

基于 Randon 变换和图像矩的抗 RST 攻击算法

周 晓

(中国科学院研究生院 北京 100082)

摘 要 抗几何攻击的能力是衡量一个数字水印算法鲁棒性的重要标准。几何攻击中,RST(旋转、尺度变换和平移)是最常见的攻击方式。本文提出一种基于 Randon 变换和 0,1 阶图像矩的抗 RST 攻击的参数估计算法,来估计水印图像经过的 RST 变换参数,并利用估计出的参数来校正水印图像。实验结果表明,算法估计参数的精度较高,对水印图像的 RST 攻击具有较好的鲁棒性。

关键词 几何攻击,数字水印,Randon 变换,图像矩

An Anti RST Attack Algorithm Based on Randon Transform and Image Moments

ZHOU Xiao

(Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100082)

Abstract The ability of anti geometric distortion is an important evaluation for judging the robust of a watermarking system. Geometric includes rotation, translation and scaling. This paper proposes a parameter estimating algorithm based on Randon transform and 0, 1 rank image moments. The parameters are used to correct the watermarking image. The experiment result proves the algorithm is effective.

Keywords Geometric attack, Digital watermark, Randon transform, Image moment

1 引言

数字水印是实现数字版权保护的一个有效办法,当前已成为多媒体信息安全研究领域的一个热点。数字水印的鲁棒性是衡量水印算法性能的一个重要指标,是指在载体经过常规的信号处理操作后,仍能检测到水印的能力。含水印图像可能受到的常用攻击手段是几何攻击,包括旋转、尺度变换、平移及剪切、投影变形等。在实际应用中,几何失真十分常见,而且图像通常可能经过多种变换。即使是很轻微的几何失真,都可能使水印检测器失效,导致检测过程失败。因此,在数字水印技术中,研究有效地抵抗几何攻击的方法,具有重要的现实意义。

图像的矩函数可以描述图像的形状特征,提供大量关于该图像不同类型的几何信息,在图像分析(如模式识别、目标鉴别、方位估计等)中有着广泛的应用。图像矩包括复数矩和几何矩,其中复数矩包括径向矩、Zernike 矩和 Fourier-Mellin 矩等。复数矩由于它的复数特性,具有旋转不变性^[1]。文[2]提出了一种基于 Fourier-Mellin 变换的水印技术,可以抵抗旋转、尺度和平移变换。但 Fourier 变换与 DFT、DCT 等相比,存在自身的弱点,难以成为主流算法^[3]。

文[4]提出了对旋转和尺度变换的估计,但是没有考虑平移的情况。文[5]将图像标准化,以进行尺度变化和旋转的恢复,但是没有考虑平移问题,并且利用了 3 阶标准矩,存在误差。文[6]提出利用图像几何矩的 11 个不变量作为索引,生成的水印经过 Hash 函数处理后,嵌入到图像的 LSB。该算法同样利用了 3 阶矩,但没有处理组合攻击的问题。文[7]提出利用图像几何意义上比率的不变性来嵌入水印,但是没有利用到几何矩的信息,并且几何比率的不变性容易发生偏差。文[8]提出了一种基于图像特征点的抵抗几何攻击的方法,但

是由于特征点在几何变形后会发生偏移,图像恢复的准确率不高。

上述基于几何矩的算法都没有涉及对 RST(旋转、尺度和平移)的组合攻击的研究,相关的利用图像几何特征的算法,校准精度不高。本文基于图像的几何矩和几何变换,重点研究一种有效的抵抗图像组合攻击的算法,给出了参数估计方法,采用提出的方法进行了实验,对结果进行了分析讨论。

2 图像的几何矩和几何变换

2.1 图像的几何矩

几何矩是矩函数中最简单的一个,其核为像素坐标的幂。几何矩的主要优点是:图像坐标变换很容易用矩空间中相应的变换来表达和分析。对于图像平面变换具有不变性的几何矩函数,在目标鉴别和目标方位估计上有很多应用。相对于其他拥有复数核的矩,图像的几何矩计算很容易执行和完成。几何矩有时也被称作 Cartesian 矩或常规矩^[1]。

将一幅图像看成一个二维密度分布 $f(x, y)$, 这里,函数值 $f(x, y)$ 表示点 (x, y) 处图像像素的亮度值。用 ζ 表示 $x-y$ 平面上图像的区域,也就是函数 $f(x, y)$ 定义的像素空间区域。则图像的 $(p+q)$ 阶几何矩定义如下:

$$m_{pq} = \iint_{\zeta} x^p y^q f(x, y) dx dy, (p, q=0, 1, 2, \dots) \quad (1)$$

其中基本集 $x^p y^q$ 在 ζ 内是连续且不正交的。对于一幅图像,亮度函数 $f(x, y)$ 在 ζ 中是有界和紧凑的,因而 m_{pq} 是有限的,并且通常为正值。

公式(1)给出的几何矩函数的表达式中包含了亮度值在图像区域上的连续积分。然而,图像只是由像素位置的一个离散阵列组成的,每一像素有一个量化的灰度值。为了计算一个 $M \times N$ 大小的图像的几何矩,直接采用数字计算的近似表达式为:

$$m_{pq} = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} x^p y^q f(x, y), (p, q=0, 1, 2, \dots) \quad (2)$$

2.2 图像的几何变换

图像可能经历的几何变换包括旋转、平移和尺度变换等。在实际的图像处理中,为了使水印检测过程失败,往往将多种图像操作结合起来进行攻击,对图像的影印或扫描也可能造成多种不同的几何变换同时存在,因此,估计联合几何变换的参数具有重要的现实意义。

图像进行 RST 变换的公式如下:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_x \cos\theta & -k_x \sin\theta \\ k_y \sin\theta & k_y \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_x p_x \\ k_y p_y \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中 (x, y) 代表图像上横坐标为 x , 纵坐标为 y 的点; (u, v) 代表经过 RST 变换后得到的新图像中的对应点; p_x, p_y 分别代表水平和垂直方向的平移量; k_x, k_y 分别代表水平和垂直方向的尺度变换因子; θ 代表图像逆时针旋转的角度。

设 m_{pq} 表示原始图像的几何矩, m'_{pq} 表示原始图像旋转或尺度或平移后的几何矩。由公式(3)可以推出图像在 RST 变换时 0 和 1 阶的几何矩的变换公式:

平移的几何矩公式

$$\begin{cases} m'_{00} = m_{00} \\ m'_{10} = m_{10} + p_x m_{00} \\ m'_{01} = m_{01} + p_y m_{00} \end{cases} \quad (4)$$

尺度的几何矩公式

$$m'_{pq} = k_x^{p+1} k_y^{q+1} m_{pq} \quad (5)$$

旋转的几何矩公式

$$\begin{cases} m'_{00} = m_{00} \\ m'_{10} = m_{10} \cos\theta - m_{01} \sin\theta \\ m'_{01} = m_{10} \sin\theta + m_{01} \cos\theta \end{cases} \quad (6)$$

3 参数估计方法

如果完全利用图像矩来解方程,可能要利用到 2 阶矩,由于它的误差比较大,即使采用纠错,得到的结果还是不能令人满意。因此应考虑进行降阶处理,只用 0 阶和 1 阶几何矩来进行参数的估计。研究发现采用 Randon 可以较好地估计图像的旋转角度。

3.1 图像的 Randon 变换

连续情形下的 Randon 变换是描述二元函数的投影在某一方面上的线积分,例如在竖直方向上的线积分是在 x 方向上的投影,在水平方向上的线积分是在 y 方向上的投影。投影可沿任意角度进行,通常的 Randon 变换是平行于投影轴的线积分,图像 $f(x, y)$ 在任意角度 θ 的 Randon 投影变换定义如下:

$$R_\theta = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x' \cos\theta - y' \sin\theta, x' \sin\theta + y' \cos\theta) dy', \quad (7)$$

其中,

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (8)$$

3.2 估计平移和尺度的变换参数

考虑 RST 变换,为简单起见,只讨论按旋转-平移-尺度的顺序攻击水印图像时估计参数的方法。

在进行恢复时,首先利用 Randon 变换求得图像的旋转角度 θ ,将其旋转回来后,再进行平移和尺度的恢复。

在大多数情况下, x 和 y 方向纵横轴的比例因子是一样的,即 $k_x = k_y$; 如果不一样,可以增加一个几何矩不变量来求解。根据公式(4)和(5),可以建立如下方程式:

$$\begin{cases} k_x = k_y \\ m''_{10} = k_x^2 k_y m'_{10} = k_x^2 k_y (m_{10} + p_x m_{00}) \\ m''_{01} = k_x k_y^2 m'_{01} = k_x k_y^2 (m_{01} + p_y m_{00}) \\ m''_{00} = k_x k_y m_{00} \end{cases} \quad (9)$$

解方程可以得到:

$$\begin{cases} k_x = \sqrt{\frac{m''_{00}}{m_{00}}} \\ k_y = \sqrt{\frac{m''_{00}}{m_{00}}} \\ p_x = (m''_{10} / k_x^2 k_y - m_{10}) / m_{00} \\ p_y = (m''_{01} / k_x k_y^2 - m_{01}) / m_{00} \end{cases} \quad (10)$$

至此,各个参数都求出了,图像也可以恢复到遭受几何攻击前的状态。

4 实验结果及讨论

测试图采用的是 $128 * 128$ 的标准 Lena 灰度图。实验的一些数据如表 1 所示。

表 1 RST 变换参数的实验估计数据

实际角度	实际 k_x	实际 k_y	实际 p_x	实际 p_y	估计角度	估计 k_x	估计 k_y	估计 p_x	估计 p_y	峰值信噪比 PSNR
20	0.95	0.95	5	5	19.8	0.9603	0.9603	4.5727	4.6647	28.7550
10	1.1	1.1	10	10	10.0	1.0981	1.0979	10.1523	10.1385	30.6248
10	0.9	0.9	10	10	10.1	0.9078	0.9046	9.9658	9.9328	29.8657

从表格上可以看出,恢复得到图的峰值信噪比都大于 28。以下分别显示了原图,经过参数为 10, 0.9, 0.9, 10 和 10 的攻击后的图和采用本文算法进行恢复后的结果图。



图 1 实验原图



图 2 攻击后的图



图3 恢复的结果图

本文对图1采用自己编写的DCT域数字水印算法进行了水印加载,然后进行如图2的攻击,再对恢复得到的图3进行水印提取,结果表明水印能够正确提取。

结论 目前大多数水印算法对几何攻击的抵抗能力较差,本文研究了几何矩和Randon变换在数字水印技术中的应用,提出了一种利用图像的Randon变换和几何矩对经过RST攻击的水印图像进行估计的算法,根据估计得出的参数对水印图像进行校正,从而增强了水印算法对几何攻击的鲁棒性。本文进一步完善了此类算法的研究,实验结果表明,该算法估计参数的精度较高,可以很好地抵抗对水印图像的RST攻击。

参考文献

1 王耀明. 图像的矩函数——原理、算法及应用[M]. 上海: 华东理

工大学出版社, 2002

- Bum-Soo K, Jae-Gark C, et al. Robust digital image watermarking method against geometrical attacks [J]. Real-Time Imaging, April, 2003, 9(2): 139~149
- 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
- Li Z, Kwong S, Wei G. Geometric moment in image watermarking [C]. Circuits and Systems, 2003. ISCAS '03. 25-28 May 2003. In: Proceedings of the 2003 International Symposium on Volume 2: II-932 - II-935
- Alghoniemy M, Tewfik A H. Geometric distortion correction through image normalization [C]. In: 2000 IEEE International Conference on Multimedia and Expo. ICME2000. Proceedings, 2000, 3(3): 1291~1294
- Liu FeiLong, Wang Yangsheng. Moment invariants based fragile image watermarking [J]. Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, 2004, 21(1): 101~107
- Caldelli R, Barni M, Bartolini F, Piva A. Geometric-invariant robust watermarking through constellation matching in the frequency domain [C]. IEEE International Conference on Image Processing, 2000, 2: 65~68
- Celik M U, Saber E, Sharma G, Tekalp A M. Analysis of feature-based geometry invariant watermarking. In: Proceedings of SPIE-The international Society for Optical Engineering, 2001, 4314: 261~268

(上接第247页)

步骤5 在最小外接矩形内部搜索值为1的像素点,记录这些像素点的坐标值。则队标的中心点坐标可由下式求得:

$$x_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$y_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

其中, (x_i, y_i) 表示搜索到的值为1的像素点的坐标, n 表示搜索到的值为1的像素点的数量。

步骤6 确定队标的方向。本文采用文[7]的方法来进行队标方向角的确定。

采用新队标方案后,由于队标的外接矩形没有超出机器人外壳的范围,队标不会发生粘连。而且,队标搜索只在外接矩形内进行,提高了实时性。而实时性正是这类高度动态的实时对抗系统的核心性能之一。

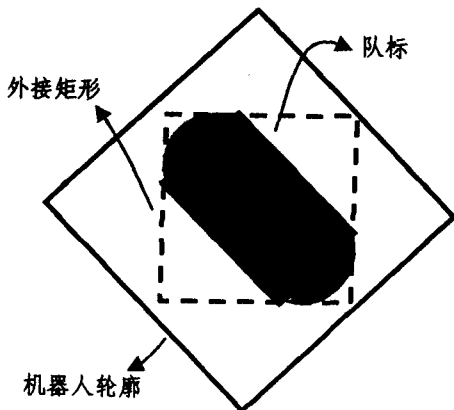


图5 队标及其最小外接矩形

3.2.2 机器人号码确定

机器人编码方法及要识别的颜色见表1。

步骤1 对一帧图像进行多重二值化,符合颜色1的像素点令其值为1,符合颜色2的像素点令其值为2。既不符合颜色1又不符合颜色2的像素点令其值为0。

步骤2 队标中心点坐标和方向现在已知,现在从队标中心点出发,可以找到B区域和C区域的中心点。

步骤3 分别以两个中心点为基准找到B、C两个区域的最小外接矩形。

步骤4 在两个外接矩形内搜索全部像素点,确定各个像素点的值,然后比较3种像素点的数量,该区域的颜色由数量最多的一种像素点决定。

结论 本文提出了一种色标设计方案,并详细阐述了基于色块外接矩形的一种识别算法,该方法已用于实际比赛,识别5个机器人用时低于5mm,大多数识别算法用时至少需要8mm以上,本文的识别算法还从根本上解决了色标粘连导致无法正确识别的问题。

参考文献

- Zhang Chunhui, Qu Chen, Gao Dazhi. The Design and Development of Robot Soccer Player. In: International Symposium on Artificial Life and Robotics, Japan, 1999
- 洪炳熔, 韩学东, 孟伟. 机器人足球比赛研究. 机器人, 2003, 25
- Zhang Yan-zhen, Yuan Ye, Gong Yu-guo. Vision Recognition in Micro-Robot System Based on Region Projection. Mechanical science and technology, 2001, 20(2)
- Han Xiao-wei, Li Jun-sheng, Li Yan-ping. An approach of color object searching for vision system of soccer robot. In: Proc. of IEEE Int Conf. on Robotics and Biomimetics, 2004
- 张杏, 彭晓燕, 陈源. 机器人足球视觉软件的研究与实现. 湖南大学学报(自然科学版), 2003, 30(3)
- 彭强, 江浩. 大场地足球机器人视觉子系统及其识别算法. 西南交通大学学报. 2005, 40(2)
- 胡英, 赵姝颖, 徐心和. 色标设计与辨识算法研究. 中国图象图形学报, 2002, 7A(12)