

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **6**
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年6月 第17卷 第6期(总第194期)

目次

综述

- 人脸图像的年龄估计技术研究 王先梅, 梁玲燕, 王志良, 胡四泉(603)
- 图像统计模型参数估计中的期望最大值算法 李旭超(619)

图像处理和编码

- 鲁棒的梯度驱动图像修复算法 叶学义, 王靖, 赵知劲, 陈华华(630)
- 快速去块效应的线性规划方法 金剑秋, 刘春晓, 王勋, 章志勇(636)
- DWT-SVD 域全盲自嵌入鲁棒量化水印算法 叶天语(644)
- Mean-shift 滤波和直方图增强的图像弱边缘提取 冀峰, 高新波, 谢松云(651)

图像分析和识别

- 梯度点对约束的结构化车道检测 王永忠, 王晓云, 文成林(657)
- 多水平外区抑制的轮廓检测 闫超, 张建州(664)
- 基于局部投影与块 LBP 特征的图像检索 邹彬, 潘志斌, 胡森(671)

图像理解和计算机视觉

- 视觉陌生度驱动的增量自主式视觉学习算法 瞿心昱, 姚明海, 顾勤龙(678)
- 霍夫空间中多足球机器人协作目标定位算法 许家铭, 解仑, 王志良, 倪善超(687)

计算机图形学

- 虚拟 CCD 线阵星载光学传感器内视场拼接 张过, 刘斌, 江万寿(696)

“第八届数字电视与无线多媒体通信国际论坛”会议专栏

追踪盗版者的抗共谋数字指纹 李晓强, 张煌, 赵洋洋, 汪晶晶(702)

LBP 与鉴别模式结合的热红外人脸识别 谢志华, 伍世虔, 方志军(707)

电影中复杂事件的检索与识别 杜吉祥, 郭一兰, 翟传敏(712)

方向特征和网格特征融合的离线签名鉴别 杨丹凤, 吕岳(717)

视觉关注度的立体图像质量评价 张艳, 安平, 张秋闻, 张兆杨(722)

低开销的异构数据交换 赵凯, 赵正德(726)

灵活的多视点视频编码预测结构 张艳, 蔡灿辉(730)

跨层反馈在无线视频自适应编码中的应用 王焱中, 郑世宝, 张重阳, 刘勃(736)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 6 期

2012 年 6 月 16 日出版

主管单位 中国科学院
主 办 中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所
主 编 李小文
编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会
北京 9718 信箱 邮编 100101
电子信箱:jig@irsa. ac. cn
电话:010-64807995 010-82614429
网 址:www. cijig. cn
印刷装订 北京北林印刷厂
广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号
总 发 行 北京报刊发行局
订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
(中国国际书店)
(北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,
CAS China Society of Image and Graphics
Institute of Applied Physics and Computational
Mathematics
Chief editor LI Xiaowen
Editor, Publisher Editorial and Publishing Board
of Journal of Image and Graphics
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
E-mail:jig@irsa. ac. cn
Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers
and Journals
Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading Corporation
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)
Printed by Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 6 June 2012

Contents

Review

- Age estimation by facial image: a survey Wang Xianmei, Liang Lingyan, Wang Zhiliang, Hu Siqian(603)
Expectation maximization method for parameter estimation of image statistical model Li Xuchao(619)

Image Processing and Coding

- Robust gradient driving image inpainting method Ye Xueyi, Wang Jing, Zhao Zhijing, Chen Huahua(630)
Fast image de-blocking by linear programming Jin Jianqiu, Liu Chunxiao, Wang Xun, Zhang Zhiyong(636)
Perfectly blind self-embedding robust quantization-based watermarking scheme in DWT-SVD domain Ye Tianyu(644)
Weak edge detection using Mean-shift filtering and histogram enhancement Ji Feng, Gao Xinbo, Xie Songyun(651)

Image Analysis and Recognition

- Gradient-pair constraint for structure lane detection Wang Yongzhong, Wang Xiaoyun, Wen Chenglin(657)
Contour detection based on multilevel inhibition Yan Chao, Zhang Jianzhou(664)
Image retrieval method based on local projection and block LBP feature Zou Bin, Pan Zhibin, Hu Sen(671)

Image Understanding and Computer Vision

- Visual novelty driven incremental and autonomous visual learning algorithm Qu Xinyu, Yao Minghai, Gu Qinlong(678)
Target localization algorithm for cooperative multi-soccer robots based on Hough space
..... Xu Jiaming, Xie Lun, Wang Zhiliang, Ni Shanchao(687)

Computer Graphics

- Inner FOV stitching algorithm of spaceborne optical sensor based on the virtual CCD line
..... Zhang Guo, Liu Bin, Jiang Wangshou(696)

Special Issue of the IFIC' 2011

- Anti-collusion fingerprinting scheme capable of tracing pirate Li Xiaoqiang, Zhang Huang, Zhao Yangyang, Wang Jingjing(702)
Infrared face recognition using LBP and discrimination patterns Xie Zhihua, Wu Shiqian, Fang Zhijun(707)
Recognize and retrieval complex events in real movies Du Jixiang, Guo Yilan, Zhai Chuanmin(712)
Off-line signature verification based on combination of direction feature and grid feature Yang Danfeng, Lv Yue(717)
Stereo image quality assessment based on visual attention Zhang Yan, An Ping, Zhang Qiuwen, Zhang Zhaoyang(722)
Low overhead of heterogeneous data exchange Zhao Kai, Zhao Zhengde(726)
Flexible prediction structure for multi-view video coding Zhang Yan, Cai Canhui(730)
Cross-layer feedback based adaptive coding for wireless video transmission
..... Wang Yaozhong, Zheng Shibao, Zhang Chongyang, Liu Bo(736)

中图法分类号: TN911.7 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)06-0644-07

论文引用格式: 叶天语. DWT-SVD 域全盲自嵌入鲁棒量化水印算法[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(6): 644-650.

DWT-SVD 域全盲自嵌入鲁棒量化水印算法

叶天语

浙江工商大学信息与电子工程学院, 杭州 310018

摘要: 引入自嵌入技术提出一种 DWT-SVD 域全盲鲁棒量化水印算法, 只需借助攻击图像进行版权认证。对原始图像先进行 DWT, 将小波低频子带分成互不重叠的子块, 对每个子块进行 SVD, 通过对比相邻两个子块最大奇异值的大小关系产生特征水印序列, 然后将选定的自嵌入特征水印序列通过奇偶量化规则自嵌入原始图像小波低频子带每个子块的最大奇异值, 最后进行 SVD 合成和 IDWT 产生含水印图像。算法具有良好的不可见性和安全性, 并且通过结合自嵌入特征水印序列和盲提取认证水印序列达到全盲检测。实验结果表明, 算法具有较强的抵抗添加高斯噪声、添加椒盐噪声、高斯低通滤波、中值滤波、剪切、JPEG 压缩和混合攻击的鲁棒性。

关键词: 数字水印; 量化水印; 全盲检测; 自嵌入技术; 鲁棒性

Perfectly blind self-embedding robust quantization-based watermarking scheme in DWT-SVD domain

Ye Tianyu

College of Information & Electronic Engineering, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China

Abstract: A perfectly blind robust quantization-based watermarking scheme in DWT-SVD (discrete wavelet transformation-singular value decomposition) domain is proposed by introducing the self-embedding technology. It can accomplish copyright authentication only resorting to the attacked image. The original image is conducted with DWT, and its low frequency wavelet band is split into non-overlapping blocks. Afterwards, each block is conducted with SVD. A feature watermark sequence is derived through judging the numerical relationship between the two biggest singular values of adjacent blocks. Moreover, the chosen feature watermark sequence is self-embedded into each block's biggest singular value from the original image's low frequency wavelet band based on the Principle of odd-even quantization. Finally, a watermarked image is obtained after SVD synthesis and IDWT. The proposed algorithm has good invisibility and security, and achieves perfectly blind detection by combining self-embedding feature watermark sequence and blindly extracting authentication watermark sequence. Experimental results show that the proposed algorithm has strong robustness towards adding Gaussian noise, adding salt and pepper noise, Gaussian low-pass filtering, median filtering, cropping, JPEG compression, and hybrid attacks.

Key words: digital watermarking; quantization-based watermarking; perfectly blind detection; self-embedding technology; robustness

收稿日期: 2011-08-01; 修回日期: 2011-11-08

基金项目: 浙江省教育厅项目(Y201017916)

第一作者简介: 叶天语(1982—), 男, 讲师, 2010年于北京邮电大学获信号与信息处理专业工学博士学位, 主要研究方向为信息隐藏与数字水印。E-mail: flystu008@yahoo.com.cn

0 引言

现有鲁棒图像水印算法^[1-7]将外在水印嵌入原始载体图像,通过计算原始水印和提取的水印之间的相关度以认证版权。文献[1]将伪随机序列作为水印嵌入原始载体图像,而且提取水印时不需借助原始图像任何信息,属于盲无意义鲁棒水印算法,但要通过借助密钥产生原始伪随机水印序列,然后计算与提取的水印序列之间的相关度以认证版权。文献[2-7]将灰度图像或二值图像作为水印嵌入原始载体图像,而且提取水印时不需借助原始图像任何信息,属于盲有意义鲁棒水印算法,但要将原始水印图像从嵌入端传输到检测端,然后计算与提取的水印图像之间的相关度以认证版权。本文认为一个实用的鲁棒图像水印算法应达到全盲检测,即检测端只借助攻击图像就可以认证版权,不需借助原始载体图像和原始水印的任何信息,有利于防止互联网上的被动攻击和节省传输成本。然而,现有盲鲁棒图像水印算法^[1-7]仍需借助原始水印或其相关信息,无法达到全盲检测。

自嵌入脆弱图像水印算法^[8-10]是一类特殊的脆弱图像水印算法,特殊之处在于脆弱水印是通过提取原始载体图像的特征产生并被自嵌入原始载体图像。自嵌入脆弱水印算法只利用攻击图像就可以实现篡改检测,从而达到全盲检测,原因在于采用自嵌入技术。然而,目前自嵌入技术仅仅被运用到脆弱水印技术领域。量化嵌入规则是鲁棒水印技术领域一种有效的水印嵌入方法,采用量化嵌入规则的鲁棒水印算法^[2-5]提取水印时不需借助原始载体图像,达到盲检测。本文将自嵌入技术引入鲁棒水印技术领域,提出一种全盲量化鲁棒水印算法,以改善现有鲁棒水印算法的实用性。

1 DWT-SVD 域全盲自嵌入鲁棒量化水印算法

图像经离散小波变换(DWT)后,会产生小波低频子带和水平、垂直、对角线方向3个细节子带,其中小波低频子带集中图像的主要能量,具有更好的抗外在干扰稳定性。图像经奇异值分解(SVD)产生的奇异值具有较好的抗外在干扰稳定性,当图像受到轻微扰动时,不会发生较大的改变。本文算法结

合DWT和SVD的上述性质,利用小波低频子带每个子块的最大奇异值产生自嵌入的特征水印序列,确保自嵌入的特征水印序列产生算法具有良好鲁棒性;将特征水印序列自嵌入小波低频子带每个子块的最大奇异值中,确保特征水印序列自嵌入算法具有良好鲁棒性。

1.1 自嵌入的特征水印序列产生

原始载体图像 I 的大小为 $M \times M$ 。产生自嵌入的特征水印序列 \hat{W} 的过程分解如下:

- 1) 对 I 进行 m_1 级 DWT, 将第 m_1 级小波低频子带记为 L 。
- 2) 将 L 分割成互不重叠的大小为 $n_1 \times n_1$ 的子块。
- 3) 对每个子块进行 SVD, 将第 k 个子块的最大奇异值记为 λ_k , $k = 1, 2, \dots, \left(\frac{M}{n_1 2^{m_1}}\right)^2$ 。
- 4) 判断相邻两个子块最大奇异值的大小关系产生原始特征水印序列 W

$$w_j = \begin{cases} 0 & \lambda_{2j-1} \geq \lambda_{2j} \\ 1 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

式中, w_j 是 W 的第 j 位, $j = 1, 2, \dots, \frac{1}{2} \left(\frac{M}{n_1 2^{m_1}}\right)^2$ 。

- 5) 利用 Logistic 混沌映射选择自嵌入的特征水印序列 \hat{W} :

(1) 选定分支参数 ε 和初值 x_0 , 利用式(2)的 Logistic 映射定义式产生混沌序列 $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots\}$ 。Logistic 映射定义为

$$x_{n+1} = 1 - \varepsilon x_n^2 \quad (2)$$

式中, $x_n \in (-1, 1)$, $n = 0, 1, 2, \dots$ 。当 $\varepsilon \in [0, 2]$ 时, 该映射处于混沌状态。将 ε 和 x_0 作为本文算法的密钥。

(2) 利用 X 产生新的混沌随机数序列 \hat{X} 。 \hat{X} 由 X 的第 $a+1$ 到第 $a + \frac{1}{2} \left(\frac{M}{n_1 2^{m_1}}\right)^2$ 个随机数组成, 即

$$\hat{X} = \left\{ \hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_{\frac{1}{2} \left(\frac{M}{n_1 2^{m_1}}\right)^2} \right\} = \left\{ x_{a+1}, x_{a+2}, \dots, x_{a+\frac{1}{2} \left(\frac{M}{n_1 2^{m_1}}\right)^2} \right\}$$

舍弃 X 的前 a 个随机数是因为混沌序列最初的一些随机数往往不够稳定。

(3) 对 \hat{X} 中的各随机数从小到大进行排序产生新序列, 将新序列中各随机数在新序列的位置标号组成的序列记为 $Index$ 。混沌序列每两个随机数都大小不相等, 所以 $Index$ 的每两个元素都将不相等。

(4)利用 *Index* 序列选择出自嵌入的特征水印序列 \hat{W} , 即 $\hat{w}_i = w_{\text{index}(i)}$, 其中 \hat{w}_i 为 \hat{W} 的第 i 位, $\text{index}(i)$ 为 *Index* 的第 i 个元素, $i = 1, 2, \dots, \frac{1}{4} \left(\frac{M}{n_1 2^{m_1}} \right)^2$ 。

W 是通过原始图像 I 自身特征产生的, 因此被称为原始特征水印序列。混沌映射具有初值敏感性, x_0 和 ε 任一个发生很微小的变化都将导致混沌序列 X 发生很大变化, 从而自嵌入的特征水印序列 \hat{W} 也发生很大变化, 因此本文算法具有良好的安全性。

1.2 特征水印序列自嵌入

\hat{W} 自嵌入原始载体图像 I 的过程分解为以下步骤:

1) 对 I 进行 m_2 级 DWT, 将第 m_2 级小波低频子带记为 \tilde{L} 。

2) 将 \tilde{L} 分割成互不重叠的大小为 $n_2 \times n_2$ 的子块。

3) 对每个子块进行 SVD, 将第 i 个子块的最大奇异值记为 $\tilde{\lambda}_i$, $i = 1, 2, \dots, \left(\frac{M}{n_2 2^{m_2}} \right)^2$ 。

4) 将 \hat{W} 通过式(3)的奇偶量化规则自嵌入各个子块的最大奇异值

$$\begin{cases} \tilde{\lambda}'_i = (\tilde{\beta}_i - 1/2) \times \eta & \text{mod}(\hat{w}_i + \tilde{\beta}_i, 2) = 1 \\ \tilde{\lambda}'_i = (\tilde{\beta}_i + 1/2) \times \eta & \text{mod}(\hat{w}_i + \tilde{\beta}_i, 2) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中, $\text{mod}(\cdot)$ 为求模运算, η 为量化步长, $\tilde{\beta}_i = \text{round}(\tilde{\lambda}_i / \eta)$, 为 $\tilde{\lambda}_i$ 的量化值, $\text{round}(\cdot)$ 为舍入取整运算; $\tilde{\lambda}'_i$ 为修改后的 $\tilde{\lambda}_i$ 。式(3)为奇偶量化水印嵌入规则, 其物理意义为: 根据量化值 $\tilde{\beta}_i$ 与每比特水印 \hat{w}_i 之和的奇偶性修改每个子块最大奇异值 $\tilde{\lambda}_i$ 自嵌入 \hat{W} 。

5) 将每个子块的 $\tilde{\lambda}'_i$ 代替原来的 $\tilde{\lambda}_i$ 进行 SVD 合成。

6) 进行 m_2 级逆离散小波变换 (IDWT) 产生含水图像。

为了使自嵌入的特征水印序列 \hat{W} 正好完全嵌入原始载体图像 I , 必须使得 $\frac{1}{4} \left(\frac{M}{n_1 2^{m_1}} \right)^2 = \left(\frac{M}{n_2 2^{m_2}} \right)^2$

成立, 也就是 $\frac{n_1}{n_2} = 2^{m_2 - m_1 - 1}$ 必须成立。

1.3 自嵌入的特征水印序列提取

检测端从攻击图像 I' 提取自嵌入的特征水印序

列 \hat{W}' 的过程分解为以下步骤:

1) 对 I' 进行 m_1 级 DWT, 将第 m_1 级小波低频子带记为 L' 。

2) 将 L' 分割成互不重叠的大小为 $n_1 \times n_1$ 的子块。

3) 对每个子块进行 SVD, 将第 k 个子块的最大奇异值记为 λ'_k , $k = 1, 2, \dots, \left(\frac{M}{n_1 2^{m_1}} \right)^2$ 。

4) 判断相邻两个子块最大奇异值的大小关系提取特征水印序列

$$w'_j = \begin{cases} 0 & \lambda'_{2j-1} \geq \lambda'_{2j} \\ 1 & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

式中, w'_j 是 W' 的第 j 位, $j = 1, 2, \dots, \frac{1}{2} \left(\frac{M}{n_1 2^{m_1}} \right)^2$ 。

5) 利用 Logistic 混沌映射选择出自嵌入的特征水印序列 \hat{W}' :

(1) 利用分支参数 ε 和初值 x_0 根据式(2)的 Logistic 映射定义式产生混沌序列 $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots\}$ 。

(2) 利用 X 产生新的随机数序列 \hat{X} 。 \hat{X} 由 X 的第 $a+1$ 到第 $a + \frac{1}{2} \left(\frac{M}{n_1 2^{m_1}} \right)^2$ 个随机数组成。

(3) 对 \hat{X} 中的各随机数从小到大进行排序产生新序列, 将新序列中各随机数在新序列的位置标号组成的序列记为 *Index*。

(4) 利用 *Index* 序列选择出自嵌入的特征水印序列 \hat{W}' , 即 $\hat{w}'_i = w'_{\text{index}(i)}$, 其中 \hat{w}'_i 为 \hat{W}' 的第 i 位, $i = 1, 2, \dots, \frac{1}{4} \left(\frac{M}{n_1 2^{m_1}} \right)^2$ 。

根据以上过程, 检测端从攻击图像提取自嵌入的特征水印序列的过程与嵌入端从原始图像产生自嵌入的特征水印序列的过程类似。

1.4 认证水印序列提取

检测端从攻击图像 I' 提取认证水印序列 W'' 的过程分解为以下步骤:

1) 对 I' 进行 m_2 级 DWT, 将第 m_2 级小波低频子带记为 \tilde{L}' 。

2) 将 \tilde{L}' 分割成互不重叠的大小为 $n_2 \times n_2$ 的子块。

3) 对每个子块进行 SVD, 将第 i 个子块的最大奇异值记为 $\tilde{\lambda}'_i$, $i = 1, 2, \dots, \left(\frac{M}{n_2 2^{m_2}} \right)^2$ 。

4) 利用式(5)的奇偶判断方法从每个子块提取

认证水印

$$w''_i = \begin{cases} 1 & \text{mod}(\tilde{\beta}'_i, 2) = 1 \\ 0 & \text{mod}(\tilde{\beta}'_i, 2) = 0 \end{cases} \quad (5)$$

式中, $\tilde{\beta}'_i = \text{floor}(\tilde{\lambda}'_i/\eta)$, $\text{floor}(\cdot)$ 为向下取整运算, w''_i 是 W'' 的第 i 位。

5) 计算 \hat{W}' 和 W'' 之间的归一化相关度 (NC) 以认证版权。NC 定义为

$$\text{NC} = \frac{\sum_{i=1}^{\left(\frac{M}{n_2 2^{m_2}}\right)^2} (\hat{W}'_i \times W''_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{\left(\frac{M}{n_2 2^{m_2}}\right)^2} (\hat{W}'_i)^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^{\left(\frac{M}{n_2 2^{m_2}}\right)^2} (W''_i)^2}} \quad (6)$$

W'' 将被用于认证版权, 所以被称为认证水印序列。本文算法提取 W'' 时达到盲提取。另外, 本文算法实现全盲检测, 因为检测端只利用攻击图像分别提取出 \hat{W}' 和 W'' 计算 NC 来认证版权, 不需要借助原始图像和原始水印的任何信息。

2 实验结果

2.1 实验参数说明

原始载体图像是大小为 512×512 的 256 灰度级 Lena、Goldhill、Baboon 3 幅图像, 如图 1—图 3 中 (a) 所示。原始载体图像进行以 haar 小波为基的 2 级 DWT, 第 2 级小波低频子带分割成 2×2 子块以产生原始特征水印序列。Logistic 混沌映射的初值为 0.28, 分支参数为 2, 前 200 个混沌随机数被舍弃。自嵌入的特征水印序列的长度为 1 024 bit。原始载体图像进行以 haar 小波为基的 1 级 DWT, 第 1 级小波低频子带分割成 8×8 子块以自嵌入特征水印序列。Lena、Goldhill、Baboon 3 幅图像的量化步长都为 55, 产生的相应含水图像分别见图 1—图 3 中 (b), 与相应原始图像之间的峰值信噪比 (PSNR) 分别为 41.482 7 dB、41.113 9 dB、40.828 2 dB, 此时本文算法具有良好的不可见性。

无攻击时, 从图 1—图 3 中 (b) 提取的 \hat{W}' 和 W'' 之间的 NC 分别为 0.998 3、0.997 9、0.998 0, 都没有达到 1.000 0, 原因在于: 1) 特征水印序列自嵌入对含水图像用于提取特征水印序列的最大奇异值有影响, 使 \hat{W}' 无法与 W'' 完全相同; 2) 3 幅图像自嵌入

特征水印序列经 SVD 合成和 IDWT 后的数据类型为 double, 存储为 unit8 的 bmp 含水图像存在舍入误差。

无攻击时, Lena、Goldhill、Baboon 3 幅图像的 \hat{W} 和 \hat{W}' 之间的 NC 分别为 0.998 3、0.997 9、0.998 0。无攻击时 3 幅图像的 \hat{W} 和 \hat{W}' 之间的 NC 都较高但没有达到 1.000 0。这说明特征水印序列自嵌入原始图像后会对原始图像最大奇异值 λ_k 有一定的影响, 造成 λ'_k 与 λ_k 之间可能存在偏差, 从而使得 \hat{W}' 没有与 \hat{W} 完全一致, 但这种影响比较细微。



图 1 原始与含水水印 Lena 图像

Fig. 1 Original and watermarked Lena images

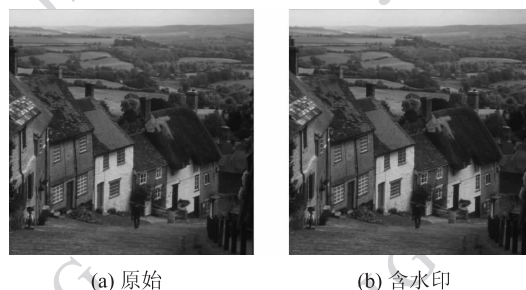


图 2 原始与含水水印 Goldhill 图像

Fig. 2 Original and watermarked Goldhill images

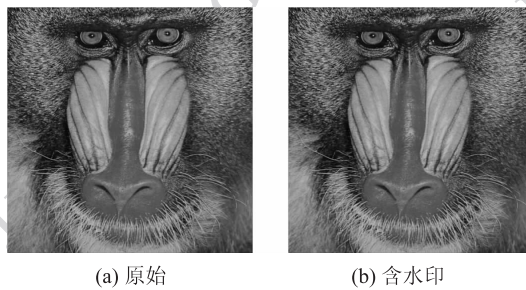


图 3 原始与含水水印 Baboon 图像

Fig. 3 Original and watermarked Baboon images

2.2 抗攻击鲁棒性实验结果

表1—表3分别列出3幅图像在不同攻击时两个不同水印序列之间的NC。根据表1—表3的

“ \hat{W}' 和 W'' ”栏,各种攻击下3幅图像的 \hat{W}' 和 W'' 之间的NC都较高,因此本文算法对这些攻击表现出较强鲁棒性。

表1 Lena 抗攻击鲁棒性实验结果

Table 1 Experimental results of robustness against attacks for Lena image

攻击类型	攻击参数	本文算法			文献[2]	文献[3]
		\hat{W}' 和 W''	\hat{W} 和 \hat{W}'	\hat{W} 和 W''	原始水印与提取的水印	原始水印与提取的水印
添加高斯噪声	均值为0,方差为0.0001	0.9844	0.9862	0.9983	0.9462	0.8482
	均值为0,方差为0.0003	0.9623	0.9748	0.9878	0.8986	0.8326
添加椒盐噪声	噪声密度为0.003	0.9505	0.9689	0.9799	0.9309	0.9169
	噪声密度为0.005	0.9285	0.9550	0.9721	0.8974	0.8860
高斯低通滤波	模板大小为 3×3 , $\sigma = 0.5$	0.9291	0.9905	0.9366	0.8990	0.7644
中值滤波	模板大小为 3×3	0.9535	0.9905	0.9595	0.8410	0.9135
剪切	左上角1/16	0.9225	0.9584	0.9665	0.7705	0.9585
	中心1/16	0.9283	0.9683	0.9558	0.7603	0.9534
JPEG 压缩	质量因子为50	0.9608	0.9608	1.0000	0.8888	0.9407
	质量因子为40	0.9526	0.9534	0.9991	0.8181	0.9010
	质量因子为30	0.9281	0.9336	0.9931	0.7655	0.8764
	JPEG 70 + 中心剪切1/16	0.9091	0.9487	0.9567	0.7053	0.9221
混合攻击	JPEG70 + 3×3 中值滤波	0.9488	0.9784	0.9701	0.8222	0.8981
	JPEG70 + 3×3 和 $\sigma = 0.5$ 的高斯低通滤波	0.9199	0.9758	0.9354	0.8521	0.7566

表2 Goldhill 抗攻击鲁棒性实验结果

Table 2 Experimental results of robustness against attacks for Goldhill image

攻击类型	攻击参数	本文算法			文献[2]	文献[3]
		\hat{W}' 和 W''	\hat{W} 和 \hat{W}'	\hat{W} 和 W''	原始水印与提取的水印	原始水印与提取的水印
添加高斯噪声	均值为0,方差为0.0001	0.9729	0.9740	0.9990	0.9602	0.8461
	均值为0,方差为0.0003	0.9556	0.9648	0.9864	0.9069	0.8259
添加椒盐噪声	噪声密度为0.003	0.9419	0.9638	0.9760	0.9306	0.9122
	噪声密度为0.005	0.9037	0.9322	0.9647	0.8832	0.8629
高斯低通滤波	模板大小为 3×3 , $\sigma = 0.5$	0.9325	0.9927	0.9396	0.8868	0.7186
中值滤波	模板大小为 3×3	0.9198	0.9716	0.9445	0.8276	0.8403
剪切	左上角1/16	0.9178	0.9541	0.9682	0.7640	0.9477
	中心1/16	0.9207	0.9682	0.9467	0.7338	0.9393
JPEG 压缩	质量因子为50	0.9281	0.9281	1.0000	0.9000	0.9148
	质量因子为40	0.9016	0.9025	0.9990	0.8492	0.9033
	质量因子为30	0.8798	0.8861	0.9937	0.7892	0.8262
	JPEG 70 + 中心剪切1/16	0.8765	0.9174	0.9467	0.7339	0.9259
混合攻击	JPEG 70 + 3×3 中值滤波	0.9124	0.9516	0.9508	0.8206	0.8254
	JPEG 70 + 3×3 和 $\sigma = 0.5$ 的高斯低通滤波	0.8836	0.9510	0.9261	0.8578	0.7115

表3 Baboon 抗攻击鲁棒性实验结果

Table 3 Experimental results of robustness against attacks for Baboon image

攻击类型	攻击参数	本文算法			文献[2]	文献[3]
		\hat{W}' 和 W''	\hat{W} 和 \hat{W}'	\hat{W} 和 W''	原始水印与提取的水印	原始水印与提取的水印
添加高斯噪声	均值为0, 方差为0.000 1	0.988 8	0.989 9	0.999 0	0.978 0	0.943 3
	均值为0, 方差为0.000 3	0.965 5	0.976 7	0.988 8	0.934 3	0.908 1
添加椒盐噪声	噪声密度为0.003	0.972 7	0.985 9	0.986 8	0.941 1	0.939 6
	噪声密度为0.005	0.937 4	0.970 7	0.966 6	0.912 0	0.911 4
高斯低通滤波	模板大小为 3×3 , $\sigma = 0.5$	0.919 2	0.989 9	0.927 3	0.772 0	0.605 9
	中值滤波	0.917 7	0.973 5	0.930 5	0.778 2	0.743 6
剪切	左上角 $1/16$	0.937 4	0.968 1	0.968 0	0.766 2	0.966 2
	中心 $1/16$	0.929 5	0.970 1	0.955 6	0.755 5	0.961 0
JPEG 压缩	质量因子为50	0.978 7	0.978 7	1.000 0	0.901 0	0.950 4
	质量因子为40	0.971 4	0.971 4	0.998 0	0.860 1	0.914 5
	质量因子为30	0.943 3	0.952 1	0.990 9	0.812 9	0.866 1
混合攻击	JPEG 70 + 中心剪切 $1/16$	0.916 7	0.958 7	0.954 6	0.758 3	0.951 7
	JPEG 70 + 3×3 中值滤波	0.901 4	0.962 4	0.905 1	0.783 6	0.742 8
	JPEG 70 + 3×3 和 $\sigma = 0.5$ 的高斯低通滤波	0.905 0	0.982 8	0.918 2	0.774 0	0.605 5

3 实验结果讨论与分析

1) 鲁棒性分析

由表1—表3的“ \hat{W} 和 \hat{W}' ”栏和“ \hat{W} 和 W'' ”栏分别可知,自嵌入的特征水印序列产生算法和特征水印序列自嵌入算法都具有较强鲁棒性。这正是本文算法有较强鲁棒性的原因。

2) 量化步长选择

量化步长 η 的大小关系到本文算法的不可见性和鲁棒性。 η 越小,鲁棒性越弱,但不可见性越好; η 越大,不可见性越差,但鲁棒性越强。因此, η 的选择是在不可见性和鲁棒性之间的一个折中。原始载体图像的差异性使得很难从理论上用统一公式确定 η , 应根据实际应用的要求采用实验方法确定。当3幅图像的量化步长 η 都为55时,从2.1节和2.2节可知,此时本文算法具有良好不可见性和较强鲁棒性。

3) 与文献[2-3]算法的抗攻击鲁棒性对比

为具可比性,这里使不同算法原始载体图像和含水印图像之间的 PSNR 基本相同。

文献[2]算法设置如下:将图4大小为 64×64 的256灰度级 Kid 图像作为原始水印图像;分块大小为 8×8 ; Lena、Goldhill 和 Baboon 3 幅图像的

量化步长 δ 都选为48,此时原始图像和含水印图像之间的 PSNR 分别为41.466 3 dB、41.026 9 dB 和40.887 8 dB,与本文算法基本相同。对比表1—表3可知,此时本文算法的鲁棒性强于文献[2]算法。



图4 Kids 图像

Fig. 4 Kids image

文献[3]算法设置如下:将图5大小为 64×64 的 Suda 二值图像作为原始水印图像;分块大小为 8×8 ; Lena、Goldhill 和 Baboon3 幅图像的量化步长 δ 分别选为43 000、37 000 和52 000,此时原始图像和含水印图像之间的 PSNR 分别为41.434 5 dB、41.158 9 dB 和40.813 7 dB,与本文算法基本相同。对比表1—表3可知,此时本文算法的鲁棒性强于文献[3]算法。

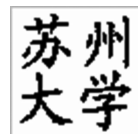


图5 Suda 图像

Fig. 5 Suda image

4) 全盲检测原因分析

本文算法达到全盲检测的原因为:1) 通过提取原始载体图像特征产生自嵌入的特征水印序列,采用自嵌入技术将其自嵌入原始图像,而不是将一个外在水印嵌入原始图像;2) 特征水印序列自嵌入算法通过奇偶量化嵌入,达到盲提取认证水印序列。

4 结 论

针对现有鲁棒水印算法无法达到全盲检测,将自嵌入技术引入鲁棒水印技术领域,提出一种DWT-SVD域全盲鲁棒量化水印算法。本文算法具有良好的不可见性和安全性,并且通过结合特征水印序列自嵌入和认证水印序列盲提取实现全盲检测。实验结果表明,本文算法在抵抗添加高斯噪声、添加椒盐噪声、高斯低通滤波、中值滤波、剪切、JPEG压缩和混合攻击方面表现出较强的鲁棒性。

参考文献 (References)

- [1] Wang X Y, Hou L M, Wu J. A feature-based robust digital image watermarking against geometric attacks [J]. *Image and Vision Computing*, 2008, 26(7) :980-989.
- [2] Li X D. Gray-level digital watermarking algorithm based on SVD [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2010, 35(11) :1305-1308, 1359. [李旭东. 基于奇异值分解的灰度级数字水印算法 [J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2010, 35(11) :1305-1308, 1359.]
- [3] Li X D. Public digital watermark algorithm based on image energy and quantization [J]. *Journal of North University of China: Natural Science Edition*, 2007, 28(5) :458-461. [李旭东. 基于图像能量和量化的公开数字水印算法 [J]. 中北大学学报:自然科学版, 2007, 28(5) :458-461.]
- [4] Li X D, Zhang Z Y. Two-layer partition and singular value decomposition based image watermarking [J]. *Journal of Zhejiang University: Engineering Science*, 2006, 40(12) : 2088-2092. [李旭东, 张振跃. 图像双层划分和奇异值分解的数字水印算法 [J]. 浙江大学学报:工学版, 2006, 40(12) : 2088-2092.]
- [5] Li X D. Blocked DCT and quantization based blind image watermark algorithm [J]. *Computer Engineering*, 2006, 32(21) : 139-140, 144. [李旭东. 基于分块 DCT 和量化的图像盲水印算法 [J]. 计算机工程, 2006, 32(21) : 139-140, 144.]
- [6] Wang X Y, Cui C Y. A novel image watermarking scheme against desynchronization attacks by SVR revision [J]. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2008, 19(5) : 334-342.
- [7] Li L D, Qian J S, Pan J S. Characteristic region based watermark embedding with RST invariance and high capacity [J]. *International Journal of Electronics and communications*, 2011, 65(5) :435-442.
- [8] Zhang X H, Yang Y T. Image authentication scheme research based on fragile watermarking [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2007, 35(1) : 34-39. [张宪海, 杨永田. 基于脆弱水印的图像认证算法研究 [J]. 电子学报, 2007, 35(1) : 34-39.]
- [9] Wang G D, Liu F L, Liu Y, et al. An image authentication scheme with discrimination of tampers on watermark or image [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2008, 36(7) :1349-1354. [王国栋, 刘粉林, 刘媛, 等. 一种能区分水印或内容篡改的脆弱水印算法 [J]. 电子学报, 2008, 36(7) :1349-1354.]
- [10] He H J, Zhang J S. Self-embedding watermarking algorithm with robustness against watermark information alterations [J]. *Journal of Software*, 2009, 20(2) : 437-450. [和红杰, 张家树. 对水印信息篡改鲁棒的自嵌入水印算法 [J]. 软件学报, 2009, 20(2) : 437-450.]