

一种基于幅度预测的隐写分析方法

张 良

(中国民航大学智能信号与图像处理天津市重点实验室, 天津 300300)

摘 要: 提出一种基于图像小波系数相关规律性分析及幅度预测的隐写分析方法, 首先对小波系数所处局部区域的相关规律性强弱进行定量分析; 然后选择规律性较强的局部区域, 利用自然图像小波系数在尺度间和尺度内的统计相关性, 以及不同图像分量小波系数之间存在的相关性, 对小波系数的幅度值进行自适应预测; 最后通过分析预测误差的统计特性来判断图像中是否含有隐秘信息. 实验证明该方法对于小波域信息隐藏具有较好的检测效果.

关键词: 图像处理; 信息隐藏; 隐写分析; 小波域; 幅度预测

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2010) 11-2704-04

A Steganalysis Scheme Using Magnitude Prediction

ZHANG Liang

(Tianjin Key Lab for Advanced Signal Processing, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: A statistical steganalysis algorithm is proposed based on the correlation analysis and magnitude evaluation of wavelet coefficients. Firstly, the local regularity of wavelet coefficients correlation is quantitatively analyzed. Secondly, wavelet coefficient magnitudes of the selected regular local areas are evaluated adaptively, using both the inter-scale and intra-scale statistical correlations of the natural image wavelet coefficients. Finally, stego-images are distinguished from cover-images by means of analyzing the statistical property of the prediction errors. The proposed method proved to be highly effective for the wavelet domain steganography.

Key words: image processing; information hiding; steganalysis; wavelet domain; magnitude prediction

1 引言

信息隐藏将秘密消息隐藏在数字图像、语音等载体媒质中; 隐写分析则是旨在对载体媒质进行检测以发现秘密消息的存在, 它与信息隐藏是相互对立的分支学科, 二者相辅相成, 共同发展. 目前已有一些针对空间域 LSB、JSteg 等的隐写分析方法^[1-5], 但是当嵌入的信息量小到一定程度时, 就很难有效地进行检测, 而且盲隐写分析的难度则很大.

隐写分析方法大致可分为两类: 一类是针对某种特定信息隐藏算法的专用方法, 另一类是针对所有信息隐藏算法的通用隐写分析方法. 前者可达到比较高的准确度, 而通用隐写分析的难度很大, 目前对隐写分析算法准确率性能要求普遍比较低, 所以说目前的隐写分析技术的可靠程度尚不足以用于确认, 但可用来发现可疑对象^[6-9].

许多隐写分析方法是在小波域进行的. 图像经小波分解后, 系数间仍然存在尺度间和尺度内的局部相关性, 表现为小波系数的幅度在尺度内的聚类性和在尺度

间的保持性^[10-12].

(1) **聚类性** 如果某一个波系数是大或小的, 则其附近的小波系数很可能也是大或小的.

(2) **保持性** 大或小的波系数具有尺度间传递的特性, 即如果在某一尺度上有一小波系数是大或小的, 则在其相邻尺度上同一空间位置上的小波系数往往也是大或小的.

在多分量图像中, 不同分量之间的小波系数也有很强的相关性. 相邻尺度间的小波系数还具有指数衰减特性. 自然地, 可以利用小波系数的这些统计规律性设计隐写分析算法^[13-15].

已有的利用小波系数统计特性进行隐写分析的方法, 大都使用了小波系数幅度的线性预测误差. Farid 使用高维特征向量^[14], 分类特征包括有关幅度和相位的统计量, 其中幅度统计量的类别可分离性比较好. 刻画边缘分布的幅度统计量包括不同色度分量、不同尺度、不同方向下小波系数的均值、方差、峰度和偏度. 此外还有基于小波系数幅度值的线性预测误差的, Farid 称之为高阶统计量. 可利用神经网络、Fisher 线性判别或者

支持向量机等方法设计分类器,过高的特征向量维数对分类器的训练不利,难以取得令人满意的效果^[14]. Taras 和 Fridrich 等人对上述方法进行了改进^[13],一方面用预测误差作为隐藏信号的估计,用它的统计量作分类特征,以减少载体信号的影响;另一方面只使用信噪比最低的最细尺度小波系数进行统计,减少了特征数目,提高分类效能.

在这些基于预测误差分析的隐写分析方法中,以小波系数的预测误差作为隐秘信号的估计值,以它的各阶统计量构成特征向量,其中包含了大量的预测效果不好的点,这会对后续的分类准确性产生影响,尽量排除相关规律性不佳的点,将有助于提高分类所用的特征向量对信息嵌入的敏感性,从而降低误判率.

本文对小波域通用隐写分析进行研究,利用自然图像小波系数在尺度间和尺度内的相关性,以及不同色彩分量之间小波系数的相关性,对小波系数进行自适应预测,通过相关规律性分析选取具有良好可预测性的局部点,通过分析这些点的预测误差统计特性来判断隐秘信息的存在与否.

2 本文方法

待预测的小波系数幅度值记为 ξ , 它的 8 个邻域系数为 $\xi_j, j = 1, \dots, 8$, 如图 1 所示. 添加上标表示不同子带, 符号 ξ' 和 ξ'' 表示另外两个颜色分量中与 ξ 空间位置相同的小波系数的幅度值, 符号 ξ^{up} 表示高一级分解层中相同空间位置的小波系数幅度值.

ξ_5	ξ_1	ξ_6
ξ_3	ξ	ξ_4
ξ_7	ξ_2	ξ_8

图1 小波系数的8个邻域系数

为了简化后续的线性预测计算,先以子带为单位对小波系数幅度进行规范化处理:

$$\bar{\xi} = (\xi - \mu) / \sigma \quad (1)$$

其中 μ 表示该子带中小波系数幅度的平均值, σ 表示幅度的标准差.

综合考虑自然图像小波系数的各种统计相关性,我们以式(2)对小波系数的幅度进行线性预测.

$$\hat{\xi} = \frac{\left(\sum_{i=1}^4 w_i \bar{\xi}_i + w' \bar{\xi}' + w'' \bar{\xi}'' + w^{up} \bar{\xi}^{up} \right)}{w_{sum}} \quad (2)$$

$$w_{sum} = \sum_{i=1}^4 w_i + w' + w'' + w^{up} \quad (3)$$

其中的权值 w , 包括 $w_i, w', w'',$ and w^{up} , 都由式(4)确定:

$$w = 1 - \frac{|e|}{\bar{\xi}}, \text{ if } w < 0, \text{ then } w = 0 \quad (4)$$

其中 e 是邻域系数的预测误差,沿用上述上标表示方法,预测误差分别表示为: $e_i (i = 1, \dots, 4), e', e'',$ 和 e^{up} , 按照以下规则计算:

$$e_1 = \frac{1}{2} \times [|\bar{\xi}_5 - \bar{\xi}_3| + |\bar{\xi}_6 - \bar{\xi}_4|] \quad (5)$$

$$e_2 = \frac{1}{2} \times [|\bar{\xi}_7 - \bar{\xi}_3| + |\bar{\xi}_8 - \bar{\xi}_4|] \quad (6)$$

$$e_3 = \frac{1}{2} \times [|\bar{\xi}_5 - \bar{\xi}_1| + |\bar{\xi}_7 - \bar{\xi}_2|] \quad (7)$$

$$e_4 = \frac{1}{2} \times [|\bar{\xi}_6 - \bar{\xi}_1| + |\bar{\xi}_8 - \bar{\xi}_2|] \quad (8)$$

$$e^{up} = \frac{1}{4} \times \sum_{i=1}^4 |\bar{\xi}_i^{up} - \bar{\xi}_i| \quad (9)$$

$$e' = \frac{1}{4} \times \sum_{i=1}^4 |\bar{\xi}_i' - \bar{\xi}_i| \quad (10)$$

$$e'' = \frac{1}{4} \times \sum_{i=1}^4 |\bar{\xi}_i'' - \bar{\xi}_i| \quad (11)$$

w_{sum} 随着预测误差的增大而减小,综合反映了待预测小波系数所处局部区域的相关规律性. 选择满足以下限制条件的小波系数进行幅度预测:

$$w_{sum} \geq W \quad (12)$$

$$\bar{\xi} \geq M \quad (13)$$

其中阈值 W 和 M 用于保证所选择的小波系数具有比较大的幅度,并且排除掉相关规律性不好的点,使所提取的特征向量对信息嵌入具有更大的敏感性. 预测误差 $(\hat{\xi} - \bar{\xi})$ 经如式(1)所示的规范化处理后,就可通过对预测误差的统计特性进行分析来判断隐秘信息的存在与否. 文献[13]中研究了预测误差的各阶矩对分类效果的贡献问题,参照其结论,并考虑到本文方法中所有子带都已预先进行了规范化处理,不同方向的预测误差可以合并处理,选择全体预测误差的 11 个规范化偶数阶原点矩构成特征向量 V^T , 规范化矩如式(14)计算:

$$m_i' = m_i / \sqrt{m_2^i}, i = 4, 6, \dots, 24 \quad (14)$$

其中 m_i 表示 i 阶原点矩. m_i' 为规范化的 i 阶原点矩. 构造出描述预测误差统计特性的特征向量以后,使用 Fisher 线性判别实现分类,分类器的决策规则为:

$$\text{if } F^T V \geq D, \text{ then } V \in S, \text{ else } V \in C \quad (15)$$

其中 F^T 表示 Fisher 最佳投影向量,由训练集计算得到, S 和 C 分别表示含有隐秘信息的类和不含隐秘信息的类,符号 D 表示判决门限.

3 实验结果

实验所用的测试图像样本包括 800 幅 RAW 格式 640×480 彩色照片,以及 512×512 的 Lena 图像. 利用 Matlab7 小波工具箱的 `lw2` 函数完成图像的提升算法小波分解,提升小波选择“9.7”小波,与 JPEG2000 静止图

像压缩标准取得一致.图2所示为Lena图像第二分解层竖直方向子带的自适应预测结果中的前60个点,其中的参数取值为: $W=6, M=1.2$.对样本库中其它图像也可取得类似效果,大量实验表明,用本文方法选取预测点后,预测误差降低的平均幅度在10%以上.

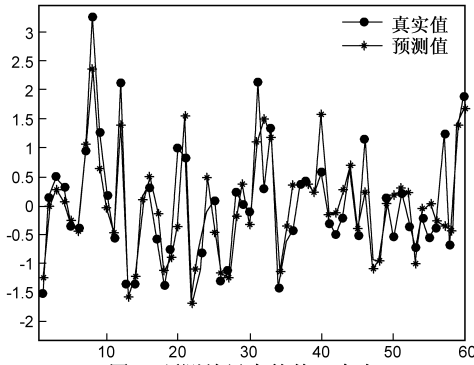


图2 预测结果中的前60个点

实验中分别由两种方法嵌入隐秘信息,第一种方法是嵌入强度取固定值的扩频嵌入,

$$\bar{x}_i = (1 + \alpha \cdot s_i) \times x_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (16)$$

其中 x_i 为第 i 个嵌入点小波系数, s_i 为隐秘信息比特, α 为嵌入强度,实验中, α 分别取 0.1、0.08 和 0.06,相当于改变信息的嵌入量.

第二种方法将信息嵌入到量化后小波系数的最低有效位,量化后选择幅度值大于等于 8 的小波系数嵌入隐秘信息位.实验中,量化阶距 Q 取 8.

实验中将本文方法与两种检测方法进行比较,第一种是不考虑式(12)所示的限制条件,只用式(13)选择预测点,相当于不去除预测效果差的点.第二种是文献[13]中所提的方法,其中用到的隐秘图像估计方法该作者在文献[16]中有详细的描述.

将 640×480 的原始图像分成两组,每组 400 幅,各自嵌入隐秘信息后每组包含 800 个样本,分别作为训练样本集和测试样本集.由训练样本集求出最佳投影向量,然后对测试样本集进行分类,选择判决门限使虚警概率为 0.05,然后获得漏报概率.实验结果如表 1 所示,表中的“漏报”是指将含有隐秘信息的样本误判为不含隐秘信息的概率,“虚警”是指将原始载体图像误判为含有隐秘信息的概率.虚警概率的不同主要是由信息嵌入量的差别造成的.使用 $\alpha = 0.08$ 的一组实验数据画出的 ROC 曲线如图 3 所示.

表 1 对两种典型嵌入方法的检测结果

嵌入方法 (不同嵌入量)	漏报率			虚警率
	本文方法	文[10]中方法	无坏点去除	
方法 1($\alpha=0.1$)	0.09	0.13	0.14	0.05
方法 1($\alpha=0.08$)	0.16	0.22	0.24	0.05
方法 1($\alpha=0.06$)	0.29	0.38	0.43	0.05
方法 2($Q=8$)	0.28	0.36	0.41	0.05

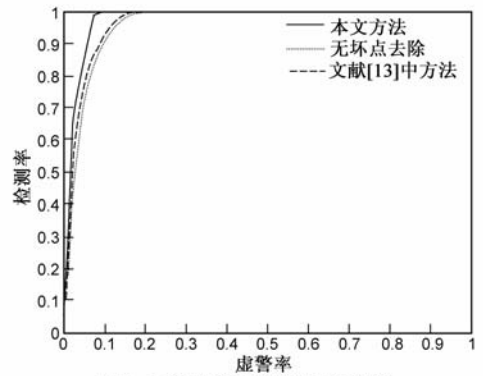


图3 三种检测方法的ROC曲线

检测结果显示出去除局部相关性不好的预测点,可以更好的反映秘密信息的存在,提高预测误差特征向量对信息嵌入的敏感性.

4 结论

所提方法的依据和实质是:信息嵌入时对小波系数的修改将会减弱小波系数在尺度间和尺度内的局部相关性,而系数的预测所利用的正是这些局部相关性.图像中不同局部区域小波系数的相关规律性强弱不同,排除相关性弱的区域,只对相关规律性强的区域进行分析,能够更加有效的揭示隐秘信息的存在.该方法有两个主要特点:(1)通过小波系数线性预测权向量的图像自适应调整来获得较好的预测效果;(2)利用邻域系数的预测误差,对当前小波系数所处的局部区域的相关规律性强弱进行定量分析,有选择的进行小波系数预测,从而提高分类用的特征向量对信息嵌入的敏感性.

参考文献:

- [1] J Fridrich, M Goljan. Practical steganalysis of digital images: state of the art[A]. Proceedings of SPIE[C]. San Jose, 2002. 4675:1-13.
- [2] R Chandramouli, K P Subbalakshmi. Current trends in steganalysis: a critical survey[A]. 2004 8th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision[C]. Kunming, China, 2004. 964-967.
- [3] 钮心忻, 杨义先. 信息隐藏与隐写分析研究框架探讨[J]. 电子学报, 2006, 34(12A): 2421-2424.
Niu Xinxin, Yang Yixian. Study on the frame of information steganography and steganalysis [J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(12A): 2421-2424. (in Chinese)
- [4] Chen C H, Shi Y Q. JPEG image steganalysis utilizing both intrablock and interblock correlations [A]. IEEE International Symposium on Circuits and Systems[C]. Seattle, WA, 2008. 3029-3032.
- [5] 陈国明, 印鉴, 周端宁, 张东. 一种新的隐写分析方法:

- IKLDA [J]. 电子学报, 2009, 37(8): 1762 – 1767.
- Chen Guoming, Yin Jian, Zhou Duanning, Zhang Dong. A new method for steganalysis techniques: IKLDA [J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(8): 1762 – 1767. (in Chinese)
- [6] Ying Wang, Moulin P. Optimized feature extraction for learning-based image steganalysis [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2007, 2(1): 31 – 45.
- [7] Mehrabi M A, Aghaeinia H, Abolghasemi M. Image steganalysis based on statistical moments of wavelet subband histogram of images with least significant bit planes [A]. Congress on Image and Signal Processing [C]. Sanya, China, 2008. 2: 768 – 772.
- [8] Gul G, Kurugollu F. Detection of watermarking methods using steganalysis [A]. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing [C]. Las Vegas, 2008. 1725 – 1728.
- [9] Pevny T, Fridrich J. Detection of double-compression in JPEG images for applications in steganography [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2008, 3(2): 247 – 258.
- [10] D H Woo, I K Eom, Y S Kim. Image interpolation based on inter-scale dependency in wavelet domain [A]. IEEE ICIP2004 [C]. Singapore, 2004. 3: 1687 – 1690.
- [11] R W Buccigrossi, E P Simoncelli. Image compression via joint statistical characterization in the wavelet domain [R]. GRASP Laboratory Technical Report JHJ414, University of Pennsylvania, <http://www.cns.nyu.edu/eero/publications.html>. 1997.
- [12] Jingsang Huang, David Mumford. Statistics of natural images and models [A]. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C]. Fort Collins, CO, 1999. 1: 541 – 547.
- [13] T Holotyak, J Fridrich, S Voloshynovskiy. Blind statistical steganalysis of additive steganography using wavelet higher order statistics [A]. International Conference on Communications and Multimedia Security [C]. Salzburg: Springer-Verlag. 2005. 3677: 273 – 284.
- [14] S W Lyu, H Farid. Steganalysis using higher-order image statistics [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2006, 1(1): 111 – 119.
- [15] Shaohui Liu, Hongxun Yao, Wen Gao. Steganalysis of data hiding techniques in wavelet domain [A]. Proceedings of International Conference on Information Technology: Coding and Computing [C]. Las Vegas, 2004. 1: 751 – 754.
- [16] T Holotyak, J Fridrich, D Soukal. Stochastic approach to secret message length estimation in $\pm k$ embedding steganography [A]. Proceedings of SPIE Electronic Imaging, Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents VII [C]. San Jose, CA, United states, 2005: 673 – 684.

作者简介:



张 良 男, 1970 年 12 月出生于山东泰安, 2003 年毕业于天津大学电子信息工程学院, 获得博士学位. 中国民航大学副教授, IEEE 会员. 主要研究方向为图像处理、信息隐藏、智能视频监控.

E-mail: L-zhang@cauc.edu.cn