

基于修正直方图不变矩的零水印算法

何冰

(渭南师范学院 物理与电气工程学院, 陕西 渭南 714000)

摘要: 为了降低基于不变矩的零水印算法的漏检率和误检率, 提出了一种基于修正直方图不变矩零水印算法. 该算法计算原始图像的直方图不变矩, 并利用其构建零水印系统, 然后用参考图像和测试图像之间的相关系数来修正直方图不变矩, 利用修正后的直方图不变矩来检测水印. 实验结果表明, 本算法水印检测过程简单, 具有较低的漏检率和虚警率, 与传统的基于直方图不变矩的零水印算法相比, 在抵抗常规信号处理和几何攻击方面具有较好的鲁棒性.

关键词: 零水印算法; 几何攻击; 修正直方图不变矩

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A

Zero watermarking algorithm based on revised histogram invariant moments

HE Bing

(Dept. of Physics and Electr. Eng., Weinan Teachers Univ., Weinan 714000, China)

Abstract: A zero watermarking algorithm based on revised histogram invariant moments to resist geometric attacks was proposed in order to reduce the probability of dis-detectes and leak-detecting of zero watermarking. This algorithm calculates histogram invariant moments of original image and uses the histogram to construct zero watermarking system. The histogram invariant moments of test image is corrected by correlation coefficient of two images. The detection of watermarking system is achieved by calculating the revised histogram invariant moments. Simulation experiments demonstrated that watermarking detection was simple, had low dis-detecting rate and false alarm rate. The robust of proposed method is better than that of traditional histogram invariant moments in common signal processing and geometric attacks.

Key words: zero watermarking algorithm; geometric attacks; revised histogram invariant moments

0 引言

2003 年温泉等^[1]首次提出零水印的概念. 零水印是针对数字水印鲁棒性和不可感知性的矛盾问题提出的一个新的研究方向, 其思想是利用宿主媒体信息的重要特征来构造唯一识别的水印, 这样原媒体作品就包含了该水印数据而具备了版权保护

能力. 零水印的最大特点是不改变原媒体的任何数据, 因此不存在媒体质量下降或水印量受限制等问题. 另外, 与常规水印具有特定的内容不同, 零水印因宿主媒体而异所以需要建立零水印信息库 IPR (intellectual property right) 作为数据版权的凭证.

能否找到一种对噪声的敏感度低、计算量小、数量少的不变矩提取算法, 是准确、快速地进行目

收稿日期: 2011 - 04 - 27

基金项目: 渭南师范学院科研计划项目(11YKS015); 渭南师范学院研究生专项基金(10YKZ069)

作者简介: 何冰(1982—), 男, 陕西省合阳县人, 渭南师范学院助教, 主要研究方向为图像处理、数字水印、信息隐藏.

标跟踪、识别的关键. 目前有许多将图像识别、目标识别、图像分类的各类不变矩^[2-6]应用在数字水印的算法. 但基于不变矩的零水印算法不多, 且相关算法在水印检测时均存在漏检和误检的问题. 本文拟提出一种基于修正直方图不变矩的零水印算法, 应用于目标识别与跟踪、分类、数字水印等领域.

1 不变矩的理论背景

1.1 Hu 矩

M. K. Hu 根据几何不变量理论引进了几何矩的概念. 图像的几何矩是像函数在空域内的积分. 几何矩具有平移不变性、缩放不变性和旋转不变性, 本文只讨论平面图像的情形. 图像 $f(x, y)$ 的 $(p+q)$ 阶原点矩(也称普通矩)、中心矩以及归一化中心矩依次定义如下.

$(p+q)$ 阶原点矩:

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

$(p+q)$ 阶中心矩:

$$u_{pq} = \iint (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) dx dy \quad q, p = 0, 1, 2, \dots$$

归一化中心矩:

$$\eta_{pq} = \frac{u_{pq}}{(u_{00})^\gamma} \quad \gamma = (p+q+2)/2$$

1.2 直方图不变矩

图像的直方图反映图像的统计特征, 表达了图像中取不同灰度值 r 的面积或像素数在整幅图像中所占的比例. 当同一区域的成像条件发生变化时, 虽然在感官上图像发生了很大的变化, 但它所对应的直方图在形态上的变化却不会很大, 所以可以利用直方图所含有的信息量来定义图像的特征. 为了利用直方图的信息量, 本文定义了几个与位移、旋转、尺度变化无关的图像直方图不变矩.

假设给定一幅图像 $f(x, y)$, 设图像的面积 A , $A(r)$ 为灰度值小于 r 部分的面积之和, 则概率密度

$$P(r) = \lim_{\Delta r \rightarrow 0} \frac{A(r + \Delta r) - A(r)}{\Delta r \cdot A}$$

且有 $\int_{\min}^{\max} P(r) dr = 1$. 作 $r \sim P(r)$ 曲线, 即可得 $f(x, y)$ 的直方图.

对离散图像 $f(m, n)$, 设图像的灰度值为 r_1, r_2, \dots, r_{k-1} , 则概率密度 $P(r_i) = \frac{\text{灰度为 } r_i \text{ 的像素数}}{\text{图像上的总像素数}}$

$(i = 0, 1, 2, \dots, k-1)$, 且有 $\sum_{i=0}^{k-1} P(r_i) = 1$.

将图像转化为图像的直方图 $P(r)$ 时, 处理对象从二维降到一维, 从而可提高处理速度. 对一维函数 $P(r)$ k 阶矩定义为

$$m_k = \int r^k P(r) dr \quad k = 0, 1, \dots$$

k 阶中心矩定义为

$$u_k = \int (r - \bar{r})^k P(r) dr \quad k = 0, 1, \dots$$

其中 $\bar{r} = \frac{m_1}{m_0}$.

归一化 k 阶中心矩定义为

$$\eta_k = \frac{u_k}{u_0^{k+1}}$$

根据归一化中心不变矩, 提出如下 4 个不变矩, 它们均具有平移、旋转、比例不变性.

$$h_1 = \frac{u_4}{u_2^2} \quad h_2 = \frac{u_5}{u_2 u_3} \quad h_3 = \frac{u_6}{u_3^2} \quad h_4 = \frac{u_7}{u_3 u_4}$$

1.3 修正直方图不变矩

对于大小为 $m \times n$ 的离散二维数字图像 $f_1(x, y)$ 和 $f_2(x, y)$, 其灰度相关系数可定义为

$$\rho = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n (f_1(x, y) - \text{aver}_1)(f_2(x, y) - \text{aver}_2)}{\left(\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n (f_1(x, y) - \text{aver}_1)^2 \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n (f_2(x, y) - \text{aver}_2)^2 \right)^{1/2}}$$

式中 ρ 为标准图像与待检测图像的相关系数, $f_1(x, y)$ 为标准图像的像素灰度值, aver_1 为标准图像的像素灰度均值, $f_2(x, y)$ 为待检测图像的像素灰度值, aver_2 为待检测图像的像素灰度均值. 修正后的直方图不变矩定义为

$$\lambda_1 = h_1/\rho \quad \lambda_2 = h_2/\rho \quad \lambda_3 = h_3/\rho \quad \lambda_4 = h_4/\rho$$

2 零水印算法的构造

零水印算法重点在如何利用图像特征构造零水印而非如何嵌入水印, 所以本文没有常规水印算法的变换域到空间域的逆转过程, 而直接在空域里实现, 因此算法速度明显快得多.

步骤 1: 水印注册. 计算原始图像的 4 个不变矩, 构成特征矢量 $H = (h_1, h_2, h_3, h_4)$, 其中 h_i 为第 i 个直方图不变矩. 在得到特征矢量后, 连同原始图像长宽信息一并在可信第三方 (IPR 注册中心) 登记签名, 可信第三方对这些信息加盖时间戳后即宣布

原始图像已经在水印技术保护之下,如图1所示.

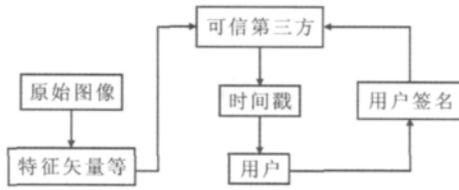


图1 水印注册

步骤2: 水印检测. 计算待测图像的4个修正直方图不变矩, 构成特征向量 $G = (g_1, g_2, g_3, g_4)$, 并将其与 H 进行比较. 这里, 定义参数 d 来衡量 G 和 H 的差距.

$$d = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |h_i - g_i| \quad m = 1, 2, 3, 4$$

如果 $d \geq \varepsilon$ (ε 为事先设定的经验阈值), 则验证结束, 图片不含有水印, 否则认为水印存在. 若有很多人持有的检测图片都检测到存在水印, 则检验其时间戳来确定谁是版权所有者, 如图2所示.

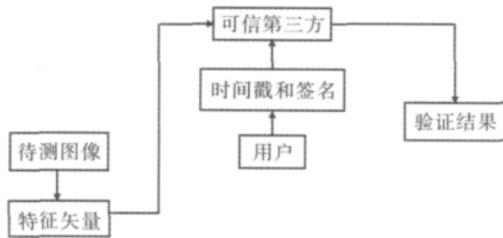


图2 水印认证

3 仿真分析

原始图像采用 256×256 的 Lena 图片(见图3) 在 Matlab 7.8 中进行仿真. 首先计算原始图像的直方图变换不变矩, 组成特征向量 $H = (h_1, h_2, h_3, h_4)$, 然后计算 $G = (g_1, g_2, g_3, g_4)$. 对于图像的视觉质量的定量描述, 使用常用的基于像素的差分失真度量方法 PSNR.

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{x,y} (I(x,y) - I'(x,y))^2$$

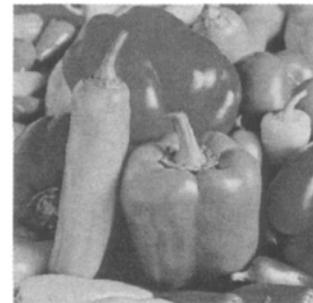
其中, M 为图像的行数, N 为图像的列数.

$$PSNR = 10 \lg(255^2 / MSE)$$

为了验证算法的有效性, 本文进行了5组实验. 实验1是原始图像进行旋转攻击后修正直方图不变矩、直方图不变矩和 Hu 不变矩的实验比较结果, 结果见图4; 实验2是对 Lena 图像进行感染噪声后三者的实验比较结果, 见图5; 实验3是对 Lena 图像进



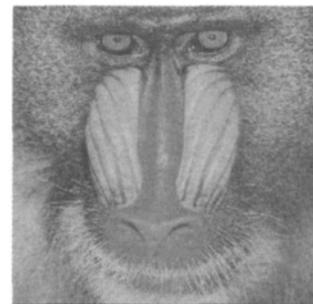
a) 原始 Lena 图像



b) Pepper 图像



c) Plane 图像



d) Baboon 图像

图3 原始图像和其他不同载体的图像

行 JPEG 压缩, 然后进行水印检测, 实验结果见表1; 实验4是对图像 Lena 进行加噪、滤波后, 进行水印检测, 实验结果见表2; 为了验证本文算法的可靠性, 对于其他图像是否会出现误判的情况, 实验5以其他不同的载体图像作误检率验证实验. 载体图像分别选取 Pepper, Plane 和 Baboon 3 幅图像, 实验结

表1 不同 JPEG 压缩的实验结果

压缩品质 Q	压缩比	PSNR/dB	欧氏距离
10	1.40	38.440	0.000 159 0
9	1.70	37.848	0.001 405 8
8	2.16	37.174	0.000 979 9
7	2.69	36.267	0.009 718 5

表2 滤波分析实验结果

实验	PSNR/dB	欧氏距离
3 × 3 的中值滤波	31.764	0.009 1
4 × 4 的中值滤波	28.780	0.047 3
3 × 3 的均值滤波	27.245	0.028 5
4 × 4 的均值滤波	32.786	0.057 3

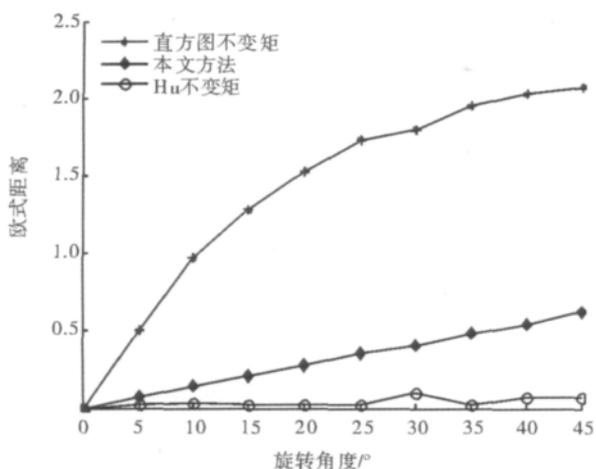


图4 本文的方法与Hu不变矩、直方图不变矩进行旋转攻击后的实验对比

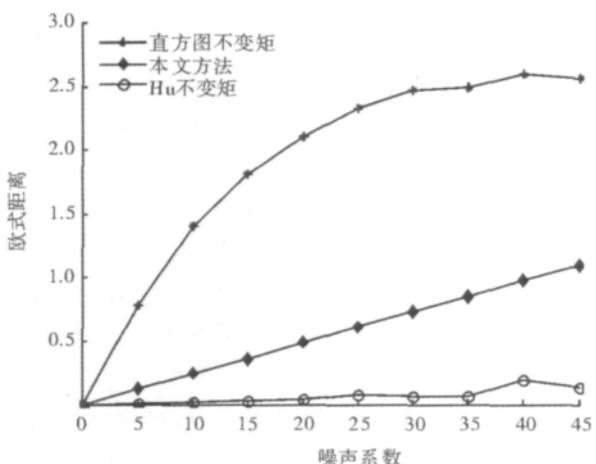


图5 本文的方法与Hu不变矩、直方图不变矩感染高斯噪声后的实验对比

果见图6、图7。由实验结果可以看出，本文算法对图像的旋转、缩放、JPEG压缩、滤波具有很强的鲁棒性，通过误检率实验可以看出本文算法具有很好

的检测精度。

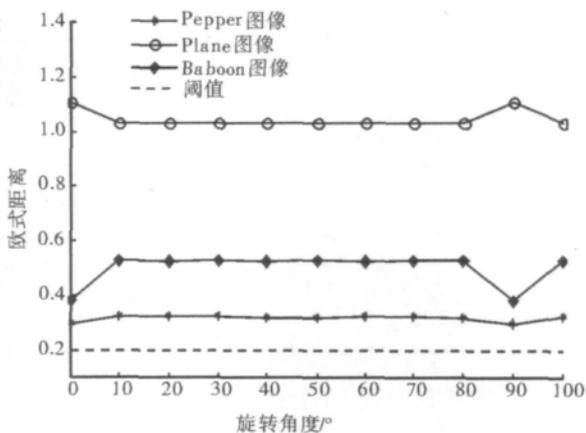


图6 不同载体图像的旋转实验误检曲线图

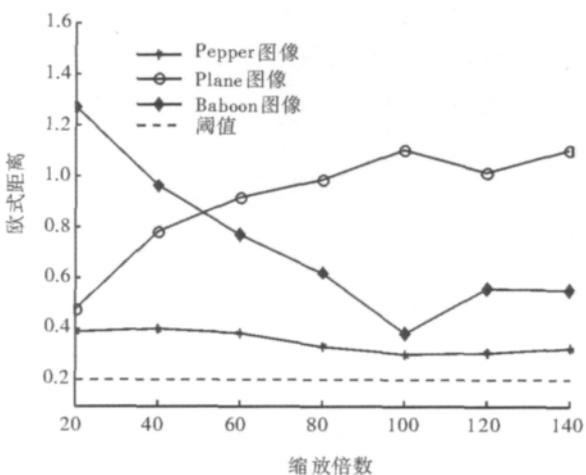


图7 不同载体图像的尺度变换实验误检曲线图

4 结论

本文提出了一种修正直方图不变矩零水印算法。该算法对噪声的敏感度低，而且提取的不变矩数量少，算法简单、快速。经过仿真实验证明本文的算法在满足直方图不变矩具有的所有性能外，能够有效抵抗常规的信号处理，在抗噪性能上鲁棒性明显优于传统的直方图不变矩算法；同时该算法对滤波、JPEG压缩也具有较强的鲁棒性；另外通过使用不同的载体图像进行误检率实验，结果显示对于没有嵌入水印的图像错误检测的概率很小，具有很高的检测精度。因此本文算法对于几何攻击和常见的信号处理具有很好的鲁棒性，是一种简单、可靠、实用的数字水印方法。

(下转第73页)

8×8 ,在图像与子块大小相同的情况下,比较 DCT 算法、PCA 算法和本文算法的图像块总数和特征维数(见表 1)。从表 1 可以看出,本文算法的块总数是前 2 种算法的 1/4,因此本文算法大大降低了时间复杂度。

表 1 DCT 算法、PCA 算法和本文算法的比较

算法	特征提取	子块总数	特征维数
DCT 算法	DCT	62201	32
PCA 算法	PCA	62201	64
本文算法	低频空域	14641	4

3 结论

本文提出基于高斯金字塔分解和圆谐傅里叶矩的检测算法。该算法首先对图像进行高斯金字塔分解,提取图像的低频区域,然后计算每个图像子块的 3 阶圆谐矩,并对各个图像块的特征向量进行字典排序,最后根据阈值进一步找到图像的复制粘贴区域。实验结果表明该算法检测效果好、运算量小。但是算法本身也有不足之处,比如它只能检测连续的复制粘贴区域,并且篡改区域面积需要大于一定距离才能检测出来。

参考文献:

[1] 周琳娜. 数字图像盲取证技术[D]. 北京:北京邮电大

(上接第 61 页)

参考文献:

- [1] 温泉,孙锁锋,王树勋. 零水印的概念与应用[J]. 电子学报,2003,31(2):214.
- [2] Kim Hyung Shin, Lee Heung Kyu. Invariant image watermark using zernike moments[J]. IEEE Trans on Circuits and Syst for Video Tech,2003,13(8):766.
- [3] Alghoniemy M, Tewfik H. Geometric invariance in image watermarking[J]. IEEE Trans on Image Proc,2004,13

学,2007.

- [2] 杨义先. 信息隐藏与数字水印[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2004.
- [3] 吴琼. 面向真实性检测的数字图像盲取证方法研究[D]. 长沙:国防科技大学,2008.
- [4] 王鑫. 数字图像盲取证技术研究[D]. 郑州:解放军信息工程大学,2009.
- [5] 吴琼,李国辉,涂丹,等. 面向真实性鉴别的数字图像盲取证技术综述[J]. 自动化学报,2008,34(12):1458.
- [6] 朱艳玲. 数字图像取证的关键技术研究[D]. 北京:北京邮电大学,2011.
- [7] Fridrich J, Soukal D, Lukas J. Detection of copy-move forgery in digital images[C]//Proc of Digital Forensic Research Workshop, Washington: IEEE, 2003:55-61.
- [8] Popescu A C, Farid H. Exposing Digital Forgeries by Detecting Duplicated Image Regions[R]. Hanover: Dartmouth College, 2004.
- [9] 肖斌. 基于不变矩的图像几何变换不变性的识别研究[D]. 西安:陕西师范大学,2007.
- [10] 姜红军,海鹰,平子良. 用圆谐傅里叶矩描述图像[J]. 内蒙古师范大学学报:自然科学汉文版,2003,32(4):344.

(2):145.

- [4] 陈实,高有行. 一种轮廓变化图像小波矩的步态识别[J]. 西安交通大学学报,2009,43(1):90.
- [5] 冯桂,卢健,林宗坚. 图像直方图不变特征在影像匹配定位中的应用[J]. 计算机辅助设计与图形学报,2000,12(2):146.
- [6] 何冰,王珣,赵杰,等. 基于 Couterlet 变换的抗旋转攻击零水印算法[J]. 计算机应用,2009,29(3):802.