

一种基于 Trace 变换的数字图像版权保护算法

吴一全 郝红杰

(南京航空航天大学信息科学与技术学院, 南京 210016)

摘要 数字水印技术被视为一种有效的数字图像版权保护技术,但当水印信息因嵌入算法的公开而被一些攻击所破坏时,或同一幅图像被嵌入多个不同水印时,都不能有效地检测出数字作品的所有者。提出了一种基于 Trace 变换和标识信息的数字图像版权保护算法。该算法基于 Trace 变换进行数字作品的特征提取,并在第三方机构进行登记注册从而获得标识信息,然后根据标识信息确认数字作品的所有权。文中给出了算法的实验结果,并与传统的几何矩不变量算法进行了比较,结果表明,该算法对旋转、缩放、剪切及其组合、仿射变换、去掉部分行等几何攻击以及滤波和 JPEG 压缩攻击具有更高的稳健性。

关键词 版权保护 数字水印 几何攻击 Trace 变换

中图法分类号:TN918.7 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)05-0900-06

A New Approach Copyright Protection of Images Based on the Trace Transform

WU Yi-quan, HAO Hong-jie

(Department of Information Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016)

Abstract Watermarking scheme is a well-known method for copyright protection of images. However, we can not identify who the real owner is if multiple watermerkings are embedded in an image or the embedding algorithm of watermarking has made public because some attacks can destroy the watermarking. In this paper, a robust copyright protection scheme for digital images that combines trace transform and timestamp technique is proposed. Firstly, the features of the image are extracted using the trace transform. Then the message is registered at the fair third party in order to gain the timestamp. Finally, we can use the timestamp to prove who the real owner is. Experimental results are given and compared with the results of the method based on the geometric moment invariants. The results show that the scheme can well withstand geometrical attacks such as rotation, scaling, shearing, combined attack, affine transform, remove lines, filter and JPEG lossy compression.

Keywords copyright protection, digital watermarking, geometric attacks, Trace transform

1 引言

随着通信、计算机网络技术的飞速发展,越来越多信息媒体的传输和发布都是通过网络以数字的形式进行的,而随之而来的数字媒体的信息安全、知识产权保护 and 认证等问题也变得日益突出,并成为数字世界中一个非常紧迫的重要议题。传统的加密系统在数据传输过程中可以起到保护作用,但是数据

一旦被接收并解密,其保护作用也随之消失。数字水印作为传统加密方法的有效补充手段,是一种可以在开放的网络环境下保护版权和认证来源及完整性的新技术,近年来已引起了人们的高度重视,并已成为多媒体信号处理领域的一个研究热点。

数字作品很容易被篡改复制,从而很难确定该数字作品的所有权。数字水印技术提供了一种有效的数字图像版权保护技术^[1-3],但当水印信息因嵌入算法的公开而被一些攻击所破坏时,或

收稿日期:2006-09-07;改回日期:2006-12-18

第一作者简介: 吴一全(1963 ~),男,副教授。1998 年于南京航空航天大学信息科学与技术学院获信息与通信工程专业工学博士学位。主要研究方向为图像处理与视频通信、信息安全技术。E-mail: gumption_s@yahoo.com.cn

同一幅图像被嵌入多个不同水印时,都不能有效地检测出数字作品的所有者。针对这一问题,提出了一种基于 Trace 变换进行特征提取的数字图像版权保护算法。该算法利用特征提取和标识信息确定数字图像的真正所有者。该算法不需要修改原始图像,只需在第三方登记注册并获得标识信息,通过标识信息确定对数字作品的所有权。目前,数字作品登记平台已经在北京建立,它为该算法的实际应用提供了保证。

2 基于 Trace 变换的特征提取

2.1 Trace 变换的特征提取理论

Trace 变换提供了一种可选择的 2 维灰度图像的表示法。对于同一幅图像,根据所选用函数的不同,可以产生不同的表示图像。

Trace 变换^[4]是一种广义的 Radon 变换,它是沿着该图像上一条直线的函数计算,选择不同的函数可以产生不同的图像特性。该函数记作 T 。每条直线由参数 p 和 ϕ 来描述,如图 1 所示,其中, p 表示该直线离中心点的距离, ϕ 表示与参考方向的角度。此外,定义沿着该直线的参数 t ,它的原点为该直线的法线点。沿着 (ϕ, p) 确定的直线进行 Trace 变换即计算函数 T ,将产生一个关于 ϕ 和 p 的 2 维函数,然后对变换后的每一列计算函数 P ,此时结果为关于参数 ϕ 的 1 维函数,最后计算函数 Φ ,得到一个标量值。选择适当的函数 T 、 P 、 Φ ,可以得到一个对一些变换不变的值。

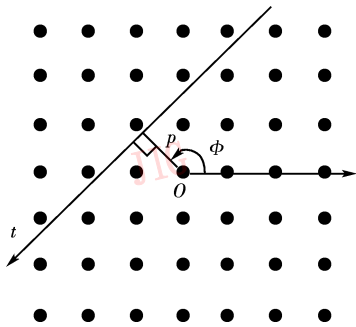


图 1 Trace 变换的参数定义
Fig. 1 Definition of the parameters of an image tracing line

假设一幅图像经受的线性攻击为旋转角度、缩放比例和平移。该图像的原始坐标系统为 C_1 ,攻击后的坐标系统为 C_2 。 C_1 经受了角度为 $-\theta$ 的旋转攻击,缩放因子为 ν 的缩放比例攻击,和平移参数为

$(-s_0 \cos \psi_0, -s_0 \sin \psi_0)$ 的平移攻击。一幅 2 维图像 F ,在 C_1 坐标系中表示为 $F_1(x, y)$, C_2 坐标系中为 $F_2(\tilde{x}, \tilde{y})$ 。则 $F_2(\tilde{x}, \tilde{y})$ 可以看作是 $F_1(x, y)$ 经过旋转 θ ,缩放 ν ,平移 $(s_0 \cos \psi_0, s_0 \sin \psi_0)$ 得到的图像。所以如果在 C_2 坐标系中确定一条直线的参数为 (ϕ, p, t) ,则在 C_1 坐标系中的确定该直线的参数为

$$\phi_{\text{old}} = \phi - \theta \tag{1}$$
$$p_{\text{old}} = \nu [p - s_0 \cos(\psi_0 - \phi)] \tag{2}$$
$$t_{\text{old}} = \nu [t - s_0 \sin(\psi_0 - \phi)] \tag{3}$$

图像 F 经过函数 T 、 P 和 Φ 作用后,得到的标量值记作 $\prod$,称作 Trace 特征,则

$$\prod(F, C_1) = \Phi(P(T(F(C_1; \phi, p, t)))) \tag{4}$$

最主要的问题是如何选取这 3 个函数。在确定之前先定义两类函数:不变性函数和敏感性函数。

如果一个函数可以使任一函数 $\zeta(x)$ 满足下式:

$$\Xi(\zeta(x+b)) = \Xi(\zeta(x)), \forall b \in \mathbf{R} \tag{5}$$

则函数 Ξ 称为不变性函数。

不变性函数还满足下列性质:

- (1) $\Xi(\zeta(ax)) = \alpha(a) \Xi(\zeta(x)), \forall a > 0$

(2) $\Xi(c\zeta(x)) = \gamma(c) \Xi(\zeta(x)), \forall c > 0$

其中参数为^[4] $\alpha(a) = a^{\kappa_{\Xi}}, \gamma(c) = c^{\lambda_{\Xi}}$ 。参数 κ_{Ξ} 和 λ_{Ξ} 描绘了函数 Ξ 的性质。

有时还要求函数具有如下性质:当应用于周期为 2π 的函数 u 时,原函数的结果和原函数减去它的第一谐波函数 $u^{(1)}$ 的结果相同,即可以表示为

$$(3) u^{\perp} \equiv u - u^{(1)}, Z(u) = Z(u^{\perp})$$

表 1 给出了一些不变量函数及其参数。

表 1 一些不变性函数及其参数
Tab. 1 Some invariant functionals with their properties

序号	函数	κ	λ
I1	$\int \zeta(t) dt$	-1	1
I2	$\int \zeta(t)' dt$	0	1
I3	$\int \zeta(t)'' dt$	1	1
I4	$\max(\zeta(t))$	0	1
I5	$I4 - \min(\zeta(t))$	0	1
I6	$\zeta(t)$ 的第 2 次谐波函数的振幅		1
I7	$\zeta(t)$ 的第 4 次谐波函数的振幅		1

如果一个函数可以使任一函数 $\zeta(x)$ 满足下式:

$$Z(\zeta(x+b)) = Z(\zeta(x)) - b, \forall b \in \mathbf{R} \tag{6}$$

则函数 Z 称为敏感性函数。

如果敏感性函数 Z 是一个周期函数,周期为 τ ,当它满足下式:

$$Z(\zeta(x+b))=Z(\zeta(x))-b_{(\text{mod}\tau)},\forall b\in\mathbf{R}\quad(7)$$

则函数 Z 称为周期为 τ 的敏感性函数。

敏感性函数还满足下列性质:

$$(4)\quad Z(\zeta(ax))=\frac{1}{a}Z(\zeta(x)),\forall a>0$$

$$(5)\quad Z(c\zeta(x))=Z(\zeta(x)),\forall c>0$$

结合(7)式和(性质4)式得到性质

$$(6)\quad Z(\zeta(a(x+b)))=\frac{1}{a}Z(\zeta(x))-b$$

$$(7)\quad Z(\zeta(ax+b))=\frac{1}{a}Z(\zeta(x))-\frac{b}{a}$$

表 2 给出了一些敏感性函数及其参数。

表 2 一些敏感性函数及其参数

Tab. 2 Some sensitive functionals with their properties

序号	函数	κ	λ
S1	$\zeta(t)$ 的第 2 次谐波函数的相位		n/a
S2	$t-\max(\text{abs}(f(t)))$ 的索引	-1	0
S3	$t-\text{abs}(f(t))$ 的重心	-1	0

2.2 不变量的构造

通过选择适当的 T 、 P 、 Φ 函数,利用它们的性质可以得到不变特征。

假设函数 T 、 P 、 Φ 都是不变性函数,且 T 满足性质 1, P 满足性质 1 和 2, Φ 满足性质 2。

现在考虑一幅图像经过线性攻击后的 Trace 特征:

$$\prod(F,C_2)=\Phi(P(T(F(C_1;\phi_{\text{old}},p_{\text{old}},t_{\text{old}}))))\quad(8)$$

将式(1)、(2)、(3)代入式(8),则

$$\prod(F,C_2)=\Phi(P(T(F(C_1;\phi-\theta,\nu(p-s_0\cos(\psi_0-\phi)),\nu(t-s_0\sin(\psi_0-\phi)))))\quad(9)$$

由于 T 是不变性函数且满足性质 1,则式(9)可以简化为

$$\prod(F,C_2)=\Phi(P(\alpha_T(\nu)T(F(C_1;\phi-\theta,\nu(p-s_0\cos(\psi_0-\phi)),t))))\quad(10)$$

由于 P 是不变性函数且满足性质 2,则

$$\prod(F,C_2)=\Phi(\gamma_P(\alpha_T(\nu))P(T(F(C_1;\phi-\theta,\nu(p-s_0\cos(\psi_0-\phi)),t))))\quad(11)$$

又由于 P 是不变性函数且满足性质 1,则

$$\prod(F,C_2)=\Phi(\gamma_P(\alpha_T(\nu))\alpha_P(\nu)P(T(F(C_1;\phi-\theta,p,t))))\quad(12)$$

最后,由于 Φ 是不变性函数且满足性质 2,则

$$\prod(F,C_2)=\gamma_\Phi(\gamma_P(\alpha_T(\nu))\alpha_P(\nu))\Phi(P(T(F(C_1;\phi,p,t))))\quad(13)$$

用以 κ 和 λ 为参数的指数形式表示,则

$$\prod(F,C_2)=\nu^{\lambda_\Phi(\kappa_T\lambda_P+\kappa_P)}\prod(F,C_1)\quad(14)$$

从式(14)可以看出,Trace 特征对旋转、平移和缩放比例失真不变的条件是:

$$\lambda_\Phi(\kappa_T\lambda_P+\kappa_P)=0\quad(15)$$

当比例因子 ν 为 1 时, $\nu^{\lambda_\Phi(\kappa_T\lambda_P+\kappa_P)}\equiv 1$,此时任何不变性函数都可以使 Trace 特征对线性失真不变。

现在假设函数 T 、 Φ 是不变性函数,函数 P 是敏感性函数,且 T 满足性质 1, P 满足性质 6, Φ 满足性质 2 和性质 3。由于 P 是不变性函数且满足性质 6,所以式(10)可简化为

$$\prod(F,C_2)=\Phi\left(\frac{1}{\nu}P(T(F(C_1;\phi-\theta,p,t)))\right)+s_0\cos(\psi_0-\phi)\quad(16)$$

最后,由于 Φ 是不变性函数且满足性质 1 和性质 3,则

$$\prod(F,C_2)=\gamma_\Phi\left(\frac{1}{\nu}\right)\Phi(P(T(F(C_1;\phi,p,t))))\quad(17)$$

同样地,可以写成:

$$\prod(F,C_2)=\nu^{-\lambda_\Phi}\prod(F,C_1)\quad(18)$$

从式(18)可以看出,只要满足下式:

$$\lambda_\Phi=0\quad(19)$$

Trace 特征就对旋转、平移和缩放比例失真不变。

基于以上的性质,可以对 T 、 P 、 Φ 函数进行选择组合以满足不变性质,从而利用其不变性进行数字图像的版权保护。

3 数字图像的版权保护

基于 Trace 变换的图像版权保护算法不需要对原始图像进行修改,避免了原始图像失真。在检测时也不需要原始图像,属于抗几何攻击的盲检测算法,有利于实际应用。

本文算法包括:登记注册和认证两个阶段。

3.1 登记注册过程

首先根据下式:

$$\prod(F,C_1)=\Phi(P(T(F(C_1;\phi_{\text{old}},p_{\text{old}},t_{\text{old}}))))$$

计算原始图像的 Trace 特征,并将这些特征表示成

一个向量形式 $\mathbf{H}$, 即 $\mathbf{H} = (h_1, h_2, \dots, h_m)$, 其中, m 为特征点的个数。 m 越大, 算法的稳健性越好, 但计算复杂度也越高, 常选择 10 ~ 12 个特征。然后将产生每个特征的函数组合、图像大小和所有者信息作为密钥信息和特征向量 $\mathbf{H}$ 一起在第三方进行登记注册, 获得第三方给出的关于注册参数的标识信息并进行签名确定。图 2 给出了数字作品登记注册的流程。

目前, 数字作品版权登记平台已经在北京建立, 它使得登记注册这个步骤更加容易实现, 为该算法的实际应用提供了平台。

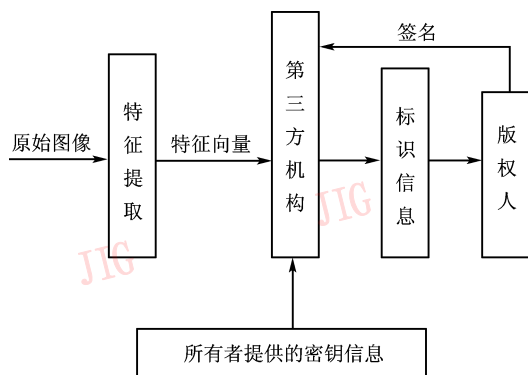


图2 数字图像作品的登记注册过程

Fig. 2 The register phase of digital images

3.2 认证阶段

首先根据下式

$$\prod (F, C_2) = \Phi(P(T(F(C_2; \phi, p, t))))$$

计算待检测图像的 Trace 特征, 即按照登记时的函数组合和排列顺序产生向量 $\mathbf{G} = (g_1, g_2, \dots, g_m)$ 。定义 r 为两个向量的相关系数, 即

$$r = \frac{\sum (\mathbf{H} - \bar{\mathbf{H}})(\mathbf{G} - \bar{\mathbf{G}})}{\sqrt{\sum (\mathbf{H} - \bar{\mathbf{H}})^2 \sum (\mathbf{G} - \bar{\mathbf{G}})^2}} \quad (20)$$

式中, $\bar{\mathbf{H}}, \bar{\mathbf{G}}$ 分别为 $\mathbf{H}, \mathbf{G}$ 的均值。

根据式(20)计算登记的特征向量 $\mathbf{H}$ 和 $\mathbf{G}$ 的相关系数 r , 如果 $r \geq 0.98$ 并通过标识信息、密钥信息和签名的认证, 则认为具有该数字图像作品的所有权; 如果 $r < 0.98$ 或是没有通过标识信息、密钥信息和签名的认证, 则认为不具有该数字图像作品的所有权。即满足下列条件:

$$\Delta = (r - r') < 0.02 \quad (21)$$

此时, 满足相关性条件。否则, 不满足。其中 r 为 1, 即没有遭受任何攻击时的相关系数, r' 为遭受攻击后图像的特征与登记特征的相关系数, Δ 为两者的

差值。如果多于一人通过了验证并满足相关系数条件, 则可以比较这些候选人的标识信息, 确定哪个最先注册即具有该数字图像作品的所有权。图 3 给出数字作品版权认证的流程。

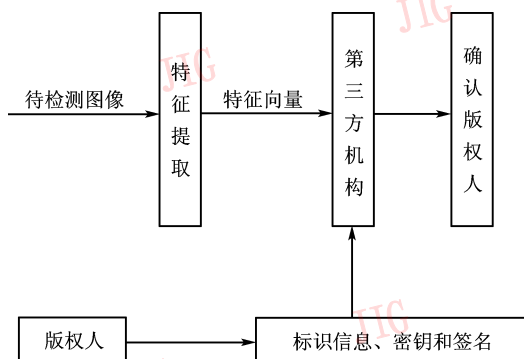


图3 数字图像作品的认证过程

Fig. 3 The detection phase of digital images

表 1 和表 2 只给出了部分函数, 所以通过选择不同的 T 、 P 、 Φ 函数组合可以得到较多的不变特征, 为不变向量的构造提供了更多的选择, 而且 T 、 P 、 Φ 的组合方式可以作为密钥保存, 即使攻击者知道该版权保护算法, 也很难知道他们的组合方式及向量的排列。所以该方法具有更强的安全性。

4 实验结果

在认证阶段, 针对一系列大小为 256×256 的灰度图像进行了实验, 攻击函数由软件 StirMark 产生。选择 (I4 I2 I1)、(I2 I4 I1)、(I2 I4 I6)、(I4 I2 S3) 等 12 组 T 、 P 、 Φ 函数的组合, 即选择 12 个特征进行实验。由于所得特征的数量级不同, 所以对部分特征进行处理, 如 $g'_i = \lg(g_i)$, 使得所有特征都在同一数量级。表 3 给出了本文算法针对其中的图像 “girl” 在不同攻击条件下得到的特征和相关系数。由此可见, 本文算法对于旋转、缩放、剪切及其组合、仿射变换、去掉部分行等几何攻击以及滤波和 JPEG 压缩攻击都具有很高的相关性。旋转攻击和组合攻击的旋转角度可从 -40° 到 40° , 缩放比例攻击中可缩小到 50%, 放大到 200%, 此时相关系数可达 0.99, 可见该算法具有很强的稳健性。

将本文算法与传统的几何矩不变量算法^[5]进行比较, 图 4 给出了实验结果。

由图 4 可以看出, 在各种攻击条件下, 本文算法比基于传统的几何矩不变量算法具有较高的相关

性,尤其是在大的旋转角度、剪切和组合攻击情况下,本文算法的相关性更强。当遭受剪切 70% 攻击即标号为 16 的攻击时,基于传统几何矩不变量的算法的相关值为 0.949 1,而本文算法为 0.981;当遭受旋转 40° + 剪切攻击(攻击标号为 24)时,几何矩

不变量的算法的相关值为 0.965 7,而本文算法高达 0.992;当遭受旋转 40° + 缩放比例攻击(攻击标号为 28)时,几何矩不变量的算法的相关值为 0.964 2,而本文算法高达 0.992 9,可见本文算法确实比基于传统的几何矩不变量算法具有更强的稳健性。

表 3 不同攻击下的特征向量及相关系数
Tab.3 The feature vectors and correlative coefficients under different attacks

攻击函 数标号		H												相关系数 r		Δ	结果
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
	原始图像	4.077	4.246	2.867	4.380	3.138	3.104	3.151	1.681	2.865	3.231	1.146	2.799	1.000 0	0		
1	缩小 50%	3.919	4.088	2.694	4.223	3.146	3.097	3.156	1.505	2.732	3.220	1.000	2.820	0.996 2	0.003 8		pass
2	缩小 95%	4.061	4.212	2.844	4.336	3.136	3.093	3.149	1.643	2.830	3.198	1.176	2.817	0.999 8	0.000 2		pass
3	放大 105%	4.069	4.219	2.861	4.366	3.135	3.096	3.156	1.716	2.689	3.228	1.204	2.744	0.998 3	0.001 7		pass
4	放大 200%	4.168	4.275	2.839	4.365	3.131	3.085	3.153	1.944	2.787	3.245	1.462	2.763	0.994 4	0.005 6		pass
5	高斯滤波	3.707	4.286	2.668	4.423	3.193	3.092	3.139	1.748	2.743	3.261	1.301	2.800	0.989 7	0.010 3		pass
6	中值 3	3.916	4.097	2.619	4.109	3.125	3.100	3.156	1.857	2.676	3.167	1.398	2.810	0.993 5	0.006 5		pass
7	随机噪声	4.378	5.138	3.444	4.681	3.186	3.124	3.097	1.643	3.229	3.006	1.041	3.135	0.970 5	0.029 5		fault
8	压缩 35%	4.122	4.236	2.825	4.348	3.110	3.096	3.147	1.716	2.790	3.183	1.342	2.875	0.997 9	0.002 1		pass
9	压缩 50%	4.110	4.240	2.844	4.375	3.123	3.092	3.151	1.748	2.812	3.205	1.255	2.852	0.999 2	0.000 8		pass
10	压缩 80%	4.146	4.274	2.808	4.345	3.121	3.099	3.148	1.643	2.815	3.237	1.146	2.803	0.999 4	0.000 6		pass
11	旋转 2°	4.069	4.239	2.785	4.394	3.127	3.119	3.166	1.748	2.690	3.179	1.230	2.705	0.997 2	0.002 8		pass
12	旋转 30°	4.105	4.265	2.840	4.116	3.118	3.093	3.156	1.716	3.003	2.876	1.230	2.970	0.988 1	0.011 9		pass
13	旋转 -1°	4.091	4.240	2.816	4.375	3.139	3.114	3.153	1.716	2.707	3.218	1.230	2.714	0.998	0.002		pass
14	旋转 -40°	4.096	4.264	2.889	4.209	3.104	3.145	3.086	1.778	2.932	3.539	1.279	3.052	0.991 5	0.008 5		pass
15	剪切 90%	4.409	4.190	2.812	4.403	3.122	3.096	3.141	1.716	2.911	3.212	1.041	2.861	0.994 8	0.005 2		pass
16	剪切 70%	3.941	4.098	2.731	4.207	3.119	3.094	3.118	1.681	3.064	3.254	0.954	3.257	0.981	0.019		pass
17	剪切 55%	3.828	4.026	2.679	3.926	3.083	3.088	3.124	1.556	2.919	3.304	0.778	3.246	0.969 3	0.030 7		fault
18	仿射变换 3	4.096	4.273	2.857	4.278	3.142	3.106	3.153	1.602	2.820	3.206	1.146	2.834	0.999	0.001		pass
19	仿射变换 6	4.088	4.261	2.827	4.363	3.143	3.111	3.163	1.716	2.682	3.186	1.204	2.759	0.997 9	0.002 1		pass
20	去掉 10%	4.050	4.232	2.818	4.378	3.137	3.096	3.155	1.681	2.868	3.206	1.079	2.782	0.999 8	0.000 2		pass
21	去掉 30%	4.069	4.240	2.885	4.367	3.142	3.100	3.150	1.602	2.869	3.206	1.114	2.791	0.999 8	0.000 2		pass
22	去掉 50%	4.077	4.243	2.882	4.408	3.140	3.094	3.151	1.643	2.898	3.228	1.114	2.817	0.999 8	0.000 2		pass
23	旋剪 2°	4.073	4.224	2.812	4.346	3.134	3.093	3.166	1.643	2.655	3.226	1.079	2.722	0.998 3	0.001 7		pass
24	旋剪 40°	3.998	4.105	2.922	4.479	3.053	3.037	3.229	1.556	3.053	3.205	0.903	2.964	0.992	0.008		pass
25	旋剪 -1°	4.078	4.236	2.812	4.307	3.136	3.087	3.154	1.556	2.722	3.288	1.079	2.741	0.998 6	0.001 4		pass
26	旋剪 -40°	3.972	4.090	2.729	4.391	3.162	3.116	3.012	1.447	2.999	3.348	0.778	3.252	0.980 7	0.019 3		pass
27	旋缩 1°	4.072	4.227	2.790	4.314	3.131	3.092	3.159	1.681	2.653	3.202	1.079	2.721	0.998	0.002		pass
28	旋缩 40°	4.047	4.144	2.957	4.481	3.057	3.044	3.220	1.505	3.065	3.201	1.000	2.978	0.992 9	0.007 1		pass
29	旋缩 -2°	4.080	4.219	2.790	4.278	3.131	3.089	3.143	1.643	2.694	3.224	1.079	2.736	0.998 6	0.001 4		pass
30	旋缩 -40°	4.029	4.127	2.817	4.399	3.163	3.098	3.020	1.716	3.027	3.311	0.845	3.287	0.981 6	0.018 4		pass

5 结 论

本文基于 Trace 变换的图像版权保护算法,不仅对滤波、JPEG 压缩等常见攻击具有较高的稳健性,

而且对几何攻击如旋转、缩放、剪切及其组合、仿射变换、去掉部分行等也具有较高的稳健性。

基于 Trace 变换的算法包括登记注册和认证两个阶段,随着数字作品登记平台的建立,已具备在第三方进行登记的条件,使得该算法实用可行。此外

本文算法不需对原始图像进行修改,认证阶段也不需要原始图像,只需计算待检测图像的 Trace 特征,所以简单易行。

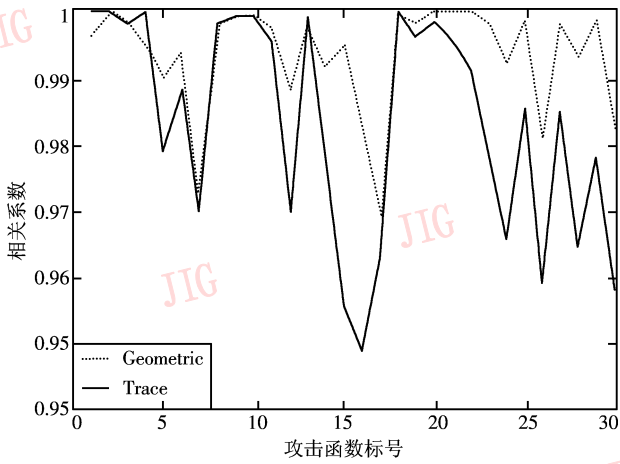


图 4 本文算法与传统几何矩不变量算法的比较

Fig. 4 The comparison of the results between the proposed method and the method based on the geometric moment invariants

参考文献 (References)

1 Hu Y J, Ma X P, Gao L. An asymmetric public key digital watermarking algorithm [J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10 (3): 354 ~ 359. [胡延军, 马小平, 高莉. 一种不对称公钥数字水印算法 [J]. 中国图象图形学报, 2005, 10 (3): 354 ~ 359.]

2 Wang P. A blind wavelet-based watermarking with robust for image cropping [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2005, 27 (7): 1039 ~ 1042. [王沛. 一种有效抵抗剪裁攻击的小波域盲水印算法 [J]. 电子与信息学报, 2005, 27 (7): 1039 ~ 1042.]

3 Wang X M, Guan Z Q, Wu C H. Image content-based adaptive watermarking arithmetic in DWT domain [J]. Computer Engineering and Applications, 2003, (35): 13 ~ 16. [王贤敏, 关泽群, 吴沉寒. 小波变换用于基于图像内容的自适应数字水印算法 [J]. 计算机工程与应用, 2003, (35): 13 ~ 16.]

4 Kadyrov K, Petrou M. The trace transform and its application [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis Machine Intelligence, 2001, 23 (8): 811 ~ 828.

5 Alghoniemy M, Tewfik H. Geometric Invariance in Image Watermarking [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13 (2): 145 ~ 153.

致 谢 在学习 Trace 变换的过程中,得到了 Surrey 大学的 Maria Petrou 教授的帮助,在此表示感谢。