

小波自适应数字图像水印算法

邢如义¹ 梅树立² 岳峻³

(1. 华北水利水电学院 计算中心,河北 邯郸 056021; 2. 北京航空航天大学 理学院,北京 100083;
3. 中国农业大学 计算机网络中心,北京 100083)

摘要 将空域算法和频域算法有机结合,利用小波变换理论,给出了一种新的小波自适应数字图像水印算法。数值实验结果表明,嵌入水印后的图像与原始图像在视觉上无区别,该方法具有很好的不可觉察性。采用 Jpeg 水印信息和检测的水印信息之间的相关系数验证算法的鲁棒性,随着图像品质数的下降,相关系数略有下降,但幅度不大,表明算法具有较强的鲁棒性。

关键词 小波; 数字水印; 鲁棒性

中图分类号 TP 391.41

文章编号 1007-4333(2004)03-0071-03

文献标识码 A

An adaptive digital image watermarking algorithm

Xing Ruyi¹, Mei Shuli², Yue Jun³

(1. Computation Center, North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Handan 056021, China;

2. School of Science, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China;

3. Computer and Network Center, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract Combining with the spatial domain algorithms, a new adaptive digital image watermarking algorithm was developed. The robustness of this algorithm was tested by the correlation coefficient between the watermarking signals embedded and ones detected in the Jpeg image. With the reducing of the image quality, the correlation coefficient decrease slowly, and this shows the robustness of the algorithm proposed in this paper is better.

Key words wavelet; digital watermarking; robustness

随着 Internet 和数字多媒体技术的发展和广泛应用,多媒体产品的版权保护问题日益突出。目前,数字水印技术被认为是解决版权问题的有效方式^[1]。国内外对数字水印技术的研究都引起了人们极大的关注^[2~4],在小波水印算法,小波基的选择^[4]等方面做了很多工作,但数字水印技术的发展还很不成熟,应用也处于初级阶段。

数字水印技术利用人的视觉和听觉系统的冗余,嵌入与版权所有者相关的秘密信息,以证实信息的版权归属。根据数字水印嵌入的区域,可以将数字水印技术分为空域和频域 2 类。空域水印容易实现且水印检测与原图像无关,但抗攻击(压缩、几何变形等)的能力较差^[2]。此外,采用这种方法时,水印信息直接迭加到像素上,会导致原图像在一定程度上失真。频域水印抗攻击的能力较强,但现有的

频域水印算法在水印恢复过程中需要原始图像做对比,因此不易处理数据量较大的原始图像。为此,笔者将现有的空域和频域水印方法相结合,并使用小波算法构造了一种新的小波水印技术。

1 离散小波变换

离散小波变换的基本思想^[5]是,通过一系列的高通滤波器和低通滤波器将原始信号分解成不同频带成分,在不同分辨率下对信号进行分析。假定 $x[n]$ 是原始信号,其频带范围为 $0 \sim \pi$ rad s^{-1} 。此时可分别用理想低通滤波器 $g[n]$ 和理想高通滤波器 $h[n]$ 将其分解成频带在 $0 \sim \pi/2$ 的低频部分和频带在 $\pi/2 \sim \pi$ 的高频部分。由于频带减半,采样率也可以减半而不会引起信息的丢失,这就是所谓的“二抽取”环节。上述滤波过程可表示为:

收稿日期: 2003-06-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10372036); 广东省自然科学基金资助项目(021197)

作者简介: 邢如义, 硕士, 主要从事数字图像处理和计算机网络技术的研究。

$$y_{\text{high}}[k] = \sum_n x[k]h[2k-n]$$

$$y_{\text{low}}[k] = \sum_n x[k]g[2k-n]$$

其中 $y_{\text{high}}[k]$ 和 $y_{\text{low}}[k]$ 分别表示滤波之后的高频部分和低频部分, 分别反映信号的概貌和细节。经“二抽取”后, 以上过程可重复进行。此过程称为离散小波变换 (DWT), $y_{\text{high}}[k]$ 和 $y_{\text{low}}[k]$ 称为离散小波变换系数。利用小波变换系数重构原始信号的过程称为逆离散小波变换 (IDWT)。与分解过程相反, 为确保信息不丢失, 在信号重构过程中需要进行“二插值”。重构过程可表示为

$$x[n] = \sum_n (y_{\text{high}}[k]g[2k-n] + y_{\text{low}}[k]h[2k-n])$$

经小波分解后的二维图像见图 1 (金字塔结构)。

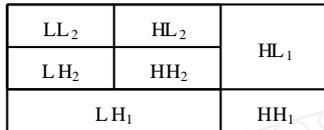


图 1 二维图像的小波分解结构

Fig. 1 The pyramid structure of wavelet decomposition to 2-d image

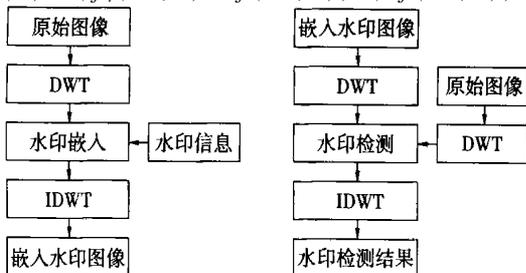
2 基于小波变换的水印嵌入/检测算法

数字图像水印算法包括水印嵌入和水印检测 2 个过程 (图 2)。首先利用小波变换将原始图像分解成具有金字塔结构的不同频带, 然后将水印信息附加在原始图像中高频部分最大的小波系数上。以 $f(m, n)$ 表示小波变换系数, 水印嵌入过程表示为

$$f(m, n) = f(m, n) + f(m, n)w(k) \quad (1)$$

其中: $w(k)$ 是水印强度; $w(k)$ 是水印信息; $f(m, n)$ 是附加水印信息后的小波变换系数。显然, 与式 (1) 对应的水印检测过程可表示为

$$w_r(k) = (f_r(m, n) - f(m, n)) / (f(m, n)) \quad (2)$$



(a) 嵌入过程 (b) 检测过程

图 2 数字水印嵌入和检测过程

Fig. 2 Watermark embedding and extracting

基于小波变换的水印算法属频域算法, 嵌入的水印信号能量可分布到空域的所有像素上, 有利于保证水印的不可见性; 视觉系统 (HVS) 的某些特性, 如频率的掩蔽特性, 可以更方便地结合到水印编码中; 此外, 频域法可与国际数据压缩标准兼容, 实现了在压缩域 (compressed domain) 内的水印编码。但现有的频域水印算法相对空域算法, 计算效率较低, 不适于处理数据量较大的图像数字信号, 为此, 本文将原始图像分为 n 个互不覆盖的子域, 对每个子域分别进行小波变换处理并嵌入水印信息, 水印检测也采用相同的策略, 以避免由于图像数据太大而无法处理的情况。修改后的水印算法步骤如下:

- 1) 取原始公开图像和水印图像, 分别存入二维数组 O 和 W ;
- 2) 原始图像 O 分割为互不覆盖的图像子域 $B_i(x, y), i = 1, 2, \dots, n$;
- 3) 分别对图像子域 $B_i(x, y)$ 进行小波变换得 $C_i(x, y), i = 1, 2, \dots, n$;
- 4) 取水印图像中的 1 个元素 $w(p, q)$, 嵌入原始图像子域的 DWT 的低频系数中;
- 5) 对嵌入水印信息后的图像子域 $C_i(x, y)$ 进行 IDWT 运算, 得 $D_i(x, y)$;
- 6) 合并 $D_i(x, y), i = 1, 2, \dots, n$, 得嵌入水印信息后的图像。

3 水印嵌入算法的鲁棒性

水印嵌入算法的鲁棒性一般通过嵌入的水印信号 X 与检测到的水印信号 X 之间的相关系数 r_{XX} 来确定。

$$r_{XX} = \frac{\text{cov}(X, X)}{\sqrt{D(X)}\sqrt{D(X)}}$$

其中 $\text{cov}(X, X)$ 是 X 和 X 的协方差, $\text{cov}(X, X) = E\{[X - E(X)][X - E(X)]\}$ 。

如果嵌入水印信息的图像没有受到攻击 (压缩, 几何变形等), 检测到的水印信号 X 和原始水印信号 X 相同, X 和 X 之间的相关系数应为 1。 X 和 X 之间的差别越大, 相关系数越小。在嵌入水印信息后的图像受到攻击后, 从中检测到的水印信号 X 和原水印信号 X 之间差别越小, 说明水印嵌入算法的鲁棒性越好, 相关系数 r_{XX} 也就越接近 1。

4 数值实验结果及讨论

选取原始图像为 256 级灰度, 512 pix × 512 pix

的标准测试图像 Lena, 采用 Daubechies 小波对 Lena 图像做 4 级分解, 为避免在小波变换中出现边界效应, 对原始图像做周期延拓。采用 Gauss 分布的随机向量 $N(-5, 5)$ 做水印信息。图 3 为水印嵌入/

检测结果。可见, 嵌入水印后的图像和原始图像在视觉上几乎没有区别, 表明该水印嵌入算法具有很好的不可见性。为验证该水印算法的鲁棒性, 采用 Jpeg 图像压缩做为攻击方法, 测试不同图像品质下

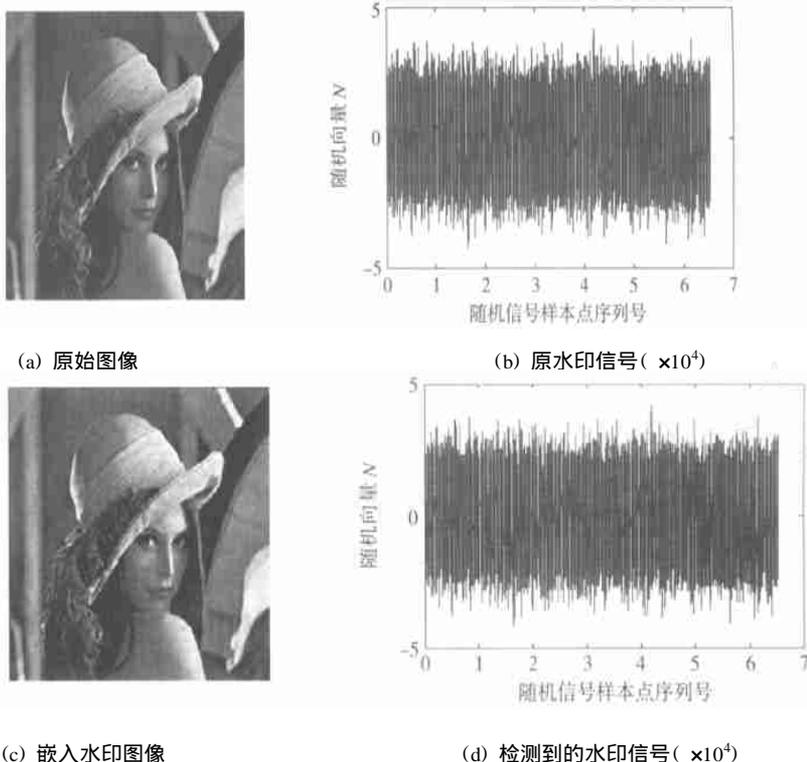


图 3 水印嵌入/检测结果

Fig. 3 The result of watermark embedding/ detecting

原始水印信息和检测到的水印信息之间的相关系数, 结果见图 4。随着图像品质因数的下降, 相关系数也有所下降, 但下降幅度不大, 说明该算法具有较强的鲁棒性。

鲁棒性和不可见性, 但距离实际应用要求还有一定的差距。此外, 本文方法只是针对灰度级的图像, 彩色图像的水印嵌入仍需要进一步研究。

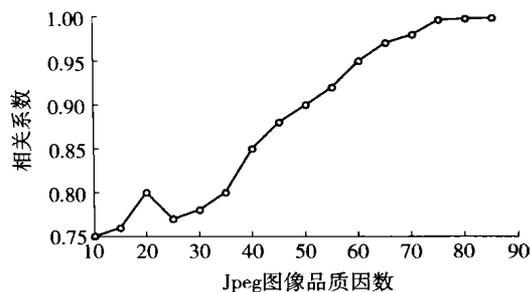


图 4 相关系数随 Jpeg 图像品质的变化

Fig. 4 The correlation coefficient with the Jpeg image quality

5 结束语

本文中的方法是在现有算法的基础上提出的一种基于小波变换的改进数字水印算法, 具有一定的

参 考 文 献

- [1] Bnder W, Gruhl D, Morimoto N, et al. Techniques for data hiding [J]. IBM System Journal, 1996, 35 (3-4): 313 ~ 335
- [2] Lee Chang-Hsing, Lee Yuan-Kuen. An adaptive digital image watermarking technique for copyright protection [J]. IEEE Transactions on consumer electronics, 1999, 45 (4): 1005 ~ 1015
- [3] 马仲华, 余松煜. 一种基于双正交小波分解的自适应数字水印技术 [J]. 上海交通大学学报, 2002, 36 (6): 792 ~ 795
- [4] 刘九芬, 黄达人, 胡军全. 数字水印中的双正交小波基 [J]. 中山大学学报 (自然科学版), 2002, 41 (4): 1 ~ 5
- [5] 程正兴. 小波分析算法与应用 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1998. 64 ~ 70