

基于重要小波系数的数字水印算法

肖 鹏, 凌 捷

(广东工业大学 计算机学院, 广东 广州 510090)

摘要: 水印的鲁棒性是当前数字水印技术研究的重点, 它受水印嵌入方法与嵌入强度等因素的影响. 本文提出了一种基于离散小波变换(DWT)的水印算法, 在小波变换后中、低频的重要系数进行有意义水印的嵌入. 实验结果表明, 该算法具有较好的鲁棒性, 能承受较大范围的嵌入强度, 能够抵抗常见的信号处理操作、JPEG(联合图像专家组)压缩等攻击手段.

关键词: 数字水印; 小波变换; 重要系数

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2004)04-0021-05

数字水印是目前信息安全技术领域的一个新研究热点, 是一种可以在开放的网络环境下保护版权和认证来源及完整性的新技术. 数字作品的版权信息通过数字水印系统以人所不可感知的水印形式嵌入在数字作品中, 人们无法从作品表面上感知水印, 只有专用的软件才可以检测出隐藏的数字水印.

目前, 数字水印技术研究的重点集中在水印的鲁棒性上, 大多数算法都采用伪随机噪声序列来构造水印, 并采用假设检验来检测被测图像中是否含有水印, 即当从被测图像中提取的待测序列与原始水印具有较强的相关值时, 表示该被测图像中含有水印信息, 否则, 不含有水印信息. 然而在许多实际应用中, 对嵌入图像的水印信息会要求更高, 要求所嵌入的信息是可读的或可视的, 如有意义的信息(文字, 图标, 图像等), 这种有意义的水印具有随机序列水印无可比拟的优点^[1].

本文提出了一种基于离散小波变换的有意义水印算法, 在小波变换后中、低频的重要系数上进行水印的嵌入, 水印信息是一幅二值图像. 实验结果表明, 如果将水印信息一部分嵌入到低频重要系数, 一部分嵌入到中频重要系数上, 既能保证水印的鲁棒性, 而且嵌入水印对图像的质量的影响也较小, 人眼几乎感觉不出嵌入水印后图像质量的变化.

1 小波变换

通常一个信号通过小波变换后被分为高频和低频两个部分, 低频部分集中了信号的主要能量, 表示信号的逼近分量, 而高频部分表示信号的细节分量, 低频部分可以进一步被分解为下一尺度的高频和低频部分, 这个过程可以不断进行下去直到达到实际应用的标准为止. 同时, 可以通过小波变换的系数重建信号, 这个过程称为小波逆变换^[2]. 图 1 是对一幅图像进行三级小波分解的结构图. 其中 LL3 属于分解后的低频子带, 集中了图像的主要能量, 高频系列则分别是

收稿日期: 2003-07-04

基金项目: 广东省教育厅千百十优秀人才基金项目(200017)

作者简介: 肖鹏(1976), 硕士研究生, 主要研究方向为图像处理与模式识别、网络安全技术.

图像在不同尺度、不同分辨率下的细节信息.

2 水印的嵌入和提取算法

2.1 水印嵌入算法

1) 首先对宿主图像进行离散小波变换, 将其分解为 3 级 10 个子带(如图 1 所示), 这里假设宿主图像为 $512 \times 512 \times 8$ 的灰度图象, 水印图像为 32×32 的二值图象.

基于鲁棒性考虑, 希望水印图像的统计特性类似于白噪声, 即均值为 0, 所以将二值水印图像中的 0 和 1 变换为 -1 和 +1.

2) 宿主图像的子带 $LL3$ 、 $LH3$ 、 $HL3$ 、 $HH3$ 被选择为嵌入水印的部分, $LH2$ 、 $HL2$ 、 $HH2$ 为可选的. 其中, 水印图像的前 512 个像素嵌入到低频部分, 后 512 个像素嵌入到中频部分.

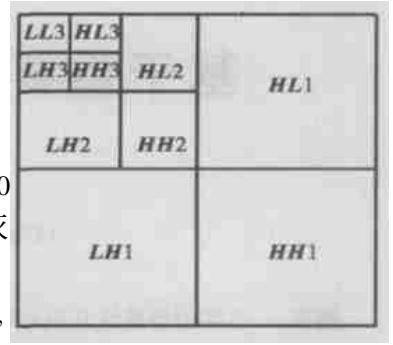


图 1 小波分解结构图

对低频部分, 采用如下处理方式.

由于低频部分是图像信号的主要部分, 携带有较多的能量. 而大的小波系数对应着更强的纹理, 水印嵌入于此具有更好的鲁棒性. 因此, 将 $LL3$ 分为 256 个 4×4 的块, 每个块内选择最大的两个系数来嵌入水印.

对中频部分, 采用如下处理方式:

首先确定阈值, 然后查找重要系数, 阈值确定方法如下所示:

对于 $n \times n$ 的 $LH3$ 小波系数, 首先求矩阵 $LH3$ 的中值得到一个一维向量 A , 然后计算其中值

$$A = \text{Median}(x_{11}, \dots, x_{1n}; \dots, x_{2n}; \dots, x_{n1}; \dots, x_{nn}),$$

$$T_1 = \text{Median}(A)$$

即可得到阈值 T_1 , 其中 $\text{Median}()$ 是 MATLAB 的求中值函数.

同理, 对 $2n \times 2n$ 的 $LH2$ 的小波系数计算可得 T_2 . 下一步, 通过下述算法查找重要系数:

$$k = 0;$$

$$S[k] = \{0\};$$

$$R[k] = \{0\};$$

For $i = 1$ to n

For $j = 1$ to n

$$\text{If } \text{abs}(x_3(i, j)) \geq T_1;$$

$$\text{If } \text{abs}(x_2(2^* i - 1, 2^* j - 1)) \geq T_2 \text{ and } \text{abs}(x_2(2^* i - 1, 2^* j)) \geq T_2 \text{ and}$$

$$\text{abs}(x_2(2^* i, 2^* j - 1)) \geq T_2 \text{ and } \text{abs}(x_2(2^* i, 2^* j)) \geq T_2;$$

$$S[k] = \{x_3(i, j)\};$$

$$k = k + 1;$$

end if

end if

end for

end for

以上 $x_2(i, j) \in LH2; x_3(i, j) \in LH3;$

同理可对 $HL3, HH3$ 进行同样的操作, 查找重要系数.

3) 水印嵌入公式如下:

$$x_3(i, j) = x_3(i, j) + \alpha * w(k),$$

其中 $x_3(i, j)$, 为中、低频重要系数, 而 $w(k)$ 为水印信息, α 为强度因子.

4) 进行小波逆变换(IDWT) 得到嵌入水印后的图像.

2.2 水印提取算法

1) 对嵌入水印的图像 X' 和原始图像 X 分别进行 3 级小波变换

$$Y = \text{DWT2}(X),$$

$$Y' = \text{DWT2}(X').$$

2) 水印信息提取

$$W = (Y' - Y) / \alpha.$$

3) 将得到的水印序列中的 -1 变为 0, 即可得到原始水印图像.

3 实验结果分析

下面是在 Matlab 中进行实验的结果: 测试图像是 $512 \times 512 \times 8$ 的标准的 Lena 图(图 2), 而水印图像是一幅 32×32 的黑白二值图(图 3).

1) 没有攻击的情况下的实验

按照上述嵌入算法, 将水印图像图 3 做选波变换后嵌入到 Lena 图, 并对水印强度因子 α 分别取 5、10、15、20 等不同的值进行测试, 测试结果如表 1 和图 4 所示.

从图 4(a) 可以看出: 取不同的强度因子嵌入水印, 即使强度因子取到 20, 对图像质量的影响仍然非常小, PSNR(峰值信噪比) 仍然有 41.2, 人眼几乎感觉不到嵌入水印之后图像的变化, 而提取出的水印清晰可见.



图 2 原始图像

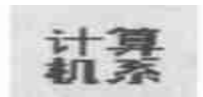


图 3 原始水印图像



(a) 不同强度因子下嵌入水印后的图像



(b) 不同强度因子下提取的水印

图 4 未受攻击的测试

表 1 不同强度因子下的峰值信噪比

强度因子 α	5	10	15	20
嵌入水印后的 PSNR	43.6	42.8	42.1	41.2

2) JPEG 压缩攻击

对嵌入水印后的图像进行 JPEG 压缩攻击, JPEG 品质因子分别取为 98, 94, 91, 87, 85, 水印嵌入提取算法测试的结果如图 5 和表 2 所示. 在不同压缩比例情况下提取出的水印如图 5 所示.

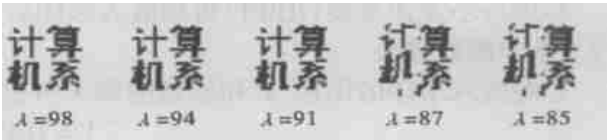


图 5 不同压缩下提取的水印

表 2 不同 JPEG 因子下的水印图像特性

JPEG 品质因子 λ	98	94	91	87	85
压缩之后的 PSNR	41.7	40.2	39.6	38.7	38.7
相关性	1	1	1	0.76	0.73

从图 5 可以看出, 将水印信息嵌入到中、低频部分时, 抵抗 JPEG 压缩的性能良好.

3) 剪切操作

在嵌入水印的图象中剪下一小块图象, 测试水印是否能被正确检测与提取, 测试结果如图 6 所示. 从图 6 可以看出, 即使经过剪切这种严重破坏原图质量的操作, 水印仍然可以清晰的提取出来.

4) 噪声攻击

在已嵌入水印的图象中添加高斯白噪声, 测试水印受损情况, 测试结果如图 7 所示. 从图 7 中可以看到加入高斯噪声后, 提取出的水印信息仍然清晰可见. 从上述攻击的实验结果可以看出, 本文算法对常见的信号处理操作具有较强的鲁棒性.



图 6 剪次次击测试

图 7 噪声攻击测试

4 结论

本文提出了一种基于小波重要系数的有意义水印嵌入算法,具有以下特点:

1) 嵌入的水印是有意义的图象水印,而不象常见方法中所采用的伪随机序列.

2) 根据人类视觉特性查找小波变换后的重要系数,在重要系数上进行水印嵌入,具有较好的鲁棒性.

3) 在以前的算法中,总是将低频系数排除在外,原因在于避免加入水印的图像出现方块效应. 本文将水印信息一部分嵌入到低频系数,一部分嵌入到中频的重要系数. 既能保证水印的鲁棒性,又不会使嵌入水印的图像出现方块效应.

仿真试验证实了我们所提出的水印算法具有较好的鲁棒性,能够抵抗常见的信号处理操作(锐化、平滑、加噪声等等)、JPEG 压缩等攻击手段,水印检测结果准确.

参考文献:

- [1] 易开祥,石教英. 数字水印技术研究进展[J]. 中国图象图形学报, 2001, 6(2) : 111-117.
- [2] 杨福生. 小波变换的工程分析与应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [3] 黄达人,刘九芬,黄继武. 小波变换域图象水印嵌入对策和算法[J]. 软件学报, 2002, 13(7) : 1290-1296.
- [4] Hsieh Ming-Shing, Tseng Din-Chang, Huang Yong-Huai. Hiding Digital Watermarks Using Multiresolution Wavelet Transform [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2001, 48(5) : 875-882.

A New Algorithm for Image Watermarking Based on the Significant Coefficients of DWT

XIAO Peng, LING Jie

(Faculty of Computer, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090 China)

Abstract: Robustness is the emphasis for image watermarking research. Embedded strategy and the watermark strength affect robustness of watermarks. In this paper, a new algorithm based on the significant coefficients of DWT is proposed. The algorithm searches the significant coefficients of DWT, and embeds the watermark in the low and medium frequency significant coefficients. The experimental results show that the algorithm is robust against JPEG compress and common image process techniques.

Key words: digital watermark; wavelet transform ; significant coefficient