一种抗几何攻击的小波域水印算法

汪祖辉，孙刘杰，蒋哲薇，王晓红，刘玄玄
（上海理工大学，上海 200093）

摘要：目的 针对小波变换域数字水印算法抗几何攻击能力差的问题，提出一种基于SIFT特征点匹配的DWT数字水印算法。**方法** 将SIFT算法提取匹配特征点所具有的旋转、缩放和平移不变性的特性与DWT水印算法相结合，根据SIFT特征点的尺度特征和坐标关系，实现带水印图像的几何攻击参数估计和校正。**结果** 仿真结果表明：提出的水印算法在受到系列旋转、缩放和平移攻击及组合攻击后，提取水印的NC值均大于0.8394，说明了算法的可行性。尤其是对于抗旋转攻击，优于其他同类或相关算法。**结论** 提出的算法对旋转、缩放、平移等3种几何攻击都具有较好的鲁棒性。

关键词： 数字水印；SIFT；DWT；抗几何攻击；参数估计
中图分类号： TS865 **文献标识码：** A **文章编号：** 1001-3563(2015)21-0102-06

A Watermarking Algorithm Against Geometric Attack in DWT Domain

WANG Zu-hui, *SUN Liu-jie*, *JIANG Zhe-wei*, *WANG Xiao-hong*, *LIU Xuan-xuan*
(Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: Targeting at the poor ability of the wavelet transform domain digital watermarking algorithm against geometric attack, a wavelet domain watermarking algorithm based on matching of SIFT feature points was proposed. The rotation, scaling and translation invariant features of feature points extraction and matching by SIFT algorithm were combined with the DWT watermarking algorithm, and the parameter estimation and correction of watermarked images after geometric attack were realized according to the scale characteristics and coordinate relationship of SIFT feature points. The simulation results showed that after a series of rotation, zoom, translation and composite attacks, the NC values of extracted watermark using this watermark algorithm were all above 0.8394, demonstrating the feasibility of the algorithm. Especially, this algorithm was superior to other similar or related algorithms in the resistance to rotation attacks. In conclusion, this algorithm was robust to the three kinds of geometric attacks including rotation, zoom and translation.

KEY WORDS: digital watermarking; SIFT; DWT; anti geometric attacks; parameter estimation

数字水印技术是一种对网络环境中的图像资源实施有效版权保护行之有效的手段。但通常上，加密图像在储存和传播过程中，会受到主观和客观上的攻击，影响水印的提取，以至于不能很好地对图像资源进行保护。

平移、缩放、旋转是几种较为常见的几何攻击。含水印图像在受到几何攻击时，水印和图像之间的同步性被破坏，很大程度上阻碍了水印的顺利提取。小波域水印技术符合人类视觉系统的特性，并且与国际压缩标准兼容，使得小波域水印技术研究近年来广受关注[1]。但是，小波变换本身不具有几何不变性，研究小波域水印在受到几何攻击时还能保持很好的鲁棒性，成为了数字水印技术研究的重点和难点。

这里，提出一种基于SIFT特征点匹配的DWT数

收稿日期： 2015-03-09
基金项目： 2014上海理工大学校级大学生创新创业项目(XJ2014244)
作者简介： 汪祖辉(1991—)，男，安徽人，上海理工大学硕士生，主攻图像处理和数字水印。
通讯作者： 孙刘杰(1965—)男，安徽人，博士，上海理工大学教授、硕导，主要研究方向为图像处理和数字水印。

字水印算法。SIFI特征点具有抗平移、旋转和缩放特性，对几何攻击前后含水印图像进行特征点提取，基于提取特征点之间的几何关系得到几何变换参数，根据几何变换参数，对几何攻击后的含水印图像进行逆变换，从而实现有效抵抗几何攻击[2]的目的。DWT数字水印技术是根据离散小波变换，把数字图像转化成相应的频域系数，然后进行适当编码和变形，再根据信息量的多少选择相应的频域系数序列，最后将该数字图像中的频域系数的反变换转化为空间域的数据[3]。该算法的最大优点是抗攻击能力好。

1　图像SIFT特征点提取和匹配原理

SIFT（Scale-invariant feature transform，尺度不变特征转换）是一种电脑视觉算法，应用于物体辨识、机器人地图感知与导航、手势辨识、影像追踪等[4]。它通过在尺度空间寻找特征点，并提取出特征点的位置、尺度和方向信息。特征点的这些信息具有对平移、旋转、缩放、亮度变化和射影变换保持不变的特性。

根据特征点的SIFT特征描述符，计算欧氏距离作为2幅图中特征点的相似性判定度量[5]。假设需要匹配的2幅图像分别为图像1和图像2，取图像1中的某个特征点，找出其与图像2中的欧氏距离最近的前2个特征点，在这2个特征点中，如果最近的距离除以次近的距离小于某个比例阈值distRatio时，则表示图像1中该特征点与图像2中最近的特征点匹配。降低该比例阈值，SIFT匹配点的数目会减少，但更加稳定。相关文献的实验表明，作为匹配算法，distRatio在0.3~0.6最佳，小于0.3时匹配点过少，而大于0.6时存在较多的误匹配点[6]。

2　图像几何变换参数估计和校正

SIFT算法提取的特征点对平移、旋转、缩放变化具有很强的抵抗性，因此，对于变化前后的图像提取特征点，根据特征点的几何关系能够很好地估算出图像所经历的变化参数。然后由估算出的参数进行逆变换，能够实现图像的几何校正[7]。

2.1　旋转参数的估计和校正

图像旋转不改变图像本身大小和中点位置，因此，在同一坐标系中，将图像中匹配到的1对特征点分别和中点建立向量关系，根据向量的点乘和坐标关系即可计算夹角，从而确定图像旋转的角度[8]。假设图像旋转前后2个特征点的坐标分别为$A_1(x_1,y_1)$，$A_2(x_2,y_2)$，而图像中心坐标分别为$O_1(u_1,v_1)$，$O_2(u_2,v_2)$。见图1。

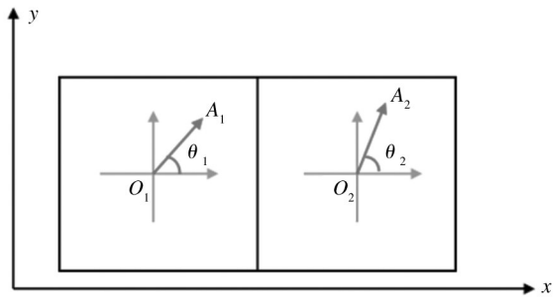

图1　图像旋转前后向量关系

Fig.1 Image vector relationship before and after rotation

则：

$$|\overrightarrow{O_1A_1}| = \sqrt{(x_1-u_1)^2+(y_1-v_1)} \tag{1}$$

$$|\overrightarrow{O_2A_2}| = \sqrt{(x_2-u_2)^2+(y_2-v_2)} \tag{2}$$

$$\overrightarrow{O_1A_1}\cdot\overrightarrow{O_2A_2} = |\overrightarrow{O_1A_1}||\overrightarrow{O_2A_2}|\cos\theta \tag{3}$$

$$\theta = |\theta_1-\theta_2| \tag{4}$$

$$\theta_1 = \arccos\frac{\overrightarrow{O_1A_1}}{|\overrightarrow{O_1A_1}|};\theta_2 = \arccos\frac{\overrightarrow{O_2A_2}}{|\overrightarrow{O_2A_2}|} \tag{5}$$

由此可知，旋转的角度θ即是向量$|\overrightarrow{O_1A_1}|$和$|\overrightarrow{O_2A_2}|$的夹角，不难得知：

$$\theta = \begin{cases} \pi + \arccos\dfrac{\overrightarrow{O_1A_1}\cdot\overrightarrow{O_2A_2}}{|\overrightarrow{O_1A_1}|\cdot|\overrightarrow{O_2A_2}|}(\theta_1>\theta_2) \\ \arccos\dfrac{\overrightarrow{O_1A_1}\cdot\overrightarrow{O_2A_2}}{|\overrightarrow{O_1A_1}|\cdot|\overrightarrow{O_2A_2}|}(\theta_1<\theta_2) \end{cases} \tag{6}$$

2.2　缩放参数估计和校正[9]

图像缩放参数k的估计，只需要在缩放前后图像中选取距离最远的2组特征点$A_1(x_1,y_1)$，$A_2(x_2,y_2)$和$B_1(x_3,y_3)$，$B_2(x_4,y_4)$，进行欧氏距离计算：

$$k = \frac{A_1B_1}{A_2B_2} = \frac{\sqrt{(x_1-x_3)^2+(y_1-y_3)^2}}{\sqrt{(x_2-x_4)^2+(y_2-y_4)^2}} \tag{7}$$

2.3　平移参数估计和校正

图像大小和中点位置不随平移操作而改变[10]。假设平移前后，2幅图像2组特征点坐标和中心坐标分别为$(A_1(x_1,y_1),A_2(x_2,y_2))$和$(O_1(u_1,v_1),O_2(u_2,v_2))$，因此平移参数为：

$$\begin{cases} \Delta x = (x_2-u_2)-(x_1-u_1) \\ \Delta y = (y_v_2)-(y_1-v_1) \end{cases} \tag{8}$$

3 DWT水印算法实现

3.1 小波分解理论分析

小波分解理论是建立在傅里叶分析基础上的，它与傅里叶变换存在很多的共同点，但是由于是傅里叶变换的一个发展，因此又比傅里叶变换拥有更多的优势[11]。傅里叶变换是一种基于全局的变换，这就注定其有一定的局限性。在实际生成应用中，人们对傅里叶变换进行了各种各样的改进，小波分析是其中的改进形式之一。小波变换与傅里叶变换相比，将原本的全局变换改变成对一个时间和频域的局域变换，因而通过小波变换能有效地从数字信号中提取信息，再加上其他运算便能够实现对数字图像的处理。

3.2 小波变换概念

小波变换在函数上的解释为：如果函数$f(t)$能表示为一个线性分解：

$$f(t) = \sum_{l} a_l \psi_l(t) \tag{9}$$

式中：l为有限和或无限和的整数指标；a_l 为实值展开系数；$\psi_l(t)$ 为参数t的实值函数集合，并称$\psi_l(t)$ 为展开集合，如果展开式(9)是唯一的，这个集就能称为所能展开的函数类的1组基。如果基是正交的，即：

$$<\psi_k(t),\psi_l(t)> = \int \psi_k(t)\psi_l(t)\mathrm{d}t = 0, k \neq l \tag{10}$$

那么，系数可以用内积计算：

$$a_k = <f(t),\psi_k(t)> = \int f(t)\psi_k(t)\mathrm{d}t \tag{11}$$

对于傅里叶级数，正交基函数$\psi_l(t)$ 是带有$k\omega_0$的$\sin(k\omega_0 t)$和$\cos(k\omega_0 t)$，对于小波展开，构造了一个2参数系统使得式(9)变成$f(t) = \sum_k \sum_j a_{j,k}\psi_{j,k}(t)$ ，其中，j,k是整数指标，并且$\psi_{j,k}(t)$ 通常形成正交基的小波展开函数。

展开系数的集$a_{j,k}$ 称为$f(t)$的离散小波变换(DWT)。

3.3 数字图像二级小波分解

数字图像中的小波即为小区域的波，该波的特点是波形长度有限，并且平均值刚好为0[12]。在图像分析时，当把图像进行一级小波分解后，会得到4个方向的细节子图，分别是低频分量LL_1、垂直方向LH_1、水平方向HL_1和对角线方向HH_1。若对得到的低频子图LL_1再次分解，可以得到更小的4个方向的细节子图，分别表示为LL_2，LH_2，HL_2，HH_2。图像小波分解示意见图2。

a 原始图像 b 一级小波分解 c 二级小波分解

图2 图像2级小波分解

Fig.2 Wavelet decomposition of image

从图2可以看到，小波系数的低频部分，即LL子带占据图像的大部分信息，因此，视觉上它也最接近原始图像。数字图像的小波分解理论证明：低频子带(即LL_1和LL_2子带)包含了大量原图像逼近信息，不易被攻击；高频子带(即HL_j，LH_j和HH_j(j=1，2))主要是图像的边缘和纹理信息，容易被攻击，因而不宜在该子带中嵌入水印。由此，在低频子带LL_1，尤其是子带LL_2中嵌入数字水印，可以在很大程度上提高水印的鲁棒性。

3.4 SIFT算法与DWT数字水印技术结合

SIFT结合DWT数字水印嵌入提取过程见图3。在DWT数字水印算法中，载体图像嵌入水印图像得到含水印图像，含水印图像提取水印获得水印图像和原始载体图像。数字水印技术通过在载体图像中嵌入和提取水印的过程，实现对图像版权的保护。虽然DWT数字水印技术具有较好的抗攻击能力，但对图像资源在存储和传播中受到无意的或者故意的平移、旋转和缩放等几何攻击的抵抗却表现欠佳。

SIFT算法的提出和发展，为数字水印技术提出了

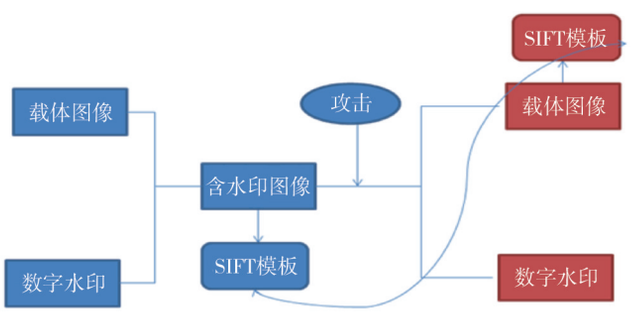

图3 SIFT结合DWT数字水印嵌入提取过程

Fig.3 Sketch map of digital watermark embedding and extraction process using SIFT combined with DWT

一个新的解决方法[13]。对水印提取后得到的载体图像和水印嵌入过程得到的原始含有水印图像（未受到攻击前）提取SIFT特征点进行匹配，根据匹配到的2组SIFT模板之间的关系，进行变换参数的估算和校正，实现水印抗几何攻击[14]。

4　实验仿真

实验验证基于SIFT特征点匹配对数字水印几何攻击参数的估计和校正具有可行性和有效性。

4.1　实验条件

实验条件：选择384像素×384像素大小bmp格式的“lena”图像作为载体图像；64像素×64像素大小bmp格式的“best”图像作为水印图像；水印的嵌入提取过程采用DWT算法Matlab 7.8.0（R2009a）。

4.2　实验原理

分别对原始含水印图像进行旋转、缩放和平移攻击，用提出的方法对攻击参数进行估计和校正，根据提取水印的NC值对水印的鲁棒性进行客观评价。

4.3　实验数据及分析

4.3.1　旋转攻击：

对含水印图像逆时针旋转45°，匹配参数distRtio为0.45，匹配到的特征点对数为8对。旋转攻击后与原图像特征点匹配见图4；旋转校正参数见表1（distRtio为0.45，matches为8）；旋转攻击参数估计和校正仿真结果见图5。

旋转5°，15°，30°，60°，120°，135°，150°，180°攻击后的校正结果NC值分别为0.9792，0.9856，0.9833，0.9955，0.9883，0.9973，0.9955，1。

4.3.2　缩放攻击

对含水印图像放大2倍，匹配参数distRtio为0.045，匹配到的特征点对数为31对。缩放攻击后与原图像特征点匹配见图6。选取原图像点A_1（336.5104，46.8070）和点A_2（1057.000，93.6258），其欧式距离计算为287.4649；放大2倍后对应点B_1（274.7774，327.5651）和B_2（933.5542，655.1394），其欧

图4　旋转攻击后与原图像特征点匹配

Fig.4 The feature point matching graph between the original image and that after the rotation attack

a 载体　b 原水印　c 含水印　d 提取的水印(NC为1)

e 旋转45°含水印　f 提取的水印(NC为0.8745)　g 校正后含水印　h 校正后提取水印(NC为0.9973)

图5　旋转攻击参数估计和校正仿真结果

Fig.5 The simulation results of estimated and corrected rotation attack parameters

表1　旋转校正参数

Tab.1 The rotation correction parameters

类别	第1组	第2组	第3组	平均值
$A_1(x_1,y_1)$	(253.5860,149.6654)	(71.0804,206.9129)	(286.7770,146.9156)	—
$A_2(x_2,y_2)$	(590.0355,117.8903)	(501.0989,287.8209)	(611.1228,93.5977)	—
$O_1(u_1,v_1)$	(192,192)	(192,192)	(192,192)	—
$O_2(u_2,v_2)$	(576,192)	(576,192)	(576,192)	—
θ_1	34.5049	51.9860	25.4399	—
θ_2	79.2759	7.0307	70.3570	—
$\theta=\lvert\theta_1-\theta_2\rvert$	44.7710	44.9553	44.9170	44.8811

式距离为574.9233;放大攻击后和攻击前对应点欧式距离的比值刚好也为2,表明估计值和初始设定值一致。缩放攻击参数估计和校正仿真结果见图7。

图6 缩放攻击后和原图像特征点匹配

Fig.6 The feature point matching graph between the original image and that after the zoom attack

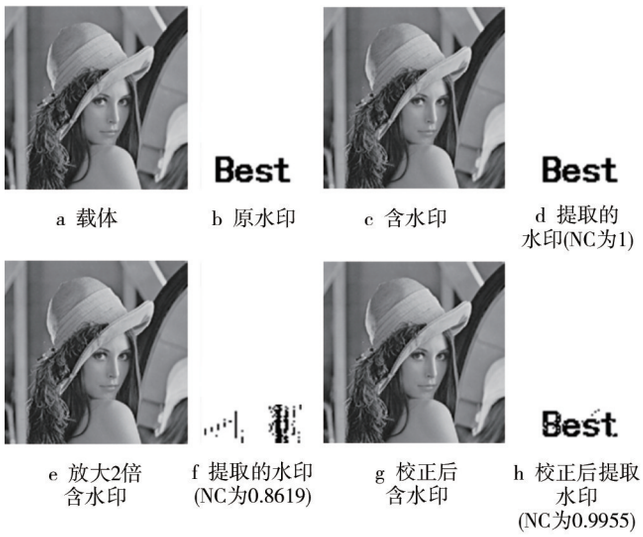

图7 缩放攻击参数估计和校正仿真结果

Fig.7 The simulation results of estimated and corrected zoom attack parameters

缩放0.125,0.25,0.5,1.25,1.5,2.5,3,4攻击后校正结果NC值分别为0.8926,0.8736,0.9097,0.9964,0.9982,0.9955,0.9973,0.9955。

4.3.3 平移攻击

对含水印图像在x和y方向分别平移25个单位,匹配参数distRtio为0.000 025,匹配到的特征点对数为43对。平移攻击后和原图像特征点匹配见图8;平移校正参数见表2(distRtio为0.000 025,matches为43)。

图8 平移攻击后和原图像特征点匹配

Fig.8 The feature point matching graph between the original image and that after the translation attack

平移(-20,-20),(-20,-10),(-20,0),(20,0),(20,10),(20,20),(15,15),(40,40)攻击后校正结果NC值分别为0.9991,1,1,1,1,1,0.9729,1。组合攻击校正结果见表3。

4.3.4 实验分析

由3组实验可知,含水印图像在接受一系列旋转、缩放、平移等3种几何攻击后,主观上提取的水印不能清晰识别,客观数据NC值在0.87以下,不能很好地起到版权保护作用;利用提出的算法进行攻击参数的估计和校正,能够很精确地估计出攻击参数。在逆向变换校正时,由于采用线性插值方法进行缩放,逆变换时存在大量数据丢失,因此,抗攻击能力表现较差。而其他攻击后图像逆向变换校正后水印提取的效果均较好,在视觉上能够清晰识别,客观数据NC值在0.97以上,甚至是1。对于系列组合攻击实验的校正结果在0.84~0.99之间,也表现出较好的抗攻击能力,能够较好地实现版权保护作用

表2 平移校正参数

Tab.2 The translation correction parameters

类别	第1组	第2组	第3组	平均值
$A_1(x_1,y_1)$	(267.0402,312.9832)	(312.1896,113.1973)	(289.1276,85.8775)	—
$A_2(x_2,y_2)$	(676.0402,337.9832)	(721.1896,138.1973)	(698.1276,110.8775)	—
$O_1(u_1,v_1)$	(192,192)	(192,192)	(192,192)	—
$O_2(u_2,v_2)$	(576,192)	(576,192)	(576,192)	—
ΔX	25	25	25	25
ΔY	25	25	25	25

a 载体　b 原水印　c 含水印　d 提取的水印(NC为1)

e 平移后含水印　f 提取的水印(NC为0.8736)　g 校正后含水印　h 校正后提取水印(NC为0.9729)

图9　平移攻击参数估计和校正仿真结果

Fig.9 The simulation results of estimated and corrected translation attack parameters

表3　组合攻击校正结果

Tab.3 Composite attacks of translation correction results

组合攻击	NC值
放大2倍+旋转45°	0.8556
旋转135°　+放大2倍	0.9874
放大0.5+旋转45°	0.8664
旋转135°　+放大0.5	0.9097
放大2倍+平移(25,25)	0.8592
旋转45°　+平移(-25,-25)	0.8818
放大0.5+旋转45°　+平移(25,25)	0.8394
放大2倍+旋转135°　+平移(25,-25)	0.8673

4.4　与其他算法对比

小波域水印算法本身抗几何攻击能力较差,因此与其他算法的对比只能和改进后的各类小波域算法进行比较。

文献[12]中DWT与SVD结合的全息数字水印算法,在抗攻击能力上也得到了很大的加强。文献[14]中给出了旋转45°　的攻击仿真结果,NC值为0.72,提出算法NC值等于0.9973,结果优于文献[14]。

文献[10]中利用了SIFT特征点匹配校正技术,但是是利用尺度因子进行缩放校正,利用反正切函数进行旋转校正,利用循环平移方法进行平移校正,与提出方法相比各有利弊。文献[15]是基于图像归一化的Contourlet域数字水印技术,提出算法抗几何攻击能力相比之下较强,具体数据见表4。

表4　算法NC值对比测试

Tab.4 Comparative test of NC values

攻击方法	文献[10]算法	文献[15]算法	提出算法
旋转45°	0.8980	0.9364	0.9973
放大2倍	1.0000	0.7855	0.9955
平移25个单位	—	—	0.9729

5　结语

理论分析和实验表明,提出算法对平移、旋转、缩放几何攻击具有很强的抵抗性,校正精度高、性能稳定,操作简便,能够很好地抵抗几何攻击,改善了小波域水印算法,保证了水印的精确提取,达到了版权保护的目的。

参考文献:

[1] 楼偶俊,王相海,王钲旋. DWT域抗几何攻击水印算法研究[J]. 计算机科学,2009(12):251—256.
LOU Ou-jun, WANG Xiang-hai, WANG Zheng-xuan. Image Watermarking Scheme in Wavelet Domain Against Geometrical Attacks[J]. Computer Science,2009(12):251—256.

[2] 廖琪男. 基于SIFT特征点匹配的水印图像几何校正算法[J]. 计算机应用研究,2011(6):2247—2249.
LIAO Qi-nan. New Watermarked Image Geometric Correction Algorithm Based onSIFT Feature Points Matching[J]. Application Research of Computers,2011(6):2247—2249.

[3] 吴翩卉,王春枝. 基于DWT数字图像水印技术研究[J]. 电脑与电信,2012(5):29—30.
WU Pian-hui, WANG Chun-zhi. Research on Digital Image Watermarking Technique Based on DWT[J]. Computer & Telecommunication,2012(5):29—30.

[4] LOW D G. Object Recognition from Local Scale-invariant Features[A]. International Conference on Computer Vision [C]// Corfu,Greece,1999:1150—1157.

[5] LOW D G. Distinctive Image Features from Scale-invariant Keypoints[J]. International Journal of Computer Vision,2004,60(2):91—110.

[6] 张翼,唐向宏. 基于图像归一化的抗几何攻击水印技术[J]. 电路与系统学报,2009,14(6):53—58.
ZHANG Yi, TANG Xiang-hong. Digital Watermarking Anti Geometric Attack Based on Image Normalization[J]. Journal of Circuits and Systems,2009,14(6):53—58.

[7] MIKOLAJCZYK K, SCHMID C. A Performance Evaluation of Local Descriptors[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis

(下转第114页)

on Information Theory, 1974, 20(4): 525—536.

[16] JOHANSSON P A. Print Mottle Evaluation by Band-pass Image Analysis[J]. Advances in Printing Science and Technology, 1993(22): 403—411.

[17] 孟湛樟梁. 实地印刷中斑纹的定义指数以及其试验方法[EB/OL]. (2011-09-05) [2015-4-8]. http://blog.sina.com.cn/s/blog_88c0ea440100ta8d.html.
MENG Zhan-zhang-liang. The Define Index and Its Test Methods of Mottle in Field Printing [EB/OL]. (2011-09-05) [2015-4-8]. http://blog. sina. com. cn/s/blog_88c0ea440100ta8d. html.

(上接第107页)

and Machine Intelligence, 2005, 27(10): 1615—1630.

[8] 何利英,李智勇,刘伟灵,等. 基于SIFT特征点的抗几何失真数字水印算法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(13): 58—60.
HE Li-ying, LI Zhi-yong, LIU Wei-ling, et al. Watermarking Algorithm Robust to Geometric Distortion Based on SIFT Feature Points[J]. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(13): 58—60.

[9] 孙劲光,何巍,杨忠旭. 基于SIFT和伪Zernike矩归一化的抗几何攻击水印[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(36): 154—157.
SUN Jin-guang, HE Wei, YANG Zhong-xu. Anti-geometric Attacks Image Watermarking Scheme Based on SIFT and Normalization of Pseudo-Zernike Moment[J]. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(36): 154—157.

[10] 陈宁,黄璐,马会杰,等. 基于SIFT特征点匹配校正的抗几何攻击水印算法[J]. 电路与系统学报, 2013(2): 158—165.
CHEN Ning, HUANG Lu, MA Hui-jie, et al. An Anti-geometric Attack Watermarking Algorithm Based on SIFT Feature Point Matching Correction[J]. Journal of Circuits and Systems, 2013(2): 158—165.

[11] CHEN B, WORNELL G W. Dither Modulation: A New Approach to Digital Watermarking and Information Embedding [A]. Proc. of SPIE: Security and Watermarking of Multimedia Contents[C]// 1999, 3657: 342—353.

[12] 张雷洪,唐波,李碧程,等. 基于DWT-SVD的强鲁棒全息水印算法研究[J]. 包装工程, 2013, 34(21): 105—109.
ZHANG Lei-hong, TANG Bo, LI Bi-cheng, et al.Strong Robustness Holographic Watermarking Algorithm Based on DWT-SVD[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(21): 105—109.

[13] 熊顺清,王玉红,周卫红. 一种基于尺度不变特征变换SIFT的图像水印算法[J]. 云南民族大学学报: 自然科学版, 2012, 21(5): 361—364.
XIONG Shun-qing, WANG Yu-hong, ZHOU Wei-hong. A New Anti-geometric Attack Digital Watermarking Algorithm Based on SIFT Transform[J].Journal of Yunnan University of Nationalities: Natural Sciences Edition, 2012, 21(5): 361—364.

[14] PEREIRA A, PUN T. Robust Template Matching for Affine Resistant Image Watermarks[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(6): 1123—1129.

[15] 王向阳,朱丹丹,杨红颖. 基于图像归一化的Contourlet域数字水印方案[J]. 小型微型计算机系统, 2009, 30(11): 2272—2276.
WANG Xiang-yang, ZHU Dan-dan, YANG Hong-ying. Image Normalization Based Robust Digital Watermarking Scheme in Contourlet Domain[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2009, 30(11): 2272—2276.