

一种 DDWT 域编码的自嵌入脆弱水印算法

崔 壮 吕俊白 冯 涛

(华侨大学计算机学院 厦门 361021)

摘 要 针对目前变换域脆弱水印算法对于篡改恢复能力的不足以及所用变换本身的局限性,提出了一种基于双树小波变换的图像编码自嵌入水印算法。算法的篡改定位和图像恢复分别对应着认证水印和恢复水印。算法以原始载体图像的 DDWT 域 SPIHT 编码压缩图像为恢复水印,将其嵌入到图像的小波分解低频系数上,以增强水印鲁棒性;以嵌入恢复水印的载体图像的低频系数大小特征为认证水印,将其嵌入在图像分块的最低有效位上。实验结果表明,本算法能准确定位非法的篡改操作并具有良好的自我恢复能力。

关键词 DDWT, SPIHT, 自嵌入水印, 篡改定位, 图像恢复

中图分类号 TP391

文献标识码 A

Self-embedding Fragile Watermarking Based on DDWT Coding

CUI Zhuang LV Jun-bai FENG Tao

(College of Computer Science and Technology, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract Currently, because of the limitations of fragile watermarking on tamper recovery and transform, this paper presented a self-embedding watermarking algorithm based on dual-tree wavelet Transform. Tamper localization and image recovery are corresponding to authentication watermarking and recovery watermarking. The recovery watermarking is spiht coding after carrier image DDWT transform, and it is embed in the low-frequency of wavelet transform. The authentication watermarking is the relationship of low-frequency coefficients after recovery watermarking is embed, and it is embed in the image sub-block of lsb. The experimental results show that the algorithm can accurately locate the illegal tamper and has nice self-recovery ability.

Keywords DDWT, SPIHT, Self-embedding watermarking, Tamper localization, Image recovery

1 引言

多媒体内容的完整性认证是伴随着计算机网络的发展而产生并发展起来的,作为多媒体真伪鉴别领域的一个非常重要的技术,脆弱数字水印的研究也越来越受到人们的关注。脆弱水印作为认证水印^[1]的一种,除了具有水印的基本特征外,还应该能够可靠地检测篡改操作并且对篡改后的多媒体信息具有稳定的自我恢复原始数据的能力。

1999年 Fridrich 等人^[2]首先提出了自嵌入的脆弱水印算法,其将最低有效位置为零,把分块 DCT 及量化得到的近似图像作为水印信息嵌入到偏移子块的最低有效位上,但是算法的劣势也很明显,虽说水印是嵌入到偏移子块并且各偏移子块要尽量远离原始的图像子块,但嵌入的水印由于鲁棒性较差,仍然可能大面积地受到恶意攻击从而导致最终的篡改恢复效果不理想。在此基础上,文献^[3]对其进行了改进,重新调整了编码位长,提高了恢复图像的质量,但是其对图像块的篡改检测具有不确定性。文献^[4]实现了2个脆弱水印的嵌入,在小波低频子带嵌入水印 w_1 用于篡改定位,将利用小波 HL 子带系数计算的 hash 值结果与 w_2 异或的结果嵌入到

小波 HH 子带,显然算法并没有考虑篡改的恢复问题。文献^[5]结合图像的对比度特性,提出了一种空域的半脆弱水印算法。算法选择提取图像的高 h 位的 MSB (Most Significant Bit) 的残差图像特征,并根据 Weber 所定义的关于人眼的视觉模型来判断不同的灰度特性计算得出水印嵌入位。利用 LSB 算法的思想,将各位位置上的载体图像用水印图像替代实现嵌入。但是由于算法选择嵌入于原始载体的重要位,这在一定程度上破坏了算法的不可见特性。

本文提出了一种基于 DDWT 域编码的自嵌入脆弱水印算法。首先对原始图像的 DDWT 变换系数进行 SPIHT 编码得到作为恢复水印的压缩子图,并将恢复水印嵌入到小波低频子带系数上。再对嵌入恢复水印的图像进行 DDWT 变换,利用变换后的低频系数间的特征构造认证水印。算法不仅可以准确地标识出恶意篡改,还可以根据恢复水印近似地进行篡改恢复。

2 算法的设计方案

本文的水印设计方案主要包括恢复水印的产生与嵌入、认证水印的产生与嵌入、篡改的定位与恢复3大模块。

到稿日期:2012-10-05 返修日期:2013-01-13

崔 壮(1986—),男,硕士生,主要研究方向为图像处理、数字水印, E-mail: czhuang1006@163.com; 吕俊白(1969—),女,副教授,主要研究方向为图像处理、视频编码; 冯 涛(1986—),男,硕士生,主要研究方向为图像处理、图像编码。

2.1 恢复水印的生成与嵌入算法

本文采用自嵌入水印算法。所谓自嵌入水印,就是载体图像嵌入到自身中去,但同时又受到条件限制不能将所有的原始图像数据都作为水印嵌入,所以一般的做法是选取原始图像的某一个压缩比子图作为水印图像嵌入到原始载体本身中。本文算法将小波域的 SPIHT 编码应用在双树小波域中。首先对原始图像进行 DDWT 变换得到频域子带,再通过一种改进的 SPIHT 编码算法进行压缩编码得到嵌入的恢复水印,最后对提取出的数据进行解码和 IDWT 变换得到近似图像。

2.1.1 DDWT 变换

小波变换(DWT)具有良好的时频分析和多分辨率分析特性,但是,常规的DWT不具有平移不变特性和方向选择特性,严重影响了小波域信号的处理效果。双树小波变换(DDWT)的滤波器组经过特定设计具有不同的延迟,基函数和尺度函数逼近 Hilbert 变换树,减小了计算复杂度^[6]。DDWT 由两棵特殊的离散小波滤波器组树结构平行构成。输入图像用 $\{h_0(n), h_1(n)\}$ 滤波器实现其中一个可分离 2-D 小波变换,然后利用 $\{g_0(n), g_1(n)\}$ 滤波器实现另外一个可分离 2-D 小波变换。对二维数据集应用两个可分离小波变换,最终得到 6 个高频子带($\pm 15^\circ, \pm 45^\circ, \pm 75^\circ$)和 2 个低频子带^[7,8]。

2.1.2 SPIHT 编码

SPIHT 编码是小波域的典型编码算法之一。作为 EZW 的改进算法,它的编码效果要优于 EZW 编码,同时算法的复杂度要低于 EBCOT 编码。算法利用空间树分层分割方法,将某一树结点及其所有后继结点划归为同一集合,有效地减小了比特面上编码符号集的规模^[9]。

在 DDWT 域中应用 SPIHT 算法时, DDWT 子带的组织树被构造和 DWT 子带相同的结构, 因此 DDWT 中树的数目是 DWT 中的两倍^[10]。同时 DDWT 域中 SPIHT 编码的优势在于高效的连续零的聚集。我们首先对原始图像进行 DDWT 分解形成类似 DWT 的双路小波树结构, 图 1 给出了 DDWT 域的 SPIHT 编码树结构图。SPIHT 编码采用空间树和比特平面编码方法获得了很高的编码效率。

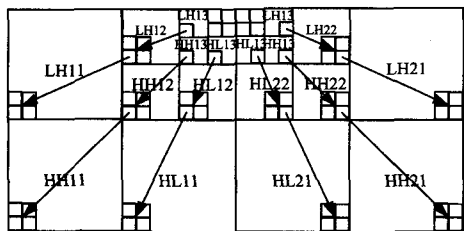


图 1 DDWT 域的 SPIHT 编码树结构图

2.1.3 恢复水印的生成与嵌入

恢复水印的生成与嵌入算法流程如图 2 所示。

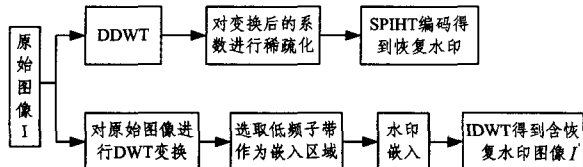


图 2 恢复水印的生成嵌入

具体步骤如下：

(1) 设原始图像 I 的大小为 $M \times N$, 对图像 I 进行 6 次 DDWT 变换, 得到 36 个高频子带和 2 个低频子带;

(2)对变换后的系数根据文献[11]提出的利用迭代映射方法的收敛特性实现稀疏化处理;

(3)对稀疏化处理后的系数进行 SPIHT 编码,得到恢复水印;

(4)对原始图像 I 进行 DWT 变换,并将(3)中得到的恢复水印利用式(1)嵌入到其低频子带 LL 中;

$$LL' = LL + af * w_1' \quad (1)$$

LL' 为嵌入后的系数, LL 为图像小波变换后的低频子带系数, af 为嵌入强度;

(5) 进行 IDWT 变换, 得到嵌入恢复水印的载体图像 I' 。

2.2 认证水印的生成与嵌入算法

本文选取原始载体图像嵌入恢复水印后得到载体图像 I' , 经 DDWT 变换后系数间的特征关系作为认证水印。设嵌入恢复水印的载体图像为 $I' = \{g(i, j), 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N\}$, 其中 $g(i, j)$ 表示图像第 i 行、第 j 列的像素灰度值。算法的过程如图 3 所示。

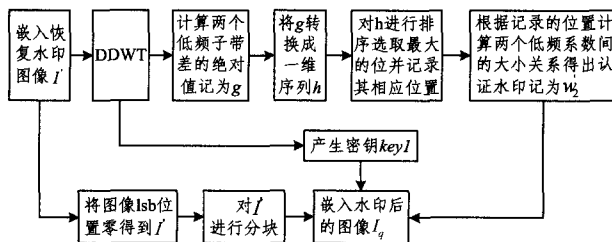


图3 认证水印的生成嵌入

具体步骤如下：

(1)对嵌入恢复水印后的载体图像 I' 进行 1 次 DDWT 变换,得到两个低频子带,记为 I_1', I_2' 。

(2) 将两个低频子带相应位置差的绝对值 $\text{abs}(I_1' - I_2')$ 记为 g 。

(3) 将 g 转换为一维序列后进行排序, 并选取差值最大的 $m \times n$ 位作为认证水印的产生位, 记录其对应系数在原始系数中的所在位置。

(4)对选取的 $m \times n$ 位比较对应位置的系数值,并按式(2)作判断得到认证 w_2' :

$$w_2' = \begin{cases} 1, & I_1' - I_2' > \tau \\ 0, & I_1' - I_2' \leq \tau \end{cases} \quad (2)$$

式中, τ 为所取得阈值, τ 的大小通过实验获得。

(5) 将载体图像 I' 的最低有效位 (LSB) 置为零得到图像 I'' , 将其 4×4 分块得到 $I''(i, j)$ (表示图像 I'' 的第 i 行、第 j 列的子块), 将每个子块数据按行优先存储后标号。

(6) 将 $I'(i, j)$ 中水印的嵌入位置记为密钥 key_1 , 密钥的选取也是考虑到了原始图像的系数特征, 具体的密钥位置自适应于载体, 其计算公式记为:

$$P = \text{mod}(\text{abs}(F), 16) \quad (3)$$

式中, $F=|z|$, z 为嵌入恢复水印后的图像经 DDWT 变换后与图像 I' 相对应的低频系数 2×2 子块, $||$ 表示取行列式; p 为水印嵌入位置, 是每个子块中行优先存储的序号。

(7) 根据密钥 key_1 所指示的行优先存储序号, 运用置零后替换的方法将认证水印 w_2' 嵌入在 LSB 上得到图像 I_6 。

2.3 篡改的定位与恢复

设 $\tilde{I}$ 为待检测图像,篡改定位与恢复的流程图如图 4 所示。

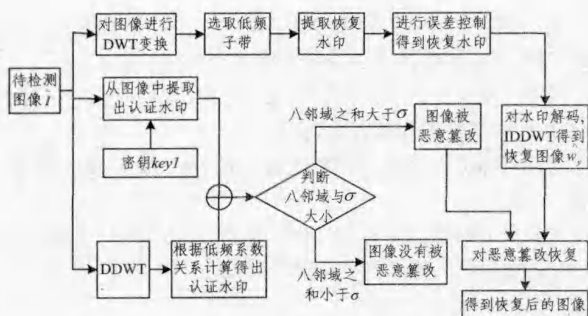


图4 篡改的检测与恢复

具体过程如下:

1. 认证水印的提取

利用密钥 $key1$ 找出载体图像中水印的嵌入位置,并提取

出水印图像 w' 。

2. 变换后得到特征认证水印图像

对待检测的图像进行 DDWT 变换,得到两个低频子带,根据式(2)计算得出受到攻击后的认证水印图像,记为 w'_j 。

3. 恢复水印的提取

(1)对图像 I 进行 DWT 变换;

(2)选择低频子带系数提取出恢复水印;

(3)对恢复水印进行误差控制、解码、反变换后得到作为

对篡改操作修复的恢复图像 w_y ,误差控制公式如下:

$$f_n(i,j) = \begin{cases} 1, & \text{abs}(EI(i,j)-1) < \alpha \\ 0, & \text{abs}(EI(i,j)-1) > \alpha \end{cases} \quad (4)$$

$EI(i,j)$ 为提取出的解密后的水印一位元素值, α 为调整阈值,其大小是根据恢复水印嵌入强度 af 的变化通过实验获取的, $f_n(i,j)$ 为对应位置处最终的恢复水印元素值。

4. 篡改定位与恢复

为了估计篡改的位置和篡改的程度,先定义篡改矩阵 T :

$$T = w'_j \oplus w' \quad (5)$$

w'_j 为计算所得二值水印, w' 为提取出的二值水印, $\oplus$ 为异或操作。

同时,作者经过研究发现,图像的篡改矩阵很容易受到外界的干扰(如噪声等)而产生严重的漏警、虚警现象。所以本文对篡改矩阵做了改进,就是在计算篡改矩阵时,考虑检测点的邻域内的篡改情况,即当检测 (i,j) 点时,同时考虑其八邻域篡改矩阵值情况,即计算八邻域篡改矩阵之和得到新的篡改矩阵 T' ,取一阈值 σ ,当 $T' > \sigma$ 时则说明检测点 (i,j) 被恶意篡改,否则视为正常情况。然后对检测到的恶意篡改点根据得到的恢复水印 w_y 进行恢复。

3 实验结果分析

为了证明本文算法的有效性,分别选取 512×512 的 lena、barbara 和 Peppers 作为载体图像,采用峰值信噪比(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR)作为客观评价标准。PSNR 的计算公式如式(6)所示:

$$PSNR = 10 * \lg \frac{\text{MAX}(f^2(x,y))}{\frac{1}{M * N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (f(x,y) - f'(x,y))^2} \quad (6)$$

式中 f, f' 为计算的两幅图像矩阵; M, N 为矩阵的行数和列数。

图5为原始载体图像,图6为嵌入水印后的图像。从主观视觉上看,加入水印的载体图像并无明显变化,加入水印后的峰值信噪比也均在46之上,说明了本文算法符合良好的视觉要求。



图5 原始载体图像

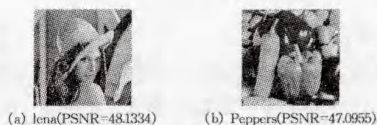


图6 嵌入水印后的图像

图7是剪切攻击及其定位和恢复的结果。图7(a)是对嵌入水印的载体图像进行剪切所得的图像,图7(b)是对剪切操作的定位结果图,图7(c)为按本文算法所得到的恢复图像,计算所得的峰值信噪比为41.9805。恢复后的图像仍具有良好的视觉效果。

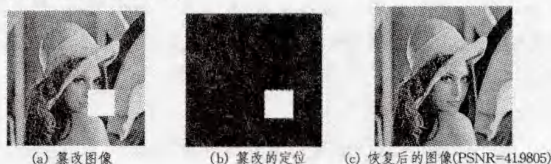


图7 剪切攻击及其恢复结果

图8是恶意篡改图像及其定位和恢复的结果。图8(a)是对图像 Peppers 的恶意篡改操作,图8(b)是对操作的定位结果图,图8(c)是按本文算法得到的恢复图像,计算所得 PSNR=43.8739,很好地满足了视觉效果。

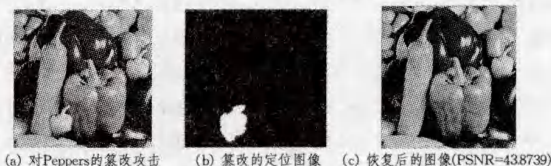


图8 恶意篡改图像及其认证和恢复的结果

结束语 针对目前脆弱水印的篡改定位与恢复效果不理想的情形,本文提出了一种基于双树小波域 SPIHT 编码的脆弱水印算法。算法将小波域的编码算法应用于 DDWT 域,并利用双树小波的多方向选择特性和图像低频系数的稳定性很好地实现了篡改的定位与恢复功能;同时又对嵌入位置的选取进行加密,使算法的安全性得到保证。通过实验证明,本文所提算法在篡改定位的准确性与恢复篡改攻击的图像质量上均取得了良好的效果。

参考文献

- [1] Chamlawi R, Khan A, Usman I. Authentication and recovery of image using multiple watermarks[J]. Computers and Electrical Engineering, 2010, 36(3): 578-584
- [2] Fridrich J, Goljan M. Protection of digital images using self-embedding[A]//Proceeding of NJIT Symposium on Content Security and Data Hiding in Digital Media[C]. New Jersey Institute of Technology, May 1999

(下转第288页)

图像为检索结果。图 2 检索结果中有 100 幅图像,其中 70 幅图像是正确的检索图像。图 3 检索结果中有 108 幅图像,其中 71 幅图像是正确的检索图像。结果显示,本文提出的改进的 K-means 聚类算法在所有测试集上的检索准确率均优于文献[16]原始算法。

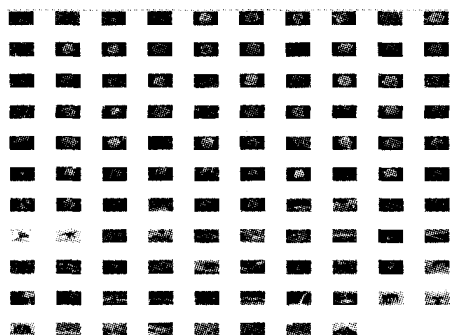


图 3 花卉的一个检索结果

结束语 本文提出了一种改进的 K-means 聚类算法的图像检索方法,改进的 K-means 算法与原始 K-means 算法不同。本文利用计算特征向量之间的距离来确定初始聚类的类心,降低了聚类结果对初始类心的依赖性,提高了聚类结果的稳定性,图像检索的准确率有一定的提高;除此之外,本文还引入了误差平方和准则函数作为聚类准则函数,使聚类结果进一步优化。大量实验表明,本文改进的算法具有更高的检索准确率。

参考文献

- [1] 百度百科[OL]. <http://baike.baidu.com/view/3066906.htm>
- [2] VelpKamp R C. Content-Based Image Retrieval System: A Survey[D]. Mirela Tanase Department of Computing Science, Utrecht University, 2001
- [3] Pena J M, Lozano J A, Larranaga P. An empirical comparison of four initialization methods for the K-means algorithm[J]. Pattern Recognition letters, 1999, 20(10): 1027-1040
- [4] 张培珍, 付萍, 晓君. 基于聚类的图像检索[J]. 计算机工程与应用, 2004, 31: 46-48
- [5] Kebapci H, Unal B Y G. Plant Image Retrieval Using Color, Shape and Texture Features[J]. The Computer Journal Advance Access, 2011, 54(9): 1475-1490
- [6] Barrios J M, Diaz-Espinoza D, Bustos B. Text-Based and Content-Based Image Retrieval on Flickr: DEMO[C]//Similarity Search and Application, 2009. SISAP'09. Second International Workshop, 2009: 156-157
- [7] Elango P K, Jayaraman K. Clustering Images Using the Latent Dirichlet Allocation Model[Z]. Dec. 2005
- [8] Thilagamani S, Shanthi N. A Survey on Image Segmentation Through Clustering[J]. International Journal of Research and Reviews in Information Sciences, 2011, 1(1)
- [9] Zhou X S, Huang T S. Relevance feedback in image retrieval: A comprehensive review[J]. Multimedia Syst., 2003, 8(6): 536-544
- [10] Chundi P, Dayal U, Sayal M, et al. US20077181678, 2007
- [11] Chen Yi-xin, Wang J Z, Krovetz R. Content Based Image Retrieval by Clustering[C]//Proc of the 5th ACM SIGMM I'ntl workshop on multimedia information retrieval. New York, ACM press, 2003: 193-200
- [12] Zhou Hui-yu, Sadka A H, Swash M R, et al. Content Based Image Retrieval and Clustering: A Brief Survey[D]. School of Engineering and Design, Brunel University, Uxbridge, UB8 3PH, UK, 2009
- [13] Zhang Q, Goldman S A, Yu W, et al. Content based image retrieval using multiple instance learning[C]//Proc. ICML. 2002
- [14] Kolen J F, Hntcheson T. Redneing the Time Complexity of the Fuzzy c-Means Alorithm[J]. TFS, 2002, 10(2): 263-267
- [15] Pentand A, Picard R, Sclaroff S. Photobook: tools for content based Manipulation of database[J]. SPIE, 1994, 2185: 34-47
- [16] Looney C G. A Fuzzy Clustering and Fuzzy Merging Algorithm[Z]. Cs791q Class notes, 1999
- [17] Wu X, Kumar V, et al. Top 10 algorithms in data mining [J]. Knowl. Inf. Syst., 2007(14): 1-37
- [18] Huang Zhe-xue. Extensions to the k-means algorithm for clustering large data sets with categorical values[C]//Data mining Knowledge Discovery. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1998: 283-304
- [19] Rui Y, Huang T S, Chang HANG S F. Image retrieval: current techniques, promising directions, and open issues[J]. Visual Communication and Image Representation, 1999, 10(1): 39-62
- [20] Richard O D, Peter E H, David G S. 模式分类(第 2 版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004
- [21] 陈湘涛, 王爱云, 谢伟平, 等. 基于内容图像检索的聚类算法研究[J]. 计算机应用研究, 2008, 12: 3546-3549
- [22] Jainak, Vailay A A. Image retrieval using color and shape[J]. Pattern Recognition, 1997, 29(8): 1233-1244
- [23] 杨阳, 刘峰. 分类器的数据预处理[J]. 计算机工程, 1998, 24(4): 33-34
- [24] 施伟, 战守义, 盛思源. 基于粗糙集理论的数据预处理[J]. 计算机工程与应用, 2003(22): 193-194
- [3] 张鸿宾, 杨成. 图像的自嵌入及篡改的检测和恢复算法[J]. 电子学报, 2004, 32(2): 196-199
- [4] 张弘, 王颖. 基于哈希函数的小波域脆弱水印算法[J]. 中国科学院研究生院学报, 2008, 25(1): 86-92
- [5] 肖磊. 一种具有高攻击类型判别能力的图像空域半脆弱水印算法[J]. 计算机科学, 2010, 37(2): 286-289
- [6] Selesnick I, Li K Y. Video denoising using 2D and 3D dual-tree complex wavelet transforms[C]//Proceedings of the SPIE 5207 (Wavelets Applications in Signal and Image Processing X). 2003: 607-618
- [7] Selesnick I W, Baraniuk R G, Kingsbury N G. The dual-tree complex wavelet transform[J]. IEEE Signal Process. Mag., 2005, 22: 123-151
- [8] Sai N S T, Patil R C. Image Retrieval using 2D Dual-tree Discrete Wavelet Transform. Internation[J]. Journal of Computer Applications, 2011, 14(6)
- [9] 基于自适应编码次序的多级树集合分裂算法[J]. 计算机应用, 2012, 32(3): 732-735
- [10] Yang Jing-yu, Wang Yao, Xu Wen-li, et al. Image Coding Using Dual-tree Discrete Wavelet Transform[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2008, 17(9): 1555-1569
- [11] Kingsbury N G, Reeves T. Redundant representation with complex wavelets: how to achieve sparsity[C]//International Conference on Image Processing. September 2003: 45-48

(上接第 284 页)