

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410025034.2

[51] Int. Cl.

G06T 1/00 (2006.01)

G06T 7/60 (2006.01)

[45] 授权公告日 2006 年 9 月 20 日

[11] 授权公告号 CN 1276387C

[22] 申请日 2004. 6. 10

[21] 申请号 200410025034. 2

[71] 专利权人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路 800 号

[72] 发明人 何 晨 王宏霞 蒋铃鸽 丁 科

审查员 黄 捷

[74] 专利代理机构 上海交达专利事务所

代理人 毛翠莹

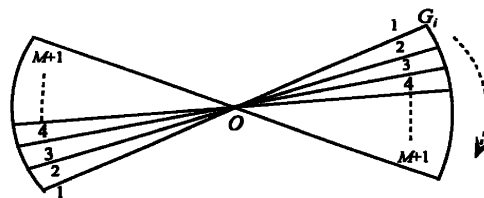
权利要求书 1 页 说明书 9 页 附图 3 页

## [54] 发明名称

基于图像连通性的自适应同步水印方法

## [57] 摘要

本发明提出一种基于图像连通性的自适应同步水印方法，原始灰度图像首先转化成二值图像，根据图像的连通性得到连通对象，并将这些连通对象的坐标映射到灰度图像中，选择较大的连通对象的重心作为水印嵌入的参考点，利用图像的连通性具有拓扑不变性，及图像的重心比较稳定，来保证水印的自适应同步。由于用于水印嵌入的参考点稳定性高，使得不仅在常见图像处理下，水印的鲁棒性较强，而且对全局和局部几何攻击均呈现了较强的鲁棒性。



1、一种基于图像连通性的自适应同步水印方法，其特征在于包括如下具体步骤：

- 1) 水印嵌入过程：首先将原始灰度图像采用二次曲线的方法作解析变换，将经过解析变换后的图像转化成二值图像，然后根据 4-连通或 8-连通模式得到图像的连通对象，并根据连通对象所包含的像素数目将它们从大到小排序，为了获得稳定的连通对象的重心，选择最大的  $P$  个连通对象计算其重心，并作为水印嵌入的参考点，整个图像的中心与每个参考点的连线作为起始射线，此起始射线每旋转一个角度将形成一个扇形，这个扇形旋转  $180^\circ$  形成原扇形的反扇形，同样的水印信息就嵌在每个扇形及其反扇形中，经过中心点，用  $M-1$  条线均等地把每个扇形分为  $M$  等份，为了达到水印同步的目的，从起始射线开始，均等地在每条线上嵌入  $N$  个水印比特，在每个水印嵌入点，用奇偶量化的方法隐藏每个水印比特；
- 2) 水印提取过程：首先对含水印图像进行解析变换，然后用跟水印嵌入过程同样的方法将灰度图像转化成二值图像，并根据与水印嵌入过程相同的连通模式得到连通对象，根据连通对象所包含的像素数目将它们从大到小排序，取最大的  $P$  个连通对象计算其重心，得到用于水印嵌入的参考点，跟水印嵌入过程一样，利用这些参考点形成嵌有水印信息的扇形，此扇形旋转  $180^\circ$  形成其反扇形，在各个扇形及其反扇形中找到水印的嵌入点，根据灰度量值在每个水印嵌入点提取水印比特。

## 基于图像连通性的自适应同步水印方法

### 技术领域

本发明涉及一种基于图像连通性的自适应同步水印方法，是一种适用于数字图像产品的版权保护，提供侵权证明的鲁棒性图像水印方法。

### 背景技术

目前，在数字水印研究领域中，鲁棒水印系统是人们研究最广泛的一种水印，这是与实际应用中版权保护的需要分不开的。目前，在鲁棒水印的研究中，从公开发表的有关文献来看，许多鲁棒性水印方法在抵抗高斯噪声、JPEG 压缩及滤波等类噪声信号处理攻击时，显示了其优越的鲁棒性，但在抗诸如旋转、缩放、平移、剪切、局部扭曲等几何攻击方面却无能为力，其原因是水印隐藏时需要依靠额外的非同步信息。如果在几何攻击下，所设计的数字水印系统不能检测或提取出水印，则这个水印系统的使用范围将受到限制，并且不能称之为一个性能完善的水印系统。因此，研究既能抗类噪声攻击，又能抗几何攻击的性能良好的实用性水印系统既是目前实际应用中的需要，又是水印研究的重要发展方向和难点。随着数字水印技术的发展，人们期待找到一种算法既能抗类噪声攻击，又能抗几何攻击。在最近几年的数字水印研究工作中，也出现了不少能够抗几何攻击的鲁棒水印，如文献“Geometrically Invariant Watermarking Based on Gravity Center,” (K. Ding, C. He, L. G Jiang, H. X. Wang, IEEE Trans. Fundamental, vol.E87-A, no.2 pp.513-515, Feb.2004.) 提出了一种基于重心的抗几何攻击鲁棒水印，虽然含水印图像在任何旋转角度和缩放因子下仍显示了很强的鲁棒性，但用于水印嵌入的参考点是基于整个图像的重心，因此对局部几何扭曲和剪切等操作，该水印方案失效，而其它文献所提出的抗几何攻击的鲁棒水印，如文献“A feature-based robust digital image watermarking scheme,” (C. W. Tang and H. M. Hang, IEEE Trans. Signal Processing, vol.51, no.4, pp.950-959, April 2003.) 提出的基于特征点的水印方案，往往因为用于水印嵌入的参考点（特征

点)不是很稳定,造成水印鲁棒性不是很理想。在数字水印的研究过程中,人们始终试图寻找一些比较全面的水印方案,既在抗几何攻击方面鲁棒性理想,又在抗类噪声攻击方面鲁棒性理想,由于现实中的攻击应是多种多样的,有的甚至超乎人的预料,因此寻找这样的方法有其现实意义。

## 发明内容

本发明的目的在于针对现有技术的不足,提供一种基于图像连通性的自适应同步水印方法,用于水印嵌入的参考点稳定性高,使得不仅在常见图像处理下,水印的鲁棒性较强,而且对全局和局部几何攻击均呈现较强的鲁棒性。

为实现这样的目的,本发明设计了一种新的空域鲁棒性图像水印方案,原始灰度图像首先转化成二值图像,根据图像的连通性得到连通对象,并将这些连通对象的坐标映射到灰度图像中,选择较大的连通对象的重心作为水印嵌入的参考点,利用图像的连通性具有拓扑不变性,及图像的重心比较稳定,来保证水印的自适应同步。

本发明的方法主要包括水印嵌入和水印提取,具体步骤如下:

### 1、水印嵌入过程:

首先将原始灰度图像采用二次曲线的方法作解析变换,将经过解析变换后的图像转化成二值图像,然后根据4-连通或8-连通模式得到图像的连通对象,并根据连通对象所包含的像素数目将它们从大到小排序。为了获得稳定的连通对象的重心,选择最大的 $P$ 个连通对象计算其重心,并作为水印嵌入的参考点。整个图像的中心与每个参考点的连线作为起始射线,此起始射线每旋转一个角度将形成一个扇形,这个扇形旋转180度形成原扇形的反扇形,同样的水印信息就嵌在每个扇形及其反扇形中。经过中心点,用 $M-1$ 条线均等地把每个扇形分为 $M$ 等份,为了达到水印同步的目的,从起始射线开始,均等地在每条线上嵌入 $N$ 个水印比特,在每个水印嵌入点,用奇偶量化的方法隐藏每个水印比特。

因为嵌入位置由连通对象的重心决定,起始射线随着整个图像同步地旋转、缩放和平移,所以图像经过这些几何攻击后,水印的嵌入点还能被正确检测出来,而且通过量化方法隐藏水印比特能够容忍一定程度的噪声污染和JPEG压

缩。

## 2、水印提取过程：

首先，对含水印图像进行解析变换，然后用跟水印嵌入过程同样的方法将灰度图像转化成二值图像，并根据与水印嵌入过程相同的连通模式得到连通对象，根据连通对象所包含的像素数目将它们从大到小排序，取最大的  $P$  个连通对象计算其重心，得到用于水印嵌入的参考点，跟水印嵌入过程一样，利用这些参考点形成嵌有水印信息的扇形，此扇形旋转  $180^\circ$  形成其反扇形，在各个扇形及其反扇形中找到水印的嵌入点，根据灰度量值在每个水印嵌入点提取水印比特。

本发明基于图像连通性的拓扑性质，实现了水印的自适应同步，用于水印嵌入的参考点稳定性高，使得不仅在常见图像处理下，水印的鲁棒性较强，而且对全局和局部几何攻击均可呈现较强的鲁棒性，且水印的不可见性好。用于转化成二值图像的解析函数的参数、形成扇形的度数等参数可作为水印系统的密钥，从而使连通对象的重心，以及水印嵌入点是秘密的，因此保证了水印的安全性。

## 附图说明

图 1 为本发明实施例中的原始灰度图像及经过解析变换后转化的二值图像。

图 1 中，a 为原始 ‘Pepper’ 图、b 为原始 ‘Lena’ 图、c 为原始 ‘Baboon’ 图，e 为 ‘Pepper’ 二值图，f 为 ‘Lena’ 二值图，g 为 ‘Baboon’ 二值图。

图 2 为扇形及其反扇形分成  $M$  等份的示意图。

图 3 为 ‘Pepper’ 图的水印嵌入点。

图 4 为在旋转、缩放及常见图像处理下重心的稳定性示意图。

图 4 中，a 为图像旋转  $30^\circ$  后重心的稳定性，b 为图像放大 2 倍后重心的稳定性，c 为图像被方差等于 46 的高斯白噪声（AWGN）污染后重心的稳定性，d 为图像被 JPEG 压缩（质量因子  $QF=50\%$ ）后重心的稳定性。

图 5 为水印检测正确率比较图。

图 5 中, a 为几何攻击, b 为常见图像处理。

图 6 为在不同的几何攻击下, 提取水印的相似系数。

图 6 中, a 为不同缩放因子下的平均相似系数, b 为不同旋转角度下的平均相似系数

图 7 为  $\Delta$  对水印不可见性与鲁棒性的影响。

图 7 中, a 为不同  $\Delta$  下 “Pepper”、“Lena”、“Batoon” 的峰值信噪比, b 为图像旋转  $10^\circ$ , 放大 2 倍并在质量因子为 90 的 JPEG 压缩下, 不同  $\Delta$  时的平均相似系数

图 8 为含水印图像受到不同的局部几何攻击。

图 8 中, a 为局部攻击击中含水印的连通对象, b 为局部攻击没有击中含水印的连通对象。

### 具体实施方式

以下结合附图和实施例对本发明的技术方案作进一步描述。

#### 1、水印嵌入:

从理论上说, 连通对象对图像的拓扑变换具有几何不变性, 为了得到图像的连通对象, 首先用阈值  $T_1$  将灰度图像  $f(x, y)$  转化成二值图像  $f_b(x, y)$ :

$$f_b(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) / \max\{f(x, y)\} > T_1 \\ 0, & f(x, y) / \max\{f(x, y)\} \leq T_1 \end{cases}$$

这里阈值  $T_1 \in [0, 1]$ ,  $T_1$  的选择将影响图像连通对象的数目。如果直接从原始灰度图像中生成连通对象, 则得到的连通对象可能包含非常大或非常小的对象, 对于非常大的对象, 则会造成在很大区域内只得到一个参考点的缺点, 而对于非常小的对象, 则得到的参考点不是很稳定。因此, 在把原始灰度图像转化成二值图像前, 先对图像的每一灰度值  $L_i$  作如下解析变换:

$$L'_i = aL_i^2 + bL_i + c, (i=1, 2, \dots, L)$$

这里  $a, b, c \in \mathbf{R}$  是控制灰度值变换的可调参数, 这样, 通过适当调节这些参数值来生成大小适度的连通对象。经过实验, 发现在设  $a=0.003$ ,  $b=0.002$ ,  $c=0$ ,  $T_1=0.5$  时, 则生成的二值图像所得的连通对象是比较适中的。原始灰度图像 ‘Pepper’、

‘Lena’、‘Baboon’ 分别如图 1 (a)、(b)、(c) 所示, 经过解析变换后转化的二值图像分别如图 1 (e)、(f)、(g) 所示, 可见连通对象的大小比较均匀, 这将有利于水印的嵌入。二值图像生成后, 可以根据一定的连通模式得到图像的连通对象。设  $\Omega_i (i=1, 2, \dots, u)$  表示  $u$  个连通对象,  $N(\Omega_i)$  表示第  $\Omega_i$  个对象中所包含的像素的个数,  $T_2$  表示另一个定义的阈值, 且  $\min_i \{N(\Omega_i)\} \leq T_2 \leq \max_i \{N(\Omega_i)\}$ , 为了获得稳定的连通对象的重心, 选择那些满足  $N(\Omega_i) \geq T_2$  的较大连通对象计算其重心, 并作为水印嵌入的参考点。假设选择了  $v$  个连通对象, 它们的重心记为  $G_1, G_2, \dots, G_v$ , 设整个图像的中心坐标为  $O(x_0, y_0)$ , 左上角坐标为  $(x_1, y_1)$ , 右下角坐标为  $(x_2, y_2)$ , 则

$$\begin{cases} x_0 = (x_2 - x_1 + 1) / 2 + x_1 \\ y_0 = (y_2 - y_1 + 1) / 2 + y_1 \end{cases}$$

水印嵌入的方式如图 2 (a) 所描述, 设  $\overline{OG_i} (i=1, 2, \dots, v)$  为起始射线, 每旋转一个  $\alpha$  角度将形成一个扇形, 这个扇形旋转 180 度形成的扇形, 称之为原扇形的反扇形, 同样的水印信息就嵌在每个扇形与其反扇形中。经过中心  $O$  点, 用  $M-1$  条直线均等地把每个扇形分为  $M$  等份, 每条直线的长度定义为参考长度  $L_{ref}$ 。

为了达到水印同步的目的, 从  $\overline{OG_i}$  起始, 均等地在每条线上嵌入  $N$  个水印比特, 即在每条线上每两个嵌入点的距离为  $L_{ref} / N$ , 这样, 每个扇形与其反扇形总共可嵌入  $(M+1)N$  个水印比特, 图 2 (b) 是以 ‘Pepper’ 图像为例水印的嵌入点。因为嵌在每个扇形与其反扇形的水印版本是一样的, 所以对面积较小的扇形, 水印信息的分布比较稠密, 而对面积较大的扇形, 水印信息的分布就比较稀疏。

为了增强水印的鲁棒性, 以图像中心为圆心的半径小于  $r (r < \frac{1}{6}R, R$  为图像的边长) 的圆形面积将不用于嵌入水印, 其原因是这个圆形面积的水印嵌入点比较稠密, 容易造成水印检测的正确率下降。

在每个水印嵌入点, 用奇偶量化隐藏水印比特  $w(i) \in \{0, 1\}, (i=1, 2, \dots, N_w)$ :

当  $w(i)=0$  时, 量化后的灰度值为

$$f_w = \begin{cases} \lfloor f/\Delta \rfloor \times \Delta + \lfloor \Delta/2 \rfloor + f_d, & \lfloor f/\Delta \rfloor \bmod 2 = 0 \\ (\lfloor f/\Delta \rfloor - 1) \times \Delta + \lfloor \Delta/2 \rfloor + f_d, & \lfloor f/\Delta \rfloor \bmod 2 = 1, f \in [\lfloor f/\Delta \rfloor \times \Delta, \lfloor f/\Delta \rfloor \times \Delta + \lfloor \Delta/2 \rfloor) \\ (\lfloor f/\Delta \rfloor + 1) \times \Delta + \lfloor \Delta/2 \rfloor + f_d, & \lfloor f/\Delta \rfloor \bmod 2 = 1, f \in [\lfloor f/\Delta \rfloor \times \Delta + \lfloor \Delta/2 \rfloor, \lfloor f/\Delta \rfloor \times \Delta + \Delta) \end{cases}$$

当  $w(i) = 1$  时, 量化后的灰度值为

$$f_w = \begin{cases} \lfloor f/\Delta \rfloor \times \Delta + \lfloor \Delta/2 \rfloor + f_d, & \lfloor f/\Delta \rfloor \bmod 2 = 1 \\ (\lfloor f/\Delta \rfloor - 1) \times \Delta + \lfloor \Delta/2 \rfloor + f_d, & \lfloor f/\Delta \rfloor \bmod 2 = 0, f \in [\lfloor f/\Delta \rfloor \times \Delta, \lfloor f/\Delta \rfloor \times \Delta + \lfloor \Delta/2 \rfloor) \\ (\lfloor f/\Delta \rfloor + 1) \times \Delta + \lfloor \Delta/2 \rfloor + f_d, & \lfloor f/\Delta \rfloor \bmod 2 = 0, f \in [\lfloor f/\Delta \rfloor \times \Delta + \lfloor \Delta/2 \rfloor, \lfloor f/\Delta \rfloor \times \Delta + \Delta) \end{cases}$$

这里  $\lfloor \bullet \rfloor$  表示取下整数,  $f_d = \text{sgn}(f)(|f| \bmod 1)$ ,  $\text{sgn}(\bullet)$  表示符号函数,  $\Delta > 0$  表示量化步长, 控制水印强度。因为嵌入位置由连通对象的重心决定,  $\overline{OG_i}$  随着整个图像同步地旋转、缩放和平移, 所以图像经过几何攻击后, 水印的嵌入点还能被正确检测出来, 而且通过量化方法隐藏水印比特能够容忍一定程度的噪声污染和 JPEG 压缩, 可见本发明的水印方案对几何攻击和类噪声攻击均具有较强的鲁棒性。

## 2、水印提取:

首先, 对含水印图像进行解析变换, 然后用跟水印嵌入过程同样的阈值  $T_1$  转化成二值图像, 并根据连通模式 (8-连通或 4-连通) 得到连通对象, 基于阈值  $T_2$  得到嵌有水印信息的较大的连通对象的重心。跟水印嵌入过程一样, 利用这些重心形成嵌有水印信息的扇形与其反扇形, 在各个扇形与其反扇形中可找到水印的嵌入点, 这样, 不管图像如何旋转、缩放和平移, 水印总可被同步地提取, 在每个水印嵌入点, 水印比特提取如下:

$$w' = \begin{cases} 0, & \lfloor f_w/\Delta \rfloor \bmod 2 = 0 \\ 1, & \lfloor f_w/\Delta \rfloor \bmod 2 = 1 \end{cases}$$

这里  $f_w$  表示嵌入水印后的灰度值。通过计算可知, 当灰度值的变化范围在  $[-\Delta/2, \Delta/2)$  内时, 水印比特能够正确地提取。  $\Delta$  越大, 则含有水印的视觉质量将下降, 但鲁棒性增强, 所以  $\Delta$  应该在水印的鲁棒性和不可见性之间折衷取值。

在本发明的实施例中: 首先以灰度‘Pepper’图像为例, 验证用于水印同步的参考点的稳定性。如图 1 (e) 所示的二值图像, 阈值  $T_2$  取 200, 得到 10 个较大的连通对象。在几何和类噪声攻击下, 这 10 个较大的连通对象的重心的稳定性



如图 4 所示, 其中‘x’表示实际的重心位置, 而‘o’表示在水印同步下的理论上的重心位置, 一旦二者重合, 则水印成功同步。与现有技术中基于特征点的水印方案比较, 本发明的水印方案中用于水印同步的参考点不仅稳定, 而且也容易处理。基于高阶矩的水印方案由于其特征点不够稳定, 对图像纹理的变化比较敏感, 而本发明的水印方案的同步是基于图像固有特征的连通性来实现的, 加之重心具有对几何变换与噪声污染的不敏感性, 因此本发明的水印方案在实现自适应同步方面更具有优势。对每个参考点与图像中心的连线, 每隔 5 度得到一个扇形及其反扇形, 将每个扇形及其反扇形分成三份, 则在每个扇形中可用于嵌入水印的线共有四条, 在每条线上均等地嵌入 34 个水印比特, 则在每个扇形及其反扇形中共嵌入 136 比特的水印信息, 如图 3 所示。水印比特嵌入时, 量化步长  $\Delta$  设置为 16, 含水印图像的 PSNR 为 50.18dB, 可见水印的不可见性很好。

一旦含水印图像受到攻击, 可能某些水印不能检测出来, 设从每个扇形及其反扇形中提取的水印个数为  $N_{total}$ , 正确检测水印的个数是  $N_{correct}$ , 则水印检测的正确率 (RC) 定义为

$$RC = N_{correct} / N_{total}$$

表 1 和表 2 分别列出了几种常见的几何攻击类型和图像处理类型, 图 5 比较了在表 1 和表 2 所列出的不同的攻击类型下, 本发明的水印方案与基于特征点的水印方案的水印检测正确率的差值, 可见其差值大部分大于零, 这说明本发明的方案水印检测正确率较高, 从而可知本发明的水印方案的鲁棒性更强, 这受益于连通对象的拓扑性质及其重心位置的高度稳定性。提取水印  $w'(i) \in \{0,1\}$ , ( $i=1, 2, \dots, N_w$ ) 的性能由相似系数  $\rho$  来估计, 其定义如下:

$$\rho = \frac{1}{N_w} \sum_{i=1}^{N_w} |w(i) - w'(i)|$$

$\rho$  越大, 则水印的鲁棒性越强。设  $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_{N_{total}}$  表示  $N_{total}$  个提取的水印的相似系数, 为了评价本发明水印方案的性能, 计算这些相似系数的平均值

$$E(\rho) = \frac{1}{N_{total}} \sum_{j=1}^{N_{total}} \rho_j$$

当含水印图像在不同的缩放因子、不同的旋转度数的几何攻击下，从 7 个扇形及其反扇形中提取的 7 个水印的平均相似系数如图 6 所示，可见本发明的水印方案在抗几何攻击方面具有较强的鲁棒性，从图 6 中还可看出，当图像缩小或剪切时，水印的鲁棒性较差些，这是因为这些操作可能使嵌有水印的连通对象消失或水印嵌入点消失，造成参考点的稳定性下降，因此，在图 6 (a) 中，缩放因子为 0.5 时的平均相似系数较小。当含水印图像旋转时，连通对象也同步地旋转，因此其重心也同步地旋转，从而水印的检测能够实现自适应地同步。在基于特征点的水印方案中，仅旋转 5 度，‘Pepper’含水印图像便不能检测出水印，而本发明的水印方案对任何角度的旋转都是有效的，因此，本发明所提出的水印方案改善了水印抗几何攻击的鲁棒性。在每个水印嵌入点，水印强度由量化步长  $\Delta$  决定， $\Delta$  对水印不可见性和鲁棒性的影响如图 7 所示，可见， $\Delta$  越大，水印鲁棒性的总趋势是增强，而不可见性越差，从图 7(a) 可看出，当  $\Delta$  增大到 50 时，含水印图像的 PSNR 还都在 39dB 以上，这说明本发明的水印方案在保证较强鲁棒性的同时，不可见性也不会下降很大。从图 7(b) 可看出， $\Delta$  值的变化对几何和常见信号处理的攻击的影响是比较小的，这是因为旋转和缩放对较大连通对象的重心影响很小的缘故，因此，本发明的水印方案尤其在抗几何攻击方面鲁棒性更突出。

从水印的嵌入过程可知，本发明的水印方案能够抵抗局部几何扭曲，只要那些被用于水印嵌入的连通对象没有受到破坏，那么它们的重心就能被精确定位，从而可找到水印的嵌入点，即使某些局部区域被几何扭曲，但只有被扭曲的区域可能提取不出水印信息，但其它区域仍可提取出水印，图 8(a) 显示了局部攻击击中了嵌有水印的连通对象的情况，而图 8(b) 显示了局部攻击没有击中嵌有水印的连通对象的情况，表 3 列出了在这两种攻击下提取水印的相似系数，可以看出对象 5、6、7 的相似系数较小，这说明这三个对象正好被攻击，但从其它对象的相似系数来看，仍可检测出水印，从而实现版权保护的功能。

表 1 几何攻击类型

No.	攻击类型	No.	攻击类型
1	中心剪去 5%	11	中心剪去 5%+JPEG70
2	中心剪去 10%	12	中心剪去 10%+JPEG70
3	剪切-x-1%-y-1%	13	旋转 1°+剪切 5%+放大 2 倍
4	剪切-x-0%-y-5%	14	旋转 1°+剪切 5%
5	剪切-x-5%-y-5%	15	旋转 2°+剪切 5%
6	剪切-x-1%-y-1%+JPEG70	16	旋转 5°+剪切 5%
7	剪切-x-0%-y-5%+JPEG70	17	旋转 1°+剪切 5%+放大 2 倍+JPEG70
8	剪切-x-5%-y-5%+JPEG70	18	旋转 1°+剪切 5%+JPEG70
9	移除 1 行 5 列+JPEG70	19	旋转 2°+剪切 5%+JPEG70
10	移除 5 行 17 列+JPEG70	20	旋转 5°+剪切 5%+JPEG70

表 2 常见图像处理类型

No.	攻击类型	No.	攻击类型
1	含水印图像	7	JPEG 30
2	加性均匀噪声 (scale=0.1)	8	中值滤波 2×2 + JPEG 90
3	加性均匀噪声(scale=0.15)	9	中值滤波 3×3 + JPEG 90
4	加性均匀噪声(scale=0.2)	10	中值滤波 2×2
5	JPEG 80	11	中值滤波 3×3
6	JPEG 60	12	灰度均衡

表 3 在局部几何攻击下提取水印的相似系数

攻击类型 连通对象	1	2	3	4	5	6	7
击中对象	1.000	1.000	0.9853	0.9706	0.4853	0.6029	0.5147
未击中对象	1.000	0.9706	0.9559	0.9412	0.6912	0.7353	0.8041

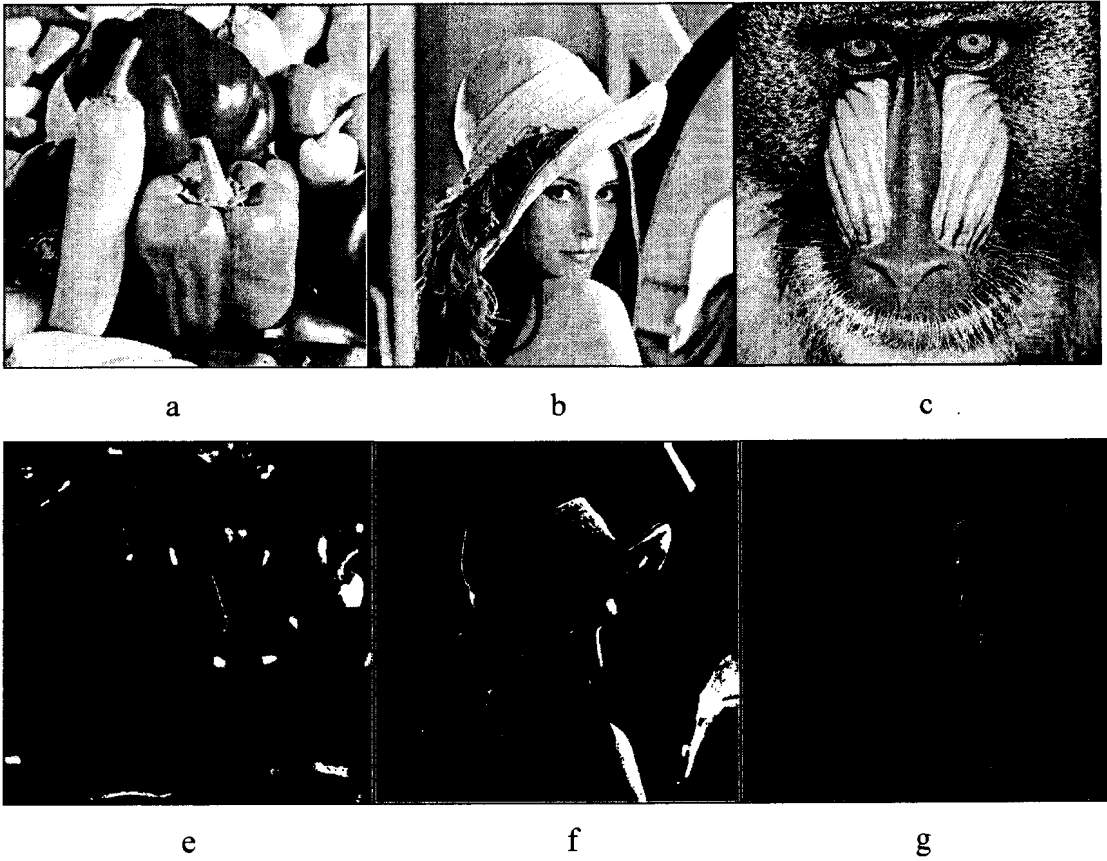


图 1

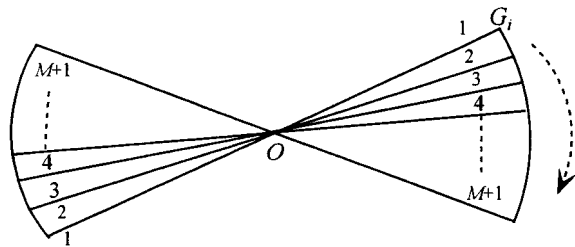


图 2

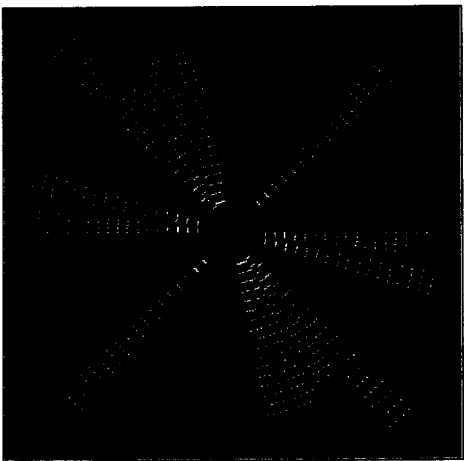


图 3

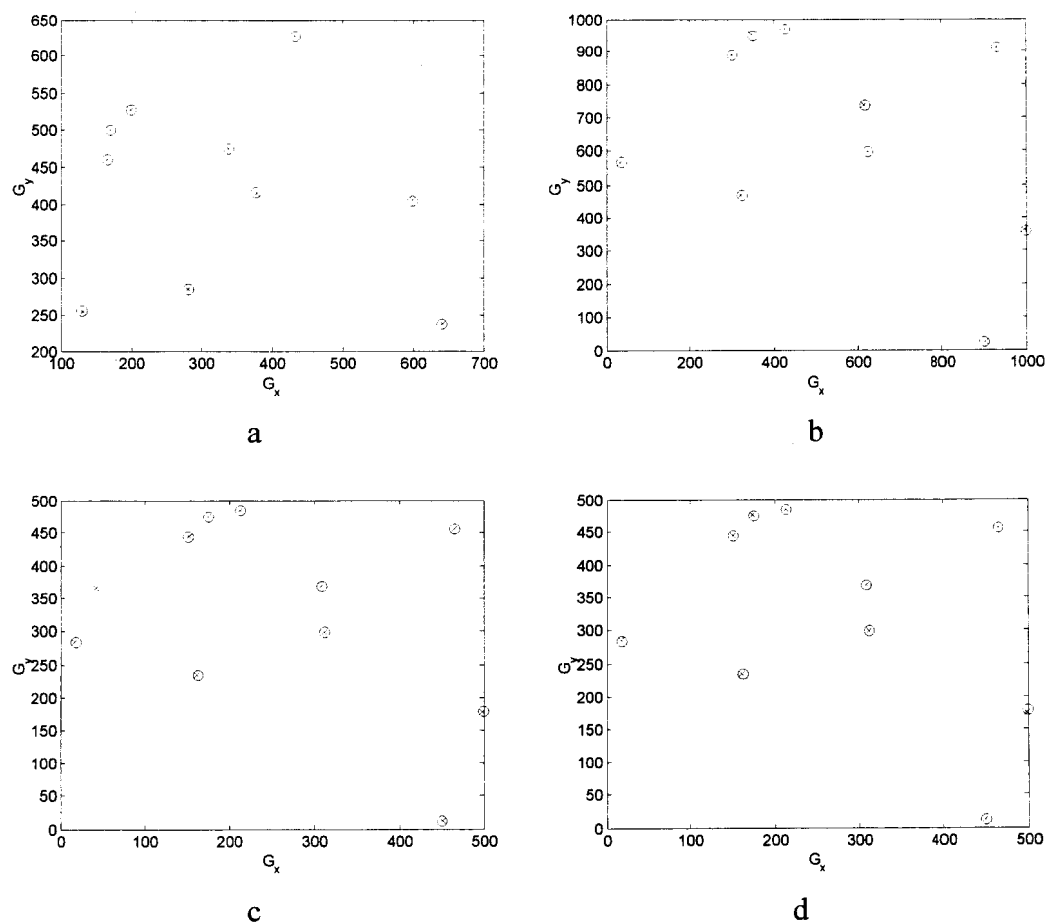


图 4

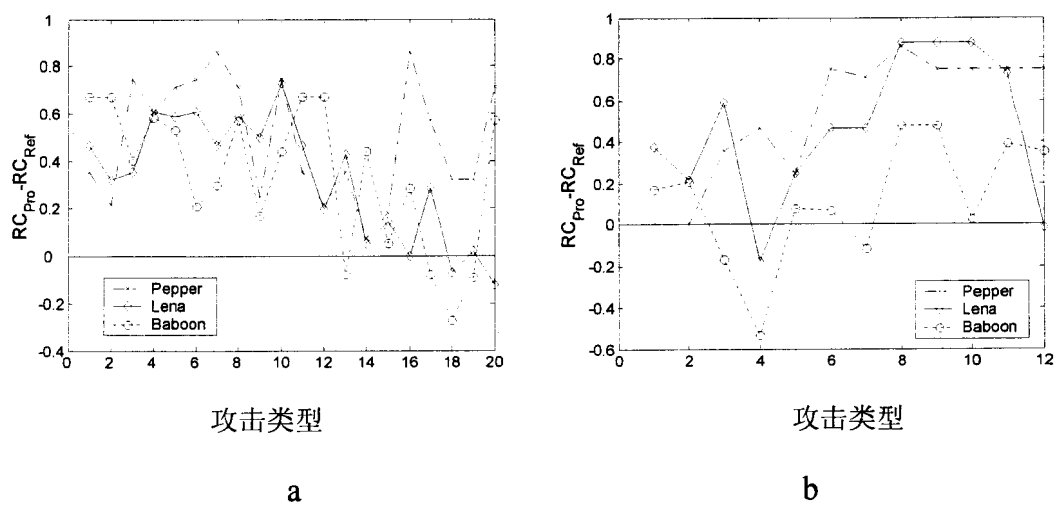


图 5

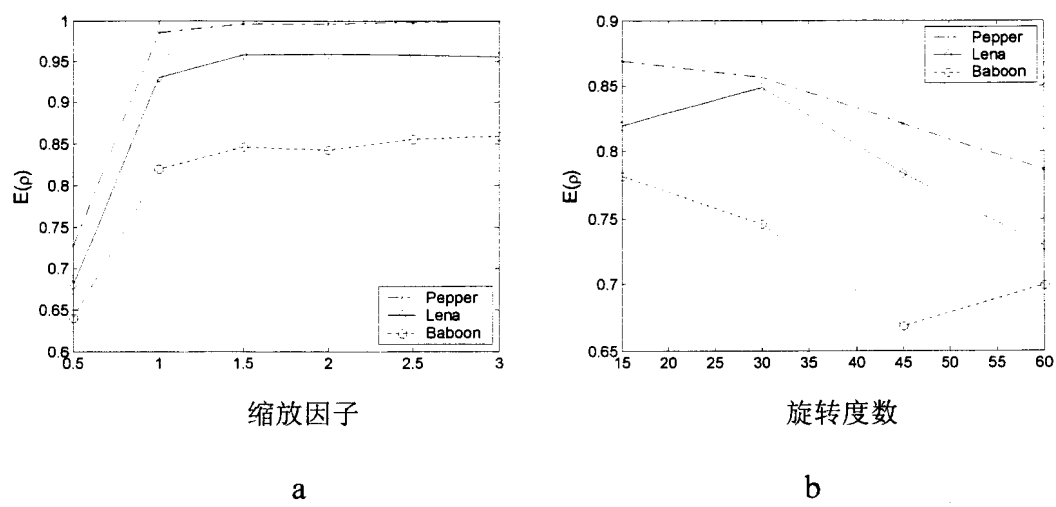


图 6

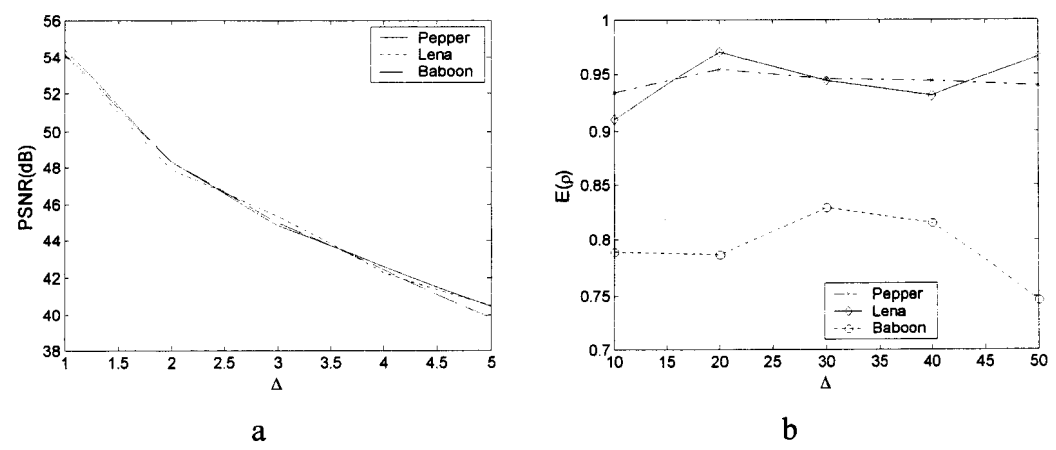


图 7

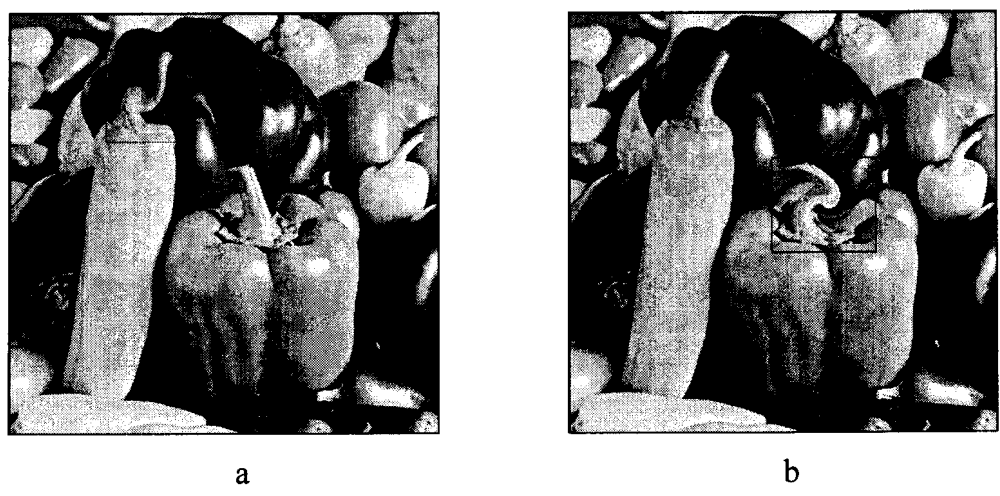


图 8