一种基于图像特征点的数字水印嵌入方法

王向阳[1,2], 邬 俊[1], 侯丽敏[1]
(1. 辽宁师范大学计算机与信息技术学院, 辽宁大连 116029; 2. 北京大学视觉与听觉信息处理国家重点实验室, 北京 100871)

摘 要: 如何有效抵抗去同步攻击是数字图像水印研究领域的热点问题之一. 本文提出了一种可有效抵抗去同步攻击的图像水印新算法. 该算法首先利用 Harris2Laplace 算子从载体图像中提取尺度空间特征点; 再结合特征尺度自适应确定局部特征区域; 最后, 采纳 DFT 中频幅值量化策略将水印重复嵌入到多个不相交的局部特征区域中. 检测时, 利用特征点实现水印的重同步, 无须求助于原始图像. 仿真结果表明, 本文算法不仅具有较好的透明性, 而且对常规信号处理和去同步攻击均具有较好的鲁棒性.

关键词: 图像水印; 去同步攻击; 特征点; 局部特征区域
中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112 (2007) 07-1318-05

A Feature2Based Digital Image Watermarking Algorithm

WANG Xiang2yang[1,2], WU Jun[1], HOU Li2min[1]
(1. School of Computer and Information Technology, Liaoning Normal University, Dalian, Liaoning 116029, China;
2. National Laboratory on Machine Perception, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Watermark synchronization is very crucial to design robust image watermarking scheme. In this paper, a new ro2bust image watermarking scheme against desynchronization attacks is proposed. Firstly, the Harris2Laplace detector is utilized to ex2tract feature points, which can survive a variety of attacks. Then, the local characteristic regions are adaptively constructed according to the characteristic scale theory. Finally, several copies of the digital watermark are embedded into the nonoverlapped local charac2teristic regions by quantizing the DFT mid2frequency magnitudes. By binding the watermark and image features, the resynchroniza2tion between the embedding and detection can be accomplished. Experimental results show that the proposed scheme is not only in2visible but also robust against common signals processing and desynchronization attacks.

Key words: image watermarking; desynchronization attack; feature point; local characteristic region

1 引言

如何抵抗去同步攻击是图像水印领域中一项极富有挑战性的工作. 所谓去同步攻击, 并非指该种攻击能够从含水印对象中去除水印, 而是指其能够破坏数字水印分量的同步(即改变水印嵌入位置), 从而导致检测器找不到水印[1]. 它包括全局仿射变换(RST, Rotation、Scaling、Translation)、局部随机弯曲(RBA, Random Bending Attack)、行列去除、剪切(本文所指的剪切将改变水印嵌入位置)等多种形式. 截止目前, 人们主要采用三种措施对抗去同步攻击, 分别为构造仿射不变量[2,3]、隐藏模版[4]和利用图像特征[5~7]. 其中, 前两种方法目前只有 RST 有效, 尚无法有效抵抗 RBA 和剪切等较为复杂的去同步攻击. 相比之下, 基于图像特征的水印方案/即第二代数字水印0具有更好的鲁棒性能, 其基本思想是利用图像中稳定的特征点标识水印嵌入位置, 并在与每个特征点相对应的局部特征区域内独立地嵌入水印, 检测时仍然利用特征点来定位和检测水印, 从而有效抵抗去同步攻击.

然而, 理论分析和实验结果表明, 现有基于图像重要特征的数字水印方案还很不成熟, 普遍存在如下问题: (1) 所提取的图像特征点不仅稳定性差, 而且分布极不均匀, 严重影响了数字水印对常规信号处理及去同步攻击的抵抗能力; (2) 未能结合图像内容自适应确定局部特征区域尺寸, 大大降低了系统抵抗旋转、缩放等攻击的能力. 鉴于此, 本文以多尺度空间理论为基础, 提出

收稿日期: 2006-07-17; 修回日期: 2006-11-24
基金项目: 辽宁省自然科学基金(No. 20032100); 视觉与听觉信息处理国家重点实验室(北京大学)开放基金(No. 0503); 大连市科技基金(No. 2006J23JH020); / 图像处理与图像通信0江苏省重点实验室(南京邮电大学)开放基金(No. ZK205014); 江苏省计算机信息处理技术重点实验室开放课题基金(No. KJS0602)

了一种新的抗去同步攻击数字图像水印方案.

2　基于尺度空间特征点的局部特征区域划分

目前, 人们普遍采用Mexican Hat 小波和Harris 算子两种方法来提取特征点. 前者对噪声的抵御能力较强, 但对几何变换非常敏感; 后者能够抵抗旋转、平移等几何形变, 但对缩放攻击却比较敏感[8]. 为了解决这些问题, Mikolajczyk 等[9]将尺度自适应Harris 算子和自动尺度选择技术相结合, 提出 Harris2Laplace 算子并证实其对旋转、缩放、平移以及噪声干扰等均有较好的稳定性. 本文在其基础上提出一种尺度自适应的局部特征区域划分方法, 可以很好地满足第二代图像水印的要求.

211　尺度自适应 Harris 算子

Harris 算子是以自相关矩阵为基础的. 为了能抵抗图像缩放, 自相关矩阵应当具有尺度空间表示特性, 因此, 我们定义了尺度自适应自相关矩阵 M:

$$M(x, y, D_I, D_D) = D_D^2 \# G(D_I) * \begin{bmatrix} L_x^2(x, y, D_D) & L_x L_y(x, y, D_D) \\ L_x L_y(x, y, D_D) & L_y^2(x, y, D_D) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$L(x, y, D_D) = G(D_D) * I \quad (2)$$

其中, D_I 和 D_D 分别表示积分尺度和微分尺度; $G(D_\#)$ 表示均值为 0 方差为 $D_\#$ 的高斯函数; L 为图像的高斯尺度空间表示; L_a 表示计算L 在a 方向上的偏导数; I 为数字图像; * 表示线性卷积. 给定 D_I 和 D_D, 可以确定出像素点(x, y)的特征强度 R(x, y):

$$R(x, y, D_I, D_D) = Det(M(x, y, D_I, D_D)) - k \# Tr^2(M(x, y, D_I, D_D)) \quad (3)$$

其中, Det(#) 和 Tr(#) 分别表示矩阵的行列式和迹, k 是常数(通常取 0104). 在每一尺度平面上, 特征点可按下述规则提取:

$$R(x, y, D_I, D_D) > R(\hat{x}, \hat{y}, D_I, D_D) \quad P(\hat{x}, \hat{y}) \in A$$
$$R(x, y, D_I, D_D) \geq t_u \quad (4)$$

其中, A 表示像素点(x, y) 的某一临域; t_u 表示阈值.

212　自动尺度选择和尺度不变特征点

自动尺度选择之目的在于寻找可描述局部图像特征的特征尺度. 特征尺度是指在特定的尺度搜索范围内, 某函数极值点所对应的尺度, 它反映了局部图像特征与操作算子间的最大相似程度. 在特征尺度下所提取的图像特征点具有缩放不变性. 本文采用 LOG(Laplacian2of2Gaussians)算子寻找特征尺度.

$$LOG(x, y, D_I) = D_I^2 \left| \frac{\partial^2 G(x, y, D_I)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 G(x, y, D_I)}{\partial y^2} \right| * I \quad (5)$$

下面给出利用 Harris2Laplace 算子提取尺度空间特征点的具体工作过程.

首先, 给定尺度空间, $D_I^{(n)} = 1.4^n \# D_0$, $D_D^{(n)} = 0.7 \# D_I^{(n)}$ (n = 1, 2, …, 15) 和阈值 $t_u = 900$, 利用尺度自适应 Harris 算子计算出图像的侯选点(其中 D_0 表示初始尺度, 本文选取为 1.2).

然后, 对于每个侯选点, 采用迭代法确定特征点及其特征尺度. 具体步骤如下:

(1) 设 p_k 为侯选图像特征点, 检验 LOG 算子在该点处是否能在整个尺度搜索范围内获得局部极值, 如果不能获得极值, 则舍弃该点. 尺度搜索范围限定为 $D_I^{(k+1)} = 1.4 \# D_I^{(k)}$, 其中 t = 0.7, …, 1.4.

(2) 对于 LOG 算子能获得极值的图像特征点 p_k, 在该点的临域内搜索特征强度最大的特征点 p_{k+1}, 若 p_{k+1} 存在则舍弃 p_k.

(3) 重复步骤(1) 到(2), 直到 $D_I^{(k+1)} = D_I^{(k)}$ 或 $p_{k+1} = p_k$ 为止.

213　局部特征区域的自适应划分

局部特征区域, 就是指以图像特征点为中心, 从载体图像中划分出的一系列子图像(以之作为数字水印的嵌入和检测区域). 考虑到旋转会对图像造成一定影响, 本文选用圆形局部特征区域(以下简称圆片), 其划分方法为: 以特征点为圆心, 并以特征点所对应的特征尺度的倍数为半径, 从载体图像中自适应地划分出一系列圆片. 该做法的理论依据是根据特征尺度与图像局部结构的协变特性(特征尺度的大小随图像尺寸的改变而不同). 即便图像发生了尺度缩放, 特征尺度仍然能够准确地反映出这一变化, 则圆片的尺寸也会相应改变. 圆片半径 R 具体定义为:

$$R = S \# [D] \quad (6)$$

其中, D表示当前图像特征点的特征尺度; [#] 表示取整; S 为自适应常数(正整数), 用于调节圆片的大小. 较小的圆片使水印更适合抵抗去同步攻击, 但会限制水印的容量, 反之亦然. 因此 S 的取值应折中两者间的关系.

最后, 还要保证圆片彼此间相互独立. 当两个区域发生重叠时, 我们保留含有特征点数目较多的圆片, 因为这样区域属于纹理区, 可以更好地满足水印的透明性.

3　数字水印的嵌入

整个数字水印的嵌入过程(关键步骤) 描述如下:

(1) 利用 Harris2Laplace 算子从原始载体中提取出图像的特征点, 设为集合 P, 并根据特征点的位置生成一系列圆片, 设为集合 O, P 与 O 元素个数可能不等(详见第 2 节).

(2) 对每个圆片 $o_k \in O$ 四周/ 补 0, 得到一系列外接方形图像块, 设为集合 T. 这是因为本文将在 DFT 域内嵌入水印信息, 而方形图像更易于实施 DFT.

(3) 数字水印嵌入. 对所有 t_k I T 做 DFT 变换(变换原点为子图像中心), 并取其幅值 M_k. DFT 变换具有平移不变性(对幅值而言)、旋转性和缩放互反关系[2]. 由此不难看出: 图像经平移、旋转和缩放后, 其频谱系数的相对位置和幅值系数的相对大小保持不变. 本文将利用 DFT 的这些性质, 采纳幅值量化调制策略嵌入水印, 具体操作为:

首先, 在 M_k 内选择半径 r_1 和 r_L 且满足 $r_1 < r_L$, 使 r_1 和 r_L 之间的环形区域覆盖其中频带. 设 $\{C(r_i), i = 1, , , L\}$ 是中频带内半径由小到大的同心圆族, 且满足 $r_1 [r_i [r_L$, 其中 L 的大小取决于水印的长度.

然后, 将上述环形区域划分成 8 个大小相等的扇形区, 并在扇形区 E 内(见图 1)通过密钥 Key 产生一个伪随机点集 $\{(x_i, y_i), i = 1, , , L\}$, 这些点是水印的嵌入位置.

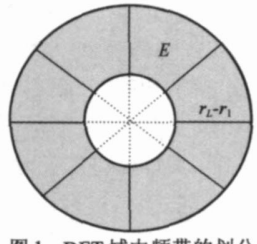


图 1 DFT 域中频带的划分

最后, 对于点集中任意一点 (x_i, y_i), 选择点 $(y_i, - x_i)$ 与其配对, 它们与中心成 90b (见图 2). 每一个 $C(r_i)$ 上都有这样一组点对 $((x_i, y_i), (y_i, - x_i))$, 其中 $x_i^2 + y_i^2 = r_i^2$. 对这些点对的幅值 $(M(x_i, y_i), M(y_i, - x_i))$ 进行矢量量化, 从而将水印 w_i 嵌入到 $C(r_i)$ 中. 具体量化规则为[10]: 如果 $w_i = 1$, 则

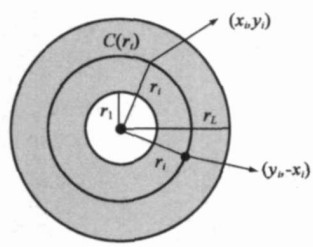


图 2 同心圆上的点对(与中心成 90 度)

$$(M^*(x_i, y_i), M^*(y_i, - x_i)) = \begin{cases} \left(\left[\frac{M(x_i, y_i)}{M(y_i, - x_i) \# Q}\right] \# M(y_i, - x_i) \# Q, M(y_i, - x_i)\right), & \left[\frac{M(x_i, y_i)}{M(y_i, - x_i) \# Q}\right] \% 2 = 1 \\ \left(\left(\left[\frac{M(x_i, y_i)}{M(y_i, - x_i) \# Q}\right] + 1\right) \# M(y_i, - x_i) \# Q, M(y_i, - x_i)\right), & \left[\frac{M(x_i, y_i)}{M(y_i, - x_i) \# Q}\right] \% 2 = 0 \end{cases} \quad (7)$$

如果 $w_i = - 1$, 则

$$(M^*(x_i, y_i), M^*(y_i, - x_i)) = \begin{cases} \left(\left[\frac{M(x_i, y_i)}{M(y_i, - x_i) \# Q}\right] \# M(y_i, - x_i) \# Q, M(y_i, - x_i)\right), & \left[\frac{M(x_i, y_i)}{M(y_i, - x_i) \# Q}\right] \% 2 = 0 \\ \left(\left(\left[\frac{M(x_i, y_i)}{M(y_i, - x_i) \# Q}\right] + 1\right) \# M(y_i, - x_i) \# Q, M(y_i, - x_i)\right), & \left[\frac{M(x_i, y_i)}{M(y_i, - x_i) \# Q}\right] \% 2 = 1 \end{cases} \quad (8)$$

其中, $(M^*(x_i, y_i), M^*(y_i, - x_i))$ 为 $(M(x_i, y_i), M(y_i, - x_i))$ 的量化修改值; Q 表示量化步长(一般小于 1).

此外, 为了保证修改结果的 IDFT 变换为实数, 被修改点的中心对称点处的幅值也需进行相应修改.

(4) 通过 IDFT 变换将嵌有数字水印的外接方形图像块恢复到空间域, 得到 t_k^*, 再经/去 00 操作后得到 o_k^*. 最后以 o_k^* 替换 o_k.

重复步骤该嵌入过程, 直到所有圆片都按照上述过程处理完毕为止, 即得到含水印图像 I^*.

4 数字水印的检测

整个数字水印的检测过程如下:

(1) 利用 Harris2Laplace 算子从待检测图像中提取图像特征点, 设为集 P 合, 并根据特征点的位置生成一系列圆片, 设为集合 O. 一般说来, 图像遭受各种攻击后重新划分得到的圆片集合与原先会有不同, 但本文算法可以保证至少一部分圆片可以准确再现.

(2) 对每一个圆片 o_k I O 四周/补 00, 从而得到一系列外接方形子图像, 设为集合 T. 再对每一个 t_k I T 做中心化 DFT 变换并取幅值 M.

(3) 由 DFT 性质知, 图像经历几何变换后, 其频域上的嵌入区域大小保持不变. 故我们可以根据最初若干点的相对位置(即密钥 Key) 在环形区域 $[r_1, r_L]$ 内选择一个与 E 大小相同的扇形区 Ec, 并在其中按半径从小到大的顺序重新选择 L 个点 (x_i, y_i). 对于每一个同心圆 $C(r_i)$, 按如下规则提取水印信息 w_i:

$$w_i = \begin{cases} 1, & \left[\frac{M(x_i, y_i)}{M(y_i, - x_i) \# Q} + 015\right] \% 2 = 1 \\ - 1, & \left[\frac{M(x_i, y_i)}{M(y_i, - x_i) \# Q} + 015\right] \% 2 = 0 \end{cases} \quad (9)$$

其中, $M(x_i, y)$ 和 $M(y_i, - x_i)$ 分别为点 (x_i, y_i) 和点 $(y_i, - x_i)$ 的幅值.

(4) 在数字水印检测过程中, 经常会发生虚警错误. 所谓虚警错误, 就是指在未嵌入水印的图像中检测出水印. 因此有必要对所提取出的水印与原始数字水印进行比较, 当匹配的比特数大于某检测阈值时, 才能认为待检测图像中存在水印. 由于二元随机序列与原始水印之间每位匹配的概率为 015, 故每个局部特征区域的虚警率为:

$$P_{f_local} = \sum_{r=T}^{L} (015)^L \# \left(\frac{L!}{r!\ (L - r)!}\right) \quad (10)$$

其中, r 表示所提取的数字水印与原始数字水印间匹配的比特数; L 表示水印长度; T 表示检测阈值. 此外, 如果认为待检测图像中存在水印, 则待检测图像中至少要有两个以上圆片检测到水印存在. 依此规则, 则待检

测图像的虚警率为:

$$P_{f_global}=\sum_{i=2}^{m}(P_{f_local})^{i}\#(1-P_{f_local})^{m-i}\#\binom{m}{i} \quad (11)$$

其中, m 表示待检测图像中圆片的个数. 若虚警率 P_{f_global}给定,则检测阈值 T 可以确定. 当提取出的数字水印与原始水印之间相匹配的比特数 r\ T 时,认为局部特征区域中存在水印信息;否则,不存在.

5　仿真试验

为了验证本文数字图像水印算法的高效性,以下分别给出了检测性能测试、抗攻击能力测试的实验结果,并与文献[7]算法进行了对比. 实验中,所选用的原始载体分别为 512@512 标准灰度图像 Lena、Mandrill 和 Pepper,水印采用了 322bit 的二元随机序列(文献[7]水印大小为 162bit). 另外,自适应常数 S= 9,量化强度 Q = 016,检测阈值 T= 24(此时,虚警率 P_{f_global} U5@ 10^{-4}).

511　检测性能测试

图 3 给出了含有水印的标准图像 Lena、Mandrill 和 Pepper(本文算法). 图 4 为原始图像与含水印图像的差值图像,其中/ 非 00的部分表示嵌有水印的圆片,在含水印图像 Lena、Mandrill 和 Pepper 中,其嵌入水印的圆片数目分别为 6、12 和 8. 图 5 给出了未受攻击的含水印图像 Lena、Mandrill 和 Pepper 的检测结果,其中成功检测到数字水印的圆片数目分别为 6、11 和 8(图中以/ 白点0标识之处). 表 1 给出了两种图像水印方案的透明性比较.

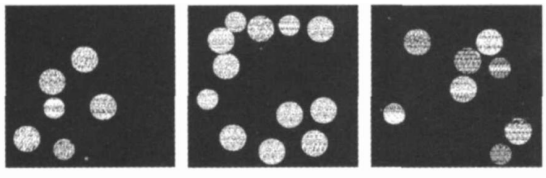
表1　含水印图像与原始载体间的峰值信噪比(dB)

	本文算法	文献[7]
Lena	55.66	49.42
Mandrill	50.34	45.70
Pepper	50.03	56.60



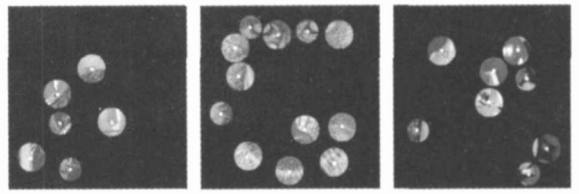
(a)含水印的 Lena　(b)含水印的 Mandrill　(c)含水印的 Pepper

图 3　数字水印的嵌入效果



(a) Lena的差值图像 (b)Mandrill的差值图像 (c)Pepper的差值图像

图4　原始图像与含水印图像的差值图像



(a)图 3(a)的检测结果 (b)图 3(b)的检测结果 (c)图 4(c)的检测结果

图 5　数字水印的检测结果

512　抗攻击能力测试

为了检测本文算法的抗攻击性能,仿真实验分别对本文算法和文献[7]算法的含水印图像进行了一系列攻击(包括常规信号处理和去同步攻击). 现将攻击手段罗列如下:

#JPEG 压缩: 一般 JPEG 压缩的品质因子默认值为 75. 从表 2 可以看出,当品质因此下降到 30 的时候,实验结果中仍然有两个圆片可以检测到水印(Lena),说明本文算法对该攻击具有较强的鲁棒性.

#噪声叠加: 我们对含有水印的图像分别添加均值为 0,方差为 0.05 的/ 高斯白噪声0和噪声浓度为 0.03 的/ 椒盐噪声0,实验结果中除 Mandrills 以外其余检测结果均良好,表明本文算法对噪声有一定的抵抗能力.

#图像处理: 对含有水印的图像分别进行 3@3 中值滤波和 3@3 锐化,检测结果良好.

#行列去除: 我们从含有水印的图像中移去 8 行、16 列像素,从表 3 的检测结果可以知大部分的圆片都可以检测到水印,说明本文算法对该攻击有很强的鲁棒性.

#剪切: 我们对含有水印的图像做中心裁剪,当水印图像只剩下原先的 40% 的时候(即中心剪切 60%),实验结果中仍然有两个圆片可以检测到水印(Lena). 说明本文算法具有很强的抗剪切能力.

#旋转: 对含有水印的图像做一系列不同角度的旋转,当旋转到 30 度时,Lena 和 Pepper 中仍有两个圆片检测到水印. 本文算法可抵抗小于 30 度的旋转.

#缩放: 我们对含有水印的图像做一系列不同尺度的缩放攻击(0.61.4),由表 3 可看出利用本文算法得到的实验结果全部成功,说明本文算法可以抵抗尺度因子从 0.6 到 1.4 的缩放攻击.

#平移: 对含有水印的图像做水平和垂直方向均为 10 像素的平移攻击,由表 3 的仿真结果可看出本文算法几乎不受该攻击的影响.

#局部弯曲: 对含有水印的图像做随机的局部弯曲,有表 3 可知大部分圆片都可以检测到水印,故此本文算法对该攻击也是鲁棒的.

此外,我们还对水印图像进行了几种攻击的组合,检测结果均良好.

表 2 和表 3 给出了本文算法和文献[7]算法的鲁棒

性能对比(其中,分子表示从攻击后的含水印图像中成功检测到水印的圆片数目,分母表示载体图像中嵌有水印的圆片数目,@表示检测失败).由实验结果可以看出本文算法在所有攻击中只有两个特例(Mandrill 对椒盐噪声和 Pepper 对 RST 联合攻击),其余检测结果均成功,而文献[7]算法有近半数的结果是失败的,说明本文算法在鲁棒性方面有一定程度的改善(特别是对行列移除、缩放、旋转和剪切等几种攻击而言).

表 2 数字水印对常规信号处理的抵抗能力(重构率)

攻击方式		Lena		Mandrill		Pepper	
		本文方法	文献[7]	本文方法	文献[7]	本文方法	文献[7]
中值滤波(3@3)		3/6	@	7/12	2/11	4/8	@
锐化(3@3)		3/6	4/8	6/12	4/11	5/8	4/4
噪声叠加	高斯噪声	2/6	5/8	4/12	6/11	4/8	3/4
	椒盐噪声	3/6	@	@	4/11	5/8	2/4
JPEG 压缩	70	4/6	7/8	9/12	11/11	7/8	3/4
	50	4/6	5/8	8/12	7/11	6/8	3/4
	30	2/6	2/8	8/12	4/11	4/8	@
中值滤波(3@3)+ JPEG90		3/6	@	7/12	@	4/8	@
锐化(3@3)+ JPEG90		3/6	4/8	6/12	2/11	6/8	4/4

表 3 数字水印对去同步攻击的抵抗能力(重构率)

攻击方式		Lena		Mandrill		Pepper	
		本文方法	文献[7]	本文方法	文献[7]	本文方法	文献[7]
去除 8 行 16 列		5/6	@	7/12	2/11	6/8	@
中心剪切	30%	4/6	4/8	8/12	5/11	6/8	3/4
	45%	3/6	2/8	4/12	4/11	5/8	@
	60%	2/6	@	3/12	@	3/8	@
旋转	5 度	4/6	3/8	5/12	3/11	5/8	@
	15 度	3/6	@	4/12	2/11	4/8	@
	30 度	2/6	@	4/12	@	2/8	@
平移(水平 10,垂直 10)		5/6	2/8	10/12	8/11	5/8	@
缩放	0.6	2/6	@	2/12	@	3/8	@
	0.8	3/6	@	5/12	@	3/8	2/4
	1.4	2/6	@	4/12	@	3/8	@
局部弯曲		3/6	4/8	7/12	5/11	6/8	@
中心裁掉 10%+ JPEG70		2/6	3/8	5/12	2/11	4/8	@
旋转 5 度+ 缩放 0.9		3/6	@	5/12	@	5/8	@
平移(水平 10,垂直 10)+ 旋转 5 度+ 缩放 0.9		2/6	@3	/12	@	@	@

6 结论

本文以多尺度空间理论为基础,提出了一种基于内容特征的图像水印方案,其特点主要体现在如下几个方面:(1)所提取的图像特征点不仅稳定性好,而且分布均匀,提高了整个水印系统对各种攻击的抵抗能力;(2)能够结合图像内容自适应确定局部特征区域尺寸,大大改善了系统抵抗旋转、缩放等几何形变的能力;此外,本文提出的新方案还具有计算简单、容易实现、检测水印时无需原始载体等优点.

参考文献:

[1] M Barni, I J Cox, el al. Digital watermarking[A]. Lecture Notes in Computer Science[C]. Germany: Springer, 2005, 3710: 171- 185.

[2] J O. Ruanaidh, T Pun. Rotation scale and translation invariant digital image watermarking[J]. Signal Process, 1998, 66(3): 303- 317.

[3] P Dong, J G Brankov, et al. Digital watermarking robust to geo2metric distortions[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(12): 2140- 2150.

[4] Kang Xiangui, Huang Jiwu, et al. A DWT2DFT composite wa2termarking scheme robust to both affine transform and JPEG compression[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(8): 776- 786.

[5] M Kutter, S K Bhattacharjee, T, Ebrehimi. Toward second gen2eration watermarking schemes[A]. In Proc. IEEE Int. Conf. Image Process. 99 [C]. Kobe, Japan, 1999, 1: 320- 323.

[6] P Bas, J M Chassery, B Macq. Geometrically invariant water2marking using feature points[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2002, 11(9): 1014- 1028.

[7] C W Tang, H M Hang. A feature2based robust digital image watermarking scheme[J]. IEEE Transactions on Signal Pro2cessing, 2003, 51(4): 950- 958.

[8] Lee Hae2Yeoun, et al. Evaluation of feature extraction tech2niques for robust watermarking[A]. Lecture Notes in Computer Science[C]. Germany: Springer, 2005, 3710: 418- 431.

[9] K Mikolajczyk, C Schmid. Scale & affine invariant interest point detectors[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(1): 63- 86.

[10] 石磊, 钟铭, 洪帆. 抵抗几何变换的基于量化的水印技术. 计算机辅助设计与图形学学报[J]. 2004, 16(6): 850- 855.

Shi Lei, Zhong Ming, Hong Fan. Quantization based water2marking robust to geometric transformations[J]. Journal of Compute2aided Design & Computer Graphics, 2004, 16(6): 850- 855. (in Chinese)

作者简介:



王向阳 男,1965 年生于辽宁铁岭,教授.主要研究领域为多媒体信息处理技术、网络信息安全技术. E2mail: wxy37@263.net