

基于二值图像的抗旋转攻击零水印算法

何冰, 王暉, 赵杰

(陕西师范大学物理学与信息技术学院, 西安 710062)

摘要: 针对目前多数基于变换域的零水印算法不能抵抗几何攻击(RST 变换)的问题, 提出一种基于二值图像的抗旋转攻击零水印算法。采用对数极坐标系, 将笛卡尔坐标系中的旋转变换转换为循环平移的性质, 在水印提取时使用穷举遍历的方法来检测循环平移后的测试图像是否包含水印信息。实验结果表明, 该方法可获得较好的图像视觉效果, 对加噪、滤波、JPEG 压缩和剪切攻击具有较好的鲁棒性。

关键词: 零水印; 二值图像; 对数极坐标; 鲁棒性

Zero Watermark Algorithm Against Rotation Attack Based on Binary Image

HE Bing, WANG Xuan, ZHAO Jie

(School of Physics and Information Technology, Shaanxi Normal University, Xi'An 710062)

【Abstract】 Considering the existing watermark method based on transformation region without resisting to geometric attack ability, this paper proposes a method based on binary image, which can against rotation attack ability efficiently. For rotation causing distortion, it makes use of Log-Polar Mapping(LPM), which can transform rotation problem in Cartesian coordinate to translation property in LPM coordinate. After translation, it uses an exhaustive search to detect test image involves watermark or not. Experimental results indicate that the method can obtain better visual effect, meanwhile, it is robust enough to some image degradation process such as adding noise, cropping, filtering and JPEG compression.

【Key words】 zero watermark; binary image; Log-Polar Mapping(LPM); robust

1 概述

多媒体与网络技术的迅速发展使数字音像文化市场中的盗版现象日趋严重。版权保护成为一个重要的研究方向, 近几年来数字水印已成为解决这一问题的有效方法。通过在原始数据中嵌入水印来证明多媒体作品的所有权。

现有的数字水印技术大多难以抵抗几何变换类攻击, 如旋转、平移和尺度变换等, 其中一个最主要的原因是几何变换虽然并未去除图像中的水印信息, 但却使水印的检测与嵌入之间失去同步, 从而导致水印检测的失效。因此, 除非在检测水印之前能使受到几何攻击的水印图像恢复到与原始图像具有同样大小和位置, 也就是恢复已失去的同步信息。所以, 同步问题被认为是抗几何攻击水印技术中需要解决的关键技术。频域里抗几何攻击的水印算法主要有基于 Fourier-Mellin 变换的算法^[1], 基于 Radon 变换的抗几何攻击算法^[2], 而这些方法或多或少对图像的空域信息和频域信息做了一定的修改, 这样造成原始图像的质量急剧下降。而零水印很好地解决了这一问题, 它无须修改原始图像的任何信息, 主要利用图像的重要特征来构造水印信息, 这样使其鲁棒性和安全得到加强。文献[3]提出零水印的概念, 该算法利用高阶累积量提取图像的特征来构造零水印, 通过实验来证明这种方法具有很好的性能。但它只能抵抗加噪、滤波、JPEG 压缩、剪切非几何攻击, 对于旋转的几何攻击鲁棒性较差, 而本文的算法选择二值图像作为重要特征, 构建零水印, 并通过实验结果证明该方法不但可以获得良好的图像视觉效果, 同时对加噪、滤波、JPEG 压缩、剪切攻击具有有很好的鲁棒性。

2 选用二值图像的可行性分析

二值图像只有 2 个灰度级, 它以较小的数据量表达了原始图像的内容, 容易储存、处理和辨认, 在形态学及图像处理识别中占有重要地位。本文以二值图像作为重要特征量来构造零水印, 是因为它对图像处理操作的过程中极具有稳健性。从图像形态知识分析, 由于人眼对二值图像的认知能力非常强, 只要原始图像经过处理后的内容未改变, 那么它所对应的二值图像也完全能被人眼所辨别。图像重要特征的提取从本质上讲是一种鲁棒哈希变换过程。二值图像作为重要特征, 相对于其他方法, 具有鲁棒哈希的性质, 即给定 2 幅不同内容的图像得出相同二值图像的概率很小。因为与原始图像具有相同尺寸, 二值图像以较大哈希值的数据量减少发生碰撞的概率。同时为减少碰撞现象的发生, 在选择阈值时, 采取自适应动态的阈值很有必要。自适应阈值是基于图像内容的, 不同的图像会有不同的阈值分布特性, 从而对应同一像素点 2 幅图像使用的分割阈值不尽相同, 发生碰撞的几率更小。二值图像保持了原始图像的基本内容, 同无意义的哈希比特具有主观可识别的优点。

3 旋转不变性算法

令表示笛卡尔坐标系 (x, y) 上的原图像, 沿顺时针方向旋转 ϕ 角度:

基金项目: 陕西师范大学研究生培养创新基金资助项目(2008CXSS036)

作者简介: 何冰(1982-), 男, 硕士研究生, 主研方向: 图像处理, 数字水印; 王暉, 副教授、博士; 赵杰, 硕士研究生

收稿日期: 2008-10-06 **E-mail:** hebingbing@stu.snnu.edu.cn

$$f^r(x, y) = f(x \cos \varphi + y \sin \varphi, y \cos \varphi - x \sin \varphi) \quad (1)$$

对数极坐标(Log-Polar Mapping, LPM)的映射过程为

$$\begin{cases} x = e^\rho \cos \theta \\ y = e^\rho \sin \theta \end{cases}, 0 \leq \theta < 2\pi, \rho \in R^2 \quad (2)$$

将式(2)代入式(1), 得:

$$\begin{aligned} f^r(e^\rho \cos \theta, e^\rho \sin \theta) &= f(e^\rho \cos \theta \cos \varphi + e^\rho \sin \theta \sin \varphi, e^\rho \sin \theta \cos \varphi - \\ &e^\rho \cos \theta \sin \varphi) = f(e^\rho \cos(\theta - \varphi), e^\rho \sin(\theta - \varphi)) \quad (3) \end{aligned}$$

式(3)可简写为

$$I^r(\rho, \theta) = I(\rho, \theta - \varphi) \quad (4)$$

其中, ρ, θ 分别为极轴、极角的采样个数。由式(4)可见, 原图像在笛卡儿坐标系旋转 φ 个角度, 图像会在 LPM 系里沿着极角 θ 方向平移 φ 个单位。

对于循环平移后的图像, 在水印检测时可使用遍历搜索的方法来检测载体图像是否包含水印信息, 通过以上的算法实现旋转不变性的目的。

4 水印的嵌入与检测

本文以 128×128 的 256 级灰度 baboon 图像作为载体图像, 256×256 的二值图像作为水印图像来说明水印的嵌入和检测过程。

4.1 水印嵌入

水印嵌入原理见图 1。

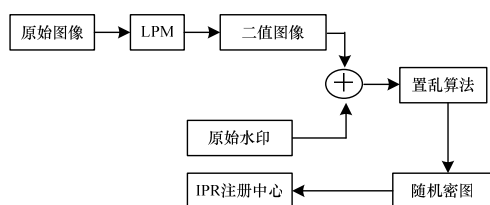


图 1 水印嵌入原理

水印嵌入算法如下:

(1) 考虑到一般图像在受到旋转几何攻击之后图像大小会发生改变, 这样使水印的嵌入和检测失去同步, 通过加黑背景使 128×128 的 256 级 baboon 灰度图像大小为 200×200 , 目的是保持载体图像在受到旋转几何攻击之后的基本信息不受损失, 从而实现水印嵌入和检测之间同步。

(2) 对大小为 200×200 的 baboon 图像进行对数极坐标转换, 极轴和极角的采样个数都为 256, 即 LPM 以后的图像大小为 256×256 。

(3) 对 LPM 以后的 256×256 图像进行图像二值化, 得到图像 A。

(4) 图像 A 与水印图像 W 进行异或运算得到的图像记为 B, 为了增强 B 的安全性, 利用置乱密钥 Key 进行置乱, 得到置乱后的图像 C。

(5) 置乱后的图像 C 送版权管理中心(IPR)注册并分配给版权标记 W 所代表的版权所属。

4.2 水印检测

水印检测原理见图 2。水印检测算法如下:

(1) IPR 注册中心在版权纠纷发生时方便快捷地提供与原始图像 I 对应的注册码, 通过注册码找到图像 C。

(2) 对待检测图像进行对数极坐标转换和图像二值化, 这一步同嵌入水印算法中的步骤(2)和步骤(3)。

(3) 图像 C 通过置乱逆算法与步骤(2)后的图像进行异或运算得到重构的水印图像。

(4) 对重构的水印图像和原始水印图像做相似度计算。

若相似度高于阈值门限, 则判定水印存在, 若低于门限则进行搜索遍历。

(5) 循环搜索遍历: 将对数极坐标转换后的图像沿极角的方向平移 N 个单位 ($N=1, 2, \dots, \rho$), 重复步骤(2)~步骤(4)。如果 $N > \rho$, 则判定水印不存在。

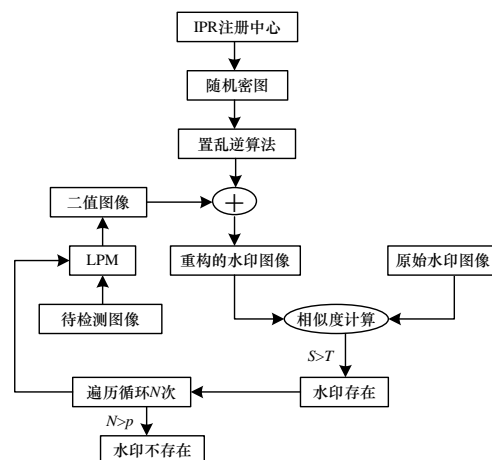


图 2 水印检测原理

5 图像置乱变换方案

为增强密钥图像的安全性, 要在产生密钥图像之前进行图像置乱变换。常见的置乱变换有 Arnold 变换(又称猫脸变换), 排列变换, Fibonacci 变换, 这些置乱图像后的直观效果各不相同, 但其计算复杂度是基本一致的, 因为它们均存在取模运算, 使其在作置乱时较费时间, 而且除了 Arnold 变换的逆变换易求除外, 其余变换的逆变换不易求出。基于上述考虑, 本文采用仿射变换。

仿射变换的一般形式为

$$\begin{cases} x' = ax + by + e \\ y' = cx + dy + f \end{cases}, \Delta = \begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix} \neq 0 \quad (5)$$

其矩阵形式为

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e \\ f \end{pmatrix} \quad (6)$$

其中, (x, y) 为原始坐标; (x', y') 为变换后的坐标; a, b, c, d, e, f 分别为变换的参数系数。该变换通过像素点的位置的置换来置乱图像。当遍历完所有的原始图像像素点之后, 便进行了一次完整的仿射变换。

6 仿真实验

仿真实验选取的水印图像为 256×256 的二值图像, 原始载体图像为 200×200 的 baboon 图像。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。

$$MSN = \frac{1}{MN} \sum_{x,y} (I(x, y) - I'(x, y))^2 \quad (7)$$

$$PSNR = 10 \lg 255 / MSN \quad (8)$$

其中, MSN 表示 2 幅图像之间的均方误差。 $I(x, y)$ 和 $I'(x, y)$ 分别表示在 (x, y) 处的灰度值。则 2 幅图像之间的相似度为

$$sim = \frac{\sum_{x,y} I(x, y) I'(x, y)}{\sum_{x,y} I^2(x, y)} \quad (9)$$

为验证算法的有效性, 本文进行以下 4 组实验:

(1) 在原始 baboon 载体图像嵌入水印图像, 提取水印图像的 $sim=1$ 。实验结果见图 3。

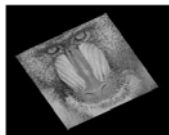


陕西师范大学

(a)baboon 图像 (b)原始水印图像 (c)提取的水印图像

图3 未加任何攻击的实验结果

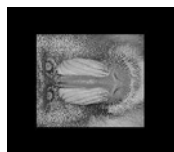
(2)对 baboon 图像进行各种角度的旋转后进行水印检测, 旋转 30°后, 重构的水印图像的 sim=0.952 3; 旋转 90°后, 重构的水印图像的 sim=1。实验结果见图 4。



(a)旋转 30°的 baboon 图像



(b)重构的水印图像



(c)旋转 90°的 baboon 图像



(d)重构的水印图像

图4 抗旋转实验结果

(3)对 baboon 图像进行加噪、滤噪、剪切后进行水印检测, 实验结果见表 1。

表1 加噪、滤波、剪切分析实验结果

对图像进行的操作	PSNR/dB	sim
加入 0.01 的椒盐噪声	24.625	0.998 3
加入均值为 0, 方差为 0.005 的高斯噪声	26.625	0.991 4
进行 3×3 的中值滤波	19.720	0.985 2
进行 3×3 的均值滤波	18.256	0.945 6
剪切 1/4	10.026	0.897 4

(4)对 baboon 图像进行 JPEG 压缩后进行水印检测, 实验结果见表 2。

表2 不同 JPEG 压缩的实验对比结果

压缩品质 Q	压缩比	PSNR/dB	文献[4]算法的 sim 值	本文算法的 sim 值
10	1.40	59.592	0.954	0.9980
9	1.70	37.568	0.920	0.9798
8	2.16	35.139	0.787	0.9745
7	2.69	34.964	0.673	0.9727

由实验结果可以看出, 本文算法对图像的旋转、加噪、滤噪、JPEG 压缩、剪切具有很强的鲁棒性。

7 结束语

本文提出一种基于二值图像的抗旋转攻击的零水印算法。通过对该算法进行的一系列仿真实验, 发现该算法对各种不同角度的旋转攻击有很强的鲁棒性, 同时本文也做了加噪、滤波、JPEG 压缩、剪切实验发现该算法也具有较弱的鲁棒性, 对于没有嵌入水印的图像错误检测的概率很小。而且该算法还可以推广到其他数字图像信息的隐藏中, 并非仅局限于水印。

参考文献

- [1] Oruanaidh J J K, Pun T. Rotation, Scale and Translation Invariant Spread Spectrum Digital Image Watermarking[J]. Signal Processing, 1998, 66(3): 303-317.
- [2] Cai Lian, Du Sidan, Gao Duntang. Geometrically Invariant Watermarking Based on Radon Transformation[J]. Journal of Electronics, 2005, 22(5): 300-306.
- [3] 温 泉, 孙铨锋, 王树勋. 零水印的概念与应用[J]. 电子学报, 2003, 31(2): 214-216.
- [4] 潘 蓉, 高有行. 基于小波变换的图像水印嵌入方法[J]. 中国图象图形学报, 2002, 7(7): 667-671.

编辑 金胡考

(上接第 112 页)

6 结束语

随着宽带网接入用户的增长和 Internet 应用的日益丰富, 网络流量在迅速增加, 网络链路拥塞现象越来越严重, 因此, 网络运营迫切需要合理利用网络资源, 并在网络中进行精确的流量控制, 才能消除网络拥塞和瓶颈, 达到对宽带网络可管理、可控制和可运维的目的。本文提出了一种多链路间共享令牌调度模型, 有效地解决了链路间流量调度和负载均衡的问题, 并提高了链路利用率, 降低了延时。

未来的研究工作主要包括: (1)在本文的基础上研究分布式并行多逻辑链路间的流量负载调度, 解决大规模链路接入所产生的流量分配问题。(2)进一步设计带反馈信息的链路间主动通信调度机制, 提高链路的响应能力, 降低控制节点的计算量, 解决在链路数急剧增加的情况下计算复杂度的问题。

参考文献

- [1] 武航星, 慕德俊, 潘文平, 等. 网络拥塞控制算法综述[J]. 计算机科学, 2007, 34(2): 51-56.
- [2] 程 京, 沈永坚, 张大方, 等. TCP-Shape: 一种改进的网络拥塞控制算法研究[J]. 电子学报, 2006, 34(9): 1621-1625.
- [3] 罗 强, 黄廷学. 一种提供接入端 QoS 保证的 VoIP 带宽控制器的设计[J]. 微电子学与计算机, 2004, 21(3): 81-84.
- [4] 张桂英, 吴学智. 下一代宽带接入网 QoS 研究[J]. 计算机应用, 2007, 27(6): 174-176.
- [5] 陈志刚, 李 登, 曾志文. 分布式系统中一种动态负载均衡策

略、相关模型及算法研究[J]. 小型微型计算机系统, 2002, 23(12): 1434-1437.

- [6] 刘军雷, 振 明. 一种基于流量映射代理的以太网流量均衡实现结构[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(10): 49-53.
- [7] 张 武, 陈 晓, 王劲林, 等. 基于NGN的多功能宽带接入网关设计及 QoS 分析[J]. 计算机工程, 2007, 33(23): 93-95, 112.
- [8] Bechler M, Ritter H, Schafer G, et al. Traffic shaping in End Systems Attached to QoS-supporting Networks[C]//Proc. of Symposium on Computers and Communications. [S. l.]: IEEE Press, 2001.
- [9] Fortz B T. Internet Traffic Engineering by Optimizing OSPF Weights[C]//Proc. of INFOCOM'00. [S. l.]: IEEE Press, 2000.
- [10] Wang Yufei, WANG Zheng. Internet Traffic Engineering Without Full Mesh Overlaying[C]//Proc. of INFOCOM'01. [S. l.]: IEEE Press, 2001.
- [11] Lee Y, Seok Y, Choi Y. A Constrained Multi-path Traffic Engineering Scheme for MPLS Networks[C]//Proc. of ICC'02. New York, USA: [s. n.], 2002.
- [12] 秦 勇, 梁 根, 郭小雪, 等. DTBF 模型的流量负载均衡研究与实现[J]. 计算机工程, 2007, 33(15): 124-126.
- [13] Peterson L L, Davie B S. Computer Networks: A System Approach[M]. 2nd ed. [S. l.]: Morgan Kaufmann Publisher Inc., 2000.
- [14] 焦 利, 林 宇, 王文东, 等. 一种负载均衡网络中内部链路时延推算算法[J]. 软件学报, 2005, 16(5): 886-893.

编辑 张 帆

