

一种对图像剪切具有鲁棒性的数字水印算法¹

宿富林 马国强 吴江

(哈尔滨工业大学电子与通信工程系 哈尔滨 150001)

摘要 该文提出了一种新的基于 DCT 变换的图像数字水印嵌入和检测算法, 该算法可以抵御图像剪切等几何袭击, 且水印的检测不需原始图像。仿真结果证实了所提方法的有效性。

关键词 数字水印, DCT 变换, 版权保护

中图分类号 TP391.4, TN911.73

1 引言

数字水印技术是针对现今日益严重的数字信息安全及数字产品版权保护等问题应运而生的。这种技术一方面弥补了密码技术的缺陷, 另一方面也同时弥补了数字签名技术的缺陷, 因而, 数字水印已成为当前多媒体信息安全领域发展最快的热点技术之一。它的基本思想是在数字图像音频和视频等产品中嵌入秘密的信息以便保护数字产品的版权或增强嵌入信息的隐蔽性。现在的水印技术大致可以分为两类: 时空域处理及频域处理。前者是指直接在原信息的时空域嵌入水印, 如: LSB^[1]、扩展频谱^[2]等, 而后者则是在频域进行水印的嵌入操作。频域方法中应用较多的变换集中于对 DCT^[3,4]、Cortex、Fourier^[5]、小波^[6]等变换的利用。然而, 应注意到, 频域水印算法虽然有着多种很好的特性, 但在没有原始图像的情况下, 当水印图像受到诸如剪切操作等袭击时, 通常都无法进行水印信息的检测和提取, 也就不具备对类似袭击的鲁棒性。

基于此, 本文提出了一种新的水印算法, 该法通过在图像的空域设定水印标志行和列, 标定嵌入水印的位置, 然后在此标定位置处嵌入水印。在进行水印检测时, 首先判定原水印标志行和列的位置, 然后再通过图像贴补技术重新标定出原水印信息嵌入区域, 即可进行水印检测。仿真实验表明, 该算法可以很好地解决多数频域水印算法所欠缺的对图像剪切袭击的鲁棒性问题, 充分证明了其有效性。

2 水印嵌入算法

对于多数水印算法而言, 在提取时都需要首先确定嵌入水印信息的位置, 而一些水印袭击(如剪切等)通过改变图像的几何形状, 使提出的嵌入的水印位置信息错误, 从而可以很容易地使水印算法在水印提取时失败。本文通过在原图像中设定特定的水印标志行和列, 在水印提取时可以方便地提取出水印的位置信息, 因而可有效地解决这一问题。

所提水印嵌入算法结构框图如图 1 所示, 其过程首先是对要嵌入水印的图像进行分块处理, 其次对分块图像中标志水印嵌入区的标志行和列进行标志处理, 然后, 对进行了标志处理的图像进行 DCT 变换并嵌入水印, 最后, 进行 IDCT 变换即可得到嵌入了水印的图像。

2.1 水印标志行和列的设定及处理

这一步的目的是通过原图像中设定特定的水印标志行和列, 以便在水印提取时可以方便地提取出水印的位置信息, 具体算法如下:

(1) 首先将大小为 $M \times N$ 的原目标图像均分为大小为 $m \times n$ 的子图像矩阵, 不失一般性, 设 M, N 都可被 2 整除, M 可被 m 整除, N 可被 n 整除。

¹ 2001-06-15 收到, 2002-05-15 改回

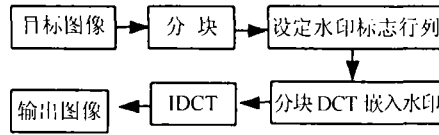


图 1 水印嵌入算法结构框图

(2) 对每一分块图像矩阵分别进行处理, 在每一子图像中选择最右边的一列及最下边的一行作为标志水印位置的行和列, 除此之外的其他区域则作为水印嵌入区。

(3) 为了使标志水印嵌入区的位置信息的行和列的像素点具有标定位置的功能, 需要对该行和列的像素点的灰度值进行修改, 以使相邻的奇偶点的灰度值有一定的差别, 从而形成一个明显的标志特征 (由于修改的数据较少, 这个特征不会影响图像的视觉质量), 使得在水印检测时可利用此特征进行位置信息的检测。具体处理过程如下:

(a) 对某一子图像最右边的列 $A(i, n), i = 1, 2, \dots, m$, 将其两两分组, $\{A(2i-1), A(2i)\}$, $i = 1, 2, \dots, m/2$, 对每一组数据, 若 $|A(2i-1, n) - A(2i, n)| > q_v$, 则保留该组数据不变; 否则, 则对数据作如下修正:

$$\left. \begin{aligned} A(2i-1, n) &= A(2i-1, n) + \Delta \\ A(2i, n) &= A(2i, n) - \Delta \end{aligned} \right\}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m/2 \quad (1)$$

其中 $\Delta = d \cdot \text{sgn}[A(2i-1, n) - A(2i, n)]$, $\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$, d 为一个小的正常数。

而 q_v 为均值自适应判决阈值:

$$q_v = \frac{c_v}{n} \sum_{j=1}^n \frac{2}{m} \sum_{i=1}^{m/2} [A(2i-1, j) - A(2i, j)] \quad (2)$$

式中 c_v 为常数。

(b) 对子图像最下边的行 $A(m, j), j = 1, 2, \dots, n$, 进行类似的处理。

(c) 当所有子图像都完成了上述过程时, 则水印嵌入区位置信息的标志结束。

可见, 如此处理之后, 每一子图像的右边缘列及下边缘的一行数据就有了明显的标志特征: 每一两两分组的奇偶像素对的灰度值有一个大于某一确定门限的差值, 根据此特征, 可方便地检测出嵌入水印的区域。

值得注意的是: 为了标定水印位置信息, 同时又要保证算法的隐蔽性, 阈值 q_v 的恰当选取是十分重要的, 本文通过利用图像局部信息, 对阈值进行了均值自适应选取, 可以很好地实现算法设计的要求。

2.2 DCT 频域水印信息的嵌入

本文的水印信息的嵌入方法与一般的 DCT 域水印嵌入的方法相同, 不同之处是在嵌入水印之前要确定标志行和列及水印嵌入区。在对水印标志行和列进行设定后, 即可在原图像中加入水印信息流。在此, 采用 DCT 变换, 在图像的 DCT 域中嵌入水印信息。利用 DCT 变换进行水印嵌入, 是考虑到 JPEG 压缩鲁棒性的要求, 另外, DCT 变换还有一些特别的性质, 如对改变图像尺寸水印攻击, DCT 变换水印算法即有一定的抵抗能力^[6]; 而通过仅改变 DCT 系数中特别选择的系数值, 也可以在尽量保证嵌入水印后图像质量的前提下, 更多地保留水印信息。具体算法如下:

(1) 选取一个均值为零、方差为 1 的高斯噪声序列 $IV = \{x_1, x_2, \dots, x_p\}$ (p 值根据原图像大小选定) 作为水印序列, 同时也作为水印检测时的密钥序列。

- (2) 对原图像分块, 每块大小 $m \times n$ 。
- (3) 在每一份块的子图像中, 选择水印嵌入区及标志行和列。
- (4) 对水印嵌入区, 选择嵌入水印的区域并进行 8×8 分块 DCT 变换, 在得到的系数数据块中选定某些系数, 例如, 图 2 所示的 t_1, t_2 两点, 分别进行以下操作:

$$t'_i = t_i + \alpha |t_i| x_i, \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (3)$$

其中 α 为强度系数, 它的选取要兼顾算法的隐蔽性和鲁棒性^[3]。

- (5) 进行 IDCT 变换得到已嵌入水印图像。

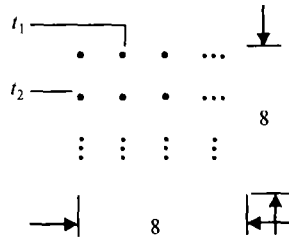


图 2 DCT 系数示意图

3 水印的检测

对于遭到剪切袭击后的图像, 由于图像的位置信息遭到破坏, 因此, 必须首先对遭剪切后的图像进行标定水印的嵌入区域的标志行和列进行检测处理, 当检测出该行和列后, 则要对剪切图像进行图像贴补处理, 得到规则化的图像, 最后进行相关运算以判断是否存在预设的水印序列。如图 3 所示。

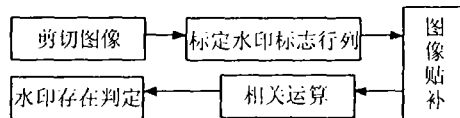


图 3 水印检测结构框图

3.1 水印标志行和列的检测

对剪切所得图像中的水印信息进行恢复, 首先要完成对水印标志行和列的检测。同样, 不失一般性, 这里, 可以设剪切所得的不规则图像为 F , 总可在 F 中选定一大大小为 $m \times n$ 的规则子图像 f , 对其进行如下处理以确定水印的标志行和列:

(1) 对列进行像素差值比较, 若 $\phi_j = \frac{2}{m} \sum_{i=1}^{m/2} |f(2i-1, j) - f(2i, j)| > T_v$, 则, $v_j = j$; 否则, $v_j = 0$; 其中, $T_v = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \phi_j$; $j = 1, 2, \dots, n$ 。如此可得到序列: $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ 。根据上节标志行和列的处理情况可见, 若起始位置正确, 则必有一 j 存在, 使 $v_j = 0$ 。

(2) 因为起始位置可能是原图像的偶数位置, 因此, 需要改变起始运算像素位置, 进行另一次比较过程。若 $\phi'_j = \frac{2}{m} \sum_{i=1}^{m/2} |f(2i, j) - f(2i+1, j)| > T_v$, 则, $v'_j = j$; 否则, $v'_j = 0$; $j = 1, 2, \dots, n$ 。其中, $T_v = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \phi'_j$; 如此可得到序列: $V' = \{v'_1, \dots, v'_n\}$ 。

(3) 根据序列元素情况, 利用其中非零元素所代表的列数, 即可判定出标志水印嵌入区的原水印标志列的位置。

(4) 同理, 可判定出原水印标志行的位置

3.2 图像贴补

由于剪切操作, 我们选取的子图像的边缘行和列 (最下一行及最右一列) 并非是水印的标志行和列, 经过上一步的检测后, 我们可检测出该标志行和列, 设为 (i, j) , 根据这一位置信息, 可对该规则图像进行“图像贴补”操作, 以得到新的图像矩阵, 以便从中提取标志水印嵌入区的标志行和列, 其过程如图 4 所示。

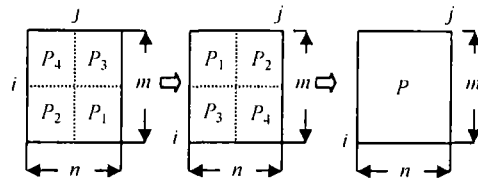


图 4 剪切图像的贴补

3.3 水印信息的检测

(1) 对经过图像贴补所得到的原水印嵌入矩阵 P 进行 8×8 分块 DCT 变换, 选出各分块中的特定系数, 得到系数序列: $t = \{t_1, t_2, \dots, t_p\}$ 。

(2) 利用密钥: $W = \{x_1, x_2, \dots, x_p\}$, 利用 $Z = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p t_i x_i$ 进行相关性运算。

(3) 根据 Z 值判定原水印的存在与否。当 W 与原水印序列相同时, Z 可取最大值。

4 仿真试验

本文利用以上所提出的算法对一幅彩色图像 (图 5(a)) 的蓝色成分进行了水印的嵌入与检测, 在进行水印信息检测时, 设定了 1000 个噪声序列: $W = \{W_1, W_2, \dots, W_{1000}\}$ 分别进行相关运算, 其中, W_{50} 为原密钥水印序列, 长度 $p=400$; 相应地, 可得到相关序列 $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_{1000}\}$, 图 5(b) 为遭剪切后的不规则图像。图 6 是检测结果, 可见, 在第 50 个输入序列时相关性达最大值, 即正确检测出 W_{50} 为原密钥水印序列。



(a) 原图像 (b) 剪切图 (放大图)
图 5 实验图像

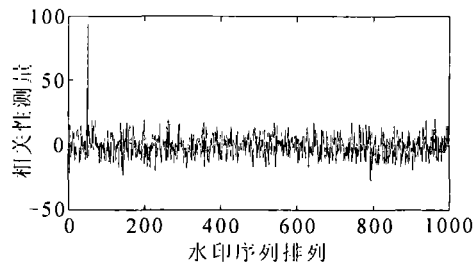


图 6 检测结果

5 结 论

频域数字水印算法是数字水印技术的一个重要的研究方向, 但各种频域算法在进行水印检测或提取时需要原始图像。本文提出了一种新的基于 DCT 变换的图像水印算法, 该法在水印嵌入操作之前对分块图像设定标志水印嵌入位置的标志行和列、在水印检测操作中通过检测该标志行和列来确定水印的嵌入位置并采用图像贴补技术来重新组合图像, 可以在缺少原始图像时检测出嵌入的水印序列, 而且可以满足对剪切等几何操作的鲁棒性。

参 考 文 献

- [1] R. G. van. Schyndel, A. Z. Tirkel, C. F. Osborne, A digital watermark, IEEE Int. Conf. on Image Processing, Austin, TX, USA, 1994, Vol.2, 86-90.
- [2] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, T. Shamoon, Secure spread spectrum watermarking for images, audio and video, Proc. of the IEEE Int. Conf. on Image Processing, Lausanne, Switzerland, 1996, Vol.3, 243-246.
- [3] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, A. Piva, A DCT-domain system for robust image watermarking, Signal Processing, 1998, 66(1), 357-372.
- [4] A. G. Bors, I. Pitas, Image watermarking using DCT domain constraints, Proc. of the IEEE Int. Conf. on Image Processing, Lausanne, Switzerland, 1996, Vol.3, 231-234.
- [5] J. K. Joseph, P. Shelby, A secure robust digital image watermark, EUROPTO Conference on electronic imaging, zurich, Switzerland, 1998, SPIE Vol.3409, 150-163.
- [6] Min-Jen Tsai, Kuang-yao Yu, Yi-Zhang Chen, Joint wavelet and spatial transformation for digital watermarking, IEEE Trans. on Consumer Electronics, 2000, 46(1), 237.

A DIGITAL WATERMARKING ALGORITHM WITH ROBUST FOR IMAGE CROPPING

Su Fulin Ma Guoqiang Wu Jiang

(Dept. of Electron. and Comm. Eng., Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract In this paper, a new algorithm of image watermark embedding and detecting based on DCT transform is presented. This method is robust to common signal and geometric distortions such as image cropping, and the embedded watermark can be detected without resorting to the uncorrupted original image. Experimental results support these claims.

Key words Digital watermarking, DCT, Security of copyright

宿富林: 男, 1964 年生, 副教授, 研究方向为成像雷达 (SAR/ISAR)、电子对抗、图像处理。
马国强: 男, 1977 年生, 硕士, 现在深圳中兴通讯公司技术中心 IC 部工作。
吴 江: 男, 1978 年生, 硕士, 现为北京邮电大学博士生。