



JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2013
12
VOL.18

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



图像分割 P1610



第18卷第12期（总第212期）

2013年12月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

2013 all rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所
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

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@irsa.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司
(邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048)

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS
China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of
Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@irsa.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China))

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

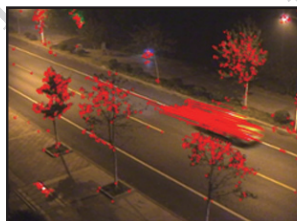
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

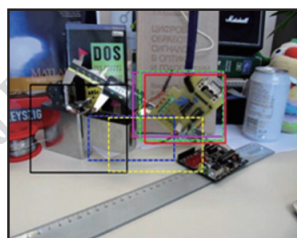
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

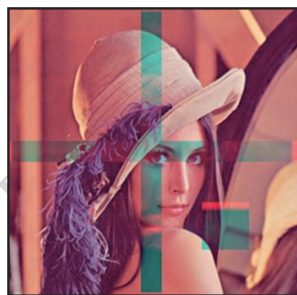
国内定价 50.00元



稀疏光流快速计算的动态目标
检测与跟踪(第1593页)



字典学习联合粒子滤波鲁棒跟踪
(第1628页)



结合SURF特征的多功能彩色
图像水印算法(第1694页)

图像处理和编码

小波子带最优方向性选择和压缩感知的图像编解码

王相海, 程露露, 周夏, 宋传鸣

1551

基于位平面和HVS的信息隐藏算法

张海涛, 姚雪, 陈虹宇, 张晔

1559

混沌密钥调制DFRFT旋转因子的视频加密

金建国, 王乐, 魏明军, 苏晶晶

1567

图像分析和识别

PCA-NLM的纺织品缺陷检测

杨学志, 左海琴, 陈远, 吴克伟, 谢昭

1574

基于主动表观模型姿态矫正和局部加权匹配人脸识别

赵恒, 俞鹏

1582

指纹拓扑模式构建及其在识别中的应用

仲伟波, 吕园, 李敏敏

1587

稀疏光流快速计算的动态目标检测与跟踪

陈添丁, 胡鉴, 吴涛

1593

边缘与灰度检测相结合的场景图像文本定位

何立强, 刘浩, 陈永

1601

Mean Shift图像分割算法的并行化

李宏益, 吴素萍

1610

混合高斯模型的自适应前景提取

李百惠, 杨庚

1620

字典学习联合粒子滤波鲁棒跟踪

查绎, 曹铁勇, 黄辉, 潘竟峰, 尤峻

1628

图像理解和计算机视觉

仿生复眼式全景探测及跟踪策略

罗超, 赵美蓉, 王东, 曹克雄

1637

医学图像处理

利用感兴趣区域从脑部MRI中提取脑组织

江少锋, 万红平, 陈震, 杨素华

1644

“第十届全国智能CAD与数字娱乐会议”专栏

基于Hermite插值的网格拼接和融合

缪永伟, 林海斌, 寿华好

1651

计算机生成中国传统祥云动画

方建文, 彭初, 于金辉

1660

森林动态演替现象的可视化模拟

单梁, 杨刚, 黄心渊

1666

多特征证据理论融合的视觉词典构建

沈项军, 高海迪, 曾兰玲, 毛启容, 詹永照

1676

轨迹和多标签超图配对融合的视频复杂事件检测

柯佳, 詹永照, 陈潇君, 汪满容

1684

结合SURF特征的多功能彩色图像水印算法

朱光, 师文, 朱学芳, 郝世博

1694

采用邻域直方图匹配的矢量纹理图案合成

徐婵婵, 杨刚

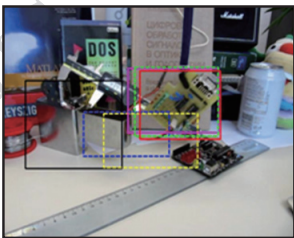
1703

CONTENTS

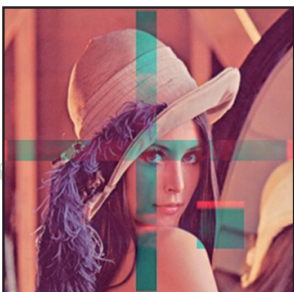
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Dynamic target detection and tracking based on fast computation using sparse optical flow (P1593)



Object tracking based on learning a dictionary joint practical filter(P1628)



Multi-purpose watermark algorithm of color images based on SURF(P1694)

Image Processing and Coding

Image codec research on the optimum directional selection of wavelet sub-band and compressed sensing

Wang Xianghai, Cheng Lulu, Zhou Xia, Song Chuanming 1551

Research of information hiding algorithm based on bit-plane and HVS

Zhang Haitao, Yao Xue, Chen Hongyu, Zhang Ye 1559

Video encryption based on chaotic key modulating DFRFT rotation factor

Jin Jianguo, Wang Le, Wei Mingjun, Su Jingjing 1567

Image Analysis and Recognition

Fabric defect detection based on PCA-NLM

Yang Xuezhi, Zuo Haiqin, Chen Yuan, Wu Kewei, Xie Zhao 1574

AAM-based alignment and local weighted matching method for face recognition

Zhao Heng, Yu Peng 1582

Fingerprint topological pattern construction and its application in recognition

Zhong Weibo, Lyu Yuan, Li Minmin 1587

Dynamic target detection and tracking based on fast computation using sparse optical flow

Chen Tianding, Hu Jian, Wu Di 1593

Text extraction from scene image based on edge and gray-scale detection collaboration

He Liqiang, Liu Hao, Chen Yong 1601

Parallelization of Mean Shift image segmentation algorithm

Li Hongyi, Wu Suping 1610

Adaptive foreground detection approach of Gaussian mixture model

Li Baihui, Yang Geng 1620

Object tracking based on learning a dictionary joint practical filter

Zha Yi, Cao Tiejong, Huang Hui, Pan Jingfeng, You Jun 1628

Image Understanding and Computer Vision

Bionic compound eye panoramic detection and tracking strategy

Luo Chao, Zhao Meirong, Wang Dong, Cao Kexiong 1637

Medical Image Processing

Automatic brain extraction from cerebral MRI volume using region of interest

Jiang Shaofeng, Wan Hongping, Chen Zhen, Yang Suhua 1644

Issum of CIDE' 2013

Mesh stitching and fusion based on Hermite interpolation scheme

Miao Yongwei, Lin Haibin, Shou Huahao 1651

Computer generation of cloud animation with a Chinese traditional style

Fang Jianwen, Peng Ren, Yu Jinhui 1660

Simulation of the dynamic evolution of spatial distribution of trees in the forest

Shan Liang, Yang Gang, Huang Xinyuan 1666

Visual dictionary construction method based on Dempster-Shafer evidence theory

Shen Xiangjun, Gao Haidi, Zeng Lanling, Mao Qirong, Zhan Yongzhao 1676

The video complex event detection method of matching integration between trajectory and multi-label hypergraphs

Ke Jia, Zhan Yongzhao, Chen Xiaojun, Wang Manrong 1684

Multi-purpose watermark algorithm of color images based on SURF

Zhu Guang, Shi Wen, Zhu Xuefang, Hao Shibao 1694

Vector texture pattern synthesis based on neighborhood histogram matching

Xu Chanchan, Yang Gang 1703

中图法分类号: TP301.6 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2013)12-1694-09

论文引用格式: 朱光, 师文, 朱学芳, 郝世博. 结合 SURF 特征的多功能彩色图像水印算法[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(12): 1694-1702.
[DOI:10.11834/jlg.20131219]

结合 SURF 特征的多功能彩色图像水印算法

朱光, 师文, 朱学芳, 郝世博

南京大学信息管理学院多媒体信息研究所, 南京 210093

摘要: 针对目前大多数水印算法功能较单一, 提出了一种可以同时进行版权保护和内容认证的多功能彩色图像双水印算法。首先, 将原始图像由 RGB 空间转换到 YUV 空间, 提取亮度分量的 SURF (speeded up robust feature) 特征点, 根据特征点的主方向构造描述向量并将其拆分为两个子向量, 分别计算它们与一个参考向量之间的余弦夹角, 通过比较夹角的大小关系来构造鲁棒零水印序列; 然后对原始图像进行 2×2 分块, 对子图像块奇异值范数进行异或运算来产生脆弱水印信息, 并将其嵌入至图像空域的最高有效位。版权归属鉴定时通过计算原始鲁棒零水印序列和从待检测图像中提取的水印序列之间的 BCR (bit correct rates) 相关系数作为鉴定的依据, 内容认证时通过比较图像最低有效位和脆弱水印信息是否一致来实现篡改的检测和定位。实验结果表明, 本文算法具有良好的透明性和较高的计算效率, 同时具备版权保护和内容认证的双重功能。

关键词: 双水印; SURF; 零水印; 奇异值分解; 范数

Multi-purpose watermark algorithm of color images based on SURF

Zhu Guang, Shi Wen, Zhu Xuefang, Hao Shibo

School of Information Management, Institute of Multimedia Information,
Nanjing University, Nanjing 210093, China

Abstract: The single watermark algorithms always merely have a single function. In order to overcome this drawback, a multi-purpose dual watermark algorithm of color images based on the speeded up robust feature (SURF) is proposed in this paper. First, the original image was transformed from RGB to YUV space and the SURF points and vectors of original image are extracted. A 64-dimensional vector is constructed according to the main direction of the SURF point that meets the scale condition, then the vector is split into two 32-dimensional sub-vectors. The robust zero-watermarking sequence is produced by comparing the cosine angles between the sub-vectors and a secret reference vector. Then, the original image is divided into 2×2 sub-blocks and the fragile watermark is produced after XOR operations on the singular value norms of sub-blocks. Lastly, the fragile watermark is embedded into the least significant bit (LSB) in the space domain of the image original. copyright is identified by the bit correct rates (BCR) between the original robust zero-watermarking sequence and the watermark sequence extracted from the tested image. Content authentication is accomplished by judging whether the fragile watermark is consistent with the image least significant bit. The experimental results show that the algorithm not only has good invisibility and high computational efficiency, but also can achieve the dual function of copyright protection and content authentication.

Key words: dual watermark; speeded up robust feature (SURF); zero-watermarking; singular value decomposition; norm

收稿日期: 2013-04-07; 修回日期: 2013-07-12

基金项目: 国家社科基金重大项目 (10&ZD134)

第一作者简介: 朱光 (1986—), 男, 南京大学情报学专业博士研究生, 主要研究方向为多媒体信息处理与检索、信息安全。E-mail: guangguang4992@sina.com

0 引言

随着高速宽带网络的日益普及和数字信息技术的飞速发展,各种形式的数字多媒体资源通过网络进行存储、复制和传播,随之而来的版权保护和内容认证等问题成为一个迫切需要解决的问题。版权保护要求水印算法具有较强的鲁棒性,可以抵抗一定的信号处理操作,而内容认证则要求水印算法对篡改操作十分敏感,易实现篡改定位和内容认证,但目前大多数的水印算法往往只具有单一的版权保护或内容认证功能,无法满足现实需求。半脆弱水印的性能介于鲁棒水印和脆弱水印之间,但很难同时具备两种良好的性能^[1]。

因此,研究学者就在一幅载体图像中同时嵌入鲁棒和脆弱双水印展开了相关研究,文献[2]提出了一种基于矢量量化的多功能水印算法,将鲁棒水印和脆弱水印分别嵌入至量化后的平均系数和剩余系数中,从而实现版权保护和内容认证的目的,但该水印算法计算复杂度高,透明性也较低。文献[3]提出了一种彩色图像的多功能数字水印算法,将鲁棒水印和脆弱水印分别嵌入至低频小波系数和高频小波系数中,但小波系数对几何变换比较敏感,因此该算法不能对几何操作保持较高的鲁棒性,也无法对恶意篡改进行准确定位。文献[4]提出了一种基于分形编码的双功能水印算法,利用模糊均值聚类确定水印信息的嵌入位置,该算法复杂度低,具有良好的实时性和透明性,但不能对恶意篡改进行有效的定位。文献[5]提出了一种区域自适应的双水印算法,通过离散小波变换和奇异值分解将水印信息自适应地嵌入至宿主图像的不同频谱区域,以同时达到版权保护和资源认证的目的,该算法性能较好,但计算复杂度高,透明性较差。

以上多功能图像水印算法同时将鲁棒水印和脆弱水印嵌入至图像载体,不可避免地导致图像质量有所下降,两种水印之间的性能也会相互影响。为了保持图像质量,文献[6]提出了零水印技术,零水印技术提取图像自身特征构造水印信息,而不是嵌入额外的水印数据,因此不会影响原始图像的视觉效果。文献[7]提出了一种自嵌入双功能图像水印算法,提取奇异值范数的最高位奇偶性作为原始鲁棒零水印信息,通过判断提取的鲁棒特征水印与攻击图像各子块每个像素的最低 m 位的一致性实现

篡改检测进行内容认证。文献[8]提出了一种交互支持双水印算法,从鲁棒水印信息中抽取出一部分形成观测矩阵,利用该矩阵对图像进行压缩感知,并将观测值作为半脆弱零水印信息进行注册保存。相对于传统的双功能水印算法,双功能零水印算法由于只嵌入了一种水印就完成了两种功能,因此具有更好的透明性,但算法对一些常规图像操作不能保持较强的鲁棒性,例如亮度变换和对对比度扩展,同时计算复杂度较高,实时性较差。鉴于此,提出一种双功能彩色图像零水印算法,通过引入性能优越的 SURF (speeded up robust feature) 算子提取图像的稳定特征作为鲁棒零水印信息,并在空域内通过改变最低有效位的方式嵌入脆弱水印信息实现恶意篡改的检测和定位。算法的优势在于:1) SURF 算子提取出的图像特征对噪声、滤波、旋转、亮度变换等操作具有较强的鲁棒性;2) 相对于目前常用的 SIFT (scale-invariant feature transform) 算子, SURF 算子在算法效率上有了很大的提高;3) 脆弱水印信息在空域范围内替换原始图像的最低有效位,可以保证图像的视觉质量,且对恶意篡改十分敏感,并能准确定位,具有良好的实时性。

1 SURF 特征信息提取

SURF 作为一种基于尺度空间的图像局部特征描述算子,是对 SIFT 算子的改进。SURF 算法使用 Hessian 矩阵进行极值点检测,它在尺度 σ 上的 Hessian 矩阵可以表示为

$$H = \begin{bmatrix} L_{xx}(X, \sigma) & L_{xy}(X, \sigma) \\ L_{yx}(X, \sigma) & L_{yy}(X, \sigma) \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, $L_{xx}(X, \sigma)$ 是高斯二阶微分和图像 $I(x, y)$ 在点 X 处卷积的结果, $L_{xy}(X, \sigma)$ 和 $L_{yx}(X, \sigma)$ 的含义类似。SURF 算法在特征提取中使用方框滤波 (box filtering) 代替高斯滤波 (Gauss filtering), 通过简单的加减运算就可以完成对图像的滤波运算,相对于 SIFT 算法,大大提高了运算速度,提高了算法效率^[9]。

SURF 算法提取出的图像特征信息包括特征点和特征向量,其中,特征点信息包括特征点的位置、尺度和梯度主方向等信息,特征向量用于描述特征点邻域信息,记录像素的梯度方向分布,对常见的信号处理和几何操作可以保持一定的稳定性^[10]。图1给出了旋转一定角度的 Lena 图像与原图像的 SURF 特征点匹配结果。



图1 SURF 特征点匹配

Fig. 1 SURF feature points matching

相对 SIFT 算法, SURF 算法最大的优势在于运算速度的提升。SURF 算法、SIFT 算法以及文献 [11] 提出的 SIFT 改进算法在图 1 特征匹配时间上的比较结果如表 1 所示。实验结果表明, SURF 算法提取出数量相对较少的特征点, 但仍能清晰地获取图像的变换关系。同时, SURF 算法运行时间只有 SIFT 算法的 1/3 左右, 具有更好的实时性。

表 1 图像特征匹配的运行时间比较

Table 1 Comparison of feature matching time

	特征点数量	匹配时间/s
SURF	37	0.119
SIFT	41	0.392
改进 SIFT	44	0.346

2 基于 SURF 特征的鲁棒零水印算法

图像的 SURF 特征信息对旋转、尺度缩放、映射

变换和灰度变化等操作有着较强的鲁棒性, 因此, 采用提取彩色图像的 SURF 重要特征信息的方法构造鲁棒零水印信息。算法基本设计思路是: 对原始彩色载体图像进行空间变换, 提取亮度分量的 SURF 特征信息, 并选取满足尺度条件的特征点和特征向量。利用密钥建立 1 个参考向量, 计算参考向量与特征向量之间的余弦夹角, 比较余弦夹角之间的大小关系并按照一定的规则生成水印序列。最后对水印序列进行 Arnold 置乱生成最终的版权标识信息。水印检测时, 提取待检测图像的 SURF 特征信息和相应的版权标识信息, 并与原始版权信息进行比特正确率检测。若比特正确率大于给定的阈值, 则说明存在水印信息, 反之则不存在。

2.1 鲁棒零水印信息的构造

基于图像 SURF 特征的鲁棒零水印信息构造流程如图 2 所示, 流程描述如下:

1) 将原始彩色图像 I 从 RGB 空间转换到 YUV 空间, 转换公式为

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

$$U = -0.147R - 0.289G + 0.436B \quad (2)$$

$$V = 0.615R - 0.515G - 0.100B$$

式中, Y 表示亮度分量, U 、 V 表示色度分量。根据人眼视觉模型的掩蔽特性, 本文提取亮度分量的特征值作为鲁棒零水印信息^[12]。

2) 提取亮度分量的 SURF 特征点, 设特征点集合为 S , 即

$$S = \{S_p | S_p = (x_i, y_j), l_p, \theta_p, p \in (0, m)\} \quad (3)$$

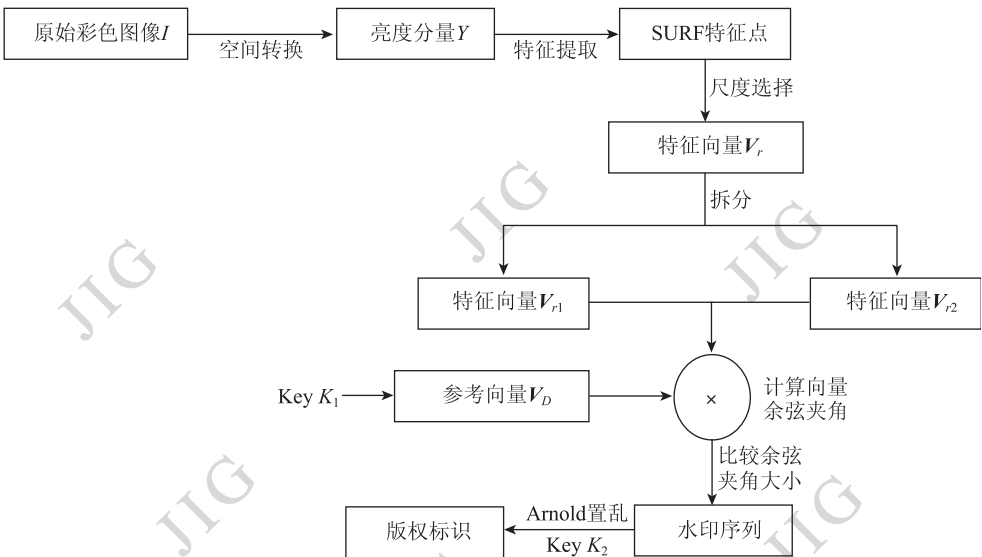


图2 鲁棒零水印构造流程图

Fig. 2 The flowchart of robust zero-watermark

式中, (x_i, y_j) 为特征点在图像中的位置, l_p 为特征点所在尺度, θ_p 为特征点的主方向, m 为原图像特征点的个数。

3) 文献[13]表明, 特征点所在尺度空间越大, 其匹配概率越高。假设 $l_{\max}$ 为特征点集合中特征点尺度的最大值, 即

$$l_{\max} = \max(l_p, p \in (0, m)) \quad (4)$$

设尺度选择因子为 $\partial (0 < \partial < 1)$, 则满足条件的特征点集合可以表示为

$$S' = \{S_p | S_p = (x_i, y_j), l'_p, \theta_p, p \in (0, m')\} \quad (5)$$

式中, m' 为满足尺度条件的特征点个数, $l'_p \in \{l_p | \partial l_{\max} \leq l_p \leq l_{\max}, p \in (0, m)\}$ 。

4) 选取满足尺度条件的特征点集合, 根据每一个特征点的主方向可以构造 1 个 64 维的描述向量 V_r , 可以表示为

$$V_r = \{V_p | V_p = (\xi_{p0}, \xi_{p1}, \dots, \xi_{p63}), p \in (0, m')\} \quad (6)$$

将其拆分为 2 个 32 维的向量 V_{r1} 和 V_{r2} , $V_{r1} = \{V_p | V_p = (\xi_{p0}, \xi_{p1}, \dots, \xi_{p31}), p \in (0, m')\}$, $V_{r2} = \{V_p | V_p = (\xi_{p32}, \xi_{p33}, \dots, \xi_{p63}), p \in (0, m')\}$ 。

5) 利用私钥 K_1 建立 1 个 32 维的参考向量 V_D , 分别计算 V_D 与 V_{r1} 、 V_{r2} 的向量余弦夹角 φ_{r1} 、 φ_{r2} , 计算公式为

$$\cos \varphi = \frac{a \cdot b}{|a| |b|} \quad (7)$$

6) 根据向量余弦夹角关系生成二进制水印序列, 生成规则为

$$w_i = \begin{cases} 1 & \varphi_{r1} \geq \varphi_{r2} \\ 0 & \varphi_{r1} < \varphi_{r2} \end{cases} \quad (8)$$

式中, $i = 1, 2, \dots, m'$ 。

7) 为了增强水印信息的安全性, 对水印序列 w_i 进行密钥为 K_2 的 Arnold 置乱, 得到最终的版权标识信息 U 。

2.2 鲁棒零水印信息的提取和检测

与水印信息构造过程相同, 将待检测图像进行空间转换, 提取亮度分量的 SURF 特征点, 并构造相应的特征向量。利用密钥 K_1 、 K_2 得到提取的版权标识信息 $\hat{U}$ 。

鲁棒零水印算法的性能采用比特正确率 (BCR) 进行评价^[14], BCR 值为

$$R_{BC}(U, \hat{U}) = 1 - \left(\sum_{i=1}^{m'} U_i \oplus \hat{U}_i \right) / m' \quad (9)$$

式中, $\oplus$ 代表异或操作, 若序列 U 和 $\hat{U}$ 相同, 则 BCR

值等于 1, 否则趋向于 0。将检测到的 BCR 值与一个预先设置的阈值 T 比较, 如果被检测图像的 BCR 值不小于检测阈值 T , 则证明存在水印。

在水印信息检测过程中, 检测阈值 T 的设定可能会导致虚警错误, 即对未嵌入水印的图像判断为存在水印。随机二进制序列和构造的零水印序列每个比特匹配的概率为 0.5, 因此虚警概率可以表示为^[15]

$$P_f = \sum_{z=0}^{m'} (0.5^z \times C_{m'}^z) \quad (10)$$

式中, T 为检测阈值, z 为匹配的比特数, $C_{m'}^z$ 为 m' 与 z 形成的组合数。

2.3 鲁棒零水印算法的安全性分析

利用密钥 K_1 建立 1 个 32 维的参考向量 V_D , 若攻击者不能获取正确的密钥, 则不能进行针对的水印攻击。 K_2 为 Arnold 置乱的次数, 若不能获取 K_2 , 攻击者也不能生成正确的版权标识。因此鲁棒零水印算法完全可以公开, 其安全性依赖于密钥 K_1 和 K_2 。

3 脆弱水印算法设计

3.1 脆弱水印嵌入

1) 对原始载体图像进行 2×2 分块, 定义为

$$B_q = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \\ x_3 & x_4 \end{bmatrix}, x_i \text{ 为像素值。对各分块像素值的最}$$

低有效位 (LSB) 置零, 得到 $B'_q = \begin{bmatrix} x'_1 & x'_2 \\ x'_3 & x'_4 \end{bmatrix}$ 。

2) 根据奇异值扰动定理, 对子图像块奇异值范数进行异或运算产生脆弱水印信息^[16]。首先计算子图像块 2 个奇异值的范数并取整。

$$N_m = f \left(\sqrt{\sum_{i=1}^2 \sigma_i^2} \right) \quad (11)$$

式中, f 为向下取整函数。

3) 对 N_m 的 8 个位平面进行异或运算产生脆弱水印信息, 脆弱水印信息与每个分块像素紧密联系, 有利于增强脆弱水印对恶意篡改的敏感性, 规则为^[17]

$$w_{f1} = b_1 \oplus b_2 \oplus b_3$$

$$w_{f2} = b_2 \oplus b_3 \oplus b_4$$

$$w_{f3} = b_4 \oplus b_5 \oplus b_6$$

$$w_{f4} = b_6 \oplus b_7 \oplus b_8$$

$$\mathbf{w}_f = \begin{bmatrix} w_{f1} & w_{f2} \\ w_{f3} & w_{f4} \end{bmatrix} \quad (12)$$

式中, b_i 是 N_m 的第 i 比特位, $\mathbf{w}_f$ 是产生的脆弱水印信息, w_{fi} 是脆弱水印的第 i 比特像素值。

4) 将脆弱水印信息嵌入至对应分块像素的最低有效位上, 并对各子图像块进行重组得到嵌入脆弱水印后的图像。

3.2 脆弱水印提取

首先对含水印图像进行 2×2 分块, 再提取子图像块中各像素值的最低有效位数值, 定义 $\mathbf{l} = \begin{bmatrix} l_1 & l_2 \\ l_3 & l_4 \end{bmatrix}$ 。 l_i 为 2×2 子图像块中各像素值的最低有效位。

与脆弱水印嵌入步骤相同, 对子图像块进行 SVD (singular values decomposition) 变换、范数取整、像素值异或等操作提取出脆弱水印 $\mathbf{w}_f$ 。将 $\mathbf{w}_f$ 与 $\mathbf{l}$ 进行对比, 若完全一致, 则图像没有被篡改; 若有数值不一致, 则代表图像遭受篡改, 并标记篡改的位置。

3.3 篡改检测的虚警概率和漏警概率分析

虚警概率是指待检测图像没有发生篡改, 检测结果却显示有篡改发生。由本文算法可知, 当待检测图像的任一子图像块的最低有效位没有发生变化时, 提取出的水印将和原始水印信息相同。因此, 算法的虚警概率 $P_{FA} = 0$ 。

漏警概率是指待检测图像发生篡改, 但检测结果却没有显示。对于提取的二值脆弱水印信息

$\mathbf{w}_f = \begin{bmatrix} w_{f1} & w_{f2} \\ w_{f3} & w_{f4} \end{bmatrix}$ 和提取的 LSB 位 $\mathbf{l} = \begin{bmatrix} l_1 & l_2 \\ l_3 & l_4 \end{bmatrix}$ 来说,

$P(w_{fi} = 0) = P(w_{fi} = 1) = 1/2$ 和 $P(l_i = 0) = P(l_i = 1) = 1/2$ 。要判定图像块没有遭到篡改, 要求 $w_{fi} = l_i (i=1, 2, 3, 4)$ 成立。因此一个被篡改的 2×2 子图像块被检测没有遭受篡改的概率为 2^{-4} 。若一幅待检测图像有 m 个 2×2 子图像块, 则漏警概率 $P_M = 2^{-4m}$ 。恶意篡改的图像块太少是无法达到其目的, 当 m 足够大时, 算法的漏警概率可以忽略。

4 实验结果分析

为了验证文中提出算法的有效性, 以 Matlab 7.0 为仿真实验平台。选用 6 幅 512×512 像素的彩色图像作为原始载体图像, 如图 3 所示。尺度选择因子 $\delta = 0.1$ 。



图 3 测试图像

Fig. 3 The tested images

4.1 水印算法透明性分析

相对于其他多功能水印算法, 本文提取图像的 SURF 特征构造鲁棒零水印信息, 而不是将水印嵌入至载体图像中, 因此“嵌入”鲁棒水印信息。与此同时, 将脆弱水印信息嵌入图像空域的最低有效位, 对人眼视觉效果影响很细微, 因此, 本文水印算法具有良好的透明性。透明性的客观评价指标采用峰值信噪比 (PSNR) 值, 其值越高, 透明性越好。若 $I(i, j)$ 表示原始图像, $I'(i, j)$ 表示嵌入水印的图像, 则 PSNR 为^[18]

$$\text{PSNR} = 10 \lg \frac{MN \max I^2(x, y)}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I(i, j) - I'(i, j)]^2} \quad (13)$$

以 Lena 图为例, 嵌入水印信息后的图像和原始图像视觉效果上没有差别, PSNR = 53.524 5 dB, 如图 4 所示。



图 4 水印算法透明性分析

Fig. 4 The invisibility analysis

将本文算法的实验结果与文献[7-8]提出的多功能零水印算法进行比较, 通过比较发现本文水印算法的透明性优于文献[7]和文献[8]的算法, 比较结果如表 2 所示。

表 2 算法透明性比较

Table 2 The comparison of invisibility

	PSNR/dB		
	本文算法	文献[7]	文献[8]
Lena	53.524 5	49.673 5	45.539 7
Boat	53.084 6	49.529 7	45.215 6
House	52.841 5	49.184 3	44.982 5
Sea	52.973 3	49.374 8	45.026 8
Ball	53.687 4	50.016 2	45.894 7
Baboon	53.418 2	49.464 1	45.401 2

4.2 水印算法的鲁棒性分析

通过文献[14]的方法,设置水印检测阈值 $T=0.6$ 。随机生成 1 000 个二值序列,其中第 500 个序列为从待检测图像中提取出的水印序列。当待检测图像没有收到攻击时,将这 1 000 个序列与原始水印序列进行 BCR 相关值检测,以 Lena 图为例,BCR 相关系数检测结果如图 5 所示。结果表明本文提出的零水印算法可以正确地检测水印信息的存在。

为了进一步观察零水印算法的鲁棒性,采用了一些常用的图像处理操作对待检测图像进行仿真攻击,攻击类型如表 3 所示,待检测图像受到不同攻击后的水印相关值如表 4 所示。

6 幅测试图像针对每种攻击的平均 BCR 值如图 6 所示。从图 6 可以看出,本文多功能水印算法对编号 1~4,编号 8~10 和编号 14 的常见图像攻击保持

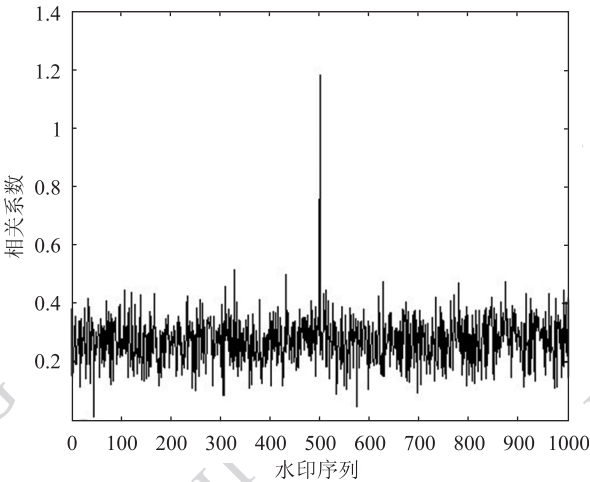


图 5 水印序列的相关系数检测
Fig. 5 BCR values of watermark

表 3 图像攻击

Table 3 Image attacks

编号	攻击	编号	攻击
1	亮度变化(+30)	8	JPEG 压缩(30%)
2	亮度变化(-30)	9	直方图均衡化
3	对比度扩展 [0.2,0.6]→[0,1]	10	旋转 15°
4	对比度降低 [0,1]→[0.2,0.6]	11	3×3 高斯滤波
5	添加高斯噪声($\sigma=0.005$)	12	3×3 中值滤波
6	添加椒盐噪声($\sigma=0.005$)	13	3×3 维纳滤波
7	添加乘积噪声($\sigma=0.005$)	14	缩放(0.5×0.5)

表 4 待检测图像受到不同攻击的 BCR 值

Table 4 BCR Performance of tested images against attacks

编号	测试图像					
	Lena	Boat	House	Sea	Ball	Baboon
1	0.950 4	0.944 7	0.938 4	0.946 2	0.914 5	0.951 3
2	0.952 1	0.926 3	0.917 1	0.959 1	0.915 7	0.953 6
3	0.951 6	0.915 8	0.908 4	0.942 7	0.901 3	0.952 8
4	0.949 3	0.933 1	0.915 7	0.939 5	0.912 9	0.951 2
5	0.884 1	0.878 3	0.861 7	0.877 5	0.859 1	0.886 2
6	0.883 5	0.856 8	0.868 9	0.851 2	0.848 3	0.887 3
7	0.883 8	0.859 7	0.851 2	0.848 5	0.853 2	0.886 3
8	0.952 6	0.947 3	0.948 4	0.943 1	0.946 5	0.953 9
9	0.932 5	0.928 7	0.922 6	0.907 2	0.906 1	0.898 6
10	0.933 2	0.930 1	0.931 4	0.938 7	0.924 6	0.925 8
11	0.926 1	0.921 3	0.922 9	0.916 4	0.918 3	0.924 9
12	0.923 4	0.920 7	0.921 3	0.917 4	0.917 8	0.926 2
13	0.920 1	0.919 5	0.934 2	0.911 4	0.919 1	0.891 7
14	0.916 4	0.907 3	0.915 2	0.915 6	0.903 7	0.917 1

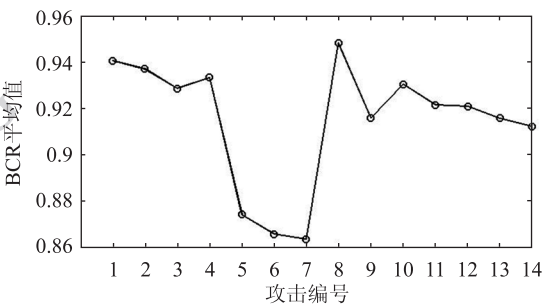


图6 BCR 平均值比较

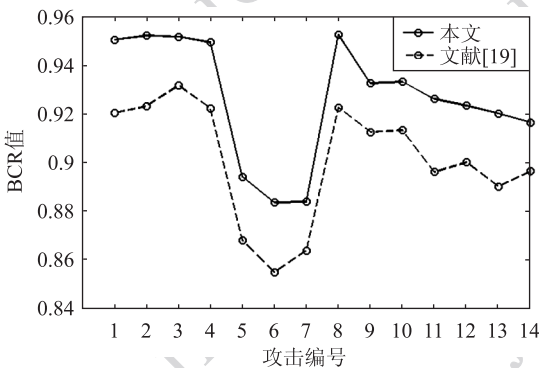
Fig. 6 Comparison of average BCR values

较强的鲁棒性,对编号 5~8 的攻击(添加噪声)较为敏感,但仍能正确判断零水印信息是否存在。

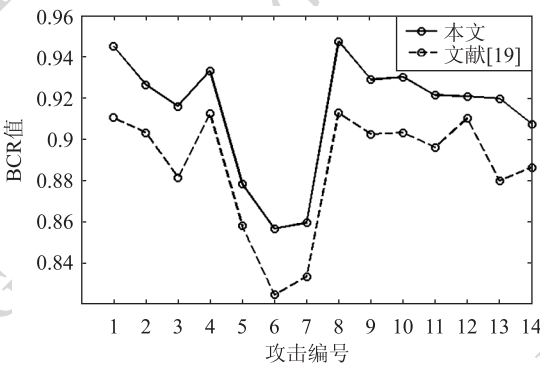
对本文算法与文献[19]算法的 BCR 进行对比,结果如图 7 所示。实验结果表明,本文零水印算法具有更好的鲁棒性。

4.3 脆弱水印的篡改定位

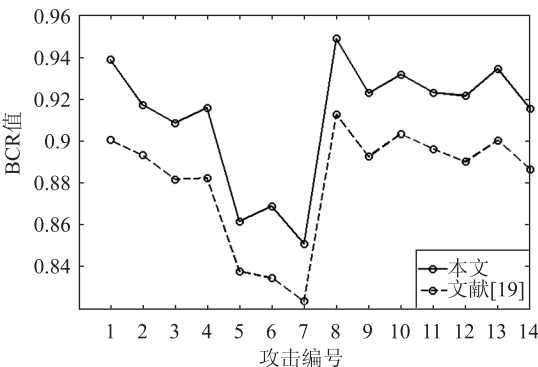
恶意篡改一般是对原始图像的恶意裁剪、替换和叠加等操作。随着数字图像处理技术的发展,数字图像的修改变得非常容易,被篡改图像与原始图



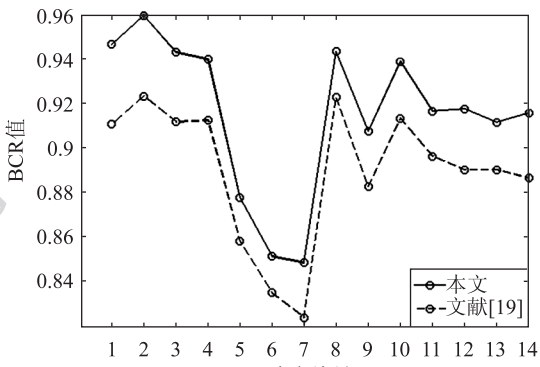
(a) Lena图BCR值的比较结果



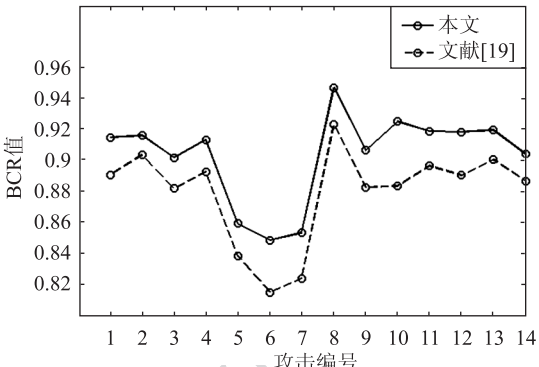
(b) Boat图BCR值的比较结果



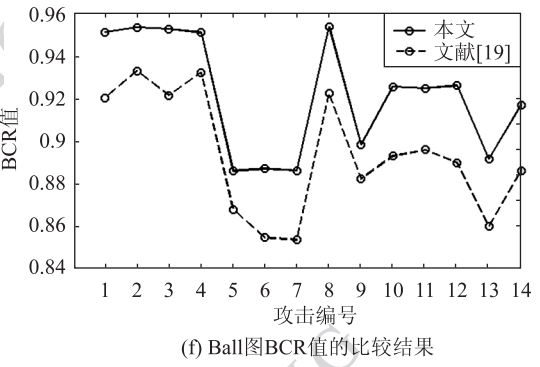
(c) House图BCR值的比较结果



(d) Sea图BCR值的比较结果



(e) Ball图BCR值的比较结果



(f) Ball图BCR值的比较结果

图7 BCR 值的比较结果

Fig. 7 Comparison of BCR values

像人眼几乎感觉不到差别。为了更直观地与原始图像进行对比,直接把篡改的区域定位在含水印图像上,遭到篡改的区域用红色进行标识。实验结果如图 8 所示,从图 8 中可以看出,本文算法可以对各种类型的篡改进行准确的定位。

4.4 篡改定位的实时性分析

脆弱水印算法的计算都在空域范围内,因此具有良好的实时性。以 Lena 图为例,对相同条件下的篡改定位时间进行比较,比较结果如表 5 所示。比较结果表明本文算法更适合实时实现。

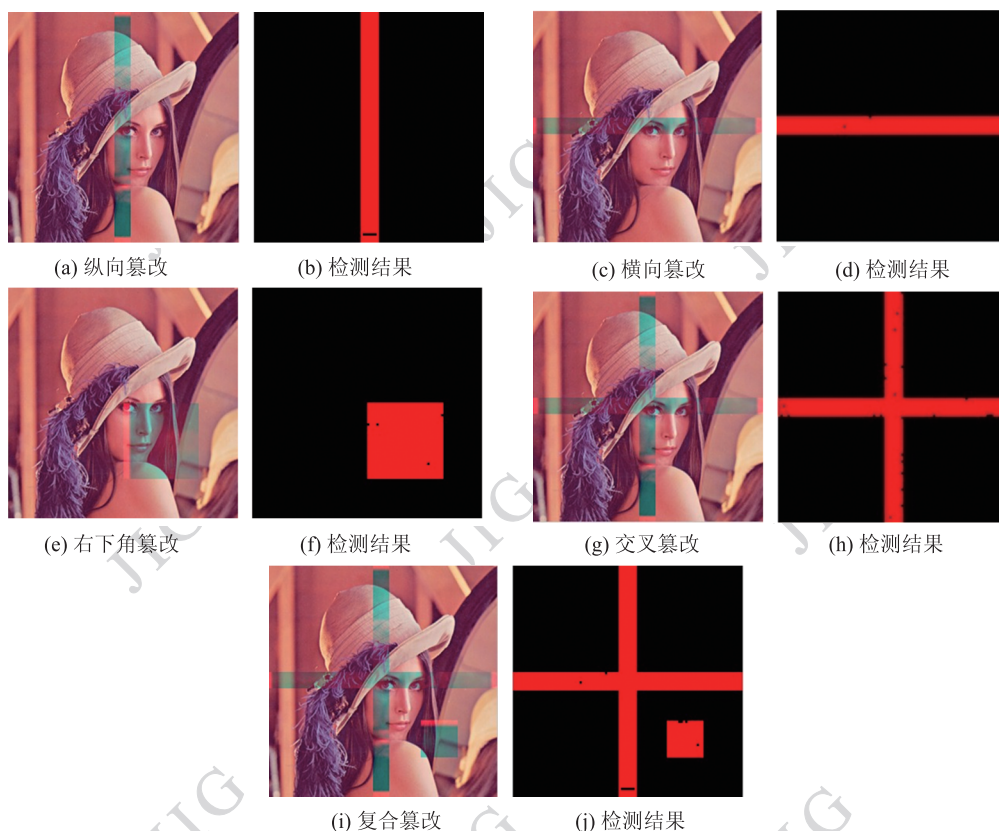


图 8 篡改检测结果

Fig. 8 Results of tamper detection

表 5 篡改定位的实时性分析

Table 5 The real-time analysis of tampering location

算法	定位时间/s				
	纵向篡改	横向篡改	右下角篡改	交叉篡改	复合篡改
本文	1.813 6	1.955 3	1.936 4	2.221 9	2.243 8
文献[7]	2.146 2	2.276 1	2.253 9	2.563 7	2.597 1
文献[8]	2.332 5	2.502 2	2.481 7	2.693 5	2.712 6

5 结 论

针对目前大多数图像水印算法功能单一的局限性,提出一种可以实现版权保护和内容认证的多功能彩色图像水印算法。利用图像 SURF 特征对常见

信号操作保持稳定的特性构造鲁棒零水印序列实现版权保护的功能,同时避免了水印之间的相互干扰,内容认证则通过在图像空域的最低有效位上嵌入脆弱水印实现。实验结果表明,本文水印算法透明性较好,提高了计算效率,对常见的图像操作也具有较弱的鲁棒性。同时,可以对图像遭受恶意篡改的区

域进行精确的检测和定位。

参考文献 (References)

- [1] Yuan H, Zhang X P. Multi-scale fragile watermarking based on the Gaussian mixture model[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(10): 3189-3200.
- [2] Lu Z M, Zheng W M, Pan J S, et al. Multipurpose image watermarking method based on mean-removed vector quantization[J]. Journal of Information Assurance and Security, 2006, 1(1): 33-42.
- [3] Wei Y, Li Y S. Multipurpose digital watermark algorithm for color images[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Nature Science Edition, 2010, 38(2): 109-112. [魏宇, 李玉深. 一种彩色图像的多功能数字水印算法[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2010, 38(2): 109-112.]
- [4] Soheila K A, Mohsen E M. A multi-purpose digital image watermarking using fractal block coding[J]. Journal of System and Software, 2011, 84(9): 1550-1562.
- [5] Chunlin S, Sud S, Madjid M. A robust region-adaptive dual image watermarking technique[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2012, 23(3): 549-568.
- [6] Wen Q, Sun T F, Wang S X. Concept and application of zero watermark[J]. Acta Electronica Sinica, 2003, 2(2): 214-216. [温泉, 孙铁锋, 王树勋. 零水印的概念与应用[J]. 电子学报, 2003, 2(2): 214-216.]
- [7] Ye T Y. A self-embedding image watermarking scheme with dual purpose[J]. Acta Photonica Sinica, 2012, 4(7): 859-867. [叶天语. 自嵌入双功能图像水印算法[J]. 光子学报, 2012, 4(7): 859-867.]
- [8] Zhao C H, Liu W. Mutual support dual watermark algorithm based on compressive sensing[J]. Acta Electronica Sinica, 2012, 40(4): 681-687. [赵春晖, 刘巍. 基于压缩感知的交互支持双水印算法[J]. 电子学报, 2012, 40(4): 681-687.]
- [9] Xu M L, Li C Y, Mei J. Research of on-line detection of chromatic aberration of image printed on Tin[J]. Packing Engineering, 2012, 33(15): 104-108. [徐明亮, 李成渊, 梅娟. 基于SURF特征的印铁图颜色差在线检测研究[J]. 包装工程, 2012, 33(15): 104-108.]
- [10] Ding N, Liu Y Y, Zhang Y, et al. Fast image registration based on surf-daisy algorithm and randomized kd trees[J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2012, 23(7): 1395-1402. [丁南南, 刘艳滢, 张叶, 等. 基于 surf-daisy 算法和随机 kd 树的快速图像配准[J]. 光电子 · 激光, 2012, 23(7): 1395-1402.]
- [11] Zhang R J, Zhang J Q, Yang C. Image registration approach based on surf[J]. Infrared and Laser Engineering, 2009, 38(1): 160-165. [张锐娟, 张建奇, 杨翠. 基于 SURF 的图像配准方法研究[J]. 红外与激光工程, 2009, 38(1): 160-165.]
- [12] Jiang S H, Zhang J Q, Hu B. An adaptive watermarking algorithm in the hyper complex space of a color image[J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(8): 1773-1778. [江淑红, 张建秋, 胡波. 彩色图像超复数空间的自适应水印算法[J]. 电子学报, 2009, 37(8): 1773-1778.]
- [13] Lowe D C. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004(1): 91-110.
- [14] Tsai H H, Tseng H C, Lai Y S. Robust lossless image watermarking based on alpha-trimmed mean algorithm and support vector machine[J]. Journal of Systems and Software, 2010, 83(6): 1015-1028.
- [15] Zhu G, Zhu X F, Zhang H K. Design of inspection system for TFT-LCD surface defects under complex background[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2011, 25(12): 1054-1059. [朱光, 朱学芳, 张华坤. 复杂背景下 TFT-LCD 表面缺陷检测系统的设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2011, 25(12): 1054-1059.]
- [16] Liu R Z, Tan T N. SVD based digital watermarking method[J]. Acta Electronica Sinica, 2001, 29(2): 168-171. [刘瑞祯, 谭铁牛. 基于奇异值分解的数字图像水印算法[J]. 电子学报, 2001, 29(2): 168-171.]
- [17] Sharkas M, ElShafie D, Hamdy N. A dual digital-image watermarking technique[C]//Proceeding of the 3rd World Enformatika Conference. Istanbul: World Academy of Science, 2005: 136-139
- [18] Sun S H, Lu Z M. Digital watermarking Techniques[J]. Acta Electronica Sinica, 2000, 28(8): 85-90. [孙圣和, 陆哲明. 数字水印处理技术[J]. 电子学报, 2000, 28(8): 85-90.]
- [19] Fu J J, Wang K. Image zero-watermark based on direction stability of first principal component vector[J]. Journal of Image and Graphics, 2012, 17(7): 756-769. [付剑晶, 王珂. 基于第一主成分方向稳定性的图像零水印[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(7): 756-769.]