

一种快速有效的水印图像几何失真校正算法^{*}

杨晓元, 季称利, 王育民, 张敏情

- (1. 武警工程学院网络与信息安全重点实验室, 陕西西安 710086;
2. 西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室, 陕西西安 710071)

摘 要: 为解决水印图像在受到几何攻击后水印无法被有效检测的问题, 利用图像的空域不变信息实现对水印图像几何失真的校正, 提出一种快速有效的水印图像重同步算法, 算法能够有效校正水印图像的旋转失真和放缩失真。实验证明, 算法性能良好。

关键词: 数字图像水印 几何失真; 图像 comer 点

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) S2-0120-04

随着电子产品盗版活动的日益猖獗, 数字水印技术已成为多媒体信息安全研究领域的一个热点。该技术通过在原始数据中嵌入秘密信息来证实该数据的所有权。水印与原始数据紧密结合, 成为源数据不可分离的一部分, 并可以经历一些不破坏源数据价值的编辑而保存下来。目前图像水印算法对诸如图像压缩、加噪和滤波等一般图像处理具有较好的鲁棒性, 但是对抗旋转、缩放等几何攻击的性能有待提高。当图像经过等几何变换后, 绝大多数水印算法的检测器将无法检测到水印信息的存在, 与此同时经过几何变换的图像并不影响其视觉效果。所以, 完成对水印图像几何失真的校正, 以使水印被再次检测出来是水印技术实际应用前需解决的一大课题。

文献 [1] 提出基于 Fourier Mellin 变换的方法, 文献 [2] 提出基于模板匹配的方法, 文献 [3] 提出利用图像小波最值的 RST 校正算法, 文献 [4] 提出利用图像空域特征点对水印图像重同步。但目前这些算法的准确性以及抵抗较高强度几何攻击的能力有限。本文提出一种快速有效的水印图像重同步算法, 利用图像的空域几何特征实现水印图像的几何失真校正, 算法能够校正水印图像的旋转失真和放缩失真。

1 Harris Detector

算法利用 Harris Detector 对图像进行特征点扫描。Harris Detector 是 Harris 和 Stephens 于 1988 年在文献 [5] 中提出的一种图像边缘与 comer 相结合

的探测器, 它是目前针对图像处理最为稳健的探测器之一。尤其对旋转、DA 转换、放缩等常规几何变换具有很好的抵抗性能。Harris Detector 利用自相关函数 R 完成图像 comer 点的寻找。

$$R = \det(A) - \alpha \text{trace}(A)^2$$

其中

$$A = G(\sigma) * \begin{bmatrix} L_x^2 & L_x L_y \\ L_x L_y & L_y^2 \end{bmatrix}$$

$$\det(A) = L_x^2 L_y^2 - (L_x L_y)^2$$

$$\text{trace}(A) = L_x^2 + L_y^2$$

comer 点是图像的局部极值点, 标量 α 是可变参数, 算法中取 $\alpha=0.04$ 。

2 一种快速有效的水印图像几何失真校正算法

2.1 comer 中心角与 comer 中心距离

为研究方便, 对 comer 中心角 (以下简称 comer 角)、comer 中心距离 (以下简称 comer 距) 分别作如下定义:

2.1.1 comer 中心角 以图像中心点 O 为原点建立直角坐标系, 设任一图像 comer 点 $M(x_i, y_i)$ 与 O 所成线段 OM 同 X 轴夹角为 α , 称 α 为点 M 的 comer 中心角。

2.1.2 comer 中心距离 以图像中心点 O 为原点建立直角坐标系, 设任一图像 comer 点 $M(x_i, y_i)$ 与 O 所成线段 OM , 则线段 OM 的长度 d 称为点 $M(x_i, y_i)$ 的 comer 中心距离。

* 收稿日期: 2004-09-11

基金项目: 国家“863”信息安全重大专项资助项目 (2002AA145021); “十五”军事通信预研资助项目

作者简介: 杨晓元 (1959 年生), 男, 教授; E-mail: xyxgwj@126.com

2.2 原始图像几何特征集的提取

如图 1 所示，此过程分为以下三步：

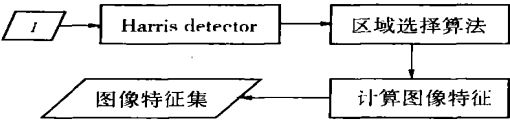


图 1 图像原始特征集提取

Fig 1 Abstraction of image's original attribute

2.2.1 原图像 Harris detector 扫描 首先利用 Harris detector 对原图像扫描，以找到图像的 corner 点。

2.2.2 选择研究区域 算法利用部分图像的几何特征即可实现对水印图像几何失真的校正，所以为了降低计算复杂度，提高算法性能，只选择图像某一区域而不是图像全部作为图像特征研究区域。

2.2.3 计算图像几何特征集 对选定研究区域 s° 中的每一 corner 点，利用前述的定义分别求取它们的 corner 角、corner 距，形成图像原始特征集 P 。

2.3 水印图像几何失真校正

如图 2 所示，水印图像几何失真校正分为以下几个步骤：

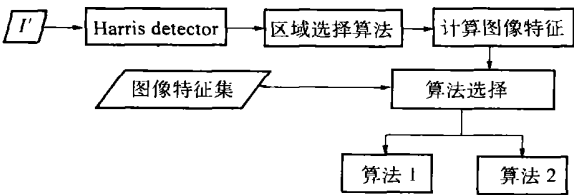


图 2 水印图像几何失真校正

Fig 2 Correction of the attacked digital watermarking

2.3.1 水印图像 Harris detector 扫描 同样地，利用与 2.1 中相同参数的 Harris detector 对失真水印图像（以下简称失真图像）扫描以找到图像的 corner 点。

2.3.2 选择研究区域 按照 1.2 中选择图像研究区域的算法，确定水印图像的研究区域 s' 。原图像研究区域 s° 与水印图像研究区域 s' 在算法上是对应的，但在图像内容上可能并不完全对应（如图像旋转后， s° 与 s' 在内容上会有少量的偏差）。

2.3.3 计算失真图像特征集 对失真图像研究区域 s' 中的每一 corner 点，利用前述的定义分别求取它们的 corner 角、corner 距，形成失真图像特征集 G 。

2.3.4 算法选择 如图 2 所示，共有 3 种不同算法可用来校正水印图像失真。用户可以根据自身需求及几何攻击的性质选择合适的算法实现失真校

正。

2.3.5 水印图像旋转失真校正算法 如图 2 中标示为算法 1。

(1) 匹配 corner 点

匹配思想：利用旋转后图像 corner 点的 corner 距与原图像 corner 点的 corner 距不变特性，实现原始图像特征集 P 中 corner 点与失真图像特征集 G 中 corner 点的匹配。

定义：设 $\nabla_i (1 \leq i \leq N)$ 是 P 中任一 corner 点， d_i° 是其 corner 距， $\nabla_j (1 \leq j \leq M)$ 是 G 中任一 corner 点， d_j' 是其 corner 距，若有 $|d_i^\circ - d_j'| \leq T_1$ (T_1 很小) 则称 ∇_i 与 ∇_j 为匹配 corner 点对，存入新集合 X ，并称 X 为匹配 corner 点对集。

corner 点匹配：对 P 与 G 中所有 corner 点执行定义中的操作，形成匹配 corner 点对集 X 。审查集合 X ，以检测是否存在一对多的情形（如 X 有点对 $(\nabla_1, \nabla'_1), (\nabla_1, \nabla'_3)$ ）若有则将此类点对全部删除。

(2) 计算图像旋转角

设图像旋转角为 β ， $\nabla_i (1 \leq i \leq N)$ 是原图像特征集 P 中任一 corner 点，其 corner 中心角为 α_i° ， ∇_i 在旋转后图像特征集 G 中为 corner 点 $\nabla'_j (1 \leq j \leq M)$ ，其中心角为 α'_j 。设 ∇_i 点的旋转角为 $\alpha \nabla_i$ ，则有 $\alpha \nabla_i = \alpha'_j - \alpha_i^\circ$ ，设匹配 corner 点对集 X 中共有 F 个元素，则可得图像旋转角

$$\beta = \frac{1}{F} \sum_{i=1}^F \alpha \nabla_i$$

2.3.6 水印图像放缩失真校正算法 如图 2 中标示为算法 2。

(1) 匹配 corner 点

匹配思想：利用放缩后图像 corner 点的 corner 角与原图像 corner 点的 corner 角不变特性，实现原始图像特征集 P 中 corner 点与失真图像特征集 G 中 corner 点的匹配。

corner 点匹配：设 $\nabla_i (1 \leq i \leq N)$ 是 P 中任一 corner 点， α_i° 是其 corner 角， $\nabla_j (1 \leq j \leq M)$ 是 G 中任一 corner 点， α'_j 是其 corner 角，若有 $|\alpha_i^\circ - \alpha'_j| \leq T_2$ (T_2 很小) 则把 ∇_i 与 ∇_j 当作匹配 corner 点对，存入匹配 corner 点对集 X 。

对 P 与 G 中所有 corner 点执行上述操作，形成匹配 corner 点对集 X 。审查集合 X ，确保匹配精度。

(2) 计算图像放缩因子

设图像放缩因子为 ω ， $\nabla_i (1 \leq i \leq N)$ 是原图像特征集 P 中任一 corner 点，其 corner 距为 d_i° ，

∇_i 在放缩后图像特征集 G 中为 corner 点 ∇_j ($1 \leq j \leq N$), 其中心距为 d'_j . ∇_i 设点的放缩因子为 ω , 则有 $\omega \nabla_i = \frac{d'_j}{d_j}$, 设匹配 corner 点对集 X 中共有 F 个元素, 则可得图像放缩因子

$$\omega = \frac{1}{F} \sum_{i=1}^F w \nabla_i$$

3 实验仿真与结果

为了验证算法的几何失真校正性能, 在 matlab 环境下做了多组相关实验. 实验用图为 256×256 的 Lena 灰度图像.

3.1 图像旋转失真校正实验及数据

在实验中, 为了测试算法 1 纠正多种角度失真的性能及其准确度, 我们测试了范围为 $3^\circ \sim 36^\circ$ 的旋转失真. 图 3 (a) 是标注有 corner 点的 Lena 原始图像, 图 3 (b) 是顺时针旋转 20° 后标有 corner 点的 Lena 图像, 图中 “+” 指示了 corner 点的位置, 两图中标框的位置则是选定区域中对应匹配 corner 点的位置. 表 1 是实验中部分失真角度输入及其相应校正值.

表 1 实验中部分失真角度输入及其相应校正值

Tah 1 The results of experiment 1

失真	6	10	12	14	16	18
校正	6.0749	9.8073	11.967	13.949	15.938	18.082
失真	20	22	24	26	28	30
校正	19.732	22.091	24.006	26.112	28.027	29.925

从以上实验数据可以看出, 算法 1 能够校正大强度的图像旋转失真, 具有鲁棒性强、准确性好的特性.

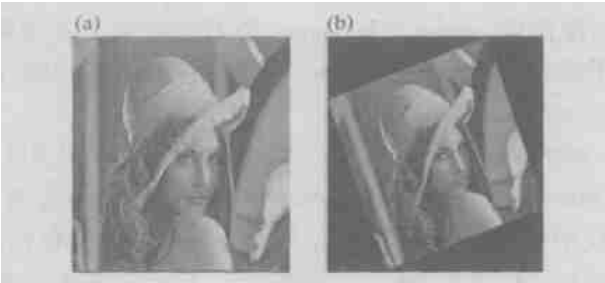


图 3 Comer 检测 (旋转)
Fig 3 Comer detetion (rotation)

3.2 图像放缩失真校正实验及数据

在实验中, 为了准确测试算法 2 的性能, 同样采取了大范围的失真输入, 系数测试范围为 $0.4 \sim 2.2$.

图 4 是标注有 corner 点的 Lena 原始图像和放大 1.6 倍后标有 corner 点的 Lena 图像, 图中 “+” 指示了 corner 点的位置, 两图中标框的位置则是选定区域中对应匹配 corner 点的位置.

表 2 是实验中部分失真放缩系数输入及其相应校正值.

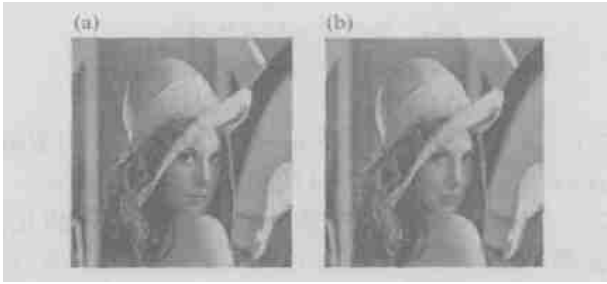


图 4 Comer 检测 (缩放)
Fig 4 Comer detetion (Scaling)

表 2 部分失真放缩系数输入及其相应校正值

Tah 2 The results of experiment 2

失真	0.5	0.7	0.9	1.1
校正	0.495	0.694	0.896	1.115
失真	1.6	1.8	2.0	2.2
校正	1.595	1.797	2.000	2.202

从以上实验数据可以看出, 算法 2 能够校正较大强度的图像放缩失真, 具有性能稳定、灵敏度高的特性.

4 讨 论

本文提出了利用图像空域的几何特征对水印图像进行几何失真校正的算法. 算法能够校正水印图像的旋转失真、放缩失真, 与同类算法相比, 算法能在实现较高精度失真校正的同时, 保持较小的计算量. 实验证明本算法具有校正能力强、准确度高、计算复杂度低、能纠正大强度几何失真的特性.

参考文献:

[1] O'RUANAIDH J, PUN T. Rotation, scale and translation invariant digital image watermarking[J]. Proc IEEE Int Conf Image Processing, 1997, 536- 539.
[2] PEREIRAR S, PRN T. Fast robust template matching for affine resistant image watermarking[C]. International workshop on Information Hiding, Dresden Germany, 1999.
[3] ALGHONIEMY M, TEWFIK A H. Geometric distortion correction in image watermarking[J]. Proc SPIE, 2000: 82 - 89.
[4] DURIC Z, JOHNSON N F. Recovering watemarks foms

images Technical report, Information and Software Engineering Technical Report, SanDiego, CA 92152 — 5000, 1999.

[5] HARRIS C, STEPHENS M. A combined corner and edge detector [C] . Proceedings of the fourth Alveyvision conference, 1988. 147— 151.

[6] 陈丹, 王继林, 王育民. 一种利用原始图像嵌入的水印算法 //信息隐藏全国学术研讨会论文集(CIHW '2002) [C] . 北京: 机械工业出版社, 2002; 180— 186.

A Fast and Efficient Geometric Distortions Correction Algorithm
for Image Digital Watermarking

YANG Xiao yuan, JI Chen li, WANG Yu min, ZHANG Ming qin

- (1. Key Laboratory on Network and Information Security of the Engineering,
College of the Armed Police Force, Xi'an, 710086, China;
2. Key Laboratory on ISN, Xi'an University of Electronical Technology, Xi'an 710071, China)

Abstract: There existed a big problem in the digital watermarking technique, that was digital watermark could not be detected while the image was attacked by geometric method such as scaling, rotation. This problem hampered the practical application of the digital watermarking. In order to solve this problem a new arithmetic is proposed. The arithmetic takes the advantage of the attribute of image to recover the attacked digital watermarking image. The attribute of original image corner and the attribute of attacked image corner were utilized to traced the geometric distortions of the attacked digital image watermarking. By this means, the digital watermarking image is resynchronized and the watermarking is detected again. The experiments have demonstrated that this schema has good performance, sound correction precision. It can correct scaling distortion and rotation distortions exactly.

Key words: digital image watermarking; geometric distortions; image corner