



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

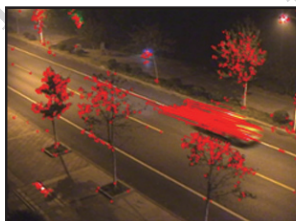
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

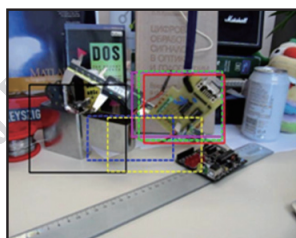
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

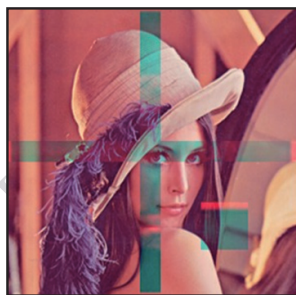
国内定价 50.00元



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

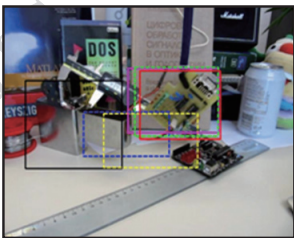
1703

CONTENTS

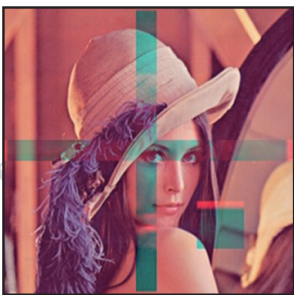
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



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: TP309.7 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2013)12-1559-08

论文引用格式: 张海涛,姚雪,陈虹宇,张晔. 基于位平面和 HVS 的信息隐藏算法[J]. 中国图象图形学报,2013,18(12):1559-1566. [DOI: 10.11834/jig.20131202]

基于位平面和 HVS 的信息隐藏算法

张海涛¹, 姚雪¹, 陈虹宇¹, 张晔²

1. 辽宁工程技术大学软件学院, 葫芦岛 125105; 2. 哈尔滨工业大学, 哈尔滨 150000

摘要: 针对数字图像嵌入量增大的同时视觉隐蔽性明显降低的问题,提出了基于位平面和人类视觉系统(HVS)的信息隐藏算法。考虑图像的位置迁移和像素的灰度变换,首先将秘密图像按位平面分层,根据改进的 Arnold 变换算法置乱,然后将得到的位平面与掩饰图像的最高有效位平面匹配,降低秘密序列所占空间,最后根据人眼视觉的掩蔽效应确定嵌入深度表,进行分层的信息嵌入。实验结果表明,算法在保证视觉效果的同时,可嵌入的信息量进一步提高,可嵌容量在 28% 以上,峰值信噪比大于 45 dB,同时具有较好的鲁棒性。

关键词: 信息隐藏;位平面;Arnold 变换;最高有效位;人类视觉系统

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

Zhang Haitao¹, Yao Xue¹, Chen Hongyu¹, Zhang Ye²

1. School of Software, Liaoning Engineering Technology University, Huludao 125105, China;
 2. Harbin Industrial University, Harbin 150000, China

Abstract: To increase the amount of embedded information hidden in digital image, a hiding algorithm based on bit-plane and the information of HVS (human visual system) is proposed. Our proposed method takes both, the position of the image and changes in the pixel gray values into account. First of all, the secret image is stratified by a bit-plane, scrambling in accordance with the improved Arnold transform algorithms. The most significant bit plane is matched with the bit plane of the cover image and then obtained. This reduces the space of the secret sequence, and then in accordance with the masking effect of the human visual system, in the table of embedded depth, the information is embedded. The experimental results show that the algorithm is not ensuring the visual effect, the amount of information which can be embedded is further improved, and the capacity is more than 28%, PSNR greater than 45 dB. Furthermore, the proposed algorithm is more robust.

Key words: information hiding; bit-plane; Arnold transform; MSB; HVS

0 引言

信息隐藏是信息安全的重要部分,在数字信息存储、传送过程中起着不可替代的作用。以图像为载体,信息隐藏主要分为变换域和空域信息隐藏,空域信息隐藏具有算法实现简单、运算速度快、隐藏

容量大等优点,因此不同的空域算法相继提出。经典的空域信息隐藏方法是最低有效位(LSB)算法,虽然最不重要的改变对图像整体效果影响不大,但其信息也最容易丢失,对于滤波、噪声等攻击抵抗能力较差,多种统计分析方法都可以顺利检测到秘密信息存在^[1]。Celik 等人^[2]在此基础上对算法进行了改进,提出一种称为 G-LSB (generalized least

收稿日期:2013-04-08;修回日期:2013-05-21

基金项目:国家自然科学基金项目(60972143)

第一作者简介:张海涛(1974—),男,副教授,辽宁工程技术大学地图制图与地理信息工程专业在读博士研究生,主要研究方向为图形图像处理。E-mail:yaoyao5611@126.com

significant bits)的算法,使嵌入容量得到较大提升。Khelifi 等人^[3]利用基于视觉临界差值的算法,将图像块分成几类,然后自适应地调节秘密信息所嵌入的强度。Yang^[4]又进一步利用反转模式改进嵌入平衡点,以提高算法的稳健性。Sallee^[5]提出基于模型的隐写框架,但不适合二值图像隐写。Lin 等人^[6]提出了一种基于图像灰度直方图(以下简称直方图)差值的多级可逆信息隐藏算法,通过修改直方图差值,进一步提高了隐藏容量。因此在不影响载体视觉效果的前提下,提高信息隐藏的容量和鲁棒性,是算法需要改进的关键。

数字图像置乱技术是信息隐藏的基础工作,置乱效果的好坏直接影响信息隐藏的稳健性和视觉效果。很多文献提出了不同的图像置乱算法:Fibonacci 变换^[7]实质是错切变换、对称变换和切割回填;Hilbert 变换^[8]实质是置乱路径和遍历图像;生命游戏变换实质是对像素点以生命方式置乱,适者生存不适者灭亡;幻方变换^[9]实质是像素点的位置置乱;Arnold 变换实质是打乱图像相邻像素间的相互关联程度;相邻像素异或实质是通过像素异或的方法扰乱图像灰度。上述算法只将图像像素点的位置变换,或只将灰度变化,考虑方面单一,置乱过程只考虑对原图分块或扫描为 1 维向量的形式,图像置乱的安全性低。

针对以上问题,考虑图像的位置和灰度的变化,提出基于按位分层的 Arnold 置乱改进算法,把秘密图像抽象成类似随机分布的信息,然后结合掩饰图像的最高有效位(MSB)平面,减少秘密信息所需的容量空间,利用人类视觉系统的特性,构建嵌入深度表,实现了不可感知的信息嵌入。

1 基于位平面和 HVS 的信息隐藏算法

1.1 基于位平面的改进 Arnold 置乱算法

图像置乱是先对秘密图像加密处理,去除图像的自相关性,使其没有任何可统计的特征,为进一步信息嵌入做准备。

Arnold 变换是 Arnold 在遍历理论研究中提出的一种变换,又称猫脸变换(cat mapping),是一种传统的混沌系统^[10]。按相位空间可将 Arnold 变换分为 2 维、3 维至多维变换,对于图像 $I_{N \times N}$ 的 2 维 Arnold 变换矩阵形式为

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \bmod N \quad (1)$$

$$x, y \in \{0, 1, \dots, N-1\}$$

式中,点 $[x, y]^T$ 为原始坐标, $[x', y']^T$ 为变换后坐标, N 为图像矩阵的阶,在不同阶数 N 下的 Arnold 变换周期性不同,当变换经过一定的迭代次数 T_N 后,将重新获得原始的水印图像。对于 $N > 2$ 任意阶数,变换周期满足 $T_N \leq N^2/2$ 。

本文算法依据灰度图像所具有的数据结构,设图像 $I_{N \times N}$ 为 K bit 灰度图像,图像可以划分成 K 个大小为 $N \times N$ 的位平面,其灰度级为 $0, 1, 2, \dots, K-1$,位平面的权从 0 至 $K-1$ 逐渐增大,MSB 平面的权最大,最低位(LSB)平面的权最小,像素点 (i, j) 的灰度值为 $p(i, j) = \sum_{t=1}^K Bv(t, i, j) \times 2^{K-t}$,其中, $Bv(t, i, j)$ 表示像素点 (i, j) 在第 t 位平面的比特值, $Bv(t, i, j) = 0 \parallel 1$, $Bv(t, i, j)$ 的比特取值为 0 或 1 。

设原始秘密图像为 $S_{N \times N}$,首先按从左到右、从上到下的顺序,各像素点 $S(i, j)$ 按位交叉互换,即 $\{b_p \leftrightarrow b_q \mid p, q \in [1, K], p+q=K+1\}$, b_x 表示像素点 $S(i, j)$ 第 x 位的比特值, $x \in \{p, q\}$,将点 $S(x, y)$ 转化为新像素点 $V(i, j)$ 。

然后对 $V(i, j)$ 做异或运算,令第 1 个元素 $V(0, 0)$ 与 255 相异或,得 $V'(0, 0)$,令 $V'(0, 0)$ 与 $V(0, 1)$ 相异或,得 $V'(0, 1)$,依次类推, $V'(i, j) \oplus V(i, j+1) \rightarrow V'(i, j+1)$,点点异或得到 $A(i, j)$ 。

根据图像按位平面分层的理论,对图像 $A_{N \times N}$ 分层,形成 K 个位平面,记第 k 层为 A_k ,第 1 层 $A_1 = A_{\text{LSB}}$, $A_K = A_{\text{MSB}}$ 为最高层。

在周期 T_N 内,从 A_{MSB} 到 A_{LSB} ,根据 Arnold 变换的周期性^[11],对不同位平面 A_k 依次进行 Ψ_k 次数 Arnold 置乱,记录 Ψ_k 为密钥,置乱后各个置乱位平面记为 A'_k 。

$$\Psi_k = \begin{cases} \frac{T_N}{2} \bmod M + (k-1) \left\lfloor \frac{T_N}{2M} \right\rfloor & T_N \bmod 2M \neq 0 \\ \eta + (k-1) \left\lfloor \frac{T_N}{2M} \right\rfloor & T_N \mid 2M \end{cases} \quad (2)$$

式中, T_N 为阶数 N 的周期, $\eta \in \mathbf{N}_+$ 且 $\eta \ll T_N$, $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示向下取整运算, $T_N \mid 2M$ 表示 T_N 整除 $2M$, M 为划分的总层数。

最终 $\mathbf{A}' = \{A'_k \mid k \in [1, K]\}$ 便是秘密图像置乱

后的 K 个二值平面。

1.2 基于最高有效位的序列优化算法

一幅图像可以划分为 K 个位平面, 每个位平面的信息熵各不相同, 也就是说各个位平面贡献的信

息量是不同的。如图 1 所示, 将 Lena 灰度图像按位分解为 8 个二值平面, 最高位平面可清晰分辨原图像轮廓, 随着位平面的降低, 图像逐渐模糊, 低位平面类似白噪声般无法分辨。

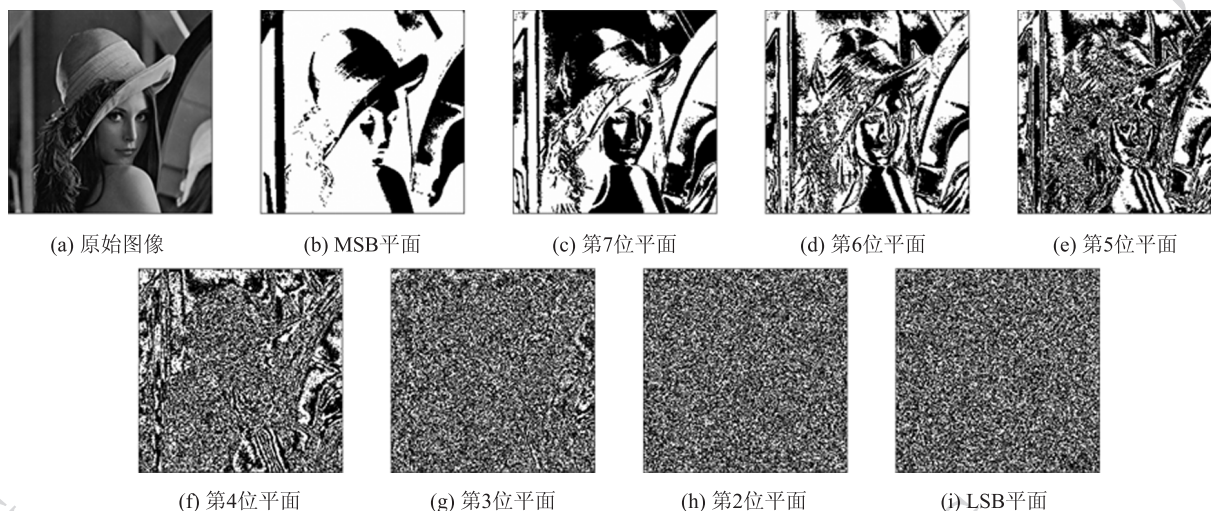


图 1 提取位平面图像

Fig. 1 Extract bit-planes

由于图像像素的最高有效位包含了图像的最主要信息, 该位信息的稳健性强, 对 MSB 的修改容易引起图像质量明显的下降, 因此, 本文算法在不改变掩饰图像 MSB 值的同时, 用其与秘密图像的秘密序列匹配, 得出优化序列。

掩饰图像为 $Y_{m \times n}$, 秘密图像置乱后为 $A'_{N \times N}$, 设 $m \times n \geq N \times N$, 优化置乱后秘密图像的第 k 位平面为 A'_k 。

对 A'_k 从上至下扫描, 将 2 维图像转换为 1 维的二进制序列 C , C 的长度为 p , $p = N \times N$ 。提取掩饰图像 $Y_{m \times n}$ 的最高有效位平面 Y_{MSB} , 根据伪随机坐标 (i, j) 生成最高有效位匹配模板, 以像素点 (i, j) 作为起点和密钥像素, 坐标位置满足

$$(i, j) = \begin{cases} (i, j) & (m-i)n + (n-j+1) \geq p \\ (1, 1) & m \times n < p \end{cases} \quad (3)$$

从 (i, j) 开始顺序遍历 Y_{MSB} , 得到二进制序列 L , L 的长度为 l ($l = p$), 此时 L 是最高有效位匹配模板。

将 C 与 L 按位异或进行匹配 $C \oplus L \rightarrow R$, 计算 R 中“1”所占比例 δ , $\delta \in [0, 1]$ 。

当 $\delta \leq 0.5$, 把 C 和 R 按位对比, 记录 R 为密钥序列 key ;

当 $\delta > 0.5$, 对 R 中各值取反, 得到 R' , 记录 R' 为密钥序列 key , 按如下方式得到优化序列 X_k :

初始化 $i = j = 0$;

遍历 $key(i)$;

如果 $key(i) = 1$, 则 $X_k(j) = C(i)$, $i++$, $j++$;

否则 $i++$ 。

此时 X_k 为将要嵌入的第 k 位平面的秘密序列。具体优化流程如图 2 所示。

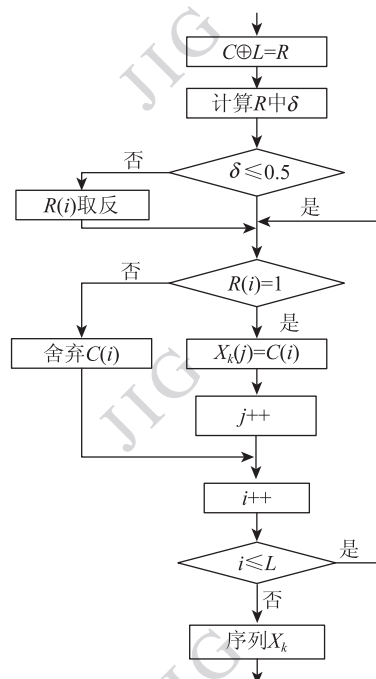


图 2 产生第 K 位平面序列流程图

Fig. 2 Flow diagram of generating the K -th bit-plane sequence

图3为优化过程举例($\delta \geq 0.5$)原始16位秘密序列 $C = 0100011110101101$, 经基于最高有效位的序列优化算法优化后变为仅有5位的新秘密序列 $X_k = 01000$, 密钥序列 key 为 R' , 原秘密信息减少了68.75%, 通过优化, 秘密信息可大量减少, 只需嵌入隐藏原始秘密信息的一半以下, 因此, 变相地提高了嵌入容量。

C	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	16位
L	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	16位
$R=C \oplus L$	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	16位
X_0	0	1	0		0	1	1		1		1	1	1				11位
$2^{16}-1$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16位
$R'=R \oplus (2^{16}-1)$	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	16位
X_k				0				1		0			0				5位

图3 优化过程举例
Fig. 3 Examples of the optimization process

1.3 基于HVS的嵌入深度表

人类视觉系统具有纹理掩蔽效应、频率掩蔽效应、空间掩蔽效应和高亮度掩蔽效应等, 对于一张图像而言, HVS是低通滤波系统, 对图像不同位置信息的敏感度并不均衡^[12]。本文算法根据人类视觉系统的掩蔽效应, 将纹理掩蔽效应和高亮度掩蔽效应相结合, 把掩饰图像划分为不同的类别。按照图像的纹理复杂度, 图像可分为纹理平滑区和纹理密集区, 纹理密集区包括边缘区和纹理区。纹理掩蔽效应表明, 人类视觉系统对纹理密集区的改变不敏感, 其视觉阈值较高, 可以嵌入较多的秘密信息; 而对平滑区的敏感度高, 其视觉阈值较低, 只能嵌入少量的秘密信息。纹理区与边缘区相比, 纹理区对噪声不敏感, 可嵌入更多信息。

按照图像的灰度特征, 图像可分为低灰度区、中灰度区和高灰度区。亮度掩蔽效应表明, 人眼对像素本身的不同灰度具有不同的敏感性, 其中对中等灰度区最为敏感, 可嵌入的秘密信息较少, 而对高灰度区和低灰度区的分辨能力都以非线性高比率下降, 不易分辨出像素值的变化。

综上所述, 纹理区 G_3 可以嵌入较多的秘密信息, 边缘区 G_2 次之, 而对平滑区 G_1 则嵌入较少的秘密信息, 嵌入容量 $G_3 > G_2 > G_1$ 。对高灰度区 H_1 和低灰度区 H_3 可以嵌入的秘密信息较多, 而对中灰度区 H_2 则嵌入的秘密信息较少, 嵌入容量 $H_1 > H_2$, $H_3 > H_2$ 。

掩饰图像所允许嵌入的秘密信息强度是有限的, 文献[13]提出, 当嵌入的比特位数大于等于4

位时, 图像的质量将发生明显下降, 如果只对图像进行3位替换, 是不会对图像的视觉效果造成影响的。本文算法选取3位嵌入, 当子块同为纹理块和高灰度块时, 则标记该子块嵌入深度为3; 当子块同为纹理块和低灰度块时, 则标记该子块嵌入深度为3; 当子块同为平滑块和中灰度块时, 则标记该子块嵌入深度为1; 其余子块可嵌入深度介于以上子块嵌入深度之间, 则标记子块嵌入深度为2, 从而得到嵌入深度表, 详细嵌入深度如表1所示。

表1 嵌入深度表
Table 1 Table of the embedded depth

类型	平滑块	边缘块	纹理块
高灰度	2	2	3
中灰度	1	2	2
低灰度	2	2	3

根据上述两种视觉掩蔽效应, 将掩饰图像划分为大小为 $m \times n$ 的互不重叠的子块, 在不同的子块嵌入不同量的秘密信息。通过计算每块信息熵的大小来区分该块是平滑区还是纹理密集区, 最大熵值的75%可作为划分平滑块和纹理密集块的阈值^[14], 划分纹理区和边缘区可以根据方差、梯度或变异系数。根据灰度二次曲线的非线性特征划分低灰度、中灰度和高灰度, 对256级灰度图像, 可认为75是低灰度和中灰度的分界, 180是中灰度和高灰度的分界。

1.4 嵌入与提取

1.4.1 嵌入

对秘密图像进行基于位平面的图像置乱, 提高了信息的安全性; 基于最高有效位的序列优化增加了可嵌入的信息量; 根据人类视觉系统的掩蔽效应, 确定了嵌入深度, 接下来将把秘密信息嵌入到掩饰图像中。本文的嵌入位为掩饰图像的第LSB位、第3位和第5位, 根据二进制数性质: 第 t 位的权值 $p_t(i, j) \geq \sum_{i=1}^{t-1} Bv(t, i, j) \times 2^{t-1} + 1$, 则掩饰图像的第2、4和6位与被嵌入的第1、3和5位相比可视性的权重较大, 对其具有矫正的能力, 满足视觉的不可感知性。算法的基本模型如图4所示, ①表示秘密信息的产生过程, ②表示秘密信息嵌入过程。

算法步骤如下:

- 1) 读入掩饰图像以及秘密图像。
- 2) 对秘密图像 $S_{N \times N}$ 做改进的Arnold变换: 交叉换位、异或运算、按位分层, 得到8个置乱的位平面

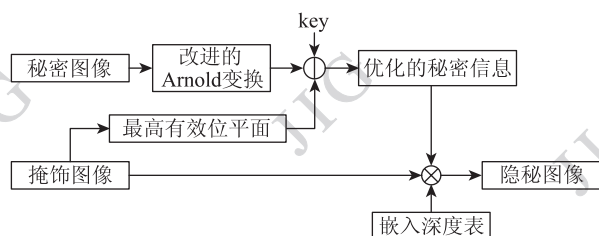


图4 算法模型

Fig. 4 Algorithm model

$A' = \{A'_k | k \in [1, 8]\}$ 。

3) 对秘密图像的各位平面 A'_k 扫描得到二进制序列 C_k , 由伪随机坐标 (i, j) 得到最高有效位匹配模板 L , 将 C_k 与最高有效位平面 Y_{MSB} 序列模板 L 匹配, 得到优化的秘密序列 X_k , 使其所需掩饰空间变小。

4) 将掩饰图像划分为 8×8 的子块, 判断子块类型, 根据基于 HVS 的嵌入深度表估算隐秘空间大小。若掩饰空间容量大于 $\sum_{k=1}^8 X_k$, 则执行至步骤 5), 否则跳回步骤 1), 重新选择掩饰图像。

5) 先选取掩饰图像的 LSB 位平面, 秘密信息按位平面从 X_1 到 X_8 将秘密序列 X_k 嵌入, 利用随机序列选择嵌入位置, 同时查询 $\left[\frac{N}{8}, \frac{N}{8}\right]$ 的嵌入深度表, 判断是否嵌入, 若是, 则嵌入, 否则由随机序列选取下一嵌入位置, 直至整个 LSB 位平面扫描完毕。然后开始嵌入第 3、5 位平面, 重复这一过程, 直到 X_8 全部嵌入为止。

6) 核对密钥参数和秘密信息嵌入完整性, 形成隐秘图像。

1.4.2 提取

1) 读取隐秘图像和密钥参数。密钥有秘密图像的尺寸类型、密钥像素、各位平面置乱次数、随机序列、嵌入深度等信息。

2) 提取秘密信息。从第 5 位平面开始提取秘密信息, 依据随机序列和嵌入深度找到嵌入位置, 判断是否为嵌入位, 若是则提取秘密信息, 依次提取第 3 位和第 LSB 位。

3) 按照最高匹配算法的逆匹配过程, 还原秘密序列 X_k 。

4) 将秘密序列 X_k 转化为二值图像, 对各层置乱图像 A'_k 进行不同次数的 Arnold 逆变换, 得到 A_k 。

5) 对 A_k 异或运算和交叉换位操作, 得到原始秘密图像 $S_{N \times N}$ 。

2 实验与分析

基于上述算法, 选取 6 幅 256×256 的标准灰度图像进行测试, 在 C# 环境下编程进行仿真实验, 测试图像如图 5 所示。

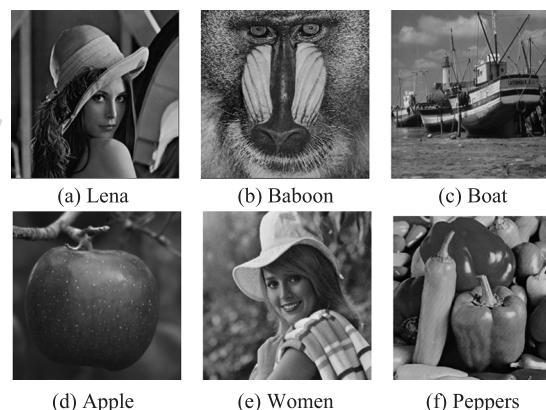


图5 测试图像

Fig. 5 Images used for the test

2.1 置乱实验

选取图 5(a) Lena 作为原始秘密图像 $S(i, j)$, 256 级灰度图像是由 8 bit 构成, 所以可分割成 8 个位平面, 将其转化为 8 个独立的二值图像, $S(i, j)$ 各点灰度值 $p(i, j) = \sum_{k=1}^8 Bv(t, i, j) \times 2^{k-1}, 0 \leq p(i, j) \leq 255$, 经改进的 Arnold 变换 (周期 $T = 192$, 取 $M = 8, a = 6$, 则 $C_k = 6, 18, 30, \dots, 78, 90$) 后, 最终得到 8 个如同随机噪声的置乱位平面 $A' = \{A'_k | k \in [1, 8]\}$ 。将各置乱位平面 A'_k 组合, 如图 6(b) 所示, 便形成一张无色彩、无形状和无纹理的新置乱图像。

一幅图像的概貌信息分布可以通过其灰度直方图来描述, 也可用其来分析图像的置乱效果, 通过 3 种算法对秘密图像置乱, 效果比较如图 6 所示。

经典 Arnold 变换后的置乱图像无法看出其原始面貌, 置乱后的直方图信息熵密集; 文献[15]算法与 Arnold 变换相比, 置乱图纹理较细, 直方图发生明显变化, 分布较匀; 本文算法置乱图像纹理细腻, 颗粒均匀, 置乱最优, 直方图分布均匀, 趋于平缓, 波动性小。

对于一幅类似白噪声的图像, 其直方图均匀分布在区域, 所以可以用与白噪声直方图的相似度来定量地衡量置乱效果, 定义相似度 α 为

$$\alpha = 1 - \frac{\sum_{e=0}^{G-1} |h_1(e) - h_2(e)|}{\sum_{e=0}^{G-1} |h_1(e) + h_2(e)|} \quad (4)$$

式中, e 为第 e 个灰度级, 图像的灰度直方图 $h_i(e) = n_e, n_e$ 为灰度级的像素总和。一幅纯噪声图像的灰度直方图分布是均匀的, 即 $h_1(i) = h_2(j), i, j = 0, 1, \dots, G - 1$, 根据式(4), 比较不同算法置乱前后图像直方图与白噪声的相似度, 如表 2 所示。

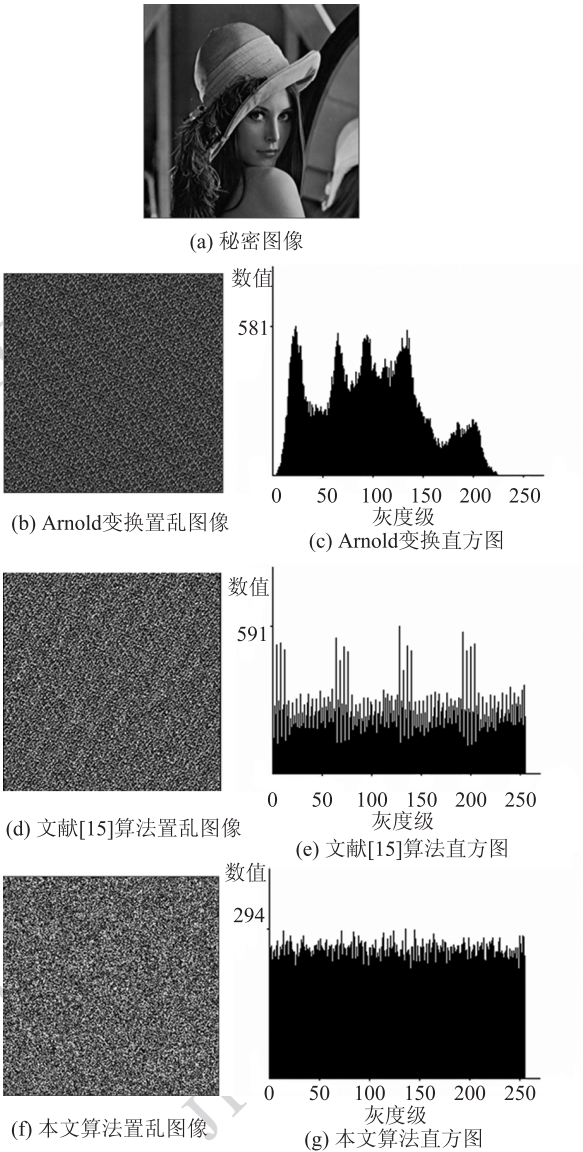


图 6 不同算法效果图
Fig. 6 Renderings of different algorithms

置乱实验表明, 本文算法通过置乱变换, 图像的灰度直方图展开均匀, 与白噪声相似度达到 0.962, 图像的信息可更加均匀地嵌入到掩饰图像中, 得到的水印透明性更好, 提高了信息安全性。

表 2 不同算法与白噪声直方图的相似度
Table 2 White noise histogram similarity of different algorithms

	相似度		
	Arnold 变换	文献[15]算法	本文算法
原图像	0.621	0.621	0.621
置乱后图像	0.621	0.872	0.962

2.2 嵌入和提取实验

如图 7 所示, 选取大小为 256×256 的 Apple 灰度图像图 7(a) 作为掩饰图像, 将 64×64 的图 7(b) Lena 图像作为秘密图像, 按本文算法置乱图 7(b) 后嵌入到图 7(a) 中, 形成图 7(c) 隐秘图像, 在提取过程中, 从图 7(c) 中提取图像, 最终按逆置乱方法还原秘密图像图 7(d)。

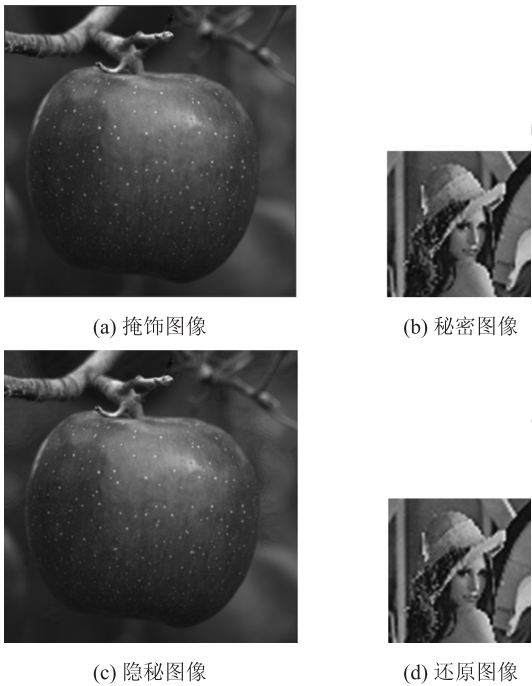


图 7 图像的嵌入和提取
Fig. 7 Embedding and extraction of the image

嵌入秘密信息后, 从图 7 中很难看出图 7(a) 掩饰图像和图 7(c) 隐秘图像的差异, 同时秘密图像可近乎无损地提取出来。分别计算 6 幅测试图像嵌入图 7(b) 后的容量和峰值信噪比, 如表 3 所示。纹理复杂的图像(如 Baboon)在隐秘图像峰值信噪比相当的情况下, 可嵌入容量较大。这是由于图像块纹理密集且灰度差异明显, 可嵌入深度较大。测试图像的 PSNR(峰值信噪比)均大于 45 dB, 而人眼一般

不能有效地感知 PSNR 为 38 dB 以上的变化, 本文算法具有较好的不可感知性, 在满足视觉质量的同时增强了隐藏容量。

表 3 嵌入后容量和峰值信噪比结果

Table 3 Capacity and PSNR results of embedding

测试图像	嵌入容量/%	峰值信噪比/dB
Lena	29.93	47.042
Baboon	31.52	47.137
Boat	28.86	46.791
Apple	30.35	46.986
Women	28.46	47.149
Peppers	30.03	47.101

采用 Lena 图像作为演示图像, 得到嵌入容量和峰值信噪比的关系曲线, 并与文献[6, 14, 16]的算法进行比较, 结果如图 8 所示。可以看出在相同的 PSNR 情况下, 本文算法的结果具有更大的嵌入容量, 本文算法在峰值信噪比和嵌入容量两方面都明显优于其他算法。

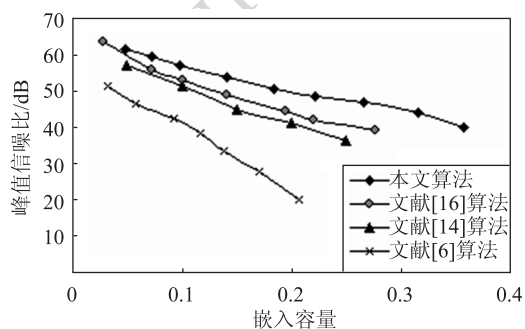


图 8 本文算法与其他算法的性能对比

Fig. 8 Comparing the performance of the proposed algorithm with other algorithms

2.3 抗攻击实验

将 64×64 秘密图像嵌入到 256×256 的 Lena 掩蔽图像中, 对其进行攻击实验, 图 9 和图 10 分别给出了含椒量 0.02 的椒盐噪声、窗口为 $[3, 3]$ 的中值滤波和左上剪切 $1/4$ 的攻击、提取效果图。



(a) 隐密图像 (b) 椒盐噪声 (c) 剪切攻击 (d) 中值滤波

图 9 被攻击的隐密图像

Fig. 9 Images steganography under attack



(a) 秘密图像 (b) 椒盐噪声 (c) 剪切攻击 (d) 中值滤波

图 10 还原隐藏信息

Fig. 10 Restore hidden information

图 10 列出了在不同种攻击实验下, 提取的秘密图像。表 4 计算了图 9(a) 在不同种攻击下的 PSNR 和 NC(归一化相关系数)。实验结果表明, 本文算法提取的秘密信息虽然夹杂着噪音, 但秘密信息仍清晰可见, 失真较少, 且 PSNR 和 NC 值较大。

表 4 多种攻击实验结果

Table 4 Experimental results of different attacks

攻击方式	PSNR/dB	NC
椒盐 0.05	19.203	0.957 1
椒盐 0.02	24.718	0.997 5
均值滤波 ^[55]	26.673	0.853 2
均值滤波 ^[33]	31.496	0.850 1
左上剪切 1/4	34.826	0.982 2
中间剪切 1/4	33.582	0.945 5
左上剪切 1/8	37.017	0.999 0
中值滤波 ^[55]	29.103	0.899 2
中值滤波 ^[33]	32.915	0.850 5

本文算法优于其他算法是由于本文算法对秘密图像按位平面分层, 低位信息嵌入低层容器, 高位信息得到保护, 且嵌入位置相对于容器图像是离散嵌入, 鲁棒性强。虽然 LSB 位平面的信息敏感易碎, 但是本文算法在该位平面嵌入的信息是秘密图像中价值小的低位信息, 当受到攻击, 秘密图像的高位信息受到了保护, 提取的图像依旧清晰可见, 提高了抗攻击能力。

3 结 论

针对现有图像置乱和信息隐藏算法存在的缺点, 提出了基于位平面和 HVS 的信息隐藏的算法, 并进行了仿真对比实验。实验结果表明, 本文算法的置乱图像纹理更细腻, 直方图分布均匀, 置乱特征接近白噪声, 提高了信息的安全性; 算法能近乎无损地嵌入和提取图像, 在保证了 PSNR 的情况下提高了

嵌入容量;在椒盐噪声、中值滤波、剪切攻击和均值滤波攻击方面视觉效果较好,具有良好的抗攻击能力;很好地平衡了不可感知性、嵌入信息容量和鲁棒性。

参考文献 (References)

- [1] Liang G L, Wang S Z, Zhang X P. Steganography in binary image by checking data-carrying eligibility of boundary pixels [J]. Journal of Shanghai University, 2007, 11 (3) : 272-277.
- [2] Celik M U, Sharma G, Tekalp A M, et al. Lossless generalized-LSB data embedding [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14 (2) : 253-266.
- [3] Khelifi F, Bouridane A, Kurugollu F, et al. An improved wavelet-based image watermarking technique [C] // Proceedings of IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance. Italy, Como: IEEE, 2005: 588-592.
- [4] Yang C H. Inverted pattern approach to improve image quality of information hiding by LSB substitution [J]. Pattern Recognition, 2008, 41 (8) : 2674-2683.
- [5] Sallee P. Model-based methods for steganography and steganalysis [J]. International Journal of Image Graphics, 2005, 5 (1) : 167-190.
- [6] Lin C C, Tai W L, Chang C C. Multilevel reversible data hiding based on histogram modification of difference images [J]. Pattern Recognition, 2008, 41 (12) : 3582-3591.
- [7] Zou J C, Ward R, Qi D X. A novel digital image scrambling method based on Fibonacci sequence [C] // IEEE International Symposium on Circuits and Systems. Vancouver: IEEE, 2004: 965-968.
- [8] Zhang R X, Zheng S J, Xia Q G. Self-adaptive image segmentation method based on Hilbert scan and wavelet transform [J]. Journal of Image and Graphics, 2008, 13 (4) : 666-671. [张荣祥, 郑世杰, 夏庆观. 基于 Hilbert 扫描和小波变换的自适应图像分割 [J]. 中国图象图形学报, 2008, 13 (4) : 666-671.]
- [9] Ding W, Yan W Q, Qi D X. Digital image scrambling [J]. Progress in Natural Science, 2001, 11 (6) : 456-460.
- [10] Ninassi A, Meur O L, Callet P L, et al. On the performance of human visual system based image quality assessment metric using wavelet domain [C] // Proceedings of the SPIE Conference Human Vision and Electronic Imaging XIII. San Jose: États-Unis, 2008: 6806.
- [11] Amr M R, Amr H H, Hossam M K, et al. A new efficient image encryption technique based on Arnold and IDEA algorithms [C] // Proceedings of International Conference on Network and Computational Intelligence. Hong Kong, China: IACSIT Press, 2012: 140-145.
- [12] Ding X X, Zhu R H, Li J X. A criterion of image quality assessment based on property of HVS [J]. Journal of Image and Graphics, 2004, 9 (2) : 190-194. [丁绪星, 朱日宏, 李建成. 一种基于人眼视觉特性的图像质量评价 [J]. 中国图象图形学报, 2004, 9 (2) : 190-194.]
- [13] Wang L N, Guo C, Li P. Information Hiding Technology Experimental Course [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2004: 119. [王丽娜, 郭迟, 李鹏. 信息隐藏技术实验教程 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004: 119.]
- [14] Wang Y H, Liu W J. Study of spatial information hiding algorithm based on MSB and HVS [J]. Computer Science, 2012, 39 (9) : 89-93. [王颖慧, 刘万军. 基于 MSB 和 HVS 的空域信息隐藏算法的研究 [J]. 计算机科学, 2012, 39 (9) : 89-93.]
- [15] Kwok H S, Tang W K S. A fast image encryption system based on chaotic maps with finite precision representation [J]. Chaos, Solitons & Fractals, 2007, 32 (4) : 1518-1529.
- [16] Li X B, Zhou Q. High-capacity lossless information hiding algorithm based on pixel difference of image block [J]. Computer Engineering, 2012, 38 (17) : 102-105. [李晓博, 周詮. 基于图像块像素差的大容量无损信息隐藏算法 [J]. 计算机工程, 2012, 38 (17) : 102-105.]