

文章编号:1001-9081(2010)01-0050-04

一种模板和图像特征相结合的数字水印算法

肖迎杰,孙劲光,张云

(辽宁工程技术大学 电子与信息工程学院, 辽宁 葫芦岛 125105)

(xiaoyingjie1985@126.com)

摘要:针对目前基于图像特征的数字水印对非等比例缩放攻击鲁棒性不足的现状,提出了一种模板和图像特征相结合的水印算法。该算法首先利用模板信息纠正非等比例缩放的攻击,再用 Harris-Laplacian 检测算子从载体图像中提取出稳定的特征点,然后根据特征尺度自适应确定局部特征区域,并采用圆环量化的方法将水印信息嵌入到局部特征区域中。实验表明,新算法可以保证水印的不可见性,而且对常规信号处理和几何攻击尤其是非等比例缩放具有较好的鲁棒性。

关键词:几何攻击;Harris-Laplacian 检测算子;模板;非等比例缩放;圆环量化

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A

Digital watermarking algorithm based on template and image feature

XIAO Ying-jie, SUN Jin-guang, ZHANG Yun

(School of Electronic and Information Engineering, Liaoning Technical University, Huhudao Liaoning 125105, China)

Abstract: As to the digital watermarking based on local feature is lack of robustness to non-scaling attacks, this paper put forward a watermarking algorithm based on template and local feature. Firstly, the template information was used to correct the non-scaling attacks. Then the Harris-Laplacian detector was utilized to extract steady feature points from the host image, and the local feature regions area were determined adaptively according to the feature scale theory. Finally, the digital watermarks were embedded into the local feature regions using cirque quantization. Experimental results show that the proposed scheme is not only invisible and robust against common signals processing, but also robust against the geometric attacks, in particular, the non-scaling.

Key words: geometric attack; Harris-Laplacian detector; template; non-scaling; cirque quantization

0 引言

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的标记,这种标记通常是不可见的,只有通过专用的检测器或阅读器才能提取。衡量数字水印技术先进可靠的标准是能否抵抗各种水印攻击。然而,目前针对诸如旋转、旋转、拉伸(Rotation, Scale Translation, RST)、剪切、长宽比改变等几何攻击的研究是鲁棒水印的重点。当前针对抵抗 RST 的水印方法主要是:基于几何不变量的水印算法,基于辅助信息的水印算法,基于局部内容的水印算法。基于几何不变量的水印算法不能抵抗裁减、非等比例缩放等攻击且计算复杂性高;基于辅助信息的水印算法会减少图像的保真度和水印容量,并且易受模板估计攻击。基于局部内容即基于图像特征的水印算法能抵抗裁减等局部几何攻击,相比之下,基于图像特征的数字水印方案具有更好的鲁棒性能。

基于图像特征的数字水印算法虽然是当前研究的热点,但还存在很多不足之处。如文献[1]中算法利用了 harris 特征点的检测和三角剖分的方法增强了水印抵抗仿射变换的鲁棒性,但该水印算法对缩放攻击和大面积的裁剪鲁棒性较差;文献[2]中算法首先利用 Harris-Laplace 检测算子从载体图像中提取出稳定的特征点;然后根据特征尺度自适应确定局部特征区域,并使其尺度标准化,最后通过量化调制伪 Zernike 矩幅值将水印信息嵌入到局部特征区域中,但是该算法计算

复杂,并且对于大尺度的缩放鲁棒性较差;文献[3]中算法利用基于尺度空间理论的特征点检测方法,以特征尺度及特征点相对位置作为参考,生成一种几何变换自适应图形作为水印嵌入的区域,达到抗几何攻击的目的,该算法增强了水印对缩放攻击的鲁棒性,但对于非等比例缩放攻击的鲁棒性依然不足。

鉴于以上原因,本文采用模板和图像特征相结合的方法,当图像遭受到非等比例缩放攻击时,通过参考模板来恢复图像,与原图像达到同步。首先嵌入抗击非等比例缩放的网格,在采用 Harris-Laplacian 算子提取较稳定的特征点,结合多尺度空间理论,构造尺度不变区域,采用圆环嵌入的方法嵌入水印信息。

1 参考模板

基于参考模板的水印算法核心思想是试图在检测之前先确定图像可能遭受的几何变换攻击的类型及程度,再反变换回原始状态进行检测。为此,在嵌入水印的同时,嵌入一个伴随的参考模板,这个伴随模板只起标识作用,本身不含任何信息量。

本文针对非等比例缩放攻击提出在小波域的低频子带中嵌入网格模板,求低频子带小波系数的每个像素点的差分值,这里定义每一行后一个像素点像素值减去前一个像素点的像素值作为前一个点的差分值。求整幅图像的每个像素点的差

收稿日期:2009-07-24;修回日期:2009-09-10。 基金项目:辽宁省高校重点实验室基金资助项目(2008s115)。

作者简介:肖迎杰(1985-),女,河北衡水人,硕士研究生,主要研究方向:数字水印; 孙劲光(1962-),女,辽宁阜新,教授,博士,主要研究方向:图形图像、数据挖掘; 张云(1983-),男,河南新乡人,硕士研究生,主要研究方向:现代通信理论。

分值,这样就得到一个大小比载体图像少一列的差分矩阵,并求出这个差分矩阵的最大值 M 。这里设定网格大小为固定值 $N \times N$,所以调整载体图像中 $(N \times i, N \times j)$ 和 $(N \times i + 1, N \times j)(i, j = 1, 2, 3, \dots)$ 点的像素值,使得 $(N \times i, N \times j)(i, j = 1, 2, 3, \dots)$ 点的差分值为 M 。具体的调整方法是:对于某一个像素点,先减小该点的像素值,增大其差分值,如果该点的像素值减到零,还是不能使其差分值为 M ,再增加该点后一个点的像素值,直到该点的差分值为 M 。然后在进行反小波变换,这样在载体图像的小波系数中,就形成一个以这些特征点(差分值最大)为支点,相邻特征点之间距离为 N 的矩形网格如图1所示。

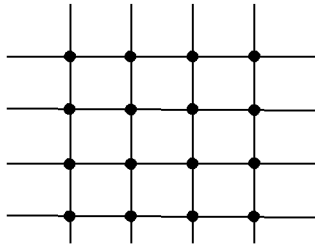


图1 网格信息

网格间距 N 的选取有两个指标:一个是图像的峰值信噪比(Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR)值;另一个是当图像受到缩小和剪切攻击时,应保证可以提取到足够的点数以较准确地提取网格模板,如图2所示。

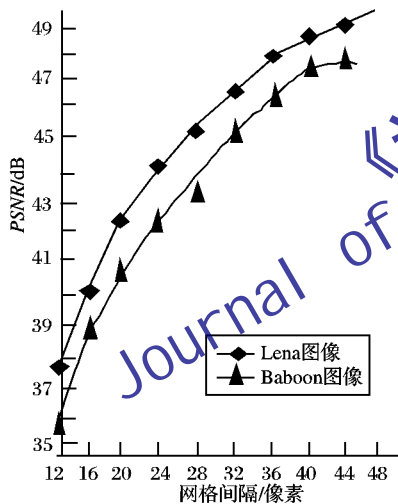


图2 图像 PSNR 值和网格间距的关系

以 512×512 的 Lena, Baboon 图像为例,可以看出网格间距的取值对于图像的 PSNR 值有较大的影响,网格间距越大, PSNR 值越高,但同时网格模板对于缩放和剪切攻击的鲁棒性就会降低。因此本文中选取网格间距为 32,即保证了图像的 PSNR 值在 45 dB 以上,又在较大程度上提高了网格模板的鲁棒性。

当图像遭到几何攻击时,所提取的网格的长宽间距将发生改变,通过和原始的网格模板进行比较,可判断出图像遭受几何攻击的类型,如果发生的是非等比例缩放攻击,则通过提取的网格的长宽间距来估计图像受到的非等比例缩放的尺度如表1所示(以 512×512 的 Lena 图像为例),然后对待检图像进行反操作,以求得和原图像同步。

因为网格模板中的关键点个数比较多,当图像受到攻击时即使一部分数据发生了改变,也可以较准确地提取出网格模板,并且该模板添加在小波域的最低频子带中,选择在小波域可以抵御在空域修改像素值去掉模板的攻击,并且最低频子带

是原图像的逼近,原图像的主要内容都体现在这个子带的数据中,该特性能保证图像在遭到常规攻击诸如 JPEG 压缩、滤波、噪声、改变亮度等攻击时,仍能较好地提取网格模板。

表1 非等比例缩放图像缩放尺度的估计实验

| 缩放倍数 | | 检测到的网格间距 (原网格为 32×32) | | 估计缩放尺度 | |
|------|-----|------------------------------------|----|--------|--------|
| | | 长 | 宽 | X | Y |
| 0.8 | 0.6 | 25 | 19 | 0.7813 | 0.5938 |
| 0.8 | 1.0 | 25 | 32 | 0.7813 | 1.0000 |
| 1.2 | 1.0 | 39 | 32 | 1.2188 | 1.0000 |
| 1.0 | 2.0 | 32 | 64 | 1.0000 | 2.0000 |
| 1.5 | 2.5 | 48 | 82 | 1.5000 | 2.5625 |
| 0.6 | 1.4 | 19 | 49 | 0.5938 | 1.5313 |

2 特征点

现在基于图像特征的数字水印所采用的特征点的方法一般有两种, SIFT 特征点和 Harris-Laplacian 特征点。SIFT 特征点用于图像匹配较多,该方法对每一个提取的特征点都有 128 的向量来描述,计算代价相对较高。为了降低计算的复杂度并且本文不需要进行特征点的匹配,采用 Harris-Laplacian 算法来提取特征点,该算法是 Mikolajczyk 提出的一种基于尺度空间的角点检测器^[4]。

2.1 Harris-Laplacian 算子

Harris 算法使用特定的公式直接对图像上的每一点进行计算,并根据检测每个点的计算结果是否满足一定条件来判断点是否为特征点。该方法提取的特征点具有旋转不变的特性,但对于尺度变换比较敏感。Harris-Laplacian 是在 Harris 角点检测算法的基础上,利用尺度空间理论,寻找多尺度空间的最大响应点。首先建立 Harris 角点的尺度空间表示。在某一个尺度上定义图像的尺度空间二阶矩,寻找在该尺度下局部极大并且高于阈值的特征点,用迭代算法检测每个尺度下的候选点的 Laplacian 算子是否获得最大值,可获得多尺度上的特征点,以及该特征点的特征尺度 σ , 详细的算法过程见文献[3]。

Harris-Laplacian 角点不但能抵抗加噪、压缩、滤波、旋转缩放等常规图像处理等,而且在大尺度缩放的情况下依然有良好的稳健性。Harris-Laplacian 角点具有缩放变换前后特征尺度之比正好等于缩放比例这一特性^[3],因此可以用特征点及其特征尺度来定义嵌入的区域,使水印算法具有抗几何攻击的能力。

2.2 尺度不变区域的选择

以特征点为圆心, $k\sigma$ 为半径的一个圆盘表示每个特征点的嵌入范围, k 为常数(5 ~ 10), σ 为该特征点的特征尺度。丢弃尺度 σ 过大或者过小的特征点,并且当特征点的嵌入范围发生重合时丢弃 σ 较小的特征点,这样就保留了多尺度上稳定性最好的特征点,并且以代表强度范围的圆盘为基础,确定几何不变区域。图3是以 512×512 的 Lena 图像为例提取的 Harris-Laplacian 特征点和以该特征点为圆心构建的尺度不变区域;(a)表示的是提取的 Harris-Laplacian 特征点;(b)表示筛选前的尺度不变区域;(c)表示的筛选以后的不变区域。该圆盘均以 $k\sigma$ 为半径 $k = 6$ 。

从图4可得,从原始图像和受攻击图像中提取的局部区域在图像受到压缩、噪声攻击及旋转、缩放等几何攻击时能提取到相同的特征点,并且以该特征尺度定位的圆盘能保持内

容不变,因此若将水印嵌入到上述圆形区域内,则水印信号对上述攻击具有鲁棒性。

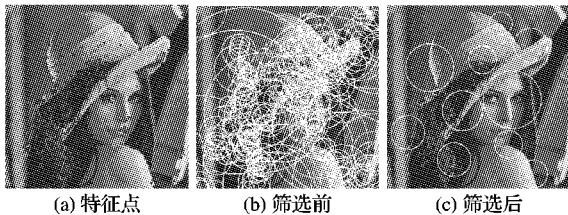


图3 本文算法提取的特征点和尺度不变区域

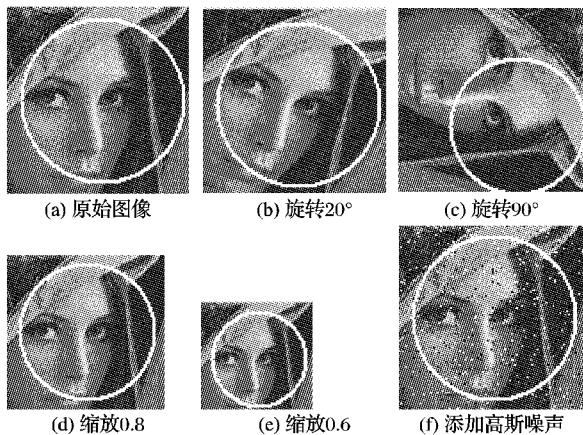


图4 利用本文算法提取的局部尺度不变区域

3 水印方案

3.1 抗非等比例缩放的网格

首先对载体图像进行小波变换,选择它的低频子带即LL1子带,对该子带的小波系数按照上面参考模板中的叙述进行修改,以添加抵抗非等比例缩放攻击的网格模板。

3.2 提取特征点

采用2.1节所讲述的Harris-Laplacian算子来提取特征点,并建立尺度不变区域。

3.3 水印嵌入

水印将重复地嵌入到这些圆形的尺度不变区域中。设待嵌入水印序列为 $w = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_N\}$ 具体嵌入时,首先将每个圆形区域分割成同心圆环区域,圆环个数由水印位数 N 确定。

具体操作时,首先将坐标中心移至圆心处,并将像素坐标 (x, y) 变换为极坐标:其中 ρ 表示极坐标半径, θ 表示角度。则从内至外第 i 个圆环区域 CR_i 可以表示为:

$$CR_i = \left\{ (x, y) \mid (i-1) \cdot \frac{R}{N} \leq \rho_{x,y} < i \cdot \frac{R}{N} \right\} \quad (1)$$

其中 $i = 1, 2, 3, \dots, N$ 。

接着根据所要嵌入的水印位利用奇偶量化由内至外对每一个圆环内的像素进行修改,将圆环修改为“奇”圆环或“偶”圆环。具体操作时,先利用量化函数式(2)给每一个像素 $I(x, y)$ 赋符号“0”或“1”:

$$Q(x, y) = \begin{cases} 0, & k\Delta \leq I(x, y) < (k+1)\Delta, k = 0, \pm 2, \pm 4, \dots \\ 1, & k\Delta \leq I(x, y) < (k+1)\Delta, k = \pm 1, \pm 3, \pm 5, \dots \end{cases} \quad (2)$$

其中 Δ 表示量化步长。

在对像素进行量化修改时,为了增强鲁棒性,应使得修改后的像素值处于相应的量化区间的中间值。因此,本文对像素的修改按照下面的规则式(3)进行:

$$I^*(x, y) =$$

$$\begin{cases} r \cdot \Delta + 0.5\Delta, & Q(x, y) = w_i \\ r + 1.5\Delta, & Q(x, y) \neq w_i, \text{且 } r \cdot \Delta > 0.5\Delta \\ r - 1.5\Delta, & Q(x, y) \neq w_i, \text{且 } r \cdot \Delta \leq 0.5\Delta \end{cases} \quad (3)$$

其中 $r = \left\lfloor \frac{I(x, y)}{\Delta} \right\rfloor$ 。对每一个圆形区域进行上述嵌入操作,便得到整幅加水印图像。

3.4 水印提取

3.4.1 网格的提取和几何校正

对整个待测图像进行一级小波变换,用前面所用的方法求出最低频子带的每一个小波系数的差分值,形成一个差分矩阵,差分值为 M 的点也形成一个网格。在这个网格中,有些差分值为 M 的点分布可能是不规则的,会多出一些点,或是会丢失一些点,利用优化方法以及填补方法求出这个矩形网格,并求出这个矩形网格支点间的水平距离 m 和垂直距离 n 。求出水平缩放比率 a 和垂直缩放比率 d 的值, $a = m/N$, $d = n/N$ 。求出参数,若 $a \neq b$ (非等比例缩放)则按照常规图像缩放的方法恢复图像,否则不做任何处理。

3.4.2 水印的提取

首先检测Harris-Laplacian特征点,对每一个同步到的圆形区域,进行与嵌入过程相同的圆环区域分割,然后对每一个圆环区域内的像素利用式(7)计算量化函数值,并记函数值为0的像素个数为 $NUM_{i,0}$,函数值为1的像素个数为 $NUM_{i,1}$ 。通过式(4)提取水印:

$$w' = \begin{cases} 0, & NUM_{i,0} > NUM_{i,1} \\ 1, & NUM_{i,1} > NUM_{i,0} \end{cases} \quad (4)$$

最后计算原始水印 w 和提取水印 w' 的归一化相关函数(Normalized Correlation, NC):

$$NC = \frac{\sum_{i=1}^N w(i)w'(i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N w^2(i)} \sqrt{\sum_{i=1}^N w'^2(i)}} \quad (5)$$

由于每一个圆形区域内都可以提取一个水印信号,最后取所有NC值中最大的一个作为最后的水印检测结果。

4 实验结果

本文采用与文献[3]同样大小 512×512 的标准灰度测试图像Lena、Baboon为实验图像,进行仿真实验。

1) 透明性和相关性的检测。

以密钥 K 为种子,产生一个随机序列,然后将其二值化,取其中一段作为水印 W ,本文的算法中,水印长度为64 bit,将 W 嵌入图像,从图5可以看出原图像与加水印图像在视觉上并没有明显的差别,加入水印后的图像与原始图像的峰值信噪比(PSNR)分别为43.64 dB、41.63 dB(本文中采用的量化步长 $\Delta = 3$),明显高于文献[3]中的39.81 dB、40.63 dB。

为了验证水印的相关性,实验中检测了200个不同的水印,其中第100个水印是被嵌入的水印。仿真结果如图6所示。响应曲线只有在第100的位置才有明显峰值,显然检测器对真实水印的响应远远高于对错误水印的响应。

2) 可靠性和鲁棒性的检测。

本文采用接受者操作曲线(Receiver Operating Characteristic, ROC)曲线分析算法的可靠性。ROC曲线纵坐标定义为TPR(True Positive Ratio),表示正例测试的命中率,横坐标定义为FPR(False Positive Ratio),表示错例的错误报

警率。样本空间采用上述两幅灰度图像,攻击方法采用常见的 JPEG 压缩,压缩因子从 25 到 100(间隔为 3),通过不同的种子生成水印,构建 100 幅有水印的图像和 50 幅没有水印的图像,提取水印的 NC 值大于等于 T (从 0.75 到 1 取值)的判断为含有水印。绘制的 ROC 曲线如图 7 所示,可以看出 ROC 曲线较接近左上角,由 ROC 曲线的特性可知,本文算法有着较高的安全性和可靠性。本文算法采用了嵌入多个水印和统计提取水印位的方法,使得本文算法较一般的空域算法可靠性要高的多,和频域算法相比也有着较好的可靠性。

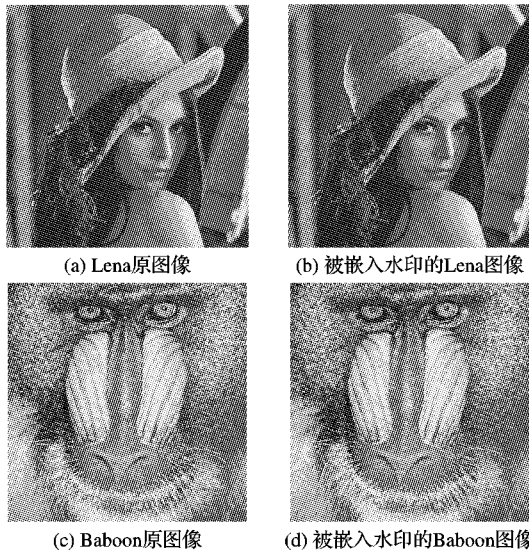


图5 原图像和嵌入水印的图像

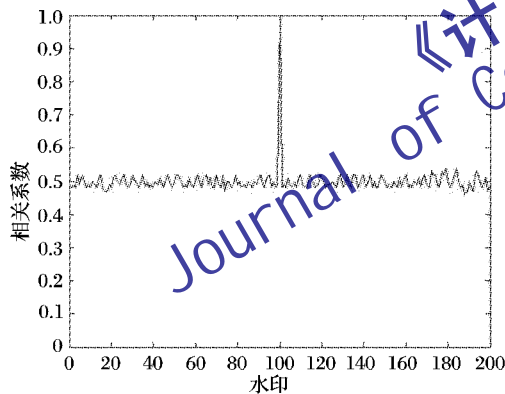


图6 相关性检测的统计

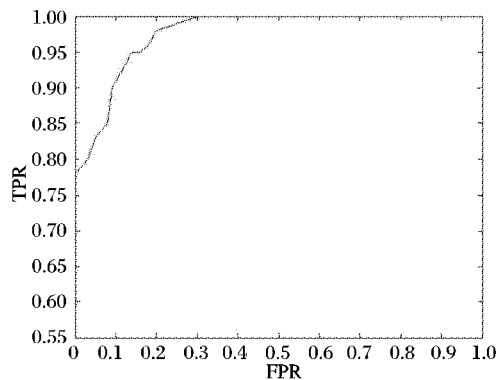


图7 ROC 曲线

水印算法鲁棒性的检测包括对几何攻击和常规信号处理的鲁棒性检测。常见的几何攻击包括旋转、缩放、平移、剪切等,本文对含水印图像进行上述各种攻击。表 2 是本文算法和文献[3]算法在抗几何攻击方面的测试结果。

表2 水印图像受几何攻击后提取水印的相似度

| 攻击类型 | 攻击参数 | Lena | | Baboon | |
|------------|---------|---------|-------|---------|-------|
| | | 文献[3]方法 | 本文方法 | 文献[3]方法 | 本文方法 |
| XYShearing | 0.5 | 0.941 | 1.000 | 0.962 | 1.000 |
| | 1.2:1 | 0.911 | 1.000 | 0.903 | 1.000 |
| 纵横比改变 | 0.8:1 | 0.906 | 0.969 | 0.895 | 0.938 |
| | 1:2 | 失败 | 1.000 | 失败 | 1.000 |
| | 0.6:1.4 | 未提及 | 1.000 | 未提及 | 1.000 |
| 缩放 | 0.8 | 0.936 | 0.938 | 0.951 | 0.938 |
| | 1.3 | 0.891 | 1.000 | 0.935 | 1.000 |
| 旋转 | 15° | 0.935 | 0.938 | 0.928 | 0.938 |
| | 30° | 0.924 | 0.875 | 0.943 | 0.938 |
| | 90° | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 剪切 | 15% | 0.964 | 1.000 | 0.935 | 1.000 |
| | 24% | 0.903 | 1.000 | 0.925 | 1.000 |

另在实验中对含水印图像进行了常规信号处理攻击,如 JPEG 压缩、中值滤波和高斯噪声。提取水印的相似度如表 3 所示。

表3 水印图像受常规信号处理后提取水印的相似度

| 所受到的攻击 | Lena | Baboon |
|-------------|--------|--------|
| 20% JPEG 压缩 | 1 | 1 |
| 50% JPEG 压缩 | 1 | 0.969 |
| 70% JPEG 压缩 | 0.8750 | 0.781 |
| 3×3 中值滤波 | 1 | 1 |
| 添加高斯噪声 | 0.9375 | 0.875 |
| 添加椒盐噪声 | 1 | 0.938 |

并且针对本文算法中提出的网格模板在受到非等比例缩放攻击时能否正确检测,能否实现图像同步进行了实验,实验结果如表 4 所示。

表4 水印图像受非等比例缩放攻击时模板的作用结果

| 缩放 | x | y | Lena | | Baboon | |
|-----|-----|---|-------|-------|--------|-------|
| | | | 模板矫正前 | 模板矫正后 | 模板矫正前 | 模板矫正后 |
| 0.8 | 0.6 | | 0.875 | 0.938 | 0.781 | 0.875 |
| | | | | | | |
| 0.8 | 1.0 | | 0.938 | 0.969 | 0.781 | 0.938 |
| | | | | | | |
| 1.2 | 1.0 | | 1.000 | 1.000 | 0.875 | 1.000 |
| | | | | | | |
| 1.0 | 2.0 | | 1.000 | 1.000 | 0.875 | 1.000 |
| | | | | | | |
| 1.5 | 2.5 | | 0.875 | 1.000 | 0.781 | 1.000 |
| | | | | | | |
| 0.6 | 1.4 | | 0.750 | 1.000 | 0.750 | 1.000 |
| | | | | | | |

由以上实验结果可以看出,本文算法能同时抵抗常规的信号处理攻击和 RST、局部剪切等几何攻击,并且对非等比例缩放攻击具有较好的鲁棒性。1) 抵抗平移和剪切攻击是因为水印的嵌入是在图像的局部区域进行的,只要保留一个特征点的局部区域就能成功的提取水印;2) 抵抗缩放攻击是因为水印的嵌入区域具有缩放不变性,即当图像发生缩放时局部区域包含的图像内容是相同的;3) 能抵抗非等比例缩放是因为有网格模板可以对其进行纠正;4) 能抵抗旋转攻击是因为本文在水印嵌入时选取了圆环形的区域,其本身具有旋转不变性。5) JPEG 压缩和添加噪声会对本文算法造成较大的影响,但水印的相似度都足以判断水印存在。本身噪声多的图片,水印的鲁棒性相较于平滑图像稍差一些。

5 结语

本算法的创新之处在于将模板和图像特征相结合,用模
(下转第 57 页)

的分割结果。为了更好地克服粒子群算法容易出现过早收敛的问题,下一步可以在惯性因子 ω 的改进方面做一定研究。

表 1 本文算法与其他算法进行图像分割性能比较

| 图像 | 算法 | 阈值 | 运行时间/s | 均匀性 |
|----------------------|-------|----------|--------|--------|
| 256 × 256 Lena 图像 | PSO | 134.6105 | 0.075 | 0.9764 |
| | GMPSO | 130.8517 | 0.078 | 0.9773 |
| | WMPSO | 122.6450 | 0.079 | 0.9787 |
| 256 × 256 Rice 图像 | PSO | 102.1927 | 0.078 | 0.9845 |
| | GMPSO | 102.3237 | 0.078 | 0.9845 |
| | WMPSO | 107.9602 | 0.109 | 0.9858 |
| 512 × 512 煤尘图像 | PSO | 110.4098 | 0.098 | 0.9670 |
| | GMPSO | 108.3135 | 0.125 | 0.9782 |
| | WMPSO | 105.2461 | 0.181 | 0.9926 |

参考文献:

- [1] PAL S K, KING R A, HASHIM A A. Automatic graylevel thresholding through index of fuzziness and entropy[J]. Pattern Recognition Letters, 1983, 1(3): 141 – 146.
- [2] MURTHY C A, PAL S K. Histogram thresholding by minimizing graylevel fuzziness[J]. Information Sciences, 1992, 60(1/2): 107 – 135.
- [3] MURTHY C A, PAL S K. Bound for membership function: A correlation based approach[J]. Information Sciences, 1992, 65(1/2): 143 – 171.
- [4] ZHAO B, GUO C X, CAO Y J. A multiagent-based particle swarm optimization approach for optimal reactive power dispatch[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2005, 20(2): 1070 – 1078.
- [5] TING T O, RAO M V C, LOO C K. A novel approach for unit commitment problem via an effective hybrid particle swarm optimization[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2006, 21(1): 411 – 418.
- [6] COELHO D S, HERRERA L, BRUNO M H. Fuzzy identification based on a chaotic particle swarm optimization approach applied to a nonlinear yo-yo motion system[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2007, 54(6): 3234 – 3245.
- [7] WU JIEKANG, ZHU JIANQUAN, CHEN GUOTONG, *et al.* A hybrid method for optimal scheduling of short-term electric power generation of cascaded hydroelectric plants based on particle swarm optimization and chance-constrained programming[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2008, 23(4): 1570 – 1579.
- [8] LIN C J, CHEN C H, LIN C T. A hybrid of cooperative particle swarm optimization and cultural algorithm for neural fuzzy networks and its prediction applications[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 2009, 39(1): 55 – 68.
- [9] YANG XUE – MING, YUAN JIN – SHA, YUAN JIANG – YE, *et al.* A modified particle swarm optimizer with dynamic adaptation[J]. Applied Mathematics and Computation, 2007, 189(2): 1205 – 1213.
- [10] TRIPATHI P K, BANDYOPADHYAY S, PAL S K. Multi-objective particle swarm optimization with time variant inertia and acceleration coefficients[J]. Information Sciences, 2007, 177(22): 5033 – 5049.
- [11] ARUMUGAM M S, RAO M V C. On the improved performances of the particle swarm optimization algorithms with adaptive parameters, cross-over operators and root mean square (RMS) variants for computing optimal control of a class of hybrid systems[J]. Applied Soft Computing, 2008, 8(1): 324 – 336.
- [12] JIAO BIN, LIAN ZHIGANG, GU XINGSHENG. A dynamic inertia weight particle swarm optimization algorithm[J]. Chaos, Solitons and Fractals, 2008, 37(3): 698 – 705.
- [13] NATSUKI H, HITOSHI I. Particle swarm optimization with Gaussian mutation[C]// Proceedings of the IEEE Conference on Swarm Intelligence Symposium. New York: IEEE, 2003: 72 – 89.
- [14] CHEN P H. Pumped-storage scheduling using evolutionary particle swarm optimization[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2008, 23(1): 294 – 301.
- [15] LI LINYI, LI DEREN. Fuzzy entropy image segmentation based on particle swarm optimization[J]. Progress in Natural Science, 2008, 18(9): 1167 – 1171.
- [16] LING C J, CHEN C H, LIN C T, *et al.* Hybrid particle swarm optimization with wavelet mutation and its industrial applications[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 2008, 38(3): 743 – 763.
- [17] TAO W B, TIAN, J W, LIU J. Image segmentation by three-level thresholding based on maximum fuzzy entropy and genetic algorithm[J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(16): 3069 – 3078.
- [18] SAHOO P K, SOLTANI S, WONG A K C, *et al.* A survey of thresholding techniques[J]. Computer Vision and Graphics Image Processing, 1998, 41(2): 233 – 260.

(上接第 53 页)

板的灵活性来弥补基于图像特征的水印算法的缺点,在对其他攻击鲁棒的前提下,对非等比例缩放有较高的鲁棒性。本算法对于一些组合攻击也有比较好的鲁棒性,比方旋转加剪切。但是对于旋转和非等比例缩放的组合攻击鲁棒性不足,是因为我们嵌入的网格模板只能抵抗缩放攻击,当出现旋转攻击时,该网格模板不能正确的被检测,如果再做非等比例的缩放攻击,这时就无法对待处理图像做矫正,故水印的损失较大。这也是本算法下一步研究的重点。

参考文献:

- [1] BAS P, CHASSERY J M, MACQ B. Geometrically invariant watermarking using feature points[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2002, 11(8): 1014 – 1028.
- [2] 王向阳, 侯丽敏, 杨红颖. 基于图像特征点与伪 Zernike 矩的鲁棒水印算法研究[J]. 计算机研究与发展, 2008, 45(5): 772 – 778.
- [3] 陈灿, 胡峰松, 周海燕. 基于尺度不变特征点的抗几何攻击水印算法[J]. 计算机工程, 2007, 33(11): 157 – 159.
- [4] MIKOLAJCZYK K, SCHMID C. Indexing based on scale invariant interest points[C]// Proceedings of the International Conference on Computer Vision. New York: IEEE, 2001: 525 – 531.
- [5] LICKS V, JORDAN R. Geometric attacks on image watermarking systems[J]. IEEE Multimedia, 2005, 12(3): 68 – 78.
- [6] 李雷达, 郭宝龙, 表金峰. 基于奇偶量化的空域抗几何攻击图像水印算法[J]. 电子与信息学报, 2009, 31(1): 134 – 138.
- [7] 张杰勇, 刘守义, 尹忠海. 一种抗几何攻击盲数字水印方法[J]. 计算机应用, 2008, 28(9): 2049 – 2051.
- [8] 王淑琴, 耿瑞平. 基于 ROC 曲线的水印算法可靠性分析[J]. 微计算机信息, 2008, 4(3): 147 – 149.
- [9] 刘九芬, 黄达人, 黄继武. 图像水印抗几何攻击研究综述[J]. 电子与信息学报, 2004, 26(9): 1495 – 1503.
- [10] SEO J S, YOO C D. Localized image watermarking based on feature points of scale-space representation[J]. Pattern Recognition, 2004, 37(7): 1365 – 1375.