



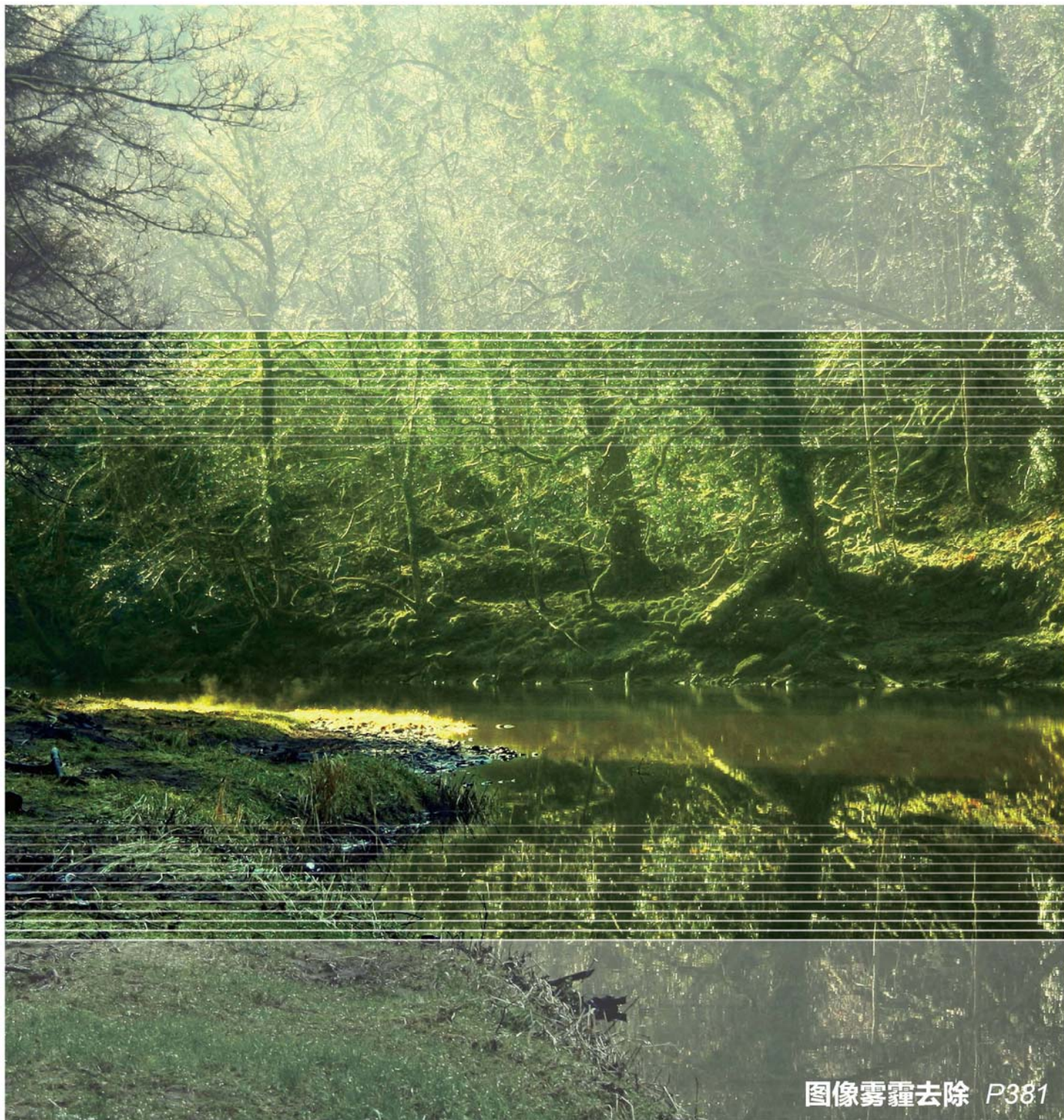
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

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

2014  
03  
VOL.19

ISSN1006-8961  
CN11-3758/TB



图像雾霾去除 P381



第19卷第3期（总第215期）

2014年3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

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

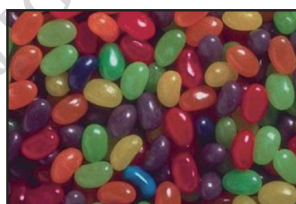
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

国内定价 50.00元



控制关键帧选择的H.264熵编码加密算法(第358页)



显著性检测指导的高光区域修复(第393页)



由灭点进行径向畸变的自动校正(第407页)

## 综述

图像场景分类中视觉词包模型方法综述

赵理君, 唐娉, 霍连志, 郑柯 ..... 0333

面向对象的高分辨率SAR图像处理及应用

张红, 叶曦, 王超, 张波, 吴樊, 汤益先 ..... 0344

## 图像处理和编码

控制关键帧选择的H.264熵编码加密算法

张小红, 袁春经 ..... 0358

小波域视觉密码零水印算法

曲长波, 杨晓陶, 袁铎宁 ..... 0365

双重轮廓演化曲线的图像分割水平集模型

王相海, 李明 ..... 0373

暗原色先验单幅图像去雾改进算法

孙小明, 孙俊喜, 赵立荣, 曹永刚 ..... 0381

基于双边滤波的图像去雾

王一帆, 尹传历, 黄义明, 王洪玉 ..... 0386

显著性检测指导的高光区域修复

王祎璠, 姜志国, 史骏, 张浩鹏 ..... 0393

应用DCT块标准差的自适应隐写算法

凌轶华, 蔡晓霞, 陈红 ..... 0401

由灭点进行径向畸变的自动校正

刘丹, 刘学军, 王美珍 ..... 0407

## 图像分析和识别

黎曼流形上的保局投影在图像集匹配中的应用

曾青松 ..... 0414

结合全局和局部信息的“两阶段”活动轮廓模型

戚世乐, 王美清 ..... 0421

## 图像理解和计算机视觉

基于超像素的点追踪方法

罗会兰, 钟睿, 孔繁胜 ..... 0428

## 遥感图像处理

结合相位一致与全变差模型的高分辨率遥感图像边缘检测

黄秋燕, 肖鹏峰, 冯学智, 王珂 ..... 0439

## 第9届和谐人机环境联合学术会议专栏

人眼视觉感知特性的非下采样Contourlet变换域多聚焦图像融合

杨勇, 郑文娟, 黄淑英, 方志军, 袁非牛 ..... 0447

面向手绘军标图形的旋转自由识别方法

吴玲达, 张友根, 邓维, 宋汉辰 ..... 0456

基于深度相机的手腕识别与掌心估测

姚争为, 潘志庚, 滕国栋 ..... 0463

多信息融合的快速车牌定位

王永杰, 裴明涛, 贾云得 ..... 0471

H.264/AVC中基于决策树的P帧快速模式选择

王萍, 张晓丹, 张磊 ..... 0476

互信息域中的无参考图像质量评价

董宏平, 刘利雄 ..... 0484

# CONTENTS

## JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



H.264 video entropy coding encryption by controlling key frames(P358)



Algorithm for highlight area inpainting guided by saliency detection(P393)



Automatic approach of lens radial distortion correction based on vanishing points(P407)

### Review

- Review of the bag-of-visual-words models in image scene classification  
Zhao Lijun, Tang Ping, Huo Lianzhi, Zheng Ke ..... 0333
- The processing and applications of high resolution SAR images with object-based image analysis  
Zhang Hong, Ye Xi, Wang Chao, Zhang Bo, Wu Fan, Tang Yixian ..... 0344

### Image Processing and Coding

- H.264 video entropy coding encryption by controlling key frames  
Zhang Xiaohong, Yuan Chunjing ..... 0358
- Zero-watermarking visual cryptography algorithm in the wavelet domain  
Qu Changbo, Yang Xiaotao, Yuan Duoning ..... 0365
- Level set model for image segmentation based on dual contour evolutionary curve  
Wang Xianghai, Li Ming ..... 0373
- Improved algorithm for single image haze removing using dark channel prior  
Sun Xiaoming, Sun Junxi, Zhao Lirong, Cao Yonggang ..... 0381
- Image haze removal using a bilateral filter  
Wang Yifan, Yin Chuanli, Huang Yiming, Wang Hongyu ..... 0386
- Highlight area inpainting guided by saliency detection  
Wang Yifan, Jiang Zhiguo, Shi Jun, Zhang Haopeng ..... 0393
- Adaptive steganographic algorithm utilizing block standard deviation of DCT coefficients  
Ling Yihua, Cai Xiaoxia, Chen Hong ..... 0401
- Automatic approach of lens radial distortion correction based on vanishing points  
Liu Dan, Liu Xuejun, Wang Meizhen ..... 0407

### Image Analysis and Recognition

- Locality preserving projection on Riemannian manifold for image set matching  
Zeng Qingsong ..... 0414
- "Two-stage" active contour model driven by local and global information  
Qi Shile, Wang Meiqing ..... 0421

### Image Understanding and Computer Vision

- Method of point tracking based on superpixel  
Luo Huilan, Zhong Rui, Kong Fansheng ..... 0428

### Remote Sensing Image Processing

- Edge detection from high resolution remote sensing image combining phase congruency with total variation model  
Huang Qiuyan, Xiao Pengfeng, Feng Xuezhi, Wang Ke ..... 0439

### Special Issue on HHME 2013

- Multi-focus image fusion based on human visual perception characteristic in non-subsampled Contourlet transform domain  
Yang Yong, Zheng Wenjuan, Huang Shuying, Fang Zhijun, Yuan Feiniu ..... 0447
- Rotation free recognition of hand-drawn military marking symbols  
Wu Lingda, Zhang Yougen, Deng Wei, Song Hanchen ..... 0456
- The wrist recognition and the center of palm estimation based on depth camera  
Yao Zhengwei, Pan Zhigeng, Teng Guodong ..... 0463
- License plate detection based on multiple features  
Wang Yongjie, Pei Mingtao, Jia Yunde ..... 0471
- Fast intermode decision based on the decision tree for H.264/AVC P-frame encoding  
Wang Ping, Zhang Xiaodan, Zhang Lei ..... 0476
- No-reference image quality assessment in mutual information domain  
Dong Hongping, Liu Lixiong ..... 0484

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2014)03-0401-06

论文引用格式: 凌轶华, 蔡晓霞, 陈红. 应用 DCT 块标准差的自适应隐写算法[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(3): 401-406. [DOI: 10.11834/jig.20140309]

## 应用 DCT 块标准差的自适应隐写算法

凌轶华, 蔡晓霞, 陈红

解放军电子工程学院, 合肥 230037

**摘要:** 目的 为提高隐写方案的安全性, 提出一种基于 DCT (discrete cosine transform) 块标准差的 JPEG 图像自适应隐写算法。方法 DCT 块标准差可以反映图像各区域的复杂情况, 为此根据取整失真、量化步长以及标准差设计了失真函数, 然后结合 STC (syndrome-trellis code) 编码设计了隐写算法。结果 引入 DCT 块标准差可使失真函数定义更合理, 因此图像经隐写后总体失真减小, 安全性能得到提高。结论 实验结果表明, 本文算法与其他同类算法相比具有更强的抵抗隐写检测能力, 在质量因子为 75 时安全容量可达到 0.35 (嵌入总量和非零 AC (交流) DCT 系数个数之比)。

**关键词:** 自适应隐写; JPEG 图像; 标准差; 失真函数; 网络码 (STC)

## Adaptive steganographic algorithm utilizing block standard deviation of DCT coefficients

Ling Yihua, Cai Xiaoxia, Chen Hong

Electronic Engineering Institute of PLA, Hefei 230037, China

**Abstract: Objective** In order to improve the security of a steganography system, an adaptive steganographic algorithm for JPEG images based on the block standard deviation of the DCT (discrete cosine transform) coefficients is proposed.

**Method** Block standard deviation of the DCT coefficients can reflect the complexity of image regions. Therefore, a distortion function is designed according to rounding distortion, quantization step, and standard deviation. Then, the STC (Syndrome-Trellis Code) is combined with the distortion function to propose the steganographic algorithm. **Result** Distortion function can be more rational when block standard deviation of DCT coefficients is used in design. In this way, the total distortion of the image is reduced after embedding and the security is improved. **Conclusion** Experiments show that the proposed algorithm possesses a better undetectability. The security embedding rate can be about 0.35 when the quality factor is 75.

**Key words:** adaptive steganography; JPEG image; standard deviation; distortion function; syndrome-trellis code (STC)

## 0 引言

信息隐写是信息隐藏的一个重要分支, 它是将秘密信息隐藏在公开的载体 (如文本、图像、音频、视频等) 中以达到隐匿通信的目的。但随着信息隐

写的对抗技术——隐写检测的不断发展, 传统的隐写算法已不再安全。为此, 人们根据图像自身内容, 自适应地选择嵌密位置和相关参数, 设计能够使图像总体失真较小的隐写算法, 以达到抗检测的目的。这种自适应隐写已成为对抗隐写检测的重要手段。

基于边信息的 JPEG 自适应隐写作为 JPEG 自

收稿日期: 2013-06-25; 修回日期: 2013-09-10

第一作者简介: 凌轶华 (1989—), 男, 解放军电子工程学院通信与信息系统专业在读硕士研究生, 主要研究方向为信息隐藏。

E-mail: lyh1989112@126.com

适应隐写的一个重要分支,其主要特点是在嵌密时使用高质量未压缩的参考图像(precover),从中提取出边信息以指导嵌密操作。目前,典型的算法有PQ(perturbed quantization)算法<sup>[1]</sup>、MME(modified matrix encoding)算法<sup>[2]</sup>、BCHopt(heuristic optimization and BCH syndrome coding)算法<sup>[3]</sup>、NPQ(normalized perturbed quantization)算法<sup>[4]</sup>等。PQ隐写是选取图像重压缩时量化取整失真最接近0.5的DCT系数进行嵌密。MME隐写采用修正矩阵编码,在各系数组中为获得多个修改模式,选择各组中失真最小的修改模式进行嵌密,以使总体失真最小。BCHopt隐写在MME隐写的基础上进行了改进,采用基于BCH码的矩阵编码以获得更多的修改个数,从而使可用的修改模式变多,然后在所有修改模式中,选择可使总体失真最小的模式。该隐写算法与MME隐写相比具有更好的安全性能。MME和BCHopt不仅在修改模式数量上进行了改进,在定义失真函数时还考虑了量化步长的影响,使失真函数更准确。NPQ隐写结合量化步长及DCT系数重要程度,重新定义了失真函数,并运用修正矩阵编码嵌入秘密信息,取得了更好的安全性能。

然而,以上算法并没有考虑图像各区域的复杂程度,在复杂度不同的区域嵌密对图像造成的失真是不同的。因此,在设计失真函数时有必要考虑图像各区域的复杂程度。DCT小块中AC(交流)系数标准差可以反映JPEG图像中相应区域的复杂程度,因此本文根据标准差设计了失真函数,并结合能够适用于各种加性失真度量的STC码<sup>[56]</sup>,提出一种新的JPEG自适应隐写算法,并分析了其安全性能。

## 1 失真函数构造

合理定义载体图像和载密图像之间的差异,使其能够更准确地反映各载体元素修改对图像整体的失真情况,是设计抗检测隐写算法的关键问题所在。通过失真函数 $D$ 来衡量载体与载密图像之间的差异。

### 1.1 最小失真函数

在隐匿通信过程中,发送方通过修改载体图像的元素(如像素的最低有效位、量化DCT系数等),将秘密信息隐藏在载体中发送给接收方。载体元素的修改所引起的失真可以通过加性失真函数来定义<sup>[5]</sup>。假设JPEG图像的量化DCT系数为 $\mathbf{X}=(X_1,$

$X_2, \dots, X_n)$ ,秘密信息记为 $\mathbf{M}=(m_1, m_2, \dots, m_l) \in (0,1)^l$ ,嵌入 $\mathbf{M}$ 之后,载密图像的量化DCT系数 $\mathbf{Y}=(Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$ 。DCT系数 $Y_i$ 取值范围记为 $I_i$ ,若 $\forall i$ ,都有 $|I_i|=2$ ,则称之为二元嵌入;若 $\forall i$ ,都有 $|I_i|=3$ ,则称之为三元嵌入。由于本文算法是基于边信息的JPEG隐写,嵌密时只对未取整DCT系数进行向上或向下取整,因此属于二元嵌入。嵌入秘密信息后,总体失真定义为

$$D(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) = \sum_{i=1}^n \rho_i(X_i, Y_i) \quad (1)$$

式中, $\rho_i(X_i, Y_i)$ 表示DCT系数 $X_i$ 嵌入秘密信息后变为 $Y_i$ 对载体图像造成的失真影响。式(1)中假设各元素修改所造成的失真是相互独立的。

根据文献[7],最小嵌入失真为

$$D_{\min} = \sum_{i=1}^n \sum_{t_i \in I_i} \pi_{\lambda}(t_i) \rho_i(t_i) \quad (2)$$

$$\pi_{\lambda}(Y_i) = \frac{\exp(-\lambda \rho_i(Y_i))}{\sum_{t_i \in I_i} \exp(-\lambda \rho_i(t_i))} \quad (3)$$

式中, $\pi_{\lambda}(Y_i)$ 表示将 $X_i$ 改为 $Y_i$ 的概率。 $\lambda$ 可根据对嵌入的秘密信息长度 $l$ 求得,即

$$-\sum_{i=1}^n \sum_{t_i \in I_i} \pi_{\lambda}(t_i) \log \pi_{\lambda}(t_i) = l \quad (4)$$

通过上述最小化失真模型,定义更加合理的失真函数,可设计出更好的隐写算法。

Filler等人提出的STC编码是一种能够接近最优嵌入的编码,即隐写方只需定义失真函数 $\rho$ ,STC编码就能够针对 $\rho$ 选择出合适的修改模式,使嵌入秘密信息后图像的总失真接近理论最小值。对于接收方而言,不需要知道 $\rho$ ,只需知道秘密信息长度 $l$ ,就能正确提取出秘密信息。因此,在结合STC编码的基础上,如何定义更加合理的失真函数已成为隐写算法设计的重点。

### 1.2 基于标准差的失真函数设计

目前,大部分通用隐写检测算法是通过提取载体图像和载密图像的统计特征向量来区分它们的,提取的特征越可分,越能达到更准确的检测效果。文献[8]指出,针对空域隐写算法,复杂度越高的图像(或者图像的纹理、边缘区域),所提取的特征可分性就越差。

高质量图像经过JPEG压缩,所得的DCT系数对图像复杂度描述虽然不及空域像素值准确,但仍能表现其一些特性。如图1所示,以大小为 $1024 \times 683$ ,复杂度不同的两幅图像为例,其AC系数直方图分

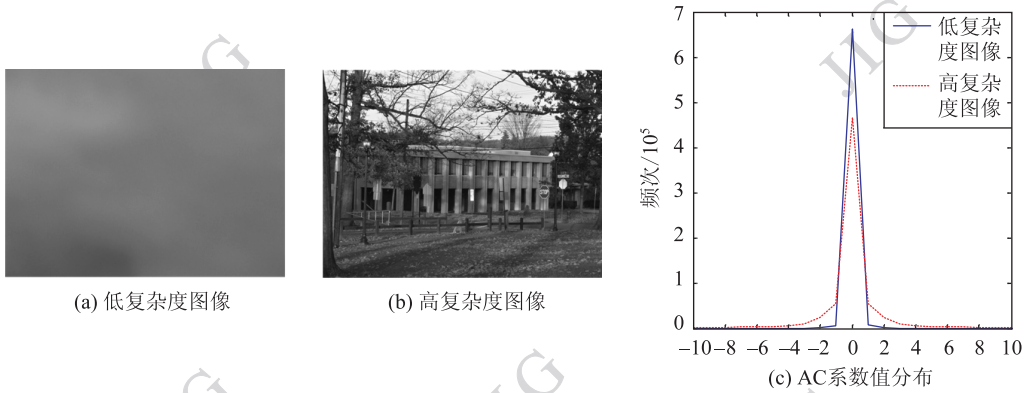


图 1 不同复杂度图像的 AC 系数值分布

Fig. 1 AC coefficients distribution of images with different complexity

布也不同:图像复杂度越低,对应的系数分布越尖锐;反之,图像复杂度越高,对应的系数分布越平坦。然而,纹理复杂度不仅与 AC 系数分布有关,还与其位置信息有关,整体 AC 系数直方图分布并不能够合理地反映图像的具体纹理情况。但是,若将图像等分成小块,以小块为单位统计 AC 系数分布情况,虽然直方图分布因图像变小而不够理想,但忽略小块内纹理特征而仅考虑小块之间的整体纹理复杂度,可弱化纹理位置因素。因此,忽略小块内纹理位置因素,寻找一个可描述各小块纹理复杂度的度量变得尤为关键。

由概率论可知,样本分布越集中,对应的标准差就越小;分布越分散,对应的标准差就越大。因此,标准差可以较好地反映图像复杂度情况。如图 2 所示,以经典图像 Lena 为例,将其划分成  $8 \times 8$  大小的不重叠区域(即根据 JPEG 压缩标准来划分),计算其各自 DCT 块的 AC 系数标准差。从图 2(b)可以看出,各块标准差很好地反映了图像的复杂度。

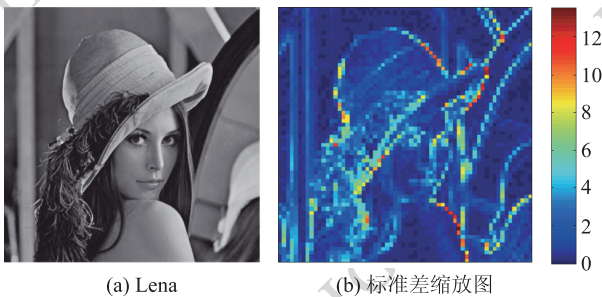


图 2 图像 Lena 不同复杂度区域对应的标准差

Fig. 2 Standard deviation corresponding to different complexity regions of Lena

通常,基于 JPEG 图像的隐写算法首先将载体图像变换成量化 DCT 系数,然后将秘密信息嵌入非零 DCT 系数中,即

$$\mathbf{x} = \frac{T_{\text{DCT}}(\mathbf{I})}{\mathbf{Q}}, \mathbf{X} = \lfloor \mathbf{x} + 0.5 \rfloor \quad (5)$$

式中,  $T_{\text{DCT}}(\cdot)$  表示大小为  $n_1 \times n_2$  的图像  $\mathbf{I}$  以  $8 \times 8$  为小块进行离散余弦变换;  $\mathbf{Q}$  表示量化表,  $\mathbf{Q} = \{q_{kl}\}$  ( $1 \leq k \leq 8, 1 \leq l \leq 8$ ),  $q_{kl}$  表示量化步长,为常数;  $\mathbf{x}$  和  $\mathbf{X}$  表示取整前后的 DCT 系数值,  $\mathbf{x} = \{x_{ij}\}$ ,  $\mathbf{X} = \{X_{ij}\} \subset \{-1024, \dots, 1023\}^{n_1 \times n_2}$ ; 令  $e_{ij} = x_{ij} - X_{ij}$  ( $e_{ij} \in [-1/2, 1/2]$ ), 表示 DCT 系数  $X_{ij}$  对应的取整误差。

秘密信息是通过  $\pm 1$  的修改方式嵌入到  $\mathbf{X}$  的 LSB 位,如果  $X_{ij}$  的 LSB 位需要修改,可进行  $X_{ij} + 1$  或  $X_{ij} - 1$  操作,但这两种方式相对于  $x_{ij}$  造成的失真并不一样,为  $1 - |e_{ij}|$  或  $1 + |e_{ij}|$ 。发送方总可以选择失真为  $1 - |e_{ij}|$  的修改方式,在此失真中减去量化过程中引入的取整误差  $|e_{ij}|$ ,即可得秘密信息嵌入引入的取整失真  $\rho_{ij,e} = 1 - 2|e_{ij}|$ 。于此同时, DCT 系数即使相同,但可能由于其各自对应的量化步长不同,嵌密时对图像造成的影响也有所不同,因此需要将量化步长引入失真函数设计中。

根据以上分析,将取整失真、量化步长和标准差引入失真函数的设计,定义为

$$\rho_{ij}^{(kl)} = \frac{q_{kl} \rho_{ij,e}}{(T_{\text{STD}}(\mathbf{X}^{(b)}))^{\lambda}} \quad (6)$$

式中,  $T_{\text{STD}}(\mathbf{X}^{(b)})$  为第  $b$  个 DCT 块的 AC 系数标准差;  $\lambda \in [0, 1]$ , 通过  $\lambda$  可以调整标准差对失真值的影响,通过抗检测性对参数  $\lambda$  进行优化。值得注意的是,秘密信息可以嵌在所有 DCT 系数上,包括

DC 系数和零值 AC 系数,增大了 DCT 系数的利用率。

## 2 隐写算法设计

基于 1.2 节所设计的失真函数和 STC 编码,给出具体算法流程,算法流程包括嵌入和提取两个过程,而提取过程为嵌入过程的逆过程,故下面只给出嵌入过程,图 3 为嵌入框图。

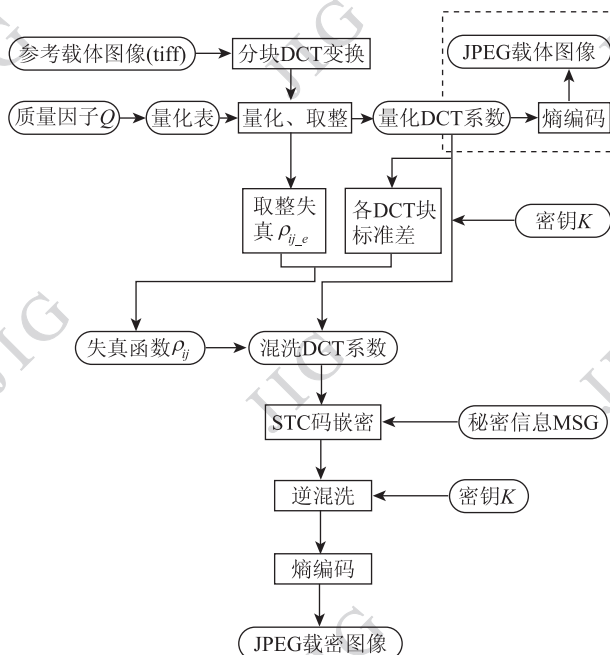


图 3 嵌入框图

Fig. 3 Embedding diagram

嵌入过程描述如下:

- 1) 输入参考载体图像及质量因子  $Q$ , 根据由  $Q$  所得的量化表对参考图像进行 DCT 变换;
- 2) 计算在  $(i, j)$  位置上 DCT 系数的取整失真  $\rho_{ij,e}$  及所在块的标准差, 得到失真函数  $\rho_{ij}$ ;
- 3) 根据密钥  $K$  对 DCT 系数进行混洗, 并利用 STC 编码将秘密信息  $MSG$  嵌入到混洗后的 DCT 序列中;
- 4) 对 DCT 序列逆混洗, 再经熵编码得 JPEG 载密图像。

## 3 仿真实验及性能分析

随机选取 BOSSbase<sup>[9]</sup> 图像库中 1 000 幅高质量 pgm 灰度图像作为参考载体图像, 大小为  $512 \times$

512。选出其中 500 幅参考图像所对应的载体、载密图像用于训练, 剩余 500 幅参考图像所对应的载体、载密图像用于测试。使用 LIB-SVM (support vector machine)<sup>[10]</sup> 工具包中的高斯核 C-SVM 作为分类器。

实验结果以最小平均错误检测率表示, 最小平均错误检测率为

$$P_E = \min_{P_{FA}} \frac{1}{2} [P_{FA} + P_{MD}(P_{FA})] \quad (7)$$

式中,  $P_{FA}$  为虚警率,  $P_{MD}$  为漏警率。  $P_E$  值越高表示算法的抗检测性能越强, 安全性越高。

通过抗检测性能对参数  $\lambda$  进行优化。CCPEV-548D<sup>[11]</sup> 是由原始图像的 193 维 DCT 系数统计特征和 81 维 Markov 特征以及相同维数的校准图像特征组成的检测算法, 共计 548 维特征。该算法是针对 JPEG 隐写检测中性能较好的方法之一, 具有代表性, 因此选取其对参数  $\lambda$  进行优化。

图 4 给出了质量因子  $Q = 75$  时, 嵌入率在 0.3 和 0.4 (嵌入总量和非零 AC DCT 系数个数之比) 的情况下使用不同参数  $\lambda$  得到的错误检测率。结果表明, 当  $\lambda = 0.5$  时, 抗检测性能较强。因此, 本文算法的失真函数的参数均取 0.5。若实验时选用其他的图像库, 由于图像特性不同, 需重新计算  $\lambda$  的值。

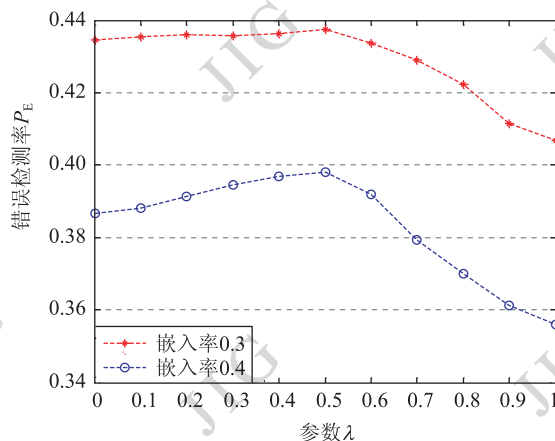


图 4 参数优化

Fig. 4 Parameter optimize

图 5 给出了质量因子分别为 75、85、95 的情况下, BCHopt、NPQ 和本文算法在不同嵌入率时使用 CCPEV-548D 检测得到的平均错误检测率。实验结果表明:

- 1) 在不同质量因子下, 本文算法的抗检测性能

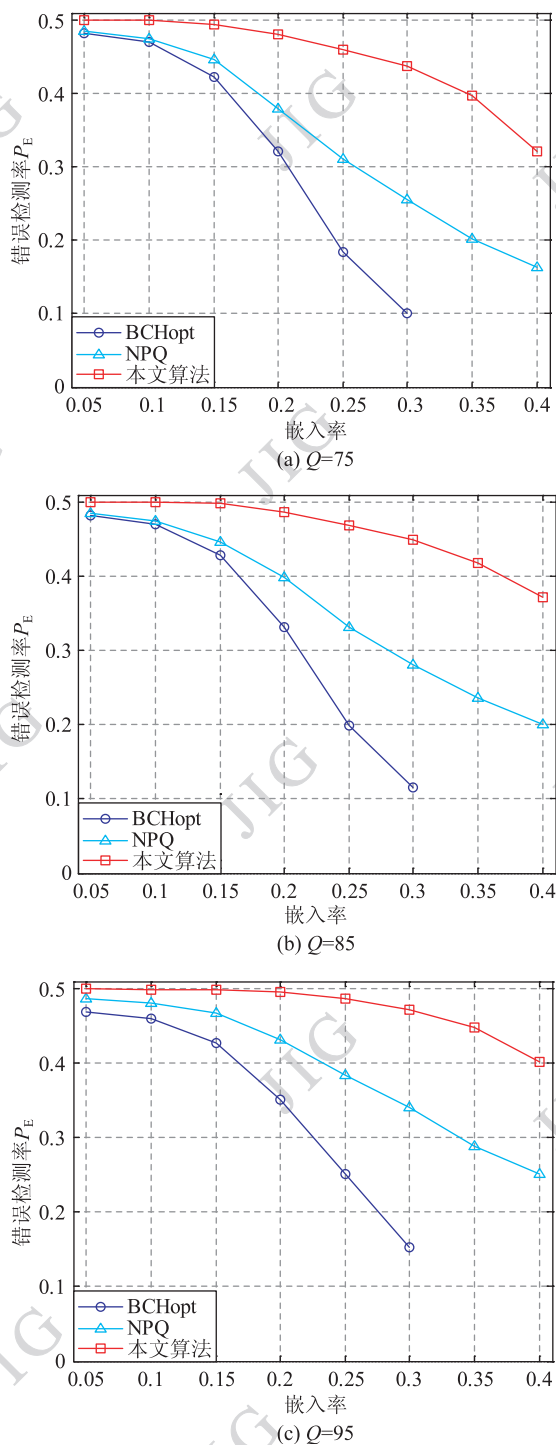


图 5 质量因子为 75、85、95 时 3 种隐写算法的错误检测率

Fig. 5 Detection errors for three different steganographies with quality factors 75, 85, and 95

- 都要优于其他两种算法;
- 2) 在相同嵌入率下, 图像压缩时所取质量因子越大, 抗检测性能越强;
- 3) 若将平均错误检测率高于 0.4 作为安全嵌

入率的标准, 以  $Q=75$  为例说明, BCHopt 的安全嵌入率只有 0.16 bit, NPQ 为 0.18 bit, 而本文算法可达到 0.35 bit, 且随着质量因子的增大, 安全嵌入率也相应增加。

本文算法中用到的 STC 码, 可对所有载体系数进行总体失真最小化寻优, 能够接近理论最优值, 而其余两种算法所用的修正矩阵编码及 BCH 码是将载体系数分组后寻找各组最小修改模式, 且随着嵌入率的增大, 各组载体系数减少, 修改模式个数减少, 因此所得的最小总体失真与理论最优值相差越来越大。所以, 随着嵌入率的增大, 本文算法的抗检测优势越来越明显。

为了进一步分析本文算法的性能, 还采用了针对 JPEG 隐写较为常用的 IBC-441D<sup>[12]</sup> 和 MP-486D<sup>[13]</sup> 检测算法进行实验, 结果如表 1 所示。

表 1 2 种检测算法的检测结果 ( $Q=75$ )

Table 1 Detection results of two steganalyzers ( $Q=75$ )

| 检测算法     | 隐写算法   | 嵌入率  |      |      |      |
|----------|--------|------|------|------|------|
|          |        | 0.1  | 0.2  | 0.3  | 0.4  |
| IBC-441D | BCHopt | 0.47 | 0.33 | 0.14 | —    |
|          | NPQ    | 0.48 | 0.40 | 0.28 | 0.21 |
|          | 本文     | 0.48 | 0.46 | 0.41 | 0.34 |
| MP-486D  | BCHopt | 0.47 | 0.34 | 0.14 | —    |
|          | NPQ    | 0.47 | 0.41 | 0.30 | 0.22 |
|          | 本文     | 0.49 | 0.47 | 0.42 | 0.34 |

IBC-441D 检测算法是提取 DCT 域块间共生矩阵扩展特征进行分析, 而 MP-486D 检测算法则是提取块内块间相关性的 Markov 特征进行分析。由表 1 可以看出, 本文算法与另外两种隐写算法相比具有更好的抗检测性能。

## 4 结 论

目前, 大多数 JPEG 自适应隐写在设计失真函数时仅考虑取整失真、量化步长这两个因素的影响, 而忽略了其他因素的影响, 如 DCT 系数的频率、大小、块内块间相关性、复杂度等。如何全面、综合地考虑这些因素将有助于设计更准确的失真函数。DCT 块标准差能够反映 DCT 小块的复杂程度, 为此本文结合取整失真、量化步长以及 DCT 块标准差, 启发式地设计了一种失真函数, 并结合 STC 编码得到一种新的 JPEG 自适应隐写算法。对比实验验证

了本文算法具有较强的抗检测性能。下一步工作将探讨影响失真函数各因素之间的联系,以设计出更准确的失真函数,进一步提高隐写算法的抗检测性能。

### 参考文献 (References)

- [ 1 ] Fridrich J, Goljan M, Soukal D. Perturbed quantization steganography[J]. ACM Multimedia and Security Journal, 2005, 11(2): 98-107.
- [ 2 ] Kim Y, Duric Z, Richards D. Modified matrix encoding technique for minimal distortion steganography[C]//Proceedings of the 8th International Conference on Information Hiding. New York: Springer-Verlag Press, 2006: 314-327.
- [ 3 ] Sachnev V, Kim J H, Zhang R. Less detectable JPEG steganography method based on heuristic optimization and BCH syndrome coding[C]//Proceedings of the 11th ACM Multimedia & Security Workshop. Princeton, NJ: ACM 2009: 131-140.
- [ 4 ] Huang F J, Huang J W, Shi Y Q. New channel selection rule for JPEG steganography[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2012, 7(4): 1181-1191.
- [ 5 ] Filler T, Judas J, Fridrich J. Minimizing embedding impact in steganography using Trellis-coded quantization[C]// Proceedings of SPIE, Media Forensics and Security XIII. San Jose, USA: SPIE, 2010, 7541: 7541, 5(1-14).
- [ 6 ] Filler T, Judas J, Fridrich J. Minimizing additive distortion in steganography using syndrome-trellis codes[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2011, 6(3): 920-935.
- [ 7 ] Filler T, Fridrich J. Gibbs construction in steganography[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2010, 5(4): 705-720.
- [ 8 ] Xi L. Research on content based adaptive image steganography[D]. Zhengzhou: The PLA Information Engineering University, 2011. [奚玲. 基于内容特征的自适应图像隐写技术研究[D]. 郑州: 信息工程大学, 2011.]
- [ 9 ] Filler T, Pevny T, Bas P. Break our steganography system[EB/OL]. 2010-07-02[2013-01-08]. <http://www.agents.cz/boss>.
- [ 10 ] Chang C C, Lin C J. LIBSVM: a Library for support vector machines[EB/OL]. 2012-03-02[2013-01-08]. <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/index.html>.
- [ 11 ] Kodovsky J, Fridrich J. Calibration revisited[C]// Proceedings of the 11th ACM Multimedia & Security Workshop. Princeton, NJ: ACM, 2009: 63-74.
- [ 12 ] Kodovsky J, Fridrich J, Holub V. On dangers of overtraining steganography to incomplete cover model[C]// Proceedings of the 13th ACM Multimedia & Security Workshop. Niagara Falls, NY: ACM, 2011: 29-30.
- [ 13 ] Chen C, Shi Y Q. JPEG image steganalysis utilizing both intra-block and interblock correlations[C]// IEEE International Symposium on Circuits and Systems. Seattle, WA: IEEE, 2008: 18-21.