简单,易于实现.该方法还可以十分方便地推广到多重水印的嵌入算法.

参 考 文 献

- 1 Ruanaidh J J K, Pun T. Rotation, scale and translation invariant spread spectrum digital image watermarking [J]. Signal Processing, 1998, 66(3):303~317.
- 2 Schyndel van R G., Zrikel A Z, Osborne C F. A digital watermark[A]. In: IEEE Int. Conf. on Image Processing[C], IEEE Comput. Soc. Press, Austin, Texas, USA. 1994, 2: 86~90.
- 3 丁玮,阎伟齐,齐东旭. 基于 Arnold 变换的数字图象置乱技术[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2001, 13(4):338~341.
- 4 Peterson G. Arnold's Cat Map [EB/OL]. <http://online.redwoods.cc.ca.us/instruct/darnold/maw/catmap.htm>

- 5 齐东旭,邹建成,韩效存. 一类新的置乱变换及其在图象信息隐藏中的应用[J]. 中国科学(E 辑), 2000, 30(5):440~446.
- 6 Daubechies I. Orthonormal bases of compactly supported wavelets[J]. Commun. on Pure and Appl. Math. . 1988, 41(7): 909~996.
- 7 NIU Xia-mu, LU Zhe-ming, SUN Sheng-he. Digital watermarking of still images with gray-level digital watermarks [J]. IEEE Trans. On Consumer Electronics, 2000, 46 (1): 137~145.
- 8 Kutter M, Petitcolas F A P. A fair benchmark for image watermarking systems [J]. Proc. of SPIE. 1999, 3657: 219~239.



潘 蓉 1975 年生,西安电子科技大学计算机应用技术博士研究生,主要研究方向为计算机图形图象处理及数字水印技术.

高有行 1938 年生,教授,博士生导师,西安电子科技大学计算机外部设备研究所所长,主要研究方向为计算机图形图象处理、计算机输入输出技术和地理信息系统等.