

利用图像特征点及自相似性的鲁棒数字水印方案^{*}

王 丽, 赵 耀

(北京交通大学信息研究所, 北京 100044)

摘 要: 利用图像潜在的自相似性并结合特征点提出了一个新的数字水印方案。首先提取图像最高 3 位位平面的重心确定特征三角形; 然后, 根据水印比特位的不同确定不同的寻找范围, 对特征三角形寻找与其最相似的块, 最后用最佳相似块来替换特征三角形, 从而完成水印嵌入。在检测时用同样的方法提取特征三角形, 并对特征三角形在整个图像范围内进行最佳相似块的寻找, 根据相似块所在的区域来提取水印。实验表明, 该方案对 RST (旋转、放缩以及平移)、剪切等几何攻击具有很高的鲁棒性, 对压缩、滤波和加噪声等常见的图像处理也取得了很好的效果。

关键词: 数字图像水印; 鲁棒性; RST 攻击; 自相似性; 特征点

中图分类号: TP183 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) S2-0079-04

数字水印技术是指用信号处理的方法在数字化的多媒体数据中嵌入隐蔽标记, 这种标记通常是不可见的, 可以是代表所有权的文字、产品或所有人 ID、二维图像、印章、随机序列等, 只有通过专用的检测器或阅读器才能提取。它主要运用于数字媒体的版权保护和真伪辨别、网络信息的秘密通信以及数据隐含等方面。

数字水印应该具有以下的主要特性: ①隐蔽性; ②鲁棒性; ③安全性; ④抗攻击性。

根据实现的方法, 水印算法主要可分为两类: 空间域的方法和变换域的方法。以图像水印为例, 空间域方法是将数字水印按某种算法直接叠加到图像的空间域上, 最早提出的水印算法是将信息嵌入到随机选择的图像点中最不重要的像素位上^[1]; 另外一个常用方法是利用像素的统计特征将信息嵌入像素的亮度值中^[2]。变换域方法是先将图像做某种变换 (特别是正交变换), 然后把水印嵌入到图像的变换域^[3,4]中如 DCT 域、Wavelet 域、Fourier-Mellin 域、Fourier 变换域以及分形域等。

本文主要利用图像的自相似性并结合特征点来嵌入水印信号, 属于盲检测水印方案。通常在一幅图像中, 其不同部分之间具有较高的相似性, 可以利用这种自相似性实现图像各个部分之间的相互替换, 水印可以在替换的过程中嵌入。而且由于自相似性的存在, 使得这种替换对图像的质量几乎没有影响。在水印嵌入端, 首先提取 3 个高位位平面重

心构建特征三角形, 根据水印值的不同分别在两个不同的搜寻范围内对特征三角形在均方误差 (MSE) 最小的原则下寻找其最佳相似块, 找到后用其替换特征三角形。在水印检测端, 仍然是首先提取出水印图像的特征三角形, 并对特征三角形在整个图像范围内进行相似块的寻找, 获得其最佳相似块的位置参数。由于在嵌入时是用最佳相似块替换特征三角形的, 所以在检测时寻找的最佳相似块应该是和嵌入时同样的相似块, 因此可以根据此时获得的最佳相似块的位置参数所属的范围来确定水印信号的值。

1 本文提出的水印方案

在本文的方案中, 我们使用的是 256×256 的 Lena 图像。

1.1 水印嵌入步骤

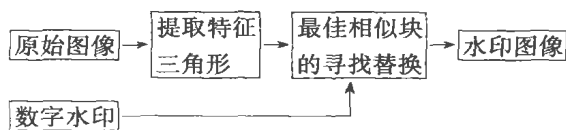


图 1 嵌入水印的过程

Fig 1 Watermark embedding process

(1) 提取特征点, 构建特征三角形

取图像的高三位的位平面, 计算 3 个位平面的重心 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 、 (x_3, y_3) , 将其连接起来组成一个三角形。由于太大的块在替代后对图像的视

^{*} 收稿日期: 2004-09-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60172062)

作者简介: 王丽 (1980 年生), 女, 硕士生; E-mail: kekahu@sohu.com

觉影响较大, 所以我们对这个三角形又进行了一次划分, 分别连接三条边的中点获得一个较小的三角形作为本方案的特征三角形。特征三角形如图 2 所示 (大三角形顶点)。

$$\bar{x} = \frac{\sum_{x,y} x \cdot f(x,y)}{\sum_{x,y} f(x,y)} \tag{1}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{x,y} y \cdot f(x,y)}{\sum_{x,y} f(x,y)} \tag{2}$$

其中, $f(x,y)$ 为图像的灰度值, x,y 分别为它的横坐标和纵坐标。

本方案中如何选择特征点是水印嵌入方案的关键。如果特征点在经过对图像有意或者无意的操作后仍能提取出来, 则水印块的信息就可以得到, 水印就能提取出来。通常在一幅图像中, 它的高位信息是它相对比较重要的信息, 在对图像进行操作时一般不易发生变化。而图像的重心也是相对稳定的, 在经过滤波、JPEG 压缩、旋转和放缩后基本保持不变, 所以我们把图像高位的位平面的重心作为特征点使用。实验表明, 高位位平面的重心在经过放缩、旋转、剪切、加噪及滤波后仍能基本正确检测出来, 特征点的位置偏差总是控制在 1~2 像素内 (见表 1)。因为在我们的方案中不严格要求同步, 所以这种偏差对水印的检测影响不大, 只是增大了特征三角形和相似块之间的 MSE。



图 2 高位位平面重心组成的三角形及中心连接而成的特征三角形

Fig. 2 The gravity triangle and the feature triangles

表 1 攻击后图像高三位位平面重心

Tab 1 The gravity centers of the 3 most significant bit planes after attacks

攻击类型	攻击后的位平面重心
未攻击	(123, 150) (119, 129) (135, 131)
中值滤波 3×3	(122, 151) (118, 129) (135, 132)
高斯滤波 3×3	(123, 151) (120, 128) (136, 130)
70% JPEG 压缩	(123, 149) (119, 130) (135, 131)
60% JPEG 压缩	(124, 149) (119, 130) (135, 131)

重心计算公式为:

去除 1 行 1 列为 (123, 149) (117, 129) (133, 130);
去除 1 行 5 列为 (121, 149) (117, 129) (133, 130);
缩小 0.5 倍为 (62, 76) (60, 64) (68, 65);
放大 1.1 倍为 (135, 165) (131, 142) (149, 144);
旋转 0.75° 并放缩到原大小为 (124, 149) (119, 129) (136, 131);
旋转 2.00° 并放缩到原大小为 (124, 149) (119, 130) (136, 131)。

(2) 对原始图像中的特征三角形在不同范围内进行相似块的寻找

将原始图像分为以位平面重心三角形的中心 (126, 137) 为圆心, 半径为 $r=52$ 的圆内圆外 2 个区域, 这样的划分利用了圆形对放缩的相对不变性。本文中圆的半径 r 取的是特征三角形中心到最高位平面重心距离的 4 倍。如果水印 w 的值为 0, 则在圆外寻找其最佳相似块, 如果 w 的值为 1, 则在圆内寻找其最佳相似块。最佳的原则取均方误差 (MSE) 最小, 记录下线性变换 ω , 并用最佳相似块 D 替换特征三角形 R , $R \approx \omega(D)$, 从而得到水印图像。

2.2 水印提取步骤

- (1) 提取测试图像的特征三角形。
- (2) 对测试图像的特征三角形在整个图像范围内进行相似块的寻找。

由于在嵌入时是用最佳相似块替换特征块的, 所以检测时寻找的最佳相似块应该是和嵌入时同样的相似块。

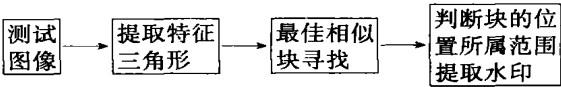


图 3 提取水印的过程

Fig. 3 Watermark detection process

- (3) 判断最佳相似块的位置提取水印。

如果最佳相似块是在圆外, 则嵌入的水印值为 0; 如果是在圆内, 则嵌入的水印值为 1。

对于任意一幅图像来说, 他们虽然没有严格的自相似性, 但是图像的某一个部分往往会与另一部分相似, 而且这种相似性是图像自身的一种性质, 在一般的图像处理和攻击下不会发生变化。图 4 给出嵌入 1 bit 时特征三角形以及其最佳相似块, 左边的是重心确定的特征三角形, 右边是其相似块。图 4a 是水印嵌入时寻找的相似块的位置, 图 4b、c、d 是经过各种攻击后进行水印提取时寻找的相似块位置。可以看出, 相似块在经过 JPEG 压缩、

小角度旋转以及放缩攻击后，所寻找的相似块和嵌入时的相似块基本是相同的，所以可以利用这种位置信息提取水印。



图 4 水印嵌入前后所寻找的最佳相似块的位置

Fig 4 The most similar triangle searched before and after watermark embedding

3 实验结果与分析

在实验中我们用的图像是大小为 256×256 的灰度图像 Lena。为了估计水印系统方案的鲁棒性，我们对其进行了在标准攻击软件 StirMark 中所包含的基本攻击。表 2 为用该水印方案的检测结果。

表 2 实验结果
Tab 2 Experimental results

(StirMark) 水印图像遭受的攻击		检测结果
小角度旋转并剪切($\pm 0.25^{\circ}$, $\pm 0.5^{\circ}$, $\pm 0.75^{\circ}$, $\pm 1.00^{\circ}$)		正确检测
旋转剪切并放缩到原图大小($\pm 0.25^{\circ}$, $\pm 0.5^{\circ}$, $\pm 0.75^{\circ}$, $\pm 1.00^{\circ}$)		正确检测
剪切(1%, 2%, 5%)		正确检测
放大缩小(0.75 倍, 0.90 倍, 1.10 倍)		正确检测
JPEG 压缩(60%, 70%, 80%, 90%)		正确检测
高斯滤波(窗口大小 3×3)		正确检测
中值滤波(窗口大小 3×3, 2×2)		正确检测
(非 StirMark) 水印图像遭受的攻击		检测结果
滤波	维纳滤波 (窗口大小 3×3)	正确检测
加噪声	加标准高斯白噪声 (0 均值, 方差低于 0.0001 的)	正确检测
	加椒盐噪声 (浓度低于 0.0005)	正确检测

通过实验可以看出，本方案能很好的抵抗 RST，但是本方案存在较为严重的虚警错误，因为无论水印嵌入与否，用本文的方法都能找到一个最佳的相似块。为了降低虚警错误，我们对该方案进行了改进，改一次嵌入为多次重复嵌入。特征三角形取重心三角形分化为的 4 个小三角形而不是只取中心三角形，如图 5。然后分别对 4 个三角形进行水印的重复嵌入；在检测时，只有全部的小特征三角形的相似块在同一个搜寻范围并且其对应的 MSE 小于阈值时，才认定有水印嵌入。在改进方案中，水印的虚警错误得到了很大的降低，同时水印的鲁棒性有所提高：放缩可以抵抗到放大为原图的 1.5 倍，JPEG 压缩可以抵抗到 30%，剪切可以抵抗到 10%，小角度旋转并剪切可以抵抗到 $\pm 2.00^{\circ}$ 。



图 5 重复嵌入的特征三角形

Fig 5 Feature triangles of watermark multi-embedding

4 结 论

本文提出了一种利用特征点的鲁棒数字图像水印方案，其主要思想是利用图像特征点作为水印嵌入与提取的参考点，结合图像的自相似性来嵌入和提取水印。实验结果表明，该方案的鲁棒性较高，不仅对放缩、剪切、旋转等具有较好的鲁棒性，而且对常见的压缩、滤波等多种图像处理操作也具有很好的鲁棒性。

参考文献:

[1] Van SCHYNDEL R G, TIRKEL A, OSBORNE C. A digital watermark[J] . IEEE Proceeding International Conference on Image Processing, Austin, Tex, IEEE Press, 1994, II: 86—90.

[2] BENDER R W, GRUHL D. Techniques for data hiding[J] . IBM System Journal, 1996, 35(3—4): 313—336.

[3] ZHAO J, KOCH E. Embedding robust labels into images for copyright protection[J] . Proceedings of the Know Right'95 Conference on Intellectual Property Rights and New Technologies, Vienna, Austria, 1995: 241—251.

[4] COX I J, KILLIAN J, LEIGHTON F T. Secure spread spectrum watermarking for multimedia[J] . IEEE Trans Image Processing, 1997, 6(12): 1673—1687.

Digital Image Watermarking Resistant to RST Attacks Based on Feature Points and Self similarities within Images

WANG Li, ZHAO Yao

(Institute of Information Science, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: A novel image watermarking scheme based on feature points and the self similarities of the images is proposed. In the embedding, the gravity centers of the 3 most significant bit planes are calculated and construct a feature triangle. According to the watermark bit, we determine the searching area and look for the most similar triangle of the feature triangle. Then the feature triangle is replaced with the matching triangle and thus finish the embedding. In the detection, the feature triangle is obtained and the algorithm search for the most similar one within the whole image. Then the watermark bit can be decided according to the matching triangle position. Experimental results show that the scheme is robust to RST attacks as well as compression, filtering, cropping and additive noise.

Key words: digital image watermarking; robustness; RST attacks; self similarity; feature point

(上接第 78 页)

A Figure Spectrum Estimate Method to Steganography Software in Images

LIU Zhen hua, ZHAI Wei dong, L ÜShu wang, CHEN Qing yuan

(State Key Laboratory of Information Security, Graduate School of USTC, Beijing 100039, China)

Abstract: A figure spectrum estimate method which is based on statistical properties in images is proposed. This method can effectively estimate the properties of steganography software in images and can be implemented conveniently. It can also be produced steady and precise results.

Key words: information hiding; steganography; steganography software; figure spectrum estimate method