

基于颜色场结构和高斯金字塔的信息隐藏算法

任 帅¹, 慕德俊², 张 弢³

(1. 长安大学 信息工程学院, 陕西 西安 710064;

2. 西北工业大学 自动化学院, 陕西 西安 710072;

3. 长安大学 电子与控制工程学院, 陕西 西安 710064)

摘 要:针对秘密通信中,以数字图像为载体的信息隐藏算法的鲁棒性、不可见性和抗检测性等性能不均衡的现状,利用颜色场结构和高斯金字塔理论提出了基于数字图像载体预处理的信息隐藏算法。基于该算法对数字图像载体进行能量层次和结构状态的划分,并采用置乱、优化等预处理手段对欲隐藏信息进行解析,使得欲隐藏信息与载体信息保持最大一致性。仿真实验结果表明,该算法遵循数字图像自身的能量和结构特性,显著改善了信息隐藏算法的鲁棒性和不可见性,并且提高了算法的抗检测性。

关键词:信息隐藏;载体预处理;颜色场结构;高斯金字塔

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)09-0131-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.09.033

Information Hiding Algorithm Based on Color Field Structure and Gaussian Pyramid

REN Shuai¹, MU De-jun², ZHANG Tao³

(1. College of Information Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

2. College of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

3. College of Electronic and Control Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: Aiming at imbalance current situation about robustness, invisibility and anti-steganalysis of digital image information hiding in confidential communication, develop an information hiding algorithm based on digital image carrier preprocessing using color field structure and Gaussian pyramid. Based on the above scheme, divide digital image carrier into different energy layers and structure status. Then use preprocessing methods such as scrambling and optimization to analyze the embedded data, so maximize the consistence of the data bits' order between embedded data and carrier data. The simulation experiment indicates that the proposed algorithm follows the energy and structure characteristics of digital images, and can greatly increase robustness and invisibility, and has certain ability against common steganalysis.

Key words: information hiding; carrier processing; color field structure; Gaussian pyramid

0 引言

在秘密通信环境下,以数字图像为载体的信息隐藏技术主要通过利用和修改载体与秘密信息的自身特性达到隐秘通信的目的。不同的信息隐藏算法是根据不同的应用对象设计的,具有不同的性能。而衡量一个信息隐藏算法性能的指标有:鲁棒性、不可见性、容量、抗检测性和感知篡改性等^[1-2]。一个好的信息隐

藏算法需要均衡地满足多个指标。作者之前的研究表明,信息隐藏算法的鲁棒性和不可见性等多个性能与载体的能量和结构特性有关^[3],而目前的算法大多是基于运算域的,如空间域或者变换域^[4-5],并未考虑载体特性。文中将通过载体和欲隐藏信息的特性解析,利用颜色场结构理论和高斯金字塔^[6]对其进行预处理,并充分利用载体特性来改善算法性能。

收稿日期:2012-12-02

修回日期:2013-03-14

网络出版时间:2013-05-09

基金项目:国家“863”高技术发展计划项目(2012AA112312);交通运输部项目(2012-364-208-600,2012-364-208-200,201231849A70);吉林省外国专家局项目(2012-7-102-2)

作者简介:任 帅(1982-),男,山西太原人,讲师,博士,研究方向为网路与信息安全;慕德俊,教授,研究方向为信息安全。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130509.1101.068.html>

1 颜色场结构和高斯金字塔理论

文中提出颜色场结构的概念,利用角度范围 $[0, 2\pi]$ 来表示数字图像的颜色和结构信息。该方法可根据颜色空间的多通道特性将颜色强度映射为空间结构中的方向角度,从而使得载体图像颜色空间特性解析为数值。文中用到的颜色空间是 $l\alpha\beta$ 颜色空间,其优点是可以消除 RGB 空间中各个颜色分量的相关性,因此比一般的颜色空间更适合于信息隐藏算法中^[7]。文中将选取 $l\alpha\beta$ 颜色空间作为颜色场结构解析的输入。

高斯金字塔 (Gaussian Pyramid, GP) 是一种利用多分辨率解析图像的简单有效的结构^[8-9]。它利用高通滤波器对图像进行滤波处理,得到频率逐渐降低的图像序列,并利用亚采样对序列中的图像像素进行隔行隔列采样,得到尺寸递减且频率逐渐降低的图层结构。高斯金字塔的优点是视觉效果明显且运算量小。高斯金字塔图层中的图像能量随图层高度增加而逐渐集中,高层图像集中了原始图像的主要特征和大部分能量。图层具有明显的能量差异性,文中利用不同层图像的能量差别,在其中嵌入不同性质倾向的信息隐藏数据或者参数,可以较为容易地实现信息隐藏的不可见性和鲁棒性。如图 1 给出了高斯金字塔的 5 层结构示意图及对载体图像 Lena 进行高斯金字塔变换后的子图像。其中 G_0 为原始图,并通过高斯金字塔变换生成分辨率逐次递减的子图像 G_1, G_2, G_3 和 G_4 。

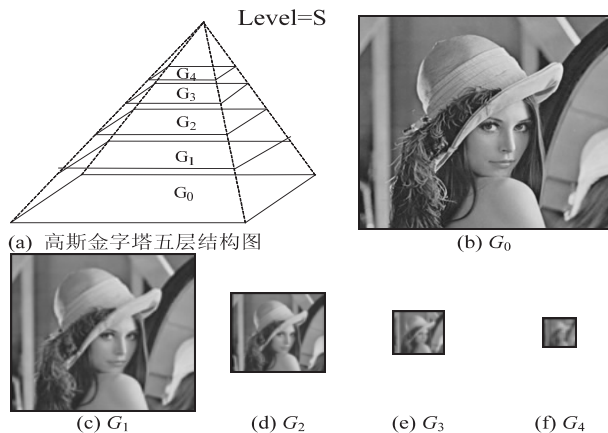


图 1 高斯金字塔图层

2 算法设计

文中首先利用颜色场结构对载体进行空间结构特性的解析,旨在改进算法的不可见性和容量性;然后利用高斯金字塔理论对已经经过颜色场结构解析的载体进行能量特性解析,生成能量阶梯性子区域,旨在改进算法的鲁棒性和感知篡改性。

2.1 基于颜色场结构理论的载体预处理

颜色场结构解析的方向值代表载体图像的数据信息。可以用其方向值为待修改量来嵌入信息。方向场

$[\lambda\pi/2^{k-1}, (1+4\lambda)\pi/2^{k+1})$ 代表“00”、方向场 $[(1+4\lambda)\pi/2^{k+1}, (1+2\lambda)\pi/2^k)$ 代表“01”、方向场 $[(1+2\lambda)\pi/2^k, (3+4\lambda)\pi/2^{k+1})$ 代表“10”、方向场 $[(3+4\lambda)\pi/2^{k+1}, (1+\lambda)\pi/2^{k-1})$ 代表“11”。根据逼近原则改变场方向,可知最大方向改变量为 $\pi/2^k$ 。图 2 所示为 $k=2$ 时的嵌入规则示意图,其中,每个黑区域表示“00”。

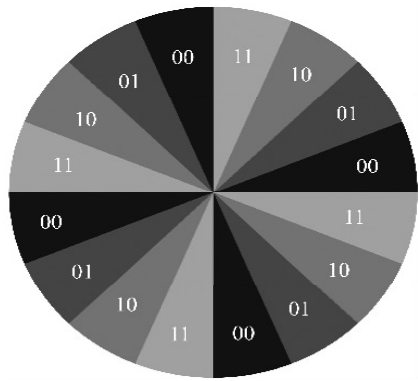


图 2 基于颜色场结构解析的嵌入规则示意图

2.2 基于高斯金字塔理论的载体预处理

在图 1(a)所示的高斯金字塔 5 层结构图中, G_1, G_2, G_3 和 G_4 所占载体图像能量的比值大约为 8.1:4.2:2.4:1.6。基于这一能量特性,基于颜色场结构和高斯金字塔理论, G_1 所占能量最高,是鲁棒性区域; G_2 和 G_3 所占能量居中,是欲隐藏信息的嵌入区域;而 G_4 所占能量最低,是脆弱性标识嵌入区域。

2.3 算法的实现步骤

基于颜色场结构和高斯金字塔的信息隐藏算法共有 9 个具体步骤:

Step1:对载体图像做高斯金字塔变换,获得 4 个子图像;

Step2:将 4 个子图像分别进行 $l\alpha\beta$ 变换;

Step3:分别对各个分量按照公式(1)进行场结构解析,其中, I 表示各个分量的像素值;

$$M = I \bmod 2\pi \quad (1)$$

Step4:利用行遍历方法对 G'_2 和 G'_3 进行编码,并分别表示为 $G'_2 = t'_1, t'_2, \dots, t'_k, t'_i$ 和 $G'_3 = t''_1, t''_2, \dots, t''_k, t''_i$ 。将两者合并,得到编码 $G = t'_1, t''_1, t'_2, t''_2, \dots, t'_k, t''_k, t'_i, t''_i = t_1, t_2, \dots, t_n$,其中 $n = 2i$;

Step5:利用混沌映射和逻辑算法^[10]优化欲隐藏信息,具体算法按照公式(2)所示。设定参数为 μ 且初始值为 x_k 。则逻辑映射以后的比特序列为 $G_{IN}^x = b_1^x, b_2^x, \dots, b_n^x$;

$$x_{k+1} = \mu x_k (1 - x_k), x_k \in (0, 1) \quad (2)$$

Step6:假设 F 为 G_{IN}^x 和 C 中相同的位上数值相等的比特数。用遗传算法优化 x_k ,使得 F 最大化。文中

所用到的优化模型如公式(3)所示。通过遗传优化算法得到最优解 y 。将 y 代入 G_{IN}^x 中以获得最优嵌入比特序列 $G_{IN}^y = b_1^y, b_2^y, \dots, b_n^y$;

$$F(y) = \text{Max } F(x_k) = \text{Max } \sum (t_n \oplus b_n^x) \quad (3)$$

Step7:按照方向场代表数值的规则改变颜色场结构解析的方向。按RAID4行遍历方法将 G_{IN}^x 嵌入到 G_2 和 G_3 中。RAID4基本数据单元由8比特数据构成;

Step8:在高斯金字塔图层中, G_1 是鲁棒性最强的区域。为判别和修复不完整信息,在 G_1 中嵌入了RAID4的循环冗余校验码(记作 R^L)、优化置乱参数 y 和 μ 。而 G_4 是最脆弱的区域,在其中嵌入RAID4的循环冗余校验码(记作 R^H)。接收者通过对比 R^H 和 R^L 可迅速判断含密图像是否遭受攻击或篡改;

Step9:按照高斯金字塔逆运算将修改后的各图层复原为一个含密图像。

3 实验仿真

仿真试验是在 Matlab7.0.0.19920 的环境下进行的。载体图像为 Lena(256×256),如图3(a)所示。秘密信息是二值图像 Baboon(64×64),如图3(b)所示。图3(c)所示的含密图像是 $k=10$ 时得到的。 k 值决定了嵌入区域的密度分布。区域划分密度越大,颜色场结构解析的方向改变越小,算法的不可见性就越好。然而, k 值越大,计算成本越高。仿真实验对100幅随机抽取的数字图像进行了 k 值检验,结论证明,当 $8 \leq k \leq 17$ 时,不可见性良好且运算成本较低。

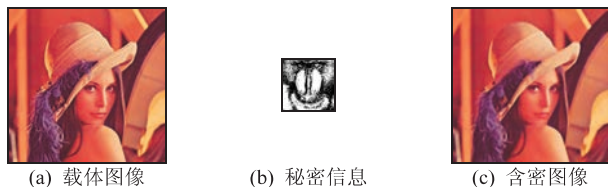


图3 嵌入信息实验

3.1 鲁棒性实验

文中嵌入的是二值图像,根据二值图像0、1的特点,定义公式(4),其中 Q 值为受攻击后提取信息的鲁棒性检验值,且当 $Q=100$ 时,提取的信息最完整。

$$Q = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} f(i,j) \oplus f'(i,j)}{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} f(i,j) \oplus f(i+\mu, j \pm \eta)} \quad (4)$$

对图3(c)所示的含密图像做攻击实验。图4给出了JPEG2000压缩、剪切、滤波和加噪等攻击结果。

3.2 不可见性实验

以PSNR为标准,该算法和基于LSB、DCT、DWT等算法的不可见性进行对比。当嵌入率为25%时,该算法的不可见性为36.713 5,而LSB为36.713 5、DCT

为26.573 5、DWT为31.589 4、DWT和DCT的联合算法为30.833 2,相比其他算法平均提高了29.21%。

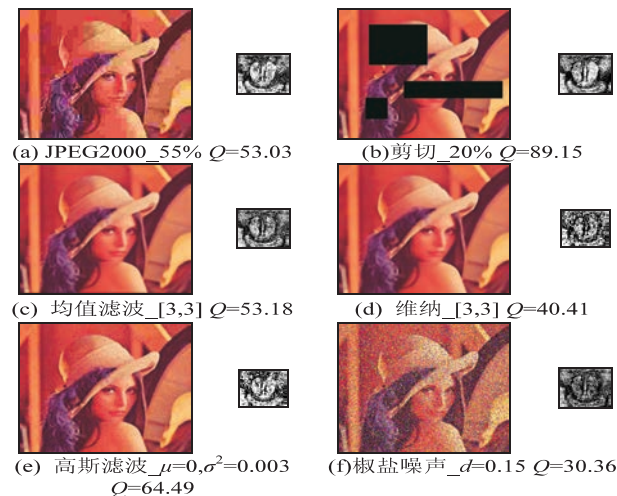


图4 鲁棒性实验

3.3 抗分析性实验

双统计量检测分析法(RS)和基于小波系数的高阶统计量分析法(HOSWC)检验是目前常见的两种隐写分析检测法。RS通过对秘密图像的相邻颜色对之间的关系和差异进行信息隐藏的分析,具体可通过对比 R_m 和 R_{-m} 以及 S_m 和 S_{-m} 的差值来检测是否隐藏信息^[11]。而HOSWC则基于小波系数,通过对高阶统计数据进行分析得出检测结论^[12]。图5、图6为利用这两类检测法对文中算法的检测实验结果。

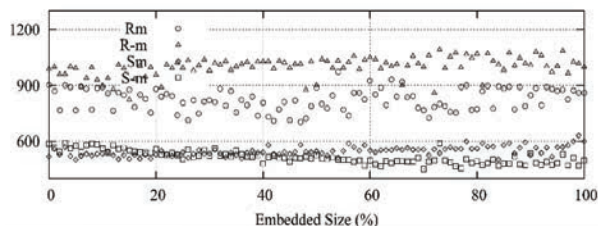


图5 RS抗检测性实验

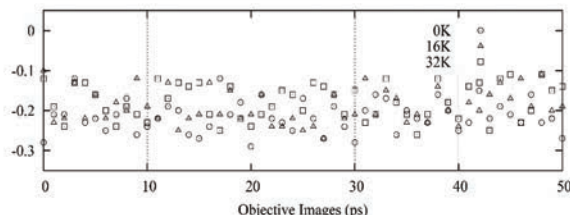


图6 HOSWC抗检测性实验

由图5可知,RS初始偏差为154, R_m 和 R_{-m} 的最大偏差为332,而 S_m 和 S_{-m} 的最大偏差为155,说明嵌入率并不直接影响偏差。HOSWC检测实验中,如图6所示,在50幅随机图片结果中,分别嵌入0K、16K和32K的信息量,高阶统计量检测分析曲线分布并没有明显地区分出来,即无法找出区分隐藏前后的一个甚至多个阈值,可知基于颜色场结构和高斯金字塔的信息隐藏算法抗击HOSWC检测的能力不会随着嵌入量的增

加而受影响,表明基于颜色场结构和高斯金字塔的信息隐藏算法的信息隐藏算法抗击此类检测分析。

4 结束语

文中将颜色场结构和高斯金字塔理论分别用于载体的空间特性和能量解析,利用高斯金字塔方法,对图像进行能量集中化处理,通过高斯低通滤波和亚采样将载体图像分层,随着图层高度增加,图像的低频成分集中,即能量集中。据此可选择满足信息隐藏鲁棒性和不可见性的图层进行不同内容的嵌入。对分层图像进一步做颜色场结构处理,利用方向值代表载体图像的数据信息。该算法具有良好的系统特性,不可见性提高了 29.21%,对 JPEG2000 压缩、随机剪切、旋转、[3,3]均值滤波、[3,3]二次维纳滤波均具强的鲁棒性。通过应用 RS 和 HOSWC 检测分析算法对基于颜色场结构和高斯金字塔的信息隐藏算法进行抗分析性能检测,得出算法具有较强的抗分析性能。另外,文中提出的载体预处理方法对信息隐藏算法性能有明显的改善作用。

参考文献:

- [1] 袁琦,闵栋,邹俊伟. KML 文件的信息隐藏技术[J]. 北京邮电大学学报,2011,34(1):140-144.
- [2] 曹玉强,龚卫国,柏森,等. 基于 Curvelet 变换的鲁棒信息隐藏算法[J]. 计算机工程,2011,37(5):137-139.
- [3] Zhang T, Mu D, Ren S. Information hiding algorithm based on

(上接第 130 页)

棵二叉树,二叉树的每个节点会关联四个位向量。而一个 bit 只能对应于一条规则,尽管空间复杂度是平方的关系,然而实质上所消耗的不是很大。可见,DBBV 算法在冲突检测方面是优于 ASBV 算法的。

3 结束语

DBBV 算法提高了 ASBV 算法中的时间复杂度,在处理规则冲突检测^[9]上采用的是一维运算后再进行交集运算,使得规则检测更加简单。在规则表达灵活性方面,DBBV 算法明显要比 ASBV 算法好,不会产生多余的位运算,造成时间复杂度的升高。通过对算法理论的分析,可以表明 DBBV 算法在冲突检测方面的性能是优于 ASBV 算法的。

参考文献:

- [1] 吕海涛,梁祖华. 基于防火墙规则匹配优化算法的研究[J]. 计算机安全,2008(3):17-19.
- [2] 梁建武,龙晓梅,刘军军. 基于 LE-Trie 的防火墙策略检测

Gaussian pyramid and GHM multi-wavelet transformation[J]. International Journal of Digital Content Technology and Its Applications,2011,5(3):210-218.

- [4] 徐凯平,郑洪源,丁秋林. 一种基于 LSB 和 PVD 的图像信息隐藏方法研究[J]. 计算机应用研究,2010,27(3):1068-1070.
- [5] 赵彦涛,李志全,董宇青. 基于排序和直方图修改的可逆信息隐藏方法[J]. 光电子·激光,2010,21(1):102-107.
- [6] 蒋晓瑜,黄应清. 基于小波变换的多分辨模板匹配[J]. 中国图象图形学报,2000,5(4):304-308.
- [7] 黄伟,王书文,杨筱平,等. 基于图像分解的敦煌壁画图像修复方法[J]. 山东大学学报(工学版),2010,40(2):24-27.
- [8] 牛夏牧,陆哲明,孙圣和. 基于多分辨率分解的数字水印技术[J]. 电子学报,2000,28(8):1-4.
- [9] 刘贵喜,杨万海. 基于多尺度对比度塔的图像融合方法及性能评价[J]. 光学学报,2001,21(11):1336-1342.
- [10] Wang Y S, Sun J, Wang C J, et al. Prediction of the chaotic time series from parameter-varying systems using artificial neural networks[J]. Acta Physica Sinica,2008,57(10):6120-6131.
- [11] Lou Der-Chyuan, Wu Chen-Hao. LSB steganographic method based on reversible histogram transformation function for resisting statistical steganalysis[J]. Information Sciences,2012,188:346-358.
- [12] Ren S, Zhang T. Study of Reversible Information Hiding Scheme Based on CARDBAL2 and Color Field Structure[J]. Advanced Materials Research,2011,225:275-279.

算法[J]. 计算机工程,2010,36(22):134-136.

- [3] 刘军军. 基于决策树的防火墙策略算法研究[D]. 长沙:中南大学,2009.
- [4] 杜德超,姚庆栋. 多维过滤规则无冲突的高速分组分类算法[J]. 电子学报,2002,30(11):1676-1680.
- [5] Baboescu F, Varghese G. Scalable Packet Classification[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review,2001,31(4):199-210.
- [6] Acharya S, Wang Jia, Ge Zihui. Simulation Study of Firewalls to Aid Improved Performance[C]//Proc. of the International Conference on 39th Annual Simulation Symposium (ANSS'06). [s.l.]:[s.n.],2006:18-26.
- [7] Oppliger R. Internet Security: Firewall and Beyond[J]. Communications of the ACM,1997,40(5):92-102.
- [8] 姚亚锋,方贤进,赛文莉. 新型内容过滤防火墙的研究[J]. 计算机技术与发展,2010,20(11):158-161.
- [9] 蒋宁,廉东本. 包过滤防火墙相关规则的排序及向无关规则的转化[J]. 小型微型计算机系统,2004(8):1550-1553.

作者：[任帅](#), [慕德俊](#), [张弢](#), [REN Shuai](#), [MU De-jun](#), [ZHANG Tao](#)
作者单位：[任帅, REN Shuai \(长安大学 信息工程学院, 陕西 西安, 710064\)](#), [慕德俊, MU De-jun \(西北工业大学 自动化学院, 陕西 西安, 710072\)](#), [张弢, ZHANG Tao \(长安大学 电子与控制工程学院, 陕西 西安, 710064\)](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)

ISTIC

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年, 卷(期)：2013(9)

参考文献(12条)

1. [袁琦, 闵栋, 邹俊伟](#) KML文件的信息隐藏技术[期刊论文]-[北京邮电大学学报](#) 2011(01)

2. [曹玉强, 龚卫国, 柏森](#) 基于Curvelet变换的鲁棒信息隐藏算法[期刊论文]-[计算机工程](#) 2011(05)

3. [Zhang T, Mu D, Ren S](#) Information hiding algorithm based on Gaussian pyramid and GHM multi-wavelet transformation 2011(03)

4. [徐凯平, 郑洪源, 丁秋林](#) 一种基于LSB和PVD的图像信息隐藏方法研究[期刊论文]-[计算机应用研究](#) 2010(03)

5. [赵彦涛, 李志全, 董宇青](#) 基于排序和直方图修改的可逆信息隐藏方法[期刊论文]-[光电子·激光](#) 2010(01)

6. [蒋晓瑜, 黄应清](#) 基于小波变换的多分辨模板匹配[期刊论文]-[中国图象图形学报](#) 2000(04)

7. [黄伟, 王书文, 杨筱平](#) 基于图像分解的敦煌壁画图像修复方法[期刊论文]-[山东大学学报\(工学版\)](#) 2010(02)

8. [牛夏牧, 陆哲明, 孙圣和](#) 基于多分辨率分解的数字水印技术[期刊论文]-[电子学报](#) 2000(08)

9. [刘贵喜, 杨万海](#) 基于多尺度对比度塔的图像融合方法及性能评价[期刊论文]-[光学学报](#) 2001(11)

10. [Wang Y S, Sun J, Wang C J](#) Prediction of the chaotic time series from parameter-varying systems using artificial neural networks[期刊论文]-[Acta Physica Sinica](#) 2008(10)

11. [Lou Der-Chyuan, Wu Chen-Hao](#) LSB steganographic method based on reversible histogram transformation function for resis-ting statistical steganalysis 2012

12. [Ren S, Zhang T](#) Study of Reversible Information Hiding Scheme Based on CARDBAL2 and Color Field Structure 2011

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjz201309033.aspx